

NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG CÔNG THỨC GIẢI TÍCH THAY THẾ CHO TOÁN ĐỒ KOGAN TRONG TÍNH TOÁN KẾT CẤU ÁO ĐƯỜNG MỀM THEO 22TCN 211-06

Nguyễn Quang Tuấn^{a,*}, Hoàng Thị Thanh Nhân^a

^aKhoa Công trình, Trường Đại học Giao thông Vận tải,
Số 3 đường Cầu Giấy, quận Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 21/06/2019, Sửa xong 29/07/2019, Chấp nhận đăng 29/07/2019

Tóm tắt

Việc tính toán kết cấu áo đường mềm theo tiêu chuẩn 22TCN 211-06 dựa trên bài toán hệ đàn hồi nhiều lớp trên nền không gian bán vô hạn đàn hồi. Trong đó, toán đồ Kogan là công cụ mang lại sự tiện lợi và đơn giản trong thiết kế. Tuy nhiên việc sử dụng toán đồ cũng có những hạn chế trong việc tự động hóa thiết kế và giải các bài toán ngoài phạm vi cho phép của toán đồ. Bài báo giới thiệu một số công thức giải tích nhằm sử dụng thay thế cho toán đồ Kogan lập sẵn trong tiêu chuẩn thiết kế áo đường mềm 22TCN 211-06. Sai số khi sử dụng các công thức giải tích so với việc tra thủ công trên toán đồ được so sánh nhằm chọn ra công thức giải tích có kết quả tương đương nhất với toán đồ. Kết quả cho thấy công thức giải tích theo phương pháp của Odemark cho kết quả rất sát với toán đồ với độ lệch trung bình khoảng 2,2%.

Từ khoá: kết cấu áo đường; hệ nhiều lớp; toán đồ Kogan; công thức giải tích; thiết kế áo đường.

USING THE ANALYTICAL FORMULA INSTEAD OF THE KOGAN DIAGRAM FOR THE FLEXIBLE
PAVEMENT DESIGN ACCORDING TO THE STANDARD 22TCN 211-06

Abstract

The 22TCN 211-06 standard considers the flexible pavement as a multi-layered structure over a semi-infinite subgrade. The Kogan diagram used in the standard is a simple and convenient tool for the pavement design. However, using this diagram is difficult in the auto design programs and in the cases where the pavement thickness is out of limit of the diagram. This paper presents some analytical formulas which are considered to be used in the flexible pavement design standard 22TCN 211-06 instead of the Kogan diagram. The difference between the obtained results from the analytical formulas and the Kogan diagram are evaluated in order to choose an optimal formula which has the smallest error in comparison with the Kogan diagram method. It was shown that the obtained results using Odemark analytical formula and the Kogan diagram method are very similar with an average difference of 2,2%.

Keywords: pavement structure; multi-layered structure; Kogan diagram; analytical formula; pavement design.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13\(3V\)-03](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(3V)-03) © 2019 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Đặt vấn đề

Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu áo đường mềm 22TCN 211-06 [1] được xây dựng dựa trên cơ sở lý thuyết là giải bài toán hệ đàn hồi nhiều lớp chịu tải trọng phân bố trên một hoặc hai vòng tròn có diện tích tương đương diện tích tiếp xúc của bánh xe lên mặt đường. Tiêu chuẩn này được phát triển và

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: quangtuan.nguyen@utc.edu.vn (Tuấn, N. Q.)

kế thừa từ tiêu chuẩn thiết kế mặt đường mềm của Liên Xô cũ và đã trải qua các giai đoạn chỉnh sửa để phù hợp với các điều kiện sử dụng thực tế. Hiện nay, phần lớn các tính toán kết cấu áo đường vẫn giả thiết các lớp vật liệu là đàn hồi. Tuy nhiên, các phương pháp tính toán đã cải tiến, như mô hình của Burmister [2], cho phép tính toán hệ đồng thời nhiều lớp, không cần quy đổi như trong 22TCN 211-06. Các phần mềm tính toán kết cấu áo đường tiên tiến (Bisar, Alize, Viscoroute, 3D Move, ...) cũng đều có thể tính toán trực tiếp hệ nhiều lớp. Hơn thế nữa, rất nhiều các nghiên cứu cũng đã được thực hiện để xét đến các yếu tố tải trọng, sự dính bám các lớp, ứng xử phức tạp của vật liệu ... khi tính toán kết cấu áo đường [3–5]. Ngoài việc xem xét các lớp là vật liệu đàn hồi thì ảnh hưởng ứng xử đàn nhót của vật liệu bê tông nhựa [6, 7] đến sự làm việc của kết cấu cũng đã được nghiên cứu [8]. Ở Việt Nam, cũng có một số các nghiên cứu khi tính toán kết cấu áo đường có xét đến tính đàn nhót của vật liệu bê tông nhựa [9, 10]. Tuy nhiên ở Việt Nam, việc tính toán kết cấu áo đường theo 22TCN 211-06 vẫn đang được áp dụng rộng rãi.

