

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ QUỐC PHÒNG

HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ

VŨ TRUNG HIẾU

**NGHIÊN CỨU TÍNH TOÁN CHIỀU SÂU
LÚN VỆT BÁNH XE LỚP BÊ TÔNG NHỰA
MẶT ĐƯỜNG Ô TÔ TRONG ĐIỀU KIỆN VIỆT NAM**

Chuyên ngành: Kỹ thuật xây dựng công trình giao thông

Mã số: 9 58 02 05

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Hà Nội - 2023

**CÔNG TRÌNH ĐƯỢC HOÀN THÀNH TẠI
HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ/ BỘ QUỐC PHÒNG**

Người hướng dẫn khoa học:

- 1. GS.TS Phạm Cao Thăng**
- 2. PGS.TS Nguyễn Quang Phúc**

Phản biện 1: GS. TS. Nguyễn Xuân Trục

Phản biện 2: GS. TS. Nguyễn Thúc Tuyên

Phản biện 3: PGS. TS. Ngô Hà Sơn

Luận án được bảo vệ tại Hội đồng đánh giá luận án cấp Học viện theo Quyết định số 3177/QĐ-HV, ngày 26 tháng 6 năm 2023 của Giám đốc Học viện Kỹ thuật quân sự, họp tại Học viện Kỹ thuật quân sự vào hồi giờ phút, ngày tháng năm 2023.

Có thể tìm hiểu luận án tại:

- Thư viện Học viện Kỹ thuật quân sự
- Thư viện Quốc gia

1. Tính cấp thiết của đề tài

BTN là loại vật liệu phổ biến cho các lớp áo đường ô tô tại Việt Nam và trên thế giới. Trên nhiều tuyến đường ở Việt Nam thường xuất hiện hư hỏng LVBX làm suy giảm chất lượng khai thác của kết cấu áo đường. Hàng năm, Việt Nam phải sử dụng hàng trăm tỷ đồng để sửa chữa mặt đường BTN bị hằn lún.

Hư hỏng lún VBX trong lớp BTN xảy ra khi ứng suất cắt do tải trọng bánh xe gây ra lớn hơn cường độ kháng cắt trượt của BTN. Chất kết dính của BTN là nhựa bitum – loại vật liệu rất nhạy cảm với tác động của nhiệt độ, trong điều kiện khí hậu nắng nóng như tại Việt Nam (nhiệt độ bề mặt có thể đạt tới $65 \div 66$ °C) sức kháng cắt của BTN bị suy giảm mạnh, gây ra các hư hỏng biến dạng xô dòn, hằn lún lớp BTN.

Trong quy trình tính toán thiết kế kết cấu ADM ở Việt Nam hiện nay (TCCS 38:2022) chưa ban hành quy định kiểm toán lún VBX lớp BTN phù hợp với điều kiện môi trường và khai thác thực tế, làm căn cứ lựa chọn loại vật liệu BTN có cường độ kháng cắt phù hợp với điều kiện khai thác thực tế ngay từ bước thiết kế.

Chính những căn cứ trên, đề tài: “Nghiên cứu tính toán chiều sâu lún vệt bánh xe lớp bê tông nhựa mặt đường ô tô trong điều kiện Việt Nam” là cần thiết, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn.

2. Mục tiêu nghiên cứu của đề tài

Xây dựng phương pháp tính toán chiều sâu lún VBX lớp BTN trên làn xe chạy trong điều kiện Việt Nam. Phương pháp tính cho phép xét được tổng lưu lượng trục xe khai thác, xét được các mức nhiệt độ khác nhau từ thấp nhất đến cao nhất trong suốt thời gian khai thác, xét cho từng loại BTN, xét được sự thay đổi ứng suất cắt và hệ số nhớt của lớp BTN theo chiều sâu do thay đổi nhiệt độ trong lớp BTN.

3. Đối tượng nghiên cứu

Kết cấu ADM đường ô tô, gồm các lớp BTN trên các lớp móng và nền tự nhiên.

4. Phạm vi nghiên cứu

Chỉ xét tính toán lún VBX lớp BTN, không xem xét tính toán lún VBX các lớp móng và nền tự nhiên. Bao gồm các nội dung:

- Tổng quan lún VBX lớp BTN và các phương pháp tính toán chiều sâu lún VBX của các nước trên thế giới.

- Phân tích, xây dựng phương pháp tính toán lý thuyết theo nguyên lý cơ học môi trường liên tục, đề xuất công thức tính toán chiều sâu lún VBX. Xác định các tham số tính toán phụ thuộc loại trục xe khai thác, loại BTN và điều kiện khí hậu, phục vụ tính toán chiều sâu lún VBX trong điều kiện Việt Nam.

- Tiến hành thí nghiệm xác định hệ số nhớt của một loại BTN hiện có của Việt Nam, phục vụ ứng dụng tính toán chiều sâu lún VBX trong điều kiện Việt Nam.

- Tiến hành tính toán, khảo sát số đánh giá độ tin cậy của phương pháp tính đề xuất với thực tế biến dạng lún VBX tại một số tuyến đường thực tế.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của luận án

Ý nghĩa khoa học: (i) Trên cơ sở lý thuyết tính toán biến dạng dẻo không hồi phục lớp BTN chịu tác dụng của tải trọng xe chạy theo nguyên lý cơ học môi trường liên tục, xây dựng công thức tính toán RD trong lớp BTN, phù hợp với điều kiện Việt Nam. (ii) Thí nghiệm xác định hệ số nhớt của 1 loại hỗn hợp BTN hiện đang được sử dụng, phục vụ tính toán chiều sâu lún VBX lớp BTN trong điều kiện Việt Nam;

Ý nghĩa thực tiễn: Đề xuất phương pháp tính toán chiều sâu lún VBX lớp BTN kết cấu áo đường, có thể ứng dụng trong tính toán dự báo chiều sâu lún VBX trên các tuyến đường, phù hợp với điều kiện vật liệu và điều kiện khí hậu của Việt Nam.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN TÌNH TRẠNG LÚN VBX LỚP BTN MẶT ĐƯỜNG VÀ CÁC PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN DỰ BÁO CHIỀU SÂU LÚN VBX

1.1. Sự làm việc của lớp BTN mặt đường chịu tải trọng bánh xe

1.1.1. Ứng xử của lớp BTN dưới tác dụng của tải trọng bánh xe

Dưới tác dụng của tải trọng bánh xe, các lớp vật liệu mặt đường bị biến dạng, sơ đồ làm việc của kết cấu ADM được minh họa ở Hình 1.2. Áp lực bánh xe truyền qua lớp mặt, lớp móng, và nền đường, gây ra biến dạng cho các lớp vật liệu. Theo [14,27,73,88] cơ chế biến dạng như sau:

- Các lớp mặt đường và nền đất dưới lớp mặt đường trong phạm vi chiều sâu vùng tác động của tải trọng bị nén ép lại dưới tác dụng của áp lực bánh xe, gây võng cho mặt đường.

- Lớp mặt BTN và các lớp móng từ vật liệu liền khối, do có độ cứng kháng uốn lớn hơn, nên dưới tác dụng của tải trọng bánh xe, các lớp sẽ bị uốn trong phạm vi chậu võng;

- Ngoài ra, trong các lớp vật liệu của áo đường xuất hiện ứng suất cắt, khi ứng suất cắt vượt quá cường độ kháng cắt sẽ gây ra biến dạng dẻo trong các lớp vật liệu: lớp nền đất bị đùn trôi sang 2 bên đường, các lớp mặt và móng bị biến dạng xô dón, đùn trôi, hần lún.

1.1.2. Khái niệm, phân loại biến dạng lún VBX lớp BTN mặt đường.

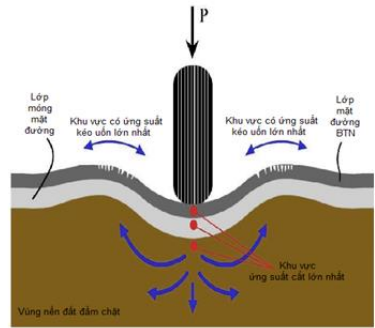
Khi mặt đường chủ yếu chịu tác dụng của tải trọng theo phương đứng, ứng suất cắt do tải trọng trục gây ra khi đủ lớn sẽ gây ra biến dạng trượt ngang lớp BTN, phân bố đều sang 2 bên VBX. Quá trình tích tụ biến dạng do trùng phục tải trọng sẽ tạo ra vết lún bánh xe trên làn đường.

Có các dạng biến dạng hần lún sau: Biến dạng khi xảy ra ở lớp BTN (Hình 1.3a) và Biến dạng xảy ra ở cả lớp mặt, lớp móng và nền (Hình 1.3b). Sự khác nhau của hai trường hợp là khi lún VBX chỉ ở lớp BTN thì phần thể tích BTN biến dạng bị đẩy trôi sang 2 bên vết lún tạo nên vết gờ trôi dọc theo 2 bên vết lún, còn biến dạng lún cả lớp móng và nền tự nhiên thì khối vật liệu BTN bị biến dạng phân lún bị nén ép xuống phía dưới, phân bố trong lớp nền tự nhiên, phần BTN bị đẩy trôi sang 2 bên vết lún hầu như không có hoặc có nhưng không đáng kể [36,72,77].

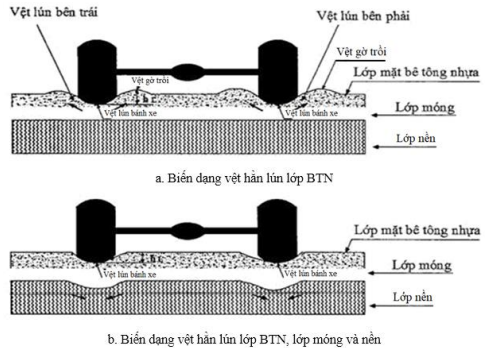
Quy luật hình học của vết lún khi chỉ xảy ra ở lớp BTN [40,49,69,70]:

- Theo phương ngang vết lún: Khoảng cách giữa 2 đỉnh vết gờ trôi được gọi là chiều rộng vết lún bánh xe (kí hiệu là L) có độ lớn là tương đối ổn định, ít thay đổi trong suốt quá trình hình thành vết lún, phụ thuộc loại phương tiện. Chiều rộng vết lún của bản thân lớp BTN (không bao gồm vết gờ trôi) cũng có độ lớn tương đối ổn định, xấp xỉ bằng 2/3 chiều rộng vết lún (L).

- Theo phương đứng vết lún: Chiều sâu lún VBX được tính từ cao độ nối 2 đỉnh vết gờ trôi đến đáy tại tâm vết lún. Chiều sâu vết lún luôn phát triển tăng dần theo thời gian, phụ thuộc lưu lượng trục xe khai thác, nhưng theo tỉ lệ chiều cao vết gờ trôi luôn có độ lớn xấp xỉ bằng 1/3 chiều sâu vết lún.



Hình 1.2: Sơ đồ U'S - BD trong kết cấu ADM



Hình 1.3: Phân loại lún VBX mặt đường mềm

1.2 Tình trạng hư hỏng lún VBX lớp BTN trong nước và trên thế giới

1.2.1. Hư hỏng lún VBX lớp BTN tại Việt Nam

Tình trạng lún VBX trên mặt đường BTN xảy ra phổ biến, với mức hư hỏng hết sức nghiêm trọng. Theo báo cáo của bộ GTVT ngày 15/11/2013, hiện tượng lún VBX gần như xảy ra trên tất cả các trục đường chính, có lượng giao thông lớn như QL1, QL3, QL5, xa lộ Đông - Tây, cao tốc Nội Bài - Lào Cai,... Hiện tượng hư hỏng này cũng xảy ra đối với cả mặt đường trên cầu như cầu Bến Thủy, cầu Thanh Trì...

Vào thời kỳ cao điểm, có đến 8% mặt đường BTN trên cả nước xuất hiện hư hỏng lún VBX. Ví dụ: Tuyến QL.5 là tuyến có nhiều xe trục tải trọng nặng, xe romooc, xe container lưu hành, đoạn tuyến qua khu vực TP. Hải Dương được nâng cấp năm 1998 đã xuất hiện tình trạng hằn lún VBX lớp BTN vào đầu những năm 2000[16]. Trên tuyến QL.1, đoạn đường từ Thanh Hóa đến Huế có 70 km trên tổng số 620 km gặp phải tình trạng lún VBX, đoạn từ Đà Nẵng đến Khánh Hoà có 90km trên tổng số 953km[15].

1.2.2. Hư hỏng lún VBX lớp BTN trên thế giới

Lún VBX lớp BTN mặt đường là hư hỏng phổ biến ở các nước trên thế giới, kể cả những quốc gia có công nghệ xây dựng phát triển như Mỹ, Trung Quốc, Nga, Nhật,...

Năm 1987, NCAT thực hiện nghiên cứu để đánh giá các tuyến đường BTN tại tất cả các khu vực của Mỹ bao gồm các vùng khí hậu khác nhau, cốt liệu có nguồn gốc và tính chất khác nhau... của 42 tuyến đường BTN đã được lấy mẫu và đo chiều sâu lún VBX từ 14 bang. Kết quả đánh giá cho thấy một số tuyến đường có chiều sâu hằn lún lên đến 1,65 inches (tương đương 41,91 mm) [62].

Lún VBX cũng xảy ra trên mặt đường ở Trung Quốc do sự gia tăng nhanh chóng của lưu lượng và tải trọng xe. Dưới điều kiện thời tiết khắc nghiệt và xe tải trọng lớn, lún VBX đã xuất hiện chỉ trong một thời gian ngắn sau khi các tuyến đường được thông xe [61,62].

1.3. Tổng quan các phương pháp tính toán biến dạng lún VBX lớp BTN

1.3.1. Phương pháp tính toán lý thuyết theo nguyên lý cơ học môi trường rời

Hiện nay, trong tính toán biến dạng cắt trượt của lớp BTN, trên thế giới sử dụng các phương pháp tính toán khác nhau, theo các chỉ tiêu:

- Tính toán theo chỉ tiêu độ ổn định cắt trượt lớp BTN: Theo chỉ tiêu này, tính toán đáp ứng điều kiện để không xảy ra biến dạng xô dòn, đùn trôi lớp BTN, xét ở nhiệt độ khai thác cao nhất. Theo phương pháp này có thể kể đến một số kết quả như: Theo Quy trình BCH 46-83 của Liên Xô (cũ)[64]; Theo hướng dẫn tính toán ổn định cắt trượt gây xô dòn lớp BTN của Bộ GTVT Nga [69]; Theo quy trình thiết kế của Cộng hòa Belarus [90]. Hạn chế của các phương pháp này là chỉ tính điều kiện bắt đầu xảy ra biến dạng lớp BTN mà không tính được độ lớn biến dạng của lớp BTN trên làn xe chạy.

- Tính toán theo chỉ tiêu tích tụ các biến dạng lớp BTN do trùng phục tải trọng trong suốt quá trình khai thác, tạo nên vết lún bánh xe trên làn xe chạy: Điện hình của phương pháp này là Quy trình tính toán biến dạng hằn lún lớp BTN thể hiện trong [69,70,81], hiện đang được sử dụng tại Nga để làm cơ sở lựa chọn loại BTN phù hợp với yêu cầu khai thác thực tế khai thác của các tuyến đường. Cụ thể như sau:

Công thức tính biến dạng trượt ngang gây ra vết hằn lún lớp BTN theo các tham số lực dính và hệ số nội ma sát:

$$\gamma_{tt} = N \cdot t_p \cdot \dot{\gamma}_{TN} \cdot \left(\frac{\tau_{\max} - q \cdot tg \varphi}{C_{TN}} \right)^{\frac{1}{m}} \cdot \int_{T_{\min}}^{T_{\max}} P(T) \cdot e^{-\frac{U}{R} \left(\frac{1}{273,15+T} - \frac{1}{273,15+T_{TN}} \right)} \cdot dT, \quad (1.9)$$

trong đó: t_p - thời gian tác dụng 1 lần của tải trọng, s;

N - tổng trục xe tính toán, có xét đến xác suất trùng phục của trục xe;

$\dot{\gamma}_{TN}$ - tốc độ biến dạng mẫu thí nghiệm, 1/s; q - áp lực bánh xe, MPa;

τ_{\max} - ứng suất cắt lớn nhất do tải trọng đứng và lực hãm phanh ngang gây ra, MPa;

C_{TN} , φ - lực dính ở 50 °C và góc nội ma sát của BTN;

$P(T)$ - tần suất xuất hiện mức nhiệt độ T trong thời kỳ khai thác;

Tổng chiều sâu lún VBX theo công thức sau:

$$RD = \frac{9 \cdot \gamma_n \cdot h^2}{2 \cdot L}, \quad (1.10) \quad \text{trong đó: } RD - \text{chiều sâu hằn lún (Rutting Depth), cm;}$$

$$\gamma_n - \text{biến dạng trượt ngang, tính theo công thức (1.9);}$$

h - chiều dày tính toán lớp BTN, cm. Trong trường hợp lớp BTN có chiều dày lớn, h là chiều sâu vùng biến dạng dẻo trong lớp BTN.

