

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO BỘ GIAO THÔNG VẬN TẢI
VIỆN KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ GTVT

LƯU NGỌC LÂM

**NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA MỘT SỐ YẾU TỐ
ĐẾN KHẢ NĂNG CHỐNG NÚT CỦA BÊ TÔNG NHỰA
SUPERPAVE THIẾT KẾ THEO NGUYÊN LÝ CÂN
BẰNG TRONG ĐIỀU KIỆN VIỆT NAM**

Ngành : Kỹ thuật xây dựng công trình giao thông

Mã số : 9580205

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

HÀ NỘI – 2023

Công trình được hoàn thành tại:
Viện Khoa học và Công nghệ GTVT

Người hướng dẫn khoa học:

1. PGS.TS. Vũ Đức Chính

Viện Khoa học và Công nghệ GTVT

2. PGS.TS. Nguyễn Quang Phúc

Trường Đại học Giao thông vận tải

Phản biện 1:

Phản biện 2:

Phản biện 3:

Luận án được bảo vệ trước Hội đồng chấm luận án cấp Viện
hợp tại Viện Khoa học và Công nghệ GTVT vào hồi
..... giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Quốc Gia Việt Nam
- Thư viện Viện Khoa học và Công nghệ GTVT

MỞ ĐẦU

1. Đặt vấn đề, lí do lựa chọn đề tài

Mặt đường BTN do có nhiều ưu điểm nổi bật nên được sử dụng phổ biến cho đường ô tô trên thế giới. Hiện nay, thiết kế BTN theo Marshall tại Việt Nam mặc dù đã xem xét giải quyết vấn đề chống LVBX, tuy nhiên chưa xem xét giải quyết triệt để nứt, mà đây là một trong hai nguyên nhân chính gây hư hỏng mặt đường. Trong khi đó, thiết kế BTN theo Superpave đã giải quyết vấn đề liên quan đến lựa chọn vật liệu BTN (nhựa đường PG, cát, đá, bột khoáng) phù hợp với đặc tính dòng xe (lưu lượng xe, tốc độ xe lưu thông), nhằm giảm thiểu các hư hỏng mặt đường như LVBX, nứt mỏi trong quá trình khai thác. Xu hướng thiết kế bê tông nhựa Superpave hiện nay tại Hoa Kỳ là thiết kế theo nguyên lý cân bằng giữa các đặc trưng thể tích-độ nhạy âm, LVBX, và nứt. Vì vậy cần phải nghiên cứu lựa chọn phương pháp thiết kế hỗn hợp BTN phù hợp với điều kiện Việt Nam để đảm bảo đồng thời khả năng chống LVBX và chống nứt.

Về đánh giá khả năng chống nứt: bao gồm nứt do nhiệt (nhiệt độ thấp) và nứt ở nhiệt độ trung gian (nứt mỏi). Do đặc thù điều kiện khí hậu Việt Nam không xuất hiện nhiệt độ quá thấp (âm) nên đề xuất không nghiên cứu về nứt do nhiệt độ thấp trong luận án. Ở Việt Nam cho đến nay chưa có thí nghiệm đủ đơn giản, nhanh chóng và kinh tế để đánh giá khả năng chống nứt mỏi của BTN.

Trên thế giới có nhiều phương pháp thí nghiệm đánh giá khả năng chống nứt mỏi của BTN, mỗi phương pháp đều có ưu, nhược điểm và phạm vi áp dụng riêng. Trong đó, thí nghiệm uốn dầm bán nguyệt SCB (Semi-Circular Bending) và thí nghiệm IDEAL CTindex (theo ASTM D8225) đang được sử dụng rộng rãi khi thiết kế BTN do: kết quả thí nghiệm có độ chụm cao, giá thành thiết bị thí nghiệm không cao, có chuẩn để đánh giá “đạt”, có tương quan chặt với hư hỏng nứt thực tế của mặt đường tại hiện trường.

Một số yếu tố ảnh hưởng đến khả năng chống nứt mỏi của BTN bao gồm: cỡ hạt lớn nhất danh định của BTN, nguồn gốc cốt liệu, loại nhựa đường, hàm lượng nhựa... Hiện nay, ở Việt Nam mới chỉ có một số luận án tiến sĩ nghiên cứu về khả năng chống nứt mỏi, nhưng các luận án đều chưa nghiên cứu thử nghiệm bằng thí nghiệm uốn dầm bán nguyệt SCB và thí nghiệm IDEAL CTindex. Trên cơ sở các phân tích nêu trên đề tài **“Nghiên cứu ảnh hưởng của một số yếu tố đến khả năng chống nứt của bê tông nhựa Superpave thiết kế theo nguyên lý cân bằng trong điều kiện Việt Nam”** thực sự cần thiết, có ý nghĩa khoa học và thực tiễn, có tính thời sự.

2. Mục đích nghiên cứu

- Đánh giá ảnh hưởng của một số yếu tố đến khả năng chống nứt có xem xét đến khả năng chống LVBX của bê tông nhựa Superpave trong điều kiện Việt Nam thông qua nghiên cứu lý thuyết kết hợp thực nghiệm trong phòng thí nghiệm và mô phỏng phân tích kết cấu mặt đường bằng phương pháp cơ học thực nghiệm.

- Lựa chọn phương pháp thí nghiệm đánh giá khả năng chống nứt của bê tông nhựa Superpave và phương pháp thiết kế hỗn hợp bê tông nhựa Superpave theo nguyên lý cân bằng phù hợp với điều kiện Việt Nam.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu của luận án là bê tông nhựa Superpave. Phạm vi nghiên cứu của luận án bao gồm nghiên cứu phân tích, đánh giá các đặc trưng cơ bản của phương pháp

thiết kế hỗn hợp bê tông nhựa Superpave theo nguyên lý cân bằng. Đánh giá ảnh hưởng của một số yếu tố đến khả năng chống nứt mới, có xem xét đến khả năng chống LVBX của bê tông nhựa Superpave trong điều kiện Việt Nam bằng thí nghiệm SCB, thí nghiệm IDEAL CTindex và Hamburg Wheel Tracking. Luận án chỉ nghiên cứu trong phòng thí nghiệm và mô phỏng phân tích kết cấu mặt đường bằng phương pháp cơ học thực nghiệm.

4. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài

- Đã đề xuất lựa chọn phương pháp thí nghiệm đánh giá khả năng chống nứt của bê tông nhựa Superpave trong điều kiện Việt Nam bằng 01 trong 02 thí nghiệm theo thứ tự ưu tiên như sau: (1). Thí nghiệm IDEAL CTindex theo ASTM D8225 với ngưỡng chỉ số chịu nứt tối thiểu (CTindex) là 70. (2). Thí nghiệm uốn dầm bán nguyệt SCB theo TCVN 11347:2021 với ngưỡng chỉ số mềm tối thiểu (FI) là 8.0.
- Đã đề xuất lựa chọn phương pháp, nguyên tắc và trình tự thiết kế hỗn hợp bê tông nhựa Superpave theo nguyên lý cân bằng ở Việt Nam theo cách A - Thiết kế theo thể tích Superpave và kiểm tra, xác nhận các đặc tính làm việc.
- Đã đánh giá ảnh hưởng của một số yếu tố (cỡ hạt lớn nhất danh định của BTN, nguồn gốc cốt liệu, loại nhựa đường, hàm lượng nhựa) đến khả năng chống nứt mới và chống lún vệt bánh xe của bê tông nhựa Superpave trong điều kiện Việt Nam.
- Đã xây dựng 12 phương trình hồi quy giữa: chỉ số CTindex với chỉ số mềm FI; chỉ số CTindex với chiều sâu LVBX; chỉ số mềm FI với chiều sâu LVBX; chỉ số mềm FI, chỉ số CTindex, chiều sâu LVBX với HLN của BTN12,5 và BTN19 sử dụng nhựa đường PG64-22 và nhựa đường PG64-16, chi tiết tại các công thức từ (3.1) đến (3.12).
- Đã đánh giá ảnh hưởng của các thông số đầu vào đến các trạng thái giới hạn khai thác của KCMĐ sử dụng bê tông nhựa Superpave theo phương pháp cơ học thực nghiệm.

5. Nội dung nghiên cứu

- Tổng quan về bê tông nhựa Superpave và các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng chống nứt của bê tông nhựa Superpave.
- Nghiên cứu lựa chọn phương pháp thí nghiệm đánh giá khả năng chống nứt của bê tông nhựa Superpave.
- Nghiên cứu thực nghiệm các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng chống nứt của bê tông nhựa Superpave theo nguyên lý cân bằng.
- Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến đặc trưng khai thác của kết cấu mặt đường bằng phương pháp cơ học thực nghiệm.

CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ BÊ TÔNG NHỰA SUPERPAVE VÀ CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN KHẢ NĂNG CHỐNG NỨT CỦA BÊ TÔNG NHỰA SUPERPAVE

1.1. Tổng quan về bê tông nhựa Superpave và phương pháp thiết kế hỗn hợp

Trên thế giới có rất nhiều phương pháp thiết kế hỗn hợp BTN đã và đang được áp dụng, trong đó 02 phương pháp được áp dụng phổ biến nhất hiện nay là: Phương pháp thiết kế Marshall và Phương pháp thiết kế Superpave.

Thuật ngữ “bê tông nhựa Superpave” được sử dụng trong đề tài này là tên rút gọn của “bê tông nhựa thiết kế theo phương pháp Superpave”.

Trước khi phương pháp Superpave ra đời, phương pháp Marshall được áp dụng rộng rãi ở Hoa Kỳ, nhiều nước trên thế giới (châu Âu, châu Á và ở Việt Nam). Tồn tại chủ yếu của phương pháp Marshall là: việc đầm đầm nén mẫu theo Marshall được đánh giá là chưa mô phỏng hết được quá trình lu lên thực tế ngoài hiện trường; chưa xem xét để khắc phục các hư hỏng chủ yếu của bê tông nhựa như: LVBX, nứt môi và nứt ở nhiệt độ thấp. Trình tự thiết kế hỗn hợp BTN Superpave theo đặc tính thể tích được hướng dẫn tại AASHTO M323 [29]; AASHTO R35 [34]; TCVN 12818:2019 [10].

Phương pháp thiết kế Superpave kế thừa và phát triển một số nội dung của phương pháp thiết kế Marshall và có những đặc thù (ưu điểm) nổi bật như tóm tắt ở bảng 1-3.

Bảng 1-3. Tóm tắt, so sánh phương pháp Marshall và Superpave

Chỉ tiêu so sánh	Marshall	Superpave
Phương pháp đầm mẫu	Sử dụng chày đầm và khuôn đầm Marshall, mẫu đầm chặt do tác động của xung lực, do quả búa rơi ở độ cao quy định (50 cm), dẫn tới dễ bị vỡ hạt cốt liệu	Sử dụng đầm xoay SGC mô phỏng như cách lu lên BTN tại hiện trường, bộ phận gia tải tiếp xúc với mẫu, mẫu vừa bị tác động của lực thẳng đứng, vừa bị tác động của mô men xoắn nên bị nén chặt lại
Năng lượng đầm mẫu	75 chày x 2 mặt	Đầm nén mẫu với 3 mức vòng đầm xoay Nini, Ndes, Nmax và và qui định độ chặt tương ứng của các mức đầm đó để đánh giá mức độ khôe - yếu của cấp phối cốt liệu
Chất lượng vật liệu	Quy định chung về các chỉ tiêu kỹ thuật cho đá dăm, cát, bột khoáng	Qui định các mức chất lượng yêu cầu tương ứng với mức lưu lượng xe (ESAL) thiết kế
Lựa chọn loại nhựa đường sử dụng	Sử dụng nhựa đường phân cấp theo độ kim lún, chưa có hướng dẫn khi nào sử dụng nhựa đường thông thường và khi nào sử dụng nhựa đường polime	Sử dụng cấp nhựa đường PG phù hợp với điều kiện nhiệt độ vùng khí hậu và điều chỉnh cấp nhựa đường PG theo đặc tính dòng xe (tải trọng xe, lưu lượng xe, tốc độ dòng xe lưu thông)
Số lượng cấp phối thiết kế	Không qui định, thường chỉ sử dụng 01 cấp phối	Qui định cần lựa chọn ít nhất 03 cấp phối có tính thô - mịn khác nhau
Kết quả thiết kế	Không lựa chọn được cấp phối thô - mịn có tính định lượng	Lựa chọn được cấp phối thô - mịn có tính định lượng

1.2. Phân tích thiết kế hỗn hợp bê tông nhựa Superpave theo nguyên lý cân bằng

Xu hướng thiết kế bê tông nhựa Superpave hiện nay tại Hoa Kỳ là thiết kế hỗn hợp BTN theo nguyên lý cân bằng BMD (Balanced Mix Design) giữa các đặc trưng thể tích-độ nhạy âm, khả năng chống LVBX, và khả năng chống nứt. Hiện nay, AASHTO đã phát hành 2 tiêu chuẩn AASHTO PP 105-20 [32] và AASHTO MP 46-20 [31] thiết kế hỗn hợp BTN theo nguyên lý cân bằng với 04 cách bao gồm:

- Cách A: Thiết kế theo đặc tính thể tích và kiểm tra, xác nhận các đặc tính làm việc (Volumetric Design with Performance Verification).
- Cách B: Thiết kế theo đặc tính thể tích và tối ưu hóa đặc tính làm việc (Volumetric Design with Performance Optimization).

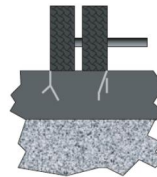
- Cách C: Thiết kế theo đặc tính làm việc- hiệu chỉnh đặc tính thể tích (Performance-Modified Volumetric Mix Design).
- Cách D: Thiết kế theo đặc tính làm việc (Performance Design).

