



EXPERIMENTAL STUDY ON PROPERTIES AND DRAINAGE SIMULATION OF POROUS ASPHALT

Hoang Thi Thanh Nhan*, Nguyen Quang Tuan

University of Transport and Communications, No 3 Cau Giay Street, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 21/09/2021

Revised: 02/11/2021

Accepted: 12/11/2021

Published online: 15/12/2021

<https://doi.org/10.47869/tcsj.72.9.5>

* *Corresponding author*

Email: ttnhan.hoang@utc.edu.vn

Abstract. The traditional asphalt mixtures using dense graded aggregate whose the air void content is small (from 3% to 6%) and the drainage capacity for road pavement is low (existence of a water film between the road surface and the vehicle tire during heavy rain) can reduce the safety of traffic at high speeds. In order to solve this problem, porous asphalt pavement has been used instead of traditional one to improve the skid resistance (by increasing road surface drainage capacity), to reduce noise when driving at high speed and to improve visibility at night during the heavy rain. In many countries, the typical air void content of porous asphalt is from 18% to 22%. This paper aims to present the experimental results on porous asphalt mix design (with the air void content from 18% to 22%) and analyze the relationships between mechanical parameters (hydraulic conductivity, air void content, Marshall stability) of porous asphalt. From the experimental results, simulation of the drainage capacity of the porous asphalt pavement was performed to evaluate the drainage performance of this pavement when it rains.

Keywords: porous asphalt, drainage, hydraulic conductivity, rainfall intensity, simulation.



NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ĐẶC TÍNH CƠ LÝ VÀ MÔ PHỎNG KHẢ NĂNG THOÁT NƯỚC CỦA BÊ TÔNG NHỰA RỖNG

Hoàng Thị Thanh Nhân*, Nguyễn Quang Tuấn

Trường Đại học Giao thông vận tải, Số 3 Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 21/09/2021

Ngày nhận bài sửa: 02/11/2021

Ngày chấp nhận đăng: 12/11/2021

Ngày xuất bản Online: 15/12/2021

<https://doi.org/10.47869/tcsj.72.9.5>

* Tác giả liên hệ

Email: ttnhan.hoang@utc.edu.vn

Tóm tắt. Hỗn hợp bê tông nhựa truyền thống được sử dụng làm lớp phủ mặt đường là hỗn hợp có cấp phối liên tục, độ rỗng nhỏ (độ rỗng dư từ 3% đến 6%), khả năng thoát nước trên mặt kém (tạo thành màng nước giữa mặt đường và bánh xe khi lượng nước mưa hoặc nước mặt lớn) gây mất an toàn khi xe chạy ở tốc độ cao. Nhằm khắc phục tình trạng này, kết cấu mặt đường sử dụng bê tông nhựa rỗng (BTNR) đã được sử dụng thay thế cho bê tông nhựa chặt (BTNC) thông thường góp phần cải thiện sức kháng trượt mặt đường (thông qua việc tăng hiệu quả thoát nước mặt đường), giảm tiếng ồn khi xe chạy với tốc độ cao, cải thiện tầm nhìn vào ban đêm khi có mưa. Tại nhiều nước trên thế giới, mặt đường BTNR thường sử dụng hỗn hợp bê tông nhựa với độ rỗng dư điển hình từ 18% đến 22%. Bài báo này giới thiệu các kết quả thiết kế thực nghiệm hỗn hợp BTNR có độ rỗng dư nằm trong khoảng từ 18% đến 22%, đồng thời phân tích các quan hệ thực nghiệm của một số chỉ tiêu cơ lý chủ yếu (hệ số thấm, độ rỗng dư, độ ổn định Marshall) của hỗn hợp BTNR. Từ kết quả thực nghiệm, mô phỏng khả năng thoát nước của lớp bê tông nhựa rỗng được thực hiện nhằm đánh giá mức độ thoát nước của mặt đường này khi trời mưa.

Từ khóa: bê tông nhựa rỗng, thoát nước, hệ số thấm, cường độ mưa, mô hình hóa.

© 2021 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bê tông nhựa rỗng (viết tắt là BTNR), thường được gọi là *Porous Asphalt*, là loại bê tông nhựa có cấp phối cốt liệu gián đoạn, sử dụng nhựa đường cải tiến, có độ rỗng dư lớn (thường từ 18% đến 22%). Lớp BTNR có chiều dày từ 4 cm đến 5 cm và được rải trên lớp mặt đường không thấm nước, thường là lớp bê tông nhựa chặt (BTNC) của các đường ô tô cấp cao,

đường cao tốc [1]. Tính ưu việt lớn nhất của BTNR đó là hiệu quả thoát nước. Khác với mặt đường BTNC nước mưa sẽ chảy trên mặt đường, thì đối với BTNR nước mưa sẽ thấm và thoát ra ngoài thông qua lỗ rỗng, qua đó giúp cải thiện độ trơn trượt; ngăn hiện tượng bắn nước, khói nước; cải thiện tầm nhìn; ngăn ngừa hiện tượng lún bánh xe... Ngoài ra, BTNR còn có các ưu việt khác như giảm thiểu tiếng ồn do xe chạy, tham gia chịu lực cùng kết cấu áo đường, tăng hiệu quả độ bền và tuổi thọ công trình thông qua hai chỉ số chống hằn lún và chống nứt. Chính vì vậy, lớp phủ BTNR đã và đang được nhiều nước trên thế giới nghiên cứu áp dụng cho các đường ô tô cấp cao và đường cao tốc.