L - chiều rộng vệt hằn lún khi chỉ xét ở lớp BTN, tính từ 2 đỉnh vệt gờ trời 2 bên vệt lún lớp BTN, theo [69,70,81] trong điều kiện của nước Nga lấy $L=100\text{cm}$.

Ưu điểm: Đã xét tổng lưu lượng trục xe trong suốt thời kỳ khai thác, ở các mức nhiệt độ khác nhau trong ngày và các mùa, từ nhiệt độ thấp nhất đến nhiệt độ cao nhất trong năm, có xét trùng phục nhiệt độ trong suốt thời kỳ khai thác.

Nhược điểm: i) Chấp nhận giả thiết lớp BTN trong phạm vi xảy ra biến dạng không hồi phục là lớp vật liệu đồng nhất, có cùng cường độ (ở cùng mức nhiệt độ bằng nhiệt độ tại vị trí cách bề mặt 2cm), nên trong tính toán lấy chung các đặc trưng cơ lý như nhau trong suốt chiều sâu vùng biến dạng dẻo. Điều này không phù hợp với các nước ở vùng khí hậu nắng nóng có nhiệt độ bề mặt BTN tới 65 °C như ở Việt Nam, sự chênh lệch đáng kể nhiệt độ theo chiều sâu lớp BTN sẽ ảnh hưởng nhiều đến các tham số cường độ kháng cắt của BTN, làm gia tăng chiều sâu vệt hằn lún trong lớp BTN. ii) Không xét ảnh hưởng của cường độ các lớp móng và nền đến chiều sâu lún VBX. iii) Cần tới 4 tham số về cường độ kháng cắt của vật liệu BTN (C, φ, m, U) nên phải tiến hành nhiều mẫu thí nghiệm mới đảm bảo độ chính xác của số liệu, gây khó khăn cho áp dụng trong thực tế.

1.3.2. Phương pháp tính toán lý thuyết theo nguyên lý cơ học môi trường liên tục

Phương pháp lý thuyết theo nguyên lý cơ học môi trường liên tục đã được các nhà khoa học nghiên cứu và thu được kết quả, dưới đây trình bày kết quả nghiên cứu nổi trội nhất:

Theo Ladughin [90]: Ứng suất cắt do tải trọng bánh xe theo phương đứng (τ_{\max}) trong lớp BTN kết cấu mặt đường gây ra biến dạng không hồi phục lớp BTN, được xác định từ điều kiện biến dạng lún VBX theo sơ đồ bài toán phẳng. Trong miền biến dạng dẻo, vệt lún lớp BTN do ứng suất cắt gây ra theo điều kiện dẻo Tresca-Saint Venant là biến dạng hình học, khi đó thể $\text{div} \vec{V} = 0$ hay $\frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0$ (1.11) tích phân tố là không đổi:

Trên cơ sở lời giải bài toán theo điều kiện (1.11),

theo [7,90] độ lớn ứng suất cắt gây ra biến dạng dẻo được xác định theo công thức:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_z}{2}, \quad (1.12)$$

trong đó: τ_{\max} - ứng suất cắt lớn nhất gây ra biến dạng dẻo không hồi phục trong lớp BTN tại tiết diện tính toán do áp lực bánh xe gây ra, MPa;

σ_z - ứng suất pháp do áp lực bánh xe gây ra, MPa.

Ứng suất cắt lớn nhất gây ra biến dạng không hồi phục lớp BTN tính theo công thức (1.14) là trường hợp không xét ảnh hưởng góc nội ma sát của hỗn hợp BTN gây cản trở chuyển dịch của các hạt cốt liệu. Tuy nhiên, dưới tác dụng của tải trọng, khi có sự dịch chuyển tương đối giữa các hạt cốt liệu, gây ra lực nội ma sát có tác dụng cản trở dịch chuyển này. Độ lớn lực nội ma sát phụ thuộc mức độ tương tác giữa các hạt cốt liệu (hình dạng, hàm lượng cốt liệu thô thông qua số điểm tiếp xúc, hướng tiếp xúc, diện tích tiếp xúc của các hạt cốt liệu). Thành phần lực cản trên còn gọi là giới hạn chảy dẻo của hỗn hợp BTN (ký hiệu τ_c). Phân tích quá trình biến dạng của lớp BTN cho thấy, khi xét ảnh hưởng của lực nội ma sát có tác dụng làm suy giảm độ lớn ứng suất cắt gây ra biến dạng không hồi phục lớp BTN. Đề giai đoạn biến dạng từ đàn nhớt chuyển sang nhớt dẻo chỉ xảy ra khi ứng suất cắt do tải trọng gây ra vượt quá giới hạn chảy dẻo của BTN. Điều kiện đề xảy ra từ biến dạng đàn nhớt có hồi phục sang biến dạng nhớt dẻo không hồi phục:

$$\tau_{\max} = \frac{\sigma_z}{2} \geq \tau_k, \quad (1.14)$$

trong đó: τ_k - giới hạn chảy dẻo của BTN, xét ảnh hưởng của hệ số nội ma sát cản trở biến dạng của vật liệu, MPa.

Như vậy, ứng suất cắt gây ra biến dạng dẻo lớp BTN được xác định:

$$\tau = \tau_{\max} - \tau_k, \quad (1.15)$$

trong đó: τ - ứng suất cắt gây ra biến dạng dẻo lớp BTN, MPa

Khi ứng suất cắt lớn hơn giới hạn chảy dẻo của vật liệu BTN ($\tau > \tau_k$) chiều sâu biến dạng không hồi phục (kí hiệu RD) được xác định như sau:

$$RD = \frac{\tau \cdot H \cdot T}{\eta + \tau \cdot T}, \quad (1.17)$$

trong đó: H- chiều dày lớp BTN, cm;
 η - hệ số nhớt dẻo, MPa.S;

T- tổng thời gian tác dụng của tải trọng trong miền biến dạng nhớt dẻo, s;

τ - ứng suất cắt gây ra biến dạng dẻo lớp BTN theo (1.15), MPa.

Dưới tác dụng một lần của tải trọng, chỉ gây ra biến dạng dẻo trong lớp BTN có giá trị nhỏ, không đáng kể. Tuy nhiên do đặc điểm làm việc của lớp BTN mặt đường chịu tác dụng trùng phục của trục xe trong suốt quá trình khai thác nên đã tích tụ biến dạng, tạo nên vết lún bánh xe thực tế trên mặt đường.

Để tính ứng suất cắt (τ) gây biến dạng dẻo do tải trọng theo phương đứng gây ra trong (1.15) theo chiều sâu lớp BTN, từ (1.12), (1.13) theo [66,72,76], độ lớn ứng suất cắt gây biến dạng dẻo không hồi phục lớp vật liệu BTN (τ) tại độ sâu z do tải trọng bánh xe có áp lực q, đường kính D gây ra, có xét ảnh hưởng của hệ số nội ma sát của BTN có tác dụng làm giảm độ lớn ứng suất cắt gây biến dạng không hồi phục, được xác định theo công thức sau:

trong đó: τ_z - ứng suất cắt gây biến dạng dẻo lớp vật liệu tại độ sâu z, MPa;

$$\tau_z = \frac{q}{2 \left[1 + \sqrt{2\pi} \left(\frac{z}{D} \cdot \sqrt[3]{\frac{E_{BTN}}{E_{ch,m}}} \right)^2 \right]} \cdot k_\varphi, \quad (1.18)$$

k_φ - hệ số xét ảnh hưởng của hệ số nội ma sát làm suy giảm độ lớn ứng suất cắt:

$$k_\varphi = tg \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right),$$

φ - góc nội ma sát hỗn hợp BTN, khi vật liệu có góc nội ma sát φ lớn thì hệ số k_φ lớn, khi góc nội ma sát $\varphi = 0$ thì hệ số $k_\varphi = 1$.

Các ký hiệu khác như trong công thức (1.13).

Tham số $E_{ch,m}$ trong công thức (1.18) là tham số đặc trưng cho sức kháng biến dạng của lớp móng và nền, cho phép xét được ảnh hưởng của cường độ và chiều dày các lớp này đến độ lớn ứng suất cắt gây biến dạng không hồi phục trong lớp BTN.

1.3.3. Tính toán biến dạng lún VBX lớp BTN theo phương pháp thực nghiệm

Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm được sử dụng rộng rãi ở Mỹ và các nước phương Tây do có đủ điều kiện về trang thiết bị, cơ sở vật chất để thực hiện thử nghiệm với số lượng lớn. Trên cơ sở kết quả thử nghiệm hiện trường với điều kiện vật liệu, công nghệ thi công và khai thác của từng nước, từng khu vực, các nhà khoa học đã xác định các công thức tính RD lớp BTN mặt đường. Hiện nay có nhiều kết quả nghiên cứu theo phương pháp này đã được công bố và áp dụng cho ADM ô tô và cả sân bay. Mỗi công thức sử dụng những bộ số liệu đầu vào khác nhau để xét đến các yếu tố ảnh hưởng đến RD như: điều kiện về khai thác (lưu lượng phương tiện (N), áp lực bánh xe tại bề mặt (σ), thời gian tác dụng một lần của tải trọng (t), điều kiện về môi trường như nhiệt độ khai thác (T), điều kiện về vật liệu (mô đun phức (G^*), hệ số nhớt (η) của vữa asphalt, lực dính (C), góc nội ma sát (φ) của BTN, ...).

Ưu điểm của phương pháp thực nghiệm là do các hệ số thực nghiệm được xác định từ số liệu quan trắc thực tế nên đảm bảo độ chính xác, tuy nhiên để áp dụng vào tính toán RD trong điều kiện Việt Nam là thiếu chính xác vì điều kiện khí hậu và quản lý khai thác của Việt Nam khác xa so với các nước trên thế giới.

1.3.4. Tính toán biến dạng lún VBX lớp BTN theo phương pháp cơ học thực nghiệm

Phương pháp cơ học thực nghiệm dựa trên các nguyên lý cơ học kết hợp với các hệ số thực nghiệm để phân tích ứng suất phân bố trong kết cấu áo đường và sử dụng mô hình giải tích để dự tính RD. Các mô hình giải tích này giúp kết nối giữa kết quả phân tích ứng suất và biến dạng với những hư hỏng của mặt đường. Các thông số của mô hình được xác định và hiệu chuẩn thông qua các số liệu đo đạc thực tế trên các đường thử tiêu chuẩn vốn phụ thuộc rất nhiều vào điều kiện giao thông, điều kiện thời tiết tại đường thử của nước sở tại. Trong mô hình xác định chiều sâu hần lún tại một điểm trong các lớp BTN có sử dụng các hệ số từ nghiên cứu thử nghiệm hiện trường theo công thức [28,41,53]:

$$\frac{\varepsilon_p}{\varepsilon_r} = k_1 * 10^{-3.4488} \Gamma^{1.5606} N^{0.479244} \quad (1.35) \quad \text{trong đó: } N - \text{số lần tác dụng của tải trọng;}$$

$$T - \text{nhiệt độ, } ^\circ\text{F;}$$

ε_p - biến dạng dẻo tích lũy dưới N lần tác dụng của tải trọng đơn tiêu chuẩn;

ε_r - biến dạng đàn hồi của lớp BTN, là hàm số của thuộc tính đàn hồi (E và μ) phụ thuộc vào nhiệt độ và thời gian gia tải;

k_1 - hệ số điều chỉnh, phụ thuộc vào tổng chiều dày của các lớp BTN (h_{ac} tính bằng inch) và chiều sâu của điểm tính toán (depth, tính bằng inch), dùng để hiệu chỉnh áp lực giới hạn ở các độ sâu khác nhau.

$$k_1 = (C_1 + C_2 \cdot \text{depth}) * 0.328196^{\text{depth}}$$

$$C_1 = -0.1039 \cdot h_{ac}^2 + 2.4868 \cdot h_{ac} + 17.342$$

$$C_2 = 0.0172 \cdot h_{ac}^2 - 1.7331 \cdot h_{ac} + 27.428$$

Độ lún tổng cộng của các lớp là tổng lún của các phân lớp, được biểu diễn như sau:

$$RD = \sum_{i=1}^{n_{\text{sublayers}}} \varepsilon_p^i h_i \quad (1.36) \quad \text{Trong đó: } n_{\text{sublayer}} - \text{số lớp được phân lớp;}$$

$$\varepsilon_p^i - \text{biến dạng dẻo của lớp } i;$$

$$h_i - \text{bề dày của lớp thứ } i \text{ (inch).}$$

Ưu điểm: đã xét các yếu tố địa phương về khí hậu, loại vật liệu, loại trục xe và lưu lượng trục xe dự báo khai thác.

Hạn chế: Là công thức có sử dụng các hệ số thực nghiệm phụ thuộc điều kiện khí hậu, vật liệu, tải trọng, công nghệ thi công trên các tuyến đường của Mỹ. Để áp dụng vào điều kiện thực tế của Việt Nam, có các yếu tố khác với điều kiện của thì cần có các nghiên cứu hiệu chỉnh các hệ số thực nghiệm áp dụng cho phù hợp.

1.3.5. Chiều sâu vùng biến dạng dẻo tính toán trong lớp BTN

Chiều sâu vùng biến dạng dẻo tính toán được hiểu là chiều sâu trong lớp BTN, từ bề mặt đến độ sâu này biến dạng dẻo có giá trị lớn, từ độ sâu này trở xuống áp lực bánh xe gây ra biến dạng dẻo không hồi phục có giá trị nhỏ, nên chiều sâu hần lún từ độ sâu này trở xuống chiếm tỉ lệ nhỏ so với tổng chiều sâu hần lún lớp BTN, trong tính toán RD lớp BTN phân chiều sâu hần lún dưới độ sâu này có thể bỏ qua [40,50,67,69,70,84].

1.3.6. Chiều sâu vết lún bánh xe cho phép

Tùy yêu cầu an toàn giao thông cụ thể, mỗi nước quy định cách đo và chiều sâu vết hần lún cho phép, có thể quy định chung hoặc cho từng vận tốc xe chạy riêng biệt. Tại Việt Nam, theo TCCS 38:2022/TCĐBVN, sử dụng thước dài 1,22m để đo chiều sâu lún VBX, chiều sâu trung bình lún VBX mức nhẹ từ 6 ÷ 13mm, vừa từ 13 ÷ 25mm, mức cao >25mm.

1.4. Tình hình nghiên cứu biến dạng lún VBX lớp BTN tại Việt Nam

Một số hướng nghiên cứu về hư hỏng lún VBX trong lớp BTN đã thực hiện:

- Nghiên cứu các giải pháp giúp tăng khả năng kháng cắt trượt của kết cấu mặt đường cũng như của vật liệu làm mặt đường như: điều chỉnh thành phần cấp phối, sử dụng phụ gia.

- Nghiên cứu về các tham số vật liệu BTN như lực dính và góc nội ma sát, đặc trưng cho cường độ kháng cắt của một số loại BTN của Việt Nam [10, 11].

- Nghiên cứu đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến biến dạng lún VBX trong lớp BTN như: nhiệt độ môi trường, tải trọng tác động, nền và móng dưới lớp BTN của kết cấu AĐM, sự liên kết giữa các lớp BTN,...