1.3. Các dạng hư hỏng chính của mặt đường BTN

Các dạng hư hỏng mặt đường BTN điển hình phát sinh trong quá trình khai thác dưới tác động của tải trọng xe và nhiệt độ môi được thế giới tổng kết bao gồm: LVBX; nứt môi; nứt do nhiệt và phá hoại do ẩm.

1.4. Các dạng nứt môi và phương pháp thí nghiệm đánh giá

Có 2 dạng nứt môi phổ biến là: Nứt môi từ dưới lên (Bottom-up fatigue cracking), xem Hình 1-10 và Nứt môi từ trên xuống (Top-down fatigue cracking), xem Hình 1-11.



Hình 1-11. Mô hình nứt từ dưới lên [57]

Hình 1-12. Mô hình nứt từ trên xuống [57]

Trên thế giới có nhiều phương pháp thí nghiệm nứt môi của BTN như: Thí nghiệm uốn dầm 4 điểm; Thí nghiệm uốn dầm bán nguyệt SCB theo AASHTO, ASTM; Thí nghiệm IDEAL CTindex; Thí nghiệm Texas overlay test.

1.5. Nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng chống nứt của bê tông nhựa Superpave trên thế giới

Theo nghiên cứu [57] của Hoa Kỳ: Các yếu tố liên quan đến BTN có ảnh hưởng đến LVBX, nứt môi và phá hoại do ẩm của BTN được tóm tắt tại Bảng 1-4.

Bảng 1-4. Các yếu tố ảnh hưởng đến LVBX, nứt môi và phá hoại do ẩm của BTN [57]

Nhân tố ảnh hưởng	Chỉ tiêu	Khả năng chống LVBX	Khả năng chống nứt môi	Độ bền/ khả năng kháng ẩm
Nhựa đường (nhựa đường PG)	Tăng cấp nhiệt độ cao của nhựa đường PG	↑↑↑		
	Tăng độ cứng (Stiffness) của nhựa đường PG tại nhiệt độ trung bình (*)		↑↓	
Cốt liệu	Tăng độ góc cạnh của cốt liệu	↑↑		
	Tăng kích cỡ hạt lớn nhất danh định		↓	↓
	Tăng hàm lượng bột khoáng và/hoặc tăng tỷ lệ bột khoáng/ nhựa đường	↑↑		↑
Hỗn hợp BTN (đặc tính thể tích của BTN)	Tăng mức đầm nén khi thiết kế hỗn hợp	↑↑		
	Tăng độ rỗng BTN khi thiết kế	↑↑		
	Tăng độ rỗng cốt liệu/hoặc tăng hàm lượng nhựa thiết kế	↓↓	↑	

1.6. Các nghiên cứu trong và ngoài nước về bê tông nhựa Superpave và phương pháp đánh giá khả năng chống nứt của bê tông nhựa

1.6.1. Các nghiên cứu trên thế giới

Nghiên cứu [57] đã chỉ ra các yếu tố chủ yếu ảnh hưởng đến khả năng chống nứt môi bao gồm: cốt liệu (độ góc cạnh, cỡ hạt lớn nhất danh định, tỉ lệ D/B), loại nhựa đường sử dụng, hàm lượng nhựa thiết kế.

Nghiên cứu [59] đã chỉ ra khi thiết kế BTN theo Superpave, ngoài đánh giá độ nhạy âm thì cần đánh giá khả năng chống LVBX và nứt môi (Thí nghiệm uốn dầm 4 điểm; Thí nghiệm Ovelay test; Thí nghiệm uốn dầm bán nguyệt SCB và thí nghiệm kéo nén).

Nghiên cứu [58] cho thấy thí nghiệm uốn dầm 4 điểm chủ yếu được dùng để nghiên cứu vì kết quả thí nghiệm phân tán, chưa có chuẩn đánh giá khi nào được coi là “đạt” để thiết kế thành phần hỗn hợp BTN.

Bang Illinois đi đầu trong nghiên cứu sử dụng thí nghiệm SCB đánh giá khả năng chống nứt của BTN có sử dụng hỗn hợp tái chế RAP, RAS [51, 54]. Đã nghiên cứu đánh giá tương quan giữa thí nghiệm SCB trong phòng và sự hình thành phát triển vết nứt ở hiện trường [47, 48]. Đã sử dụng thí nghiệm trong phòng để dự báo nứt của lớp BTN hiện trường [55]. Đã đề xuất tiêu chuẩn thí nghiệm [53] và giới hạn chỉ số mềm FI lớn hơn 8. Từ các kết quả nghiên cứu đã biên soạn AASHTO TP124-18 [41].

Nghiên cứu [58], [61] đã đánh giá độ nhạy của các phương pháp thí nghiệm SCB với các loại BTN (sử dụng các loại cốt liệu, loại nhựa đường và hàm lượng nhựa khác nhau), đánh giá tương quan với hư hỏng nứt thực tế tại hiện trường.

Nghiên cứu [60] cho thấy thí nghiệm SCB theo ASTM D8044 chưa phản ánh được điều kiện nứt thực tế của mặt đường. Thí nghiệm SCB theo AASHTO TP124 cơ bản đánh giá đúng điều kiện khai thác thực tế, giá trị FI càng nhỏ thì càng có nguy cơ nứt cao. Kết quả thí nghiệm SCB theo AASHTO TP124, IDEAL-CT có độ chụm cao, có chuẩn đánh giá “đạt”, có tương quan chặt với nhau, nhạy với các loại BTN, các loại nhựa đường khác nhau.

Nghiên cứu [49], [62] đã cho thấy: Thí nghiệm IDEAL-CT index có các ưu điểm là đơn giản, thời gian thí nghiệm nhanh, hệ số biến thiên COV nhỏ, nhạy với các loại BTN (sử dụng các loại cốt liệu, loại nhựa và hàm lượng nhựa khác nhau, có tương quan hư hỏng nứt môi thực tế tại hiện trường. Kết quả thí nghiệm tính toán được chỉ số CTindex, chỉ số này càng lớn thì BTN có khả năng chống nứt càng cao. Hiện nay, bang Virginia đưa ra yêu cầu giá trị CTindex lớn hơn 70.

1.6.2. Các nghiên cứu ở Việt Nam

Việt Nam vẫn đang sử dụng phương pháp thiết kế hỗn hợp BTN theo Marshall. Phương pháp thiết kế BTN theo Superpave chưa được áp dụng tại nước ta, tuy nhiên đã có những nghiên cứu bước đầu như [17], [19], [20], [25].

Đã có một số luận án tiến sĩ liên quan đến LVBX và nứt môi như: Bùi Ngọc Hưng (2016) [18]; Trần Thiện Lư (2015) [24]; Vũ Phương Thảo (2015) [26]. Nhìn chung các Luận án này đều nghiên cứu thử nghiệm với BTN thiết kế theo Marshall và đều sử dụng thí nghiệm uốn dầm 4 điểm để đánh giá khả năng chống nứt môi của BTN. Chưa có luận án nào nghiên cứu thử nghiệm đánh giá khả năng chống nứt môi bằng thí nghiệm uốn mẫu dầm bán nguyệt SCB và thí nghiệm kéo gián tiếp IDEAL CTindex.

Đã có một số nghiên cứu bước đầu về thí nghiệm uốn dầm bán nguyệt SCB để đánh giá khả năng chống nứt của BTN ở Việt Nam như: Nguyễn Ngọc Lan (2018) [21, 22], Lê Văn Chăm (2019) [16]. Các nghiên cứu này chưa thử nghiệm với các mẫu BTN thiết kế theo Superpave và chưa thí nghiệm kéo gián tiếp IDEAL CTindex.

Đã ban hành TCVN 12818:2019 [15], TCVN này chỉ bao gồm thiết kế bê tông nhựa Superpave theo các đặc tính thể tích và đánh giá độ nảy âm của hỗn hợp BTN mà chưa có các chỉ tiêu đánh giá khả năng chống LVBX và chống nứt mỏi.

Đã ban hành một số TCVN về đánh giá các đặc tính cơ học của BTN.

1.7. Xác định vấn đề nghiên cứu của luận án

Hiện nay, thiết kế hỗn hợp BTN theo Marshall tại Việt Nam mặc dù đã xem xét giải quyết vấn đề chống LVBX, tuy nhiên chưa xem xét giải quyết triệt để nứt mỏi, mà đây là một trong hai nguyên nhân chính gây hư hỏng mặt đường. Trong khi đó, thiết kế BTN theo Superpave đã giải quyết vấn đề liên quan đến lựa chọn vật liệu BTN (nhựa đường PG, cát, đá, bột khoáng) phù hợp với đặc tính dòng xe (lưu lượng xe, tốc độ xe lưu thông), nhằm giảm thiểu các hư hỏng mặt đường như LVBX, nứt mỏi trong quá trình khai thác. Xu hướng thiết kế bê tông nhựa Superpave hiện nay tại Hoa Kỳ là thiết kế theo nguyên lý cân bằng BMD giữa các đặc trưng thể tích-độ nảy âm, LVBX, và nứt mỏi. Vì vậy cần phải nghiên cứu lựa chọn phương pháp thiết kế hỗn hợp BTN phù hợp với điều kiện Việt Nam để đảm bảo đồng thời khả năng chống LVBX và nứt mỏi.

Về phương pháp thí nghiệm đánh giá khả năng chống nứt mỏi: Trên thế giới có nhiều mô hình thí nghiệm, nhiều phương pháp thí nghiệm đánh giá khả năng chống nứt mỏi của BTN, tuy nhiên mỗi phương pháp đều có ưu, nhược điểm và phạm vi áp dụng riêng. Vì vậy việc nghiên cứu, lựa chọn phương pháp thí nghiệm đánh giá khả năng chống nứt mỏi của BTN phù hợp với điều kiện Việt Nam là vấn đề rất cần thiết.

Một số yếu tố ảnh hưởng đến khả năng chống nứt mỏi của BTN bao gồm: cỡ hạt lớn nhất danh định của BTN, nguồn gốc cốt liệu, loại nhựa đường, hàm lượng nhựa... vì vậy cần nghiên cứu thực nghiệm trong phòng để đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố này đến khả năng chống nứt của bê tông nhựa Superpave thiết kế theo nguyên lý cân bằng trong điều kiện Việt Nam.

Qua phân tích trên, đề tài nghiên cứu tập trung vào các vấn đề chủ yếu sau đây:

- Nghiên cứu, phân tích những đặc thù của phương pháp thiết kế hỗn hợp BTN theo Superpave so với phương pháp thiết kế hỗn hợp BTN theo Marshall.
- Nghiên cứu, phân tích các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng chống nứt của bê tông nhựa Superpave.
- Nghiên cứu, phân tích và lựa chọn phương pháp thí nghiệm và chuẩn đánh giá khả năng chống nứt mỏi của BTN chặt phù hợp với điều kiện Việt Nam.
- Nghiên cứu, phân tích và lựa chọn phương pháp thiết kế hỗn hợp bê tông nhựa Superpave theo nguyên lý cân bằng phù hợp với điều kiện Việt Nam.
- Nghiên cứu thực nghiệm trong phòng để đánh giá ảnh hưởng của một số yếu tố (cỡ hạt lớn nhất danh định của BTN, nguồn gốc cốt liệu, loại nhựa đường, hàm lượng nhựa) đến khả năng chống nứt mỏi có xem xét đến khả năng chống LVBX của bê tông nhựa Superpave trong điều kiện Việt Nam để đưa ra các khuyến nghị liên quan.
- Nghiên cứu, phân tích ảnh hưởng của một số yếu tố đến đặc trưng khai thác của kết cấu mặt đường bằng phương pháp cơ học thực nghiệm.

1.8.3. Phương pháp nghiên cứu

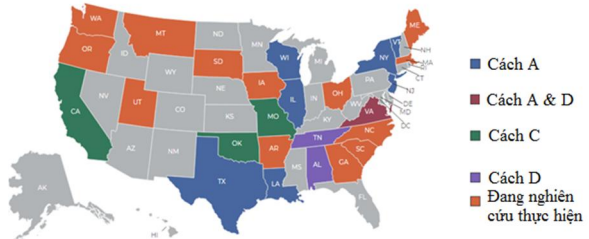
Luận án sử dụng phương pháp nghiên cứu lý thuyết kết hợp với nghiên cứu thực nghiệm.

CHƯƠNG 2. NGHIÊN CỨU LỰA CHỌN PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM ĐÁNH GIÁ KHẢ NĂNG CHỐNG NỨT CỦA BÊ TÔNG NHỰA SUPERPAVE

Chương 2 tập trung nghiên cứu, phân tích, lựa chọn phương pháp thí nghiệm và chuẩn đánh giá khả năng chống nứt của bê tông nhựa Superpave, đồng thời phân tích, lựa chọn phương pháp thiết kế hỗn hợp bê tông nhựa Superpave theo nguyên lý cân bằng phù hợp với điều kiện Việt Nam.

2.1. Nghiên cứu lựa chọn phương pháp thiết kế hỗn hợp bê tông nhựa Superpave theo nguyên lý cân bằng BMD ở Việt Nam

Tại Hoa Kỳ, đến tháng 8/2021 có 7 bang thực hiện cách A, 3 bang thực hiện cách C, 2 bang thực hiện cách D, 1 bang thực hiện đồng thời cách A và D, 13 bang đang nghiên cứu thực hiện, 24 bang chưa có thông tin về BMD (Hình 2-1).