Trên thế giới, nhiều nước đã nghiên cứu và sử dụng BTNR thoát nước như Hoa Kỳ, một số nước Châu Âu (Anh, Pháp, Hà Lan, Thụy Điển, Thụy Sĩ...), Úc, Nhật Bản, Trung Quốc... nhằm cải thiện sức kháng trượt mặt đường, giảm tiếng ồn khi xe chạy, cải thiện tầm nhìn vào ban đêm khi có mưa, giảm thiểu tiếng ồn khi xe chạy với tốc độ cao.

Tại Hoa Kỳ, từ những năm 1950 lớp ma sát cấp phối hở (*Open-Graded Friction Courses*, OGFC) đã bắt đầu được sử dụng để tăng ma sát mặt đường và cải thiện điều kiện chạy xe trong thời tiết ẩm ướt. Trải qua nhiều lần cải tiến thiết kế, hiện hỗn hợp OGFC đã được sử dụng tại nhiều bang với cỡ hạt lớn nhất danh định thường dùng là 12,5 mm hoặc 19 mm, độ rỗng dư điển hình từ 18% đến 22%, chiều dày lớp từ 2 cm đến 5 cm và trên 70% số bang sử dụng đánh giá lớp OGFC có hiệu quả sử dụng tốt với tuổi thọ từ 8 năm trở lên [2-4]. Đến khoảng những năm 2000, lớp ma sát thấm nước (*Permeable Friction Courses*, PFC) là một dạng lớp ma sát cấp phối hở thế hệ mới, với độ rỗng dư điển hình cao hơn, từ 18% đến 25%, chiều dày lớp từ 3 cm đến 5 cm bắt đầu được sử dụng rộng rãi tại bang Texas [5]. Lớp ma sát cấp phối hở (OGFC) có nhiều ưu điểm khi làm lớp tạo nhám trên các tuyến cao tốc, tuy nhiên lại tồn tại hạn chế là khả năng duy trì độ rỗng dư từ đó làm giảm thoát nước bề mặt qua thời gian sử dụng. Lớp ma sát thấm nước (PFC) với độ rỗng dư và chiều dày thường dùng lớn hơn có thể duy trì khả năng thấm nước tốt hơn lớp OGFC.

Tại Châu Âu, mặt đường BTNR cũng đã được sử dụng nhằm giảm thiểu tiếng ồn giao thông, tăng sức kháng trượt, tăng khả năng thoát nước. Bên cạnh mặt đường OGFC đã được đưa vào sử dụng tại một số nước Châu Âu, mặt đường bê tông nhựa rỗng Châu Âu (*Porous European Mixes*, PEM) cũng được nghiên cứu sử dụng với độ rỗng dư nằm trong khoảng từ 14% đến 30%, chất kết dính là polime, chiều dày thường từ 4 cm đến 5 cm và hệ số thấm nước thẳng đứng, thấm nước ngang (thí nghiệm trong phòng) được quy định từ $(0,1 \div 4,0) \times 10^{-3}$ m/s [6,7].

Tại Úc, Nam Phi và một số nước châu Á (Nhật Bản, Trung Quốc, Hàn Quốc, Ấn Độ, Malaysia) BTNR cũng được sử dụng trên các tuyến cao tốc với độ rỗng dư nằm trong khoảng 18% đến 22%, chiều dày quy định từ 4 cm đến 5 cm.

Tại Việt Nam, năm 1994 Viện Khoa học và Công nghệ GTVT đã hợp tác với hãng ESSO để nghiên cứu và xây dựng thí điểm một đoạn đường sử dụng BTNR là lớp phủ thoát nước cấp phối hở (*Open-Graded Drainage Mix*, OGDC) trên đường Bắc Thăng Long - Nội Bài. Lớp phủ OGDC sử dụng cấp phối cốt liệu hở, độ rỗng dư từ 15% đến 18%, sử dụng nhựa đường cải thiện polime của hãng ESSO, chiều dày 4 cm và sau nhiều năm sử dụng, chất lượng khai thác (độ bằng phẳng, độ nhám, sức kháng trượt,...) của lớp phủ OGDC vẫn còn tốt [8]. Một số dự án như cao tốc Thành phố Hồ Chí Minh - Trung Lương, đại lộ Thăng Long, cao tốc Hà Nội - Hải Phòng... đã được phủ một lớp bê tông nhựa mỏng tạo nhám sử dụng cấp phối cốt liệu gián đoạn, nhựa đường cải thiện polime (PMB), độ rỗng dư từ 12% đến 16%, chiều dày lớp phủ nhỏ (từ 1,25 cm đến 2,5 cm) nhằm cải thiện độ nhám và sức kháng trượt

mặt đường đảm bảo xe chạy an toàn với tốc độ cao. Tác giả Nguyễn Phước Minh [9] đã công bố kết quả nghiên cứu với loại BTN tạo nhám có cỡ hạt danh định lớn nhất là 9,5 mm, độ rỗng dư từ 15% đến 18%, sử dụng nhựa đường cải thiện polime PMB I. Đối với các loại BTNR có độ rỗng dư lớn hơn có tác giả Nguyễn Văn Thành [8] nghiên cứu thiết kế hỗn hợp BTNR với độ rỗng dư từ 18% đến 22%, sử dụng nhựa TPS và PMB III để dùng làm lớp mặt cho đường ô tô cấp cao. Tuyến cao tốc Pháp Vân - Cầu Giẽ là tuyến cao tốc đầu tiên tại Việt Nam được thảm đại trà lớp polyme bê tông nhựa rỗng dày 4 cm, độ rỗng dư từ 18 % đến 20% theo công nghệ của Nhật Bản. Như vậy có thể nói rằng, cho đến nay tại Việt Nam có rất ít công bố nghiên cứu thực nghiệm đối với loại BTNR có đặc tính độ rỗng dư từ 18% đến 22%, là loại BTNR hiện đang được sử dụng phổ biến tại các nước trên thế giới.

