

# TÍNH NHIỆT CỦA ĐẦU ĐỐT THIẾT BỊ GIA NHIỆT HỒNG NGOẠI SỬ DỤNG TRONG SỬA CHỮA ĐƯỜNG BÊ TÔNG ASPHALT

Lê Hồng Chương<sup>a,\*</sup>, Tống Đức Năng<sup>a</sup>, Đỗ Văn Nhất<sup>a</sup>, Ngô Thanh Long<sup>a</sup>, Nguyễn Quốc Dũng<sup>a</sup>

<sup>a</sup>Khoa Cơ khí, Trường Đại học Xây dựng,  
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 27/05/2021, Sửa xong 07/06/2021, Chấp nhận đăng 11/06/2021

## Tóm tắt

Thiết bị gia nhiệt sửa chữa mặt đường bê tông asphalt theo phương pháp sửa chữa tái chế nóng tại chỗ (HIR) đang được áp dụng rộng rãi trên thế giới do có những ưu điểm như chất lượng miềng vá tốt, thời gian thi công nhanh, tiết kiệm vật liệu và bảo vệ môi trường. Tuy nhiên, ở Việt Nam chưa có thiết bị loại này để thực hiện phương pháp HIR. Bài báo giới thiệu phương pháp tính toán quá trình gia nhiệt bằng hồng ngoại dùng cho thiết bị gia nhiệt mặt đường, làm cơ sở cho thiết kế và chế tạo thiết bị này ở Việt Nam. Các kết quả thử nghiệm trên thực tế của thiết bị chế tạo có sự tương đồng với tính toán lý thuyết nên kết quả của nghiên cứu là đáng tin cậy và có tính khả thi cao.

*Từ khóa:* tái chế nóng tại chỗ; bê tông asphalt; nhiệt hồng ngoại; bức xạ; bước sóng.

## THERMAL CALCULATION OF AN INFRARED HEATER BURNERS USED IN ASPHALT PAVEMENT REPAIR

### Abstract

Infrared Asphalt Heater for repairing asphalt pavements by Hot In-place Recycling (HIR) repair method is being widely applied in the world due to its advantages such as being good patch quality, reducing repair time, saving materials and protecting the environment. However, the HIR method using infrared asphalt heater has not been applied in Vietnam yet. This paper presents a method to calculate the infrared heating process for an infrared asphalt heater. This is a vital factor in designing and manufacturing an infrared asphalt heater in Vietnam for the repair and maintenance of asphalt pavements. Research results are reliable due to the agreement between theoretical and experimental calculations.

*Keywords:* hot in-place recycling; asphalt pavement; infrared heat; radiation; wavelength.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2021-15\(3V\)-14](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2021-15(3V)-14) © 2021 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

## 1. Giới thiệu

Chi phí vật liệu làm đường ngày càng tăng nhanh và nhận thức về tác hại môi trường được nâng cao đã thúc đẩy các nhà nghiên cứu đưa ra các công nghệ làm đường thân thiện với môi trường và tiết kiệm hơn. Một trong những cách tiếp cận được áp dụng để giải quyết các vấn đề trên là tái chế các vật liệu được sử dụng trong thi công sửa chữa đường. Tái chế mặt đường làm giảm tiêu thụ vật liệu thô, do đó sẽ giảm chi phí và năng lượng liên quan đến việc thi công mặt đường. Hơn nữa, bằng cách tái chế, sẽ có thể tiết kiệm không gian bãi rác cần thiết để đổ vật liệu của những phần đường bị phá bỏ này.

\*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: [chuonglh@nuce.edu.vn](mailto:chuonglh@nuce.edu.vn) (Chương, L. H.)

Kể từ khi công nghệ tái chế vật liệu trong sửa chữa đường xuất hiện, ngành công nghiệp đã không ngừng tìm kiếm các giải pháp để cải thiện chất lượng của hỗn hợp tái chế và sử dụng tỷ lệ vật liệu từ bê tông nhựa đường tái sinh (RAP) cao hơn trong hỗn hợp nhựa đường. Hoa Kỳ hiện đang thu hồi 99% hỗn hợp bê tông nhựa từ mặt đường nhựa cũ bằng cách tái sử dụng vào sửa chữa và thi công mặt đường mới [1]. Các nghiên cứu gần đây đã xác định rằng việc thay thế RAP với tỷ lệ trên 50% là khả thi để tạo ra hỗn hợp bê tông nhựa nóng (HMA) mới, thu được kết quả khả quan về các tính chất cơ học [2–5]. Zaumanis và cs. [6] tuyên bố, “Tái chế 100% có thể mang lại tính bền vững thực sự bằng cách khép kín chu trình vật liệu và cho phép sử dụng nhựa đường tái chế trong thi công có chất lượng cao tương tự như nhựa đường thông thường”.

Ở Việt Nam, trong Quyết định số 1472/QĐ-BGTVT ngày 23/5/2017 [7] quy định các phương pháp sửa chữa tái chế nóng tại trạm trộn và tái sinh nguội tại chỗ. Tuy nhiên, công tác tái sinh này chỉ quy định cho sửa chữa lớn mặt đường bê tông nhựa mà chưa có quy định tái chế nóng tại chỗ cho công tác sửa chữa nhỏ. Trên thế giới, đa số các nước quy định phương pháp tái chế tại chỗ rất cụ thể, ví dụ như ở Mỹ theo Hướng dẫn tái chế đường cho chính quyền tiểu bang và địa phương của Hoa Kỳ [8] thì Hiệp hội Tái chế và Tái chế Nhựa đường (The Asphalt Recycling and Reclaiming Association – ARRA) xác định bốn loại phương pháp tái chế khác nhau: (1) tái chế nóng; (2) tái chế nóng tại chỗ; (3) tái chế lạnh tại chỗ; và (4) cải tạo toàn bộ mặt đường. Trong đó, tái chế nóng được thực hiện tại các trạm trộn, phương pháp (3) và (4) về cơ bản đều là tái chế nguội tại chỗ.