Theo tiêu chuẩn 22TCN 211-06, cấu tạo kết cấu áo đường mềm sau khi được đề nghị sẽ được kiểm toán theo 3 trạng thái giới hạn: độ võng đàn hồi trên bề mặt kết cấu áo đường liên quan đến mô đun đàn hồi chung của toàn kết cấu; ứng suất kéo khi uốn lớn nhất xuất hiện ở đáy của vật liệu liên khối và ứng suất cắt trượt lớn nhất xuất hiện trong nền đất hoặc trong lớp vật liệu rời rạc, kém dính. Trong đó, để xác định mô đun đàn hồi chung của hệ kết cấu nhiều lớp, tiêu chuẩn hướng dẫn quy đổi dần hệ nhiều lớp dần hồi về thành một lớp áo đường tương đương và sử dụng toán đồ lập sẵn để xác định mô đun đàn hồi chung trên bề mặt của kết cấu.

Phương pháp sử dụng toán đồ lập sẵn thay thế cho việc tính toán phức tạp nhằm xác định trạng thái ứng suất biến dạng trong hệ kết cấu nhiều lớp đã mang lại sự đơn giản và nhiều tiện ích cho người thiết kế. Toán đồ có cấu tạo dễ hiểu, phương pháp dễ thực hiện, cho kết quả sát với thực tế, cải thiện tính chính xác và tiết kiệm thời gian tính toán. Tuy nhiên trong quá trình sử dụng, toán đồ lập sẵn cũng bộc lộ nhiều nhược điểm như sai số ở một số vùng trên toán đồ và sai số do tra tay còn lớn, tiêu chuẩn hiện cũng chưa đề xuất được công thức kiểm tra kết quả tra. Đặc biệt, việc tra toán đồ sẽ khó tự động hóa trong các chương trình tính toán kết cấu áo đường. Các chương trình kiểm toán tự động kết cấu áo đường hiện nay ở Việt Nam thường giải quyết vấn đề này bằng cách quét toán đồ, tạo ra bảng dữ liệu để nội suy tự động. Việc sử dụng toán đồ cũng hạn chế đối với các kết cấu có chiều dày lớn ($H/D > 2$) nằm ngoài khoảng nội suy của toán đồ.

Bài báo này nhằm mục đích giới thiệu nghiên cứu đề xuất sử dụng công thức giải tích thay thế và kiểm tra độ tin cậy khi tra toán đồ Kogan lập sẵn trong tiêu chuẩn 22TCN 211-06. Trước hết, việc tra thủ công sẽ được khảo sát dựa trên 15 người sử dụng khác nhau để đánh giá sai số khi tra toán đồ bằng tay. Sau đó, bốn công thức giải tích sẽ được sử dụng để đánh giá mức độ khác biệt của giá trị tính so với giá trị tra được từ toán đồ. Dựa vào sai số nhận được tiến hành đánh giá công thức nào cho giá trị gần với các giá trị trên toán đồ nhất.

2. Toán đồ Kogan trong tiêu chuẩn 22TCN 211-06

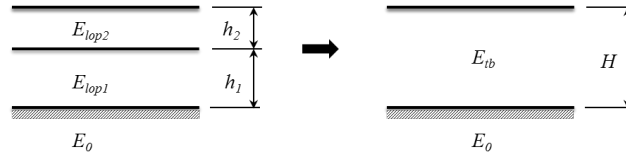
Toán đồ Kogan là lời giải cho hệ hai lớp đàn hồi được đưa thành dạng toán đồ để tra rất tiện dụng được sử dụng trong tiêu chuẩn 22TCN 211-06. Với phương pháp này, hệ nhiều lớp dần hồi được đề nghị đổi dần từ hai lớp sang một lớp theo nguyên lý mô đun đàn hồi tương đương với chiều dày là tổng chiều dày các lớp. Kết quả tra toán đồ là mô đun đàn hồi chung trên bề mặt của kết cấu áo đường đặc trưng cho khả năng chống lại biến dạng dần hồi của toàn bộ kết cấu trên nền-mặt đường.