Xuất phát từ tình hình đó, nghiên cứu này sẽ tiến hành thiết kế thực nghiệm hỗn hợp BTNR có độ rỗng dư nằm trong khoảng từ 18% đến 22%, sử dụng các vật liệu hiện đang được dùng phổ biến trong xây dựng mặt đường tại Việt Nam. Bài báo giới thiệu kết quả nghiên cứu thực nghiệm các đặc tính cơ lý của hỗn hợp BTNR thiết kế, đánh giá ảnh hưởng qua lại giữa các thông số, đồng thời mô phỏng khả năng thoát nước của lớp mặt đường sử dụng BTNR.

2. THỰC NGHIỆM THIẾT KẾ THÀNH PHẦN HỖN HỢP BTNR

Để thiết kế lớp mặt BTNR nhằm mục đích thoát nước và giảm tiếng ồn thì cấp phối cốt liệu BTNR12,5 và BTNR19 đều thích hợp. Tuy nhiên BTNR12,5 được sử dụng phổ biến hơn BTNR19 do BTNR12,5 có khả năng làm việc tốt hơn, tiện nghi hơn cho người lái xe [1]. Chính vì vậy, nghiên cứu này lựa chọn thiết kế thực nghiệm hỗn hợp BTNR12,5. Trình tự thiết kế và thực nghiệm trong phòng được thực hiện theo các yêu cầu kỹ thuật của Chỉ dẫn tạm thời ban hành kèm Quyết định 431/QĐ-BGTVT¹ (sau đây sẽ gọi tắt là *Quyết định 431/QĐ-BGTVT*).

Nghiên cứu này sử dụng hai loại cốt liệu thô là đá dăm D12,5 và đá dăm D4,75 lấy từ mỏ đá Sunway - Quốc Oai - Hà Nội. Cốt liệu mịn là cát xay được lấy cùng nguồn gốc với cốt liệu thô. Bột khoáng được sản xuất từ đá vôi tại Phú Lý - Hà Nam. Trên cơ sở yêu cầu kỹ thuật về thành phần cấp phối hỗn hợp cốt liệu BTNR12,5 quy định tại Quyết định 431/QĐ-BGTVT, nghiên cứu lựa chọn tỷ lệ phối trộn như trong Bảng 1.

Bảng 1. Tỷ lệ phối trộn của hỗn hợp BTNR12,5.

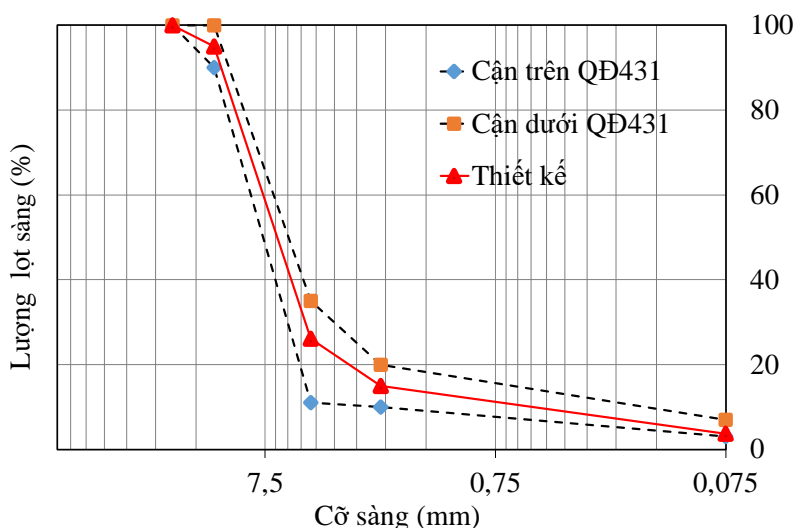
Cốt liệu thô		Cốt liệu mịn	Bột khoáng
Đá dăm D12,5	Đá dăm D4,75		
72 %	13 %	11 %	4 %

Thành phần cấp phối của hỗn hợp BTNR12,5 theo tỷ lệ phối trộn như trên được thể hiện tại Bảng 2 và Hình 1. Đường cong cấp phối nằm giữa phạm vi của đường bao giới hạn theo quy định tại Quyết định 431/QĐ-BGTVT (xem Hình 1).

¹ Chỉ dẫn tạm thời này hiện đã được thay thế bằng tiêu chuẩn quốc gia TCVN 13048:2020 [10].

Bảng 2. Thành phần cấp phối của hỗn hợp nghiên cứu thực nghiệm.

Cỡ sàng, mm	Phần trăm lọt sàng, %				Hỗn hợp cấp phối	Yêu cầu kỹ thuật (QĐ 431)
	Đá dăm D12,5	Đá dăm D4,75	Cốt liệu mịn	Bột khoáng		
19	100	100			100	100
12,5	93	100			95	90÷100
4,75	0	85	100		26	11÷35
2,36		0	100		15	10÷20
1,18			97	100	14,7	
0,6			50	100	9,5	
0,3			34	95	7,5	
0,15			20	89	5,7	
0,075			5	79	3,7	3÷7



Hình 1. Biểu đồ đường cong cấp phối thiết kế của hỗn hợp BTNR12,5.

Nghiên cứu sử dụng nhựa đường cải tiến PMB III của Petrolimex. Nhựa PMB III được sản xuất từ nhựa 60/70 và các loại chất cải tiến cần thiết khác. Chất lượng sản phẩm nhựa được kiểm soát chặt chẽ trong quá trình sản xuất theo đúng các tiêu chuẩn kỹ thuật của nhựa đường Petrolimex và phù hợp với tiêu chuẩn ngành 22TCN 279-01. Đây cũng là loại nhựa được sử dụng phổ biến ở Việt Nam và có những tính năng tốt hơn so với nhựa thông thường [11,12]. Hàm lượng nhựa tối ưu đã được xác định theo biểu đồ quan hệ "Độ chảy nhựa - Hàm lượng nhựa" theo trình tự như trong Phụ lục A của chỉ dẫn tạm thời ban hành kèm Quyết định 431/QĐ-BGTVT với giá trị là 4,7%.

