

PHÂN TÍCH LỰA CHỌN CHIỀU DÀY HỢP LÝ KẾT CẤU ÁO ĐƯỜNG MỀM THEO BA ĐIỀU KIỆN QUY ĐỊNH TRONG 22TCN 211-06

Analysing and selecting appropriate pavement structure according to the three conditions of 22TCN 211-06

Lê Hữu Thọ*¹

¹Khoa Kỹ Thuật Công Trình; Trường Đại học Lạc Hồng, Đồng Nai, Việt Nam

*Corresponding Author: Lê Hữu Thọ (Email: lethobktana@gmail.com)

Received: 25th October 2020; Accepted: 16th December 2020

Tóm tắt. Bài báo tính toán lựa chọn chiều dày hợp lý kết cấu áo đường mềm theo ba điều kiện độ lún đàn hồi, độ bền cắt trượt, độ bền mỏi theo quy định trong 22TCN 211-06. Phân tích đánh giá bản chất công thức từng điều kiện để tìm ra miền chiều dày có lợi nhất giảm thiểu yếu tố ứng suất cắt trượt, kéo uốn phá hoại nhằm làm tăng được tuổi thọ kết cấu áo đường, đồng thời đánh giá so sánh về mặt kinh tế, vật liệu sẵn có của địa phương để lựa chọn giải pháp hợp lý có chi phí thấp nhất.

Từ khóa: chiều dày áo đường mềm, điều kiện độ lún đàn hồi, điều kiện độ bền mỏi, ứng suất cắt trượt bê tông nhựa.

Abstract. In the paper presents the basic of calculation and determination of the pavement structure thickness satisfying three conditions of elastic settlement, shear strength condition, fatigue strength condition as specified in 22TCN 211-06. Analyzing and evaluation the nature of the formula for each condition to find the most beneficial thickness domain to minimize shear stress factor, destructive bending to increase the life of the pavement structure, and evaluate the economical, locally available materials to choose from the lowest cost solution.

Keywords: Thickness of Pavement structure, Elastic modulus of pavement structure, Repeated bending fatigue strength, Stability shear layers asphalt concrete

1. GIỚI THIỆU

Kết cấu áo đường mềm với mặt đường bê tông nhựa được sử dụng rất phổ biến ở nước ta hiện nay, Trong quá trình khai thác đã xuất hiện những sự cố: lún vệt bánh xe, nứt bề mặt bong bật, sụt trôi trượt lớp bê tông nhựa gây hư hỏng mặt đường, ảnh hưởng giao thông xe cộ qua lại dễ gây tai nạn. Chính vì vậy việc tính toán kết cấu áo đường mềm thỏa mãn ba điều kiện quy định trong 22TCN 211-06 đồng thời việc lựa chọn chiều dày kết cấu áo đường mềm để đạt được ứng suất kéo uốn, ứng suất cắt trượt lớp bê tông nhựa nhỏ nhất, đảm bảo phá hoại mỏi của vật liệu dưới tác dụng trùng phục của xe cộ, làm tăng tuổi thọ cho công trình là điều hết sức cần thiết.

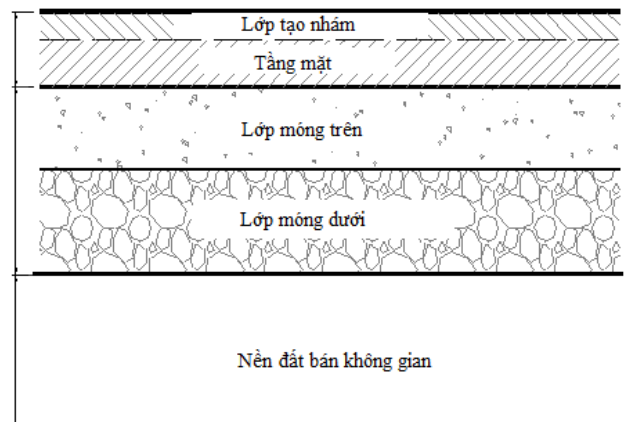
Nội dung của bài báo tính toán lựa chọn chiều dày kết cấu áo đường mềm hợp lý theo 3 điều kiện kiểm toán quy định trong 22TCN 211-06, phân tích sâu bản chất 3 điều kiện kiểm toán, so sánh về mặt kinh tế kỹ thuật đề xuất lựa chọn

được phương án hợp lý về chi phí, các ứng suất phá hoại lớp bê tông nhựa nhỏ nhất góp phần tăng độ ổn định của kết cấu áo đường mềm đưa vào khai thác sau này.

2. NỘI DUNG

2.1. Tính toán chiều dày kết cấu áo đường mềm theo ba điều kiện kiểm toán

Hiện nay, kết cấu áo đường mềm với lớp mặt đường bê tông nhựa được thi công nhiều, không những trên đường ô tô cấp cao và đường cao tốc mà cả các cấp đường thấp hơn như đường liên huyện, liên tỉnh. Áo đường mềm được kiểm toán theo 3 điều kiện: độ võng đàn hồi cho phép ứng suất kéo uốn trong lớp bê tông nhựa, ổn định cắt trượt lớp bê tông nhựa, trong nền đường và lớp vật liệu kém dính.