Trên thế giới có nhiều phương pháp tái sử dụng vật liệu làm đường có tính bền vững, giảm lượng khí thải carbon, ô nhiễm tiếng ồn, có khả năng tái chế, giảm thiểu chi phí, an toàn cho người và phương tiện giao thông. Phương pháp gia nhiệt hồng ngoại đáp ứng tất cả những vấn đề này, thậm chí là cho kết quả tốt trong điều kiện thời tiết lạnh [9] nên được áp dụng rộng rãi. Tuy nhiên, hiện nay ở Việt Nam việc sử dụng phương pháp gia nhiệt hồng ngoại trong sửa chữa tái chế nóng chưa được áp dụng.

Do bê tông nhựa là vật liệu đàn hồi – nhớt – chảy dẻo, nên khi nhiệt độ thấp, bê tông nhựa làm việc như một vật thể đàn hồi là chủ yếu, nhưng khi làm việc ở nhiệt độ cao, bê tông nhựa bị biến dạng nhớt là chủ yếu, còn biến dạng đàn hồi thì không đáng kể. Điều này rất thích hợp cho việc gia nhiệt bằng hồng ngoại để sửa chữa hư hỏng mặt đường. Sử dụng hồng ngoại để sửa chữa mặt đường có bảy ưu điểm nổi bật sau: (1) Yêu cầu ít thời gian hơn, (2) Chất lượng miềng vá tốt, (3) Cần ít thiết bị hơn, (4) Cần ít người hơn, (5) Thân thiện với môi trường, (6) Tiết kiệm thời gian và tiền bạc, (7) Ít bị gián đoạn giao thông hơn.

Như vậy có thể thấy sửa chữa đường bê tông asphalt theo phương pháp HIR bằng thiết bị gia nhiệt hồng ngoại là một cách mới hơn, tiết kiệm chi phí hơn để hoàn thành công việc một cách nhanh chóng. Phương pháp này đã được áp dụng rộng rãi ở nhiều nước trên thế giới nhưng chưa được ứng dụng ở Việt Nam. Bài báo giới thiệu một phương pháp tính toán nhiệt cho thiết bị gia nhiệt – thông số quan trọng để thiết kế, chế tạo một thiết bị ở Việt Nam.

## **2. Tái chế nóng tại chỗ và tổng quan nghiên cứu thiết bị gia nhiệt trong HIR**

### **2.1. Tái chế nóng tại chỗ (Hot In-place Recycling – HIR hay HIPR)**

HIR là một quá trình khắc phục các sự cố bề mặt trên mặt đường nhựa bằng cách làm nóng bề mặt đường và khắc phục sự cố khi mặt đường đang nóng. Các loại sự cố có thể được xử lý bằng quy trình này bao gồm hằn lún, nứt nẻ, nứt do nhiệt hoặc do tuổi tác và mặt đường trơn trượt hoặc ma sát thấp. HIR bắt đầu vào những năm 1930 với những chiếc máy bóc đường đầu tiên [10–12] tại Hoa Kỳ. Các thiết bị được sử dụng cho loại tái chế này đã được cải tiến với việc bổ sung các khả năng như xới

đường, trộn và bổ sung chất làm mới bitum và hỗn hợp bê tông nhựa mới. Hiện nay, theo tiêu chuẩn [13] HIR được mô tả là một phương pháp tại chỗ, nhằm cải tạo mặt đường nhựa đã xuống cấp và do đó giảm thiểu việc sử dụng vật liệu mới. (1) Về cơ bản, quy trình này bao gồm bốn bước:

- Làm mềm mặt đường nhựa bằng nhiệt;
- Quá trình bóc, xới hoặc loại bỏ cơ học của vật liệu bề mặt;
- Trộn vật liệu với chất tái chế, chất kết dính nhựa đường, hoặc hỗn hợp mới;
- Rải và lát hỗn hợp tái chế trên bề mặt đường.

Hiệp hội Tái chế và Cải tạo Nhựa đường (ARRA) Hoa Kỳ công nhận ba loại quy trình tái chế nóng tại chỗ cơ bản:

- Tái chế bề mặt (Surface recycling);
- Hoàn trả (Repaving);
- Phối lại (Remixing).

Ưu điểm của tái chế nóng tại chỗ là độ cao mặt đường được bảo toàn, tương đối kinh tế và cần ít kiểm soát giao thông hơn so với các kỹ thuật phục hồi khác. Quá trình này cũng có thể được sử dụng để bổ sung lại các cốt liệu đã bị tước khỏi bề mặt đường, tái thiết lập bề mặt đường và thoát nước, sửa đổi cấp phối cốt liệu và hàm lượng nhựa đường, đồng thời cải thiện khả năng chống ma sát bề mặt. Tái chế nóng tại chỗ thường được thực hiện ở độ sâu từ 20 mm đến 50 mm (3/4 đến 2 in), với 25 mm (1 in) là độ sâu điển hình.