Hỗn hợp BTNR12,5 với hàm lượng nhựa PMB III 4,7% được sử dụng để chế tạo mẫu thí nghiệm hình trụ tròn theo phương pháp Marshall (TCVN 8860-1:2011) với đường kính 101,6 mm và chiều cao 63,5 mm, số chày đầm là 2x50 chày/mặt (Hình 2). Các mẫu BTNR này đã

được sử dụng để xác định một số chỉ tiêu kỹ thuật chủ yếu như khối lượng thể tích, khối lượng riêng, độ rỗng dư, độ rỗng liên thông, hệ số thấm trong phòng, độ ổn định Marshall... Trong đó độ rỗng dư được xác định theo TCVN 8860-9:2011, độ rỗng liên thông được xác định theo trình tự như trong Phụ lục B của chỉ dẫn tạm thời ban hành kèm Quyết định 431/QĐ-BGTVT. Thí nghiệm xác định hệ số thấm trong phòng của mẫu BTNR được thực hiện theo trình tự trong Phụ lục C của của chỉ dẫn tạm thời ban hành kèm Quyết định 431/QĐ-BGTVT.

Hai tổ mẫu với số lượng mẫu như thể hiện trong Bảng 3 đã được chuẩn bị để xác định các chỉ tiêu kỹ thuật của hỗn hợp BTNR12,5 ở hàm lượng nhựa 4,7%. Hình 3 giới thiệu việc chuẩn bị mẫu và thiết bị xác định hệ số thấm trong phòng.

Bảng 3. Tổ mẫu và số lượng mẫu làm thí nghiệm chỉ tiêu kỹ thuật.

Tổ mẫu	Số lượng mẫu	Thí nghiệm
1	6	Độ rỗng dư Độ rỗng liên thông Độ ổn định Marshall
2	3	Hệ số thấm trong phòng



Hình 2. Mẫu BTNR12,5.



Hình 3. Chuẩn bị mẫu và thiết bị thí nghiệm xác định hệ số thấm trong phòng.

Kết quả thực nghiệm của các chỉ tiêu kỹ thuật xác định trên các mẫu BTNR12,5 thuộc hai

tổ mẫu (*xem Bảng 3*) đã được đánh giá là không chứa sai số thô và có độ phân tán thấp. Bảng 4 tổng hợp kết quả thí nghiệm xác định các chỉ tiêu kỹ thuật chủ yếu của hỗn hợp BTNR12,5 thiết kế. Các chỉ tiêu này đều thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật quy định tại Quyết định 431/QĐ-BGTVT.

Bảng 4. Kết quả các chỉ tiêu kỹ thuật của BTNR12,5 thiết kế.

TT	Chỉ tiêu	Kết quả	Quy định (QĐ 431)
1	Hàm lượng nhựa thiết kế, %	4,7	-
2	Độ chảy nhựa, %	1,0	-
3	Khối lượng thể tích, g/cm ³	2,144	-
4	Khối lượng riêng, g/cm ³	2,660	-
5	Độ rỗng dư, %	19,4	18 - 22
6	Độ rỗng cốt liệu, %	27,44	-
7	Độ rỗng lấp đầy nhựa, %	29,29	-
8	Độ rỗng liên thông, %	14,0	≥ 13
9	Hệ số thấm trong phòng, cm/s	0,202	≥ 0,01
10	Độ ổn định Marshall, kN	7,0	≥ 3,5

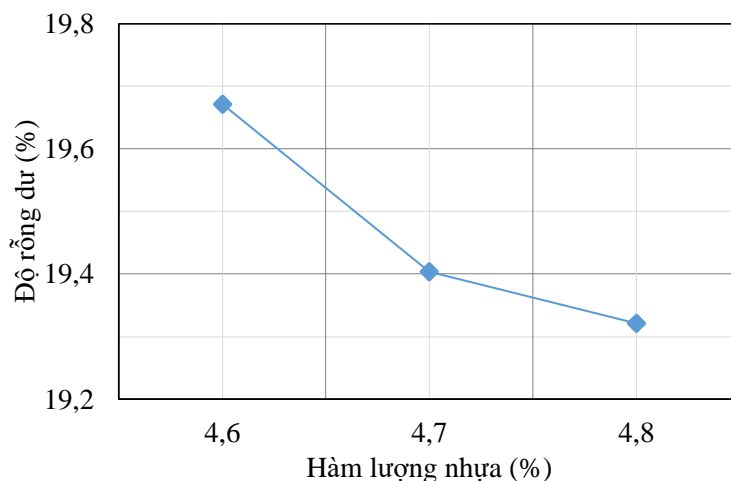
3. QUAN HỆ THỰC NGHIỆM CỦA MỘT SỐ CHỈ TIÊU CƠ LÝ CỦA BTNR

Theo yêu cầu kỹ thuật được quy định trong Quyết định 431/QĐ-BGTVT [1], BTNR12,5 có độ rỗng dư (Va) quy định từ 18 % đến 22 %. Nghiên cứu đã tiến hành các thực nghiệm nhằm đánh giá ảnh hưởng và xác lập tương quan thực nghiệm (nếu có) giữa độ rỗng dư với một số chỉ tiêu kỹ thuật chủ yếu như hệ số thấm trong phòng (liên quan đến công năng thoát nước) và độ ổn định Marshall (liên quan đến cường độ và khả năng chịu lực) của BTNR12,5.