Hình 1. Sơ đồ các tầng, lớp của kết cấu áo đường mềm

Kiểm toán độ võng đàn hồi mục đích chống lại biến dạng mỏi của vật liệu. Mô đun đàn hồi chung của toàn bộ kết cấu áo đường sẽ được quy đổi từ mô đun đàn hồi và chiều dày của từng lớp thành phần. Lớp mặt chịu tác dụng trực tiếp của tải trọng bánh xe nên sẽ có trị số mô đun đàn hồi lớn hơn nhiều so với các lớp bên dưới. Đồng thời các lớp dưới phải được lu lèn đạt độ chặt K yêu cầu đảm bảo tính ổn định cho lớp mặt bê tông nhựa.

Kiểm toán biến dạng dẻo trong lớp bê tông nhựa chịu tác dụng trực tiếp của tải trọng bánh xe theo phương thẳng đứng

và nằm ngang (khi hãm phanh), do đó trạng thái ứng suất phát sinh trong lớp vật liệu là phức tạp, trong đó ứng suất cắt trượt có giá trị lớn, dễ gây cắt trượt, đùn trôi lớp bê tông nhựa. Tính toán ổn định cắt trượt lớp bê tông nhựa trên làn xe chạy, từ đó đưa ra khuyến cáo về lựa chọn chiều dày hợp lý có ứng suất cắt trượt là nhỏ nhất, góp phần nâng cao độ ổn định cắt trượt, độ ổn định biến dạng dẻo của lớp bê tông nhựa.

Kiểm toán điều kiện kéo uốn lớp bê tông nhựa, dưới tác dụng của tải trọng bánh xe lớp bê tông nhựa bị uốn, tại đáy lớp bê tông nhựa xuất hiện ứng suất kéo uốn, khi ứng suất kéo uốn vượt quá cường độ kéo uốn giới hạn lớp bê tông nhựa bị nứt, quá trình hình thành vết nứt được tích lũy theo trùng phục của tải trọng, gây phá hoại do mỏi lớp vật liệu, làm giảm tuổi thọ mặt đường. Do đó ta tiến hành khảo sát đánh giá ảnh hưởng của chiều dày lớp bê tông nhựa đến giá trị ứng suất kéo uốn, làm cơ sở lựa chọn chiều dày hợp lý lớp bê tông nhựa góp phần làm tăng số lần trùng phục của tải trọng, kéo dài tuổi thọ mặt đường.



Hình 2. Thảm mặt đường bê tông nhựa nóng [3]

2.2. Chiều dày hợp lý lớp bê tông nhựa theo điều kiện độ lún đàn hồi: hạn chế biến dạng mỏi của vật liệu, biện luận đảm bảo chi phí thấp cho kết cấu áo đường mềm [4 – 7]

Điều kiện độ võng đàn hồi để hạn chế phá hoại mỏi của vật liệu được kiểm tra thỏa biểu thức (1)

$$E_{ch} \geq K_{cd}^{dv} \cdot E_{yc} \tag{1}$$

Mô đun đàn hồi E_{yc} tùy thuộc số trục xe tính toán N_u

Ta quy đổi từng cụm trục trước và cụm trục sau của mỗi loại xe khi nó chở đầy hàng, không cần tính trục có trọng lượng trục từ 25kN trở xuống. Công thức quy đổi như sau:

$$N = \sum_{i=1}^k C_1 \cdot C_2 \cdot n_i \cdot \left(\frac{P_i}{P_n}\right)^{4,4} \tag{2}$$

Tính số trục xe tiêu chuẩn tích lũy trong thời hạn thiết kế để được chiều dày nhỏ nhất của lớp bê tông nhựa theo công thức

$$N_e = \frac{[(1+q)^t - 1]}{q(1+q)^{t-1}} 365 \cdot N_t \tag{3}$$

Mô đun đàn hồi E_{ch} : theo công thức Bacbero tính mô đun đàn hồi chung của hệ bán không gian đàn hồi 2 lớp như dưới đây

$$E_{ch} = \frac{1,05 \cdot E_0}{1 + \frac{E_0}{E_1} + \sqrt{1 + 4 \cdot \left(\frac{H}{D}\right)^2 \cdot \left(\frac{E_0}{E_1}\right)^{-0,67}} + \frac{E_0}{E_1}} \tag{4}$$

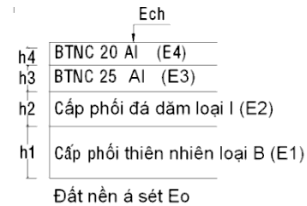
E_{ch} : mô đun đàn hồi của hệ hai lớp

E_0 : mô đun đàn hồi của nền đất bán không gian vô hạn

E_1 : mô đun đàn hồi của lớp kết cấu áo đường có bề dày H

D: đường kính vết bánh xe tính toán

Thường xét trường hợp kết cấu áo đường có chiều dày lớn ($H/D > 2$: sử dụng công thức (4)). Biện luận công thức (4): ta thấy ở đây là một bài toán lập, ta cần tìm H: bề dày kết cấu áo đường sao cho E_{ch} thỏa công thức (1), khi H tăng thì E_{ch} tăng và ngược lại H giảm thì E_{ch} giảm. Trong khi đó H lại phụ thuộc vào tổng chiều dày lớp móng, từng lớp sẽ quy đổi 2 lớp đồng thời chiều dày tối thiểu của lớp bê tông nhựa phải thỏa mãn bảng 1.5 (TCVN 4054-2005: bề dày tối thiểu của tầng mặt cấp cao A1 tùy thuộc quy mô giao thông). Do đó ta xét chọn chiều dày hợp lý lớp bê tông nhựa về mặt kinh tế nhưng vẫn phải đảm bảo 3 điều kiện kiểm toán: tận dụng vật liệu địa phương sẵn có với chi phí của từng lớp để xét các trường hợp tạo ra hiệu quả kinh tế nhất cho tuyến đường.



