



## DETERMINATION OF ASPHALT CONTENT AND AIR VOID OF ASPHALT MIXTURES USING IMAGE ANALYSIS METHOD

Nguyen Quang Tuan, Bui Ngoc Dung, Tran Thi Cam Ha\*, Do Vuong Vinh

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

### ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 17/12/2021

Revised: 07/02/2022

Accepted: 03/03/2022

Published online: 15/04/2022

<https://doi.org/10.47869/tcsj.73.3.2>

\* *Corresponding author*

Email: tranthicamha@utc.edu.vn

**Abstract.** Nowadays, due to the development of science and technology, especially the data science and artificial intelligence, the traditional methods have been gradually replaced by more effective and modern methods. In Vietnam, the determination of asphalt content of asphalt mixtures is performed by extraction method using the centrifuge. This method requires many steps and uses solvents that are not good for the environment and human health. This paper presents the investigation into the application of image analysis method for determining asphalt content and air void of asphalt mixtures. Four types of asphalt mixture with different aggregate sources and gradations were fabricated and tested. For each type of asphalt mixture, the images of specimen cross section by scanning were used. An image analysis program is built to analyze captured image. Color images is converted to grayscale images. Aggregate, bitumen and air void are distinguished due to intensity of light at each pixel in the grayscale image. From the image analysis, the asphalt content and air void of the asphalt mixture specimens were determined. The obtained results show that the image analysis method could determine the volumetric properties of the mixture quite accurately and opens up many other studies in the future.

**Keywords:** asphalt mixture, asphalt content, air void, image analysis.



## XÁC ĐỊNH HÀM LƯỢNG NHỰA VÀ ĐỘ RỖNG DƯ CỦA BÊ TÔNG ASPHALT BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH ẢNH CHỤP MẶT CẮT

Nguyễn Quang Tuấn, Bùi Ngọc Dũng, Trần Thị Cẩm Hà\*, Đỗ Vương Vinh

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: 17/12/2021

Ngày nhận bài sửa: 07/02/2022

Ngày chấp nhận đăng: 03/03/2022

Ngày xuất bản Online: 15/04/2022

<https://doi.org/10.47869/tcsj.73.3.2>

\* Tác giả liên hệ

Email: tranthicamha@utc.edu.vn

**Tóm tắt.** Ngày nay, với sự phát triển của khoa học công nghệ đặc biệt là khoa học dữ liệu và trí tuệ nhân tạo, những phương pháp truyền thống đang được sử dụng dần được thay thế bởi những phương pháp hiệu quả và hiện đại hơn. Ở Việt Nam, việc xác định hàm lượng nhựa của bê tông asphalt được thực hiện bằng phương pháp chiết sử dụng máy quay li tâm. Phương pháp này gồm nhiều công đoạn và sử dụng dung môi không có lợi cho môi trường và sức khỏe con người. Bài báo trình bày nghiên cứu về ứng dụng phân tích ảnh trong việc xác định hàm lượng nhựa và độ rỗng dư của hỗn hợp bê tông asphalt. Bốn loại bê tông asphalt với nguồn cốt liệu và cấp phối khác nhau được chế tạo và thử nghiệm. Với mỗi loại bê tông asphalt, các mặt cắt bê tông mẫu được quét thành ảnh kỹ thuật số. Chương trình xử lý ảnh được xây dựng nhằm phân tích các mẫu ảnh chụp được. Ảnh quét từ dạng màu sẽ được chuyển thể sang ảnh xám. Cốt liệu đá, nhựa đường và độ rỗng được phân biệt dựa vào độ sáng của pixel ảnh xám. Từ đó, hàm lượng nhựa và độ rỗng dư của mẫu bê tông asphalt được xác định. Kết quả nhận được cho thấy phương pháp phân tích ảnh xác định khá chính xác các đặc tính thể tích của hỗn hợp và mở ra nhiều hướng nghiên cứu trong tương lai.

**Từ khóa:** bê tông asphalt, hàm lượng nhựa, độ rỗng dư, phân tích ảnh.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các đặc tính thể tích có ảnh hưởng quan trọng đến tính chất cơ học như độ cứng, sức kháng mỏi, hần lún... của hỗn hợp bê tông asphalt. Theo nghiên cứu [1], với thí nghiệm không chế lực, sức kháng mỏi tăng và độ phân tán kết quả thí nghiệm giảm khi độ rỗng của bê tông asphalt giảm. Với thí nghiệm không chế chuyển vị, chỉ có bê tông asphalt hàm lượng nhựa nhỏ (3,5-4,5%) phù hợp với kết luận này. Với bê tông asphalt hàm lượng nhựa cao hơn, độ rỗng giảm thì tuổi thọ mỏi cũng giảm theo. Nhiều nghiên cứu cho rằng hàm lượng nhựa là yếu tố rất quan trọng ảnh hưởng đến tính chất mỏi của bê tông asphalt. Các nghiên cứu cho thấy tồn tại một giá trị hàm lượng nhựa tối ưu. Dưới giá trị tối ưu này, độ bền mỏi của bê tông asphalt tăng khi hàm lượng nhựa tăng. Còn trên giá trị tối ưu, độ bền mỏi của bê tông asphalt giảm khi hàm lượng nhựa tăng. Hàm lượng nhựa tối ưu áp dụng cho độ bền mỏi ở mức khoảng 7% đối với một vài loại bê tông asphalt [2]. Và khi tăng hàm lượng nhựa, độ lệch kết quả thí nghiệm mỏi cũng giảm đi. Tuy nhiên, khi tăng hàm lượng nhựa, chiều dày màng nhựa liên kết giữa các hạt cốt liệu tăng lên dẫn đến khả năng chống hần lún vệt bánh xe giảm [3,4]. Grimaux và Hieunaux [5] thay đổi tỉ lệ hàm lượng bột khoáng/nhựa đường trong hỗn hợp và nhận thấy tồn tại giá trị độ chặt tối ưu cho khả năng chống hần lún của bê tông asphalt. Nghiên cứu Perraton và cộng sự 2018 [6] cũng cho thấy sự khác biệt nhỏ về độ rỗng của mẫu cũng có xu thế ảnh hưởng đến độ cứng và các tính chất đàn nhót của bê tông asphalt. Các thông số thể tích, tính chất của vật liệu nhựa đường và cốt liệu đá cũng dùng để dự báo các đặc tính của hỗn hợp bê tông asphalt [7,8]. Tất cả đều cho thấy tầm quan trọng và sự ảnh hưởng của hàm lượng nhựa, độ rỗng dư đến tính năng của hỗn hợp bê tông asphalt.