Các nhà khoa học Việt Nam cũng đã thực hiện một số nghiên cứu về kiểm toán, tính toán lún VBX trong lớp BTN trong điều kiện Việt Nam như: đã kiểm toán điều kiện ổn định lún VBX theo các tiêu chuẩn của Trung Quốc, Belarus, Nga, sử dụng các giá trị phổ biến về các chỉ tiêu cơ lý của BTN chặt, nhựa 60/70 với nhiệt độ mẫu BTN ở 50°C để kiểm toán thử nghiệm đối với TL.25B đi qua Quận 2 / TP.Hồ Chí Minh theo Tiêu chuẩn thiết kế ADM của Nga; sử dụng phương pháp phân tử hữu hạn trên cơ sở ứng dụng các kết quả của thí nghiệm Wheel Tracking để dự tính độ sâu lún VBX, ứng tính toán với mặt đường của Đại lộ Đông Tây / TP.Hồ Chí Minh; mô phỏng ứng xử của vật liệu mặt đường bằng phương pháp phân tử hữu hạn và các phương pháp gia tải để tính toán chiều sâu lún VBX theo mức nhiệt độ làm việc ở 30°C và 60°C.

Trong quy trình thiết kế áo đường mềm hiện nay (TCCS 38:2022/TCĐBVN) chưa có yêu cầu tính toán chỉ tiêu lún VBX cho kết cấu ADM, do vậy tư vấn thiết kế chưa có quy định tính toán lựa chọn loại BTN có cường độ kháng cắt phù hợp với yêu cầu khai thác mặt đường của dự án thiết kế.

1.5. Các giải pháp khắc khắc phục lún lớp BTN trong nước và trên thế giới

Các giải pháp khắc khắc phục lún lớp BTN trên thế giới:

- Giải pháp cấu tạo và tính toán dự báo RD: Đưa ra quy trình tính toán RD lớp BTN theo yêu cầu khai thác cụ thể của từng tuyến đường, làm căn cứ lựa chọn loại BTN có cường độ kháng cắt phù hợp yêu cầu khai thác.

- Giải pháp vật liệu: Nghiên cứu các loại vật liệu mới có sức kháng cắt cao hoặc các phụ gia làm tăng khả năng kháng cắt trượt của BTN.

- Các giải pháp quản lý khai thác: Ở một số nước châu Âu hạn chế các phương tiện vận tải nặng lưu thông vào các giờ nắng nóng, khi nhiệt độ không khí trên 32°C; Một số quốc gia còn đưa ra quy định không chế tài trong trục xe lưu hành vào những giờ nắng nóng.

Các giải pháp khắc khắc phục lún lớp BTN tại Việt Nam:

- Giải pháp về vật liệu mặt đường: Quy định sử dụng cốt liệu đối với vật liệu mặt đường theo hướng thô hóa cốt liệu, có tác dụng làm tăng hệ số nội ma sát của hỗn hợp, góp phần làm tăng cường độ kháng cắt của hỗn hợp BTN (Quyết định số 858/QĐ-BGTVT, TCVN 13567:2022); Quy định kỹ thuật về phương pháp thử độ sâu vết hằn bánh xe của bê tông nhựa xác định bằng thiết bị wheel tracking để đánh giá khả năng kháng hằn lún của vật liệu BTN trước khi đưa vào sử dụng (Quyết định số 1617/QĐ-BGTVT); Ban hành TCVN 11193:2021; TCVN 13567-2:2022 tạo hành lang sử dụng BTN có độ kháng cắt cao.

- Giải pháp về quản lý khai thác: Quy định kiểm tra cân tải trọng trục xe trên các tuyến đường chính, đây được xem như một giải pháp nhằm kiểm soát, hạn chế các phương tiện quá khổ, quá tải lưu thông trên đường bộ (Thông tư số 06/2017/TT-BGTVT); Ban hành TCCS 21:2018/TCĐBVN để đo và đánh giá hư hỏng lún VBX xảy ra trên mặt đường mềm, đưa ra các giới hạn cần thiết để sửa chữa, khắc phục.

1.6. Những vấn đề cần nghiên cứu về biến dạng lún VBX trong lớp BTN trong điều kiện Việt Nam.

Một số vấn đề cần hoàn thiện, bổ sung như: i) Nghiên cứu phương pháp tính toán dự báo hằn lún lớp BTN để lựa chọn loại BTN phù hợp với yêu cầu khai thác, điều kiện nhiệt độ, thi công, vật liệu,... tại Việt Nam. ii) Đề xuất các giải pháp khắc phục biến dạng hằn lún lớp BTN trên các tuyến đường hiện nay: loại vật liệu BTN mới có sức kháng cắt phù hợp với điều kiện nắng nóng của Việt Nam, các giải pháp quản lý khai thác liên quan.

1.7. Lựa chọn nội dung nghiên cứu của luận án

Nghiên cứu, sử dụng phương pháp tính toán lý thuyết để xây dựng và đề xuất phương pháp tính toán chiều sâu lún lớp BTN trên làn xe chạy, cho phép: xét tổng lưu lượng trục xe chạy, xét được sự thay đổi độ lớn ứng suất cắt và độ lớn hệ số nhớt thay đổi theo chiều sâu do nhiệt độ thay đổi trong lớp BTN, phù hợp với điều kiện nắng nóng của Việt Nam.

Thí nghiệm trong phòng xác định hệ số nhớt phụ thuộc nhiệt độ của một loại BTN hiện có của Việt Nam hiện nay.

Đề xuất một số giải pháp hạn chế lún VBX lớp BTN trong điều kiện Việt Nam.

CHƯƠNG 2. PHÂN TÍCH ĐẶC TÍNH ĐÀN NHỚT ĐÉO CỦA BTN TRONG TÍNH TOÁN CHIỀU SÂU LÚN VẾT BÁNH XE LỚP BTN MẶT ĐƯỜNG

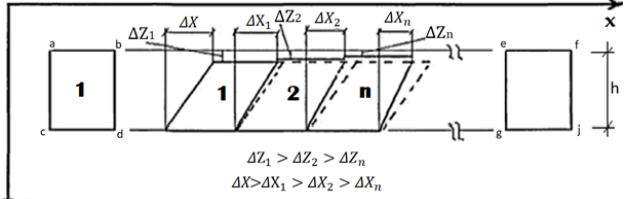
2.1. Cơ chế hình thành biến dạng lún VBX lớp BTN mặt đường

2.1.1. Mô hình tải trọng tác dụng lên lớp BTN mặt đường

Tải trọng bánh xe tác dụng xuống mặt đường bao gồm 2 thành phần tải trọng: tải trọng do trọng lượng bản thân theo phương thẳng đứng và lực ma sát theo phương ngang. Ở Việt Nam quy định tải trọng trục tính toán theo phương thẳng đứng là 10T cho các tuyến quốc lộ, tỉnh lộ, và 12T cho các tuyến đường trong các khu công nghiệp, áp lực bánh $q=0,6\text{MPa}$, đường kính vết tải trọng khi có xét hệ số xung kích của tải trọng động có xét ảnh hưởng của lực xung kích lấy $D=37\text{cm}$, khi xét với tải trọng tĩnh lấy $D=33\text{cm}$. Trên làn xe chạy lực ma sát có giá trị nhỏ, nên trong tính biến dạng lún VBX có thể bỏ qua.

2.1.2. Cơ chế hình thành vết lún bánh xe lớp BTN mặt đường

Quá trình hình thành vết lún bánh xe trên mặt đường là quá trình tích tụ biến dạng dẻo do trùng phục tải trọng bánh xe gây ra trong lớp BTN. RD tăng dần sau mỗi lần bánh xe lăn qua. Mỗi lần bánh xe di chuyển qua mặt cắt tính toán, phân biến dạng không hồi phục gây ra bởi tải trọng bánh xe trong lớp BTN mặt đường phân đều ra xung quanh VBX, trong đó phần BTN chuyển dịch ra 2 bên vết bánh tạo thành vết gờ trôi 2 bên VBX, tạo ra VBX dọc theo phương chuyển động. Vết hằn lún bánh xe trên làn xe chạy có mặt cắt ngang và kích thước tương tự nhau dọc theo suốt làn đường. Chiều sâu vết hằn lún lớn nhất nằm tại tâm VBX, càng xa ra vết tải trọng, một mặt giá trị ứng suất cắt gây biến dạng lớp vật liệu giảm dần, mặt khác do phân vật liệu nằm phía ngoài vết tải trọng cản trở, trong khi tại bề mặt lớp vật liệu là bề mặt tự do, nên một phần thể tích khối vật liệu bị biến dạng có xu hướng chuyển dịch trôi lên trên, tạo thành vết gờ 2 bên vết lún.



Hình 2.3: Cơ chế hình thành vết lún bánh xe lớp BTN mặt đường

Từ Hình 2.3 và theo [7,9,23,72], tại phân tử thứ i , ta có:

- Biến dạng trượt ngang của phân tử: $\gamma_i = \Delta X_i / h$;

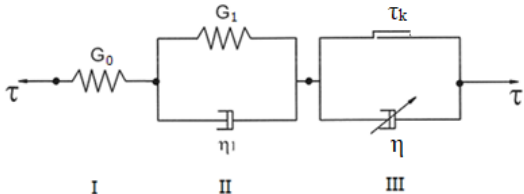
- Biến dạng theo phương đứng của phân tử: $\varepsilon_i = \Delta Z_i / h$,

trong đó: ΔX_i , ΔZ_i – tương ứng là chuyển dịch trượt ngang và độ lún theo phương đứng của phân tử thứ i ; h - chiều cao của phân tử.

2.2. Phân tích đặc tính đàn nhớt dẻo vật liệu BTN phục vụ tính toán lún VBX của lớp BTN mặt đường

2.2.1. Mô hình cơ học vật liệu BTN dưới tác dụng của tải trọng động

Có nhiều mô hình cơ học của vật liệu được áp dụng trong tính toán ứng suất - biến dạng của lớp BTN. Trong luận án, khi xét lớp BTN chịu tác dụng của tải trọng động gây biến dạng đàn nhớt dẻo cho lớp BTN, chọn sử dụng mô hình theo cơ học môi trường liên tục bao gồm 3 nhóm phần tử liên kết nối tiếp nhau theo



Hình 2.6: Mô hình cơ học của BTN khi xét biến dạng đàn nhớt dẻo

[64,65,69,70] (Hình 2.6): nhóm I đặc trưng cho đặc tính đàn hồi, gồm 1 phân tử lò xo có mô đun trượt G_0 , nhóm phân tử II đặc trưng cho đặc tính đàn nhớt, biến dạng tuyến tính, gồm phân tử lò xo có độ cứng G_1 , liên kết song song với phân tử pit tổng có hệ số nhớt không đổi (nhớt newton) η_1 , có độ lớn phụ thuộc loại BTN. Nhóm phân tử thứ III, đặc trưng tính nhớt dẻo của BTN gồm phân tử xanh võ năng đặc trưng giới hạn chảy dẻo của BTN, liên kết song song với pit tổng có hệ số nhớt dẻo thay đổi (nhớt phi newton), phụ thuộc tốc độ biến dạng do tải trọng gây ra.

Khi ứng suất cắt do tải trọng gây ra có giá trị nhỏ hơn giới hạn chảy dẻo quy ước của BTN (τ_k), biến dạng của vật liệu là biến dạng đàn nhớt có hồi phục, gồm nhóm phân tử I và nhóm phân tử II làm việc, có hệ số nhớt không đổi. Nhưng khi ứng suất cắt do tải trọng gây ra (τ_{max}) vượt giới hạn chảy dẻo quy ước của BTN (τ_k), phân tử xanh võ năng của nhóm phân tử III tham gia làm việc, biến dạng vật liệu từ biến dạng đàn nhớt chuyển sang biến dạng nhớt dẻo, là biến dạng phi tuyến, không hồi phục. Ở giai đoạn này, hệ số nhớt η_1 chuyển sang hệ số nhớt dẻo có độ lớn phụ thuộc độ nhớt của mỗi loại BTN và tốc độ biến dạng của lớp BTN.

Từ phân tích trên cho thấy, mức độ biến dạng nhớt dẻo của BTN phụ thuộc độ lớn hệ số nhớt dẻo (η) của BTN và độ lớn ứng suất cắt do tải trọng gây ra. Quan hệ giữa hệ số nhớt và ứng suất cắt gây biến dạng không hồi phục ở mức nhiệt độ xác định, theo lý thuyết dẻo được thể hiện theo công thức:

$$\eta = \frac{\tau_{max} - \tau_k}{d\gamma} = \frac{\tau}{d\gamma}, \quad (2.1) \quad \text{trong đó: } \tau_k - \text{giới hạn chảy dẻo của BTN, MPa;}$$

τ_{max} - ứng suất cắt lớn nhất do tải trọng

gây ra, MPa;

$d\gamma/dt$ - tốc độ biến dạng, 1/s;

η - hệ số nhớt dẻo của BTN, được xác định bằng thí nghiệm mẫu, MPa.s;

Biến đổi công thức (2.1), ta có:

$$\tau = \eta \frac{d\gamma}{dt} \quad (2.2)$$

Độ lớn của hệ số nhớt của từng loại BTN phụ thuộc độ nhớt của nhựa bitum và thành phần cấp phối của cốt liệu. Khi độ nhớt của nhựa bitum tăng lên hoặc khi nhiệt độ môi trường giảm sẽ làm tăng hệ số nhớt của BTN, ngược lại khi độ nhớt của nhựa bitum giảm hoặc nhiệt độ môi trường tăng lên sẽ làm giảm độ lớn hệ số nhớt. Các loại phụ gia sử dụng trong nhựa bitum góp phần làm tăng độ dính bám, tăng khả năng chịu nhiệt của nhựa bitum, đều góp phần làm tăng hệ số nhớt của BTN. Ngoài ra, thành phần cấp phối, kích cỡ hạt, độ nhám bề mặt cốt liệu, cũng góp phần làm thay đổi hệ số nhớt của BTN.

Từ công thức (2.2) cho thấy, để xác định mức độ biến dạng dẻo của lớp BTN gây lún VBX, cần xác định độ lớn hệ số nhớt của BTN và xác định mô đun đàn hồi động của BTN phục vụ tính toán ứng suất cắt gây ra biến dạng dẻo trong lớp BTN.

2.2.2. Mô đun đàn hồi động của vật liệu BTN

Khái niệm mô đun đàn hồi động (E^*) của vật liệu BTN: Trên làn xe chạy, tải trọng tác dụng lên lớp BTN mặt đường là tải trọng động, nên ứng xử của lớp vật liệu BTN thể hiện đặc tính đàn nhớt. Khi đó, đặc trưng khả năng kháng biến dạng của vật liệu không chỉ có tham số mô đun đàn hồi, mà còn tham số mô đun nhớt, phụ thuộc hệ số nhớt của vật liệu. Để đơn giản trong tính toán, trong các bài toán động lực học mô tả quan hệ ứng suất - biến dạng của lớp vật liệu chịu tác dụng của tải trọng động, sử dụng tham số mô đun đàn hồi động quy đổi ứng xử động lực học của vật liệu có tính đàn nhớt về ứng xử động lực học của vật liệu đàn hồi tương đương, thông qua việc thay thế đại lượng lượng mô đun đàn hồi và mô đun nhớt của vật liệu đàn nhớt bằng đại lượng mô đun đàn hồi động của vật liệu theo nguyên lý đàn hồi - đàn nhớt tương đương [23,25,26,56,57,58,60].

Đặc tính nhớt của vật liệu có tác dụng hấp thụ năng lượng, làm suy giảm biến dạng do tải trọng động gây ra. Khi vật liệu BTN là đàn nhớt dưới tác dụng của tải trọng động, đại

lượng mô đun đàn hồi động là đại lượng đặc trưng cho khả năng kháng biến dạng của vật liệu dưới tác dụng của tải trọng động, có giá trị lớn hơn so với giá trị mô đun đàn hồi tĩnh của cùng loại vật liệu khi chấp nhận BTN là vật liệu đàn hồi, với cùng độ lớn của tải trọng. Khi chịu tác động của tải trọng động, trong lớp BTN xuất hiện lực cản nhớt có tác dụng cản trở biến dạng của lớp BTN, có độ lớn phụ thuộc hệ số nhớt của hỗn hợp BTN và tốc độ gia tải (vận tốc phương tiện).