Hình 3. Mô đun đàn hồi chung kết cấu áo đường Ech

Quy đổi hệ 2 lớp từ dưới lên theo công thức:

$$E'_{tb} = E_1 \left[\frac{1 + k \cdot t^{1/3}}{1 + k} \right]^3 \tag{5}$$

Trong đó: $k = h_2/h_1$; $t = E_2/E_1$ với h_2 và h_1 là chiều dày lớp trên và lớp dưới của áo đường; E_2 và E_1 là mô đun đàn hồi của vật liệu lớp trên và lớp dưới. Việc đổi hệ nhiều lớp về hệ 2 lớp được tiến hành từ dưới lên, có hai lớp vật liệu quy đổi về một lớp bề dày $H' = h_1 + h_2$ và có trị số mô đun đàn hồi E'_{tb} tính theo (5) nhưng với E'_{tb} lớp này đóng vai trò E_1 và $K = h_3/H'$, $t = E_3/E'_{tb}$. Sau khi quy đổi nhiều lớp áo đường về một lớp thì cần nhân thêm với E_{tb} một hệ số điều chỉnh β để được trị số $E_{tb}^{dc} = \beta \cdot E'_{tb}$ với $\beta = 1,114 \cdot (H/D)^{0,12}$

2.3. Chiều dày hợp lý lớp bê tông nhựa theo điều kiện độ bền cắt trượt [1]: biện luận miền bất lợi tìm ứng suất cắt trượt nhỏ nhất

Trong tính toán, thường giả thiết lớp BTN theo mô hình vật liệu rời, khi chịu tác dụng của ngoại lực, lớp BTN bị biến dạng, khi đó tồn tại lực ma sát giữa các hạt cốt liệu có xu hướng cản trở chuyển dịch của các hạt, làm tăng độ ổn định

của lớp BTN. Lực ma sát được đặc trưng bởi góc nội ma sát φ của hỗn hợp BTN, góc nội ma sát φ phụ thuộc hàm lượng, kích cỡ và hình dạng của cốt liệu hỗn hợp. Lực dính C phụ thuộc loại nhựa bitum, loại bộ đá sử dụng. Theo điều kiện cân bằng Mohr – Coulomb

$$\tau \leq \sigma \tan \varphi + c \quad (6)$$

Trong đó: τ : ứng suất cắt do tải trọng ngoài gây ra được xác định theo lý thuyết đàn hồi

σ : ứng suất pháp tại mặt cắt tính toán do tải trọng ngoài gây ra

φ : Góc nội ma sát hỗn hợp BTN, xác định bằng thí nghiệm mẫu, có thể lấy bằng $30^\circ - 35^\circ$ tùy theo loại cốt liệu;

C : lực dính cho phép hỗn hợp BTN, phụ thuộc loại nhựa bitum và chất lượng vữa asphalt.

Khi không thỏa mãn điều kiện (6), trong lớp BTN sẽ xảy ra biến dạng dẻo không hồi phục, gây hư hỏng mặt đường. Công thức trên được viết lại là:

$$\tau_{am} = \tau - \sigma \tan \varphi \leq c \quad (7)$$

Biến đổi về trái công thức (7) theo A. Kriviski ta nhận được công thức sau:

$$\tau_{am} = \tau - \sigma \tan \varphi = \frac{1}{2 \cos \varphi} [(\sigma_1 - \sigma_3) - (\sigma_1 + \sigma_3) \sin \varphi] \quad (8)$$

τ_{am} : là ứng suất cắt hoạt động trong lớp BTN, khi đó ta có:

$$\tau_{am} \leq C^* . K \quad (9)$$

Trong đó:

C^* : lực dính BTN, có thể xác định bằng thí nghiệm mẫu

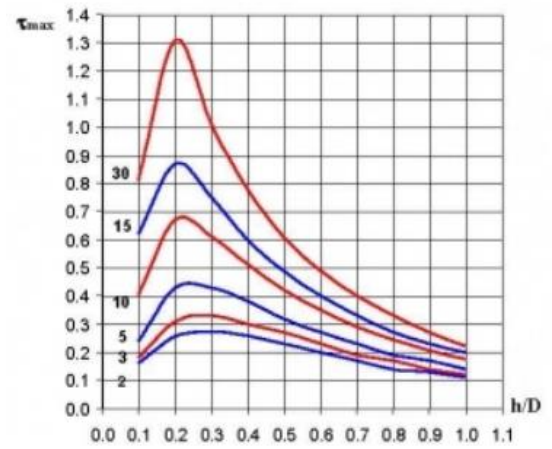
σ_1, σ_3 : tương ứng là ứng suất chính lớn nhất và nhỏ nhất tại điểm xem xét, được xác định theo lý thuyết đàn hồi như sau:

$$\sigma_{1,3} = \frac{\sigma_z + \sigma_x}{2} \pm \sqrt{\left(\frac{\sigma_z - \sigma_x}{2}\right)^2 + \tau_{xz}^2} \quad (10)$$