## 2.2. Tổng quan nghiên cứu về thiết bị gia nhiệt trong HIR

Mục tiêu chính của việc sửa chữa vĩnh viễn hư hỏng nhỏ mặt đường là tạo ra chất lượng sửa chữa cao về (a) tuổi thọ của vết vá, (b) chi phí vá thấp, (c) thời gian gián đoạn giao thông, và (d) quy trình vá hiệu quả trong nhiều điều kiện thời tiết. Để đạt được những mục tiêu này, hệ thống gia nhiệt bằng tia hồng ngoại đã được sử dụng trong các hoạt động làm đường bê tông asphalt từ hơn bốn mươi năm qua.

Anderson và Thomas [14] đề cập rằng nhiệt hồng ngoại hoặc bức xạ thường được sử dụng để sửa chữa các lớp phủ, làm mịn và trộn các vết cắt tiện ích cũng như san bằng các bản vá cũ. Tuy nhiên, họ không khuyến nghị sử dụng nhiệt hồng ngoại để sửa chữa toàn diện. Blaha [15] đã chế tạo một máy vá tự động và sử dụng công nghệ hồng ngoại để làm nóng nhựa đường đến điểm mềm và đảm bảo độ kết dính cao giữa hỗn hợp đắp mới và mặt đường cũ. Tuy nhiên, một mô tả toàn diện về máy được đưa ra, quy trình của các thí nghiệm và nghiên cứu dòng nhiệt để xác định việc sử dụng hiệu quả của hệ thống gia nhiệt trong sửa chữa nhựa đường là không rõ ràng và được giải thích đại khái. Nghiên cứu đi đến kết luận về thời gian gia nhiệt 1 phút đối với điểm làm mềm nhựa đường trên bề mặt từ 71 °C đến 82 °C với bộ gia nhiệt được đặt ở công suất nhiệt rất lớn là 58 kW.

Các tác giả khác [16–19] đã sử dụng nhiệt hồng ngoại hoặc vi sóng để làm sạch nhựa đường hỏng hoặc làm nóng vật liệu lấp ổ gà. Mục đích của việc gia nhiệt sơ bộ là để đạt được độ kết dính cao giữa hỗn hợp nhựa đường đắp thêm và mặt đường cũ nguội. Trong các nghiên cứu này, chỉ đo nhiệt độ bề mặt của các sửa chữa đã hình thành. Các tác giả đề xuất một mô hình gia nhiệt và khoảng cách giữa đầu gia nhiệt và khu vực bị hỏng để làm mềm nhựa đường. Tuy nhiên, các tác giả không tính đến ảnh hưởng của các thông số sau trong sửa chữa bê tông nhựa nóng: điều kiện khí hậu, nhiệt độ mặt đường nhựa và các đặc tính nhiệt, độ già hóa của nhựa đường, hình dạng sửa chữa và nhiệt độ đầm trước của hỗn hợp đắp. Hơn nữa, sự tương tác giữa hỗn hợp nhựa đường và nhiệt hồng ngoại chỉ được nghiên cứu chủ yếu từ các quan sát tại chỗ trong các điều kiện khí hậu đa dạng, không phải từ các thử nghiệm có kiểm soát trong phòng thí nghiệm.

Thom [20] đề cập đến việc sử dụng nhiệt hồng ngoại để sửa chữa vết nứt. Đối với loại sửa chữa này, máy gia nhiệt được đặt phía trên khu vực bị hỏng, sau đó nhựa đường được làm nóng đến điểm mềm, được xới lên và trộn với HMA mới và cuối cùng được nén chặt. Tác giả đề cập đến hạn chế của hệ thống làm nóng nhựa đường ở độ sâu 20 - 30 mm (điều này có nghĩa là có thể xử lý hằn lún bề mặt, nứt từ trên xuống hoặc rạn nứt nhưng không xử lý sâu hơn) và việc gia nhiệt hiệu quả chủ yếu đạt được khi vật liệu nhựa đường hiện có là đồng nhất.

Huang, và cs. [21] và Williams [22] đã nghiên cứu việc sử dụng nhiệt hồng ngoại để giảm các hư hỏng liên kết dọc trên mặt đường nhựa. Sự cố này có thể xảy ra trong vòng một năm kể từ khi thi công mặt đường. Thiết bị gia nhiệt được thể hiện trên Hình 1. Kết quả cho thấy tại khu vực mối nối giữa hai làn đường, ổ lún đường được làm trước có khoảng trống không khí cao hơn làn đường thứ hai do trạng thái không nén chặt trong quá trình đầm nén. Nếu không có kỹ thuật nối nào được sử dụng thì khoảng trống không khí là cao nhất. Chất kết dính và chất bịt kín khớp không giúp làm giảm khoảng trống không khí trong khu vực khớp dọc. Tuy nhiên, việc sử dụng nhiệt hồng ngoại cho mỗi nối có độ đồng nhất cao hơn, giảm khoảng trống không khí nên giảm hệ số thấm dọc theo mối nối và cường độ kéo gián tiếp được tăng lên do đầm chặt tốt hơn.