Việc chuyển đổi được thực hiện bằng cách đổi dần hai lớp một từ dưới lên trên theo mô hình chuyển đổi được thể hiện trong Hình 1. Mô đun đàn hồi tương đương của lớp áo đường sau khi quy

đổi sẽ được tính toán theo công thức (1) [1].

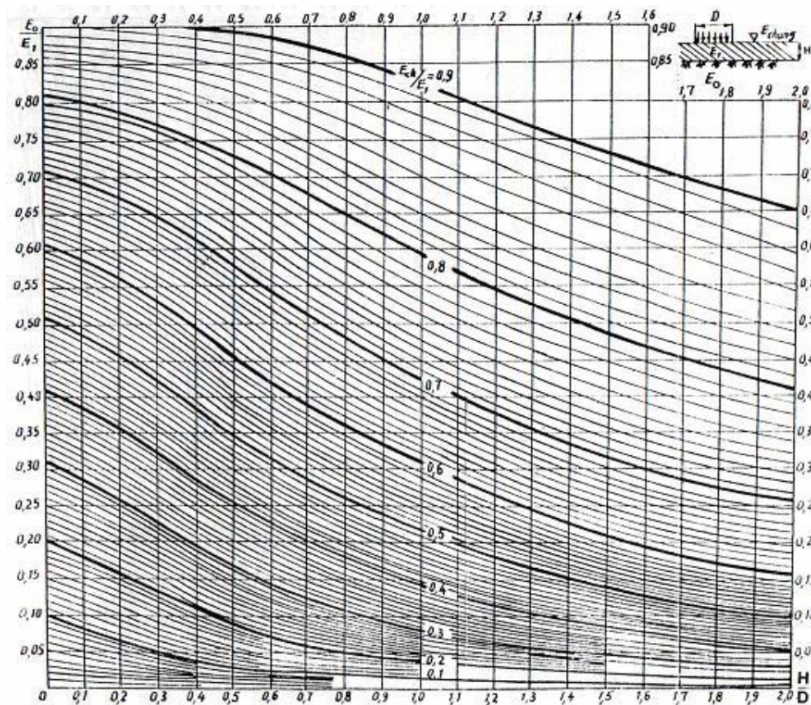
$$E_{tb} = E_{lop1} \left(\frac{1 + kt^{1/3}}{1 + k} \right)^3, \quad k = \frac{h_2}{h_1}, \quad t = \frac{E_{lop2}}{E_{lop1}} \quad (1)$$

trong đó E_{lop1} , E_{lop2} là mô đun đàn hồi của hai lớp kết cấu áo đường được quy đổi; h_1 , h_2 là chiều dày của hai lớp kết cấu áo đường được quy đổi; E_0 là mô đun đàn hồi của nền đất; E_{tb} là mô đun đàn hồi tương đương của lớp áo đường sau khi quy đổi; H là chiều dày của lớp áo đường sau khi quy đổi.



Hình 1. Sơ đồ đổi hệ 3 lớp về hệ 2 lớp [1]

Toán đồ Kogan được thiết lập dựa trên mối quan hệ giữa các tỷ số E_{ch}/E_1 với H/D và E_0/E_1 (Hình 2), trong đó E_{ch} là mô đun đàn hồi chung trên bề mặt của kết cấu áo đường thiết kế; E_1 là mô đun đàn hồi tương đương của lớp áo đường được quy đổi từ hệ nhiều lớp kết cấu áo đường, có chiều dày là tổng chiều dày của tất cả các lớp; H là chiều dày tổng cộng của tất cả các lớp kết cấu áo đường; D là vòng tròn có diện tích tương đương diện tích tiếp xúc của bánh xe lên mặt đường; E_0 là mô đun đàn hồi của nền đất.



Hình 2. Toán đồ Kogan để xác định mô đun đàn hồi chung của hệ hai lớp theo tiêu chuẩn 22TCN 211-06

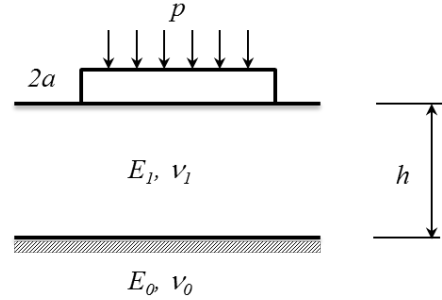
3. Đề xuất công thức giải tích

Trên thế giới có khá nhiều phương pháp tính toán hệ đàn hồi hai lớp. Có những phương pháp sử dụng toán đồ như phương pháp của Burmister [11], phương pháp trong 22TCN 211-06. Trong giới hạn của bài báo, tác giả tập trung vào 4 phương pháp có lời giải bằng công thức giải tích: phương pháp Odemark, phương pháp Palmer-Barber, công thức theo tiêu chuẩn của Nga (1972) và theo 22TCN 211-06. Ngoài ra, còn một số phương pháp khác như công thức đề xuất trong [12], phương pháp của Boussinesq [11] ...