Với $\sigma_z, \sigma_x, \tau_{xz}$ tương ứng là ứng suất pháp theo phương z, x và ứng suất tiếp tại vị trí xem xét do tải trọng bánh xe gây ra. Khi xem BTN là vật liệu dính lý tưởng trong môi trường liên tục, góc nội ma sát $\varphi = 0$, khi đó công thức (8) viết lại thành:

$$\tau_{am} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \tau_{max} \quad (11)$$

Đây chính là công thức tính ứng suất tiếp cực đại cho vật liệu dính lý tưởng theo lý thuyết đàn hồi. Ứng với mỗi chiều dày lớp BTN và cường độ của các lớp vật liệu sẽ xác định được giá trị τ_{am} tương ứng, từ đó so sánh lựa chọn chiều dày hợp lý cho giá trị τ_{am} nhỏ nhất. Theo (7), khi giá trị τ_{am} nhỏ sẽ góp phần làm tăng độ ổn định lớp BTN theo chỉ tiêu độ bền cắt trượt lớp BTN, giảm hiện tượng hư hỏng đùn trôi, hằn lún lớp BTN.

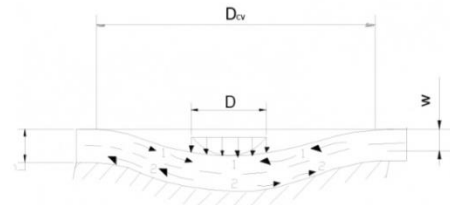


Hình 4. Quan hệ τ_{am} với $\frac{E_{btn}}{E_{ch}}$ và $\frac{h}{D}$

Từ biểu đồ kết luận được giá trị ứng suất cắt đạt giá trị lớn nhất tương ứng với chiều dày lớp BTN trong miền $\frac{h}{D} = 0,2 - 0,27$ (đây là miền bất lợi): khuyến cáo chọn chiều dày bê tông nhựa nằm ngoài miền bất lợi này

2.4. Chiều dày lớp bê tông nhựa theo điều kiện độ bền mỏi: [2]

Dưới tác dụng của tải trọng bánh xe có đường kính vệt tải trọng D , áp lực q , lớp BTN bị uốn, trong nửa phía trên mặt trung hòa xuất hiện ứng suất nén uốn, nửa phía dưới xuất hiện ứng suất kéo uốn. Theo lý thuyết đàn hồi giá trị ứng suất kéo uốn lớn nhất sẽ nằm ở vị trí đáy lớp vật liệu.



Hình 5. sơ đồ làm việc mặt đường bê tông nhựa dưới tác dụng của tải trọng bánh xe, vùng 1 chịu nén uốn, vùng 2 chịu kéo uốn

Trạng thái ứng suất kéo uốn tại đáy lớp BTN không vượt quá cường độ kéo uốn cho phép, có xét trùng phục tải trọng

$$\sigma_{ku} \leq R_{cp} \quad (12)$$

Khi quy định tính toán trạng thái giới hạn về mỏi lớp BTN đã chấp nhận giả thiết xét cho trường hợp bất lợi là lớp BTN không dính bám với lớp móng phía dưới, khi đó ứng suất kéo uốn đạt giá trị lớn nhất. Khi đã xem lớp vật liệu bị kéo uốn khi có tải trọng tác dụng theo phương vuông góc trên bề mặt, khi đó, theo lý thuyết đàn hồi ứng dụng quan hệ giữa độ võng mặt đường và tải trọng theo phương trình vi phân như sau:

$$D \left(\frac{\partial^4 w}{\partial x^4} + 2 \frac{\partial^4 w}{\partial x^2 \partial y^2} + \frac{\partial^4 w}{\partial y^4} \right) + r(x, y) = q(x, y) \quad (13)$$

Với D : là độ cứng uốn trụ của lớp vật liệu

$$D = \frac{Eh^3}{12(1 - \mu^2)} \quad (14)$$

Trong đó: E, h, μ : tương ứng là mô đun đàn hồi, chiều dày và

| Loại xe | Trọng lượng trục(kN) | | Số trục sau | Số bánh của mỗi cụm bánh ở trục sau | Khoảng cách giữa các trục sau | Lượng xe ngày đêm |
|--------------------------|----------------------|----------|-------------|-------------------------------------|-------------------------------|-------------------|
| | Trục trước | Trục sau | | | | |
| Xe con M - 21 | 9.15 | 9.60 | 1 | Cụm bánh đơn | | 80 |
| Xe tải nhẹ GAZ - 51 A | 16 | 37.50 | 1 | Cụm bánh đôi | | 96 |
| Xe tải vừa ZIL - 130 | 25.75 | 69.50 | 1 | Cụm bánh đôi | | 240 |
| Xe tải nặng MAZ - 500 | 42.25 | 100 | 1 | Cụm bánh đôi | | 120 |
| Xe tải 3 trục KRAZ - 257 | 45.4 | 90 | 2 | Cụm bánh đôi | 1.4 m | 48 |
| Xe buýt lớn LAZ - 695 | 36.90 | 70.35 | 1 | Cụm bánh đôi | | 176 |

hệ số Poisson của lớp vật liệu

W: độ võng mặt đường trong phạm vi chịu võng

r: Phản lực nền phía dưới lớp BTN, xác định theo mô hình nền lựa chọn

q(x,y): Áp lực bánh xe tác dụng xuống mặt đường tại tọa độ x, y

Phương trình (13) chỉ có 1 ẩn là w là độ võng tại tọa độ xem xét, do vậy giải phương trình (13) sẽ xác định được độ võng tại tọa độ x, y bất kỳ. Sau khi tìm được độ võng, ứng suất kéo uốn tại đáy lớp BTN tại tọa độ x, y được xác định theo công thức sau:

$$\sigma_{ku} = \frac{6M}{h^2} \quad (15)$$

$$M = -D \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \mu \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} \right) \quad (16)$$