Căn cứ kết quả thiết kế thành phần hỗn hợp BTNR12,5 đã được trình bày trong mục 2 của bài báo, với thành phần cấp phối lựa chọn thiết kế (*xem Bảng 2*) và hàm lượng nhựa PMB III tối ưu được xác định là 4,7%, hỗn hợp BTNR12,5 thu được có độ rỗng dư Va trung bình là 19,4%. Nhằm đánh giá ảnh hưởng của độ rỗng dư đến một số đặc tính của bê tông nhựa rỗng, nghiên cứu đã chế tạo thêm các hỗn hợp BTNR12,5 sử dụng thành phần cấp phối như trong Bảng 2 với hai hàm lượng nhựa PMB III khác lần lượt là 4,6% và 4,8%. Hai hàm lượng này nằm trong khoảng gần với hàm lượng nhựa tối ưu 4,7% đã được xác định từ trước. Các hỗn hợp BTNR12,5 - HLN 4,6% và BTNR12,5 - HLN 4,8% (HLN - Hàm lượng nhựa) đã được phối trộn và tạo mẫu thí nghiệm theo phương pháp Marshall theo TCVN 8860-1:2011. Tương ứng với mỗi hàm lượng nhựa, hai tổ mẫu số 1 và tổ mẫu số 2 với 03 mẫu/tổ đã được chuẩn bị để làm các thí nghiệm xác định các chỉ tiêu kỹ thuật tương tự như trong Bảng 3.

a. Ảnh hưởng của hàm lượng nhựa đến độ rỗng dư

Độ rỗng dư của các mẫu BTNR12,5 - HLN 4,6% và BTNR12,5 - HLN 4,8% đã được xác định và so sánh với độ rỗng dư của BTNR12,5 ở HLN 4,7%. Kết quả so sánh được trình bày trong Hình 4.

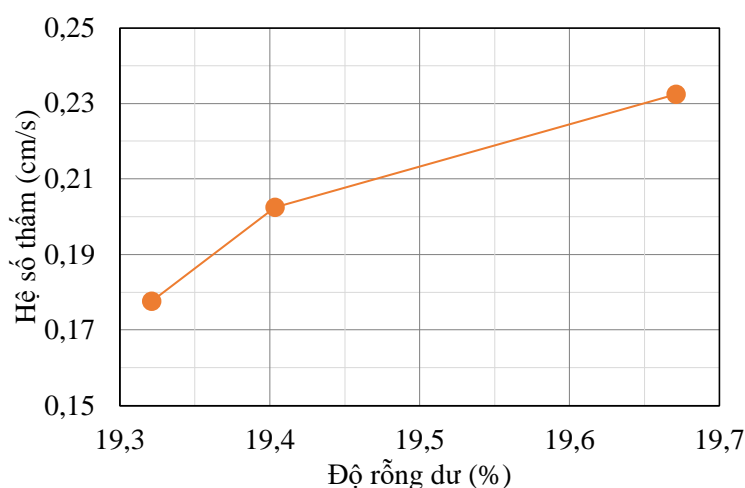


Hình 4. Ảnh hưởng của hàm lượng nhựa đến độ rỗng dư của BTNR12,5.

Theo kết quả trong Hình 4, khi hàm lượng nhựa thay đổi từ hàm lượng nhựa tối ưu là 4,7% thành hàm lượng nhựa 4,6% hoặc 4,8%, khoảng thay đổi của độ rỗng dư không quá lớn nhưng vẫn có thể quan sát được xu hướng thay đổi. Khi hàm lượng tăng lên, độ rỗng dư có xu hướng giảm đi và ngược lại. Điều này do lượng nhựa tăng thêm chèn lấp vào một phần các lỗ rỗng và làm giảm độ rỗng của hỗn hợp. Mọi quan hệ thực nghiệm giữa hàm lượng nhựa và độ rỗng dư quan sát được trên hỗn hợp BTNR12,5 hoàn toàn tương tự như các kết quả thực nghiệm thường thấy của các hỗn hợp BTNC có độ rỗng dư từ 3% đến 6% [13].

b. Ảnh hưởng của độ rỗng dư đến hệ số thấm

Hệ số thấm trong phòng của các mẫu BTNR12,5 ở hàm lượng nhựa 4,6% và 4,8% được xác định và so sánh với hệ số thấm của mẫu BTNR12,5 ở HLN 4,7%. Hình 5 thể hiện quan hệ giữa độ rỗng dư của các mẫu BTNR và hệ số thấm xác định bởi thí nghiệm trong phòng. Kết quả này chứng minh xu hướng khi độ rỗng dư tăng thì độ thấm của BTNR sẽ tăng theo.

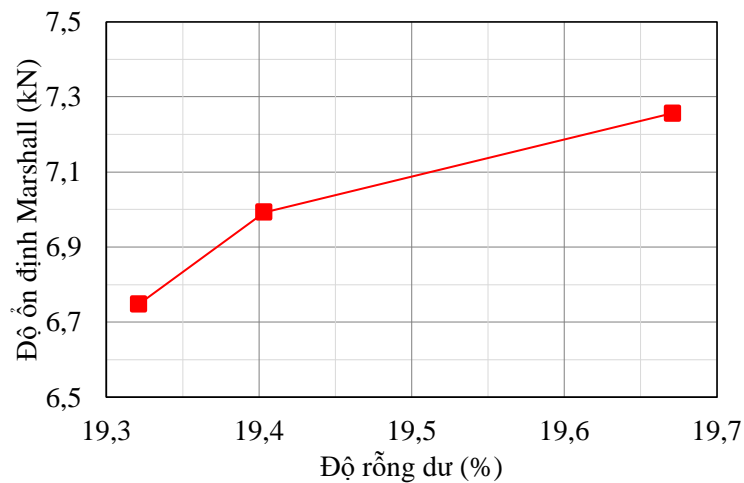


Hình 5. Ảnh hưởng của độ rỗng dư đến hệ số thấm.

