

SỰ CẦN THIẾT CỦA THIẾT KẾ MẶT ĐƯỜNG MỀM THEO ĐIỀU KIỆN PHÂN VÙNG KHÍ HẬU: ĐỀ XUẤT CHO VIỆT NAM

ThS. HOÀNG THANH THUÝ

Email: hoangthanhthuy0810@utc.edu.vn; Điện thoại: +84(0)989619305

PGS.TS. HỒ ANH CƯƠNG

Email: hoanhuong@utc.edu.vn; Điện thoại: +84(0)913249714

Bộ môn Công trình Giao thông Công chính và Môi trường, Khoa Công trình, Trường Đại học Giao thông Vận tải, Số 03 Cầu Giấy, Hà Nội

Phản biện: TS. Lê Xuân Quý

PGS.TS. Nguyễn Xuân Phúc

TÓM TẮT:

Việt Nam là một trong những quốc gia có lãnh thổ kéo dài trên nhiều vĩ độ nên khí hậu thay đổi theo các vùng địa lý trong khi sự làm việc của kết cấu mặt đường mềm phụ thuộc đáng kể vào điều kiện môi trường. Vì vậy, thiết kế mặt đường nói chung và mặt đường mềm nói riêng theo điều kiện phân vùng khí hậu, đặc biệt với các tuyến đường cao tốc chịu tải trọng nặng và lưu lượng xe lớn nhằm đảm bảo nguyên tắc kinh tế - kỹ thuật - môi trường trong việc thực hiện các dự án xây dựng công trình giao thông. Thông qua phương pháp nghiên cứu tài liệu và phân tích bằng kiến thức và kinh nghiệm chuyên môn, các tác giả đã giới thiệu bức tranh tổng thể về một số phương pháp thiết kế mặt đường mềm có xét đến yếu tố khí hậu trên thế giới để từ đó đưa ra khuyến nghị cho Việt Nam.

Từ khóa: kết cấu mặt đường, thiết kế, khu vực khí hậu

ABSTRACT:

Vietnam is one of nations having its territory located along numerous latitudes. Thus, Vietnam's climate is various in different geographical areas while flexible pavement performance is remarkably dependent on environmental conditions. Therefore, pavement design in general and flexible pavement design in particular should be carried out under Vietnam's climatic zones, especially for freeways and expressways being suffered from heavy loads and high traffic volumes. This is aimed at strictly implementing economic - engineering - environmental principles in transport construction projects. Via literature review and analyses by applying their specialized knowledge and experience, the authors have introduced a general overview of some flexible pavement design methods accompanied with consideration of climatic factors in the world in order to create a proposal for Vietnam.

Keywords: pavement structure, design, climatic region

1. DẶT VẤN ĐỀ

Tầm quan trọng của công trình mặt đường không chỉ thể hiện ở việc mang lại các lợi ích thực dụng và đảm bảo các chức năng cho người sử dụng mà còn là tài sản cốt yếu của hệ thống giao thông vận tải cũng như hợp phần cơ bản tạo nên vai trò của hệ thống xã hội [17]. Do đó, công trình mặt đường được coi là tài sản quan trọng nhất trong cơ sở hạ tầng giao thông đường bộ [11]. Thiết kế mặt đường được định nghĩa là công tác xác định chiều dày của mặt đường trong một môi trường cụ thể (các điều kiện tự nhiên) để có được một bề mặt đáp ứng điều kiện xe chạy cho một tập hợp đã cho về các điều kiện bên ngoài [20]. Trong đó, khí

hậu ảnh hưởng đến tốc độ xuống cấp của mặt đường nên cũng sẽ ảnh hưởng đến công tác bảo trì và chi phí vòng đời của mặt đường dẫn đến việc khí hậu sẽ là các yếu tố cơ bản ảnh hưởng đến thiết kế và bảo trì mặt đường [11].