Hình 2-1. Tình hình nghiên cứu áp dụng BMD ở Hoa Kỳ

Với 13 bang đang nghiên cứu thực hiện thiết kế hỗn hợp BTN theo BMD thì đều thiết kế hỗn hợp BTN theo đặc tính thể tích sau đó đánh giá các đặc tính làm việc. Các bang đều đánh giá khả năng chống LVBX bằng thí nghiệm HWTT hoặc APA. Đánh giá khả năng chống âm bằng thí nghiệm HWTT hoặc TSR. Một số bang đã đánh giá khả năng chống nứt. Các bang này đều định hướng áp dụng thiết kế cân bằng theo cách A.

Cho đến nay Úc vẫn sử dụng phương pháp thiết kế theo đặc tính thể tích có kiểm tra các đặc tính làm việc của BTN, đây chính là cách A nhưng chưa được xếp vào định nghĩa rõ ràng [50]. Các nước khác cũng bắt đầu nghiên cứu áp dụng BMD ở các mức độ và cách tiếp cận phù hợp. Tuy nhiên lịch sử thiết kế hỗn hợp BTN các nước cũng đã bổ sung các thí nghiệm đặc tính làm việc ngoài các đặc tính thể tích. Cách tiếp cận này giống với cách A với các thí nghiệm đặc tính làm việc đặc thù của từng nước.

Điều kiện khí hậu Việt Nam với nhiệt độ cao, mùa nóng kéo dài, mưa nhiều, độ ẩm cao nên cần tập trung nghiên cứu phương pháp thiết kế hỗn hợp BTN phù hợp. Phá hoại phổ biến nhất cho các lớp mặt đường BTN ở Việt Nam vẫn là LVBX. Nhiều dự án trong thời gian qua đã khắc phục được hiện tượng LVBX nhưng tại một số dự án lại bắt đầu xuất hiện hiện tượng nứt, vỡ lớp BTN bề mặt làm cho nước mưa thấm xuống các lớp vật liệu phía dưới làm phá hoại kết cấu mặt đường. Do mưa nhiều, độ ẩm cao, dính bám đá nhựa kém nên một số dự án cũng bị phá hoại do độ ẩm bong tách màng nhựa.

Thiết kế hỗn hợp BTN theo nguyên lý cân bằng là phương pháp mới, ngay cả một số bang của Hoa Kỳ cũng đang nghiên cứu áp dụng. Đa số các bang cũng đều áp dụng cách A. Cách A là cách tiếp cận thận trọng nhất và có tiềm năng đổi mới thấp nhất.

Việt Nam cũng đã quen với thiết kế hỗn hợp để xác định hàm lượng nhựa tối ưu theo các đặc tính thể tích và kiểm tra khả năng chống LVBX. Thiết kế hỗn hợp BTN hiện nay ở Việt Nam cũng đang xu hướng theo cách A giống như đối với các nước khác. Cách này tuy có tiềm năng đổi mới thấp nhất nhưng không làm xáo trộn quy trình thiết kế, thi công và nghiệm thu đã được biên soạn chi tiết, cập nhật kinh nghiệm qua nhiều năm và được thực tế sử dụng hiệu quả, đảm bảo kinh tế, kỹ thuật.

Trong điều kiện Việt Nam, đề xuất lựa chọn cách A khi thiết kế hỗn hợp bê tông nhựa Superpave theo nguyên lý cân bằng: “Thiết kế theo thể tích và kiểm tra, xác nhận các đặc tính làm việc (Volumetric Design with Performance Verification)” với trình tự:

- Bước 1: Thiết kế hỗn hợp bê tông nhựa Superpave theo đặc tính thể tích để xác định hàm lượng nhựa tối ưu đáp ứng tất cả các yêu cầu về thể tích quy định.
- Bước 2: Đánh giá khả năng chống LVBX, nếu hỗn hợp thiết kế không đạt thì lại thiết kế lại bằng cách sử dụng các vật liệu khác (cốt liệu, chất kết dính nhựa đường, vật liệu tái chế và phụ gia) hoặc trộn theo tỷ lệ khác cho đến khi đạt yêu cầu;
- Bước 3: Đánh giá khả năng chống nứt, nếu hỗn hợp thiết kế không đạt thì lại thiết kế lại bằng cách sử dụng các vật liệu khác (cốt liệu, chất kết dính nhựa đường, vật liệu tái chế và phụ gia) hoặc trộn theo tỷ lệ khác cho đến khi đạt yêu cầu;
- Bước 4: Đánh giá khả năng kháng âm: Sau khi vượt qua các thử nghiệm LVBX và nứt, hỗn hợp thiết kế sau đó được đánh giá với thử nghiệm hư hỏng do âm. Nếu thiết kế đảm bảo tiêu chí khả năng kháng âm thì chấp nhận công thức cho sản xuất. Nếu không, cần phải thêm các phụ gia tăng cường dính bám đá nhựa, chống bong tách hoặc vôi thủy hóa và hỗn hợp được đánh giá lại cho đến khi đạt yêu cầu.

2.2. Nghiên cứu lựa chọn các phương pháp thí nghiệm đánh giá khả năng chống nứt của bê tông nhựa Superpave ở Việt Nam

2.2.1. Phương pháp thí nghiệm uốn dầm 4 điểm

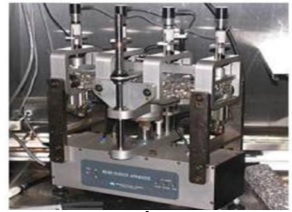
Tiêu chuẩn thí nghiệm: AASHTO T321, ASTM D7460, EN 12697-26D, TCVN12579-2019.

Thiết bị: Sử dụng thiết bị uốn dầm 4 điểm (Hình 2-3).

Giá thiết bị cao, khoảng trên 100000 USD.

Kết quả thí nghiệm rất phân tán $COV > 50\%$ [58].

Đánh giá: Kém, chi dùng để nghiên cứu.



Hình 2-3. Thiết bị thí nghiệm uốn dầm 4 điểm

2.2.2. Phương pháp thí nghiệm uốn dầm bán nguyệt SCB theo AASHTO

Tiêu chuẩn thí nghiệm: AASHTO TP124-18, AASHTO T393, TCVN 13347:2021.

Thiết bị: Sử dụng thiết bị Marshall có gắn bộ LVDT tự động ghi và vẽ biểu đồ lực và chuyển vị (Hình 2-4).

Điều kiện thí nghiệm: Mẫu được ủ ở nhiệt độ 25°C trong 2 giờ. Thí nghiệm ở 25°C .

Tốc độ gia tải không đổi 50 mm/ phút.

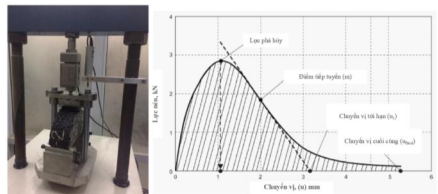
Mẫu thí nghiệm: Cần 4 mẫu bán nguyệt SCB được cắt từ mẫu hình trụ đường kính 150mm, dày 50mm, xẻ rãnh 15mm và chiều rộng $\leq 2,25$ mm, độ rỗng dư $(7\pm 1)\%$.

Kết quả thí nghiệm tương đối chụm $COV < 20\%$ [60].

Kết quả, ngưỡng giới hạn: Chỉ số mềm FI (Flexibility Index). FI càng lớn thì BTN có khả năng chống nứt càng cao; bang Illinois qui định ngưỡng giới hạn $FI \geq 8$.

Xác nhận phù hợp tốt với nứt thực tế ở bang Illinois, FHWA, ALF.

Đánh giá: Tốt, dễ sử dụng ở Việt Nam để thiết kế hỗn hợp, kiểm soát chất lượng BTN.



Hình 2-4. Thiết bị thí nghiệm uốn dầm bán nguyệt SCB theo AASHTO

2.2.3. Phương pháp thí nghiệm IDEAL CTindex

Tiêu chuẩn thí nghiệm: ASTM D8225-19

Thiết bị: Sử dụng thiết bị Marshall có gắn bộ LVDT tự động ghi và vẽ biểu đồ lực và chuyển vị (Hình 2-5).

Mẫu thí nghiệm: đường kính 150 mm, chiều cao 62mm, độ rỗng dư $(7\pm 0,5)\%$.

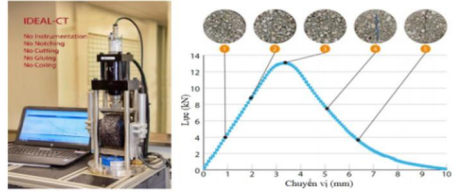
Điều kiện thí nghiệm: Mẫu được ủ ở điều kiện nhiệt độ 25°C trong 2 giờ. Thí nghiệm ở 25°C . Tốc độ gia tải 50 mm/ phút .

Kết quả, ngưỡng giới hạn: Chỉ số CTindex, CTindex càng lớn thì BTN có khả năng chống nứt càng cao, bang Virginia đưa ra yêu cầu CTindex lớn hơn 70.

Mức độ phân tán: Kết quả thí nghiệm tương đối chụm $\text{COV}<20\%$ [60].

Xác nhận phù hợp tốt với rất nhiều hiện trường đánh giá nứt thực tế của Cục đường bộ liên bang Hoa Kỳ, chương trình theo dõi dài hạn LTPP.

Đánh giá: Tốt, dễ sử dụng ở Việt Nam để thiết kế hỗn hợp, kiểm soát chất lượng BTN.



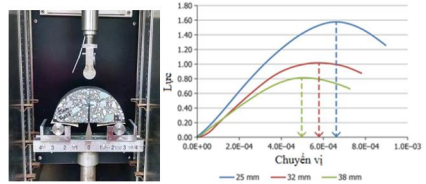
Hình 2-5. Thiết bị thí nghiệm IDEAL CTindex

2.2.4. Phương pháp thí nghiệm uốn dầm bán nguyệt SCB theo ASTM

Tiêu chuẩn thí nghiệm: ASTM D8044-16.

Thiết bị: máy nén có thể gia tải với tốc độ $0,5\text{mm/phút}$, tự động ghi và vẽ biểu đồ lực và chuyển vị (Hình 2-6).

Mẫu thí nghiệm: 4 mẫu bán nguyệt với 3 chiều sâu xẻ khe (25,4 mm, 31,8 mm và 38,0 mm) cắt đôi từ mẫu D150mm.



Hình 2-6. Thiết bị thí nghiệm uốn dầm bán nguyệt SCB theo ASTM

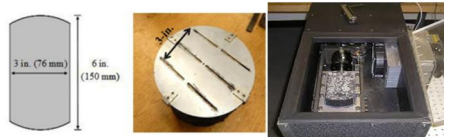
Không phản ánh đúng diễn biến nứt thực tế tại hiện trường thử nghiệm.

Đánh giá: Khá, có thể sử dụng để thiết kế hỗn hợp, kiểm soát chất lượng BTN.

2.2.5. Phương pháp thí nghiệm Texas overlay test

Tiêu chuẩn thí nghiệm: Texas Tex-248-F

Thiết bị: Sử dụng thiết bị chuyên dụng AMPT. Công tác cắt mẫu và dính mẫu vào khuôn cũng khó khăn (Hình 2-7). Giá thiết bị cao, khoảng 46000 USD. Giá bộ dụng cụ cắt mẫu khoảng 7000 USD.



Hình 2-7. Thiết bị thí nghiệm Texas overlay test

Mức độ phân tán: Kết quả thí nghiệm tương đối phân tán COV từ 30% đến 50% [58].

Đánh giá: Kém, chỉ dùng để nghiên cứu, không thích hợp với thiết kế hỗn hợp, không thích hợp với các phòng thí nghiệm hiện trường.

2.2.6. Phân tích lựa chọn phương pháp thí nghiệm đánh giá khả năng chống nứt của bê tông nhựa Superpave ở Việt Nam

Bảng 2-4 so sánh các phương pháp đánh giá khả năng chống nứt của BTN [58, 60].

Bảng 2-4. So sánh các thông số chủ yếu của các phương pháp thí nghiệm đánh giá khả năng chống nứt của BTN

Phương pháp thí nghiệm	Độ phân tán của kết quả thí nghiệm	Giá thành thiết bị	Mức độ phức tạp	Có chuẩn đánh giá “đạt”	Tương quan với hư hỏng nứt hiện trường
Uốn dầm 4 điểm	COV > 50%	>100000 USD	Rất phức tạp, thời gian thí nghiệm dài	Chưa có	Tốt
Uốn dầm bán nguyệt SCB theo AASHTO	COV < 20%	~22000 USD	Đơn giản, thời gian thí nghiệm nhanh	FI ≥ 8	Tốt
IDEAL CTindex	COV < 20%	<10000 USD	Đơn giản, thời gian thí nghiệm nhanh, không phải cắt xẻ mẫu	CTindex ≥ 70	Tốt
Uốn dầm bán nguyệt SCB theo ASTM	COV < 20%	~33000 USD	Khá phức tạp do phải cắt xẻ mẫu với 3 chiều sâu khác nhau	Jc ≥ (0,5-0,6) kJ/m ²	Kém
Texas overlay test	COV từ 30% ~ 50%	~53000 USD	Rất phức tạp	Có	Tốt

Định hướng tại Việt Nam là lựa chọn phương pháp thí nghiệm có độ chụm cao, mức độ phân tán của kết quả thí nghiệm thấp, giá thành thiết bị thấp, có chuẩn để đánh giá “đạt”, đơn giản, dễ sử dụng, đánh giá được độ nhạy của các thông số đầu vào, phù hợp với điều kiện khai thác. Vì vậy đề xuất lựa chọn 02 thí nghiệm đánh giá khả năng chống nứt của bê tông nhựa trong điều kiện Việt Nam theo thứ tự ưu tiên như sau:

- (1). Thí nghiệm IDEAL CTindex (theo ASTM D8225) với ngưỡng chỉ số chịu nứt tối thiểu (CT_{index}) là 70 để chấp nhận các hỗn hợp BTN (theo quy định của bang Virginia).
- (2). Thí nghiệm uốn dầm bán nguyệt SCB (theo AASHTO T393, TCVN 13347:2021) với ngưỡng chỉ số mềm tối thiểu (FI) là 8.0 để chấp nhận hỗn hợp BTN (theo quy định của bang Illinois).

