



Phân tích tiêu chuẩn thiết kế kết cấu mặt đường mềm theo chỉ số kết cấu (SN) của Florida và Arizona (Hoa Kỳ) và đề xuất cải tiến TCCS 37:2022

Analysis of flexible pavement design standards based on the Structural Number (SN) in Florida and Arizona (United States) and recommendations for improvement TCCS 37:2022

Nguyễn Huệ Chi^{1,*}, Đặng Thu Hương¹, Phạm Duy Anh²

¹Bộ môn Đường bộ, Khoa Công trình, Trường Đại học Giao thông vận tải

²Bộ môn Công trình Giao thông Thành phố và Công trình thủy, Khoa Công trình, Trường Đại học Giao thông vận tải

Từ khóa:

Mặt đường mềm;
AASHTO 1993;
chỉ số kết cấu SN;
hệ số lớp;
Florida DOT;
Arizona DOT;
TCCS 37;
TCVN.

TÓM TẮT

Tiêu chuẩn cơ sở TCCS 37:2022 hướng dẫn thiết kế mặt đường mềm theo chỉ số kết cấu SN trên nền tảng AASHTO 1993. Tuy nhiên, trong bối cảnh gia tăng lưu lượng xe tải nặng và yêu cầu khai thác ngày càng cao, tiêu chuẩn này bộc lộ các hạn chế về mức độ chuẩn hóa, khả năng kiểm soát cấu tạo và liên kết với đặc trưng vật liệu. Nghiên cứu này thực hiện phân tích so sánh hai tiêu chuẩn thiết kế kết cấu mặt đường của Florida DOT (FDOT FPD, 2026) và Arizona DOT (ADOT FPD, 2017), Hoa Kỳ, tập trung vào khung tính toán SN, các tham số đầu vào, hệ số lớp, quy tắc cấu tạo, cơ chế nhóm móng và ảnh hưởng của thoát nước. Kết quả cho thấy FDOT FPD thiên về bảng hóa và kiểm soát cấu tạo tối thiểu, trong khi ADOT FPD duy trì đầy đủ cấu trúc cơ học – thực nghiệm và liên kết hệ số lớp với chỉ tiêu vật liệu. Từ đó, nghiên cứu xác định các tồn tại của TCCS 37:2022 và đề xuất định hướng hoàn thiện làm cơ sở nâng cấp lên tiêu chuẩn quốc gia TCVN.

Keywords:

Flexible pavement;
AASHTO 1993;
structural number
SN;
layer coefficient;
Florida DOT;
Arizona DOT;
TCCS 37;
TCVN.

ABSTRACT

The technical specification TCCS 37:2022 provides guidelines for flexible pavement design based on the Structural Number (SN) concept, developed from the AASHTO 1993 methodology. However, in the context of increasing heavy truck traffic and more demanding service requirements, this specification exhibits several limitations, particularly in terms of standardization, structural configuration control, and its linkage with material properties. This study conducts a comparative analysis of two U.S. pavement design standards, namely the Flexible Pavement Design Manual FDOT FDP, 2026) issued by the Florida Department of Transportation (Florida DOT) and the Pavement Design Manual (ADOT FPD, 2017) issued by the Arizona Department of Transportation (Arizona DOT). The analysis focuses on the SN-based design framework, input parameters, layer coefficients, structural design rules, base grouping mechanisms, and the influence of drainage conditions. The results indicate that FDOT FDP adopts a predominantly tabulated approach with an emphasis on minimum structural control, whereas ADOT FDP maintains a comprehensive mechanistic-empirical framework and establishes a stronger linkage between layer coefficients and material properties. Based on these findings, the study identifies key limitations of TCCS 37:2022 and proposes directions for improvement to support its development into a national standard (TCVN).

* Nguyễn Huệ Chi. Bộ môn Đường bộ, Khoa Công trình, Trường Đại học Giao thông vận tải

Email: huechi@utc.edu.vn

<https://www.doi.org/10.55228/JTST150309>

Ngày nhận bài: 26/03/2026; Ngày nhận bài sửa: 28/04/2026; Ngày chấp nhận đăng: 29/04/2026

Ngày xuất bản trực tuyến: 15/05/2026

pISSN: 1859-4263; eISSN: 3030-4261

1. Giới thiệu

Thiết kế kết cấu mặt đường mềm là yếu tố quyết định đến tuổi thọ khai thác, hiệu quả chi phí vòng đời và mức độ phục vụ của công trình đường bộ. Trong thực tiễn thiết kế, phương pháp chỉ số kết cấu SN (Structural Number) theo American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO) (1993) vẫn được sử dụng rộng rãi trên thế giới như một mô hình thực nghiệm – bán cơ học, cho phép lượng hóa khả năng chịu tải của kết cấu thông qua các tham số đầu vào đặc trưng như lưu lượng trục xe quy đổi (W_{18}), độ tin cậy (R), sai số tổng hợp (S_o), suy giảm chỉ số phục vụ (ΔPSI) và mô đun nền đường (M_r). Ưu điểm của phương pháp này nằm ở tính minh bạch, khả năng chuẩn hóa và mức độ phù hợp với điều kiện dữ liệu hạn chế, đặc biệt trong bối cảnh chưa triển khai đầy đủ hệ thống thiết kế cơ học – thực nghiệm (Mechanistic-Empirical Design Guide – ME-PDG) do AASHTO phát triển. Các nghiên cứu gần đây [5], [6] cho thấy việc tích hợp dữ liệu thí nghiệm và dữ liệu khai thác thực tế đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao độ tin cậy của mô hình thiết kế. Phương pháp này yêu cầu hệ thống dữ liệu đầu vào và hiệu chỉnh cục bộ phức tạp, do đó các tiêu chuẩn dựa trên SN vẫn giữ vai trò quan trọng trong giai đoạn chuyển tiếp.