Giá trị ứng suất kéo uốn trong lớp BTN sẽ đạt giá trị cao nhất (bất lợi nhất) trong phạm vi chiều dày nhất định, phụ thuộc tỉ lệ mô đun đàn hồi các lớp. Đối với từng kết cấu cụ thể, bằng tính toán, hoàn toàn có thể xác định được miền bất lợi của chiều dày lớp BTN có giá trị ứng suất kéo uốn đạt giá trị lớn nhất, để từ đó lựa chọn được miền chiều dày hợp lý, theo chỉ tiêu độ bền mỗi, góp phần tăng tuổi thọ mỗi của kết cấu. Trong khi đó theo toán đồ hình 3.5 trong 22TCN 211-06 để xác định giá trị ứng suất kéo uốn lớp BTN, không thể hiện rõ quan hệ này, nên gây khó khăn cho các kỹ sư thiết kế khi tính toán lựa chọn chiều dày hợp lý lớp BTN. Có thể ứng dụng phương pháp tính toán nêu trên trong tính toán lựa chọn chiều dày lớp BTN theo chỉ tiêu độ bền mỗi kết cấu trong tính toán thiết kế thực tế.

Ứng suất cắt trong lớp BTN ngoài phụ thuộc mô đun đàn hồi các lớp, nó còn phụ thuộc ngay chiều dày lớp BTN. Chiều dày bất lợi lớp BTN theo chỉ tiêu ứng suất cắt hoạt động, nằm trong khoảng từ (0,1 – 0,25)h/D, tương đương chiều dày lớp BTN từ 3,5 – 8,5cm, phụ thuộc tỷ lệ mô đun đàn hồi các lớp E_{btm}/E_{ch} của các kết cấu cụ thể. Do vậy, để tránh xảy ra biến dạng dẻo lớp BTN, cần cần cứ cụ thể mô đun đàn hồi các lớp mà khuyến cáo lựa chọn chiều dày lớp BTN cho phù hợp, góp phần làm tăng độ ổn định cắt trượt lớp BTN

2.5. Ví dụ tính toán chiều dày hợp lý lớp bê tông nhựa theo 3 điều kiện kiểm toán: áp dụng theo mục 2.2, 2.3 và 2.4 vừa phân tích bên trên.

Bảng 1. Thành phần xe chạy khảo sát ngày đêm

Việc tính đổi về tải trọng trục tiêu chuẩn 100kN được thực hiện theo công thức : $N = \sum_{i=1}^n c_1 * c_2 * n_i * \left(\frac{P_i}{100}\right)^{4.4}$

Với $C_1 = 1+1.2*(m-1)$, $C_2 = 6.4$ cho các trục trước và trục sau loại mỗi cụm bánh chỉ có 1 bánh và $C_2=1$ cho các trục sau loại mỗi cụm bánh có 2 bánh (cụm bánh đôi).

Bảng 2. Quy đổi về trục xe tiêu chuẩn 100kN

| Loại xe | | P_i | C_1 | C_2 | n_i | N |
|------------|------------|--------|-------|-------|-------|--------|
| Tải nhẹ | Trục trước | 16.00 | 1 | 6.4 | 96 | 0 |
| | Trục sau | 37.50 | 1 | 1 | 96 | 1.28 |
| Tải vừa | Trục trước | 25.75 | 1 | 6.4 | 240 | 3.92 |
| | Trục sau | 69.50 | 1 | 1 | 240 | 48.41 |
| Tải nặng | Trục trước | 42.25 | 1 | 6.4 | 120 | 17.34 |
| | Trục sau | 100.00 | 1 | 1 | 120 | 120 |
| Tải 3 trục | Trục trước | 45.4 | 1 | 6.4 | 48 | 9.52 |
| | Trục sau | 90 | 2.2 | 1 | 48 | 66.42 |
| Xe buýt | Trục trước | 36.9 | 1 | 1 | 176 | 2.19 |
| | Trục sau | 70.35 | 1 | 6.4 | 176 | 239.69 |
| | | | | | N_0 | 508.78 |

Tổng trục xe tiêu chuẩn tính toán ở năm thứ 15:

$$N = 508.78 \times (1 + 0.06)^{15-1} = 1150.3 \text{ (TXTC/ngày đêm)}$$

Tổng trục xe tính toán tiêu chuẩn 1 lần xe:

$$N_{mc} = 0.55 \times 1150.3 = 632.67 \text{ (TXTC/ngày đêm)}. \text{ Chọn } f_L = 0.55 \text{ (Tra bảng 3.3.2 -22TCN211-06).}$$

Tính số trục xe tích lũy trong thời gian 15 năm:

$$N_e = \frac{[(1 + 0.06)^{15} - 1]}{0.06(1 + 0.06)^{15-1}} \times 365 \times 632.67 = 2.377 \times 10^6 \text{ (Trục)}$$