Khí hậu có ảnh hưởng chủ yếu đến sự làm việc dài hạn của mặt đường. Các yếu tố khí hậu bao gồm lượng mưa, nhiệt độ và chu trình đóng - tan băng [26]. Các yếu tố khí hậu ảnh hưởng đến tất cả các lớp trong kết cấu mặt đường. Các đặc tính của mặt đường có nhựa phụ thuộc vào nhiệt độ: Ở nhiệt độ thấp, các lớp mặt có nhựa trở nên cứng và giòn; ở nhiệt độ cao, trở nên ít đàn hồi hơn nhưng lại nhớt hơn [15]. Khi nhiệt độ tiếp tục tăng, các lớp

có nhựa càng ít có khả năng đàn hồi, độ nhớt càng tăng và mô đun bị suy giảm đáng kể. Kết quả là kết cấu mặt đường không còn đủ khả năng chịu tải một cách hiệu quả như khi làm việc ở nhiệt độ thấp hơn. Ở nhiệt độ cao, các lớp mặt có nhựa dễ bị hằn lún nhưng ở nhiệt độ rất thấp, các lớp này lại dễ xảy ra hiện tượng nứt nhiệt. Ứng xử của các lớp mặt đường không có chất kết dính bị ảnh hưởng bởi sự dao động nhiệt độ và độ ẩm. Khi độ ẩm tăng lên sẽ làm cho độ cứng của nền đất giảm xuống. Khi nhiệt độ các lớp móng đường hạ thấp xuống dưới nhiệt độ đóng băng, hơi nước trong các lớp mặt đường không có chất kết dính sẽ ngưng tụ thành các thấu kính băng dính

kết các hạt vật liệu với nhau làm cho cường độ và độ cứng của các lớp mặt đường không chất dính kết và nền đất tăng lên. Nhưng khi tan băng, độ ẩm trong đất tăng lên làm cho sức chịu của toàn bộ kết cấu mặt đường suy yếu [14].

Khí hậu được định nghĩa là điều kiện thời tiết thông thường thể hiện qua nhiệt độ, lượng mưa, áp suất gió và độ ẩm của một khu vực cụ thể [25]. Khí hậu Việt Nam có đặc điểm gắn liền với điều kiện địa lý với đặc điểm vĩ độ thấp và bờ đông lục địa quyết định bản chất và loại hình khí hậu và hình thái cũng như địa hình đóng vai trò quan trọng trong sự phân bố khí hậu và phân hoá khí hậu theo không gian. Đặc điểm khí hậu Việt Nam còn có thể được nhìn nhận thông qua đặc điểm khí hậu các miền và các vùng. Cơ chế gió mùa, sự kéo dài lãnh thổ trên nhiều vĩ độ, sự sắp xếp các hệ thống núi và các điều kiện địa lý khác tạo nên sự phân hoá khí hậu sâu sắc theo không gian. Kết quả là trên lãnh thổ Việt Nam hình thành 2 miền khí hậu (Bắc và Nam) và 7 vùng khí hậu (Tây Bắc, Việt Bắc - Đông Bắc, đồng bằng Bắc bộ, Bắc trung bộ, Nam trung bộ, Tây Nguyên và Nam Bộ - Thuận Hải) có đặc điểm riêng [16]. Do vậy, để đảm bảo độ bền của kết cấu mặt đường mềm, cần xem xét ảnh hưởng của các đặc điểm vùng khí hậu trong quá trình thiết kế nhằm kéo dài thời gian phục vụ và tăng cường tính chất bền vững của kết cấu mặt đường [11].

2. MỘT SỐ PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ MẶT ĐƯỜNG MỀM CÓ XÉT ĐẾN YẾU TỐ KHÍ HẬU

2.1. Phương pháp của Ủy ban Đường cao tốc Bang Kansas của Mỹ năm 1947 [23]

Để xét đến lượng mưa trung bình năm, Ủy ban Đường Cao tốc Bang Kansas (Hoa Kỳ) đã đưa vào hệ số bảo hoà đất khi xác định chiều dày mặt đường yêu cầu:

$$T = \left[\sqrt{\left(\frac{3Pmn}{2\pi CS} \right)^2 - a^2} \right] \left(\sqrt[3]{\frac{C}{C_p}} \right) \quad (1)$$

trong đó T là chiều dày mặt đường yêu cầu (inch), C_p là mô đun của mặt đường hoặc tầng mặt (psi), C là mô đun biến dạng của móng dưới hoặc nền đất (psi), p là tải trọng bánh xe tác dụng lên lớp móng (lbs), a là bán kính diện tích tiếp xúc giữa lốp xe và mặt đường (inch), S là độ võng cho phép của mặt đường (inch), m là hệ số tải trọng dựa trên lưu lượng xe, và n là hệ số bảo hoà dựa trên lượng mưa