3.1. Công thức theo phương pháp Odemark

Theo phương pháp của Odemark [11], hệ kết cấu gồm một lớp có mô đun đàn hồi E_1 , hệ số Poisson ν_1 , chiều dày h đặt trên một nền bán vô hạn có mô đun đàn hồi E_0 , hệ số Poisson ν_0 khi chịu một tải trọng phân bố đều là p trên một vòng tròn bán kính là a (Hình 3), độ võng W trên bề mặt kết cấu sẽ được tính theo công thức sau:

$$W = W_0 F\left(\frac{h}{a}, \frac{E_1}{E_0}\right) \quad (2)$$



Hình 3. Hệ kết cấu một lớp đặt trên nền bán vô hạn đàn hồi

trong đó $W_0 = 2(1 - \nu_0^2) \frac{pa}{E_0}$ là độ võng trên bề mặt nền bán vô hạn có mô đun đàn hồi E_0 ; hàm số F được tính theo công thức sau (khi coi $\nu_0 = \nu_1 = 0,5$):

$$F\left(\frac{h}{a}, \frac{E_1}{E_0}\right) = \left(1 - \frac{1}{\sqrt{1 + \left(0,9\frac{h}{a}\right)^2}}\right) \frac{E_0}{E_1} + \frac{1}{\sqrt{1 + \left(0,9\frac{h}{a}\right)^2} \left(\frac{E_1}{E_0}\right)^{2/3}} \quad (3)$$

Việc quy đổi mô đun đàn hồi chung của hệ 2 lớp sử dụng toán đồ Kogan trong 22TCN 211-06 thực chất là quy đổi tương đương về độ võng. Nghĩa là, độ võng tại tâm tải trọng tiêu chuẩn đối với kết cấu quy đổi thành nền bán vô hạn (mô đun là E_{ch}) tương đương với độ võng của hệ 2 lớp (E_0 và E_1) chưa quy đổi. Từ đó, công thức tính E_{ch}/E_1 theo phương pháp của Odemark sẽ được xác định theo phương trình (4):

$$\frac{E_{ch}}{E_1} = \frac{1}{F\left(\frac{h}{a}, \frac{E_1}{E_0}\right)} \times \frac{E_0}{E_1} \quad (4)$$

3.2. Công thức theo phương pháp Palmer-Barber

Palmer - Barber [11] đã đề xuất công thức tính độ võng trên bề mặt hệ gồm một lớp đàn hồi đặt trên nền đất bán vô hạn theo dạng công thức (2) với hàm số F được xác định như sau (khi coi $\nu_0 = \nu_1 = 0,5$):

$$F\left(\frac{h}{a}, \frac{E_1}{E_0}\right) = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{h}{a}\right)^2}} \left(1 - \frac{E_0}{E_1}\right) + \frac{E_0}{E_1} \quad (5)$$

Tỷ số E_{ch}/E_1 theo phương pháp của Balmer-Barber được xác định tương tự theo công thức (4) với hàm F theo công thức (5). Các kí hiệu của công thức xem giải thích trong phần 3.1.

3.3. Công thức theo tiêu chuẩn Nga (1972)

Tỷ số E_{ch}/E_1 theo công thức tiêu chuẩn Nga (1972) [13] được xác định tương tự theo công thức (4) với hàm F theo công thức (6). Các kí hiệu của công thức xem giải thích trong phần 3.1.

$$F\left(\frac{h}{a}, \frac{E_1}{E_0}\right) = 1 - \frac{2}{\pi} \times \left(1 - \frac{1}{\left(\frac{E_1}{E_0}\right)^{1,4}}\right) \times \arctan\left(\sqrt[2,5]{\frac{E_1}{E_0}} \times \frac{h}{2a}\right) \quad (6)$$

3.4. Công thức theo tiêu chuẩn 22TCN 211-06

Tiêu chuẩn 22TCN 211-06 đề xuất sử dụng công thức (7) để tính mô đun đàn hồi chung E_{ch} của hệ bán không gian đàn hồi 2 lớp trong trường hợp kết cấu áo đường có chiều dày lớn ($h/2a \geq 2$). Các kí hiệu của công thức xem giải thích trong phần 3.1.