2.3. Phân tích, lựa chọn phương pháp thí nghiệm đánh giá khả năng chống lún vệt bánh xe phù hợp với điều kiện Việt Nam

Một số phương pháp thí nghiệm LVBX có thể kể đến như: Thí nghiệm APA (Asphalt Pavement Analyzer); Thí nghiệm chỉ số chảy (Flow Number Test); Thí nghiệm Hamburg Wheel-Tracking; Thí nghiệm cắt Superpave (Superpave Shear Tester).

Phương pháp thí nghiệm Hamburg Wheel-Tracking

Tiêu chuẩn thí nghiệm: AASHTO T 324-19; Quyết định 1617/QĐ-BGTVT.

Thiết bị: Sử dụng thiết bị Hamburg Wheel-Tracking Device (Hình 2-10).

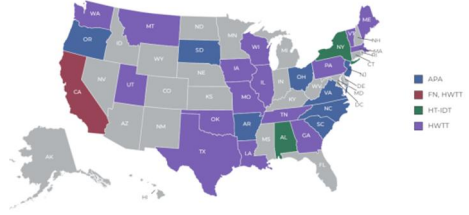
Mẫu thí nghiệm: hình trụ tròn có D ≥ 150mm hoặc mẫu dạng tấm 320x260x(38 ± 100) mm. Mẫu chế bị trong phòng hoặc khoan/cắt tại hiện trường.



Hình 2-10. Thiết bị thí nghiệm Hamburg Wheel-Tracking

Điều kiện thí nghiệm: Mẫu được hóa già trong 4 giờ tại 135°C trước khi đầm. Mẫu được ngâm nước trong 45 phút tại nhiệt độ thí nghiệm. Thí nghiệm trong môi trường ngâm nước ở nhiệt độ 40-56°C.

Kết quả, ngưỡng giới hạn: Chiều sâu LVBX, điểm bong tróc màng nhựa. Tại Hoa Kỳ, đa số các bang đều quy định chiều sâu LVBX tối đa là 12,5mm sau từ 10000-20000 lượt tác dụng tải tùy thuộc cấp nhựa đường PG. Việt Nam, cũng quy định tối đa 12,5mm sau 15000 lần tác dụng tải với BTN sử dụng nhựa đường thông thường và sau 40000 lần tác dụng tải với BTN sử dụng nhựa đường polime.



Hình 2-12. Bản đồ các Bang lựa chọn thí nghiệm đánh giá khả năng chống LVBX

Như đã phân tích ở trên nhận thấy mặc dù trên thế giới có rất nhiều phương pháp thí nghiệm để đánh giá khả năng chống LVBX cho BTN, tuy nhiên phương pháp Hamburg Wheel Tracking có giá thành thiết bị không cao, thao tác thí nghiệm không phức tạp, có chuẩn đánh giá “đạt” nên đã được nhiều bang của Hoa Kỳ (xem Hình 2-12), nhiều nước châu Âu sử dụng để đánh giá khả năng chống LVBX khi thiết kế BTN. Hiện nay, Việt Nam cũng sử dụng phương pháp này để đánh giá LVBX cho BTN theo Quyết định số 1617/QĐ-BGTVT [3], do vậy đề xuất: Sử dụng phương pháp Hamburg Wheel Tracking theo Quyết định số 1617/QĐ-BGTVT để đánh giá khả năng chống LVBX khi thiết kế hỗn hợp bê tông nhựa Superpave theo nguyên lý cân bằng tại Việt Nam.

2.4. Phân tích, lựa chọn phương pháp thí nghiệm đánh giá khả năng kháng ẩm phù hợp với điều kiện Việt Nam

Có nhiều thí nghiệm đánh giá độ nhạy ẩm của BTN được ban hành trên thế giới như:

1. Thí nghiệm Hamburg Wheel-Tracking theo AASHTO T324.
2. Thí nghiệm cường độ kéo gián tiếp (TSR) theo AASHTO T283.
3. Thí nghiệm ứng suất do độ ẩm theo ASTM D7870/D7870M.

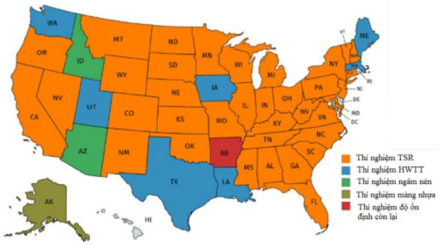
Phương pháp thí nghiệm LVBX bằng thiết bị Hamburg Wheel Tracking theo AASHTO T324, kết quả thí nghiệm xác định được điểm bong màng nhựa. Tuy nhiên thực tế kết quả trong các phòng thí nghiệm cho thấy hầu như không xác định được điểm bong màng nhựa, hoặc nếu xác định được thì số chu kỳ tác dụng tải rất lớn. Từ đó nếu để xác định được điểm bong màng nhựa thì chi phí thí nghiệm khá lớn.

Thí nghiệm ứng suất do độ ẩm theo ASTM D7870/D7870M lại chưa có chuẩn đánh giá “đạt” để sử dụng khi thiết kế hỗn hợp BTN.

Thí nghiệm cường độ kéo gián tiếp (TSR) theo AASHTO T283 dùng để dự đoán độ nhạy ẩm của BTN, khả năng liên kết giữa cốt liệu và nhựa đường trong hỗn hợp bê tông nhựa trong thời gian sử dụng, đánh giá hiệu quả của chất phụ gia tăng dính bám sử dụng trong bê tông nhựa (nếu có).

Đa số các bang của Hoa Kỳ chọn thí nghiệm TSR theo AASHTO T 283 để đánh giá khả năng kháng ẩm (Hình 2-13) với ngưỡng giới hạn chỉ số TSR thông thường tối thiểu là 80%. Thiết kế BTN theo Superpave theo AASHTO M323, AASHTO R35 và TCVN 12818:2019 cũng sử dụng AASHTO T283 để đánh giá độ nhạy ẩm của BTN với ngưỡng giới hạn chỉ số TSR tối thiểu là 80%

Mặt khác, Việt Nam đã biên soạn và ban hành TCVN 12914:2020 [11] trên cơ sở tham khảo AASHTO T283. Do vậy, đề xuất sử dụng sử dụng TCVN 12914:2020 (AASHTO T283) để đánh giá khả năng kháng âm khi thiết kế hỗn hợp bê tông nhựa Superpave theo nguyên lý cân bằng tại Việt Nam với ngưỡng giới hạn TSR tối thiểu là 80%.



Hình 2-13. Bản đồ các Bang lựa chọn thí nghiệm đánh giá khả năng kháng âm [61]

2.5. Kết luận chương 2

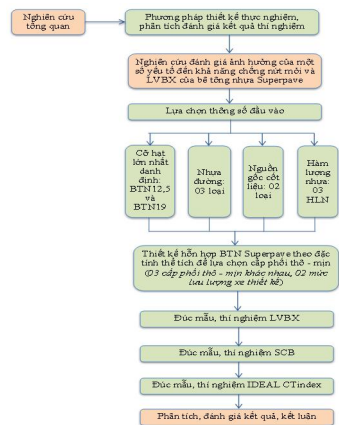
1. Đã đề xuất lựa chọn phương pháp, nguyên tắc và trình tự thiết kế hỗn hợp bê tông nhựa Superpave theo nguyên lý cân bằng ở Việt Nam theo cách A - Thiết kế theo thể tích Superpave và kiểm tra, xác nhận các đặc tính làm việc.
2. Đã đề xuất lựa chọn các phương pháp thí nghiệm và chuẩn đánh giá đánh giá khả năng chống nứt của bê tông nhựa Superpave ở Việt Nam bằng 01 trong 02 thí nghiệm theo thứ tự ưu tiên như sau: (1). Thí nghiệm IDEAL CTindex (theo ASTM D8225) với ngưỡng chỉ số chịu nứt tối thiểu (CTindex) là 70 để chấp nhận hỗn hợp BTN. (2). Thí nghiệm uốn dầm bán nguyệt SCB (theo AASHTO T393, TCVN 13347:2021) với ngưỡng chỉ số mềm tối thiểu (FI) là 8.0 để chấp nhận hỗn hợp BTN.
3. Đã phân tích đề xuất lựa chọn phương pháp thí nghiệm đánh giá khả năng chống LVBX theo phương pháp Hamburg Wheel Tracking theo Quyết định số 1617/QĐ-BGTVT và phương pháp thí nghiệm đánh giá độ nhạy âm theo TCVN 12914:2020 (AASHTO T283) với ngưỡng giới hạn TSR tối thiểu là 80%.

CHƯƠNG 3. NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN KHẢ NĂNG CHỐNG NÚT CỦA BÊ TÔNG NHỰA SUPERPAVE THEO NGUYÊN LÝ CÂN BẰNG

3.1. Mục tiêu, nội dung nghiên cứu thực nghiệm, thiết kế thí nghiệm và trình tự phân tích thống kê xử lý số liệu

3.1.1. Mục tiêu

Mục tiêu nghiên cứu thực nghiệm trong phòng gồm là: đánh giá ảnh hưởng của một số yếu tố (cỡ hạt lớn nhất danh định, nguồn gốc cốt liệu, loại nhựa đường và hàm lượng nhựa) đến khả năng chống nứt mỏi và chống LVBX của bê tông nhựa Superpave thiết kế theo nguyên lý cân bằng trong điều kiện Việt Nam. Sơ đồ trình tự thí nghiệm trong phòng như Hình 3-1.

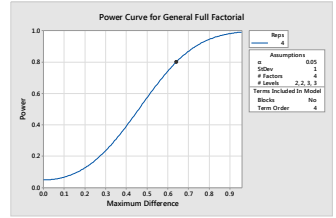


Hình 3-1. Sơ đồ nghiên cứu thí nghiệm trong phòng

3.1.2. Thiết kế thí nghiệm và trình tự phân tích thống kê xử lý số liệu

Thiết kế thực nghiệm DOE. Nghiên cứu thiết kế thí nghiệm tổng quát sử dụng phần mềm Minitab ở độ tin cậy 95%, mức ý nghĩa $\alpha=5\%$. Phân tích phương sai ANOVA. Phân tích hậu định Tukey.

Với số lần lặp là 4 mẫu/ tổ mẫu, kiểm tra xác định được mức độ phát hiện sai khác 0,64 độ lệch chuẩn với $\alpha=0,05$ và độ mạnh Power=0,8 như ở Hình 3-2.



Hình 3-2. Kiểm tra số mẫu khi phân tích thống kê

3.1.3. Lựa chọn vật liệu đầu vào

- Về cỡ hạt lớn nhất danh định: Lựa chọn 2 cỡ là 12,5mm và 19mm.
- Về nhựa đường: Lựa chọn 3 loại nhựa đường khác nhau. Việt Nam vẫn đang sử dụng nhựa đường phân cấp theo độ kim lún mà chưa có nhựa đường PG, do vậy đề xuất sử dụng nhựa đường 60/70; 40/50; nhựa đường polime PMB.III (là những loại nhựa đang được sử dụng phổ biến tại các dự án) trên cơ sở thí nghiệm theo PG để tìm ra các cấp nhựa tương đương với cấp nhựa PG áp dụng cho thiết kế hỗn hợp BTN theo Superpave.
- Về nguồn gốc vật liệu: lựa chọn 2 loại đá là đá vôi tại mỏ Transmeco – Hà Nam và đá bazan tại mỏ Phú Mãn - Hà Nội.
- Về hàm lượng nhựa: Lựa chọn 3 hàm lượng nhựa khác nhau với mỗi loại BTN (Hàm lượng dự kiến thiết kế P_b ; hàm lượng nhựa $P_b-0,5\%$ và hàm lượng nhựa $P_b+0,5\%$).

3.1.4. Thiết kế thực nghiệm xác định số lượng mẫu thí nghiệm

Bảng 3-1. Số mẫu thí nghiệm chiều sâu LVBX

Loại nhựa/Hàm lượng nhựa	BTN12,5						BTN19					
	Đá vôi			Đá bazan			Đá vôi			Đá bazan		
	$P_b-0,5$	P_b	$P_b+0,5$	$P_b-0,5$	P_b	$P_b+0,5$	$P_b-0,5$	P_b	$P_b+0,5$	$P_b-0,5$	P_b	$P_b+0,5$
60/70	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
40/50	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
PMB.III	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
Tổng	36											

Bảng 3-2. Số mẫu thí nghiệm chỉ số mềm FI

Loại nhựa/Hàm lượng nhựa	BTN12,5						BTN19					
	Đá vôi			Đá bazan			Đá vôi			Đá bazan		
	$P_b-0,5$	P_b	$P_b+0,5$	$P_b-0,5$	P_b	$P_b+0,5$	$P_b-0,5$	P_b	$P_b+0,5$	$P_b-0,5$	P_b	$P_b+0,5$
60/70	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
40/50	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
PMB.III	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Tổng	144											

Bảng 3-3. Số mẫu thí nghiệm chỉ số CTindex

Loại nhựa/Hàm lượng nhựa	BTN12,5						BTN19					
	Đá vôi			Đá bazan			Đá vôi			Đá bazan		
	$P_b-0,5$	P_b	$P_b+0,5$	$P_b-0,5$	P_b	$P_b+0,5$	$P_b-0,5$	P_b	$P_b+0,5$	$P_b-0,5$	P_b	$P_b+0,5$
60/70	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
40/50	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
PMB.III	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Tổng	144											

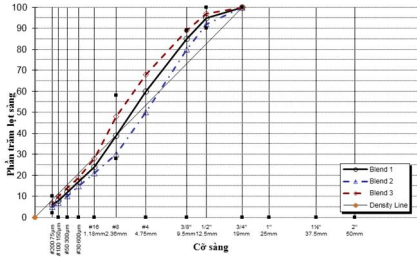
Sử dụng phần mềm MINITAB thiết kế thí nghiệm tổng quát (GENERAL full factorial design) xác định được số lượng mẫu thí nghiệm LVBX như trong Bảng 3-1, thí nghiệm chỉ số mềm FI như Bảng 3-2 và chỉ số CTindex như Bảng 3-3.