2.2. Các phương pháp thực nghiệm của AASHTO

AASHTO 1961 đã xem xét hệ số điều chỉnh theo vùng do ảnh hưởng của khí hậu xuất phát từ việc nhận thấy rằng điều kiện khí hậu và điều kiện đất nền từ các thí nghiệm được thực hiện với các mẫu thu được tại một địa điểm cụ thể chỉ có giá trị đối với địa điểm đó. Hệ số vùng biến thiên trong khoảng từ 0,5 đến 5,0 phụ thuộc vào trạng thái của đất nền là đóng băng, khô hoặc bão hòa. Cách tiếp cận này xem xét các thay đổi về khí hậu đối với đất nền thông qua khả năng chịu tải của đất nền và hệ số vùng. Tuy nhiên, phương pháp này chỉ sử dụng một giá trị duy nhất để xét đến yếu tố khí hậu khi xác định chiều dày các lớp kết cấu nên chưa xem xét được sự biến thiên theo mùa. [1]

AASHTO 1986 đã cho rằng môi trường có thể ảnh hưởng đến sự làm việc của mặt đường theo những cách khác nhau. AASHTO đã đưa ra “Mô đun đàn hồi có hiệu” của đất nền. Mục đích của việc xác định mô đun theo mùa là để định lượng các hư hỏng liên quan mà mặt đường phải chịu trong mỗi mùa khác nhau của năm. Đồng thời, AASHTO cũng đưa ra “Hệ số thoát nước” (m) do khả năng thoát nước của mặt đường là một vấn đề quan trọng cần xem xét trong thiết kế mặt đường. Khi mặt đường bị ngập nước, cụ thể là với các lớp vật liệu hạt, cùng với tác dụng

của tải trọng xe, sẽ xuất hiện hiện tượng hư hỏng sớm trong kết cấu mặt đường. Các hệ số thoát nước có giá trị nhỏ hơn, bằng hoặc lớn hơn 1 phụ thuộc vào chất lượng thấm nước của các lớp (xuất sắc, tốt, khá, kém đến rất kém) và tỷ lệ thời gian mà kết cấu mặt đường chịu ẩm tiến tới bão hoà. [2]

AASHTO 1993 là một quy trình thiết kế mặt đường mang tính thực nghiệm với các tham số đầu vào được liên hệ trực tiếp với mức độ phục vụ. Quy trình AASHTO 1993 được xây dựng dựa trên dữ liệu thí nghiệm tại một địa điểm duy nhất, do đó không thể phản ánh đầy đủ các ảnh hưởng của khí hậu tại những khu vực có điều kiện khí hậu khác biệt. Quy trình này chỉ xem xét hai tham số môi trường là khả năng thoát nước và sự biến thiên theo mùa của khả năng chịu lực của đất nền. Mặc dù đây là hai yếu tố quan trọng nhưng việc mới chỉ được xem xét riêng lẻ nên chưa đáp ứng yêu cầu mô tả đầy đủ tác động của khí hậu đến khả năng làm việc của kết cấu mặt đường.

2.3. Phương pháp của Viện Nhựa đường Hoa Kỳ

Năm 1970, Viện Nhựa đường Hoa Kỳ đã đưa ra phương pháp “MS-01” khi cho rằng các điều kiện môi trường ảnh hưởng bất lợi đến các đặc điểm chịu lực của các vật liệu nền móng. Ba chỉ số tới hạn chính có ảnh hưởng đến các đặc điểm chịu lực là độ ẩm, sự trương nở của đất và hiện tượng đóng băng. Các chỉ số này có thể được biểu diễn bằng chỉ số năng lực chịu tải CBR và giá trị sức kháng R. Giá trị thiết kế của nền đất là 90% của tất cả các giá trị thu được từ thí nghiệm CBR cho đất nền tại hiện trường thiết kế tuân theo hướng dẫn MS-01. [5]

Năm 1999, Viện Nhựa đường Hoa Kỳ đã cập nhật phương pháp thiết kế mặt đường mềm khi dùng mô đun đàn hồi thay thế cho chỉ số CBR và có xét đến yếu tố nhiệt độ khi xác định chiều dày lớp bê tông nhựa (BTN). Phương pháp dùng để mô phỏng các ảnh hưởng của nhiệt độ theo thời gian (biến thiên



theo mùa) được dựa trên một nghiên cứu về mối quan hệ mô đun - nhiệt độ và các đặc tính của nhựa đường. Toán đồ xác định chiều dày của các kết cấu mặt đường BTN được xây dựng cho ba kiểu khí hậu với các phổ nhiệt độ được mở rộng hơn. [6]