Ảnh hưởng của thời gian tác dụng tải trọng đến E^* của BTN:

Trong quy trình tính toán thiết kế kết cấu áo đường của Nga [83,88], xác định ứng suất - biến dạng trong các lớp vật liệu AĐM quy định đại lượng mô đun đàn hồi động được xác định tương ứng với thời gian tác dụng của tải trọng (tốc độ biến dạng) ở nhiệt độ tính toán, gây ra biến dạng trong các lớp vật liệu của kết cấu, phụ thuộc đường kính chậu võng mặt đường. Thời gian tác dụng của tải trọng [20,23,27]:

$$t_u = \frac{D_{cv}}{V} = \frac{12a}{V}, \quad (2.9) \quad \text{Trong đó: } a - \text{ bán kính quy đổi VBX, m;}$$

$$V - \text{ vận tốc xe chạy tính toán, m/s;}$$

$$D_{cv} - \text{ đường kính chậu võng, m.}$$

Theo quy trình thiết kế của Nga và Mỹ, khi tính toán kết cấu mặt đường đều chấp nhận lấy thời gian tác dụng của tải trọng là 0,1s, tương đương thời gian tác dụng của tải trọng trục xe có vận tốc tính toán trung bình $80 \div 100$ km/h. Các giá trị mô đun đàn hồi động tương ứng với từng mức nhiệt độ, của từng loại BTN hiện đã được xác định bằng thí nghiệm mẫu và được công bố trong quy trình của Mỹ [20,23,27] và của Nga [88].

Khác với tính toán độ võng kết cấu áo đường, khi tính toán chiều sâu lún VBX lớp BTN, do biến dạng lớp BTN trong miền biến dạng dẻo nên vết hằn lún lớp BTN chỉ xảy ra trong phạm vi VBX, khi đó quy định thời gian tác dụng của tải trọng trong tính toán hằn lún lớp BTN được xác định [65,72,76,80]:

$$t_p = \frac{D}{V}, \quad (2.10) \quad \text{trong đó: } D - \text{ đường kính VBX hình tròn quy đổi, m;}$$

$$V - \text{ vận tốc xe chạy tính toán, m/s.}$$

Do giá trị E^* phụ thuộc thời gian tác dụng của tải trọng, nên để tính toán biến dạng hằn lún với thời gian tác dụng của tải trọng bằng t_p tính theo (2.10), giá trị E^* của BTN được xác định bằng thí nghiệm mẫu với thời gian tác dụng tải trọng tương ứng t_p .

Khi không có điều kiện thí nghiệm mẫu, cũng có thể tham khảo áp dụng công thức chuyển đổi mô đun đàn hồi động từ thời gian tác dụng của tải trọng tính bằng 0,1s, về thời gian tác dụng của tải trọng t_p tính theo (2.10), được xác định như sau [72,80]:

$$E_u^T = E_{0,1s} \cdot \left(\frac{t_p}{0,1} \right)^{-(0,01487+0,18)} \quad (2.12) \quad \text{trong đó: } T - \text{ nhiệt độ tính toán, } ^\circ\text{C;}$$

$$t_p - \text{ thời gian tính toán của tải trọng, s.}$$

$E_{0,1s}$ - mô đun động với thời gian tác dụng của tải trọng 0,1s, với nhiệt độ tính toán (T), được xác định bằng thí nghiệm.

Nhiệt độ trong lớp BTN: Nhiệt độ trong lớp BTN tại một thời điểm thay đổi theo chiều sâu lớp BTN, phụ thuộc nhiệt độ bề mặt. Để tính toán các đặc trưng cường độ của lớp BTN thay đổi theo chiều sâu lớp BTN do nhiệt độ thay đổi, cần biết nhiệt độ lớn nhất và nhỏ nhất trên bề mặt lớp BTN trong suốt thời kỳ khai thác.

Nhiệt độ tại bề mặt lớp BTN: Để xác định nhiệt độ bề mặt lớp BTN có thể sử dụng phương pháp thực nghiệm LTPP [29]. Quy định nhiệt độ T_{max} được lấy ở 2cm cách bề mặt lớp BTN, phụ thuộc nhiệt độ không khí lớn nhất (xét điều kiện khu vực) và nhiệt độ bức xạ mặt trời (thông quan vị trí địa lý theo độ vĩ tuyến):

$$T_{max} = 54,32 + 0,78 \cdot T_{kk,max} - 0,0025 \cdot V\bar{D}^2 - 15,14 \cdot \log(H+25) + z(9+0,61 \cdot \sigma^2)^{0,5} \quad (2.15)$$

Nhiệt độ mặt đường thấp nhất, theo [29] ta có:

$$T_{min} = -1,56 + 0,72 \cdot T_{kk,min} - 0,004V\bar{D}^2 + 6,26 \log(H+25) - z(4,4+0,52 \cdot \sigma^2)^{0,5} \quad (2.16)$$

trong đó: T_{max} , T_{min} - nhiệt độ tính toán lớn nhất và nhỏ nhất, $^\circ\text{C}$;

$T_{kk,max}, T_{kk,min}$ - nhiệt độ không khí 7 ngày liên tục lớn nhất và nhỏ nhất, °C;

VĐ - vĩ độ khu vực; σ - độ lệch chuẩn số liệu đo.

H - chiều sâu tính toán, trong tính toán lún VBX nhiệt độ bề mặt lấy $H=20\text{mm}$;

z - tham số của phân bố chuẩn, lấy theo độ tin cậy, trong điều kiện Việt Nam, có thể lấy độ tin cậy 95%, khi đó tham số $z=1,645$;

Nhiệt độ theo chiều sâu lớp BTN:

Công thức thực nghiệm tính nhiệt độ theo chiều sâu lớp BTN với mức nhiệt độ bề mặt bất kỳ từ T_{min} đến T_{max} trên bề mặt [36]: $T_z = b \cdot \ln(0,01z + 1,0) + T_{bm}$, (2.17)

trong đó: T_z - nhiệt độ tại độ sâu z, °C; z - độ sâu tính toán, cm;

b - hệ số thực nghiệm, phụ thuộc nhiệt độ bề mặt tính toán, có thể tính theo công thức:

$$b = -0,0028 \cdot (T_{bm})^2 - 0,1787 \cdot (T_{bm}) + 3,406$$

Thay T_{bm} vào (2.17) sẽ tính được T_z ở các độ sâu khác nhau.

Thay các giá trị nhiệt độ bề mặt và theo chiều sâu z lớp BTN theo (2.15) ÷ (2.17) vào công thức (2.13), sẽ xác định được giá trị đại lượng mô đun đàn hồi động của BTN phụ thuộc nhiệt độ tại các độ sâu khác nhau trong lớp BTN.

2.3. Thí nghiệm xác định hệ số nhớt hỗn hợp BTN

2.3.1. Các phương pháp thí nghiệm xác định hệ số nhớt của BTN

Hiện nay, Việt Nam chưa ban hành quy trình thí nghiệm xác định hệ số nhớt của BTN. Tại Nga đã ban hành 02 quy trình thí nghiệm hệ số nhớt của hỗn hợp BTN [69,75,79], trong đó: Quy trình thí nghiệm xác định hệ số nhớt trực tiếp từ mẫu [69] yêu cầu sử dụng thiết bị thí nghiệm chuyên dùng, khó thực hiện trong điều kiện thực tế tại Việt Nam, luận án đề xuất sử dụng phương pháp thí nghiệm gián tiếp để áp dụng thực hiện.

Phương pháp thí nghiệm xác định hệ số nhớt gián tiếp từ cường độ nén của BTN: mỗi loại BTN ở mỗi mức nhiệt độ nhất định có độ lớn hệ số nhớt và cường độ nén nhất định, phụ thuộc loại nhựa bitum và thành phần cấp phối cốt liệu của hỗn hợp. Nên giữa hệ số nhớt và cường độ nén của mỗi loại BTN ở nhiệt độ tính toán có quan hệ chặt với nhau. Quan hệ trên có dạng như sau [75,79]:

$$\eta = \left(\frac{R_n}{a} \right)^3, \quad (2.20) \quad \text{trong đó: } \eta - \text{hệ số nhớt tại nhiệt độ tính toán, MPa.s;}$$

R_n - cường độ nén mẫu, MPa;

a - hệ số, phụ thuộc loại BTN và nhiệt độ tính toán, xác định bằng thí nghiệm.

Từ kết quả nghiên cứu với loại BTNC có cốt liệu thô nhóm B, có hàm lượng thô $D \geq 4,75\text{mm}$ trong khoảng (40 ÷ 50) %, nhựa bitum 60/70, trong phạm vi từ (0 ÷ 70) °C, theo [75,79] giá trị hệ số a được xác định: $a = 0,000107 \cdot T^2 + 0,00245 \cdot T + 0,0473$, (2.21)

Loại BTNC theo TCVN 8819:2011 ở Việt Nam có thành phần cốt liệu thô gần tương tự nhóm B theo quy định của Nga, do không có điều kiện thí nghiệm kiểm chứng hệ số a trong điều kiện vật liệu BTN của Việt Nam, kiến nghị dùng hệ số a theo công thức (2.21).

2.3.2. Thí nghiệm xác định hệ số nhớt của BTN hiện có tại Việt Nam

Các loại BTN hiện có tại Việt Nam: Hiện nay ở Việt Nam đang sử dụng phổ biến 03 loại BTNC: BTNC sử dụng nhựa thông thường theo TCVN 8819:2011 [4], BTNC sử dụng nhựa thông thường theo TCVN 13567-1:2022 (trên cơ sở QĐ 858/2014[1]); BTNP theo TCVN 13567-2:2022. Do không có điều kiện thí nghiệm nhiều loại BTN khác nhau, nên trong luận án kiến nghị thí nghiệm hệ số nhớt cho 01 loại BTNC.

Hiện nay tình trạng lún VBX ở Việt Nam chủ yếu xảy ra trên các tuyến sử dụng loại BTNC12,5 theo TCVN 8819:2011. Để tiện so sánh đánh giá chiều sâu lún VBX giữa tính toán theo công thức đề xuất với chiều sâu lún VBX lớp BTN thực tế trên các tuyến đường khảo sát, chọn thí nghiệm hệ số nhớt của loại BTNC12,5 theo TCVN 8819:2011.

Kết quả xác định hệ số nhớt BTNC12,5 theo TCVN 8819:2011:

Quy trình thực hiện thí nghiệm:

- Đưa mẫu về nhiệt độ thí nghiệm: Ngâm mẫu trong thời gian 60 phút trong bể ổn định nhiệt sau khi đưa nhiệt độ của bể về nhiệt độ thí nghiệm

- Lắp đặt mẫu vào thiết bị nén, sử dụng thiết bị thí nghiệm Marshall của hãng Daiwa Kenko – Nhật Bản.

- Cho thiết bị nén mẫu xác định lực khi mẫu bị phá hoại.

Phân tích và xử lý số liệu:

Các kết quả thí nghiệm được thể hiện ở Bảng 2.9 và Hình 2.14.

Bảng 2.9. Kết quả thí nghiệm

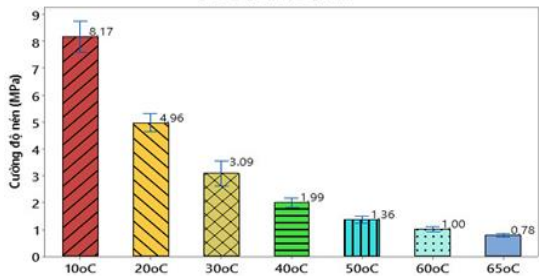
Mẫu thí nghiệm	Cường độ nén mẫu, MPa						
	10 °C	20 °C	30 °C	40 °C	50 °C	60 °C	65 °C
1	8,16	4,74	3,45	2,01	1,42	1,04	0,72
2	8,67	5,14	2,97	1,95	1,28	0,86	0,70
3	7,25	4,68	2,94	2,28	1,47	1,12	0,75
4	8,48	4,66	2,73	1,79	1,26	1,04	0,86
5	8,62	5,43	2,65	1,90	1,53	0,96	0,86
6	7,84	5,16	3,80	2,01	1,20	1,02	0,83
Cường độ nén trung bình (MPa)	8,17	4,96	3,09	1,99	1,36	1,0	0,78
Độ lệch chuẩn, s	0,55	0,32	0,45	0,16	0,13	0,09	0,07
Hệ số biến sai đạt được, Cv (%)	4,50	4,00	9,50	6,50	6,50	6,50	6,00



Hình 2.13: Chạy thí nghiệm các mẫu

Từ kết quả thu thập được, ứng dụng phần mềm Minitab 19 xây dựng phương trình quan hệ giữa Cường độ phá hoại mẫu và nhiệt độ thí nghiệm. Theo các nghiên cứu đã biết, quan hệ giữa cường độ phá hoại của mẫu BTN và nhiệt độ là quan hệ phi tuyến, vì vậy sử dụng một số dạng hàm phi tuyến cơ bản để xây dựng phương trình quan hệ, kết quả xây dựng trình bày trong Bảng 2.10.

Biểu đồ cường độ nén mẫu
95% CI giá trị trung bình



Hình 2.14: Biểu đồ cường độ nén mẫu

Bảng 2.10: Các hàm quan hệ giữa R_n và T (°C)

STT	Hàm quan hệ	Hệ số xác định (R^2)	Tỷ số Se/Sy
1	$R_n = 11,15 - 0,3534 T + 0,003040 T^2$	97,9	0,147
2	$R_n = 12,82 - 0,5544 T + 0,009308 T^2 - 0,000056 T^3$	98,7	0,116
3	$R_n = e^{2,54846 - 0,0460028T}$	98,5	0,122
4	$R_n = 16,963 - 3,96304 \ln T$	97,3	0,163

So sánh Hệ số xác định (R^2) và tỷ số Se/Sy của các phương trình quan hệ đã xây dựng, ta thấy Hàm quan hệ có hệ số xác định lớn nhất $R^2 = 98,7\%$ tương ứng với tỷ số Se/Sy nhỏ nhất $= 0,116 < 0,35$ phản ánh chính xác nhất mối quan hệ giữa Cường độ phá hoại mẫu (MPa) và Nhiệt độ làm việc của mẫu (°C):

$$R_n = 12,82 - 0,5544 T + 0,009308 T^2 - 0,000056 T^3 \quad (2.24)$$

Từ công thức (2.20) ta có hàm quan hệ:

$$\eta_r = \left(\frac{12,82 - 0,5544.T + 0,009308.T^2 - 0,000056.T^3}{0,0473 + 0,00245.T + 0,000107.T^2} \right)^3 \quad (2.25)$$

trong đó: nhiệt độ T phụ thuộc các mùa trong năm và phụ thuộc chiều sâu lớp BTN mặt đường trong điều kiện khí hậu Việt Nam, lấy trọng phạm vi từ 0°C đến 70°C.

2.4. Kết luận chương 2

Cơ chế hình thành lún VBX lớp BTN trên làn xe chạy: khi ứng suất cắt vượt qua giới hạn chảy dẻo BTN sẽ gây biến dạng hình học (không hồi phục) lớp vật liệu. Vết lún bánh xe trên làn xe chạy là quá trình tích tụ biến dạng dẻo lớp BTN trong quá trình khai thác.

Đặc tính nhất của BTN phụ thuộc nhiệt độ và tốc độ biến dạng (thời gian tác dụng của tải trọng), là cơ sở lựa chọn phương pháp phân tích sự làm việc của lớp BTN dưới tác dụng của tải trọng động thông qua tham số mô đun đàn hồi động - đặc trưng cho khả năng kháng biến dạng của BTN. Trên cơ sở đó kiến nghị sử dụng tham số hệ số số nhất của BTN trong tính toán RD lớp BTN trên làn xe chạy, theo nguyên lý cơ học môi trường liên tục.

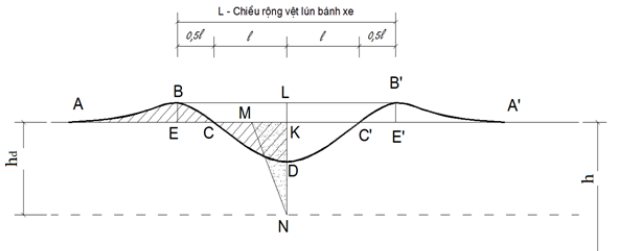
Đã tiến hành thí nghiệm mẫu BTNC12,5 theo TCVN 8819:2011, xác định hệ số số nhất BTN có độ lớn thay đổi theo nhiệt độ, phục vụ tính toán chiều sâu vết lún lớp BTN. Số lượng mẫu đủ lớn nên kết quả thí nghiệm đảm bảo độ tin cậy.