3.2. Thí nghiệm các chỉ tiêu cơ lý của vật liệu

Các chỉ tiêu cơ lý của cốt liệu thô, cốt liệu mịn, bột khoáng và nhựa đường thỏa mãn theo quy định. Nhựa đường 60/70 đạt cấp PG64-22; nhựa đường 40/50 đạt cấp PG64-16 và nhựa đường polymer PMB.III đạt cấp PG82-22.

3.3. Thiết kế thành phần hỗn hợp bê tông nhựa Superpave theo đặc tính thể tích để lựa chọn cấp phối thô - mịn

Cấp phối BTN12,5 và BTN19 được thiết kế với 03 loại cấp phối (cấp phối vừa, cấp phối thô và cấp phối mịn) theo TCVN 12818:2019 [10], (xem Hình 3-3, Hình 3-4):

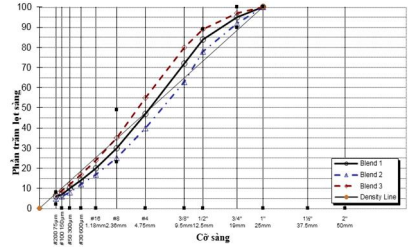


Hình 3-3. Thành phần hạt của 03 cấp phối BTN12,5
 Bảng 3-8. Kết quả thí nghiệm các đặc tính thể tích BTN sử dụng nhựa PG64-22

TT	Tên chỉ tiêu	BTN12,5- nhựa PG64-22 (cấp phối vừa)		BTN19- nhựa PG64-22 (cấp phối vừa)		YCKT
		Đá vôi	Đá bazan	Đá vôi	Đá bazan	
1	Hàm lượng nhựa, %	5,10	5,10	4,90	4,90	
2	Độ rỗng dư Va, %	4,00	4,05	3,98	3,95	4
3	Độ rỗng cốt liệu, VMA, %	15,05	14,59	15,1	14,65	≥14
4	Độ rỗng lấp đầy nhựa, VFA, %	73,45	72,22	73,9	73,15	65-75
5	Tỷ số D/B	1,08	1,15	1,07	1,13	0,8-1,6
6	Tỷ số TSR	0,90	0,88	0,90	0,88	>0,8

Bảng 3-10. Kết quả thí nghiệm các đặc tính thể tích BTN sử dụng nhựa PG82-22

TT	Tên chỉ tiêu	BTN12,5- nhựa PG82-22 (cấp phối thô)		BTN19- nhựa PG82-22 (cấp phối thô)		YCKT
		Đá vôi	Đá bazan	Đá vôi	Đá bazan	
1	Hàm lượng nhựa, %	5,10	5,15	4,90	4,90	
2	Độ rỗng dư Va, %	3,99	4,05	4,04	4,05	4
3	Độ rỗng cốt liệu, VMA, %	14,86	14,25	14,21	14,05	≥14
4	Độ rỗng lấp đầy nhựa, VFA, %	73,18	71,18	71,58	71,14	65-75
5	Tỷ số D/B	1,10	1,19	1,18	1,22	0,8-1,6
6	Tỷ số TSR	0,96	0,97	0,93	0,94	>0,8



Hình 3-4. Thành phần hạt của 03 cấp phối BTN19
 Bảng 3-9. Kết quả thí nghiệm các đặc tính thể tích BTN sử dụng nhựa PG64-16

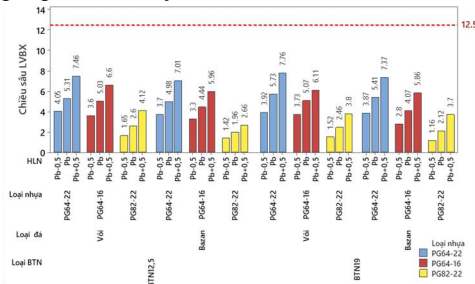
TT	Tên chỉ tiêu	BTN12,5- nhựa PG64-16 (cấp phối vừa)		BTN19- nhựa PG64-16 (cấp phối vừa)		YCKT
		Đá vôi	Đá bazan	Đá vôi	Đá bazan	
1	Hàm lượng nhựa, %	5,10	5,10	4,90	4,90	
2	Độ rỗng dư Va, %	4,03	3,97	4,00	4,10	4
3	Độ rỗng cốt liệu, VMA, %	15,05	14,48	14,25	14,06	≥14
4	Độ rỗng lấp đầy nhựa, VFA, %	73,20	72,57	71,90	70,86	65-75
5	Tỷ số D/B	1,08	1,15	1,17	1,22	0,8-1,6
6	Tỷ số TSR	0,92	0,89	0,92	0,91	>0,8

Thông qua kết quả thí nghiệm với BTN12,5 và BTN19 với 03 loại cấp phối có mức độ thô-mịn khác nhau, nhận thấy: với mức lưu lượng xe thiết kế nhẹ (0,3 – 3) triệu ESALs thì chỉ cần sử dụng cấp phối vừa là đáp ứng yêu cầu, còn với mức lưu lượng xe thiết kế nặng >30 triệu ESALs thì nên sử dụng cấp phối thô

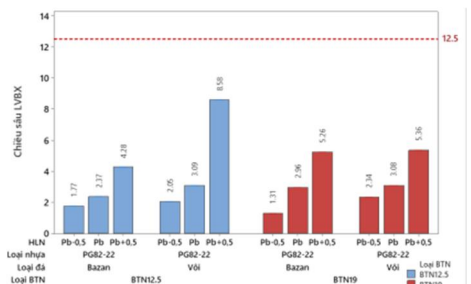
3.4. Thí nghiệm đánh giá ảnh hưởng của một số yếu tố đến khả năng chống nứt môi và chống LVBX của bê tông nhựa Superpave

3.4.1. Thí nghiệm HWTT đánh giá khả năng chống lún vệt bánh xe

Thí nghiệm LVBX được thực hiện trong môi trường nước ở nhiệt độ 50°C theo phương pháp A của Quyết định 1617/QĐ-BGTVT.



Hình 3-5. Biểu đồ chiều sâu LVBX sau 15000 lượt của BTN12,5 và BTN19



Hình 3-6. Biểu đồ chiều sâu LVBX sau 40000 lượt của BTN12,5 và BTN19

- Giá trị chiều sâu LVBX sau 15000 lượt tác dụng tải của BTN12,5 nằm trong khoảng từ 1,42mm đến 7,46mm và BTN19 trong khoảng từ 1,16mm đến 7,76mm (Hình 3-5).

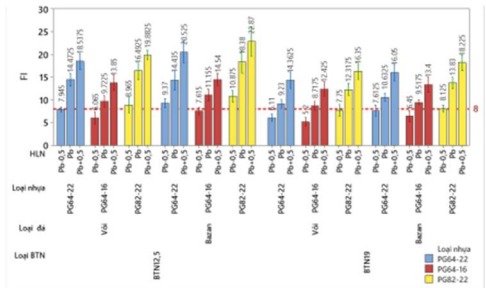
Giá trị chiều sâu LVBX sau 40000 lượt tác dụng tải của BTN12,5 sử dụng nhựa đường PG82-22 trong khoảng từ 1,77mm đến 8,58mm và BTN19 sử dụng nhựa đường PG82-22 trong khoảng từ 1,31mm đến 5,36mm (Hình 3-6).

3.4.2. Thí nghiệm SCB đánh giá khả năng chống nứt

Tiến hành thí nghiệm theo TCVN 13347:2021 [14]: Tải trọng tác dụng với tốc độ gia tải không đổi bằng 50 mm/ phút ở nhiệt độ (25±0,5)°C. Kết quả thí nghiệm Chỉ số mềm FI đưa ra tại Hình 3-7:

- Chỉ số mềm FI của các mẫu BTN12,5 nằm trong khoảng từ 6,07 đến 22,87 và của các mẫu BTN19 nằm trong khoảng từ 5,20 đến 18,23.

- Có 03/18 tổ mẫu BTN12,5 (chiếm 16,67%) và 05/18 tổ mẫu BTN19 (chiếm 27,78%) có FI nhỏ hơn giá trị tối thiểu (FI ≥ 8).



Hình 3-7. Biểu đồ Chỉ số mềm FI của BTN12,5 và BTN19



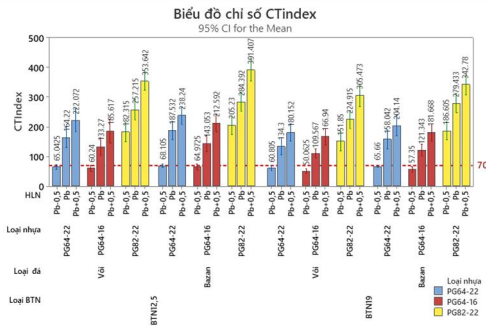
Hình 3-8. Một số hình ảnh thí nghiệm SCB

3.4.3. Thí nghiệm IDEAL CT_{INDEX} đánh giá khả năng chống nứt

Tiến hành thí nghiệm CTindex theo trình tự quy định tại ASTM D8225 [45]: Tải trọng tác dụng với tốc độ gia tải không đổi 50 mm/ phút ở nhiệt độ 25°C. Kết quả thí nghiệm được đưa ra tại Hình 3-9:

- Chỉ số CTindex của các mẫu BTN12,5 nằm trong khoảng từ 53,98 đến 412,58 và của các mẫu BTN19 nằm trong khoảng từ 43,08 đến 371,11.

- Có 04/18 tổ mẫu BTN12,5 (chiếm 22,22%) và 04/18 tổ mẫu BTN19 (chiếm 22,22%) có chỉ số CTindex nhỏ hơn so với giá trị tối thiểu theo quy định (CTindex ≥ 70).



Hình 3-9. Biểu đồ Chỉ số CTindex của BTN12,5 và BTN19



Hình 3-10. Một số hình ảnh thí nghiệm CTindex

3.5. Phân tích thống kê, đánh giá KQTN

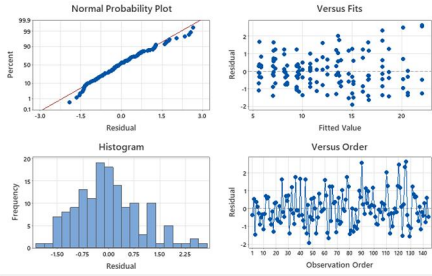
3.5.1. Phân tích độ chụm của các kết quả thí nghiệm

Độ chụm được đánh giá theo tiêu chuẩn ASTM C670 và TCVN6910-6. Các kết quả thí nghiệm đều đạt độ chụm.

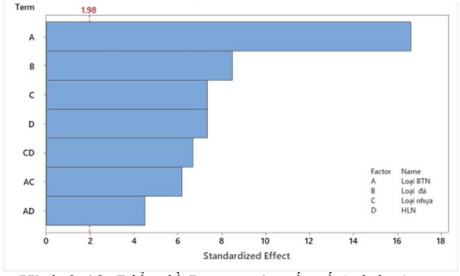
3.5.2. Phân tích, đánh giá kết quả thí nghiệm chỉ số mềm FI

- Kết quả phân tích phương sai hệ số xác định điều chỉnh $R^2_{dc} = 95,45\%$, Lack-of-Fit=0,250>0,05, các biến đều có hệ số p-value<<0,05 đảm bảo mức ý nghĩa 95%.

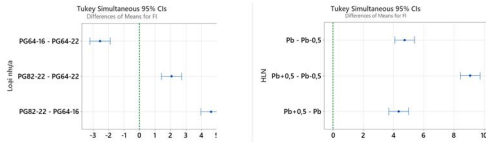
- Kết quả biểu đồ Pareto ở Hình 3-12 và phân tích hậu định Tukey ở Hình 3-13 cho thấy tất cả các yếu tố đều ảnh hưởng đến chỉ số mềm FI có ý nghĩa thống kê.