(a) Gia nhiệt cho mỗi nối



(b) Bộ phận gia nhiệt

Hình 1. Máy gia nhiệt mối nối đường nhựa được sử dụng trong xử lý mối nối dọc  
(Heat Design Equipment, Inc.) [21, 22]

Uzarowski, và cs. [23] đã nghiên cứu việc sử dụng gia nhiệt bằng tia hồng ngoại trong sửa chữa đường nhựa bị nứt. Quá trình gia nhiệt bao gồm gia nhiệt cao và thấp cho khu vực bị nứt trong 3 đến 5 phút mỗi lần, với nhiệt độ cao được áp dụng trước. Các tác giả nhấn mạnh khu vực sửa chữa được làm nóng không lớn hơn 190 °C. Thời gian làm nóng được lưu ý là phụ thuộc vào điều kiện thời tiết, loại hỗn hợp bê tông nhựa, khu vực sửa chữa sạch (loại bỏ nước và các mảnh vụn) và nhiệt độ bắt đầu rải nhựa đường. Kết quả thu được cho thấy do đầm nén hiệu quả nên mật độ vật liệu đường thích hợp, không bị suy thoái và liên kết chặt chẽ giữa đường hiện có và vật liệu nhựa đường sửa chữa. Nghiên cứu kết luận rằng công nghệ sửa chữa bằng tia hồng ngoại hiệu quả, tiết kiệm chi phí và vết nứt được sửa chữa có thể hoạt động tốt trong 13 năm trở lên.

Freeman và Epps [18] đã sửa chữa 83 vết nứt dọc ở San Antonio, Texas bằng nhiệt hồng ngoại. Hệ thống gia nhiệt được áp dụng là thiết bị HeatWurx 45 kW, ở nhiệt độ thời tiết và mặt đường lần lượt là 15 °C - 21 °C và 19 °C - 30 °C. Hiệu quả của việc sửa chữa này được so sánh với phần đường ban đầu để kiểm tra mật độ lý thuyết lớn và tối đa, mô đun đàn hồi và thử nghiệm kéo gián tiếp. Tất

cả các vị trí được sửa chữa đã được thăm quan sau 5 và 12 tháng từ khi hoàn thành và cho thấy đa số các miếng vá hoạt động tốt và một số khác bắt đầu hỏng chủ yếu do xô đẩy. Tuy nhiên, cuộc điều tra cho thấy liên kết sửa chữa tốt cho việc vá ở điều kiện thời tiết lạnh.

Nazzal, Kim và Abbas [24] đã đánh giá các phương pháp vá ổ gà trong thời tiết mùa đông, trong đó có phương pháp vá bằng tia hồng ngoại. Thời lượng vá trung bình là 20 phút với 3 đến 10 phút được phân bổ để làm nóng sơ bộ. Người ta đề nghị, nên gia nhiệt trước mặt đường cũ cho đến khi nhiệt độ đạt từ 135 °C đến 190 °C. Hồng ngoại còn được sử dụng để gia nhiệt các mẫu thí nghiệm trong phòng thí nghiệm bê tông nhựa để thực hiện các thí nghiệm như trong [25].

### 3. Truyền nhiệt hồng ngoại trên mặt đường bê tông asphalt

Hình 2 mô tả các bước cơ bản của quá trình sửa chữa HIR sử dụng thiết bị gia nhiệt hồng ngoại [26]. Sự truyền bức xạ điển hình là bởi các sóng điện từ được xác định bởi bước sóng và tần số của chúng được phân loại bởi phổ điện từ. Phần hồng ngoại của quang phổ là từ 0,7  $\mu\text{m}$  (bằng  $7e^{-7}$  m) đến 103  $\mu\text{m}$  (bằng  $1e^{-3}$  m). Năng lượng được truyền bởi lò sưởi hồng ngoại tỷ lệ với nhiệt độ của nó. Nhiệt độ càng cao, bước sóng càng ngắn và lượng năng lượng bức xạ càng lớn [26].

Khi năng lượng bức xạ truyền của đầu gia nhiệt chạm vào bề mặt nhựa đường, thì quá trình truyền nhiệt bằng tia hồng ngoại xảy ra. Một phần bức xạ này bị hấp thụ và làm tăng nhiệt độ của hỗn hợp nhựa đường bằng cách dẫn nhiệt, trong khi các phần khác được truyền hoặc phản xạ trở lại khu vực xung quanh [26]. Do đó, trong mối quan hệ hiệu quả nhiệt hồng ngoại-lò sưởi-nhựa đường, hiệu quả của việc phát năng lượng bức xạ của lò sưởi (liên quan đến độ phát xạ của lò sưởi ( $\epsilon$ )), phần trăm năng lượng bức xạ truyền của lò sưởi chạm vào nhựa đường (liên quan đến hệ số quan sát ( $F$ )) và lượng năng lượng này được nhựa đường hấp thụ (liên quan đến độ phát xạ của nhựa đường ( $\epsilon$ )) chiếm ưu thế.

Các thông số khác để thêm vào mối quan hệ này là các đặc tính nhiệt lý của hỗn hợp bê tông nhựa. Các đặc tính này ảnh hưởng đến sự truyền và lưu nhiệt bên trong mặt đường do năng lượng bức xạ hấp thụ của ứng dụng nhiệt bức xạ trên bề mặt mặt đường. Có hai loại đặc tính riêng biệt: đặc tính vận chuyển và nhiệt động lực học. Các đặc tính vận chuyển liên quan đến truyền năng lượng qua nhựa đường và là độ hấp thụ ( $a$ ), độ phát xạ ( $e$ ) và độ dẫn nhiệt ( $k$ ). Các đặc tính nhiệt động học liên quan đến trạng thái cân bằng của hỗn hợp nhựa đường và là khối lượng riêng ( $q$ ) và nhiệt dung riêng ( $c_p$ ) [27].