Tại Việt Nam, tiêu chuẩn cơ sở TCCS 37:2022 đã kế thừa phương pháp SN và bước đầu nội địa hóa các tham số thiết kế. Tuy nhiên, kinh nghiệm từ các tiêu chuẩn của Hoa Kỳ cho thấy việc đảm bảo độ tin cậy thiết kế không chỉ phụ thuộc vào mô hình tính toán SN mà còn vào mức độ chuyển hóa từ mô hình tính toán sang quy tắc thiết kế thực hành, bao gồm: (i) chuẩn hóa tham số đầu vào; (ii) kiểm soát cấu tạo tối thiểu; và (iii) thiết lập mối liên kết giữa hệ số lớp và đặc trưng cơ học của vật liệu. Trong bối cảnh lưu lượng xe tải nặng gia tăng nhanh trên các tuyến cao tốc và hành lang vận tải, các yêu cầu về kháng hằn lún, ổn định kết cấu và khả năng làm việc trong điều kiện nhiệt ẩm trở nên chi phối, đặt ra nhu cầu cấp thiết phải hoàn thiện TCCS 37:2022 theo hướng nâng cao tính nhất quán và khả năng áp dụng thực tế phù hợp với điều kiện Việt Nam.

Các tiêu chuẩn của Sở Giao thông Florida Department of Transportation (FDOT FDP) và Arizona Department of Transportation (ADOT FDP) được lựa chọn làm cơ sở tham chiếu do đại diện cho

hai cách tiếp cận điển hình trong khuôn khổ AASHTO 1993. Cụ thể, FDOT FDP thể hiện xu hướng bảng hóa và kiểm soát cấu tạo nhằm giảm độ nhạy với sai số đầu vào trong điều kiện khí hậu nóng ẩm và mưa nhiều, trong khi ADOT FDP duy trì cấu trúc tính toán đầy đủ và nhấn mạnh mối quan hệ giữa hệ số lớp và đặc trưng vật liệu trong điều kiện khô nóng, nhiệt độ mặt đường cao. Việc lựa chọn hai trường hợp này nhằm đại diện cho hai hướng tiếp cận phương pháp khác nhau, thay vì bao quát toàn bộ các điều kiện địa lý, qua đó tạo cơ sở so sánh có tính hệ thống. Ngoài ra, các đặc điểm này có mức độ tương đồng với nhiều vùng khí hậu và điều kiện khai thác tại Việt Nam, cho phép tham chiếu trực tiếp các cơ chế kiểm soát hư hỏng điển hình như hằn lún và suy giảm cường độ do ẩm. Tuy nhiên, việc lựa chọn hai trường hợp này chưa bao quát toàn bộ các điều kiện địa lý và khai thác khác nhau. Đây được xem là một giới hạn của nghiên cứu, và trong các bước tiếp theo, việc mở rộng phạm vi so sánh sang các tiêu chuẩn của các vùng địa lý khác sẽ được xem xét nhằm hoàn thiện cơ sở đề xuất nâng cấp tiêu chuẩn cho Việt Nam.

Trên cơ sở đó, bài báo này nhằm (i) xây dựng một khung so sánh thống nhất giữa các tiêu chuẩn thiết kế mặt đường mềm theo chỉ số SN; (ii) phân tích sự khác biệt về triết lý thiết kế và mức độ chuyển hóa từ mô hình tính toán sang quy tắc thực hành; và (iii) đối chiếu với TCCS 37:2022 để nhận diện các khoảng trống về chuẩn hóa, liên kết vật liệu và kiểm soát cấu tạo. Do đó, đóng góp của bài báo nằm ở việc xây dựng một khung so sánh thống nhất và tái cấu trúc các tiêu chuẩn trong cùng một hệ quy chiếu, qua đó làm rõ các khác biệt về bản chất phương pháp và đề xuất định hướng hoàn thiện tiêu chuẩn theo hướng tích hợp giữa mô hình tính toán và thực hành thiết kế, đáp ứng yêu cầu khai thác trong điều kiện Việt Nam và làm cơ sở chuyển đổi lên tiêu chuẩn quốc gia TCVN.