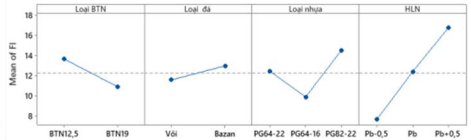
Hình 3-11. Biểu đồ phân tích phần dư tập mẫu chỉ số mềm FI



Hình 3-12. Biểu đồ Pareto các yếu tố ảnh hưởng đến chỉ số mềm FI



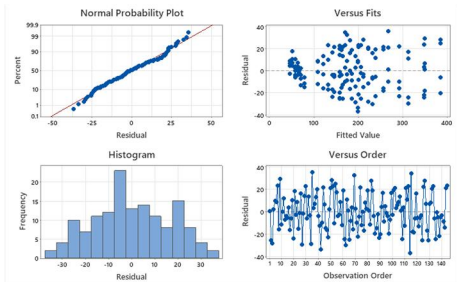
Hình 3-13. Phân tích hậu định Turkey ảnh hưởng của các yếu tố đến chỉ số mềm FI



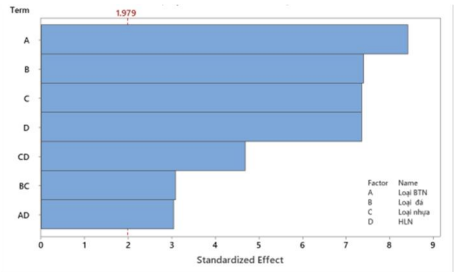
Hình 3-14. Các biến ảnh hưởng chính tới chỉ số mềm FI

- Hình 3-14 cho thấy ảnh hưởng lớn nhất đến chỉ số mềm FI là HLN. Tiếp đến là loại nhựa, loại BTN và loại đá. Chỉ số mềm FI của BTN12,5 cao hơn so với BTN19 khoảng 25%. Chỉ số mềm FI của BTN12,5 và BTN19 sử dụng đá dăm gốc bazan cao hơn so với BTN sử dụng đá dăm gốc đá vôi khoảng 12%. Chỉ số mềm FI của BTN sử dụng nhựa đường PG64-22 (nhựa 60/70) cao hơn so với BTN sử dụng nhựa đường PG64-16 (nhựa 40/50) khoảng 26%. Chỉ số mềm FI của BTN sử dụng nhựa đường PG82-22 (polime PMB.III) cao hơn nhiều so với BTN sử dụng nhựa đường PG64-22 (nhựa 60/70) và nhựa đường PG64-16 (nhựa 40/50). Chỉ số mềm FI của BTN12,5 và BTN19 tăng lên khi tăng hàm lượng nhựa thiết kế trong hỗn hợp BTN.

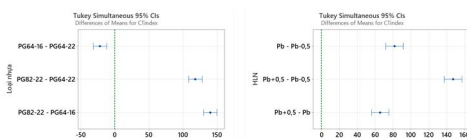
3.5.3. Phân tích, đánh giá kết quả thí nghiệm chỉ số CTindex



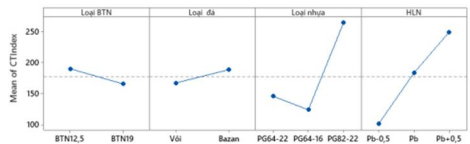
Hình 3-16. Biểu đồ phân tích phần dư tập mẫu chỉ số CTindex



Hình 3-17. Biểu đồ Pareto các yếu tố ảnh hưởng đến chỉ số CTindex



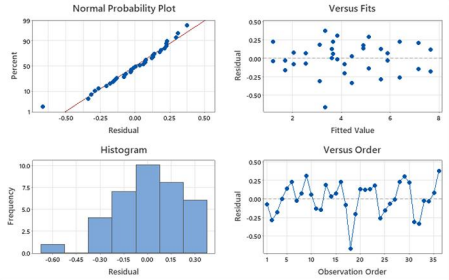
Hình 3-18. Phân tích hậu định Turkey ảnh hưởng của các yếu tố đến chỉ số CTindex



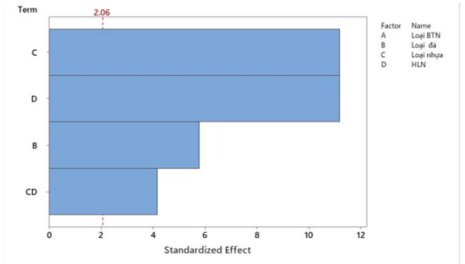
Hình 3-19. Các biến ảnh hưởng chính tới chỉ số CTindex

- Kết quả phân tích phương sai hệ số xác định điều chỉnh $R^2_{dc} = 96,28\%$, Lack-of-Fit = 0,744 > 0,05, các biến đều có hệ số p-value << 0,05 đảm bảo mức ý nghĩa 95%.
- Kết quả biểu đồ Pareto ở Hình 3-17 và phân tích hậu định Tukey ở Hình 3-18 cho thấy tất cả các yếu tố đều ảnh hưởng đến chỉ số CTindex có ý nghĩa thống kê.
- Hình 3-19 cho thấy ảnh hưởng lớn nhất đến chỉ số CTindex là HLN. Tiếp đến là loại nhựa, loại BTN và loại đá. Chỉ số CTindex của BTN12,5 cao hơn so với BTN19 khoảng 15%. Chỉ số CTindex của BTN12,5 và BTN19 sử dụng đá dăm gốc bazan cao hơn so BTN sử dụng đá dăm gốc đá vôi khoảng 13%. Chỉ số CTindex của BTN sử dụng nhựa đường PG64-22 (nhựa 60/70) cao hơn so với BTN sử dụng nhựa đường PG64-16 (nhựa 40/50) khoảng 18%. Chỉ số CTindex của BTN sử dụng nhựa đường PG82-22 (polime PMB.III) cao hơn nhiều so với BTN sử dụng nhựa đường PG64-22 (nhựa 60/70) và nhựa đường PG64-16 (nhựa 40/50). Chỉ số CTindex của BTN12,5 và BTN19 tăng lên khi tăng hàm lượng nhựa thiết kế trong hỗn hợp BTN.

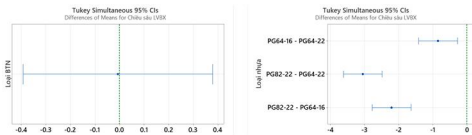
3.5.4. Phân tích, đánh giá kết quả thí nghiệm chiều sâu LVBX



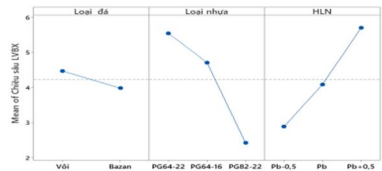
Hình 3-21. Biểu đồ phân tích phần dư tập mẫu chiều sâu LVBX



Hình 3-22. Biểu đồ Pareto các yếu tố ảnh hưởng đến chiều sâu LVBX



Hình 3-23. Phân tích hậu định Tukey ảnh hưởng của các yếu tố đến chiều sâu LVBX



Hình 3-24. Các biến ảnh hưởng chính tới chiều sâu LVBX

- Kết quả phân tích phương sai hệ số xác định điều chỉnh $R^2_{dc} = 98,09\%$, các biến đều có hệ số p-value << 0,05 đảm bảo mức ý nghĩa 95%. Kết quả ở Hình 3-22 và Hình 3-23 cho thấy chỉ có loại đá, loại nhựa, HLN có ảnh hưởng đến chiều sâu LVBX, còn loại BTN không ảnh hưởng đến chiều sâu LVBX có ý nghĩa thống kê.
- Hình 3-24 cho thấy ảnh hưởng lớn nhất đến chiều sâu LVBX là loại nhựa và HLN. Tiếp đến là loại đá. Khả năng chống LVBX của mẫu BTN12,5 và BTN19 là không khác nhau nhiều. Khả năng chống LVBX của BTN12,5 và BTN19 sử dụng đá dăm gốc bazan cao hơn so BTN sử dụng đá dăm gốc đá vôi khoảng 12%. BTN sử dụng nhựa đường PG64-16 (nhựa 40/50) có khả năng chống LVBX cao hơn so BTN sử dụng nhựa đường PG64-22 (nhựa 60/70) khoảng 18%. BTN sử dụng nhựa đường PG82-22 (polime PMB.III) có khả năng chống LVBX cao hơn nhiều so với BTN sử dụng nhựa đường PG64-22 và nhựa đường PG64-16. Khả năng chống LVBX của BTN12,5 và BTN19 giảm đi khi tăng hàm lượng nhựa thiết kế trong hỗn hợp BTN.

3.6. Mô hình hóa, xây dựng phương trình hồi quy

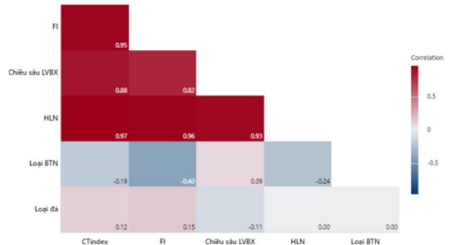
Các dự án xây dựng đường bộ tại Việt Nam hiện nay chủ yếu sử dụng nhựa đường 60/70 (trương đương PG64-22) và nhựa đường 40/50 (trương đương PG64-16) để sản xuất BTN, vì vậy tập trung phân tích, đánh giá tương quan và mô hình hóa, xây dựng phương trình hồi quy của BTN sử dụng nhựa đường PG64-22 và PG64-16.

3.6.1. Kiểm tra phân phối chuẩn của kết quả thí nghiệm

KQTN chỉ số mềm FI, chỉ số CTindex và chiều sâu LVBX của BTN sử dụng nhựa đường PG64-22 và PG64-16 đều tuân theo phân phối chuẩn, hệ số p-value > 0,05.

3.6.2. Khảo sát hệ số tương quan Pearson

Kết quả phân tích cho thấy chỉ có chỉ số mềm FI, chỉ số CTindex, chiều sâu LVBX và HLN là có hệ số tương quan mạnh ($r > 0,8$) và có ý nghĩa thống kê ($p\text{-value} < 0,05$), như vậy sử dụng Minitab để mô hình hóa, xây dựng phương trình hồi quy giữa các biến này.



Hình 3-31. Biểu đồ tương quan giữa các biến của BTN sử dụng nhựa đường PG64-22

3.6.3. Phương trình hồi quy giữa chỉ số CTindex và chỉ số mềm FI

Trong khuôn khổ nghiên cứu, đã xây dựng 12 phương trình hồi quy giữa: chỉ số CTindex với chỉ số mềm FI; chỉ số CTindex với chiều sâu LVBX; chỉ số mềm FI với chiều sâu LVBX; chỉ số mềm FI, chỉ số CTindex, chiều sâu LVBX với hàm lượng nhựa của BTN12,5 và BTN19 sử dụng nhựa đường PG64-22 và nhựa đường PG64-16:

Với nhựa PG64-22:

$$CTindex = -92,89 + 25,75*FI - 0,4685*FI^2 \quad (3.1)$$

$$FI = -11,58 + 6,340*Chiều\ sâu\ LVBX - 0,3390*Chiều\ sâu\ LVBX^2 \quad (3.3)$$

$$CTindex = -448,0 + 181,8*Chiều\ sâu\ LVBX - 12,60*Chiều\ sâu\ LVBX^2 \quad (3.5)$$

$$CTindex = -1410 + 479,8*HLN - 33,49*HLN^2 \quad (3.7)$$

$$FI = -9,57 + 0,59*HLN + 0,657*HLN^2 \quad (3.9)$$

$$Chiều\ sâu\ LVBX = 2,21 - 1,95*HLN + 0,519*HLN^2 \quad (3.11)$$

Với nhựa PG64-16:

$$CTindex = -42,38 + 16,12*FI + 0,0639*FI^2 \quad (3.2)$$

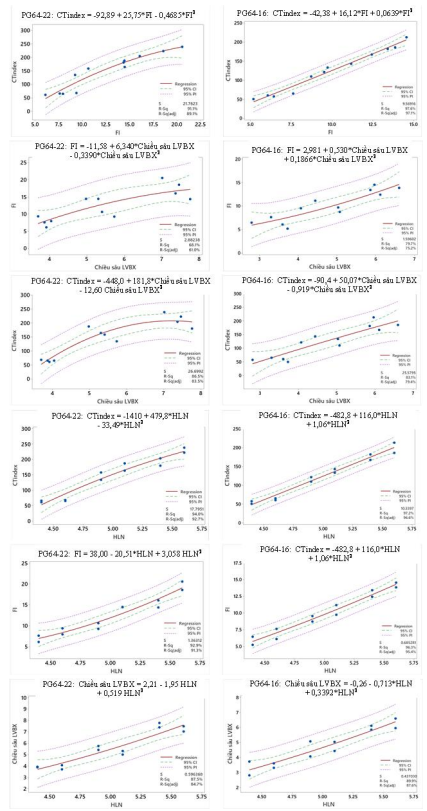
$$FI = 2,981 + 0,530*Chiều\ sâu\ LVBX + 0,1866*Chiều\ sâu\ LVBX^2 \quad (3.4)$$

$$CTindex = -90,4 + 50,07*Chiều\ sâu\ LVBX - 0,919*Chiều\ sâu\ LVBX^2 \quad (3.6)$$

$$CTindex = -482,8 + 116,0*HLN + 1,06*HLN^2 \quad (3.8)$$

$$FI = 38,00 - 20,51*HLN + 3,058\ HLN^2 \quad (3.10)$$

$$Chiều\ sâu\ LVBX = -0,26 - 0,713*HLN + 0,3392*HLN^2 \quad (3.12)$$



3.7. Kết luận chương 3

1. Kết quả thực nghiệm chỉ số mềm FI có độ chụm cao. Chỉ số mềm FI của các mẫu BTN12,5 nằm trong khoảng từ 6,07 đến 22,87 và các mẫu BTN19 nằm trong khoảng từ 5,20 đến 18,23. Có 03/18 tổ mẫu BTN12,5 và 05/18 tổ mẫu BTN19 có chỉ số mềm FI nhỏ hơn so với ngưỡng tối thiểu quy định ($FI \geq 8$).

2. Kết quả thực nghiệm chỉ số CTindex có độ chụm cao. Chỉ số CTindex của các mẫu BTN12,5 nằm trong khoảng từ 53,98 đến 412,58 và các mẫu BTN19 nằm trong khoảng từ 43,08 đến 371,11. Có 04/18 tổ mẫu BTN12,5 và 04/18 tổ mẫu BTN19 có chỉ số CTindex nhỏ hơn so với ngưỡng tối thiểu quy định ($CTindex \geq 70$).

3. Đã tiến hành phân tích thống kê từ tập mẫu thí nghiệm chỉ số mềm FI, chỉ số CTindex và chiều sâu LVBX của BTN12,5 và BTN19, và nhận thấy:

3.1. Khả năng chống LVBX của mẫu BTN12,5 và BTN19 là không khác nhau nhiều, nhưng khả năng chống nứt mới lại giảm xuống (BTN12,5 có khả năng chống nứt mới cao hơn so với BTN19).

