



ANALYSIS OF FLEXIBLE PAVEMENT STRUCTURE BEHAVIOR CONSIDERING TEMPERATURE CHANGE WITH THE DEPTH OF ASPHALT MIXTURE LAYERS

Nguyen Van Hung, Bui Van Phu*, Tran Danh Hoi, Nguyen Quang Tuan

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

ARTICLE INFO

TYPE: Research Article

Received: 20/08/2024

Revised: 24/09/2024

Accepted: 08/10/2024

Published online: 15/10/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.8.6>

* *Corresponding author*

Email: buiphugt@utc.edu.vn

Abstract. Dynamic modulus and dynamic Poisson's ratio of asphalt concrete (AC) and asphalt treated bases (ATB) are the main parameters used to analyze the behavior of flexible pavement structures. Researches in the world as well as in Vietnam show that these parameters depend on temperature and load frequency. However, TCCS 38:2022/TCĐBVN is still using static elastic modulus based on road surface temperature and considering Poisson's ratio to be constant for AC and ATB layers at different depths in pavement structures. In order to consider the influence of temperature distribution in structural depth on the behavior of flexible pavement, this paper introduces the calculation results of maximum tensile strain at the bottom of lower AC/ATB along with maximum vertical strain at the top of the roadbed in some typical flexible pavement structures when considering temperature change according to their position in the structure and vehicle speed using the software "Viscoroute 2.0". Analysis and comparison of these calculation results show that the influence of temperature distribution in the structural depth of flexible pavements and vehicle speed on maximum tensile strain and maximum vertical strain at the top of the roadbed is quite significant, so it is necessary to be considered when calculating and designing of flexible pavement structures.

Keywords: Flexible pavement structure, temperature distribution in pavement structure, dynamic modulus, dynamic Poisson's ratio, maximum tensile strain, maximum vertical strain.

@ 2024 University of Transport and Communications



PHÂN TÍCH ỨNG XỬ CỦA KẾT CẤU ÁO ĐƯỜNG MỀM XÉT ĐẾN ẢNH HƯỞNG CỦA SỰ THAY ĐỔI NHIỆT ĐỘ THEO CHIỀU SÂU CÁC LỚP MẶT ĐƯỜNG BÊ TÔNG NHỰA

Nguyễn Văn Hùng, Bùi Văn Phú*, Trần Danh Hợi, Nguyễn Quang Tuấn

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

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 20/08/2024

Ngày nhận bài sửa: 24/09/2024

Ngày chấp nhận đăng: 08/10/2024

Ngày xuất bản Online: 15/10/2024

<https://doi.org/10.47869/tcsj.75.8.6>

* Tác giả liên hệ

Email: buiphugt@utc.edu.vn

Tóm tắt. Mô đun động và hệ số Poát xông động của các lớp bê tông nhựa (BTN) và cấp phối đá chặt gia cố nhựa nóng (ĐGCN) là các thông số chính được sử dụng để phân tích ứng xử của kết cấu áo đường mềm (KCAĐM). Các nghiên cứu trên thế giới cũng như ở Việt Nam chỉ ra các thông số này phụ thuộc vào nhiệt độ và tần số tác dụng tải trọng. Tuy nhiên, TCCS 38:2022/TCĐBVN vẫn đang sử dụng mô đun đàn hồi tĩnh lấy theo nhiệt độ bề mặt đường và coi hệ số Poát xông là hằng số đối với các lớp BTN và ĐGCN ở chiều sâu khác nhau trong KCAĐM. Để xét ảnh hưởng của phân bố nhiệt độ theo chiều sâu đến ứng xử của KCAĐM, bài báo này tiến hành tính toán biến dạng kéo khi uốn tại đáy lớp BTN/ĐGCN phía dưới và biến dạng thẳng đứng tại đỉnh nền đường của một số KCAĐM cho trường hợp có xét đến sự thay đổi nhiệt độ theo chiều sâu kết cấu áo đường và tốc độ dòng xe bằng phần mềm Viscoroute 2.0. Phân tích, so sánh các kết quả tính toán cho thấy mức độ ảnh hưởng của phân bố nhiệt độ trong KCAĐM và tốc độ xe chạy đến biến dạng kéo khi uốn và biến dạng thẳng đứng lớn nhất tại đỉnh nền đường là đáng kể, cần phải được xem xét khi tính toán, thiết kế.

Từ khóa: Kết cấu áo đường mềm, phân bố nhiệt độ trong lớp BTN, mô đun động, hệ số Poát xông động, biến dạng kéo khi uốn lớn nhất, biến dạng thẳng đứng lớn nhất.

@2024 Trường Đại học Giao thông vận tải

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các lớp vật liệu trong kết cấu áo đường mềm (KCAĐM) có ứng xử cơ học khác nhau dưới tác dụng của tải trọng xe và nhiệt độ môi trường. Các lớp móng cấp phối đá dăm và đất nền có ứng xử phi tuyến tùy thuộc vào trạng thái ứng suất [1, 2]. Trong khi đó, các lớp bê

tông nhựa (BTN) có ứng xử đàn hồi - nhớt phụ thuộc vào nhiệt độ và thời gian tác dụng tải trọng [3, 4]. Mặt khác, nhiệt độ trong các lớp BTN biến đổi theo chiều sâu của KCAĐM. Do đó đặc tính của các lớp vật liệu này cũng thay đổi liên tục theo chiều sâu của các lớp kết cấu [5-10].