c. Ảnh hưởng của độ rỗng dư đến độ ổn định Marshall

Độ ổn định Marshall của các mẫu BTNR12,5 ở hàm lượng nhựa 4,6% và 4,8% được xác định và so sánh với độ ổn định Marshall của mẫu BTNR12,5 ở HLN 4,7%. Hình 6 thể hiện

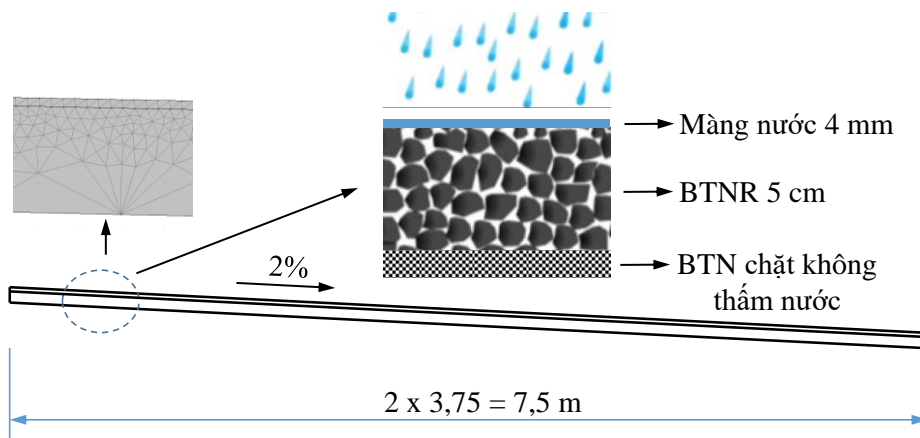
quan hệ giữa độ rỗng dư và độ ổn định Marshall của các mẫu BTNR12,5. Có thể nhận thấy khi tăng hàm lượng nhựa, độ rỗng dư giảm đi và độ ổn định Marshall cũng giảm theo. Điều này phù hợp với hỗn hợp bê tông nhựa có chiều dày màng nhựa hợp lý, khi tiếp tục tăng hàm lượng nhựa sẽ làm tăng chiều dày màng nhựa và độ ổn định Marshall của hỗn hợp sẽ có xu hướng giảm đi. Có thể nhận thấy qua kết quả ở Hình 5 và Hình 6 rằng mặc dù độ rỗng dư thay đổi trong khoảng nhỏ 0,4% nhưng ảnh hưởng của nó đến tính chất cơ lý của hỗn hợp là rõ ràng. Kết quả nghiên cứu [14] cũng cho thấy, độ rỗng dư thay đổi trong khoảng nhỏ cũng ảnh hưởng đáng kể đến giá trị độ cứng của hỗn hợp bê tông nhựa. Các đặc tính thể tích và thành phần hỗn hợp (độ rỗng dư, hàm lượng nhựa...) là các tham số quan trọng trong việc dự báo đặc tính của bê tông nhựa từ tính chất của các vật liệu thành phần [15,16].



Hình 6. Ảnh hưởng của độ rỗng dư đến độ ổn định Marshall.

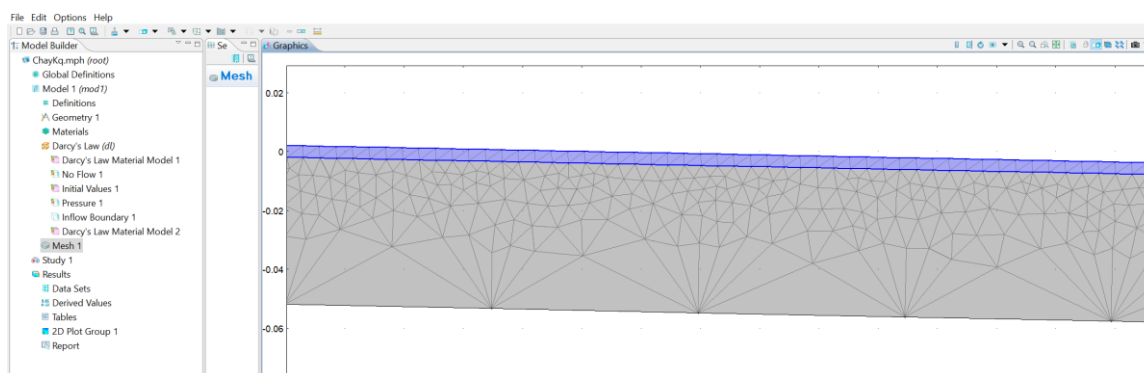
4. MÔ PHỎNG KHẢ NĂNG THOÁT NƯỚC CỦA MẶT ĐƯỜNG BÊ TÔNG NHỰA RỖNG

Dựa trên các kết quả thực nghiệm, trong phần này, nhóm nghiên cứu tiến hành mô phỏng khả năng thoát nước của lớp phủ bê tông nhựa rỗng khi trời mưa. Kết cấu mặt đường mô phỏng được thể hiện trên Hình 7. Mặt cắt mô phỏng thoát nước mưa gồm 2 làn xe chạy với bề rộng mỗi làn 3,75 m. Độ dốc ngang thiết kế là 2%. Kết cấu mặt đường gồm lớp phủ bê tông nhựa rỗng dày 5cm đặt trên lớp bê tông nhựa chặt không thấm nước.