2.4. Phương pháp UNAM của Mexico [8]

Phương pháp UNAM được sử dụng ở Mexico cho rằng các điều kiện khí hậu có ảnh hưởng đến khả năng chịu tải của đất (VRS) nên giá trị tương đối của khả năng chịu lực tới hạn dùng trong thiết kế được xem xét thông qua hệ số biến thiên bao hàm mức độ không chắc chắn gây ra bởi khí hậu. Để xác định giá trị này, khuyến nghị tiến hành lập bản đồ tuyến đường để xem xét các điều kiện khí hậu và địa kỹ thuật để phân vùng một cách thoả đáng các đới khí hậu quốc gia và từ đó ước tính giá trị tới hạn của VRS.

2.5. Phương pháp Shell

Phương pháp Shell tiếp cận lý thuyết đàn hồi để xác định chiều dày mặt đường thông qua các toán đồ khi kết cấu mặt đường được biểu diễn như một hệ đa lớp đàn hồi tuyến tính với vật liệu được đặc trưng bởi mô đun đàn hồi Young và hệ số Poisson. Tải trọng xe tác dụng lên mặt đường theo phương đứng và phương ngang. Phương pháp coi mô đun đàn hồi của nền đất như một trong những thông số thiết kế chính được xác định bằng tải trọng điển hình và hàm lượng độ ẩm cân bằng. Dựa trên các giá trị mô đun, chiều dày lớp mặt có thể được xác định theo loại hỗn hợp nhựa đường và nhiệt độ hiện trường. [21][22]

Phương pháp Shell không cho rằng biến thiên nhiệt độ có ảnh hưởng quan trọng đến mô đun đàn hồi của các lớp vật liệu hạt nhưng có ảnh hưởng mạnh mẽ đến các đặc tính của các lớp có nhựa. Để xét đến yếu tố nhiệt độ, một thông số có tên “Nhiệt độ không khí trung bình năm có trọng số” (w-MAAT) được xác định từ nhiệt độ không

khí trung bình hàng tháng tại một vị trí cụ thể. Với mỗi nhiệt độ trung bình hàng tháng sẽ có một trọng số để tính toán trung bình toán học nhằm có được giá trị w-MAAT. Giá trị w-MAAT sau đó sẽ được dùng trong các toán đồ để xác định chiều dày các lớp có nhựa phụ thuộc vào chiều dày lớp móng, mô đun của nền đất, loại hỗn hợp nhựa đường (tám loại), số lượng trục xe tích lũy trong thời kỳ phục vụ (trục 80 kN) và các giá trị nhiệt độ (4, 12, 20 và 28°C). [22]

2.6. Tiêu chuẩn thiết kế mặt đường mềm của Pháp

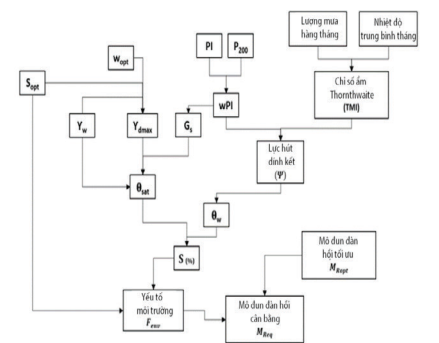
Hướng dẫn thiết kế mặt đường của Pháp sử dụng hai tiêu chuẩn gồm giới hạn áp lực lên nền đất được xác định từ các biểu đồ hệ số CBR đã có và giới hạn biến dạng của các lớp mặt đường có chất dính kết được xác định từ các phép đo trên bề mặt mặt đường [9]. Phương pháp của Pháp cho rằng trong quá trình thiết kế mặt đường, các thông tin môi trường có liên quan bao gồm điều kiện thủy văn của nền đường, chu kỳ nhiệt độ theo mùa, và cường độ của các giai đoạn băng giá. Điều kiện thủy văn của nền đường được sử dụng để xác định các trường hợp bất lợi của vị trí dự án. Phương pháp thiết kế của Pháp khuyến nghị áp dụng quy tắc Miner để tính toán nhiệt độ tương đương nhằm xét đến các chu kỳ nhiệt độ theo mùa và ảnh hưởng của nhiệt độ tương đương tới khả năng biến dạng và các đặc trưng cường độ của lớp vật liệu có nhựa. Đối với ảnh hưởng của băng giá, tiêu chuẩn của Pháp sử dụng chỉ số băng giá khí quyển được chọn làm chỉ số tham chiếu (IR) và chỉ số băng giá cho phép (IA) [13].