Độ dẫn nhiệt của nhựa đường bị ảnh hưởng bởi loại hỗn hợp, loại cốt liệu [26], cấp phối cốt liệu [28], mật độ hỗn hợp [29], nhiệt độ hỗn hợp [30] và sự hiện diện của độ ẩm trong hỗn hợp [28, 31]. Ví dụ, các tác giả [31] phát hiện ra rằng khi mật độ tăng thì độ dẫn nhiệt cũng có thể tăng do khoảng trống của không khí trong hỗn hợp giảm, ngoài ra điều kiện độ ẩm và đóng băng cũng có thể làm tăng độ dẫn nhiệt của nhựa đường như công thức (1) [1], trong đó:  $c_p$  là nhiệt dung riêng, J/(kg.°K);  $\rho$  là khối lượng riêng của vật liệu, kg/m<sup>3</sup>,  $V$  là thể tích của từng thành phần (hỗn hợp vật liệu, bitum, độ ẩm, không khí), m<sup>3</sup>;  $V_t$  là tổng thể tích của bê tông nhựa, m<sup>3</sup>. Trong phương trình này, độ ẩm được coi là cả nước lỏng và nước đóng băng:

$$c_p \rho = \frac{(c_p \rho V)_{\text{aggregate}} + (c_p \rho V)_{\text{bitum}} + (c_p \rho V)_{\text{moisture}} + (c_p \rho V)_{\text{air}}}{V_t} \quad (1)$$

Tuy nhiên, độ dẫn nhiệt của nhựa đường có thể giảm ở nhiệt độ cao hơn 25 °C theo báo cáo [29]. Nhiệt dung riêng và độ khuếch tán nhiệt đều bị ảnh hưởng bởi mức độ dẫn nhiệt. Hassn, và cs. [32]





(a) Làm sạch phần hư hỏng



(b) Bật thiết bị gia nhiệt hồng ngoại



(c) Gia nhiệt



(d) Xối tơi bê tông nhựa cũ



(e) Tưới chất làm mới nhựa đường



(f) Bổ sung HMA mới



(g) Trộn đều hỗn hợp bê tông nhựa cũ và mới



(h) Lu lèn làm phẳng

Hình 2. Các bước cơ bản quá trình sửa chữa HIR sử dụng hồng ngoại [26]

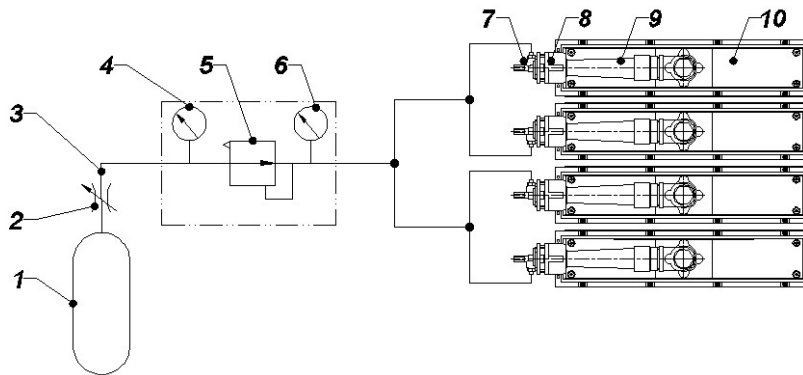
nhận thấy rằng khi khoảng trống không khí tăng lên và độ dẫn nhiệt giảm thì nhiệt dung riêng và độ khuếch tán nhiệt cũng giảm theo. Điều này chỉ ra trong công thức xác định độ khuếch tán nhiệt ( $\beta$ ):

$$\beta = \frac{k}{\rho c_p}, \text{ với } k \text{ là độ dẫn nhiệt của vật liệu, W/m.}^\circ\text{K} \quad (2)$$

#### 4. Mô hình nghiên cứu thiết bị gia nhiệt

##### 4.1. Mô hình lý thuyết

Trong nghiên cứu này, với mục đích nghiên cứu mô hình thiết bị gia nhiệt cho sửa chữa các hư hỏng nhỏ mặt đường bê tông asphalt (ổ gà, nứt, bong tróc, ...) theo phương pháp HIR ở Việt Nam. Một mô hình thiết bị gia nhiệt được thiết lập có sơ đồ như Hình 3. Trong đó sử dụng khí gas đốt cháy để nung nóng gốm ceramic đến nhiệt độ phát tia hồng ngoại. Khí gas từ bình gas (1) đến đầu phun (7) được phun vào buồng hòa trộn (9) và hòa trộn với không khí được lấy từ cửa (8). Hỗn hợp khí được dẫn trong buồng (9) để vào buồng đốt (10), tại đây hỗn hợp khí được đốt cháy để làm nóng gốm đến nhiệt độ phát tia hồng ngoại. Tia hồng ngoại từ bề mặt gốm của đầu gia nhiệt truyền đến bề mặt đường cần sửa chữa, xuyên thấu vào sâu bên trong lớp bề mặt đường và làm nóng đến nhiệt độ hóa lỏng bitum để bề mặt đường mềm ra để thi công.



1- Bình gas; 2- Van tiết lưu có điều chỉnh; 3- Ống dẫn khí; 4- Đồng hồ đo áp suất khí đầu ra của bình gas; 5- Van điều chỉnh áp suất (van an toàn); 6- Đồng hồ đo áp suất khí gas cấp cho buồng gia nhiệt; 7- Đầu phun khí gas; 8- Cửa lấy không khí; 9- Buồng hòa trộn hỗn hợp khí cháy (gas kết hợp không khí bên ngoài môi trường, có thể điều chỉnh được) và dẫn hỗn hợp khí cháy cho buồng gia nhiệt; 10- Buồng đốt

Hình 3. Sơ đồ tổng thể thiết bị gia nhiệt

\* Các thông số đầu vào cho việc tính toán nhiệt:

- Nhiệt độ đường ban đầu và cuối cùng: theo các nghiên cứu khoa học ở mục 2, 3 và dựa vào TCVN 8819-2011 [7], nhiệt độ mặt đường bê tông asphalt tính toán lấy bằng nhiệt độ ban đầu 25 °C; nhiệt độ sau khi gia nhiệt: 165 °C.