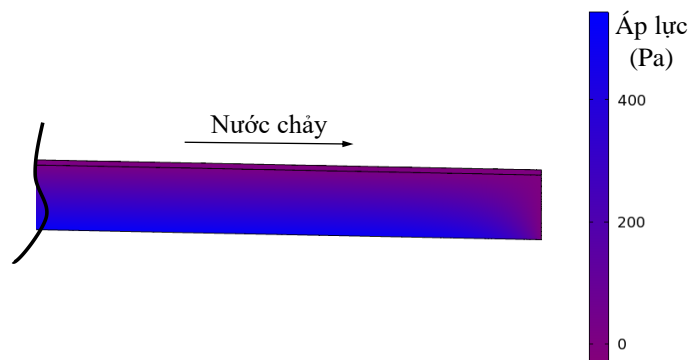
Hình 7. Mô phỏng khả năng thoát nước của mặt đường BTNR.

Mô phỏng tính toán được thực hiện trên phần mềm *Comsol Multiphysics* (Hình 8). Trong đó, lớp bê tông nhựa chặt được coi là không thấm nước hoàn toàn (điều kiện biên khai báo là “No flow” trong phần mềm). Độ rỗng dư và hệ số thấm của BTNR được lấy theo kết quả thực nghiệm tại hàm lượng nhựa 4,7% tương ứng là 19,4% và 0,2 cm/s. Quy luật dòng chảy tuân theo định luật Darcy. Cường độ mưa được mô phỏng như một dòng thấm đi vào mô hình cần xác định khả năng thoát nước. Nước mưa thấm vào trong lớp bê tông nhựa rỗng và chảy ra ngoài phía lề đường. Giả thiết rằng hệ thống rãnh và hệ thống thu nước luôn đáp ứng được yêu cầu lưu lượng nước từ lớp bê tông nhựa rỗng chảy ra (không áp $p = 0$ MPa tại vị trí cuối dốc của bê tông nhựa rỗng). Cũng giả thiết rằng dòng thấm không từ phía dải phân cách chảy vào kết cấu tính toán (không có dòng thấm (no flow) từ biên phía bên trái). Khi cường độ mưa nhỏ, nước mưa dễ dàng thấm vào lớp BTNR, thoát ra ngoài và không để lại màng nước trên bề mặt đường. Khi cường độ mưa tăng dần lên, khả năng thoát nước của lớp BTNR đạt trạng thái bão hòa, dần hình thành lớp màng nước trên mặt đường, gây ra hiện tượng trượt nước và mất an toàn cho xe chạy trên đường. Theo Huebner và các đồng nghiệp [17] và trích dẫn lại bởi [18] thì tốc độ trượt nước có mối quan hệ chặt chẽ với chiều dày màng nước. Nghiên cứu [17] chỉ ra rằng với tốc độ xe 75 km/h thì xảy ra hiện tượng trượt nước nếu chiều dày màng nước lớn hơn 4 mm. Tốc độ càng cao thì chiều dày màng nước đảm bảo an toàn càng giảm. Với tốc độ 100 km/h thì chiều dày màng nước cần nhỏ hơn 1 mm để đảm bảo an toàn xe chạy. Trong tính toán này, nhóm tác giả mô phỏng chiều dày màng nước là 4 mm đảm bảo cho xe chạy an toàn với vận tốc 75 km/h. Vận tốc nước chảy trên mặt đường là 0,4 m/s.



Hình 8. Phần mềm Comsol Multiphysics dùng trong mô phỏng tính toán.

Thông số đầu vào là cường độ mưa (dòng thấm), các thông số vật liệu của bê tông nhựa rỗng. Kết quả tính toán nhận được là áp lực tại các điểm trong mô hình khi dòng chảy cân bằng. Ví dụ về kết quả tính toán được thể hiện trên Hình 9. Áp lực càng lớn thể hiện cột nước tại điểm xem xét càng cao. Trong tính toán, nhóm nghiên cứu tăng dần cường độ mưa và không chế áp lực cột nước cao nhất tại bất kì điểm nào trong mô hình không vượt quá 54 mm (540 Pa, 50 mm lớp bê tông nhựa rỗng và không quá 4mm màng nước). Đối với mô hình mặt đường tính toán, cường độ dòng thấm tối đa là 0,0000054 m/s tương đương với trận mưa có cường độ 19,5 mm trong 1 h. Cường độ mưa gần 20 mm/h được xếp loại là trận mưa lớn (nằm trong khoảng 10 mm/h đến 50 mm/h). Như vậy, với việc sử dụng 5 cm lớp bê tông nhựa rỗng thoát nước có độ rỗng dư 19,4%, mặt đường cho phép xe chạy an toàn với vận tốc 75 km/h khi trời mưa lớn nhưng cường độ nhỏ hơn 19,5mm/h. Việc tính toán mô phỏng sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn bằng phần mềm *Comsol Multiphysics* có thể mở rộng với nhiều loại vật liệu BTNR, nhiều loại kết cấu với các thông số hình học khác nhau (độ dốc ngang, bề rộng làn xe...) để đánh giá khả năng thoát nước của mặt đường.



Hình 9. Kết quả tính toán sử dụng phần mềm Comsol Multiphysics.

5. KẾT LUẬN

Thông qua nghiên cứu thực nghiệm và mô phỏng, bài báo đã chỉ ra một số kết luận chính như sau:

- Nghiên cứu đã thiết kế và chế tạo thành phần hỗn hợp BTNR12,5 có độ rỗng dư và các chỉ tiêu cơ lý thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật.

- Từ các kết quả thực nghiệm, nghiên cứu chỉ ra ảnh hưởng của hàm lượng nhựa, độ rỗng dư đến độ ổn định Marshall, hệ số thấm của BTNR.