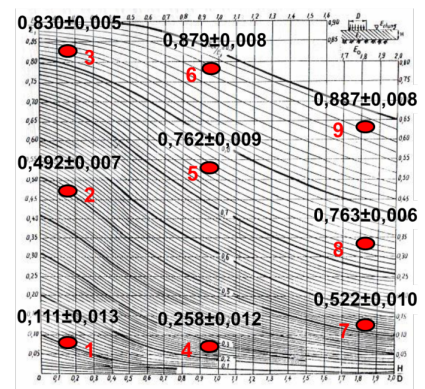
$$\frac{E_{ch}}{E_1} = \frac{1,05}{\frac{1 + \frac{E_0}{E_1}}{\sqrt{1 + \left(\frac{h}{a}\right)^2 \left(\frac{E_0}{E_1}\right)^{-0,67}}} + \frac{E_0}{E_1}} \times \frac{E_0}{E_1} \quad (7)$$

4. Khảo sát sai số tra thủ công bằng tay

Nhằm xác định sai số khi tra tay thủ công toán đồ Kogan trong tiêu chuẩn 22TCN 211-06, 15 người đã được khảo sát tra toán đồ với 9 vị trí điểm tra cho trước. Vị trí các điểm tra và kết quả khảo sát tra tay của 15 người được thể hiện trên Bảng 1 và Hình 4. Kết quả tra cho thấy độ lệch chuẩn tương đối trung bình của 15 người tra cho tất cả các điểm là khoảng 2,7% và độ lệch chuẩn lớn nhất nằm tại các vị trí điểm 1 (12,15%), điểm 4 (4,47%), điểm 7 (2,01%) tương ứng với vùng có tỷ số E_0/E_1 nằm trong khoảng $0 \div 0,1$ là nơi các đường của toán đồ khá sát nhau và khó nội suy.

Bảng 1. Vị trí 9 điểm khảo sát tra tay trên toán đồ Kogan

Điểm tra	h/D	E_0/E_1
1	0,12	0,08
2	0,14	0,47
3	0,17	0,83
4	0,92	0,07
5	0,96	0,53
6	0,98	0,78
7	1,83	0,12
8	1,86	0,36
9	1,89	0,64



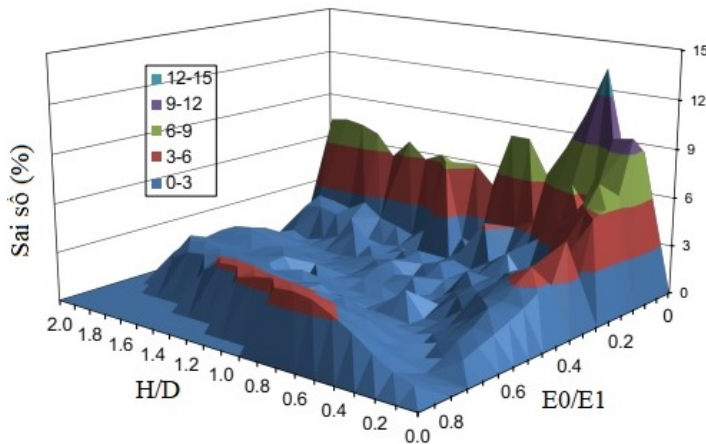
Hình 4. Vị trí 9 điểm tra và kết quả khảo sát tra tay trên toán đồ

5. So sánh công thức giải tích và toán đồ Kogan

Như đã trình bày trong phần trên của bài báo, việc tra tay toán đồ Kogan trong tiêu chuẩn 22TCN 211-06 đòi hỏi sự tỉ mỉ để có được kết quả chính xác. Do vậy, việc xác định một công thức giải tích cho kết quả gần đúng nhất so với bảng tra lập sẵn nhằm kiểm tra kết quả tra tay là hết sức hữu ích đối

với người thiết kế. Ngoài ra sử dụng công thức sẽ hữu hiệu trong các chương trình tính tự động và tính toán các khoảng khó tra hoặc bên ngoài toán đồ. Nhằm kiểm chứng sự gần đúng của kết quả tính bởi 4 công thức giải tích đã được đề xuất trong mục 3 của bài báo, giá trị tại tất cả các mắt lưới trên toán đồ (điểm giao của E_0/E_1 và H/D) sẽ được tra tay và tính theo 4 công thức rồi tiến hành so sánh. Giá trị H/D sẽ chạy từ 0,1 đến 1,9 với bước là 0,1; giá trị E_0/E_1 sẽ chạy từ 0,05 đến 0,85 với bước là 0,05. Tổng cộng có tất cả 294 điểm được đối chứng so sánh. Giá trị được so sánh là sai số giữa kết quả tra tay và kết quả tính theo các công thức giải tích.