Ở Việt Nam, độ rỗng dư và hàm lượng nhựa của bê tông asphalt được xác định tương ứng theo TCVN 8860-9 : 2011 [9] và TCVN 8860-2 : 2011 [10]. Ưu điểm của các phương pháp này là đo đạc trực tiếp các đại lượng vật lý nên có độ chính xác đảm bảo. Tuy nhiên, các phương pháp thường gồm nhiều công đoạn thủ công phức tạp. Đặc biệt, việc xác định hàm lượng nhựa của bê tông asphalt được thực hiện bằng phương pháp chiết sử dụng dung môi trichloroethylene không có lợi cho sức khỏe của con người và môi trường. Khi tiến hành thí nghiệm với số lượng mẫu cần kiểm tra lớn, các phương pháp theo tiêu chuẩn cũng không hiệu quả về mặt chi phí và thời gian thực hiện. Nghiên cứu trong bài báo nhằm mục đích ứng dụng phương pháp phân tích ảnh quét mặt cắt của mẫu nhằm xác định độ rỗng dư và hàm lượng nhựa của mẫu vật liệu bê tông asphalt. Phương pháp phân tích ảnh cũng đã được ứng dụng trong lĩnh vực vật liệu bê tông asphalt. Masad và cộng sự [11] đã nghiên cứu phát triển quy trình phân tích ảnh để xác định hướng cốt liệu và sự phân tầng trong hỗn hợp bê tông asphalt. Coenen và cộng sự [12] đã nghiên cứu và phát triển một phần mềm xử lý và phân tích cấu trúc hỗn hợp bê tông asphalt từ ảnh chụp kỹ thuật số 2D thông qua ngôn ngữ Matlab. Rất nhiều nhóm nghiên cứu đã đánh giá khả năng kháng lún của hỗn hợp bê tông asphalt thông qua mối tương quan với cấu trúc cốt liệu xác định bằng phương pháp phân tích ảnh [13-16].

Trong nghiên cứu này, phương pháp phân tích ảnh được sử dụng nhằm xác định các tính chất thể tích, cụ thể là độ rỗng dư và hàm lượng nhựa, của mẫu bê tông asphalt. Đây là nghiên cứu hoàn toàn mới tại Việt Nam. Trên thế giới cũng đã sử dụng phương pháp phân tích ảnh để xác định độ rỗng dư và hàm lượng nhựa của hỗn hợp bê tông asphalt [17,18]. Trong nghiên cứu này nhóm tác giả đã đề xuất phương pháp đơn giản, dễ thực hiện và tự viết chương trình xử lý ảnh nhằm xác định được độ rỗng dư và hàm lượng nhựa của hỗn hợp bê tông asphalt. Bốn loại bê tông asphalt với nguồn cốt liệu và cấp phối khác nhau được chế tạo và thử nghiệm. Các mẫu bê tông asphalt được chế tạo với độ rỗng dư và hàm lượng nhựa đã được xác định. Một chương trình xử lý ảnh được xây dựng nhằm mục đích xử lý ảnh chụp mặt cắt

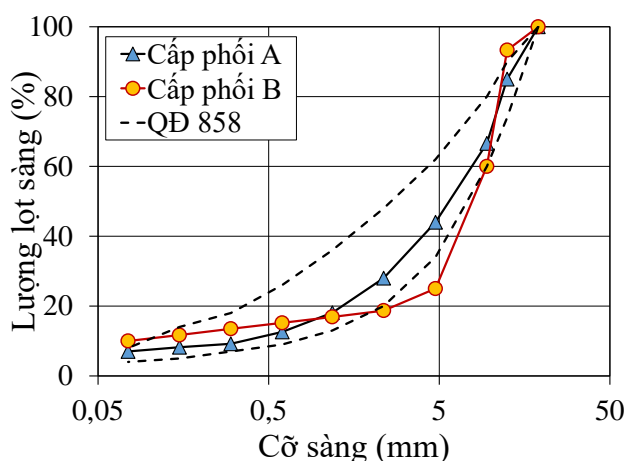
mẫu và xác định được độ rỗng dư cũng như hàm lượng nhựa của mẫu. Kết quả thu được cho thấy phương pháp phân tích ảnh xác định khá chính xác hàm lượng nhựa và độ rỗng dư của mẫu. Điều này cho thấy có thể áp dụng phương pháp xử lý ảnh để thực hiện các đo đạc thể tích của vật liệu một cách nhanh chóng, tiết kiệm chi phí và ít gây ra các tác động phụ đến môi trường và sức khỏe con người.