CHƯƠNG 3. NGHIÊN CỨU ĐỀ XUẤT PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN CHIỀU SÂU LÚN VBX LỚP BTN MẶT ĐƯỜNG TRONG ĐIỀU KIỆN VIỆT NAM

3.1. Cơ sở lý thuyết tính toán lún VBX lớp BTN mặt đường

Áp dụng phương pháp tính toán lý thuyết theo nguyên lý cơ học môi trường liên tục, xét vật liệu BTN theo mô hình cơ học vật liệu đàn hồi dẻo theo Hình 2.6, tính toán chiều sâu vết lún lớp BTN trên làn xe chạy theo điều kiện dẻo Tresca-Saint Venant, biến dạng dẻo do ứng suất cắt gây ra là biến dạng hình học lớp BTN.

Chấp nhận giả thiết tác dụng của tải trọng bánh xe tạo ra biến dạng lún VBX lớp BTN là biến dạng phẳng, vuông góc với phương chuyển động, đưa bài toán tính chiều sâu vết lún về bài toán phẳng [68,69,70]. Trên Hình 3.1 mô phỏng mặt cắt ngang vết lún bánh xe lớp BTN mặt đường điển hình trên làn xe chạy. Như đã phân tích trong mục 2.1.2, khi xét lún VBX chỉ xảy ra ở lớp BTN bề mặt, phần thể tích BTN mặt đường bị đùn trôi đều sang hai bên bằng với thể tích phân BTN bị biến dạng lún ($S_{ABC} = S_{CKD}$ và $S_{A'B'C'} = S_{C'KD}$). Kí hiệu đoạn BB' là chiều rộng vết lún (L), đoạn LD là chiều sâu vết hấn lún (RD - Rutting Depth). Theo quan trắc thực tế nêu trong [68,69,70,89] chấp nhận gần đúng, chiều rộng vết lún của bản thân lớp BTN, đoạn $CC' = 2/3L$, đoạn $CE = C'E' = \ell/2$, với $\ell = L/3$, còn chiều cao vết gờ trời $EB = E'B' = RD/3$, các tỉ lệ này tương đối ổn định trong suốt quá trình hình thành vết lún bánh xe. Chiều sâu vùng biến dạng dẻo tính toán lớp BTN kí hiệu là h_d , chiều dày lớp BTN kí hiệu là h (Hình 3.1).



Hình 3.1: Sơ đồ vết lún bánh xe lớp BTN mặt đường

Đề tính chiều sâu lún VBX, chấp nhận khái niệm mặt trượt ngang quy ước của lớp BTN gây ra lún VBX [69,70] (hình MKN trên Hình 3.1), khi đó trên mặt cắt ngang vết lún, mặt trượt ngang quy ước của nửa vết lún (hình MKN) sẽ có diện tích bằng với diện tích nửa vết lún là hình CKD, đồng thời để đơn giản trong tính toán chấp nhận giả thiết gần đúng các hình trên đều là hình tam giác vuông,

khi đó nhận được diện tích 2 tam giác:

$$\frac{KC.KD}{2} = \frac{KN.KM}{2} \quad (3.1)$$

Theo lý thuyết dẻo, đại lượng biến dạng trượt ngang tương đối gây ra lún VBX quy ước có giá trị:

$$\gamma_p = \frac{KM}{KN}. \quad (3.2)$$

Biến đổi công thức (3.1) kết hợp với (3.2) nhận được:

$$\gamma_p = \frac{KM}{KN} = \frac{KC \cdot KD}{KN^2} = \frac{l}{h_d} \cdot \frac{KD}{h_d}. \quad (3.3)$$

trong đó: l – nửa chiều rộng vùng biến dạng lún của lớp BTN theo phương ngang;

h_d – chiều sâu vùng biến dạng dẻo tính toán trong lớp BTN, được xác định bằng khảo sát thực tế hoặc bằng tính toán lý thuyết, cm.

Khái niệm biến dạng trượt ngang quy ước đã được sử dụng trong tính toán quy đổi từ biến dạng trượt ngang γ tính theo công thức (1.9) sang chiều sâu lún VBX tính theo công thức (1.10) trong quy trình tính toán chiều sâu lún VBX trong [69,81] hiện nay của Nga.

Trong luận án, đề xác định chiều sâu lún VBX, chấp nhận sử dụng khái niệm mặt trượt ngang quy ước và dựa trên cơ sở lý thuyết đàn nhớt và lý thuyết nhớt dẻo theo nguyên lý cơ học môi trường liên tục, theo điều kiện dẻo Treska-Saint Venant, xét biến dạng gẫy lún VBX lớp BTN do ứng suất cắt gây ra. Ứng dụng mô hình cơ học đàn-nhớt-dẻo của vật liệu BTN chịu tác dụng của tải trọng động trên làn xe chạy nêu trong mục 2.2.1, Hình 2.6, để xây dựng công thức tính chiều sâu lún VBX của lớp BTN mặt đường.

Theo lý thuyết biến dạng đàn hồi, biến dạng dẻo [7,65] và theo mục 2.1.2, hình 2.3, trong công thức (3.3) đại lượng KD/h_d chính là biến dạng dẻo tương đối (kí hiệu ε_p) theo phương đứng của phân tử tại tâm vết lún là vị trí RD

có độ sâu lớn nhất của vết lún (Hình 2.3), với $l=L/3$, $\varepsilon_p = \frac{\gamma_p \cdot h_d}{l} = \frac{3h_d}{L} \gamma_p$. (3.4)

khi đó thay vào (3.3) và sau biến đổi nhận được:

Theo [69,70,81], các đại lượng chiều rộng (L) và chiều sâu vùng biến dạng dẻo tính toán (h_d) trong lớp BTN là các đại lượng tương đối ổn định ở mỗi làn đường phụ thuộc điều kiện khai thác cụ thể, nên đại lượng $3h_d/L$ là tương đối ổn định. Khi đó ở trong điều kiện khai thác cụ thể của mặt đường, quan hệ giữa biến dạng trượt ngang và biến dạng theo phương đứng (γ_p và ε_p) ở tâm vết lún có quan hệ chặt chẽ với nhau. Khi đại lượng biến dạng trượt ngang lớn thì biến dạng tương đối theo phương đứng cũng lớn và ngược lại. Đặt $k=3h_d/L$ là hệ số có độ lớn ổn định, phụ thuộc loại trục xe, loại BTN và điều kiện khai thác thực tế, khi đó từ công thức (3.4) ta có quan hệ giữa biến dạng theo phương đứng và biến dạng trượt ngang tại tâm vết lún bánh xe:

$$\varepsilon_p = k \cdot \gamma_p. \quad (3.5)$$

Theo mô hình cơ học của hỗn hợp BTN trong miền biến dạng nhớt dẻo (Hình 2.6) và từ công thức (2.2) và biến đổi ta có:

$$d\gamma_p = \frac{\tau \cdot dt}{\eta}. \quad (3.6) \text{ trong đó: } \tau - \text{phần ứng suất cắt gây biến dạng không hồi phục, MPa;}$$

t - biến thời gian tác dụng của tải trọng, s;

η - hệ số nhớt dẻo lớp BTN, xác định theo (2.25), MPa.s.

Lấy tích phân về trái theo biến là biến dạng γ_p , về phải theo biến là thời gian t , ta có:

$$\int_0^{\gamma} d\gamma_p = \int_0^t \frac{\tau}{\eta} dt. \quad (3.7)$$

Tại mỗi thời điểm, nhiệt độ bề mặt và ở mỗi độ sâu, mức nhiệt độ lớp BTN là cố định, khi đó giá trị ứng suất cắt (τ) và hệ số nhớt (η) là các hằng số, nên theo [7,23] lấy tích phân (3.7) về trái theo biến γ_p , về phải theo biến t , nhận được công thức sau:

$$\gamma_p = \frac{\tau}{\eta} \cdot t. \quad (3.8)$$

Thay (3.8) vào (3.5), và sau một số biến đổi, nhận được (3.9):

$$\varepsilon_p = k \cdot \gamma_p = k \cdot \frac{\tau}{\eta} \cdot t, \quad (3.9)$$

Theo lý thuyết dẻo [7,65], từ (3.9), khi biết biến dạng tương đối ε_p theo phương đứng, ta có chiều sâu hần lún lớp BTN (đoạn KD Hình 3.1), tính cho một mức nhiệt độ tại bề mặt lớp BTN, theo công thức:

$$KD = \int_0^h \varepsilon_p \cdot dz = k \cdot t \cdot \int_0^h \frac{\tau_z}{\eta_z} dz. \quad (3.10)$$

Trong công thức (3.10), khi tính chiều sâu lún VBX thì đại lượng t là tổng thời gian tác dụng tính toán của tải trọng trùng phục gây ra biến dạng dẻo lớp BTN trong suốt thời kỳ khai thác, phụ thuộc số lần tác dụng của tải trọng. Quá trình gia tăng biến dạng không hồi phục không tỉ lệ với số lần tác dụng của tải trọng mà thay đổi theo từng giai đoạn biến dạng trong suốt thời gian khai thác [36,41,65,86]. Ở giai đoạn đầu quá trình biến dạng, lớp vật liệu bị lèn chặt, các hạt cốt liệu cài móc với nhau, lấp kín các lỗ rỗng còn lại trong quá trình thi công, nên tỉ lệ biến dạng (mức biến dạng trên số lượt tải trọng tác dụng) có giá trị lớn, quan hệ biến dạng và số lượt tác dụng của tải trọng mang tính phi tuyến. Giai đoạn tiếp theo, khi các hạt cốt liệu đã được cài móc chặt, mức biến dạng giảm đi, quan hệ giữa mức biến dạng và số lần tác dụng của tải trọng tương đối tuyến tính. Khi đó để tính tổng thời gian tác dụng của tải trọng gây lún VBX phụ thuộc số lần tác dụng của tải trọng tại tiết diện tính toán, có thể được xác định gần đúng theo công thức như sau [65]:

$$t = N.t_p \cdot \left(1 - e^{-\frac{\sqrt{N.t_p}}{N.t_p}} \right) \quad (3.11)$$

trong đó: t_p – thời gian tác dụng 1 lần của tải trọng tính theo (2.8), s;
 N – tổng số lượt trục xe khai thác quy đổi, có xét xác suất trùng phục của trục tải trọng đi qua một điểm xem xét, tính theo công thức (3.12) theo [67]:

$$N = N_1 \left(\frac{q_N - 1}{q_N - 1} \right) \cdot T \cdot k_p, \quad (3.12)$$

trong đó: t_N – thời gian khai thác, năm;
 T – số ngày khai thác trong năm, ngày;

N_1 – lưu lượng trục xe trong năm đầu khai thác, trục xe/lần/ng.đ;

q_N – mức tăng trưởng lưu lượng dự báo trung bình hàng năm;

k_p – hệ số xét xác suất trùng phục VBX qua 1 điểm của vật tải trọng trên làn xe.

Lấy tích phân (3.10) và thay thời gian tác dụng của tải trọng theo (3.11) ta được chiều sâu vết hằn lún trực tiếp của lớp BTN (đoạn KD), chưa xét vết gờ trời 2 bên:

$$KD = k \cdot N \cdot t_p \cdot \left(1 - e^{-\frac{\sqrt{N.t_p}}{N.t_p}} \right) \cdot \int_0^h \frac{\tau_z}{\eta_z} dz \quad (3.13)$$

Để tính tổng chiều sâu vết hằn lún của lớp BTN cần xét thêm vết gờ trời lên ở hai bên làm tăng chiều sâu vết hằn lún. Chiều cao vết gờ trời có giá trị tương đối ổn định, theo phân tích trong mục 2.1.3 lấy xấp xỉ bằng 1/3 chiều sâu vết lún (KL=LD/3). Khi đó chiều sâu vết lún (RD), có xét cả chiều cao vết gờ trời 2 bên, được xác định:

$$KD = 1,5 \cdot k \cdot N \cdot t_p \cdot \left(1 - e^{-\frac{\sqrt{N.t_p}}{N.t_p}} \right) \cdot \int_0^h \frac{\tau_z}{\eta_z} dz \quad (3.14)$$

Trong công thức (3.14), các đại lượng τ_z và η_z là các đại lượng phụ thuộc chiều sâu tính toán lớp BTN. Trong đó, đại lượng η_z được xác định bằng thí nghiệm mẫu BTN, với BTNC12,5 theo TCVN 8819:2011 có thể xác định theo công thức (2.25). Đại lượng τ_z gây ra biến dạng dẻo trong công thức (3.14) có xét giới hạn chảy dẻo của BTN thông qua hệ số nội ma sát, do nhiệt độ giảm tại độ sâu z làm tăng mô đun đàn hồi BTN, có tác dụng làm suy giảm ứng suất cắt theo chiều sâu, trong tính toán có thể áp dụng công thức (1.18).

Biến dạng lún VBX tính theo (3.14) là áp dụng cho tính toán biến dạng tính cho từng mức nhiệt độ tính toán tại bề mặt lớp BTN. Trong suốt quá trình khai thác với tổng N lượt trục xe, nhiệt độ bề mặt lớp BTN luôn thay đổi trong phạm vi từ giá trị thấp nhất (T_{\min}) đến giá trị cao nhất (T_{\max}). Do vậy, để tính tổng chiều sâu vết lún bánh xe trong suốt quá trình khai thác, cần xác định tần suất xuất hiện các mức nhiệt độ từ (T_{\min}) đến (T_{\max}), trong suốt quá trình khai thác. Theo [31,32,69,70] có thể xác định tần suất này như sau:

- Khi mức nhiệt độ trong khoảng ($T_{\min} - 2^{\circ}\text{C}$) $\leq T \leq (T_{\min} + 10^{\circ}\text{C})$:

$$P(T) = \frac{T - T_{\min} + 2}{12(T_{\max} - T_{\min} - 8)}, \quad (3.16)$$

- Khi mức nhiệt độ trong khoảng ($T_{\min} + 10^{\circ}\text{C}$) $\leq T \leq (T_{\max} - 10^{\circ}\text{C})$:

$$P(T) = \frac{1}{(T_{\max} - T_{\min} - 8)}, \quad (3.17)$$

- Khi mức nhiệt độ trong khoảng ($T_{\max} - 10^{\circ}\text{C}$) $\leq T \leq (T_{\max} + 2^{\circ}\text{C})$:

$$P(T) = \frac{1}{(T_{\max} - T_{\min} - 8)} - \frac{(T - T_{\max} + 10)}{12(T_{\max} - T_{\min} - 8)}, \quad (3.18)$$

trong đó: T_{\min} , T_{\max} - nhiệt độ thấp nhất trong năm và nhiệt độ cao nhất (lấy cách bề mặt 2cm) trong năm của lớp bê asphalt, lấy trung bình 7 ngày theo (2.15) và (2.16).

Thay hàm phân bố các mức nhiệt độ theo thời gian vào công thức (3.14), nhận được công thức tính toán chiều sâu lún VBX, có xét thay đổi nhiệt độ trong suốt thời kỳ khai thác, với tổng số trục xe khai thác, có xét độ lớn ứng suất cắt và hệ số nhớt thay đổi theo chiều sâu do thay đổi nhiệt độ gây ra:

$$RD = 1,5 \cdot k \cdot N \cdot t_p \cdot \left(1 - e^{-\frac{\sqrt{N} \cdot t_p}{N \cdot t_p}} \right) \cdot \int_{T_{\min}}^{T_{\max}} P(T) \cdot \left[\int_0^{h_d} \frac{q}{2 \eta_{z,T} \left[1 + \sqrt{2\pi} \left(\frac{z}{D} \cdot \sqrt{\frac{E_{BTN,T}}{E_{ch,m,T}}} \right)^2 \cdot Jg \left(\frac{\pi}{4} + \frac{\varphi}{2} \right) \right]} dz \right] \cdot dT, \quad (3.19)$$

trong đó: k - hệ số, phụ thuộc chiều sâu vùng biến dạng dẻo trong lớp BTN. Trong điều kiện Việt Nam, chiều sâu vùng biến dạng dẻo (h_d) được xác định trong mục 3.3;

q - áp lực bánh xe, Mpa ;

$\eta_{z,T}$ - hệ số nhớt dẻo phụ thuộc nhiệt độ tại độ sâu z ;

$E_{BTN,T}$, $E_{ch,m,T}$ - mô đun đàn hồi động của lớp BTN và lớp nền móng tương đương ở nhiệt độ tính toán, MPa;

φ - hệ số nội ma sát; T - biến nhiệt độ tính toán, $^{\circ}\text{C}$;

$P(T)$ - hàm phân bố tần suất nhiệt tính theo (3.15);

Các kí hiệu khác như đã nêu trên.