Hình 5 đến Hình 7 thể hiện sai số của giá trị tỷ số E_{ch}/E_1 khi tra thủ công tại các mắt lưới trên toán đồ Kogan và giá trị E_{ch}/E_1 tại vị trí tương ứng khi tính theo các công thức theo phương pháp của Odemark, Palmer-Barber và công thức theo tiêu chuẩn Nga (1972).



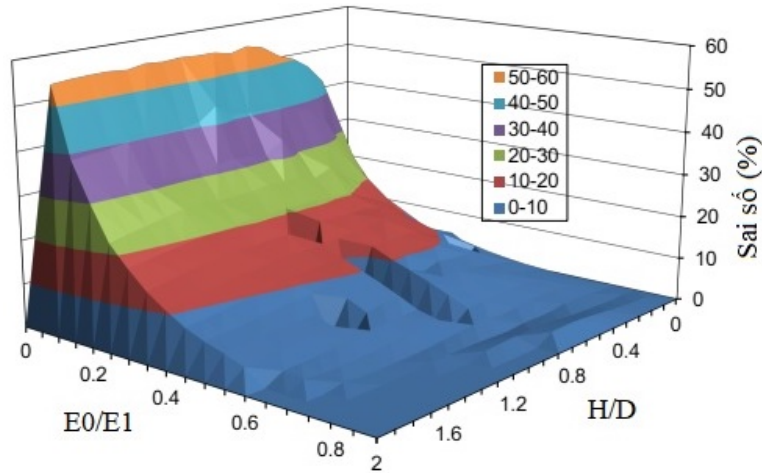
Hình 5. Sai số của tỷ số E_{ch}/E_1 khi tính theo công thức Odemark so với kết quả tra tay trên toán đồ Kogan

Khi sử dụng công thức theo phương pháp Odemark, sai số trung bình của tất cả các các điểm đối chứng là 2,19%, với sai số lớn nhất là 13,61%. Các sai số lớn nhất nằm trong vùng có $H/D < 0,2$ hoặc $E_0/E_1 < 0,1$ (Hình 5). Tuy nhiên, theo kết quả khảo sát tra tay như đã trình bày trong mục 4, việc tra thủ công toán đồ thường gặp sai số lớn trong vùng có $0 < E_0/E_1 \leq 0,1$. Vì vậy, nhằm hạn chế bớt ảnh hưởng của sai số do tra thủ công trong vùng có $0 < E_0/E_1 \leq 0,1$ đến kết quả so sánh, tác giả thực hiện trường hợp so sánh thứ 2 đối với các điểm đối chứng nằm trong vùng có $E_0/E_1 > 0,1$. Trong trường hợp này, khi loại bớt các điểm nằm trong vùng khó tra, sai số trung bình nhận được là 1,66% với sai số lớn nhất là 7,22%.

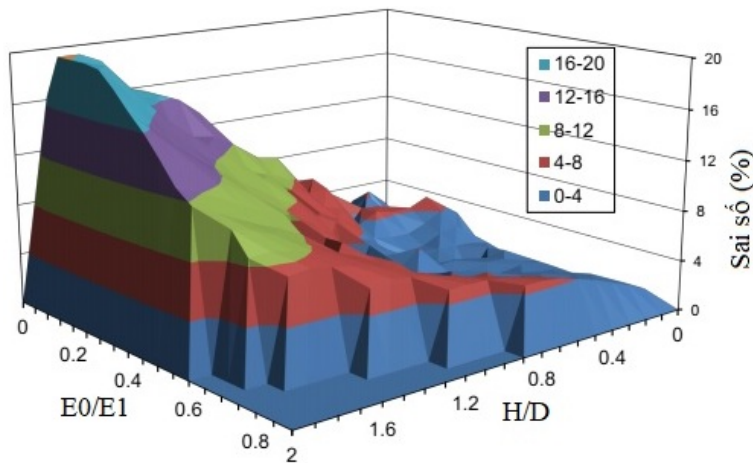
Khi sử dụng công thức theo phương pháp của Palmer-Barber, sai số trung bình của tất cả các các điểm đối chứng là 14,56%, với sai số lớn nhất là 55,64%. Các sai số lớn nhất nằm trong vùng có $E_0/E_1 < 0,1$ (Hình 6). Khi loại bớt các điểm nằm trong vùng khó tra có $E_0/E_1 \leq 0,1$ sai số trung bình nhận được là 10,10% với sai số lớn nhất là 33,92%.