- Nghiên cứu đã mô phỏng khả năng thoát nước của mặt đường sử dụng loại BTNR thiết kế. Kết quả mô phỏng chỉ ra rằng với việc sử dụng 5 cm lớp bê tông nhựa rỗng thoát nước có độ rỗng dư 19,4%, mặt đường cho phép xe chạy an toàn với vận tốc 75 km/h khi trời mưa với cường độ nhỏ hơn 19,5 mm/h.

Kết quả đạt được trong bài báo cũng hướng đến khả năng thực hiện các nghiên cứu về thoát nước mặt đường khi thay đổi các thông số như loại bê tông nhựa rỗng, độ dốc ngang, chiều dày màng nước, bề rộng mặt đường cần thoát nước...

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông Vận tải (ĐH GTVT) trong đề tài mã số T2021-CT-035.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Bộ GTVT, Chỉ dẫn tạm thời về thiết kế, thi công và nghiệm thu mặt đường bê tông nhựa rỗng có sử dụng phụ gia TAFPAC-Super, Ban hành kèm theo Quyết định số 431/QĐ-BGTVT ngày 04/02/2016 của Bộ trưởng Bộ GTVT.
- [2]. P.S. Kandhal, Design Construction and Maintenance of Open-Graded Asphalt Friction Courses, [trong]: Information Series IS 115, National Asphalt Pavement Association (NAPA), 05/2002.
- [3]. P.S. Kandhal, R.B. Mallick, Design of new generation Open Graded Friction Courses, Report No. 99-3, National Center for Asphalt Technology (NCAT), 1999.
- [4]. S.T. Muench, C. Weiland, J. Hatfield, L.K. Wallace, Open-graded wearing courses in the pacific northwest, Final Report SPR 680, Department of Civil and Environmental Engineering University of Washington, 2011.
- [5]. A. E. Alvarez-Lugo, O. J. Reyes-Ortiz, R. Miro, A review of the characterization and evaluation of permeable friction course mixtures, Ingeniare. Rev. chil. ing., 22 (2014) 469-482.

<http://dx.doi.org/10.4067/S0718-33052014000400003>

- [6]. M. St-Jacques, Y. Brosseaud, Bilan des enrobés drainants en France et au Quebec, *Revue Via Bitume*, 12 (2017) 41-45.
- [7]. BS EN 13108-7:2006, Bituminous mixtures - Material specifications - Part 7: Porous Asphalt.
- [8]. Nguyễn Văn Thành, Nghiên cứu các đặc tính chủ yếu của bê tông nhựa rỗng (Porous Asphalt) dùng làm lớp mặt cho đường ô tô cấp cao ở Việt Nam, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Viện Khoa học và Công nghệ GTVT, 2017.
- [9]. Nguyễn Phước Minh, Nghiên cứu xác định thành phần vật liệu hợp lý lớp bê tông nhựa tạo nhám mặt đường cấp cao tại Việt Nam, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học GTVT, 2013.
- [10]. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 13048:2020 về Lớp mặt bê tông nhựa rỗng thoát nước - Yêu cầu thi công và nghiệm thu.
- [11]. Bùi Văn Phú, Nguyễn Quang Tuấn, Thí nghiệm động xác định các đặc tính cơ học của nhựa đường 60/70, 35/50 và PMB3 sử dụng thiết bị DSR và Metravib DMA, *Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải*, 71 (2020) 583-594. <https://doi.org/10.25073/tcsj.71.5.10>
- [12]. Q.T. Nguyen, T.C.H. Tran, Experimental Investigation of Fatigue Behavior for Polymer Modified Asphalt and Epoxy Asphalt Mixtures, in *Proceedings of the 3rd International Conference on Sustainability in Civil Engineering. Lecture Notes in Civil Engineering*, 145, 2021, Springer, Singapore, pp.161-166. https://doi.org/10.1007/978-981-16-0053-1_20
- [13]. I. John, M.R. Bangi, M. Lawrence, Effect of Filler and Binder Contents on Air Voids in Hot-Mix Asphalt for Road Pavement Construction, *Open Journal of Civil Engineering*, 11 (2021) 255-289. <https://doi.org/10.4236/ojce.2021.113016>
- [14]. D. Perraton, H. Di Benedetto, C. Sauzeat, Q.T. Nguyen, S. Pouget, Three-Dimensional Linear Viscoelastic Properties of Two Bituminous Mixtures Made with the Same Binder, *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30 (2018).
- [15]. H. Zhang, K. Anupam, T. Scarpas, C. Kasbergen, S. Erkens, L.A. Khateeb, Continuum-based micromechanical models for asphalt materials: Current practices & beyond, *Construction and Building Materials*, 260 (2020) 119675. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119675>
- [16]. Q.T. Nguyen, H. Di Benedetto, C. Sauzeat, Prediction of linear viscoelastic behaviour of asphalt mix s from binder properties and reversal, *International RILEM Symposium on Multi-Scale Modeling and Characterization of Infrastructure Materials*, Stockholm, Sweden, pp 237-248, 2013.
- [17]. R.S. Huebner, J.R. Reed, J.J. Henry, Criteria for Predicting Hydroplaning Potential, *ASCE Journal of Transportation Engineering*, 112 (1986) 549-553.
- [18]. Đặng Minh Tân, Nguyễn Thị My Trà, Nghiên cứu một số vấn đề về nguyên nhân và giải pháp hạn chế hiện tượng trượt nước trên đường ô tô, *Tạp chí Giao thông vận tải, Số đặc biệt: Khoa học Công nghệ trong an toàn giao thông Việt Nam*, (2019) 54-58.