2.7. Phương pháp cơ học thực nghiệm của AASHTO

Năm 2008, AASHTO đã đưa ra một phương pháp mới trong thiết kế mặt đường được gọi là phương pháp cơ học thực nghiệm (Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide, MEPDG). Các kết cấu mặt đường hai và ba lớp được dựa trên các phương pháp cơ học tập trung vào các trạng thái

kết cấu có thể đo lường được để hiệu chỉnh theo các ứng xử thực tế của mặt đường có nhựa như độ võng bề mặt hoặc ứng suất theo phương đứng. Thiết kế kết cấu về mặt cơ học được dựa trên hai mô hình xuống cấp chính là biến dạng dư và mỏi. MEPDG tính toán các trạng thái tới hạn của mặt đường bằng cách sử dụng lý thuyết phân lớp đàn hồi. [4]

MEPDG tiến hành phân tích môi trường/khí hậu, bao gồm cả nhiệt độ và lượng mưa, thông qua các biến môi trường. Phương thức đưa thông tin khí hậu vào thiết kế theo MEPDG là thông qua Mô hình Khí hậu Tích hợp. Chương trình này được công nhận là mô hình tổng quát nhất để giải quyết được các ảnh hưởng của khí hậu đến mặt đường. Phiên bản đầu tiên của chương trình này đã được phân tích, điều chỉnh và được gọi tên là “Mô hình khí hậu tích hợp nâng cao” (Enhanced Integrated Climatic Model, EICM). EICM cho phép dự báo và mô phỏng các đặc điểm ứng xử mặt đường và các đặc tính của vật liệu theo điều kiện môi trường với các biến khí hậu khác nhau sử dụng trong MEPDG. Để ước tính mô đun đàn hồi tại trạng thái cân bằng của đất nền hoặc nền đất (M_{req}), một yếu tố môi trường (F_{env}) có được từ EICM, như được thể hiện trong Hình 1, sẽ được nhân với mô đun đàn hồi tối ưu (M_{ropt}) [11].



Hình 1: Sơ đồ khối EICM dựa trên luận án Rosenbalm [19]

Mô đun khí hậu của MEPDG tính toán các điều kiện nhiệt độ và độ ẩm trong toàn bộ kết cấu mặt đường theo giờ, nghĩa là nhiệt độ của mỗi lớp BTN được tổ hợp

thành năm ngũ phân vị (năm nhóm liên tiếp của mỗi 20% của các giá trị tính toán được) cho mỗi tháng của thời kỳ phân tích sự xuống cấp của mặt đường liên quan đến tải trọng. Phân bố tần suất của nhiệt độ BTN được giả định là phân bố chuẩn. Nhiệt độ trung bình trong mỗi ngũ phân vị của một lớp cho mỗi tháng được sử dụng để xác định mô đun động. Mô đun động là một giá trị đo độ cứng của hỗn hợp nhựa dưới điều kiện tải trọng động (hoặc tải trọng có tính chu kỳ). Mô đun động giảm khi nhiệt độ tăng nên ở các khu vực khí hậu nóng bức, các giá trị mô đun động thấp sẽ dẫn đến biến dạng và hằn lún tăng lên dưới tác dụng của tải trọng nặng còn ở các khu vực khí hậu lạnh giá, các

giá trị mô đun cao hơn sẽ làm tăng nguy cơ nứt nhiệt. [11]