Tương tự, sai số trung bình của tất cả các các điểm đối chứng khi sử dụng công thức theo tiêu chuẩn Nga (1972) là 6,96%, sai số lớn nhất là 21,63% với các sai số lớn nhất nằm trong vùng có $H/D > 1,5$ và $E_0/E_1 < 0,2$ (Hình 7). Khi loại bớt các điểm nằm trong vùng khó tra có $E_0/E_1 \leq 0,1$ sai số trung bình nhận được là 6,70% với sai số lớn nhất là 21,52%.

Công thức theo tiêu chuẩn 22TCN 211-06 (7) sẽ được áp dụng để tính giá trị tỷ số E_{ch}/E_1 với $H/D = 2$ và so sánh với các điểm đối chứng tương ứng. $H/D = 2$ chính là vị trí biên tiếp giáp giữa miền khuyến cáo áp dụng công thức theo tiêu chuẩn 22TCN 211-06 và toán đồ. Tổng cộng có 14 điểm đối chứng tại các mắt lưới được so sánh. Bảng 2 giới thiệu tỷ số E_{ch}/E_1 tra theo toán đồ Kogan và tính theo công thức giải tích trong tiêu chuẩn 22TCN 211-06 với $H/D = 2$ và sai số giữa hai phương



Hình 6. Sai số của tỷ số E_{ch}/E_1 khi tính theo công thức Palmer-Barber so với kết quả tra tay trên toán đồ Kogan



Hình 7. Sai số của tỷ số E_{ch}/E_1 khi tính theo công thức của tiêu chuẩn Nga (1972) so với kết quả tra tay trên toán đồ Kogan

pháp. Như vậy khi sử dụng công thức giải tích theo tiêu chuẩn 22TCN 211-06 với $H/D = 2$, sai số trung bình của 14 điểm đối chứng là 14,72% và sai số lớn nhất là 24,09%.

Bảng 3 tổng hợp các sai số trung bình và sai số lớn nhất khi sử dụng các công thức giải tích đã đề xuất so với kết quả tra tay trên toán đồ với các trường hợp: (i) tất cả các điểm đối chứng (các điểm mắt lưới trên toán đồ với H/D từ 0,1 đến 1,9 với bước 0,1 và E_0/E_1 từ 0,05 đến 0,85 với bước 0,05); (ii) trường hợp $E_0/E_1 > 0,1$ và (iii) trường hợp $H/D = 2$ đối với công thức theo tiêu chuẩn 22TCN 211-06. Như vậy các sai số khi sử dụng công thức theo phương pháp của Odemark là nhỏ nhất và tương đương với các sai số khi tra thủ công như kết quả khảo sát đã trình bày trong mục 4. Cụ thể, độ lệch trung bình là khoảng hơn 2% (2,2% theo phương pháp của Odemark và 2,7% khi tra thủ công). Giá trị lệch lớn nhất của cả 2 phương pháp tra toán đồ và của Odemark là khoảng 12 - 14%. Khi sử dụng công thức được đề xuất trong tiêu chuẩn 22TCN 211-06 áp dụng cho trường hợp $H/D = 2$, các sai số trung bình và lớn nhất là tương đối lớn so với kết quả tra thủ công trên toán đồ.

Bảng 2. Tỷ số E_{ch}/E_1 tra theo toán đồ Kogan và tính theo công thức giải tích trong tiêu chuẩn 22TCN 211-06 với $H/D = 2$

STT	E_0/E_1	E_{ch}/E_1		Sai số
		Tra toán đồ	Công thức giải tích	
1	0,00	0,000	0,000	0,00%
2	0,05	0,380	0,360	5,26%
3	0,10	0,470	0,464	1,29%
4	0,15	0,580	0,523	9,77%
5	0,20	0,640	0,563	12,06%
6	0,25	0,690	0,591	14,32%
7	0,30	0,730	0,613	16,08%
8	0,35	0,760	0,629	17,18%
9	0,40	0,790	0,643	18,61%
10	0,45	0,820	0,654	20,24%
11	0,50	0,845	0,663	21,52%
12	0,55	0,865	0,671	22,43%
13	0,60	0,883	0,678	23,27%
14	0,65	0,900	0,683	24,09%

Bảng 3. Bảng tổng hợp các sai số khi tính theo 4 công thức giải tích so với kết quả tra thủ công trên toán đồ

Phương pháp	Sai số (%)					
	Tất cả các điểm đối chứng		$E_0/E_1 > 0,1$		$H/D = 2$	
	Trung bình	Lớn nhất	Trung bình	Lớn nhất	Trung bình	Lớn nhất
Odemark	2,19	13,61	1,66	7,22		
Palmer-Barber	14,56	55,64	10,10	33,92		
TC Nga 1972	6,96	21,63	6,70	21,52		
22TCN 211-06					14,72	24,09