Theo bảng 2.2 của 22TCN211- 06 ta có: $N_e \geq 2.10^6 \Rightarrow$ bề dày tối thiểu của tầng mặt cấp cao A1 là 10cm

Trị số modun đàn hồi chung yêu cầu được xác định như sau:

$$E_{dh}^{vc} = a+b \times \lg N_{TTTC}^{11\text{lan}}$$

Vì $N_{TTTC} = 632.67$ (xeTTTC /ng.đ/1 lần xe) nên khi tra bảng ta phải nội suy như sau: $N_{11\text{lan}} = 500$ (xeTTTC /ng.đ/1 lần xe)

| h ₂ (cm) | h ₁ (cm) | E _{tb} (MPa) | E _{tb} ^{dc} (MPa) | h _{td} (cm) | E _{ch} (MPa) |
|------------------------|------------------------|--------------------------|----------------------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 26 | 44 | 245.28 | 303.88 | 170.30 | 201.65 |
| 27 | 42 | 247.53 | 306.2 | 168.60 | 201.48 |
| 28 | 40 | 249.85 | 308.60 | 166.90 | 201.31 |
| 29 | 38 | 252.25 | 311.08 | 165.20 | 201.12 |

thì $E_{dh}^{yc} = 178$ Mpa, $N_{1\text{lần}} = 1000$ (xeTTTC /ng.đ/1 lần xe) thì $E_{dh}^{yc} = 192$ MPa. Thay các giá trị trên vào phương trình (*) ta

được hệ phương trình: $\begin{cases} a + b \lg 500 = 178 \\ a + b \lg 1000 = 192 \end{cases}$; giải hệ phương

trình trên ta được: $a = 52.48$, $b = 46.5 \Rightarrow E_{dh}^{yc} = 52.48 + 46.5 * \lg 632.67 = 182.62$ (MPa). Theo quy trình thiết kế áo đường mềm 22TCN 211-06 trị số modun đàn hồi yêu cầu tối thiểu của đường có cấp quản lý III và loại mặt đường cấp cao A₁ là: $E_{\text{min}}^{yc} = 140$ (MPa) $\Rightarrow E_{dh}^{yc} > E_{\text{min}}^{yc} \rightarrow$ chọn $E_{dh}^{yc} = 182.62$ (MPa) để thiết kế. $E_{yctt} = K_{cd}^{dv} \times E_{yc} = 1.1 \times 182.62 = 200.88$ (Mpa)

Kết cấu áo đường dựa vào vật liệu địa phương như sau:

Bảng 3. Các đặc trưng vật liệu kết cấu áo đường

Chọn cố định bề dày các lớp bê tông nhựa theo điều kiện bề dày tối thiểu. Ứng với $E_{yctt} = 200.88$ Mpa, $h_4 = 4$ cm và $h_3 = 6$ cm. $\Rightarrow \frac{h}{D} = \frac{10}{33} = 0,303$

Biện luận về chiều dày lớp bê tông nhựa vừa chọn:

- Dựa vào 2.3 miền bất lợi độ bền cắt trượt là $\frac{h}{D} = 0,2 - 0,27$

- Dựa vào 2.4 miền bất lợi độ bền mỏi là trong khoảng từ $(0,1 - 0,25) \frac{h}{D}$, tương đương chiều dày lớp BTN từ 3,5 – 8,5cm

Ta thấy chiều dày bê tông nhựa đã chọn $H_{btm} = 10$ cm ở trên không rơi vào miền bất lợi (đạt)

Tiếp tục theo điều kiện độ võng đàn hồi cho trước trị số h₂. Quy đổi tất cả các lớp áo đường, từng cặp một, từ dưới lên trên rồi hiệu chỉnh thành một lớp tương đương, thử dần giá trị h₁ để thỏa mãn:

$$E_{ch} \geq 200.88 \text{ (MPa)}$$

Từ các cặp h₁, h₂ tương ứng ta tính giá thành để làm ra chúng, từ đó xác định chiều dày của lớp 1 và lớp 2 tương ứng với giá thành nhỏ nhất về mặt kinh tế G_{min}.

$$E_{tb}^{dc} = \beta x E_{tb}$$

$$E_{ch} = \frac{1.05 - 0.1x \left(\frac{h}{D} \right) x \left(1 - \sqrt[3]{\frac{E_0}{E_1}} \right) x E_1}{0.71x \sqrt[3]{\frac{E_0}{E_1} x \arctg \left(\frac{1.35x h_{td}}{D} \right) + \frac{E_1}{E_0} x \frac{2}{\pi} x \arctg \left(\frac{D}{h_{td}} \right)}$$

Trong đó : $\beta = 1.114x \left(\frac{H}{D} \right)^{0.12}$ $h_{td} = 2x h x \sqrt[3]{\frac{E_1}{6E_0}}$

$E_{yc} = 198.93$ MPa, phải chọn giá trị h₁ và h₂ sao cho $E_{ch} \geq 200.88$ MPa

Ta tiến hành thử dần bằng cách tăng h₂ và giảm h₁, để tính bài toán móng kinh tế:

Bảng 4. tính E_{ch}; E_{yctt} = 200.88 Mpa

Bảng 5. Dự toán cho lớp móng cấp phối thiên nhiên h₁

| h ₁ | Lớp | Mã hiệu | Vật liệu | Nhân công | Máy | G ₁ |
|----------------|-----|----------|----------|-----------|---------|----------------|
| | 14 | AD.21215 | 1262150 | 925990 | 1511173 | 11460901 |
| | 14 | AD.21215 | 1262150 | 925990 | 1511173 | |

Các đặc trưng vật liệu

| Loại vật liệu | Modun đàn hồi E | | | R ^u | c | φ ⁰ |
|------------------------|-----------------|-------|-------|----------------|-------|----------------|
| | 15°C | 30°C | 60°C | | | |
| BTNC 20 IA | 1800 | 420 | 300 | 2.8 | | |
| BTNC 25 IIA | 1800 | 420 | 300 | 2.4 | | |
| Cấp phối đá dăm loại I | 300 | 300 | 300 | | | |
| Cấp phối thiên nhiên B | 187.5 | 187.5 | 187.5 | | 0.03 | 40 |
| Đất nền á sét | 42 | 42 | 42 | | 0.032 | 24 |

| | | | | | | |
|----|----|----------|---------|--------|---------|----------|
| | 16 | AD.21216 | 1390850 | 974265 | 1697160 | |
| 42 | 14 | AD.21215 | 1262150 | 925990 | 1511173 | 11097939 |
| | 14 | AD.21215 | 1262150 | 925990 | 1511173 | |
| | 14 | AD.21215 | 1262150 | 925990 | 1511173 | |
| 40 | 12 | AD.21214 | 1133900 | 877716 | 1298618 | 18107486 |
| | 14 | AD.21215 | 1262150 | 925990 | 1511173 | |
| | 14 | AD.21215 | 1262150 | 925990 | 1511173 | |
| 38 | 12 | AD.21214 | 1133900 | 877716 | 1298618 | 10319781 |
| | 12 | AD.21214 | 1133900 | 877716 | 1298618 | |
| | 14 | AD.21215 | 1262150 | 925990 | 1511173 | |

Bảng 6. Dự toán cho lớp móng cấp phối đá dăm loại I h₂

| h ₂ | Mã hiệu | Vật liệu | Nhân công | Máy | G ₂ | G=G ₁ +G ₂ |
|----------------|----------|----------|-----------|--------|----------------|----------------------------------|
| 26 | AD112.12 | 6172920 | 662880 | 757874 | 7593674 | 19054575 |
| 27 | AD112.12 | 6410340 | 688376 | 787023 | 7885739 | 18983678 |
| 28 | AD112.12 | 6647760 | 713871 | 816172 | 8177803 | 26285289 |
| 29 | AD112.12 | 6885180 | 739367 | 845321 | 8469868 | 18789649 |

Ta chọn được G_{min} = 18,789,649VNĐ/100m² ứng với bề dày lớp móng h₁= 38cm, h₂=29cm; Kết cấu thỏa điều kiện E_{ch} ≥ E_{yc} với chi phí xây dựng nhỏ nhất:

Lớp 4: BTNC hạt nhỏ 20 loại IA dày 4cm

Lớp 3: BTNC hạt trung 25 loại IIA dày 6cm

Lớp 2: Cấp phối đá dăm loại I dày 29cm (Chia lớp 15-14)

Lớp 1: Cấp phối thiên nhiên loại A dày 38cm (chia lớp 14-12-12)

Nền đất á sét $E_0 = 42 \text{ Mpa}$

Kết luận: Với kết cấu đã chọn đạt được tốt nhất về mặt kỹ thuật đạt ứng suất cắt trượt và kéo uốn nhỏ tăng tuổi thọ công trình, đồng thời về mặt kinh tế lựa chọn được chi phí thấp nhất.

* Kiểm tra cường độ áo đường theo điều kiện trượt ở trong nền đất ở 60°C

$$\tau_{ax} + \tau_{av} \leq \frac{C_{tt}}{K_{cd}^{tr}}; \text{Tra toán đồ hình 3-3 ta được: } \frac{\tau_{ax}}{p} = 0,0096$$

$$\Rightarrow \tau_{ax} = 0,0096 \times 0,6 = 0,0058(\text{MPa})$$

Tính ứng suất cắt chủ động τ_{av} : tra toán đồ 3-4

$$\tau_{av} = -0,0022 \text{ Mpa}, C_{tt} = C \cdot K_1 \cdot K_2 \cdot K_3 = 0,032 \cdot 0,6 \cdot 0,8 \cdot 1,5 = 0,023 \text{ Mpa}; \quad [\tau] = \frac{C_{tt}}{K_{cd}^{tr}} = \frac{0,023}{0,94} = 0,024 \text{ Mpa}.$$

$$\tau_{ax} + \tau_{av} = 0,0058 + (-0,0022) = 0,0036 < [\tau] = 0,024 \text{ Mpa}.$$