## 2. VẬT LIỆU THÍ NGHIỆM VÀ CHẾ TẠO MẪU

Các loại vật liệu được sử dụng trong nghiên cứu để chế tạo bê tông asphalt bao gồm:

- Cốt liệu thô và cốt liệu mịn ở hai mỏ đá khác nhau: đá vôi (DV) tại mỏ đá Thống Nhất (Kinh Môn, Hải Dương) và đá bazan (BZ) tại mỏ đá Sunway (Quốc Oai, Hà Nội)
- Bột khoáng là sản phẩm nghiền từ đá vôi
- Nhựa đường sử dụng là nhựa 60/70 của Petrolimex.

Tất cả các vật liệu sử dụng chế tạo bê tông asphalt đều đáp ứng các tiêu chuẩn Việt Nam. Ứng với mỗi nguồn cốt liệu, hai loại cấp phối được thiết kế như trên Hình 1, gọi là cấp phối A (CPA) và cấp phối B (CPB). Cần chú ý rằng với mục đích nghiên cứu đặc tính thể tích và tạo ra các mẫu có khung cốt liệu khác biệt nhau, các cấp phối sử dụng có thể nằm ngoài các tiêu chuẩn quy định ở Việt Nam. Ví dụ cấp phối B là cấp phối có hàm lượng đá dăm cao (hàm lượng hạt  $d \geq 2,36\text{mm}$  là 81,3%) đã nằm ngoài giới hạn theo QĐ 858/BGTVT. Ứng với 2 nguồn mỏ cốt liệu và 2 loại đá, 4 loại bê tông asphalt đã được chế tạo với các thông số như trong Bảng 1.

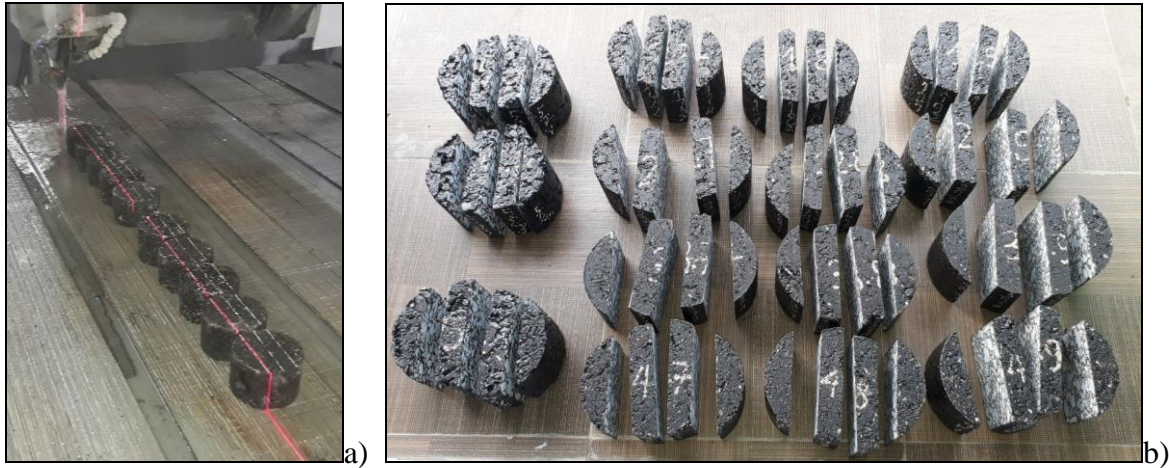


Hình 1. Các cấp phối sử dụng trong nghiên cứu.

Bảng 1. Các loại bê tông asphalt được chế tạo.

STT	Tên loại bê tông asphalt	Mỏ đá	Cấp phối sử dụng	Hàm lượng nhựa	Độ rỗng dư
1	CPA.DV	Thống Nhất	CPA	4,6	4,02
2	CPB.DV	Thống Nhất	CPB	6,1	4,04
3	CPA.BZ	Sunway	CPA	4,9	4,05
4	CPB. BZ	Sunway	CPB	6,1	4,04

Các mẫu bê tông asphalt được đúc bằng đầm Marshall với thành phần và đặc tính như trong Bảng 1. Mẫu chế tạo có kích thước của mẫu Marshall thông thường với đường kính 101,6 mm và chiều cao 63,5 mm. Mẫu được cắt bằng máy cắt đá chuyên dụng để tạo ra các mặt phẳng theo phương song song với trục của mẫu. Mỗi mẫu được cắt tại 3 vị trí, chia mẫu thành 4 mảnh với 6 mặt cắt như Hình 2. Sau đó các hình ảnh của mặt cắt sẽ được quét bằng máy quét. Trong nghiên cứu này, 18 ảnh mặt cắt CPA.DV (3 mẫu cắt), 18 ảnh mặt cắt CPB.DV (3 mẫu cắt), 6 ảnh mặt cắt CPA.BZ (1 mẫu cắt) và 12 ảnh mặt cắt CPB. BZ (2 mẫu cắt) được sử dụng. Tổng cộng có 54 ảnh kỹ thuật số được quét và xử lý.



Hình 2. Cắt mẫu bằng máy cắt đá (a) và hình ảnh mẫu sau khi cắt (b).