- Thời gian gia nhiệt: từ 5 – 10 phút.

- Nhiệt dung riêng của đường bê tông asphalt: thường lấy bằng 900 J/(kg.K) [33].

- Trọng lượng riêng của đường bê tông asphalt: 2350 kg/m<sup>3</sup> - 2500 kg/m<sup>3</sup>.

- Kích thước vật liệu: kích thước này được xác định theo mô đun của thiết bị là 600×600 mm.

- Quang phổ hấp thụ của bê tông asphalt: 80 – 88% [34].
- Khoảng cách làm nóng vật liệu: 50 – 57 mm.
- Không gian từ mặt thiết bị đến mặt đường được che kín. Việc che kín này giúp cho quá trình gia nhiệt không chịu ảnh hưởng của gió và hạn chế ảnh hưởng của độ ẩm không khí môi trường xung quanh.

\* *Xác định công suất cần thiết:*

Phương trình truyền nhiệt xác định công suất nhiệt cung cấp cho vật liệu hấp thụ, được tính theo công thức [30] chuyển đổi sang hệ SI:

$$N = \frac{\rho \gamma \Delta T}{t} \left( \text{W/m}^2 \right) \quad (3)$$

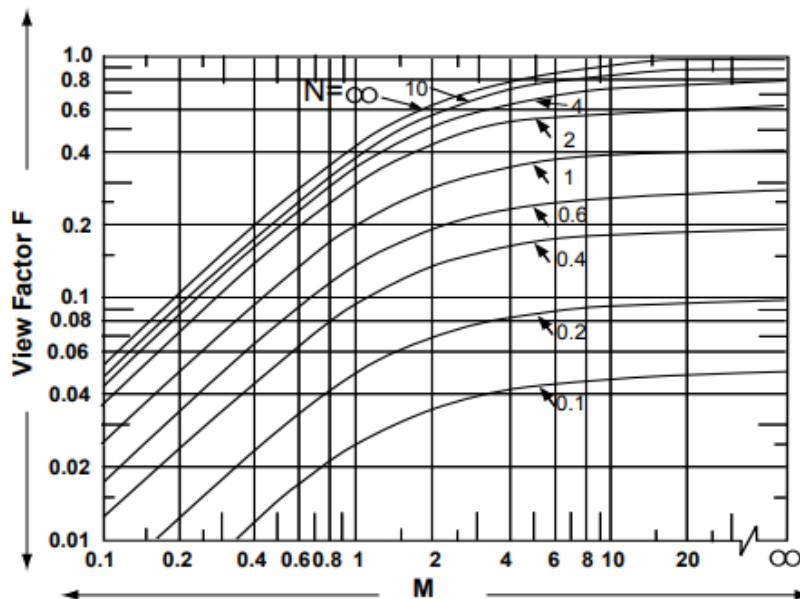
trong đó:  $\rho$  là trọng lượng/m<sup>2</sup>;  $\gamma$  là nhiệt dung riêng, J/(kg.°C);  $\Delta T$  là khoảng thay đổi nhiệt độ, °C;  $t$  là thời gian tác động nhiệt, giờ.

\* *Tính toán công suất cho thiết bị:*

Phương trình truyền nhiệt bức xạ Stefan-Boltzman:

$$N_{\Sigma} = S \left( T_h^4 - T_p^4 \right) EF \left( \text{W/m}^2 \right) \quad (4)$$

trong đó  $N_{\Sigma}$  là tổng công suất được mặt đường hấp thụ, W/m<sup>2</sup>;  $S$  là hằng số Stefan-Boltzman,  $S = 5,670367(13) \times 10^{-8} \text{ W/(m}^2 \cdot \text{K}^4)$ ;  $T_h$  là nhiệt độ thiết bị gia nhiệt, °K ( $1^{\circ}\text{C} = 1^{\circ}\text{C} + 273,15 = 274,15^{\circ}\text{K}$ );  $T_p$  là nhiệt độ mặt đường, °K;  $F$  là hệ số View, thể hiện mối quan hệ hình học giữa kích



Hình 4. Hệ số View [30]



thước thiết bị gia nhiệt (lò sưởi) và sản phẩm với khoảng cách giữa chúng. Hệ số  $F$  được thể hiện trong Hình 4. Với:

$$M = \frac{\text{Chiều rộng thiết bị}}{\text{Khoảng cách đến mặt đường}} \quad (5)$$

$$N = \frac{\text{Chiều dài thiết bị}}{\text{Khoảng cách đến mặt đường}}$$

$E$  là mức phát xạ hiệu quả, khi thiết bị và mặt đường đặt song song:

$$E = \frac{1}{\frac{1}{Eh} + \frac{1}{Ep} - 1} \quad (6)$$

trong đó  $Eh$  là mức phát xạ của thiết bị gia nhiệt, lấy  $Eh = 0,85$ ;  $Ep$  là mức phát xạ của mặt đường, giả thiết là vật xám (gray body)  $Ep = 0,7$ .

Vậy, nếu tất cả các biến có thể được xác định và được đưa vào phương trình truyền nhiệt bức xạ thì có thể tính được công suất ( $\text{W/m}^2$ ) mà mặt đường hấp thụ. Hoặc nếu biết được yêu cầu năng lượng ( $\text{W/m}^2$ ) của của mặt đường thì phương trình có thể được sử dụng để xác định nhiệt độ thiết bị gia nhiệt cần thiết.