3. MỘT SỐ PHÂN TÍCH VỀ THIẾT KẾ MẶT ĐƯỜNG CÓ XÉT ĐẾN YẾU TỐ KHÍ HẬU

Theo [10], các mô hình tất định mô phỏng sự làm việc của mặt đường mềm rất đa dạng, thay đổi từ các mối quan hệ thực nghiệm đơn giản nhất đến các thuật toán cơ học - thực nghiệm phức tạp [10]. Các phương pháp thực nghiệm có nhược điểm là chỉ có thể biểu diễn một bộ giới hạn các điều kiện vật liệu, tải trọng và các xem xét môi trường theo sự biến thiên theo mùa và có ảnh hưởng đến độ tin

cậy của các kết quả. Hầu hết các phương pháp cơ học và cơ học - thực nghiệm đều có khả năng xem xét khí hậu như một phần của việc thiết kế trực tiếp thông qua các biến số như lượng mưa và nhiệt độ hoặc một cách gián tiếp thông qua các đặc trưng của vật liệu [11]. Các phương pháp cơ học - thực nghiệm được dựa trên lý thuyết đàn hồi phân lớp để mô hình hoá kết cấu mặt đường mềm như một môi trường liên tục bán vô hạn được phân chia thành các lớp có chiều dày hữu hạn trên bán không gian đàn hồi [24]. Trong đó, mô hình phần tử hữu hạn được áp dụng theo ba bài toán: biến dạng phẳng, đối xứng trục và không gian ba chiều [7].

Bảng 1: Nhận xét cơ bản về một số phương pháp thiết kế mặt đường mềm theo điều kiện phân vùng khí hậu [11]

Phương pháp	Nguyên tắc thiết kế	Cách thức xem xét yếu tố khí hậu	Yếu tố then chốt
Ủy ban Đường cao tốc Bang Kansas, Mỹ 1947	Phương pháp độ võng giới hạn	Coi hệ số bão hoà đất là một hàm của lượng mưa trung bình năm	Mô đun biến dạng của móng dưới và nền đất
AASHTO 1961	Các phương pháp hồi quy dựa trên thí nghiệm đường	Chỉ số kết cấu được điều chỉnh theo hệ số vùng khí hậu	Chỉ số kết cấu có trọng số
AASHTO 1986 và 1993	Các phương pháp hồi quy dựa trên thí nghiệm đường	Đưa ra Mô đun đàn hồi có hiệu của đất nền đường khi xem xét mô đun theo mùa để lượng hoá hư hỏng có liên quan đến thay đổi độ ẩm	Mô đun đàn hồi của nền đất
AASHTO 1986 và 1993	Các phương pháp hồi quy dựa trên thí nghiệm đường	Đưa ra Hệ số thoát nước để điều chỉnh các hệ số lớp kết cấu của các lớp móng dưới và các lớp không mặt đường không có nhựa	Các hệ số lớp kết cấu
Viện Nhựa đường Hoa Kỳ 1970	Biến dạng đàn hồi giới hạn	Coi các điều kiện môi trường có ảnh hưởng đáng kể đến các đặc tính chịu lực của vật liệu nền đường	Chỉ số khả năng chịu lực của nền đất CBR
Viện Nhựa đường Hoa Kỳ 1999	Biến dạng đàn hồi giới hạn	Mô phỏng các ảnh hưởng của nhiệt độ theo thời gian (biến thiên theo mùa) được dựa trên nghiên cứu quan hệ mô đun - nhiệt độ với các đặc tính của nhựa đường	Mô đun động của BTN
UNAM, Mexico	Các phương pháp hồi quy dựa trên thí nghiệm đường	Coi các điều kiện khí hậu có ảnh hưởng đến khả năng chịu lực của đất (VRS)	Chỉ số khả năng chịu lực của nền đất CBR
Shell	Biến dạng đàn hồi giới hạn	Xem xét đến đặc tính của nhựa theo biến thiên nhiệt độ khi đưa ra các giá trị Nhiệt độ không khí trung bình năm có trọng số (w -MAAT) để xác định chiều dày lớp có nhựa theo toán đồ	Mô đun động của BTN
AASHTO EMPDG	Phương pháp cơ học - thực nghiệm	Đưa nhiệt độ và lượng mưa trở thành các biến môi trường thông qua EICM bằng cách sử dụng Chỉ số độ ẩm Thornthwait (TMI) Nhiệt độ của mỗi lớp BTN được tổ hợp thành năm ngũ phân vị. Nhiệt độ trung bình của mỗi ngũ phân vị của một lớp cho mỗi tháng sẽ được sử dụng để xác định mô đun động	Mô đun đàn hồi của nền đất và mô đun động của BTN