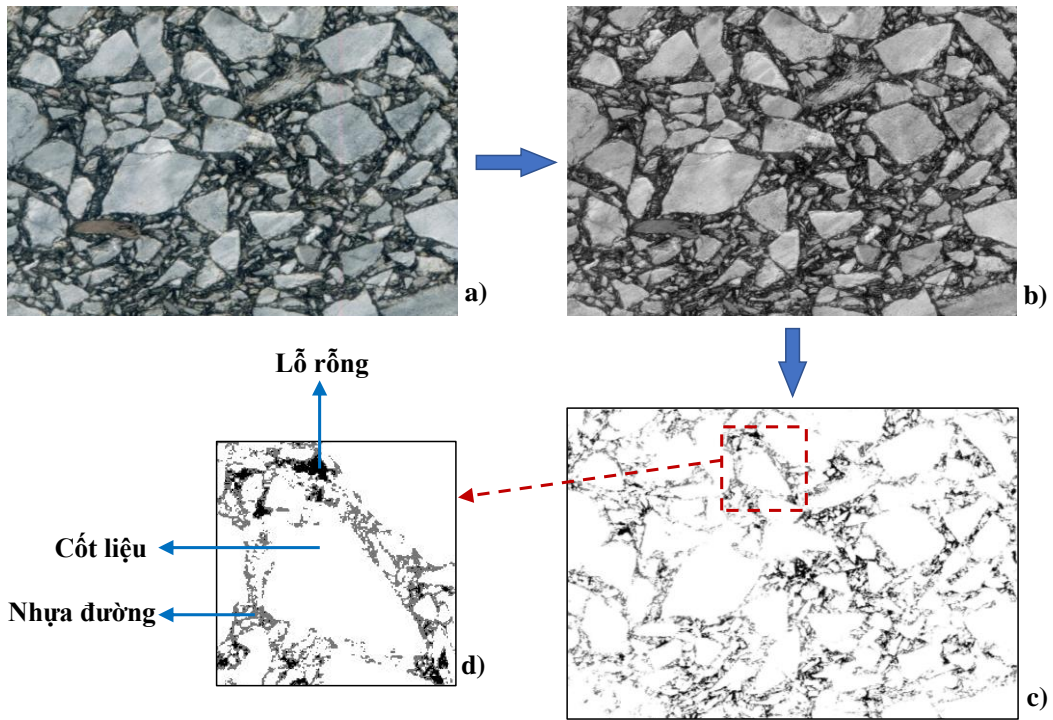
### 3. PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH ẢNH

Để phân tích và xử lý ảnh chụp mặt cắt, một chương trình đã được viết trên nền Matlab. Các bước chính của chương trình xử lý ảnh như sau:

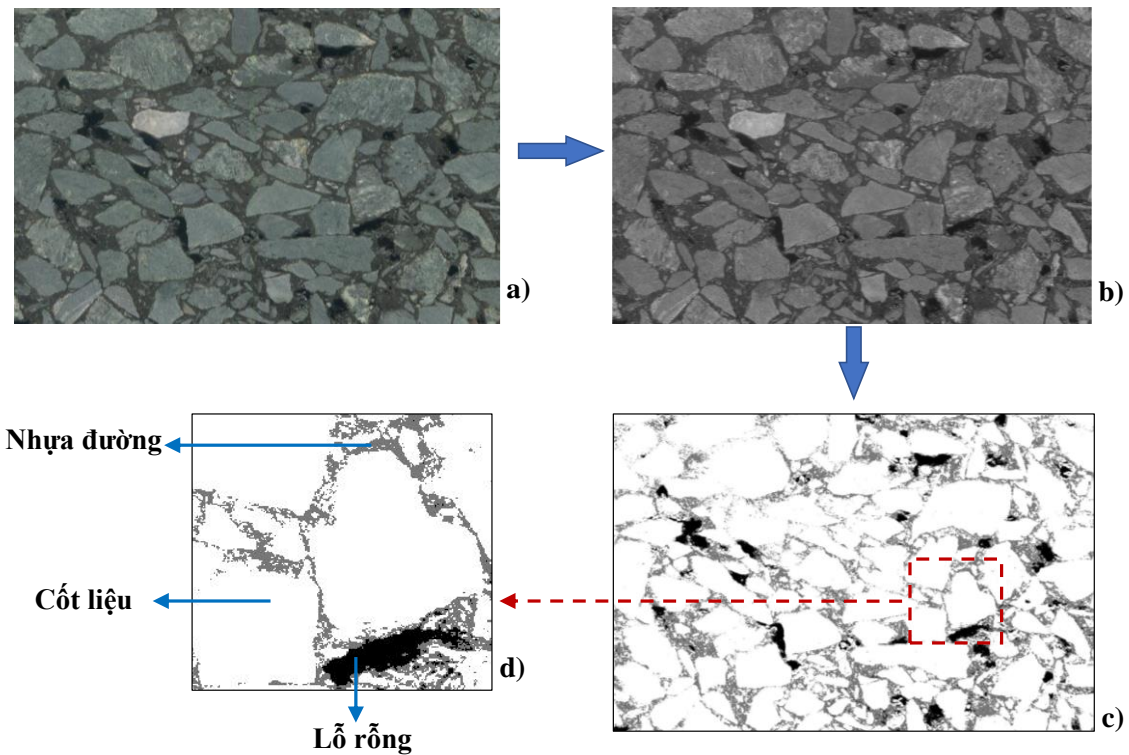
Bước 1: Ảnh gốc được nhập vào chương trình xử lý và chuyển thành ảnh xám. Ảnh gốc là ảnh màu trong đó mỗi pixel ảnh được thể hiện bằng hệ màu RGB. RGB viết tắt của red (đỏ), green (xanh lá), blue (xanh lam), là ba màu chính của ánh sáng. Khi trộn ba màu trên theo tỉ lệ nhất định có thể tạo thành các màu khác nhau. Màu của mỗi pixel là một tổ hợp của một bộ số (R,G,B) trong đó R, G, B là các số nguyên trong khoảng [0,255]. Còn đối với ảnh xám, mỗi pixel trong ảnh xám chỉ cần biểu diễn bằng một giá trị nguyên X trong khoảng từ [0,255] thay vì (R,G,B) như trong ảnh màu. X = 0 là màu đen và X = 255 là màu trắng. Giá trị X càng gần 0 thì pixel càng tối và càng gần 255 thì pixel càng sáng. Công thức được sử dụng để chuyển thể ảnh màu sang ảnh xám là  $X = 0,2989 \times R + 0,5870 \times G + 0,1140 \times B$  [19].