Thay các số liệu đầu vào ta được:

- Công suất cần thiết để làm nóng mặt đường theo yêu cầu:  $N \cong 416 \text{ W/m}^2$ .
- Nhiệt độ cần thiết của thiết bị gia nhiệt là  $470,150^\circ\text{K} = 197,78^\circ\text{C}$ . Vậy, nhiệt độ phát xạ hồng ngoại cần thiết của đầu gia nhiệt để nhiệt độ mặt đường đạt  $165^\circ\text{C}$  là khoảng  $200^\circ\text{C}$ .
- Công suất cần thiết để thiết bị gia nhiệt ở nhiệt độ  $Th = 197,78^\circ\text{C}$  được tính theo (4) và điều kiện đầu bài là:  $N_{ct} = (60/t)N/(EF) = 8390,1 \text{ W/h} = 7214,18 \text{ Kcal/h}$ .
- Với nhiệt lượng có ích của khí gas khoảng  $11000 \text{ Kcal/kg}$  thì lượng tiêu thụ khí gas là:  $7214,18/11000 \cong 0,656 \text{ kg/h}$ .

#### 4.2. Mô hình thực nghiệm



Hình 5. Thiết bị được chế tạo để kiểm chứng tính toán lý thuyết

Một mô hình thiết bị thực nghiệm được chế tạo như Hình 5 để so sánh kết quả tính toán với thực tế thực nghiệm trong phòng thí nghiệm. Thiết bị có kích thước hệ gia nhiệt  $60 \times 60 \text{ cm}$ , sử dụng khí gas

làm nhiên liệu đốt cháy, các tấm gốm sử dụng để phát hồng ngoại là gốm dùng cho bếp công nghiệp có cấu tạo với 1200 lỗ li ti, ngọn lửa phát ra tia hồng ngoại, vòng lửa đều, chịu nhiệt độ cao 1500 °C.

Hệ gia nhiệt gồm bốn đầu đốt giống hệt nhau, khi làm việc được đặt cách mặt đường 5 cm, khu vực gia nhiệt giữa thiết bị và mặt đường được che kín. Nhiệt độ gia nhiệt được đo bằng đồng hồ như Hình 6(a). Áp suất khí vào buồng đốt của đầu gia nhiệt đặt ở 0,03 Mpa để đạt được nhiệt độ phát xạ hồng ngoại của gốm là 200 °C. Nhiệt độ phòng thí nghiệm là 25 °C như Hình 6(a), thời gian gia nhiệt trong vòng 5 phút.

Sau thời gian gia nhiệt, mặt đường sẽ được đo nhiệt độ tại vị trí tâm của diện tích gia nhiệt. Kết quả chỉ như Hình 6(b) cho thấy nhiệt độ mặt đường đạt 160 °C. Kết quả này rất sát với tính toán theo lý thuyết.



(a) Nhiệt độ môi trường trước thí nghiệm



(b) Nhiệt độ mặt đường sau gia nhiệt

Hình 6. Đo nhiệt độ trước và sau thí nghiệm

## 5. Kết luận

Bài báo đã trình bày sự cần thiết của việc sử dụng thiết bị gia nhiệt trong sửa chữa, bảo dưỡng đường bê tông nhựa ở Việt Nam bằng phương pháp tái chế nóng tại chỗ (HIR) nhằm đạt chất sửa chữa tốt, giảm chi phí, thời gian thi công và bảo vệ môi trường. Nghiên cứu này phương pháp tính nhiệt cho một thiết bị gia nhiệt và kiểm chứng kết quả bằng thực nghiệm với một ví dụ cụ thể. Kết quả thử nghiệm cũng cho thấy có sự phù hợp giữa các kết quả tính toán lý thuyết và thực nghiệm. Đây là những nghiên cứu bước đầu cho thấy, kết quả tính toán là đáng tin cậy và có thể áp dụng để thiết kế, chế tạo loại thiết bị gia nhiệt phục vụ sửa chữa các hư hỏng nhỏ ở Việt Nam theo phương pháp HIR.

## Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giao thông Vận tải cho đề tài “Nghiên cứu chế tạo và thử nghiệm thiết bị sửa chữa nhỏ đường bê tông asphalt bằng phương pháp gia nhiệt”, mã số DT203066. Nhóm tác giả cũng xin gửi lời cảm ơn đến trường Đại học Xây dựng đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.