2. Cơ sở phương pháp thiết kế theo AASHTO 1993/SN và khung so sánh

2.1. Khung tính toán chỉ số kết cấu SN và phân bố theo lớp

Chỉ số kết cấu SN (Structural Number) là đại lượng tổng hợp phản ánh khả năng chịu tải của kết cấu mặt đường mềm trong khuôn khổ phương pháp của AASHTO (1993). Giá trị SN yêu cầu được xác định từ phương trình thực nghiệm – bán cơ học, trong đó các

tham số đầu vào chủ yếu bao gồm lưu lượng trục xe quy đổi (W18/ESAL), độ tin cậy thiết kế (R), sai số tổng hợp (S_o), suy giảm chỉ số phục vụ (ΔPSI) và mô đun đàn hồi nền đường (M_r).

Sau khi xác định SN yêu cầu, kết cấu mặt đường được thiết kế thông qua việc phân bổ chiều dày các lớp vật liệu theo nguyên tắc cộng dồn đóng góp chịu tải của từng lớp, biểu diễn theo công thức (1):

$$SN = \sum (a_i \cdot D_i \cdot m_i) \quad (1)$$

trong đó a_i là hệ số lớp, D_i là chiều dày lớp và m_i là hệ số điều kiện thoát nước (nếu xét).

Trong thực hành thiết kế, việc lựa chọn tổ hợp a_i - D_i không hoàn toàn tự do mà chịu ràng buộc bởi các quy tắc cấu tạo, giới hạn vật liệu và điều kiện thi công.

Cả ba tài liệu của FDOT FDP, ADOT FDP và TCCS 37:2022 đều kế thừa khung phương pháp này. Tuy nhiên, sự khác biệt chủ yếu không nằm ở công thức SN mà ở cách thức chuyển hóa mô hình tính toán thành quy tắc thiết kế thực hành, bao gồm mức độ chuẩn hóa tham số đầu vào, cách xác định hệ số lớp và cơ chế kiểm soát chiều dày tối thiểu.

2.2. Thống nhất cách xử lý thoát nước trong so sánh

Trong biểu thức tổng quát của SN (Công thức 1), hệ số thoát nước m_i được sử dụng để phản ánh ảnh hưởng của điều kiện ẩm và khả năng thoát nước của các lớp kết cấu. Tuy nhiên, cách tiếp cận đối với tham số này có sự khác biệt giữa các tiêu chuẩn.

Cụ thể, FDOT FDP không đưa m_i vào biểu thức tính toán tổng thể (tương đương giả định $m_i = 1$), mà kiểm soát ảnh hưởng của nước thông qua lựa chọn vật liệu và yêu cầu cấu tạo. Tương tự, TCCS 37:2022 hiện chưa xét m_i trong tính toán SN và xử lý vấn đề thoát nước chủ yếu theo hướng thiết kế cấu tạo.

Ngược lại, ADOT FDP cho phép sử dụng hệ số m_i như một tham số hiệu chỉnh, với các giá trị được quy định theo chất lượng thoát nước và điều kiện ẩm, qua đó lượng hóa trực tiếp ảnh hưởng môi trường đến khả năng chịu tải của kết cấu.

Để đảm bảo tính nhất quán trong so sánh, nghiên cứu này xem xét m_i như một tham số tùy chọn. Trường hợp cơ sở được giả định với $m_i \approx 1$, trong khi các điều kiện bất lợi về ẩm hoặc

có yêu cầu thoát nước đặc biệt được phân tích thông qua các giá trị hiệu chỉnh tham khảo từ ADOT FDP. Cách tiếp cận này cho phép đánh giá đồng thời cả hai triết lý thiết kế: kiểm soát cấu tạo và hiệu chỉnh tham số.

2.3 Khung so sánh và phạm vi phân tích

Trên cơ sở phương pháp của AASHTO (1993), khung so sánh trong nghiên cứu này được xây dựng theo hướng tích hợp giữa mô hình tính toán và quy tắc thiết kế thực hành, tập trung vào bốn nhóm nội dung chính: (i) Các giả thiết và tham số đầu vào thiết kế, bao gồm lưu lượng trục xe quy đổi (W18/ESAL), độ tin cậy (R), sai số tổng hợp (S_o), suy giảm chỉ số phục vụ (ΔPSI) và mô đun đàn hồi nền đường (M_r), là các yếu tố chi phối trực tiếp đến giá trị chỉ số kết cấu SN; (ii) Hệ số lớp và đặc trưng vật liệu, trong đó xem xét mức độ chuẩn hóa hệ số lớp, giới hạn giá trị và mối liên hệ với các chỉ tiêu cơ học của vật liệu, phản ánh cách tiếp cận từ thực nghiệm sang kiểm soát vật liệu trong thiết kế; (iii) Các quy tắc cấu tạo kết cấu, bao gồm kiểm soát chiều dày tối thiểu, tổ hợp lớp và cơ chế nhóm móng tương đương, nhằm đánh giá cách các tiêu chuẩn chuyển hóa kết quả tính toán SN thành giải pháp thiết kế khả thi trong thực tế; (iv) Các yếu tố môi trường và điều kiện khai thác, tập trung vào cơ chế kiểm soát vết hằn lún và rủi ro do ẩm, thông qua lựa chọn vật liệu nhựa theo điều kiện tải trọng – tốc độ và cách tiếp cận xử lý thoát nước trong thiết kế kết cấu.