Bước 2: Đối với mỗi loại bê tông asphalt, từ ảnh xám, xác định các ngưỡng độ sáng của pixel để phân loại pixel đó đại diện cho cốt liệu, nhựa đường hay lỗ rỗng. Màu sáng là cốt liệu, màu tối là nhựa đường và tối đen là lỗ rỗng. Ví dụ đối với bê tông asphalt CPA.DV, pixel có X nằm trong khoảng [0,25] là các điểm lỗ rỗng, X = [26,47] là nhựa đường và X = [48,255] là cốt liệu đá. Các ngưỡng này được xác định dựa trên việc điều chỉnh khi chạy chương trình nhằm khớp các thông số cơ lý của mẫu vật liệu (Bảng 1) với kết quả chương trình thu được (ở bước 3) đối với 3 mặt cắt vật liệu. Sau đó các thông số này được sử dụng cho tất cả các mặt cắt còn lại của cùng loại bê tông asphalt.





Hình 3. Phân tích ảnh mẫu bê tông asphalt CPA.DV: a) ảnh gốc, b) ảnh xám, c) ảnh sau khi phân ngưỡng vật liệu, d) ảnh phóng to phân biệt các thành phần vật liệu.

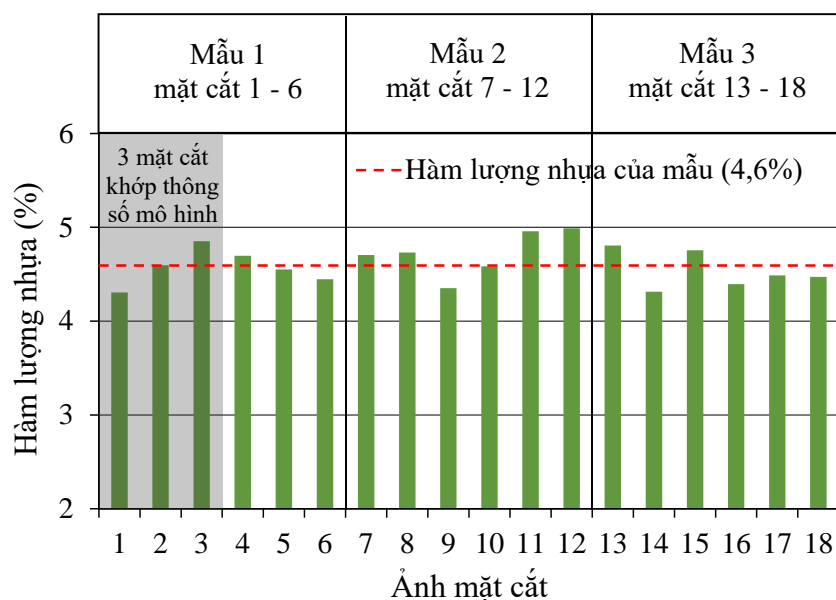


Hình 4. Phân tích ảnh mẫu bê tông asphalt CPB.BZ: a) ảnh gốc, b) ảnh xám, c) ảnh sau khi phân ngưỡng vật liệu, d) ảnh phóng to phân biệt các thành phần vật liệu.

Bước 3: Tỷ lệ các loại pixel cốt liệu đá, nhựa đường, lỗ rỗng được coi là tỷ lệ theo thể tích của từng loại thành phần. Dựa trên tỷ lệ thể tích và tỉ trọng khối của từng loại vật liệu, hàm lượng nhựa (% theo khối lượng) hay độ rỗng (% theo thể tích) được xác định thông qua chương trình. Chương trình cũng xuất ra ảnh các thành phần vật liệu sau khi phân ngưỡng trong đó cốt liệu được thể hiện bằng màu trắng, lỗ rỗng là màu đen và nhựa đường là màu xám. Hình 3 và 4 là 2 ví dụ thể hiện quá trình phân tích ảnh đối với vật liệu bê tông asphalt CPA.DV và CPB.BZ. Có thể nhận thấy, phương pháp phân tích ảnh xác định chính xác các vùng cốt liệu đá, nhựa đường và lỗ rỗng so với ảnh chụp thực tế.

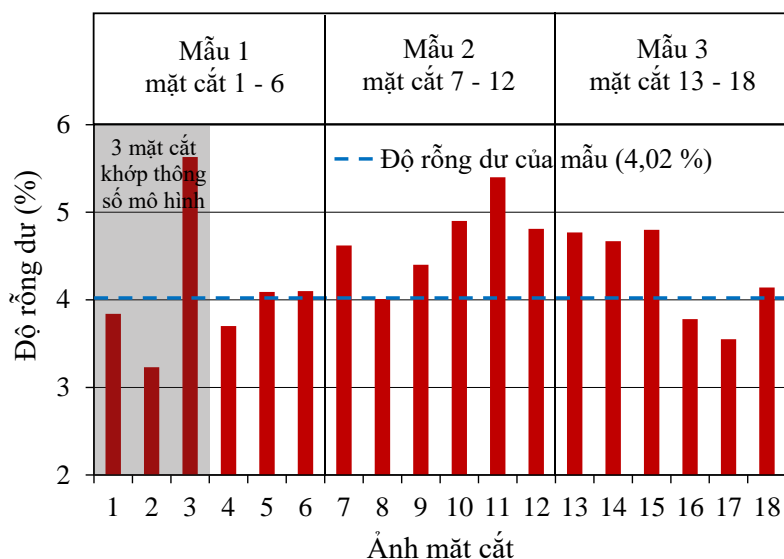
#### 4. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ

Kết quả xác định hàm lượng nhựa và độ rỗng dư của loại bê tông asphalt CPA.DV bằng phương pháp phân tích ảnh được thể hiện trên Hình 5 và 6. Trong đó, số lượng ảnh mặt cắt được phân tích là 18 ảnh (3 mẫu cắt × 6 mặt cắt). Ba mặt cắt của mẫu 1 được sử dụng trong việc xác định các ngưỡng thông số trong chương trình phân tích ảnh. Các ảnh mặt cắt của cùng một mẫu được xếp liền kề nhau trong cùng một nhóm (xem Hình 5 và 6). Hàm lượng nhựa và độ rỗng dư của mẫu chế bị cũng được thể hiện trên hình vẽ để so sánh với kết quả phân tích ảnh từ chương trình.