6. Kết luận

Bài báo đã giới thiệu 4 công thức giải tích để tính giá trị của tỷ số E_{ch}/E_1 . Các sai số khi tiến hành tra thủ công trên toán đồ Kogan trong tiêu chuẩn 22TCN 211-06 và sai số khi sử dụng các công thức giải tích so với kết quả tra thủ công đã được khảo sát và tính toán. Kết quả của bài báo có thể được tóm lược lại trong các ý chính sau:

- Kết quả khảo sát tra thủ công toán đồ Kogan trong tiêu chuẩn 22TCN 211-06 của 15 người thực hiện với 9 vị trí điểm tra cho trước cho độ lệch chuẩn trung bình khoảng 2,7% và độ lệch lớn nhất nằm tại các vị trí điểm có tỷ số E_0/E_1 nằm trong khoảng $0 \div 0,1$ là nơi các đường của toán đồ khá sát nhau và khó nội suy.

- Khi sử dụng 4 công thức giải tích theo phương pháp của Odermark, Palmer-Barber, công thức theo tiêu chuẩn Nga (1972) và 22TCN 211-06, các sai số của công thức Odermark so với kết quả tra thủ công là nhỏ nhất với sai số trung bình là 2,19% và sai số lớn nhất là 13,61% (với tất cả các điểm đối chứng) và gần với sai số khảo sát tra thủ công nhất.

Do vậy, sử dụng công thức theo phương pháp Odermark có thể thay thế hoặc kiểm tra độ tin cậy khi tra toán đồ Kogan lập sẵn trong tiêu chuẩn 22TCN 211-06.

Tài liệu tham khảo

- [1] Tiêu chuẩn 22TCN 211-06. *Áo đường mềm - Các yêu cầu thiết kế*.
- [2] Burmister, D. M. (1943). The theory of stresses and displacements in layered systems and applications of the design of airport run ways. In *Proceedings of the Highway Research Board*, 126–148.
- [3] Chupin, O., Chabot, A., Piau, J. M., Duhamel, D. (2010). Influence of sliding interfaces on the response of a visco-elastic multilayered medium under a moving load. *International Journal of Solids and Structures*, 47(25–26):3435–3446.
- [4] Nilsson, R. N., Hopman, P. C., Isacsson, U. (2002). [Influence of different rheological models on predicted pavement responses in flexible pavements](#). *Road Materials and Pavement Design*, 3(2):117–149.
- [5] Siddharthan, R. V., Yao, J., Sebaaly, P. E. (1998). [Pavement strain from moving dynamic 3D load distribution](#). *Journal of Transportation Engineering*, 124(6):557–566.
- [6] Nguyen, Q. T., Di Benedetto, H., Sauzéat, C., Tapsoba, N. (2012). [Time temperature superposition principle validation for bituminous mixes in the linear and nonlinear domains](#). *Journal of Materials in Civil Engineering*, 25(9):1181–1188.
- [7] Nguyen, Q. T., Di Benedetto, H., Sauzeat, C., Nguyen, M. L., Hoang, T. T. N. (2017). [3D complex modulus tests on bituminous mixture with sinusoidal loadings in tension and/or compression](#). *Materials and Structures*, 50(1):98.
- [8] Pouget, S., Sauzéat, C., Di Benedetto, H., Olard, F. (2012). [Modeling of viscous bituminous wearing course materials on orthotropic steel deck](#). *Materials and Structures*, 45(7):1115–1125.
- [9] Tuấn, N. Q., Nhân, H. T. T., Cường, T. T. (2015). Tính nhớt của bê tông nhựa trong tính toán kết cấu mặt đường. *Tạp chí Cầu đường Việt Nam*, 7:31–34.
- [10] Nhân, H. T. T., Tuấn, N. Q. (2017). Sử dụng kết quả thí nghiệm đo mô đun động của bitum trong tính toán đàn nhớt kết cấu mặt đường. *Tạp chí Cầu đường Việt Nam*, 12:44–47.
- [11] Combarieu, O. (1967). Etude des déformations élastiques à la surface d'un bicouche sous une plaque rigide. *Bulletin des Ponts et Chaussées*, 25:65–72.
- [12] Thăng, P. C. (2014). *Tính toán thiết kế các kết cấu mặt đường*. Nhà xuất bản Xây dựng.
- [13] Tiêu chuẩn Nga (1972). *Hướng dẫn thiết kế kết cấu áo đường mềm BCH 46 -72*.