Từ việc rà soát một cách trọng tâm các phương pháp thiết kế mặt đường để chỉ ra cách thức mà các phương pháp đưa ảnh hưởng của khí hậu vào quá trình thiết kế, có thể tóm tắt các đặc điểm chính của các phương pháp đã rà soát như được trình bày trong Bảng 1.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Các yếu tố liên quan đến khí hậu, đặc biệt là lượng mưa và nhiệt độ, có ảnh hưởng đáng kể đến chất lượng và tuổi thọ của kết cấu nền mặt đường [12]. Trên cơ sở phân tích một số phương pháp thiết kế có xét đến khí hậu, có thể thấy với các lớp có nhựa thì đặc tính độ cứng của vật liệu là hết sức quan trọng. Mô đun động cần được sử dụng để tính toán biến dạng theo phương ngang và phương đứng của kết cấu có nhựa và cho phép xác định biến dạng dư lớn nhất trong từng lớp cũng như vị trí xuất hiện hư hỏng mỗi lớn nhất theo mối quan hệ chặt chẽ giữa mô đun

và nhiệt độ. Với các lớp móng và móng dưới, mối quan hệ giữa hàm lượng ẩm trung bình theo tháng với hàm lượng ẩm tối ưu cần được sử dụng để điều chỉnh mô đun đàn hồi của mỗi lớp để xem xét sự biến thiên của mô đun như một hàm số của làm lượng nước. Với nền đường, nên sử dụng mô đun đàn hồi có hiệu của đất nền hoặc nền đất theo hướng dẫn của AASHTO, trong đó biến số này cho phép ước tính từng giá trị mô đun có trọng số theo mùa bởi các điều kiện thời tiết có ảnh hưởng đến khả năng chịu lực của đất. Tuy nhiên, việc này đòi hỏi phải tiến hành rất nhiều thí nghiệm, dẫn đến chi phí tăng cao nên có thể chỉ xác định các điều kiện bất lợi nhất trong năm của từng vùng khí hậu. [11]

Khí hậu đã được tích hợp vào MEPDG của AASHTO, bao gồm cả nhiệt độ và lượng mưa, với sự hỗ trợ từ AASHTOWare. Việc thực hiện EICM của MEPDG có thể tiếp tục là công cụ đầu vào rất tốt

cho việc tích hợp khí hậu vào các phương pháp thiết kế mặt đường. Tuy nhiên, do kịch bản khí hậu của mỗi vùng là khác nhau nên các dữ liệu khí hậu có thể được đưa vào EICM thông qua TMI nhằm tính toán lực hút dính kết và độ bão hoà của các lớp móng, móng dưới và đất nền. Muốn vậy, cần xây dựng cơ sở dữ liệu về thời tiết theo phân vùng khí hậu sao cho phù hợp với mô hình xuống cấp của kết cấu mặt đường khi thiết kế theo MEPDG [11]. Trong trường hợp cần giảm chi phí xác định các thông số thực nghiệm, có thể chỉ tiến hành thiết kế theo phương pháp cơ học như sử dụng mô hình phân tử hữu hạn đối xứng trục hai chiều. Do ảnh hưởng của hiện tượng nóng lên toàn cầu (global warming), nhiệt độ là yếu tố đầu tiên cần xét đến trong quá trình thiết kế mặt đường mềm nên theo đó cần tiến hành phân cấp nhựa đường theo chỉ số độ nhớt VG (Viscosity Grade) [18].■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] American Association of State Highway Officials, AASHTO Interim Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State Highway Officials: Washington DC, USA, 1961
- [2] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Guide for Design of Pavement Structures, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO): Washington DC, USA, 1986
- [3] AASHTO Guide for Design of Pavement Structures, AASHTO, Washington D.C., 1993
- [4] American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO), Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: A Manual of Practice, American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO): Washington DC, USA, 2008, ISBN 978-1-56051-423-7
- [5] Asphalt Institute, Thickness Design - Full Depth Asphalt Pavement Structures for Highways and Streets, Manual Series No. 1 (MS-1), Revised eight edition, Asphalt Institute: Lexington, KY, USA, 1970
- [6] Asphalt Institute, Thickness Design - Asphalt Pavements for Highways and Streets, 9th Ed., Asphalt Institute: Lexington, KY, USA, 1999