Khung phân tích này cho phép đánh giá một cách hệ thống mức độ hoàn thiện của từng tiêu chuẩn không chỉ ở phương diện mô hình tính toán mà còn ở khả năng kiểm soát thực hành thiết kế. Đồng thời, cách tiếp cận này làm rõ sự khác biệt giữa các triết lý thiết kế (tính toán thuần túy so với thiết kế tích hợp), qua đó xác định các nội dung có thể kế thừa, hiệu chỉnh và chuẩn hóa khi nâng cấp TCCS 37:2022 lên tiêu chuẩn quốc gia TCVN theo hướng tăng cường tính minh bạch, khả năng truy vết và tính khả thi trong áp dụng.

3. So sánh các chỉ tiêu kỹ thuật chủ đạo giữa FDOT FDP, ADOT FDP và TCCS 37:2022

3.1. Khái quát cách tiếp cận so sánh

Trên cơ sở khung phân tích đã trình bày tại Mục 2.3, việc so sánh các tiêu chuẩn được thực hiện nhằm làm rõ không chỉ sự khác biệt về nội dung kỹ thuật mà còn

cách thức các quy định được chuyển hóa từ mô hình tính toán chỉ số kết cấu SN thành các giải pháp thiết kế có thể áp dụng trong thực tiễn. Cách tiếp cận này đặc biệt quan trọng trong bối cảnh phương pháp của AASHTO (1993) mang bản chất thực nghiệm – bán cơ học, trong đó kết quả tính toán phụ thuộc đáng kể vào giả thiết đầu vào và cách thức diễn giải trong tiêu chuẩn. Do đó, việc so sánh không chỉ dừng ở việc đối chiếu các tham số mà tập trung vào mức độ chuẩn hóa, khả năng kiểm soát và tính nhất quán trong tổ chức tiêu chuẩn. Bảng 1 cung cấp cái nhìn tổng hợp về các chỉ tiêu kỹ thuật chủ đạo, trong khi phần phân tích tập trung diễn giải các khác biệt về bản chất phương pháp và hàm ý kỹ thuật.

3.2. Phân tích cách tiếp cận thiết kế của FDOT FDP

FDOT FDP được xây dựng trên nền tảng AASHTO (1993) nhưng có xu hướng chuyển mạnh từ mô hình tính toán sang hệ thống quy tắc thiết kế thực hành. Điểm nổi bật của FDOT FDP là mức độ bảng hóa cao, trong đó nhiều bước thiết kế đã được chuẩn hóa thành các bảng tra theo dải lưu lượng ESAL và loại kết cấu, giúp giảm đáng kể sự phụ thuộc vào kinh nghiệm cá nhân của người thiết kế.

Về bản chất, cách tiếp cận này không nhằm tối ưu hóa từng tham số riêng lẻ mà hướng tới việc chuẩn hóa các cấu hình kết cấu đã được kiểm chứng thành các phương án tiêu chuẩn, qua đó giảm đáng kể độ nhạy của thiết kế đối với sai số đầu vào. Điều này đặc biệt quan trọng trong điều kiện khí hậu nóng ẩm và lưu lượng xe tải nặng lớn, nơi các sai lệch nhỏ trong giả thiết thiết kế có thể dẫn đến hư hỏng sớm. Cách tiếp cận này cho thấy vai trò của việc chuyển từ “tính toán chi tiết” sang “kiểm soát theo cấu hình điển hình” như một cơ chế quản lý rủi ro thiết kế.

Một đặc điểm quan trọng khác là việc kiểm soát cấu tạo tối thiểu được đặt lên hàng đầu. Chiều dày tối thiểu của các lớp kết cấu được quy định rõ theo từng nhóm lưu lượng, đồng thời áp dụng cơ chế nhóm móng tương đương nhằm cho phép linh hoạt trong lựa chọn vật liệu mà vẫn đảm bảo khả năng chịu tải tổng thể. Trong bối cảnh này, hệ số lớp không còn là biến số độc lập mà được “nội suy” trong các tổ hợp vật liệu và chiều dày đã được kiểm chứng, qua đó hạn chế rủi ro do lựa chọn hệ số không phù hợp. Điều này phản ánh sự chuyển dịch

từ cách tiếp cận dựa trên tham số sang cách tiếp cận dựa trên cấu hình kết cấu.

Ngoài phạm vi của chỉ số SN, tiêu chuẩn này còn tách biệt rõ ràng bài toán thiết kế kết cấu và kiểm soát hằn lún thông qua lựa chọn vật liệu mặt, đặc biệt là hệ thống phân cấp nhựa đường theo cấp hiệu năng (PG). Cách tiếp cận này bổ sung một lớp kiểm soát độc lập đối với các cơ chế hư hỏng không được phản ánh đầy đủ trong mô hình SN, qua đó nâng cao độ tin cậy tổng thể của thiết kế. Điều này cho thấy thiết kế theo SN trong thực tế không hoạt động độc lập, mà cần được hỗ trợ bởi các tiêu chí vật liệu để kiểm soát các dạng hư hỏng chi phối.