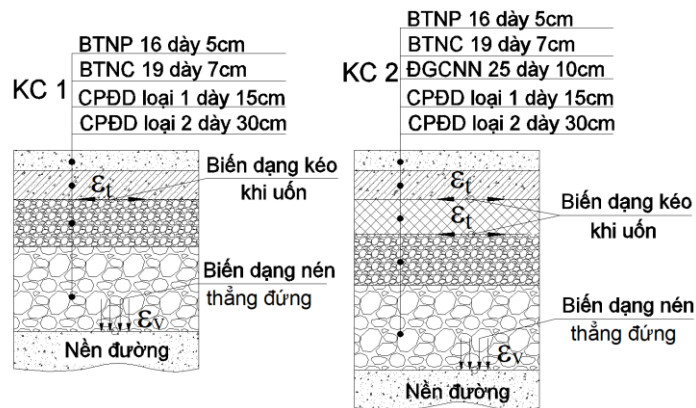
Các nghiên cứu về ảnh hưởng của nhiệt độ đến các đặc tính của lớp BTN đã chỉ ra nhiệt độ có ảnh hưởng đáng kể đến mô đun động của BTN [4, 6-8]. Mô đun động của BTN sẽ giảm khi nhiệt độ tăng lên và ngược lại. Bên cạnh đó, hệ số Poát xông của BTN cũng được chứng minh không phải là hằng số, mà cũng thay đổi theo nhiệt độ [7, 11, 12]. Tiêu chuẩn ПНСТ 542-2021 về thiết kế KCAĐM của Nga [13] cũng đã đề cập đến sự thay đổi của hệ số Poát xông theo nhiệt độ. Tiêu chuẩn này đã xây dựng các toán đồ xác định cường độ chung của hệ kết cấu nền mặt đường có xét đến sự thay đổi của hệ số Poát xông của các lớp vật liệu kết cấu. Ngoài ra, cũng có một số các nghiên cứu về phân bố nhiệt độ theo chiều sâu của KCAĐM được thực hiện bằng thực nghiệm đo đạc ở hiện trường hoặc sử dụng phương pháp số để tính toán [14].

Theo tiêu chuẩn về thiết kế KCAĐM hiện hành ở Việt Nam [15], việc lựa chọn các thông số tính toán và phân tích các kết cấu áo đường có tầng mặt BTN thường chỉ được lấy theo nhiệt độ của lớp mặt BTN trên cùng mà chưa xét đến sự thay đổi nhiệt độ theo chiều sâu của KCAĐM. Vì vậy, việc phân tích ứng xử của KCAĐM xét đến sự thay đổi của mô đun đàn hồi động và hệ số Poát xông động của các lớp BTN/ĐGCN theo phân bố nhiệt độ trong các lớp kết cấu là cần thiết, mang ý nghĩa khoa học và có tính thực tiễn. Các kết quả nghiên cứu của bài báo góp phần đánh giá ảnh hưởng của phân bố nhiệt độ theo chiều sâu kết cấu đến trạng thái ứng suất – biến dạng của KCAĐM.

Biến dạng kéo khi uốn tại đáy của lớp mặt BTN dưới cùng (ϵ_t) và biến dạng thẳng đứng tại đỉnh nền đường (ϵ_v) là các thông số có mối tương quan chặt chẽ với tuổi thọ của kết cấu áo đường (hur hỏng nứt mỏi của các lớp BTN mặt đường và lún của KCAĐM trong quá trình khai thác). Trong bài báo này, các chỉ tiêu này được tính toán trong trường hợp có xét đến sự thay đổi của mô đun động và hệ số Poát xông động theo nhiệt độ và tần số tác dụng tải trọng.

2. LỰA CHỌN KẾT CẤU ÁO ĐƯỜNG MỀM VÀ DẠNG TẢI TRỌNG NGHIÊN CỨU

KCAĐM được lựa chọn để phân tích trong bài báo này gồm 2 kết cấu với các loại vật liệu được sử dụng phổ biến tại các dự án trong những năm gần đây ở Việt Nam (xem Hình 1).



Hình 1. Các KCAĐM sử dụng trong nghiên cứu.

Lớp mặt trên cùng bằng BTN với cấp phối chặt, cỡ hạt lớn nhất danh định 16 mm và

nhựa đường PMB-III (BTNP 16). Lớp mặt dưới bằng BTN với cấp phối chặt, cỡ hạt lớn nhất danh định 19 mm và nhựa đường 60-70 (BTNC 19). Lớp móng trên bằng ĐGCN, cỡ hạt lớn nhất danh định 25 mm và nhựa đường 60-70 (ĐGCN 25) và/hoặc cấp phối đá dăm loại 1 (CPĐĐ loại I). Lớp móng dưới bằng cấp phối đá dăm loại 2 (CPĐĐ loại 2).