Công thức xác định chiều sâu lún VBX theo (3.19) phù hợp áp dụng trong điều kiện Việt Nam, cụ thể: xét được điều kiện nhiệt độ trong suốt thời kỳ khai thác từ mức T_{\max} đến T_{\min} tại Việt Nam, xét được loại BTN hiện có tại Việt Nam thông qua hệ số nhớt của từng loại BTN, xét được các giá trị hệ số nhớt, mô đun đàn hồi BTN, ứng suất cắt thay đổi theo chiều sâu lớp BTN do nhiệt độ thay đổi theo chiều sâu, xét được ảnh hưởng của cường độ lớp móng và nền đến chiều sâu lún VBX thông qua đại lượng mô đun đàn hồi chung móng và nền ($E_{ch,m}$), nên công thức đề xuất đã khắc phục được các hạn chế trong các phương pháp tính lý thuyết theo (1.11) và (1.22) và các công thức thực nghiệm như đã nêu trong Chương 1.

Phương pháp tính chiều sâu lún VBX theo công thức (3.19) là phương pháp tính toán lý thuyết. Đề áp dụng được thực tế cho các loại BTN trong điều kiện Việt Nam, cần nghiên cứu xác định hệ số nhớt cho phù hợp với loại BTN hiện có của Việt Nam.

3.2. Đánh giá độ tin cậy của phương pháp tính toán đề xuất

Để đánh giá độ tin cậy của phương pháp tính đề xuất, thực hiện tính toán RD lớp BTN theo công thức (3.19) với trường hợp cụ thể, so sánh với tính theo quy trình của Nga.

Số liệu đầu vào bài toán: Lưu lượng 3000 trục xe/ ng.đ; Tải trọng trục tiêu chuẩn 10T, áp suất bánh hơi $q = 0,6$ Mpa; Vận tốc khai thác 80 km/h; Kết cấu mặt đường: lớp BTNC12,5 dày 9cm / lớp BTNC19 dày 16cm / lớp móng trên CPĐĐ loại 1 dày 50cm / lớp móng dưới CPĐĐ loại 2 dày 50cm / lớp đáy áo đường dày 30cm có hệ số đầm chặt K98 / trên lớp nền đất có mô đun đàn hồi $E=45\text{Mpa}$; Khu vực Hà Nội có Vĩ độ 21 độ Bắc; Hệ số nhớt theo công thức (2.25).

Kết quả tính toán theo công thức (3.19), kết quả tính theo bảng 3.1: $RD = 6,13\text{cm}$.

Kết quả tính toán theo Quy trình của Nga, tính theo (1.9) và (1.10): $RD = 6,8\text{cm}$.

Nhận xét: i) Cả 2 cách tính đều xét lún lớp BTN do tổng lưu lượng trục xe khai thác gây ra và tính tất cả các mức nhiệt độ trong suốt thời kỳ khai thác. ii) Tính RD theo công thức (3.19) do xét cường độ kháng cắt của BTN tăng dần và ứng suất cắt giảm dần theo chiều sâu lớp BTN, cho kết quả $RD = 6,13$ cm. Tính theo quy trình của Nga [69,70,89], cho kết quả cao hơn $RD = 6,8$ cm, chênh lệch 10,3 %. Sự chênh lệch này là do theo quy trình Nga chấp nhận giả thiết nhiệt độ trong suốt chiều sâu tính toán không thay đổi, lấy bằng nhiệt độ tại độ sâu 2cm, nên các giá trị lực dính (C), góc nội ma sát (φ), hệ số động (m) và năng lượng kích hoạt biến dạng nhớt dẻo (U) không đổi theo chiều sâu tính toán.

Khi chấp nhận các thông số tính toán ở nhiệt độ cao tại độ sâu 2cm sẽ cho các giá trị tính toán là nhỏ hơn giá trị thực tế, nên cho kết quả tính chiều sâu lún VBX cao hơn. iii) Phương pháp tính chiều sâu lún VBX theo (3.19) cho phép tính toán được giá trị ứng suất cắt thay đổi theo chiều sâu lớp BTN và xét được độ lớn hệ số nhất thay đổi theo chiều sâu phụ thuộc mức nhiệt độ thay đổi trong lớp BTN, xét được tổng lưu lượng trục xe trong suốt thời kỳ, do vậy kết quả tính toán là phù hợp với khả năng làm việc thực tế của lớp BTN và điều kiện khí hậu nắng nóng của Việt Nam.

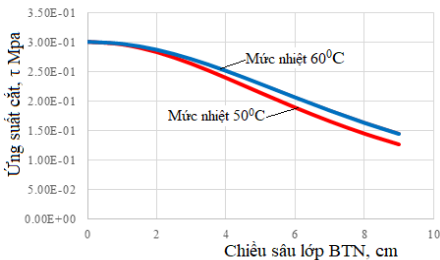
3.3. Tính toán xác định chiều sâu vùng biến dạng dẻo tính toán trong lớp BTN trong điều kiện Việt Nam

3.3.1. Tính toán chiều sâu vùng biến dạng dẻo phụ thuộc tải trọng, áp lực trục xe tiêu chuẩn và nhiệt độ

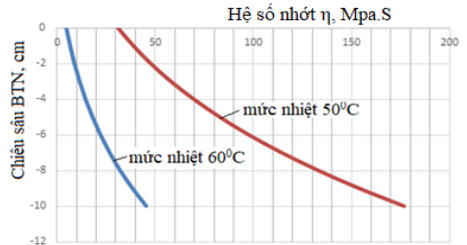
Theo chiều sâu, độ lớn ứng suất cắt trong lớp BTN giảm dần, lớp BTN tăng lên khi nhiệt độ trong lớp BTN giảm, trong khảo sát xét cho bài toán hệ 2 lớp, với lớp BTN trên lớp nền móng tương đương, theo công thức (1.20). Tính toán cho trường hợp nhiệt độ bề mặt lớp BTN ở 2 mức là 50°C và 60°C, trục xe tiêu chuẩn, áp suất bánh 0,6 Mpa. Kết quả thể hiện trên Bảng 3.4 và Hình 3.6.

Bảng 3.4. Phân bố hệ số nhớt (η) và ứng suất cắt (τ) theo chiều sâu

Chiều sâu z, cm	Độ lớn τ_z MPa phụ thuộc nhiệt độ					
	Mức nhiệt bề mặt 50 °C			Mức nhiệt bề mặt 60 °C		
	Nhiệt độ, °C	Hệ số nhớt η , MPa.s	Ứng suất cắt τ , MPa	Nhiệt độ, °C	Hệ số nhớt η , MPa.s	Ứng suất cắt τ , MPa
0	50,0	31,0	3.00E-01	60,0	4,7	3.00E-01
1	48,8	38,8	2.94E-01	58,4	6,6	2.95E-01
2	47,7	47,7	2.78E-01	56,8	8,8	2.80E-01
3	46,7	57,9	2.53E-01	55,4	11,5	2.58E-01
4	45,7	69,6	2.25E-01	54,1	14,5	2.32E-01
5	44,9	82,8	1.96E-01	52,9	18,1	2.05E-01
6	44,1	97,6	1.70E-01	51,8	22,2	1.79E-01
7	43,3	114,3	1.46E-01	50,7	26,9	1.55E-01
8	42,6	133,0	1.25E-01	49,7	32,3	1.33E-01
9	41,9	153,7	1.07E-01	48,8	38,6	1.15E-01



a) ứng suất cắt theo chiều sâu



b) hệ số nhớt theo chiều sâu

Hình 3.6: Phân bố độ lớn τ và η theo chiều sâu lớp BTN với nhiệt độ bề mặt khác nhau

Nhận xét: Trong lớp BTN ứng với mức nhiệt khảo sát là 50 và 60°C, ứng suất cắt giảm nhanh theo chiều sâu, chủ yếu ở độ sâu từ bề mặt xuống đến 9cm (Hình 3.6a). Trong phạm vi này, đường cong quan hệ ứng suất cắt với chiều sâu lớp BTN có độ dốc lớn. Tại độ sâu lớn hơn 9cm, độ lớn ứng suất cắt có giá trị nhỏ và độ dốc đường cong có xu hướng đi ngang. Tương tự, với hệ số nhớt, do nhiệt độ tại độ sâu từ 9cm giảm giảm nhiều so với bề mặt (Hình 3.6b), làm tăng hệ số nhớt từ 31 MPa.s lên 153,7 MPa.s với nhiệt độ bề mặt 50°C và từ 4,7 lên 38,6 MPa.s với nhiệt độ bề mặt 60°C. Như vậy từ độ sâu dưới 9cm, ứng suất cắt có giá trị nhỏ và hệ số nhớt có giá trị lớn, nên biến dạng dẻo trong lớp BTN có giá trị nhỏ, không đáng kể, trong tính toán chấp nhận gần đúng có thể bỏ qua.

3.3.2. Tính toán chiều sâu vùng biến dạng dẻo theo chiều sâu phụ thuộc nhiệt độ môi trường và lưu lượng trục xe khai thác

Để đánh giá ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường đến chiều sâu lún VBX lớp BTN, thực hiện khảo sát tính toán với số liệu đầu vào cho kết cấu tương tự trong bài toán ở mục 3.2, với lưu lượng trục xe 3.000 lượt/ng.đ, cho 03 vùng khí hậu miền Bắc, miền Trung và miền Nam (Bảng 3.5).

Nhận xét: i) Độ lớn RD ngoài phụ thuộc nhiệt độ T_{max} , còn phụ thuộc nhiệt độ T_{min} . Nhiệt độ T_{max} khu vực TP. Hà Nội và TP Hồ Chí Minh khác nhau không nhiều (chênh lệch 0,3°C), song do nhiệt độ T_{min} tại TP. Hồ Chí Minh lớn hơn

Bảng 3.5. Tính chiều sâu lún VBX cho các địa phương ở Việt Nam

Khu vực Tính toán	Nhiệt độ không khí 7 ngày liên tục, °C		Nhiệt độ bề mặt lớp BTN, °C		RD, cm
	Cao nhất	Thấp nhất	T_{max}	T_{min}	
TP. Hà Nội	37,75	8,0	62,7	8,5	6,13
TP. Đà Nẵng	37,82	14,0	63	14	7,16
TP Hồ Chí Minh	36,33	19,0	62,4	18	7,48

tại TP Hà Nội tới trên 10°C, khi đó tần suất các mức nhiệt độ cao tại khu vực TP Hồ Chí Minh sẽ cao hơn tại TP Hà Nội, dẫn đến làm tăng chiều sâu lún VBX lớp BTN khu vực TP Hồ Chí Minh. ii) Hư hỏng lún VBX xảy ra bất lợi nhất trong điều kiện Việt Nam là tại khu vực miền Nam, tiếp theo là khu vực miền Trung và thấp nhất tại khu vực miền Bắc.

Để lựa chọn chiều sâu vùng biến dạng dẻo tính toán lớp BTN trong điều kiện Việt Nam, khảo sát tính cho 2 vùng khí hậu có ảnh hưởng cao nhất (miền Nam) và thấp nhất (miền Bắc) với các mức lưu lượng: trung bình (3 triệu trục /lần); mức nặng (9 triệu trục /lần) và mức rất nặng (18 triệu trục/lần) theo [30,41] tương ứng với vận tốc pbhuwong tiện 60, 70 và 80 km/h, xét cho 2 trường hợp lớp BTN dày 8cm và 9cm.

Với khu vực khí hậu miền Bắc: nhiệt độ tính toán lớn nhất $T_{2cm}=62,7^{\circ}C$ và $T_{min}=8,5^{\circ}C$. Kết quả tính toán thể hiện trên Bảng 3.7, và Hình 3.7.

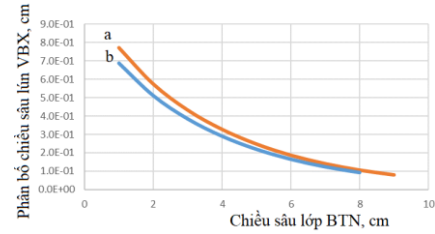
Với khu vực khí hậu miền Nam: nhiệt độ tính toán lớn nhất $T_{2cm}=62,4^{\circ}C$ và $T_{min}=17,6^{\circ}C$. Kết quả tính toán thể hiện trên Bảng 3.9, và Hình 3.8.

Bảng 3.7: Mức RD các phân lớp khi chiều dày lớp BTN khác nhau (miền Bắc)

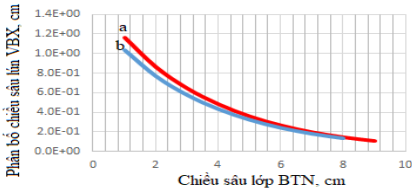
Số thứ tự phân lớp	Chiều dày phân lớp,cm	Với lưu lượng mức trung bình		Với lưu lượng mức nặng		Với lưu lượng mức rất nặng	
		Lớp BTN dày 8 cm	Lớp BTN dày 9 cm	Lớp BTN dày 8 cm	Lớp BTN dày 9 cm	Lớp BTN dày 8 cm	Lớp BTN dày 9 cm
1	1	0,69	0,77	1,0	1,2	1,46	1,681
2	1	0,511	0,575	0,77	0,861	1,08	1,245
3	1	0,385	0,433	0,57	0,645	0,812	0,932
4	1	0,291	0,328	0,43	0,484	0,608	0,698
5	1	0,22	0,248	0,32	0,361	0,454	0,521
6	1	0,166	0,187	0,24	0,269	0,339	0,388
7	1	0,125	0,141	0,18	0,2	0,252	0,289
8	1	0,094	0,106	0,13	0,149	0,187	0,215
9	1	-	0,08	-	0,111	-	0,160
Tổng RD, cm		2,48	2,9	3,7	4,2	5,19	6,13

Bảng 3.9: Mức RD của các phân lớp khi chiều dày lớp BTN khác nhau (miền Nam)

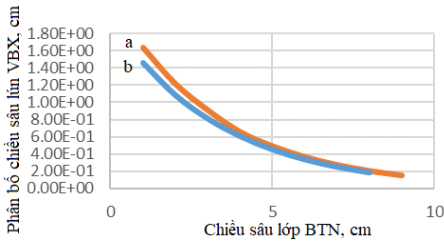
Số thứ tự phân lớp	Chiều dày phân lớp,cm	Với lưu lượng mức trung bình		Với lưu lượng mức nặng		Với lưu lượng mức rất nặng	
		Lớp BTN dày 8 cm	Lớp BTN dày 9 cm	Lớp BTN dày 8 cm	Lớp BTN dày 9 cm	Lớp BTN dày 8 cm	Lớp BTN dày 9 cm
1	1	0,860	0,960	1,4	1,50	1,82	2,05
2	1	0,636	0,716	1,0	1,149	1,35	1,52
3	1	0,478	0,537	0,77	0,861	1,01	1,14
4	1	0,359	0,404	0,57	0,646	0,759	0,854
5	1	0,268	0,302	0,43	0,483	0,567	0,638
6	1	0,200	0,225	0,32	0,36	0,423	0,476
7	1	0,149	0,168	0,24	0,268	0,314	0,354
8	1	0,111	0,125	0,18	0,199	0,234	0,263
9	1	-	0,093	-	0,149	-	0,196
Tổng RD,cm		3,1	3,5	4,9	5,7	6,48	7,49



a) với lưu lượng trung bình



b) với lưu lượng nặng



c) với lưu lượng rất nặng

Hình 3.7: Đồ thị phân bố RD theo các phân lớp với lớp BTN 8cm và 9cm (khu vực miền Bắc)

a- chiều dày 9cm; b- chiều dày 8cm

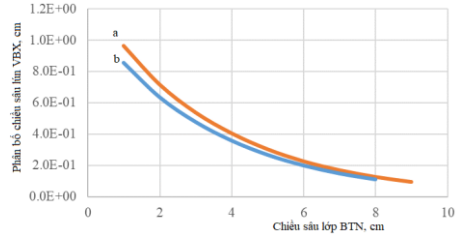
Từ kết quả khảo sát thể hiện trên Bảng 3.7, Bảng 3.9 và Hình 3.7, Hình 3.8, ta thấy:

- Phân bố RD trong lớp BTN theo các phân lớp suốt thời kỳ khai thác với các chiều dày tính toán h lớp BTN khác nhau.