3.3. Phân tích cách tiếp cận thiết kế của ADFPD

Khác với xu hướng bảng hóa FDOT FDP, ADOT FDP duy trì đầy đủ cấu trúc của phương pháp AASHTO (1993), trong đó các tham số đầu vào như lưu lượng trục xe quy đổi, độ tin cậy, sai số tổng hợp và suy giảm chỉ số phục vụ được thể hiện rõ ràng trong quá trình tính toán. Cách tiếp cận này cho phép truy vết đầy đủ các giả thiết thiết kế và đánh giá độ nhạy của kết quả đối với từng tham số, tạo điều kiện cho việc kiểm soát kỹ thuật ở mức chi tiết. Điều này cho thấy ADOT FDP ưu tiên tính minh bạch và khả năng phân tích của mô hình hơn là đơn giản hóa quy trình thiết kế.

Một điểm nổi bật của ADOT FDP là việc thiết lập mối liên hệ chặt chẽ giữa hệ số lớp và các chỉ tiêu thí nghiệm vật liệu. Hệ số lớp không được lựa chọn tùy ý mà bị giới hạn trong các khoảng giá trị nhất định, đồng thời gắn với các đặc trưng cơ học như độ bền, độ cứng hoặc khả năng chịu tải của vật liệu. Điều này không chỉ nâng cao tính minh bạch của thiết kế mà còn tạo cơ sở cho việc kiểm soát chất lượng trong thi công và khai thác. Cách tiếp cận này phản ánh xu hướng chuyển từ kinh nghiệm thiết kế sang định lượng hóa dựa trên đặc trưng vật liệu.

Bên cạnh đó, ADOT FDP cho phép đưa hệ số thoát nước vào trong biểu thức tính toán như một tham số hiệu chỉnh, phản ánh trực tiếp ảnh hưởng của điều kiện ẩm đến khả năng làm việc của kết cấu. Cách tiếp cận này có ý nghĩa đặc biệt trong việc lượng hóa rủi ro môi trường, giúp thiết kế không chỉ dựa trên tải trọng mà còn xét đến điều kiện khai thác thực tế. Mặc dù vẫn tồn tại các quy định cấu tạo tối thiểu, chúng chủ yếu đóng vai trò

như các ràng buộc kỹ thuật nhằm đảm bảo tính khả thi, trong khi trọng tâm vẫn đặt vào mô hình tính toán. Điều này cho thấy ADOT FDP giữ vai trò như một hệ thống thiết kế “mở”, trong đó người thiết kế có thể điều chỉnh phương án trên cơ sở các tham số đầu vào và điều kiện cụ thể.

3.4. Đánh giá TCCS 37:2022 và nhận xét tổng hợp

TCCS 37:2022 kế thừa đầy đủ nền tảng của phương pháp AASHTO (1993) và về cơ bản tương thích với cả hai cách tiếp cận của FDOT FDP và ADOT FDP ở mức độ khung lý thuyết. Tuy nhiên, khi xét đến khả năng chuyển hóa sang thực hành thiết kế, tiêu chuẩn này vẫn tồn tại một số hạn chế đáng kể. Trước hết, mức độ bảng hóa còn thấp, đặc biệt là thiếu các quy định rõ ràng về chiều dày tối thiểu theo dải lưu lượng, dẫn đến khả năng xuất hiện các phương án thiết kế chưa tối ưu hoặc thiếu an toàn trong thực tế. Thứ hai, hệ số lớp chưa được liên kết chặt chẽ với các chỉ tiêu thí nghiệm vật liệu, làm giảm khả năng kiểm soát chất lượng và truy vết giả thiết thiết kế. Thứ ba, chưa có cơ chế nhóm móng tương đương, hạn chế tính linh hoạt trong lựa chọn vật liệu theo điều kiện địa phương. Các hạn chế này cho thấy TCCS 37:2022 mới dừng ở việc kế thừa mô hình tính toán, nhưng chưa hoàn thiện các cơ chế chuyển hóa sang quy tắc thiết kế thực hành.

Ngoài ra, ảnh hưởng của điều kiện thoát nước chưa được lượng hóa trong tính toán mà chủ yếu xử lý thông qua các giải pháp cấu tạo, điều này có thể chưa đủ trong các điều kiện môi trường bất lợi. Điều này phản ánh khoảng trống trong việc tích hợp các yếu tố môi trường vào mô hình thiết kế, vốn là một xu hướng quan trọng trong các tiêu chuẩn hiện đại.