## Tài liệu tham khảo

- [1] Brett T C, R., Williams, A., Copeland, A. (2018). *Asphalt Pavement Industry Survey on Recycled Materials and Warm-Mix Asphalt Usage 2017*. Natl. Asph. Pavement Assoc., vol. 8th Annual.
- [2] Zaubanis, M., Cavalli, M. C., Poulikakos, L. D. (2019). [How not to design 100% recycled asphalt mixture using performance-based tests](#). *Road Materials and Pavement Design*, 21(6):1634–1646.
- [3] Mogawer, W. S., Austerman, A., Roque, R., Underwood, S., Mohammad, L., Zou, J. (2015). [Ageing and rejuvenators: evaluating their impact on high RAP mixtures fatigue cracking characteristics using advanced mechanistic models and testing methods](#). *Road Materials and Pavement Design*, 16:1–28.
- [4] del Barco Carrión, A. J., Presti, D. L., Airey, G. D. (2015). [Binder design of high RAP content hot and warm asphalt mixture wearing courses](#). *Road Materials and Pavement Design*, 16:460–474.
- [5] Tran, N., Taylor, A., Turner, P., Holmes, C., Porot, L. (2016). [Effect of rejuvenator on performance characteristics of high RAP mixture](#). *Road Materials and Pavement Design*, 18:183–208.
- [6] Zaubanis, M., Mallick, R. B., Frank, R. (2014). [100% recycled hot mix asphalt: A review and analysis](#). *Resources, Conservation and Recycling*, 92:230–245.
- [7] TCVN 8819:2011. *Mặt đường bê tông nhựa nóng - Yêu cầu thi công và nghiệm thu*. Bộ Giao thông Vận tải.
- [8] Participant's Reference Book (1997). [Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments](#).  
[9] <https://www.maininfrastructure.com/blog/infrared-asphalt-patching-toronto/>.
- [10] Dinnen, A. (1981). Recycling-A Summary of Current Methods. *Shell Bitumen Review*, (59).
- [11] Epps, J. A. (1980). State-of-the-Art Cold Recycling. *Proceeding of the National Seminar on Asphalt Pavement Recycling*, Transportation Research Board, 780:68–100.
- [12] Servas, V. P. (1981). Hot Surface Recycling. *Highway Engineer*, 28(12):8–13.
- [13] Kandhal, P. S., Mallick, R. B. (1997). *Pavement Recycling Guidelines for State and Local Governments - Participant's Reference Book*. Publication FHWA-SA-98-042. National Center for Asphalt Technology, Auburn, AL, USA.
- [14] Anderson, D. A., Thomas H., R. (1984). [Pothole Repair in Pennsylvania](#).
- [15] R, B. (1993). *Fabrication and Testing of Automated Pothole Patching Machine (No. SHRP-H-674)*. Washington, D.C. Strategic Highway Research Program, National Research Council.
- [16] Clyne, T. R., Johnson, E. N., Worel, B. J. (2010). *Use of taconite aggregates in pavement applications (No. MN/RC-2010-24)*. Minnesota Department of Transportation, Saint Paul, MN, USA.
- [17] Uzarowski, L., Henderson, V., Henderson, M., Kiesswetter, B. (2011). Innovative infrared crack repair method. *Conference and Exhibition of the Transportation Association of Canada. Transportation successes: Let's build on them*Conference and Exhibition of the Transportation Association of Canada. *Transportation successes: Let's build on them*.
- [18] Freeman, T. J., Epps, J. A. (2012). *HeatWurx Patching at Two Locations in San Antonio (No. FHWA/TX-12/5-9043-01-1)*. Texas Transportation Institute, FHWA, Texas Department of Transportation, Austin.
- [19] Leininger, C. W. (2015). [Optimization of the infrared asphalt repair process](#). Master's Thesis, University of Maryland.
- [20] Thom, N. (2008). *Principles of Pavement Engineering*. Thomas Telford Ltd.
- [21] Huang, B., Shu, X., Chen, J., Woods, M. (2010). [Evaluation of Longitudinal Joint Construction Techniques for Asphalt Pavements in Tennessee](#). *Journal of Materials in Civil Engineering*, 22(11):1112–1121.
- [22] Williams, S. G. (2011). *HMA longitudinal joint evaluation and construction*. TRC-0801 Final Report, AR, University of Arkansas.
- [23] Uzarowski, L., Henderson, V., Henderson, M., Kiesswetter, B. (2011). Innovative infrared crack repair method. *Proceedings of Congress et Exhibition de l'Association des Transports du Canada*.
- [24] Nazzal, M. D., Kim, S.-S., Abbas, A. R. (2014). *Evaluation of winter pothole patching methods*. Columbus: FHWA, Ohio Department of Transportation (Publication FHWA/OH- 2014/2).
- [25] Chuong, L. H., Trang, U. Q., Lam, N. (2019). [Asphalt concrete testing device: Studying and designing based on the properties of asphalt concrete](#). *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (STCE) - NUCE*, 13(1):60–65.

- [26] Bergman, T. L., Incropera, F. P., DeWitt, D. P., Lavine, A. S. (2011). *Fundamentals of heat and mass transfer*. 7th edition, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- [27] Modest, M. F. (2013). [Inverse Radiative Heat Transfer](#). *Radiative Heat Transfer*, Elsevier, 779–802.
- [28] Andersland, O. B., Ladanyi, B. (2003). *Frozen ground engineering*. 2nd edition, John Wiley & Sons, Hoboken, New Jersey.
- [29] Chadbourn, B. A., Luoma, J. A., Newcomb, D. E., Voller, V. R. Consideration of Hot Mix Asphalt Thermal Properties During Compaction. *Quality Management of Hot Mix Asphalt*, ASTM International, 127–127–15.
- [30] Watlow Electric Manufacturing Company (1997). *Radiant Heating with Infrared*.
- [31] Mirzanamadi, R., Johansson, P., Grammatikos, S. A. (2018). [Thermal properties of asphalt concrete: A numerical and experimental study](#). *Construction and Building Materials*, 158:774–785.
- [32] Hassn, A., Aboufoul, M., Wu, Y., Dawson, A., Garcia, A. (2016). [Effect of air voids content on thermal properties of asphalt mixtures](#). *Construction and Building Materials*, 115:327–335.
- [33] United States Department of Transportation. [Pavement Thermal Performance and Contribution to Urban and Global Climate](#). Truy cập ngày 15/5/2021.
- [34] Mei, A., Fiore, N., Salvatori, R., D’Andrea, A., Fontana, M. (2012). [Spectroradiometric Laboratory Measures on Asphalt Concrete: Preliminary Results](#). *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 53:514–523.