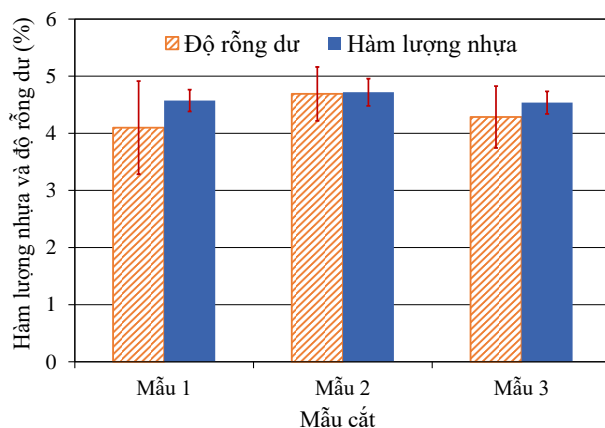
Hình 5. Kết quả xác định hàm lượng nhựa từ các ảnh mặt cắt bê tông asphalt CPA.DV.

Kết quả xác định hàm lượng nhựa và độ rỗng dư bằng phương pháp phân tích 18 ảnh mặt cắt cho thấy: hàm lượng nhựa trung bình là  $4,61 \pm 0,21$  (%), độ rỗng dư trung bình là  $4,36 \pm 0,64$  (%). Có thể nhận thấy giá trị trung bình của 18 mẫu khá sát với giá trị độ rỗng dư và hàm lượng nhựa của các mẫu chế bị. Độ rỗng dư (độ lệch chuẩn  $\pm 0,64$  %) có độ phân tán cao hơn hàm lượng nhựa (độ lệch chuẩn  $\pm 0,21$  %). Đặc biệt hàm lượng nhựa trung bình của cả 18 mẫu ảnh phân tích có giá trị rất sát với giá trị hàm lượng nhựa dùng để chế tạo mẫu.



Hình 6. Kết quả xác định độ rỗng dư từ các ảnh mặt cắt bê tông asphalt CPA.DV.

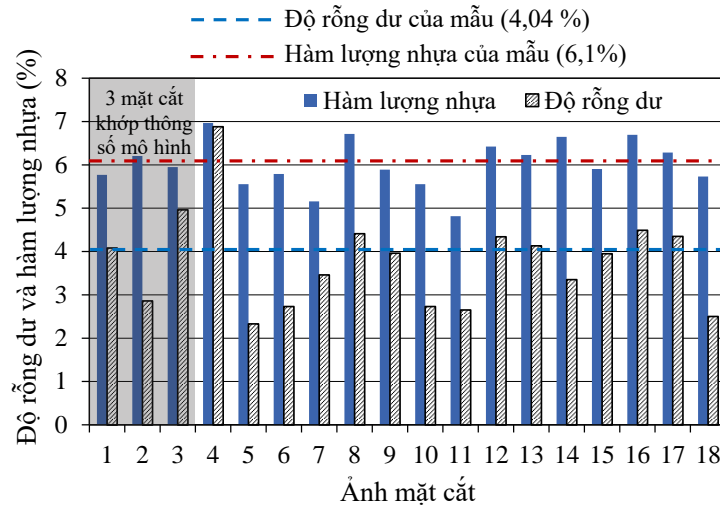
Giá trị hàm lượng nhựa và độ rỗng dư được xác định riêng cho từng mẫu 1, 2, 3 bằng cách lấy giá trị trung bình của 6 ảnh mặt cắt của từng mẫu. Kết quả này được thể hiện trên Hình 7. Có thể thấy rõ độ rỗng dư có độ phân tán cao hơn hàm lượng nhựa như đã nhận xét ở trên. Kết quả cũng cho thấy mẫu 1 (có 3 mặt cắt sử dụng trong khớp thông số của mô hình) có kết quả gần nhất với hàm lượng nhựa và độ rỗng dư chế bị mẫu. Giá trị số kết quả trên Hình 7 được tổng hợp trong Bảng 2.



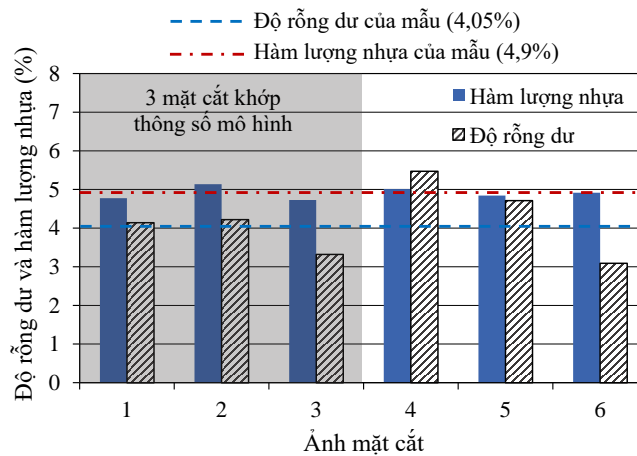
Hình 7. Kết quả xác định độ rỗng dư và hàm lượng nhựa của từng mẫu bê tông asphalt CPA.DV.