Từ các phân tích trên có thể nhận diện ba triết lý thiết kế điển hình: FDOT FDP thiên về bảng hóa và kiểm soát cấu tạo nhằm đảm bảo tính đồng nhất và dễ áp dụng; ADOT FDP thiên về cơ học – thực nghiệm, nhấn mạnh tính minh bạch và khả năng kiểm soát kỹ thuật; trong khi TCCS 37:2022 đang ở vị trí trung gian và cần được hoàn thiện theo hướng tích hợp cả hai cách tiếp cận. Vị trí này không chỉ phản ánh hạn chế mà còn cho thấy tiềm năng tích hợp hai cách tiếp cận để xây dựng một hệ thống tiêu chuẩn phù hợp với điều kiện Việt Nam

Các định hướng nâng cấp bao gồm tăng cường bảng hóa, thiết lập mối liên hệ giữa hệ số lớp và vật liệu, bổ sung cơ chế nhóm móng tương đương và xem xét tích hợp yếu tố thoát nước vào tính toán trong các điều kiện đặc thù, qua đó nâng cao độ tin cậy và tính khả thi khi chuyển đổi thành tiêu chuẩn quốc gia TCVN. Những định hướng này không chỉ nhằm khắc phục các hạn chế hiện tại mà còn hướng tới xây dựng một hệ thống thiết kế có khả năng cân bằng giữa tính đơn giản trong áp dụng và độ tin cậy kỹ thuật, làm cơ sở cho việc chuyển đổi thành tiêu chuẩn quốc gia TCVN.

Từ góc độ tổng hợp, có thể xem ba tiêu chuẩn đại diện cho ba mức độ chuyển hóa khác nhau của phương pháp SN: từ dạng quy tắc thực hành (FDOT FDP), dạng mô hình tính toán đầy đủ (ADOT FDP), đến dạng trung gian (TCCS 37:2022). Sự khác biệt này không chỉ mang tính kỹ thuật mà còn phản ánh cách tiếp cận trong tổ chức tiêu chuẩn, qua đó cung cấp cơ sở trực tiếp cho việc định hướng hoàn thiện hệ thống tiêu chuẩn tại Việt Nam.

Bảng 1. Đối chiếu hệ thống chỉ tiêu kỹ thuật và quy tắc thiết kế theo SN

Nhóm nội dung	Florida DOT Flexible Pavement Design Manual (FDOT FDP)	Arizona DOT Pavement Design Manual (ADOT FDP)	TCCS 37:2022
Cơ sở phương pháp	Thiết kế theo SNR/SNC dựa trên AASHTO 1993; tổ chức theo quy trình và bảng hóa mạnh.	AASHTO 1993 đầy đủ (ZR, S_o , ΔPSI , M_r , SN); cấu trúc lý thuyết rõ.	AASHTO 1993 (W18, ZR, S_o , ΔPSI , M_r , SN) và bảng tra SN; hướng dẫn phân bổ SN theo $a_1 \cdot D_i$.
Lưu lượng thiết kế	ESAL 20 năm; phân làn; quy tắc chiều dày tối thiểu theo dải ESAL.	Thiết kế theo ESAL/W18; phân cấp theo loại đường và độ tin cậy.	Quy đổi trục 80 kN theo hướng dẫn/phụ lục; áp dụng theo cấp đường và thời hạn thiết kế.
Độ tin cậy (R) và ZR	Được thể hiện theo loại tuyến và nhóm thiết kế; nhấn mạnh kiểm soát cấu tạo tối thiểu.	Bảng R và ZR theo chức năng đường (có thể tới 99%); sử dụng trực tiếp trong phương trình AASHTO.	Có hướng dẫn lựa chọn theo cấp đường; cần chuẩn hóa thêm theo nhóm lưu lượng và chức năng đường khi nâng cấp.
Sai số tổng hợp (S_o)	Thể hiện trong khung AASHTO; trong thực hành FDFPD ưu tiên bảng hóa/giải pháp chuẩn.	$S_o = 0,45$ cho mặt đường mềm (quy định rõ).	Sử dụng theo AASHTO; cần thống nhất giá trị mặc định cho các nhóm áp dụng trong TCVN.
Suy giảm chỉ số phục vụ (ΔPSI)	Theo AASHTO; kiểm soát qua chiều dày tối thiểu và vật liệu.	Theo AASHTO; quy định P_o , P_t theo loại đường.	Theo AASHTO; quy định P_o , P_t (cần làm rõ theo cấp đường / cấp phục vụ).
Mô đun nền đường (M_r)	Dùng chỉ tiêu địa phương; gắn với đánh giá nền và nhóm gia cố nền.	Liên kết với R-value/ M_r ; hướng dẫn xác định đầu vào nền rõ.	Cho phép xác định từ thí nghiệm hoặc tương quan (CBR- M_r); cần chuẩn hóa quy trình, điều kiện thí nghiệm và hệ số chuyển đổi.
Hệ số lớp (a_i)	Bảng a_i theo vật liệu địa phương (ví dụ HMA/Superpave ~0,44; móng LBR100 ~0,15–0,18; gia cố LBR40 ~0,08).	Bảng giới hạn a_i tối đa theo vật liệu (AC 0,44; CTB/BTB 0,28; AB 0,14...), a_i gắn với chỉ tiêu thí nghiệm.	Có hệ số lớp cho nhóm vật liệu phổ biến; cần định lượng hóa gắn với chỉ tiêu thí nghiệm vật liệu Việt Nam để nâng lên TCVN.
Hệ số thoát nước m_i trong SN	Không sử dụng trong tổng SNC (quy ước $m_i=1$).	Có m_i ; bảng m_i theo chất lượng thoát nước và SVF (có thể 0,64–1,32).	Không sử dụng trong tổng SN (quy ước $m_i=1$); thoát nước xử lý theo hướng thiết kế cấu tạo/biện pháp riêng.
Kiểm soát chiều dày tối thiểu	Rất rõ: chiều dày tối thiểu lớp chịu lực và yêu cầu Base Group theo dải ESAL và loại đường.	Có mục kiểm soát tối thiểu; ưu tiên khung AASHTO và giới hạn hệ số lớp.	Chưa bảng hóa mạnh theo ESAL; chủ yếu tính theo SN; nên bổ sung “rào chắn tối thiểu” khi nâng cấp TCVN.
Nhóm móng/giải pháp tương đương	Có các phương án kết cấu nhóm móng có thể chọn “Optional Base Group” (OBG) và chỉ số đại diện cho khả năng chịu lực của nhóm móng “Base Group Number” để lựa chọn vật liệu theo vùng nhưng tương đương về sức chịu kết cấu.	Không nhấn mạnh nhóm móng; tập trung vào hệ số lớp và kiểm soát theo vật liệu.	Chưa có cơ chế nhóm móng tương đương; là nội dung quan trọng cần bổ sung để tăng tính khả thi áp dụng TCVN.
Lựa chọn nhựa theo tải-tốc độ	Quy tắc rõ: PG 67-22 mặc định; PG 76-22/High Polymer cho xe chạy	Có mục chọn cấp nhựa, giao trách nhiệm kỹ sư quyết định; ít bảng hóa	Việt Nam đã thực hiện lựa chọn nhựa theo nhiệt độ và tải trọng; cần chuẩn