3.2. Khả năng chống nứt mới và chống LVBX của mẫu BTN12,5 và BTN19 sử dụng đá dăm gốc bazan tốt hơn gốc đá vôi (khả năng chống nứt mới cao hơn từ 12% đến 13% và chống LVBX cao hơn khoảng 12%).

3.3. Khả năng chống nứt mới và chống LVBX của mẫu BTN12,5 và BTN19 sử dụng nhựa PG82-22 (polime PMB.III) là tốt hơn nhiều so với nhựa PG64-22 (nhựa 60/70) và nhựa PG64-16 (nhựa 40/50).

3.4. Khả năng chống LVBX của BTN12,5 và BTN19 sử dụng nhựa PG64-16 (nhựa 40/50) cao hơn so với nhựa PG64-22 (nhựa 60/70) khoảng 18% nhưng khả năng chống nứt mới lại kém hơn từ 18% đến 26%.

3.5. Khả năng chống nứt mới của BTN12,5 và BTN19 tăng lên khi tăng hàm lượng nhựa thiết kế trong hỗn hợp BTN nhưng khả năng chống LVBX lại giảm xuống.

4. Trong khuôn khổ nghiên cứu, đã xây dựng 12 phương trình hồi quy giữa: chỉ số CTindex với chỉ số mềm FI; chỉ số CTindex với chiều sâu LVBX; chỉ số mềm FI với chiều sâu LVBX; chỉ số mềm FI, chỉ số CTindex, chiều sâu LVBX với hàm lượng nhựa của BTN12,5 và BTN19 sử dụng nhựa đường PG64-22 và nhựa đường PG64-16, chi tiết tại các công thức từ (3.1) đến (3.12).

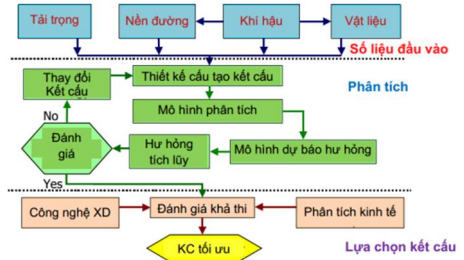
CHƯƠNG 4. NGHIÊN CỨU CÁC YẾU TỐ ẢNH HƯỞNG ĐẾN ĐẶC TRƯNG KHAI THÁC CỦA KẾT CẤU MẶT ĐƯỜNG BẰNG PHƯƠNG PHÁP CƠ HỌC THỰC NGHIỆM

4.1. Phân tích phương pháp thiết kế kết cấu mặt đường mềm theo cơ học - thực nghiệm và khả năng áp dụng ở Việt Nam

Phương pháp thiết kế theo cơ học - thực nghiệm là sự phát triển và cải tiến phương pháp thiết kế thuần thực nghiệm (Phương pháp AASHTO 1993) cả về cơ sở thiết kế và mức độ phức tạp trong tính toán nên có thể tạo ra những thiết kế kinh tế và đáng tin cậy hơn rất nhiều so với phương pháp truyền thống. Quá trình thiết kế theo phương pháp cơ học-thực nghiệm là quá trình thử dần đúng. Người thiết kế phải đưa ra một kết cấu mặt đường mẫu cùng với các giới hạn hư hỏng có thể chấp nhận được như: Độ lún vệt bánh xe (độ lún trong lớp bê tông nhựa, lún trong các lớp vật liệu không gia cố, lún trong nền đất); Nứt mới (nứt mới trong lớp bê tông nhựa, nứt mới trong hỗn hợp gia cố vữa

cơ); Nứt do nhiệt, nứt ngang; Nứt dọc; Độ gồ gề (IRI)... tương ứng với từng dự án. Nếu kết cấu mẫu không thỏa mãn các giới hạn đã được đưa ra, người thiết kế sẽ điều chỉnh và tính toán lại cho đến khi các chỉ tiêu giới hạn trên đều đạt. Phương pháp cơ học - thực nghiệm đã và đang được sử dụng trong thiết kế kết cấu mặt đường ở Hoa Kỳ, Canada, Hàn Quốc và được rất nhiều nước nghiên cứu áp dụng trong phân tích kết cấu mặt đường.

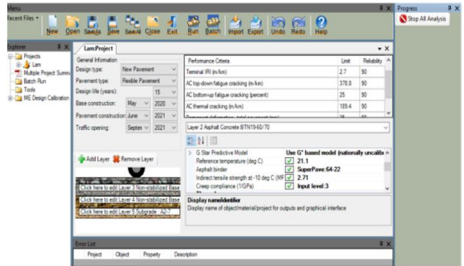
Trình tự phân tích kết cấu mặt đường mềm theo phương pháp cơ học - thực nghiệm gồm 3 khối: Số liệu đầu vào; Phân tích; và Lựa chọn kết cấu như thể hiện ở Hình 4-1, trong đó phần quan trọng nhất quyết định đến thiết kế là các số liệu đầu vào (gồm có 4 phần là Tải trọng; Nền đường; Khí hậu; và Vật liệu được xác định theo mức: 1, 2, 3 tùy thuộc vào từng điều kiện cụ thể và bước thiết kế sơ bộ, hay thiết kế kỹ thuật chi tiết).



Hình 4-1. Trình tự phân tích kết cấu mặt đường theo cơ học thực nghiệm [23]

Trong những năm gần đây, Trường Đại học Công nghệ GTVT, Viện Khoa học và Công nghệ GTVT đã thực hiện một số đề tài KHCN liên quan đến phương pháp cơ học - thực nghiệm, như: đề tài DT174055, đề tài DT203043.

AASHTOWare Pavement ME Design là thế hệ kế tiếp của phần mềm thiết kế mặt đường AASHTOWare®, được xây dựng dựa trên hướng dẫn thiết kế mặt đường theo cơ học - thực nghiệm, mở rộng và cải tiến các tính năng trong phần mềm tính toán. Phần mềm DARWin-ME có thể phân tích 17 loại kết cấu mới hoặc nâng cấp cải tạo với nhiều thư viện kết cấu/vật liệu phong phú, các thông số đầu vào mặc định hoặc có tính tùy biến cao.



Hình 4-2. Cửa sổ chính phần mềm DARWin-ME

4.2. Phân tích kết cấu mặt đường bê tông nhựa Superpave bằng phương pháp cơ học thực nghiệm ở các vùng khí hậu Việt Nam

4.2.1. Kết cấu áo đường nghiên cứu

Phương án kết cấu đề xuất như Hình 4-3.

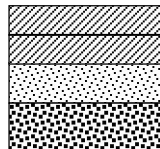
4.2.2. Tính toán kết cấu theo AASHTO-1993, TCCS 37:2022/TCĐBVN

Lớp BTN12,5: dày 7cm

Lớp BTN19: dày 8cm

Lớp CPĐĐ loại 1: dày 30cm

Lớp CPĐĐ loại 2: dày 30cm



Bê tông nhựa BTN12.5

Bê tông nhựa BTN19

Cấp phối đá dăm loại 1

Cấp phối đá dăm loại 2

Hình 4-3. Kết cấu mặt đường nghiên cứu

4.2.3. Nghiên cứu xác định các thông số đầu vào

Các thông số về giao thông lấy theo mặc định chương trình như Hình 4-4. Các tiêu chuẩn giới hạn thiết kế để xuất tổng chiều sâu LVBX giới hạn là 1 in (25,4mm) và chiều sâu LVBX trong các lớp BTN là 0,5 in (12,5mm).

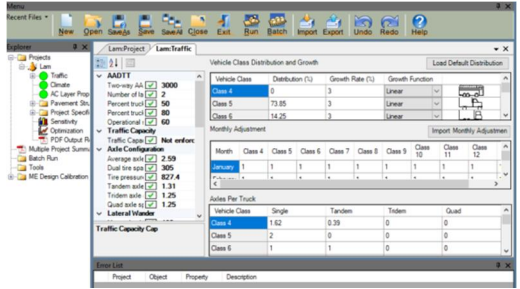
Thông số khí hậu được lấy từ trạm MERRA-2 trong khoảng thời gian từ năm 1985 đến năm 2020 cho 3 trạm điển hình Việt Nam: Hà Nội, Nghệ An, Đồng Nai.

Thông số của các lớp BTN: các đặc tính thể tích, loại nhựa PG lấy theo kết quả thực nghiệm của đề tài; một số thông số về nhiệt, mô đun phức động lấy theo mức 3 và mặc định của chương trình.

Thông số của lớp cấp phối đá dăm và nền đất theo mức 2, 3 phụ thuộc vào loại vật liệu, cấp phối và chỉ số CBR.

Bảng 4-2. Các thông số đầu vào, mức biến thiên

TT	Tên thông số	Mức	Các mức biến thiên		
1	Khi hậu	3	Hà Nội	Nghệ An	Đồng Nai
2	Loại BTN	2	12,5	19	
3	Loại đá	2	Vôi	Bazan	
4	Loại nhựa	3	PG64-22	PG64-16	PG82-22
5	HLN	3	Pb-0,5	Pb	Pb+0,5

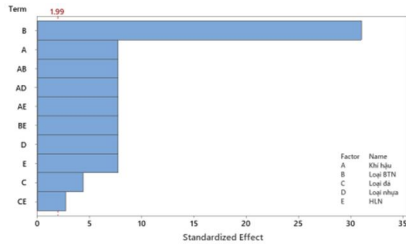


Hình 4-4. Nhập số liệu giao thông

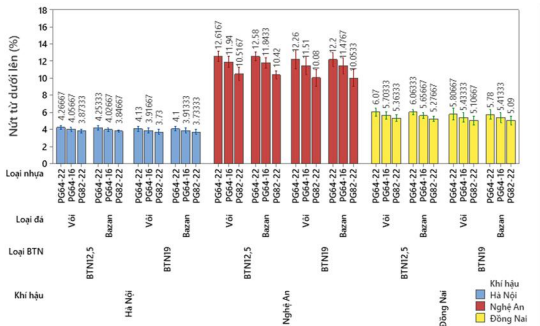
Các thông số đầu vào và mức biến thiên được tập hợp ở Bảng 4-2. Sử dụng phần mềm Minitab quy hoạch thực nghiệm (DOE) xác định được 108 lần phân tích kết cấu.

4.3. Đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng chống nứt của kết cấu mặt đường BTN Superpave

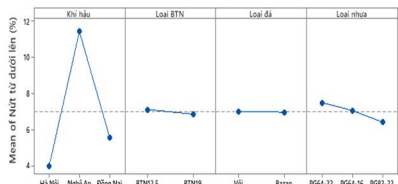
4.3.1. Phân tích ảnh hưởng của các yếu tố đến nứt môi từ dưới lên của BTN



Hình 4-8. Biểu đồ Pareto các yếu tố ảnh hưởng đến nứt môi từ dưới lên của BTN



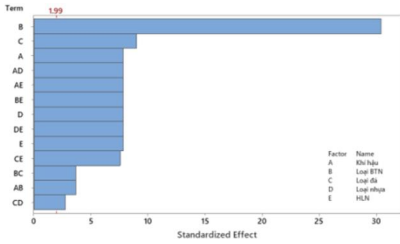
Hình 4-6. Biểu đồ nứt môi từ dưới lên của BTN



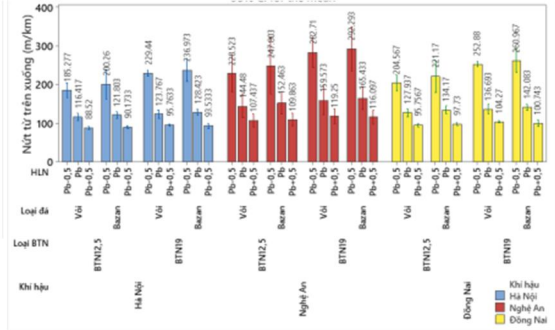
Hình 4-9. Các biến ảnh hưởng chính tới nứt môi từ dưới lên của BTN

Hình 4-8 cho thấy tất cả các biến khí hậu, loại BTN, loại đá, loại nhựa và HLN có ảnh hưởng đến nứt môi từ dưới lên của BTN có ý nghĩa thống kê. Ảnh hưởng lớn nhất là khí hậu, trong đó vùng khí hậu Nghệ An có nứt môi từ dưới lên của BTN lớn nhất. Các thông số khác ảnh hưởng không nhiều.

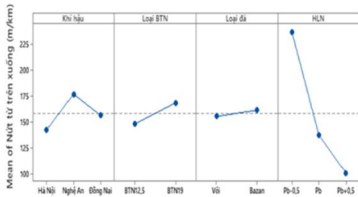
4.3.2. Phân tích ảnh hưởng của các yếu tố đến nứt môi từ trên xuống của BTN



Hình 4-13. Biểu đồ Pareto các yếu tố ảnh hưởng đến nứt môi từ dưới lên của BTN



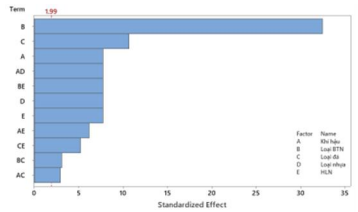
Hình 4-11. Biểu đồ nứt môi từ trên xuống của BTN



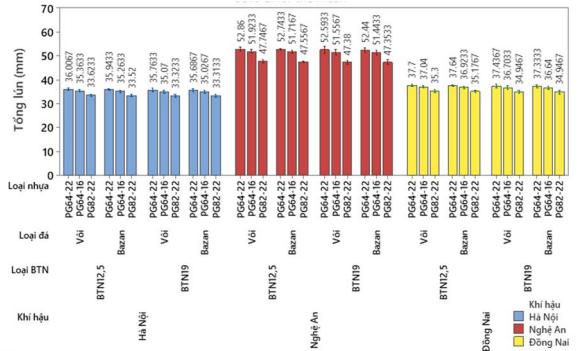
Hình 4-14. Các biến ảnh hưởng chính tới nứt môi từ dưới lên của BTN

Hình 4-13 cho thấy tất cả các biến khí hậu, loại BTN, loại đá, loại nhựa và HLN có ảnh hưởng đến nứt môi từ trên xuống của BTN có ý nghĩa thống kê. Ảnh hưởng lớn nhất là HLN, tiếp đến là khí hậu, các thông số khác ảnh hưởng không nhiều (xem Hình 4-14).