Tương tự như với bê tông asphalt CPA.DV, các kết quả chạy chương trình nhằm xác định hàm lượng nhựa và độ rỗng dư của các loại bê tông asphalt CPB.DV, CPA.BZ, CPB.BZ được thể hiện trên các Hình 8, 9, 10 và Bảng 2. Hình 8, 9, 10 là kết quả chạy cho từng ảnh mặt cắt còn Bảng 2 là tổng hợp kết quả cho từng mẫu đúc vật liệu (trung bình của 6 mặt cắt của cùng một mẫu đúc). Các phân tích và kết luận nhận được đối với bê tông asphalt CPB.DV, CPA.BZ, CPB.BZ cũng tương tự như với hỗn hợp bê tông asphalt CPA.DV đã trình bày ở trên.

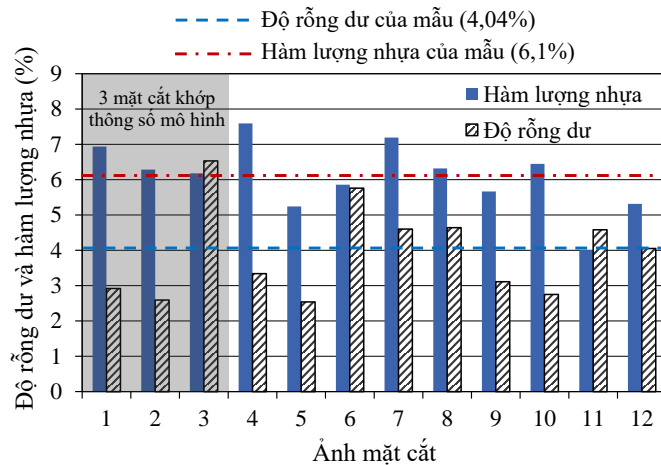




Hình 8. Kết quả xác định hàm lượng nhựa và độ rỗng dư từ các ảnh mặt cắt bê tông asphalt CPB.DV.



Hình 9. Kết quả xác định hàm lượng nhựa và độ rỗng dư từ các ảnh mặt cắt bê tông asphalt CPA.BZ.



Hình 10. Kết quả xác định hàm lượng nhựa và độ rỗng dư từ các ảnh mặt cắt bê tông asphalt CPB.BZ.

Kết quả tổng hợp hàm lượng nhựa và độ rỗng dư trong Bảng 2 cho thấy độ lệch của độ rỗng dư của các mẫu bằng phương pháp phân tích ảnh so với độ rỗng dư của mẫu đúc lớn

nhất là 0,67% và nhỏ nhất là -0,45%. Giá trị trung bình độ lệch độ rỗng dư là 0,23%. Đối với hàm lượng nhựa, giá trị độ lệch lớn nhất là 0,24%, giá trị nhỏ nhất là -0,35% và giá trị trung bình là 0,15%. Kết quả này cho thấy phương pháp phân tích ảnh xác định khá chính xác các đặc tính thể tích của hỗn hợp. Khi xử lý số liệu với số lượng mẫu lớn hơn, số liệu các mẫu dùng để căn chỉnh mô hình lớn có thể tạo ra độ chính xác cao và tiến đến ứng dụng các phương pháp trí tuệ nhân tạo để xử lý và phân tích dữ liệu. Hiện nghiên cứu này mới chỉ dừng lại ở bước ban đầu, để phân tích và ứng dụng nhiều hơn trong tính toán, phân tích và xử lý dữ liệu có tính đến nhiều hơn nữa các thông số đầu vào, cần có những nghiên cứu với dữ liệu lớn và các công cụ học máy phù hợp.

Bảng 2. Hàm lượng nhựa và độ rỗng dư của các mẫu vật liệu.

Loại bê tông asphalt	Tên mẫu	Độ rỗng dư (%)	Độ rỗng dư của mẫu đúc (%)	Độ lệch độ rỗng dư (%)	Hàm lượng nhựa (%)	Hàm lượng nhựa của mẫu đúc (%)	Độ lệch hàm lượng nhựa (%)
CPA.DV	Mẫu 1	4,10	4,02	0,08	4,57	4,6	-0,03
	Mẫu 2	4,69	4,02	0,67	4,72	4,6	0,12
	Mẫu 3	4,29	4,02	0,27	4,54	4,6	-0,06
CPB.DV	Mẫu 1	3,97	4,04	-0,07	6,03	6,1	-0,07
	Mẫu 2	3,59	4,04	-0,45	5,75	6,1	-0,35
	Mẫu 3	3,80	4,04	-0,25	6,24	6,1	0,14
CPA.BZ	Mẫu 1	4,16	4,05	0,11	4,90	4,9	0,00
CPB.BZ	Mẫu 1	3,95	4,04	-0,09	6,34	6,1	0,24
	Mẫu 2	3,96	4,04	-0,09	5,81	6,1	-0,29
<b>Trung bình của giá trị tuyệt đối độ lệch</b>				<b>0,23</b>			<b>0,15</b>

## 5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã tiến hành chế tạo 4 loại bê tông asphalt và tiến hành phân tích ảnh quét mặt cắt vật liệu. Thông qua phân tích kết quả nhận được, các kết luận sau đã được chỉ ra:

- Nghiên cứu xây dựng thành công chương trình phân tích ảnh quét mặt cắt để xác định độ rỗng dư và hàm lượng nhựa của mẫu bê tông asphalt.
- Độ rỗng dư xác định thông qua phương pháp phân tích ảnh có độ phân tán lớn hơn so với hàm lượng nhựa. Giá trị trung bình độ lệch của độ rỗng dư là 0,23% trong đó của hàm lượng nhựa là 0,15%
- Độ lệch của độ rỗng dư (0,23%) và hàm lượng nhựa (0,15%) xác định bằng phương pháp phân tích ảnh so với thông số của mẫu đúc là không quá lớn. Phương pháp phân tích ảnh xác định khá chính xác các đặc tính thể tích của hỗn hợp.