- [7] Cho Y.-H., McCullough B.F. & Weissmann, J., Considerations on Finite-Element Method Application in Pavement Structural Analysis, Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board 1539, 1996, pp. 96-101
- [8] Corro S., Magallanes R., Prado G., Instructivo Para el Diseño Estructural de Pavimentos Flexibles Para Carreteras; Series del Instituto de Ingeniería No. 444, UNAM: México, Mexico, 1981
- [9] Corté J.-F. & Goux M.-T, Design of Pavement Structures: The French Technical Guide, Transp. Res. Rec. J. Transp. Res. Board 1539, 1996, pp. 116-124
- [10] Daiva Žilionienė, Mario De Luca & Gianluca Dell'Acqua, Evaluation of climatic factors based on the mechanistic-empirical pavement design guide, The Baltic Journal of Road and Bridge Engineering, 2013, pp. 158-165
- [11] Juan F. Mendoza-Sanchez, Elia M. Alonso-Guzman, Wilfrido Martinez-Molina, Hugo L. Chavez-Garcia, Rafael Soto-Espitia, Horacio Delgado-Alamilla & Saul A. Obregon-Biosca, A Critical Review of Pavement Design Methods Based on a Climate Approach, Sustainability Journal, Multidisciplinary Digital Publishing Institute, 2024

[12] Hosseini F., Nasimifar, M., Sivaneswaran N. & Gopalipour A., Mutual Impacts of Changing Climate and Flexible Pavement Performance Considering Resilience and Sustainable Aspects, *J. Clean.* 460, 142594, 2024

[13] Laboratoire Central des Ponts et Chaussées (LCPC) et Le Service D'études Techniques des Routes et Autoroutes (SETRA). Conception de Dimensionnement des Structures de Chassées: Guide Technique National, Ministère de l'Équipement des Transports et du Tourisme: Paris, France, 1994

[14] Luke Johanneck & Lev Khazanovich, Comprehensive Evaluation of Effect of Climate in Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide Predictions, *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, No. 2170, Transportation Research Board of the National Academies, Washington D.C., 2010, pp. 45-55

[15] Mamlouk M. S. & J. P. Zaniewski, *Materials for Civil and Construction Engineers*, 2nd Ed. Pearson Education Company, Inc., Upper Saddle River, N.J., 2006.

[16] Nguyễn Trọng Miêu, Một số đặc điểm khí hậu Việt Nam, *Tạp chí Khí tượng Thủy văn Số 7 Tập 331*, 1988

[17] Plati C., Sustainability factors in pavement materials, design, and preservation strategies: A literature review, *International Journal of Construction and Building Materials*, Volume 211, 2019, pp. 539-555

[18] RamanKumar & SanjeevSinha, Finite Element Assessment of Temperature Effects on the Performance of Bituminous Pavement Materials, *MDPI, Eng. Proc.* 114, 2025

[19] Rosenbalm D., Reliability Associated with the Estimation of Soil Resilient Modulus at Different Hierarchical Levels of Pavement Design: Master's Thesis, Arizona State University, Tempe, AZ, USA, 2011

[20] Scala A.J., Environmental factors in flexible pavement design, *Flexible Pavement Design Proceedings*, Paper No. 66, Australian Road Research Board: Canberra, Australia, 1962

[21] Shell International Petroleum Company Ltd., *Design Charts for Flexible Pavements*, Fifth Reprint, Shell International Petroleum Company Ltd.: London, UK, 1977

[22] Shell International Petroleum Company Ltd., *Shell Pavement Design Manual: Asphalt Pavements and Overlays for Road Traffic*, Shell International Petroleum Company Ltd.: London, UK, 1978

[23] State Highway Commission of Kansas, *Design of Flexible Pavement Using the Triaxial Compression Test*, Bulletin No. 8, Highway Research Board: Washington DC, USA, 1947

[24] Vásquez-Varela L.R., García-Orozco F.J., UNLEA: A Multilayer Elastic Program Script in Scilab., *International Airfield and Highway Pavements Conference*, Chicago, IL, USA, 2019; pp. 91-100.

[25] Willway T, Baldachin L, Reeves S, & Harding M, *The Effects of Climate Change on Highway Pavements and How to Minimise them: Technical report*, UK Published Public Report 184, 2008

[26] Yoder E. J. & M. W. Witczak., *Principles of Pavement Design*, John Wiley and Sons, Inc., New York, 1975

Ngày nhận bài 22/01/2026

Ngày chấp nhận đăng: 28/3/2026