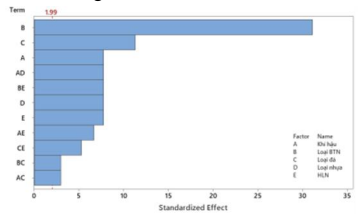
4.3.3. Phân tích ảnh hưởng của các yếu tố đến tổng chiều sâu LVBX toàn kết cấu và 4.3.4. Phân tích ảnh hưởng của các yếu tố đến chiều sâu LVBX của BTN



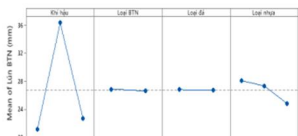
Hình 4-18. Biểu đồ Pareto các yếu tố ảnh hưởng đến tổng chiều sâu LVBX toàn kết cấu



Hình 4-16. Biểu đồ tổng chiều sâu LVBX toàn kết cấu



Hình 4-23. Biểu đồ Pareto các yếu tố ảnh hưởng đến tổng chiều sâu LVBX của BTN



Hình 4-24. Các biến ảnh hưởng chính tới chiều sâu LVBX của BTN

Hình 4-18 và Hình 4-23 cho thấy tất cả các biến khí hậu, loại BTN, loại đá, loại nhựa và HLN có ảnh hưởng đến chiều sâu LVBX của BTN và LVBX của toàn kết cấu có ý nghĩa thống kê. Ảnh hưởng lớn nhất là khí hậu, trong đó vùng khí hậu Nghệ An có tổng chiều sâu LVBX toàn kết cấu và chiều sâu LVBX của BTN lớn nhất. Tiếp đến là loại nhựa, nhựa đường PG64-22 có tổng chiều sâu LVBX toàn kết cấu lớn nhất, sau đó đến PG64-16, PG82-22. Các thông số khác ảnh hưởng không nhiều.

4.4. Kết luận chương 4

- Các thông số đầu vào đều ảnh hưởng rõ rệt đến các trạng thái giới hạn khai thác của mặt đường theo phương pháp MEPDG (LVBX của toàn kết cấu, LVBX của các lớp BTN, nút môi từ dưới lên và nút môi từ trên xuống của các lớp BTN). Các yếu tố chính ảnh hưởng là Khí hậu, Loại nhựa, HLN, Loại BTN, Loại đá, chi tiết như sau:

+ Ảnh hưởng lớn nhất đến nút môi từ dưới lên của BTN là khí hậu, trong đó vùng khí hậu Nghệ An có nút môi từ dưới lên của BTN lớn nhất, sau đó đến Đồng Nai và Hà Nội. Các thông số khác ảnh hưởng đến nút môi từ dưới lên của BTN không nhiều.

+ Ảnh hưởng lớn nhất đến nút môi từ trên xuống của BTN là HLN, trong đó HLN (Pb-0,5) có nút môi từ trên xuống lớn nhất. Tiếp đến là khí hậu, trong đó vùng khí hậu Nghệ An có nút môi từ trên xuống lớn nhất, sau đó đến Đồng Nai và Hà Nội. Tiếp đến là loại nhựa, loại BTN và loại đá.

+ Ảnh hưởng lớn nhất đến tổng chiều sâu LVBX toàn kết cấu và chiều sâu LVBX của BTN là khí hậu, trong đó vùng khí hậu Nghệ An có tổng chiều sâu LVBX toàn kết cấu lớn nhất, sau đó đến Đồng Nai và Hà Nội. Tiếp đến là loại nhựa, nhựa đường PG64-22 có tổng chiều sâu LVBX toàn kết cấu và chiều sâu LVBX của BTN lớn nhất, sau đó đến nhựa đường PG64-16 và PG82-22. Các thông số khác ảnh hưởng đến tổng chiều sâu LVBX toàn kết cấu và chiều sâu LVBX của BTN không nhiều.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

A. Kết luận, những đóng góp mới của luận án

Bằng phương pháp nghiên cứu lý thuyết kết hợp thực nghiệm trong phòng, trên các loại vật liệu được lựa chọn, với các thiết bị thí nghiệm hiện đại, số mẫu thử hợp lý, số liệu thí nghiệm được phân tích thống kê, luận án đã có một số đóng góp mang tính mới về mặt khoa học và thực tiễn như sau:

1. Đã đề xuất lựa chọn phương pháp, trình tự thiết kế hỗn hợp bê tông nhựa Superpave theo nguyên lý cân bằng ở Việt Nam theo cách A - Thiết kế theo thể tích Superpave và kiểm tra, xác nhận các đặc tính làm việc, với phương pháp thí nghiệm đánh giá khả năng chống nứt bằng 01 trong 02 thí nghiệm theo thứ tự ưu tiên như sau:

(1). Thí nghiệm IDEAL CTindex theo ASTM D8225 với ngưỡng chỉ số chịu nứt tối thiểu (CTindex) là 70 để chấp nhận hỗn hợp BTN.

(2). Thí nghiệm uốn dầm bán nguyệt SCB theo TCVN 11347:2021 với ngưỡng chỉ số mềm tối thiểu (FI) là 8.0 để chấp nhận hỗn hợp BTN.

2. Đã thực hiện nghiên cứu thực nghiệm trong phòng với bê tông nhựa Superpave sử dụng 02 cỡ hạt lớn nhất danh định của BTN (BTN12,5 và BTN19), 02 nguồn gốc đá dăm (đá vôi và đá bazan), 03 loại nhựa đường (PG64-16; PG64-22; PG82-22) và 03 hàm lượng nhựa (Pb-0,5, Pb, Pb+0,5), kết quả đưa ra:

2.1. Về ảnh hưởng của cỡ hạt lớn nhất danh định: khi tăng cỡ hạt lớn nhất danh định từ 12,5mm lên 19mm thì khả năng chống LVBX của BTN là không khác nhau nhiều, nhưng khả năng chống nứt môi lại giảm xuống.

2.2. Về ảnh hưởng của nguồn gốc cốt liệu: Khả năng chống nứt môi và chống LVBX của BTN12,5 và BTN19 sử dụng đá dăm gốc bazan tốt hơn gốc đá vôi (khả năng chống nứt môi cao hơn từ 12% đến 13% và chống LVBX cao hơn khoảng 12%).

2.3. Về ảnh hưởng của loại nhựa: Khả năng chống nứt mối và chống LVBX của mẫu BTN12,5 và BTN19 sử dụng nhựa PG82-22 (polime PMB.III) là tốt hơn nhiều so với nhựa PG64-22 (nhựa 60/70) và nhựa PG64-16 (nhựa 40/50). Khả năng chống LVBX của BTN12,5 và BTN19 sử dụng nhựa PG64-16 (nhựa 40/50) cao hơn so với nhựa PG64-22 (nhựa 60/70) khoảng 18% nhưng khả năng chống nứt mối lại kém hơn từ 18% đến 26%.

2.4 Về ảnh hưởng của hàm lượng nhựa: Khả năng chống nứt mối của BTN tăng lên khi tăng hàm lượng nhựa thiết kế trong hỗn hợp BTN nhưng khả năng chống LVBX lại giảm xuống.

2.5. Trong khuôn khổ nghiên cứu, đã xây dựng 12 phương trình hồi quy giữa: chỉ số CTindex với chỉ số mềm FI; chỉ số CTindex với chiều sâu LVBX; chỉ số mềm FI với chiều sâu LVBX; chỉ số mềm FI, chỉ số CTindex, chiều sâu LVBX với hàm lượng nhựa của BTN12,5 và BTN19 sử dụng nhựa đường PG64-22 và nhựa đường PG64-16, chi tiết tại các công thức từ (3.1) đến (3.12).

3. Các thông số đầu vào đều ảnh hưởng rõ rệt đến các trạng thái giới hạn khai thác của mặt đường theo phương pháp MEPDG (LVBX của toàn kết cấu, LVBX của các lớp BTN, nứt mối từ dưới lên và nứt mối từ trên xuống của các lớp BTN). Các yếu tố chính ảnh hưởng theo thứ tự là khí hậu, loại nhựa, HLN, loại BTN, loại đá. Trong đó khí hậu là ảnh hưởng lớn nhất đến các trạng thái giới hạn khai thác (Nghệ An có điều kiện khí hậu khắc nghiệt hơn, xác suất kết cấu làm việc an toàn thấp hơn Hà Nội và Đồng Nai).

B. Những tồn tại, hạn chế

Kết quả nghiên cứu của luận án còn một số những hạn chế sau:

- Chưa thử nghiệm với loại BTN 25 do loại BTN này chưa được áp dụng phổ biến hiện nay tại Việt Nam.
- Chưa thử nghiệm BTN với nhiều loại đá dăm nguồn gốc khác nhau, đại diện cho nhiều vùng của Việt Nam.
- Chưa thử nghiệm với BTN sản xuất tại trạm trộn trong quá trình thi công.

C. Kiến nghị và dự kiến hướng nghiên cứu tiếp theo

- Nghiên cứu đánh giá khả năng chống nứt mối và LVBX của bê tông nhựa Superpave với nhiều loại đá dăm nguồn gốc khác nhau, đại diện cho nhiều vùng của Việt Nam.
- Cần bổ sung chỉ tiêu đánh giá khả năng chống nứt mối khi thiết kế hỗn hợp BTN cho các tuyến đường cấp cao, có quy mô giao thông lớn tại Việt Nam.
- Kiến nghị Bộ GTVT có chủ trương cho nghiên cứu thử nghiệm hiện trường trên đoạn đường BTN thiết kế theo phương pháp Superpave theo nguyên lý cân bằng để theo dõi đánh giá khả năng chống nứt mối, LVBX của bê tông nhựa Superpave trong thực tế.
- Cần sớm chuyển đổi sang áp dụng tiêu chuẩn phân cấp nhựa đường theo PG và thiết kế hỗn hợp BTN theo Superpave theo nguyên lý cân bằng cho Việt Nam. Vì thiết kế BTN theo Superpave đã giải quyết vấn đề liên quan đến lựa chọn vật liệu BTN trong đó có lựa chọn nhựa đường theo cấp đặc tính PG phục vụ cho thiết kế hỗn hợp BTN phù hợp với đặc tính dòng xe, nhằm giảm thiểu các hư hỏng mặt đường như nứt mối, LVBX trong quá trình khai thác.

CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ CỦA TÁC GIẢ

1. Bài báo khoa học

- (1). Lưu Ngọc Lâm, Lâm Hữu Quang, Cao Anh Tuấn (2018), “Nghiên cứu thực nghiệm phương pháp thiết kế hỗn hợp bê tông nhựa Superpave”, *Tạp chí Giao thông vận tải*, Số tháng 10/2018.
- (2). Lưu Ngọc Lâm, Nguyễn Quang Phúc (2019), “Nghiên cứu đánh giá khả năng chống nứt của bê tông nhựa theo mô hình uốn dầm bán nguyệt SCB”, *Tạp chí Giao thông vận tải*, Số tháng 9/2019.
- (3). Lưu Ngọc Lâm, Nguyễn Quang Phúc (2020), “Phân tích phương pháp thiết kế hỗn hợp bê tông nhựa theo Superpave và một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm”, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam*, Số 3 tháng 3/2020.
- (4). Lưu Ngọc Lâm, Nguyễn Quang Phúc (2020), “Nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của một số yếu tố đến khả năng chống nứt của bê tông nhựa thiết kế theo Superpave”, *Tạp chí Giao thông vận tải*, Số tháng 10/2020.
- (5). Lưu Ngọc Lâm, Nguyễn Quang Phúc, Vũ Ngọc Phương (2021), “Nghiên cứu đánh giá khả năng chống nứt của bê tông nhựa thông qua chỉ số chống nứt Cracking Tolerance Index (CTindex)”, *Tạp chí Giao thông vận tải*, Số tháng 10/2021.
- (6). Lưu Ngọc Lâm, Nguyễn Quang Phúc, Vũ Ngọc Phương (2021), “Nghiên cứu phương pháp thiết kế cân bằng hỗn hợp bê tông nhựa và một số kết quả nghiên cứu thực nghiệm”, *Tuyển tập báo cáo Hội nghị KHCN năm 2021 của Viện Khoa học và Công nghệ GTVT*.

2. Đề tài khoa học

- (1). Lưu Ngọc Lâm và nnk (2018), “Nghiên cứu ứng dụng phương pháp thiết kế bê tông nhựa Superpave phù hợp với điều kiện Việt Nam”. Đề tài cấp Bộ GTVT.
- (2). Lưu Ngọc Lâm và nnk (2019), “Nghiên cứu ứng dụng mô hình thí nghiệm uốn mẫu dầm bán nguyệt SCB (Semi-Circular Bending) để xác định đặc trưng chống nứt mỏi của bê tông nhựa chặt ở Việt Nam và đề xuất các giải pháp cải thiện”. Đề tài cấp Bộ GTVT.
- (3). Lưu Ngọc Lâm và nnk (2022), “Nghiên cứu phương pháp thiết kế hỗn hợp bê tông nhựa chặt theo nguyên lý cân bằng trong điều kiện Việt Nam”, đề tài cấp Bộ GTVT.