Các kết quả nhận được này cho phép mở ra các hướng nghiên cứu tiếp theo nhằm ứng dụng phương pháp phân tích ảnh sâu hơn trong việc xác định các đặc tính thể tích của hỗn

hợp bê tông asphalt: nâng cao độ chính xác thông qua dữ liệu hiệu chuẩn lớn, ứng dụng trí tuệ nhân tạo và học máy để xác định được nhiều thông số của hỗn hợp.

## LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Giao thông vận tải trong đề tài mã số T2021-CT-031.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. T.H.Doan, Les études de fatigue des enrobés bitumineux au LCPC, Bulletin de liaison des laboratoires des ponts et chaussées, 5 (1977) 215-228.
- [2]. J.A. Epps, C.L. Monismith, W.B. Warden, P.S. Pell, B.F. Kallas, R.L. Terrell, H. W. Busching, N. W. Mcleod, Influence of mixture variables on the flexural fatigue properties of asphalt concrete, in Association of Asphalt Paving Technologists Conference, 1969, pp. 423-464.
- [3]. O. Neubauer, M. N. Partl, Impact of binder content on selected properties of stone mastic asphalt, 3rd Eurobitume Congress, Vienna, 2004, pp. 1614-21.
- [4]. S. Safwat, J. Torbjorn, et al, Evaluation of permanent deformation in bituminous mixes, Eurasphalt & Eurobitume, Barcelona-Spain, 2000, pp. 779-785.
- [5]. J. P. Grimaux, R. Hieunaux, Utilisation de l'orniéreur type LCPC, Bulletin, Liaison Labo des Ponts et Chaussées, 5 (1977) 165-172.
- [6]. D. Perraton, H. Di Benedetto, C. Sauzéat, 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). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0002515](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0002515)
- [7]. D. W.Christensen, T. Pellinen, R. F Bonaquist, Hirsch model for estimating the modulus of asphalt concrete, Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists, 72 (2003) 97–121.
- [8]. Q. T. Nguyen, H. Di Benedetto, C. Sauzéat, Prediction of linear viscoelastic behaviour of asphalt mixes from binder properties and reversal, International RILEM Symposium on Multi-Scale Modeling and Characterization of Infrastructure Materials, Stockholm, Sweden, 2013, Springer, pp. 237-248.
- [9]. Bộ Giao thông Vận tải, TCVN 8860-9 : 2011, Bê tông asphalt – Phương pháp thử, Phần 9: Xác định độ rỗng dư, 2011.
- [10]. Bộ Giao thông Vận tải, TCVN 8860-2 : 2011, Bê tông asphalt – Phương pháp thử, Phần 2: Xác định hàm lượng nhựa bằng phương pháp chiết sử dụng máy quay li tâm, 2011.
- [11]. E. Masad, B. Muhunthan, N. Shashidhar, T. Harman, Aggregate Orientation and Segregation in Asphalt Concrete Conference, Application of Geotechnical Principles in Pavement Engineering, Proceedings of Sessions of Geo-Congress, Location, Boston, MA, 1998, pp. 69-80
- [12]. A. R. Coenen, M. Emin Kutay, N. R. Sefidmazgi, H. U. Bahia, Aggregate structure characterisation of asphalt mixtures using two-dimensional image analysis, Road Materials and Pavement Design, 13 (2012) 433-454. <https://doi.org/10.1080/14680629.2012.711923>
- [13].Jiwang Jiang, Fujian Ni, Lei Gao, Linyi Yao, Effect of the contact structure characteristics on rutting performance in asphalt mixtures using 2D imaging analysis, Construction and Building Materials, 136 (2017) 426-435. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2016.12.210>
- [14]. Nima Roohi Sefidmazgi, Laith Tashman, Hussain Bahia, Internal structure characterization of asphalt mixtures for rutting performance using imaging analysis, Road Materials and Pavement Design, 13 (2012) 21-37. <https://doi.org/10.1080/14680629.2012.657045>

- [15]. M. Shaheen, A. Al-Mayah, Tighe, Evaluating the Potential for Hot Mix Asphalt Rutting Performance Using Laboratory and Digital Imaging Technique, Transportation 2014: Past, Present, Future, Conference and Exhibition of the Transportation Association of Canada, 2014, 16
- [16]. V.V. Đỗ, Nghiên cứu ảnh hưởng của cốt liệu thô tạo khung đến sự phát triển biến dạng không hồi phục của bê tông nhựa nóng trong điều kiện Việt Nam, Luận án Tiến sỹ Kỹ thuật, Trường Đại học Giao thông vận tải, 2022.
- [17]. Kothala, Venkat Sai Kumar, Use of Image Analysis as a Tool for Evaluating Various Construction Materials, Doctoral thesis, Clemson University, 2018.
- [18]. Mohammed Taleb Obaidat, Hashem R Al-Masaeid, Fouad Gharaybeh, and Taisir S Khedaywi, An innovative digital image analysis approach to quantify the percentage of voids in mineral aggregates of bituminous mixtures, Canadian Journal of Civil Engineering, 25 (1998) 1041-1049. <https://doi.org/10.1139/198-034>
- [19]. Recommendation ITU-R BT.601-7, Studio encoding parameters of digital television for standard 4:3 and wide-screen 16:9 aspect ratios, ITU – International Telecommunication Union, 03 (2011).