* Kiểm tra cường độ kết cấu áo đường theo tiêu chuẩn chịu kéo uốn ở lớp đáy bê tông nhựa ở 15°C : Kết cấu được xem là đủ cường độ khi thỏa mãn điều kiện sau:

$$\sigma_{ku} \leq \frac{R_{tt}^{ku}}{K_{cd}^{ku}}; \text{ Ứng suất kéo uốn đơn vị tại đáy tầng mặt áo}$$

$$\text{đường } \frac{h}{D} = \frac{10}{33} = 0,303, \frac{E_{tb}^{dc}}{E_{ch}^{mr}} = \frac{1800}{176,36} = 10,21; \text{ Tra toán đồ ta}$$

$$\text{có } \bar{\sigma}_{ku} = 1,84; \sigma_{ku} = \bar{\sigma}_{ku} \cdot p \cdot k_b, \text{ Lấy } k_b = 0,85; \sigma_{ku} = 1,84 \cdot 0,6 \cdot 0,85 = 0,94 \text{ MPa}$$

Cường độ chịu kéo uốn tính toán của vật liệu liên khối được xác định bằng công thức: $R_{tt}^{ku} = k_1 \cdot k_2 \cdot R_{ku}$

$$k_1 = \frac{11,11}{(2,377 \cdot 10^6)^{0,22}} = 0,44; R_{tt}^{ku} = 1,0 \cdot 0,44 \cdot 2,4 = 1,06 \text{ MPa}$$

$$\text{Nhu vậy: } \sigma_{ku} \leq \frac{R_{tt}^{ku}}{K_{cd}^{ku}}; \sigma_{ku} = 0,94 \leq \frac{1,06}{0,94} = 1,12 \text{ MPa}$$

Vậy lớp đáy bê tông nhựa thỏa điều kiện chịu uốn

3. KẾT LUẬN

Kết cấu áo đường mềm được tính theo 22TCN 211-06 với ba điều kiện kiểm toán, với yêu cầu ví dụ cụ thể sau khi lựa chọn chiều dày lớp bê tông nhựa tối thiểu $H_{btm} = 10 \text{ cm} \Rightarrow \frac{h}{D} = \frac{10}{33} = 0,303$ thỏa mãn nằm ngoài miền điều kiện bất lợi theo độ bền cắt trượt $\frac{h}{D} = 0,2 - 0,27$; miền bất lợi theo độ bền mỏi $(0,1 - 0,25) \frac{h}{D} = 3,5 - 8,5 \text{ cm}$. Ta sẽ chủ động chọn được chiều dày lớp bê tông nhựa với ứng suất phá hoại nhỏ góp phần tăng độ bền lớp mặt đường sau này. Kết hợp việc tính ra chiều dày lớp móng với chi phí nhỏ nhất thỏa mãn mô đun đàn hồi chung của kết cấu áo đường mềm lớn hơn mô đun đàn hồi cho phép sẽ cho ra được chiều dày toàn bộ kết cấu áo đường hợp lý

Kiến nghị cần kiểm tra kết cấu áo đường mềm theo 3 điều kiện của 22TCN 211-06 đồng thời xét thêm yếu tố để tìm ra miền chiều dày hợp lý đạt được tối ưu về mặt kinh tế, ứng suất cắt trượt, ứng suất kéo uốn nhỏ nhất góp phần làm tăng tuổi thọ cho kết cấu áo đường mềm.

4. CẢM ƠN

Để thực hiện và hoàn thành đề tài nghiên cứu khoa học này mã số: LHU-RF-TE-19-03-05, tôi đã nhận được sự hỗ trợ kinh phí, giúp đỡ cũng như quan tâm, động viên từ Ban Giám hiệu Trường Đại học Lạc Hồng, Trung tâm Nghiên cứu Khoa học và Ứng dụng, và Khoa Kỹ thuật Công trình. Nghiên cứu khoa học này cũng được hoàn thành dựa trên sự tham khảo, học tập kinh nghiệm từ các kết quả nghiên cứu liên quan, các sách, báo chuyên ngành của nhiều tác giả ở các trường đại học, các tổ chức nghiên cứu. Tôi xin chân thành cảm ơn.

5. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ks. Nguyễn Tiến Sỹ, GS. TS. Phạm Cao Thăng. Tính toán lựa chọn chiều dày hợp lý lớp bê tông nhựa theo chỉ tiêu độ bền cắt trượt trong kết cấu áo đường mềm đường ô tô. *Tạp chí Giao thông Vận tải*. **2017**
- [2] Ks. Phạm Viết Hoàng, GS. TS. Phạm Cao Thăng. Tính toán lựa chọn chiều dày hợp lý lớp bê tông nhựa theo chỉ tiêu độ bền mỏi trong kết cấu áo đường mềm đường ô tô. *Tạp chí Giao thông Vận tải*. **2016**
- [3] TS. Nguyễn Thống Nhất, ThS. NCS. Trần Văn Thiện. *Một số nguyên nhân gây hư hỏng mặt đường bê tông nhựa phổ biến ở Nam bộ và hướng giải quyết*. *Tạp chí Giao thông Vận tải*. **2014**
- [4] ThS. Nguyễn Thanh Cường, ThS. Trần Thị Phương Anh, ThS. Phạm Ngọc Phương. Nghiên cứu đề xuất các trị số đặc trưng cường độ của bê tông nhựa chặt 12,5 và 19 trong tính toán thiết kế kết cấu mặt đường. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Đại học Đồng Nai*. **2015**
- [5] 22TCN 211-06. *Áo đường mềm – các yêu cầu và chỉ dẫn thiết kế*.
- [6] TCVN4054:2005. *Tiêu chuẩn thiết kế đường ô tô*.
- [7] TCVN8819:2011. *Mặt đường BTN nóng: Thi công nghiệm thu*.