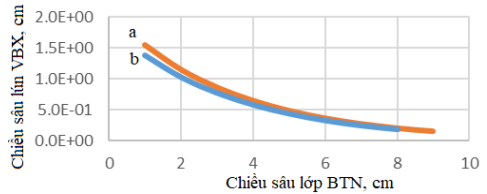
- Chiều sâu RD xảy ra chủ yếu tại các phân lớp BTN phía trên, càng xuống sâu mức hần lún giảm nhanh. Từ độ sâu 8cm trở xuống đường đồ thị có xu hướng đi ngang, mức hần lún ở các độ sâu này có giá trị thấp.

Xác định độ lớn biến dạng hần lún tại các phân lớp cuối cùng trong lớp BTN có chiều dày 8 và 9cm. Kết quả tính toán thể hiện trong Bảng 3.8, Bảng 3.10. Từ các kết quả khảo sát tính toán, ta thấy:

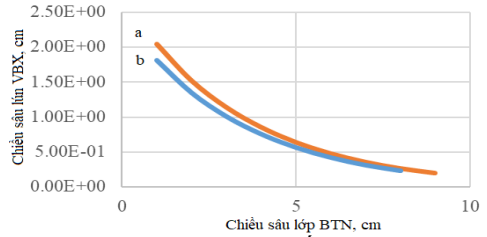
1) Ứng suất cắt theo chiều sâu từ độ sâu 9cm trở xuống có giá trị nhỏ, tỉ lệ hần lún so với tổng RD có giá trị nhỏ. Ở phân lớp 8cm mức hần lún chiếm mức $3,5 \div 3,8 \%$ tổng RD tùy theo lưu lượng, nhưng từ độ sâu phân lớp 9 cm của trường hợp lớp BTN dày 9cm, mức hần lún chỉ chiếm không quá 2,5 % tổng RD. Điều đó cho thấy ở mọi mức lưu lượng trực xe khai thác, biến dạng dẻo lớp BTN chủ yếu xảy ra ở chiều sâu không quá 9cm. Từ 9cm trở xuống, mức hần lún có giá trị nhỏ, trong tính toán RD có thể bỏ qua. Từ kết quả tính toán cho thấy trong điều kiện khí hậu Việt Nam, chiều sâu vùng biến dạng dẻo tính toán lớp BTN trong phạm vi không quá 9cm với mọi mức lưu lượng, trong tính toán chiều sâu lún VBX có thể chọn chiều sâu vùng biến dạng dẻo tính toán là 9cm.



a) với lưu lượng trung bình



b) với lưu lượng nặng



c) với lưu lượng rất nặng

Hình 3.8: Đồ thị phân bố RD theo các phân lớp với lớp BTN 8cm và 9cm (khu vực miền Nam)

a- chiều dày 9cm; b- chiều dày 8cm

2) Hệ số k trong công thức (3.19) được xác định trên cơ sở độ lớn chiều sâu vùng biến dạng dẻo tính toán, phụ thuộc độ lớn ứng suất cắt theo chiều sâu, loại BTN, nhiệt độ môi trường và lưu lượng trục xe khai thác. Trong điều kiện khí hậu các vùng miền của Việt Nam, với loại BTNC12,5 theo TCVN 8819:2011, khi tính RD, chiều sâu vùng biến dạng dẻo tính toán h_d trong lớp BTN có độ lớn trung bình bằng 9cm với mọi mức lưu lượng giao thông, khi đó hệ số k được lấy bằng 0,27 ($k=3h_d/L = 3 \times 9/100=0,27$).

3) Trường hợp trong phạm vi 9cm lớp BTN bề mặt được bố trí nhiều lớp với các loại BTN khác nhau, trong tính toán RD, tại các phân lớp theo chiều sâu, thay giá trị các tham số mô đun đàn hồi và hệ số nhớt tương ứng của loại BTN để tính toán.

3.4. Kết luận chương 3

1) Công thức tính RD trên làn xe chạy bằng phương pháp lý thuyết theo nguyên lý cơ học môi trường liên tục (theo công thức 3.19), cho phép xét được tổng lưu lượng trục xe trong suốt thời kỳ khai thác, có xét sự thay đổi nhiệt độ theo chiều sâu lớp BTN làm thay đổi giá trị mô đun đàn hồi động và giá trị hệ số nhớt của BTN, cho phép tính toán các giá trị ứng suất cắt và giá trị hệ số nhớt theo chiều sâu, xét được điều kiện thực tế các vùng khí hậu khác nhau, loại BTN khác nhau, các mức lưu lượng trục xe khai thác thực tế. Cho phép xét được ảnh hưởng của cường độ lớp móng và nền đến chiều sâu lún VBX lớp BTN thông qua tham số mô đun đàn hồi chung móng và nền. Nên kết quả tính đàn bảo độ chính xác, phù hợp với điều kiện khí hậu nắng nóng của Việt Nam.

2) Ngoài yếu tố nhiệt độ môi trường làm giảm cường độ kháng cắt của BTN, lưu lượng khai thác và vận tốc phương tiện cũng có ảnh hưởng đáng kể đến RD. Với lưu lượng khai thác như nhau nhưng trên các tuyến đường có vận tốc lưu thông cao, thời gian tác dụng của tải trọng xuống mặt đường nhỏ hơn nên cho RD nhỏ hơn các tuyến đường có vận tốc xe chạy nhỏ hơn dù ở cùng loại kết cấu và điều kiện nhiệt độ môi trường.

3) Kết quả tính toán với trục đơn 10T, áp suất bánh hơi 0,6MPa, trong điều kiện khí hậu của Việt Nam, theo tính toán phân bố biến dạng theo chiều sâu cho thấy chiều sâu vùng biến dạng dẻo tính toán trong lớp BTN có giá trị bằng 9cm. Kết quả tính toán trên trùng với nhận xét về chiều sâu vùng biến dạng dẻo lớp BTN trên làn xe chạy nêu trong [40,49,69,70,72,84,87], là h_d bằng 3 ÷ 4 inch (7,5 ÷ 10 cm). Như vậy, chiều dày lớp BTN có cường độ kháng cắt tính toán theo yêu cầu khai thác cần đạt 9cm, dưới chiều sâu trên có thể sử dụng loại BTN có cường độ kháng cắt thấp hơn.

CHƯƠNG 4. ỨNG DỤNG TÍNH TOÁN LÚN VẾT BÁNH XE LỚP BTN TRONG ĐIỀU KIỆN VIỆT NAM

4.1. Ứng dụng tính toán lún VBX một số tuyến đường thực tế tại Việt Nam

4.1.1. Áp dụng tính toán lún VBX cho kết cấu áo đường QL.1 đoạn qua tỉnh Ninh Bình

Số liệu khảo sát: Tổng lưu lượng sau 10 năm khai thác (2003÷2012): 3,87 triệu trục xe/ làn; Tải trọng trục tiêu chuẩn 10T, áp suất bánh hơi $q = 0,6$ Mpa; Vận tốc khai thác 60 ÷ 70 km/h; Kết cấu mặt đường: lớp BTNC12,5 dày 6cm / lớp BTNC19 dày 7cm / lớp BTRN19 dày 5cm / lớp móng trên CPDD loại 1 dày 15,5cm / kết cấu áo đường cũ có $E=125$ Mpa; Khu vực Ninh Bình có Vị độ 20 độ Bắc. Từ số liệu đo đạc thực tế theo [40,49,69] cho thấy, lún VBX tại hiện trường là chỉ xảy ra ở lớp BTN.

Kết quả tính toán và so sánh: RD tính toán theo công thức (3.19) là 3,28 cm. Chiều sâu lún VBX thực tế đo được là 3,5 cm, sai lệch 0,14 cm (~ 6,2%). Mức sai lệch không lớn, cho thấy giữa tính toán lý thuyết theo công thức (3.19) và thực tế đo chiều sâu lún VBX có giá trị tương đương nhau.



Hình 4.3: Đo đạc vết lún bánh xe QL.1 (Km281+895), 4/2022

4.1.2. Áp dụng tính lún VBX cho kết cấu áo đường QL.1 đoạn qua tỉnh Thanh Hóa

Số liệu khảo sát: Tổng lưu lượng sau 7 năm khai thác (2015÷2022): 6,30 triệu trục xe/ làn; Tải trọng trục tiêu chuẩn 10T, áp suất bánh hơi $q = 0,6$ Mpa; Vận tốc khai thác $60 \div 70$ km/h; Kết cấu mặt đường: lớp BTNC12,5 dày 5cm / lớp BTNC19 dày 7cm / lớp móng trên CPĐĐ loại 1 dày 30cm / lớp móng dưới CPĐĐ loại 2 dày 30cm / lớp nền thường K98 dày 30cm / nền đất K95; Khu vực Thanh Hóa có V_i độ $19^030'$.



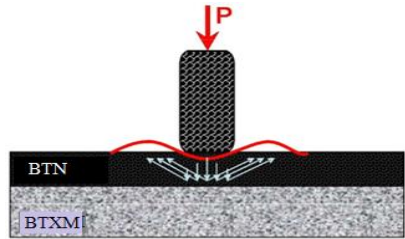
Hình 4.4: Lún VBX lớp BTN thực tế trên tuyến QL1 [16]

Kết quả tính toán và so sánh: Chiều sâu lún VBX tính toán theo công thức (3.19) RD = 4,18cm, so với kết quả đo đạc thực tế (xem hình 4.4), điều đó cho thấy hai kết quả có giá trị tương đương.

4.1.3. Khảo sát đánh giá ảnh hưởng của cường độ lớp móng và nền đến chiều sâu lún VBX lớp BTN mặt đường

Thực hiện bài toán khảo sát xét cùng mức lưu lượng khai thác với hai trường hợp kết cấu khác nhau: Kết cấu tăng cường lớp BTN trên mặt đường BTXM hiện hữu (kết cấu 1) và kết cấu áo đường mềm thông thường (kết cấu 2). Trường hợp kết cấu 1: BTNC12,5 dày 9cm / Mặt đường BTXM hiện hữu (BTXM dày 23cm / Móng đá gia cố xi măng dày 20cm / lớp nền đường đầm chặt có mô đun đàn hồi 45Mpa). Kết cấu 2: lớp BTNC12,5 dày 9cm / lớp BTNC19 dày 12cm / lớp móng trên CPĐĐ loại 1 dày 50cm / trên lớp móng CPĐĐ loại 2 dày 60cm / trên lớp nền thường K98 / trên nền đất có mô đun đàn hồi 45Mpa (tương tự kết cấu áo đường cao tốc Hà Nội – Hải Phòng). Tính với trục xe 10T, áp suất bánh hơi 0,6MPa. Lưu lượng khai thác 3.000 trục xe / ngày đêm, mức tăng trưởng dự báo 7,5%. Tính tại khu vực TP. Hà Nội.

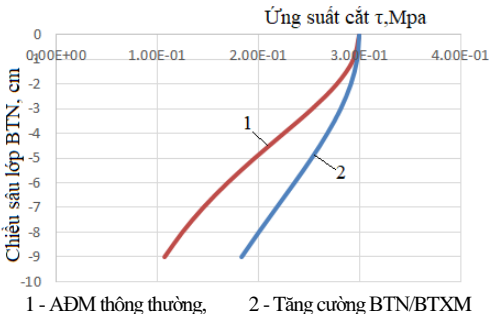
Sơ đồ sự làm việc của kết cấu tăng cường lớp BTN / BTXM hiện hữu dưới tác dụng của tải trọng bánh xe như trên Hình 4.6.



Hình 4.6: Sự làm việc của lớp BTN tăng cường trên mặt đường BTXM chịu tải trọng bánh xe

Bảng 4.3: Ứng suất cắt theo chiều sâu lớp BTN phụ thuộc nhiệt độ

Chiều sâu lớp BTN, cm	Nhiệt độ, °C	Ứng suất cắt ứng với các loại kết cấu, MPa	
		Kết cấu 2	Kết cấu 1
0	50	0,30	0,3
1	48,8	0,294	0,295
2	47,7	0,277	0,290
3	46,7	0,253	0,279
4	45,7	0,225	0,264
5	44,9	0,196	0,247
6	44,1	0,169	0,228
7	43,3	0,145	0,209
8	42,6	0,124	0,191
9	41,9	0,107	0,173



Hình 4.7: Ứng suất cắt thay đổi theo chiều sâu trong lớp BTN

Bảng 4.3 và Hình 4.7 thể hiện sự thay đổi độ lớn ứng suất cắt (τ_{tt}) trong lớp BTN tính theo công thức (3.14), khi thay đổi giá trị $E_{ch,m}$ xét cho trường hợp ĐM thông thường và kết cấu lớp BTN tăng cường trên mặt đường BTXM hiện hữu của bài toán khảo sát (đều có lớp BTN phía trên dày 9cm). Xét khi nhiệt độ lớp mặt BTN bằng 50°C .

Theo công thức (3.19) tính được RD trong 2 kết cấu: RD trên kết cấu tăng cường là 6,6cm, còn với kết cấu đối chứng là 6,13cm. Kết quả tính được thể hiện trên Hình 4.8.

Nhận xét: Khác với kết cấu ADM thông thường, mặt đường BTXM hiện hữu ở kết cấu 1 có độ cứng kháng biến dạng lớn, có giá trị mô đun đàn hồi chung lớn, nên ứng suất cắt theo công thức (3.14) sẽ cho mẫu số có giá trị nhỏ, đồng nghĩa với việc làm tăng giá trị ứng suất cắt. Mặt đường BTXM ít bị biến dạng, nên phản lực do lớp BTXM tác dụng ngược lên lớp đáy của lớp BTN có giá trị lớn. Do chịu áp lực nén từ bề mặt và từ đáy lớp BTN có giá trị lớn, nên ứng suất trong lớp BTN có giá trị lớn, làm tăng biến dạng trượt ngang của lớp BTN, làm gia tăng chiều sâu lún VBX so với chiều sâu lún ở các kết cấu áo đường mềm thông thường. Trong thí dụ tính toán RD lớp BTN của kết cấu tăng cường tăng xấp xỉ 8,0% so với kết cấu áo đường mềm với cùng mức lưu lượng trục xe.

4.2. Đề xuất các giải pháp hạn chế lún VBX lớp BTN trong điều kiện Việt Nam

4.2.1. Giải pháp cấu tạo các lớp kết cấu áo đường

Theo sơ đồ chịu lực của kết cấu như Hình 1.2, lớp BTN trên cùng chủ yếu chịu ứng suất nén và ứng suất cắt trượt. Nếu sử dụng vật liệu BTN có hệ số nhớt thấp (hoặc có lực dính và hệ số nội ma sát nhỏ), khi ứng suất cắt do tải trọng gây ra lớn hơn cường độ kháng cắt của BTN sẽ xảy ra biến dạng lún VBX. Như vậy, để hạn chế xảy ra biến dạng lún VBX trong điều kiện Việt Nam, khi thiết kế cấu tạo kết cấu áo đường, lớp trên cùng cần bố trí loại BTN có cường độ kháng lún cao (có hệ số nhớt cao hoặc có lực dính và hệ số nội ma sát lớn), chiều dày lớp BTN yêu cầu cần đạt 9cm như kết quả tính toán ở Chương 3. Lớp vật liệu BTN dưới đáy của tầng mặt, do chủ yếu chịu ứng suất kéo uốn do tải trọng gây ra, nên cần chọn loại BTN có cường độ kéo uốn cao để tăng sức kháng mỏi của lớp vật liệu, góp phần tăng tuổi thọ kết cấu áo đường (Hình 4.9). Lớp móng lấy thông thường như cấu tạo hiện có.