Nhóm nội dung	Florida DOT Flexible Pavement Design Manual (FDOT FDP)	Arizona DOT Pavement Design Manual (ADOT FDP)	TCCS 37:2022
	chậm/dừng, điểm rủi ro; quy định bề dày tối thiểu lớp liên kết tăng cường theo ESAL.	quy tắc trong manual 2017.	hóa thành quy tắc/bảng theo tốc độ và vị trí rủi ro tương tự FDFPD.
Tổ chức tiêu chuẩn	Quy trình + bảng hệ số + bảng tối thiểu + hướng dẫn thể hiện mặt cắt; thiên về áp dụng nhanh và thống nhất.	Khung AASHTO đầy đủ + bảng giới hạn + hướng dẫn thí nghiệm; thiên về kiểm soát kỹ thuật.	Khung AASHTO + bảng tra SN + phụ lục quy đổi tải trọng; cần tăng phần bảng hóa và gắn kết thiết kế với kiểm soát chất lượng vật liệu khi lên TCVN.

4. Kết luận và kiến nghị

4.1. Kết luận

Trên cơ sở phân tích và so sánh các tiêu chuẩn thiết kế mặt đường mềm theo chỉ số kết cấu SN của Florida DOT, Arizona DOT và TCCS 37:2022, có thể rút ra một số kết luận chính sau:

Thứ nhất, cả ba tài liệu đều kế thừa nền tảng phương pháp AASHTO 1993, trong đó chỉ số kết cấu SN đóng vai trò trung tâm trong việc xác định khả năng chịu tải của kết cấu mặt đường mềm. Tuy nhiên, mức độ cụ thể hóa và cách thức chuyển hóa phương pháp tính toán thành quy tắc áp dụng trong thực tiễn có sự khác biệt rõ rệt giữa các tiêu chuẩn.

Thứ hai, FDOT FDP đại diện cho cách tiếp cận thiên về bảng hóa và kiểm soát cấu tạo tối thiểu, phù hợp với điều kiện lưu lượng xe tải nặng lớn và môi trường nóng ẩm. Ngược lại, ADOT FDP duy trì cấu trúc tính toán đầy đủ của AASHTO 1993, gắn hệ số lớp với chỉ tiêu thí nghiệm vật liệu và cho phép lượng hóa ảnh hưởng của thoát nước thông qua hệ số hiệu chỉnh, qua đó nâng cao tính minh bạch và khả năng truy vết giả thiết thiết kế.

Thứ ba, TCCS 37:2022 đã xây dựng được khung phương pháp đúng hướng và có mức độ tương đồng đáng kể với các tiêu chuẩn quốc tế tham chiếu. Tuy nhiên, so với FDOT FDP và ADOT FDP, tiêu chuẩn này vẫn còn hạn chế về mức độ bảng hóa các quy tắc cấu tạo, kiểm soát chiều dày tối thiểu và cơ chế liên kết hệ số lớp với chỉ tiêu thí nghiệm vật liệu, đặc biệt trong bối cảnh yêu cầu khai thác ngày càng cao của hệ thống đường bộ Việt Nam.

4.2. Kiến nghị

Trên cơ sở khung phân tích so sánh đã xây dựng, bài báo đề xuất một số định hướng kỹ thuật nhằm nâng cấp TCCS 37:2022 theo hướng tiệm cận tiêu chuẩn quốc gia TCVN như sau.

Thứ nhất, về chuẩn hóa tham số đầu vào, cần thiết lập dải giá trị khuyến nghị cho các tham số thiết kế theo chỉ số SN, bao gồm lưu lượng trục xe quy đổi (W_{18}), độ tin cậy (R), sai số tổng hợp (S_o) và suy giảm chỉ số phục vụ (ΔPSI), tương ứng với cấp đường và điều kiện khai thác. Việc này nhằm chuyển từ cách lựa chọn tham số mang tính kinh nghiệm sang cách tiếp cận có kiểm soát, qua đó giảm sự sai khác giữa các dự án và nâng cao tính nhất quán trong thiết kế.

Thứ hai, về kiểm soát cấu tạo, cần bổ sung và bảng hóa các cấu hình kết cấu tối thiểu theo nhóm lưu lượng và cấp đường, trên cơ sở các tổ hợp vật liệu – chiều dày đã được kiểm chứng. Đồng thời, có thể xem xét áp dụng cơ chế nhóm móng tương đương nhằm cho phép linh hoạt trong lựa chọn vật liệu địa phương nhưng vẫn đảm bảo khả năng chịu tải tổng thể. Cách tiếp cận này giúp giảm độ nhạy của thiết kế đối với sai số đầu vào và nâng cao tính khả thi trong áp dụng thực tế.

Thứ ba, về liên kết vật liệu – thiết kế, cần từng bước thiết lập mối quan hệ giữa hệ số lớp và các chỉ tiêu cơ học của vật liệu (như mô đun, cường độ hoặc khả năng chịu tải), thay vì sử dụng các giá trị kinh nghiệm cố định. Việc định lượng hóa này không chỉ nâng cao tính minh bạch của thiết kế mà còn tạo cơ sở cho công tác thẩm tra và kiểm soát chất lượng trong thi công.

Thứ tư, về kiểm soát hư hỏng mặt đường, cần tích hợp hướng dẫn lựa chọn vật liệu lớp mặt (ví dụ nhựa đường theo cấp hiệu năng) phù hợp với điều kiện

hiệt độ và tải trọng khai thác, đặc biệt tại các vị trí có nguy cơ hằn lún cao. Cách tiếp cận này cho phép tách bạch giữa thiết kế kết cấu theo chỉ số SN và kiểm soát biến dạng dư của lớp mặt, qua đó nâng cao độ bền vững của kết cấu trong điều kiện khí hậu nóng ẩm tại Việt Nam.

Các đề xuất trên không nhằm thay đổi bản chất phương pháp của TCCS 37:2022, mà tập trung hoàn thiện các cơ chế chuẩn hóa và triển khai thực tế. Qua đó, nghiên cứu góp phần thu hẹp khoảng cách giữa mô hình tính toán và thực hành thiết kế, nâng cao tính nhất quán, khả thi và độ tin cậy khi áp dụng trong điều kiện Việt Nam. Các định hướng này cần được kiểm chứng thông qua các nghiên cứu định lượng và dữ liệu thực nghiệm trong các bước tiếp theo.

Đóng góp của các tác giả trong bài báo

Nguyễn Huệ Chi: Phương pháp, Phân tích chính thức, Phản hồi ý kiến phản biện, Viết - bản thảo gốc.

Đặng Thu Hương: Biên soạn dữ liệu, Phân tích dữ liệu, Viết – bản thảo gốc. **Phạm Duy Anh:** Phương pháp, Giám sát, Chính sửa bản thảo.

Tuyên bố không xung đột lợi ích và cam kết bản quyền

Các tác giả tuyên bố về sự không xuất hiện những xung đột tiềm ẩn từ nghiên cứu này, và cam kết bài báo chưa từng được công bố trước đây.

Chia sẻ dữ liệu theo yêu cầu

Dữ liệu sẽ được cung cấp theo yêu cầu.

1st Nguyen Hue Chi*. *University of Transport and Communications*

2nd Dang Thu Huong. *University of Transport and Communications*

3rd Pham Duy Anh. *University of Transport and Communications*

*Corresponding author: huechi@utc.edu.vn

Tài liệu tham khảo

- [1] Florida Department of Transportation (FDOT). Flexible Pavement Design Manual, Topic No. 625-010-002, Revised: January 2026.
- [2] Arizona Department of Transportation (ADOT). Pavement Design Manual, September 29, 2017
- [3] TCĐBVN. TCCS 37:2022/TCĐBVN – Áo đường mềm – Yêu cầu và chỉ dẫn thiết kế theo chỉ số kết cấu SN
- [4] AASHTO. *Guide for Design of Pavement Structures*, 1993.
- [5] Transportation Research Board. *NCHRP Report 1-37A: Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures*. Washington, D.C., 2004.
- [6] AASHTO. *Mechanistic-Empirical Pavement Design Guide: A Manual of Practice (2nd Edition)*, 2015.
- [7] AASHTO. AASHTO M 320. *Standard Specification for Performance-Graded Asphalt Binder*.
- [8] Federal Highway Administration. *Pavement Drainage Manual*, 1992.
- [9] Huang, Y.H. *Pavement Analysis and Design*, 2nd ed., Pearson, 2004.
- [10] J. A. Prozzi and S. M. Madanat, "Development of pavement performance models by combining experimental and field data," *Journal of Infrastructure Systems*, vol. 10, no. 1, pp. 9–22, 2004.