Hình 4.9: Sơ đồ cấu tạo các lớp BTN áo đường

4.2.2. Lựa chọn loại BTN có cường độ kháng lún đáp ứng yêu cầu khai thác

Như đã phân tích ở Chương 2, đặc tính kháng biến dạng lún VBX phụ thuộc hệ số nhớt của BTN, mà hệ số nhớt của BTN phụ thuộc độ nhớt của nhựa bitum và thành phần cấp phối của cốt liệu. Để tăng hệ số nhớt của BTN có thể áp dụng một số giải pháp:

- Tăng độ nhớt của nhựa bitum: sử dụng loại nhựa bitum có độ nhớt quán cao (độ kim lún 40/50 hoặc 50/60 thay cho 60/70) nhựa bitum PMBI, PMBII, PMBIII với nhiệt hóa mềm từ $60 \div 80$ °C, hoặc sử dụng các loại phụ gia làm tăng độ nhớt, tăng khả năng chịu nhiệt của nhựa bitum như phụ gia SBS,...

- Tăng hàm lượng cốt liệu thô: Ở Việt Nam đang quy định sử dụng BTN theo TCVN 13567-1:2022 có hàm lượng cốt liệu thô $D \geq 4,75\text{mm}$ từ 50÷60%, trong đó tăng hàm lượng cốt liệu có kích cỡ lớn, góp phần làm tăng khung cốt chịu lực, tăng cường độ nén của hỗn hợp, do vậy tăng được khả năng kháng lún cho hỗn hợp BTN. Hiện nay trên thế giới, hỗn hợp Stone Mastic Asphalt với hàm lượng cốt liệu thô tới 70÷80%, sử dụng phụ gia cốt sợi phân tán được xem là hỗn hợp BTN có cường độ kháng lún cao nhất [39,43]. Theo [10], đã thí nghiệm xác định hệ số nội ma sát của các loại BTN hiện có tại Việt Nam, cho thấy 2 loại BTNC12,5 theo TCVN 8819:2011 và BTNP12,5 theo 22TCN 356-06 có hệ số nội ma sát $t_{g\phi} = 0,81$, với loại BTNC theo QĐ 858/2014 có hệ số nội ma sát $t_{g\phi} = 0,91$, còn với loại hỗn hợp Stone Mastic Asphalt có hệ số nội ma sát $t_{g\phi} \geq 0,94$ (xem Bảng 4.5). Hệ số nội ma sát tăng có tác dụng làm tăng giới hạn chảy dẻo của BTN, góp phần làm giảm ứng suất cắt trong miền biến dạng dẻo của hỗn hợp BTN (hệ số k_{ϕ} trong công thức (1.20), (1.31)),

4.2.3. Quản lý khai thác liên quan đến điều kiện khí hậu nắng nóng của Việt Nam

BTN có chất kết dính là nhựa bitum, ở nhiệt độ cao nhựa bitum bị hóa mềm, làm suy giảm đặc tính nhớt, dẫn đến làm suy giảm hệ số nhớt, giảm khả năng kháng biến dạng lún của BTN. Theo kết quả nghiên cứu, biến dạng lún VBX chủ yếu xảy ra khi nhiệt độ lớp BTN > 40°C, khi nhiệt độ từ 30 ÷ 40 °C, lún VBX xảy ra là không đáng kể [45]. Việt Nam nằm trong vùng khí hậu nhiệt đới, có nhiệt độ không khí và bức xạ mặt trời cao, vào những ngày nắng nóng bề mặt lớp BTN mặt đường hấp thụ lượng nhiệt rất lớn, nhiệt độ bề mặt lớp BTN có thể đạt 65 ÷ 66 °C[8]. Với điều kiện thực tế như vậy, kiến nghị nên có các giải pháp hạn chế các loại phương tiện có tải trọng trục lớn lưu thông trên các tuyến đường vào các giờ nắng nóng từ 12h00 ÷ 15h00, tránh gây ra hư hỏng lún VBX lớp BTN.

4.2.4. Áp dụng quy định kiểm soát tải trọng trục các phương tiện

Hiện tượng các phương tiện giao thông tăng tải trọng trục xe khi lưu hành là một nguyên nhân chính gây ra các hư hỏng kết cấu mặt đường, gia tăng hư hỏng lún VBX tại Việt Nam. Bảng 4.8 thể hiện kết quả tính RD khi tăng tải trọng trục lên 150% và 200% với giả thiết áp lực bánh hơi không đổi, kết cấu tương tự bài toán ở mục 3.3.1.1, lưu lượng trục xe khai thác 3000 trục/ làn/ ngày đêm.

Nhận xét: Tăng tải trọng lên 150% làm tăng 13% tổng chiều sâu lún VBX, tăng 200% tải trọng làm tăng tới 23% tổng chiều sâu lún VBX. Giải pháp kiểm soát tải trọng trục phương tiện theo thông tư 06/2017/TT-BGTVT về xử phạt vi phạm hành chính trong lĩnh vực giao thông đường bộ trong điều kiện khí hậu nắng nóng của Việt Nam là rất cần thiết, góp phần hạn chế tối đa hư hỏng lún VBX.

4.2.5. Tăng cường quản lý chất lượng thi công lớp BTN mặt đường

Một số tuyến đường tại Việt Nam xuất hiện hư hỏng lún VBX ngay thời gian đầu mới đưa vào khai thác, thậm chí trên cùng dự án xuất hiện tình trạng có đoạn tuyến không xảy ra hiện tượng lún VBX hoặc mức độ lún VBX nhỏ, trên đoạn tuyến khác lại xảy ra hư hỏng lún VBX với mức độ cao. Ví dụ tại dự án Mở rộng QL.1 từ Thanh Hóa đến Quảng Bình, sau khi đưa vào khai thác chưa đến 1 năm, tháng 6/2015 một số đoạn đã xuất hiện lún VBX cao trên 2,5cm, các đoạn này có chiều dài từ 0,35km đến 8,86 km. Nguyên nhân dẫn đến hư hỏng lún VBX sớm nêu trên là do chất lượng thi công không đảm bảo:

- Tại trạm trộn: i) Các hạt cốt liệu không đảm bảo độ sạch, làm giảm lực dính bám giữa các hạt, dẫn đến làm suy giảm lực dính bám giữa các hạt, làm giảm khả năng kháng cắt trượt của hỗn hợp; ii) Cân đong cốt liệu không đảm bảo hàm lượng các thành phần hạt cấp phối theo đúng thiết kế, gây ra độ rỗng dư cốt liệu lớn, suy giảm cường độ của hỗn hợp, trong đó có cường độ kháng cắt trượt của BTN.

- Tại hiện trường thi công: Lu lèn không đảm bảo độ chặt theo yêu cầu, khi đưa vào khai thác phương tiện lưu thông sẽ xuất hiện lu lèn lún thứ cấp, làm xuất hiện lún VBX.

4.2.6. Quy định tính toán RD trong thiết kế kết cấu áo đường có sử dụng lớp BTN

Trong quy trình tính toán thiết kế ÁĐM ở Việt Nam hiện nay [6] chưa có quy định kiểm toán chỉ tiêu biến dạng lún VBX lớp BTN, vì vậy chưa có căn cứ tính toán lựa chọn loại BTN có cường độ kháng lún VBX phù hợp với yêu cầu khai thác.

Từ các kết quả nghiên cứu nêu trên cho thấy, ứng xử của lớp BTN dưới tác dụng của tải trọng trục xe cần kiểm toán theo các chỉ tiêu: lún kết cấu mặt đường (thông qua đại lượng mô đun đàn hồi chung kết cấu), nứt mối lớp BTN do trùng phục tải trọng (thông qua cường độ kéo uốn BTN) và biến dạng lún VBX (thông qua tham số hệ số nhớt hoặc tham số lực dính, góc nội ma sát của hỗn hợp BTN, tùy theo phương pháp tính toán) là hoàn toàn khác nhau. Trong TCCS 38:2022/TCĐBVN đã đưa ra các quy định kiểm toán chỉ tiêu độ võng mặt đường và chỉ tiêu ứng suất kéo uốn trong lớp BTN, để giảm độ lún kết cấu mặt đường hoặc giảm ứng suất kéo uốn lớp BTN chỉ cần tăng chiều dày lớp BTN. Tuy nhiên với chỉ tiêu lún VBX, do ứng suất cắt có độ lớn ngay trên bề mặt lớp BTN, nên việc tăng chiều dày lớp BTN sẽ không có ý nghĩa, mà cần chọn loại BTN có cường độ kháng cắt cao, phù hợp với loại trục xe và lưu lượng trục xe khai thác.

Vì vậy, để hạn chế xảy ra hư hỏng lún VBX lớp BTN mặt đường, trong quy trình thiết kế kết cấu ÁĐM của Việt Nam cần bổ sung thêm chỉ tiêu bắt buộc kiểm toán chiều sâu

lún VBX không vượt quá giới hạn cho phép, làm cơ sở tính toán lựa chọn loại BTN có cường độ kháng hần lún phù hợp ngay từ bước thiết kế, tương tự quy định của các nước trên thế giới trong tính toán thiết kế kết cấu áo đường mềm hiện nay. Có thể tham khảo áp dụng phương pháp tính toán theo công thức (3.19).

4.3. Kết luận chương 4

Đã áp dụng phương pháp tính chiều sâu vệt lún lớp BTN đề xuất ở Chương 3 để khảo sát lượng hóa chiều sâu lún VBX trong lớp BTN cho các loại kết cấu khác nhau trên một số tuyến đường thực tế đang khai thác ở Việt Nam. Kết quả tính toán so sánh cho thấy chiều sâu lún VBX theo theo công thức (3.19) có giá trị tương tự với kết quả khảo sát hiện trường từ 2 dự án, sự sai lệch không quá 6,2%.

Từ kết quả khảo sát cho thấy: ngoài yếu tố nhiệt độ ảnh hưởng đến chiều sâu lún, việc tăng trục xe quá tải cũng làm tăng đáng kể chiều sâu lún VBX lớp BTN mặt đường.

Đã nghiên cứu kiến nghị các giải pháp nhằm hạn chế phát triển chiều sâu lún VBX lớp BTN trong điều kiện Việt Nam.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Những kết quả chính và đóng góp mới của luận án

1. Nghiên cứu đề xuất phương pháp tính toán chiều sâu lún VBX lớp BTN mặt đường trên làn xe chạy theo phương pháp lý thuyết dựa trên nguyên lý cơ học môi trường liên tục. Phương pháp tính làm cơ sở để thiết kế lựa chọn loại BTN có cường độ kháng cắt phù hợp, đáp ứng yêu cầu khai thác của mặt đường, hạn chế xảy ra biến dạng lún lớp BTN, phù hợp với điều kiện Việt Nam. Phương pháp đề xuất cho phép:

- Xét được tổng lưu lượng trục xe với biến động nhiệt độ từ thấp nhất đến cao nhất trong suốt thời kỳ khai thác trong điều kiện khí hậu các vùng miền của Việt Nam;

- Tính toán cho loại BTN bất kỳ hiện có của Việt Nam thông qua hệ số nhót của BTN được xác định bằng thí nghiệm mẫu;

- Xét được mô đun đàn hồi BTN, độ lớn ứng suất cắt và độ lớn hệ số nhót thay đổi theo chiều sâu lớp BTN do nhiệt độ trong lớp BTN thay đổi;

- Tính toán được chiều sâu hần lún lớp BTN cho các loại kết cấu áo đường khác nhau, thông qua chiều dày và cường độ của các vật liệu móng và lớp nền tự nhiên;

2. Đã xác định được chiều sâu vùng biến dạng dẻo tính toán lớp BTN mặt đường (h_d) bằng 9cm trong điều kiện khai thác và khí hậu của Việt Nam, phục vụ lựa chọn chiều dày lớp BTN bề mặt cần có cường độ kháng cắt phù hợp với yêu cầu khai thác của mặt đường và phục vụ tính toán chiều sâu lún VBX lớp BTN mặt đường theo công thức đề xuất.

3. Thí nghiệm xác định được hệ số nhót của hỗn hợp BTNC12,5 theo TCVN 8819:2011 phụ thuộc nhiệt độ, phục vụ tính toán dự báo chiều sâu lún VBX lớp BTN trong kết cấu áo đường.

4. Đã nghiên cứu và đề xuất một số giải pháp góp phần giảm thiểu biến dạng lún VBX lớp BTN trên mặt đường trong điều kiện Việt Nam.

2. Những tồn tại hạn chế của kết quả nghiên cứu

Do điều kiện hạn chế, mới chỉ thực hiện thí nghiệm xác định hệ số nhót của loại BTNC12,5 theo TCVN 8819:2011.

Mới chỉ xét biến dạng lún VBX của lớp BTN, chưa xem xét biến dạng lún VBX lớp móng và lớp nền tự nhiên.

3. Kiến nghị những nghiên cứu tiếp theo

Đây là kết quả nghiên cứu đề xuất bước đầu, để áp dụng được trong điều kiện Việt Nam cần nghiên cứu lựa chọn xây dựng quy trình thí nghiệm mẫu, xác định hệ số nhót của BTN trong điều kiện Việt Nam. Tiên hành nghiên cứu thí nghiệm mẫu, xác định hệ số nhót của các loại BTN còn lại như BTN thông thường theo TCVN 13567-1:2022, BTN polyme theo TCVN 13567-2:2022 để phục vụ tính toán chiều sâu lún VBX cho các mặt đường sử dụng các loại BTN khác nhau.

Tiên hành thử nghiệm đo đặc hiện trường, xác định chiều sâu lún VBX trên một số tuyến đường thực tế, so sánh với tính toán theo phương pháp đề xuất để đánh giá độ tin cậy của phương pháp.

DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA LUẬN ÁN

1. Lê Thanh Hải, Vũ Trung Hiếu, Phạm Cao Thăng, Nguyễn Hoàng Long (2017), “Xác định nguyên nhân và kiến nghị giải pháp sử dụng vật liệu khắc phục biến dạng không hồi phục và xô trượt lớp bê tông asphalt mặt đường trong điều kiện Việt Nam”, *Tạp chí Giao thông vận tải, Số đặc biệt - Hội thảo nhà khoa học trẻ ngành Giao thông vận tải năm 2016*, trang 97-101.
2. Vũ Trung Hiếu, Phạm Cao Thăng (2017), “Tính toán biến dạng hằn lún và đánh giá ảnh hưởng của yếu tố nhiệt độ đến độ ổn định cắt trượt lớp bê tông nhựa mặt đường trong điều kiện Việt Nam”, *Tạp chí Cầu đường Việt Nam số 9/2017*, trang 41-45;
3. Vũ Trung Hiếu, Phạm Cao Thăng (2017), “Nghiên cứu tính toán xác định chiều sâu vùng biến dạng dẻo lớp bê tông nhựa trong kết cấu mặt đường ô tô”, *Tạp chí Giao thông vận tải số 12/2017*, trang 90-93.
4. Phạm Cao Thăng, Nguyễn Hoàng Long, Trần Nam Hưng, Vũ Trung Hiếu (2018) “A Study On Calculation of Rutting Depth of Pavement Asphalt Concrete Layer In Under Vietnam Conditions”, *International Journal of Applied Engineering Research, Volume 13, Number 7*, pp.5452-5457;
5. Vũ Trung Hiếu, Lê Thanh Hải, Phạm Cao Thăng (2018), “Nghiên cứu xác định nguyên nhân xuất hiện vết hằn lún lớp bê tông nhựa trên mặt đường sân bay Việt Nam và kiến nghị giải pháp khắc phục”, *Tạp chí Giao thông vận tải số 12/2018*, trang 56-60.
6. Trần Ngọc Hưng, Vũ Thế Thuần, Vũ Trung Hiếu (2019), “Nghiên cứu sử dụng polyolefin cải thiện chất lượng bi-tum và bê tông asphalt nâng cao khả năng kháng hằn lún vết bánh xe”, *Tạp chí Giao thông vận tải số 9/2021*, trang 58-63.
7. Vũ Trung Hiếu, Phạm Cao Thăng, Nguyễn Quang Phúc (2021), “Nghiên cứu xác định hệ số nhớt của Bê tông nhựa trong điều kiện Việt Nam”, *Tạp chí Giao thông vận tải số 4/2021*, trang 42-45.