Tải trọng tiêu chuẩn sử dụng trong tính toán là trục đơn 10 T với đường kính vệt bánh xe tương đương $D = 33$ cm và áp lực bánh xe lên mặt đường $p = 0,6$ MPa [15].

3. LỰA CHỌN PHẦN MỀM PHÂN TÍCH

Đặc tính đàn nhót tuyến tính của BTN/ĐGCN được đặc trưng bởi hai tham số là mô đun động $|E^*|$ và góc lệch pha φ . Một số phần mềm phân tích ứng suất – biến dạng có xét đến tính chất đàn nhót tuyến tính của vật liệu BTN/ĐGCN thông qua các mô hình mô phỏng như phần mềm 3D-Move (Mỹ) sử dụng mô hình Witzcak và phần mềm Viscoroute (Pháp) sử dụng mô hình Huet-Sayegh [16, 17]. Nghiên cứu này sử dụng phần mềm Viscoroute 2.0 [18] để mô phỏng và tính toán các kết cấu với giả thiết coi KCAĐM là hệ bán không gian nhiều lớp. Kết quả tính toán bằng phần mềm Viscoroute 2.0 đã được đánh giá, so sánh với các phương pháp mô phỏng khác như bằng phương pháp phần tử hữu hạn cũng như bằng các kết quả nghiên cứu thực nghiệm đo đạc ở hiện trường nên có độ tin cậy cao [18, 19]. Mỗi lớp vật liệu được khai báo là đồng nhất và các lớp vật liệu được giả định là dính bám hoàn toàn với nhau. Lớp đất nền và lớp móng cấp phối đá dăm được mô phỏng là đàn hồi và được nhập vào phần mềm thông qua mô đun đàn hồi và hệ số Poát xông (thường được lấy mặc định là 0,35). Trong khi đó, BTN và ĐGCN được mô phỏng là vật liệu đàn nhót tuyến tính thông qua các tham số của mô hình Huet-Sayegh. Phần mềm có thể thiết lập các dạng tải trọng chuyển động khác nhau như tải trọng bánh đơn hay bánh đôi. Ví dụ như có thể khai báo tính toán kết cấu tại vận tốc xe chạy 60 km/h (16,67 m/s), tải trọng trục đơn với áp lực $p = 0,6$ MPa (Lực $F = 51318$ N) tác dụng trên diện tích vòng tròn có đường kính $D = 33$ cm. Đây cũng chính là dạng tải trọng được sử dụng để tính toán. Kết quả đầu ra (ứng suất, biến dạng và chuyển vị) cũng được xác định tại vị trí bất kỳ trong KCAĐM.

4. CÁC THÔNG SỐ CÁC LỚP VẬT LIỆU ÁO ĐƯỜNG VÀ SỰ THAY ĐỔI NHIỆT ĐỘ THEO CHIỀU SÂU CỦA LỚP BTN VÀ ĐGCN

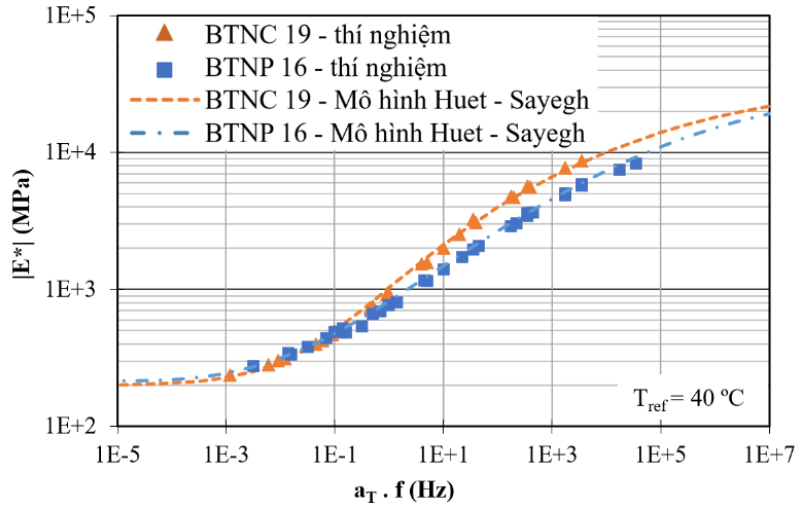
4.1. Thông số vật liệu tính toán

Các thông số đầu vào của vật liệu các lớp kết cấu được thể hiện ở Hình 2, Hình 3 và Hình 4. Các thông số này được tham khảo từ các nghiên cứu trong thời gian gần đây ở Việt Nam [6-8]. Các đường cong đặc trưng thể hiện mối quan hệ giữa mô đun động và hệ số Poát xông động với nhiệt độ và tần số tác dụng lực, từ đó có thể xác định được các thông số này của vật liệu tại các cặp nhiệt độ - tần số bất kỳ.

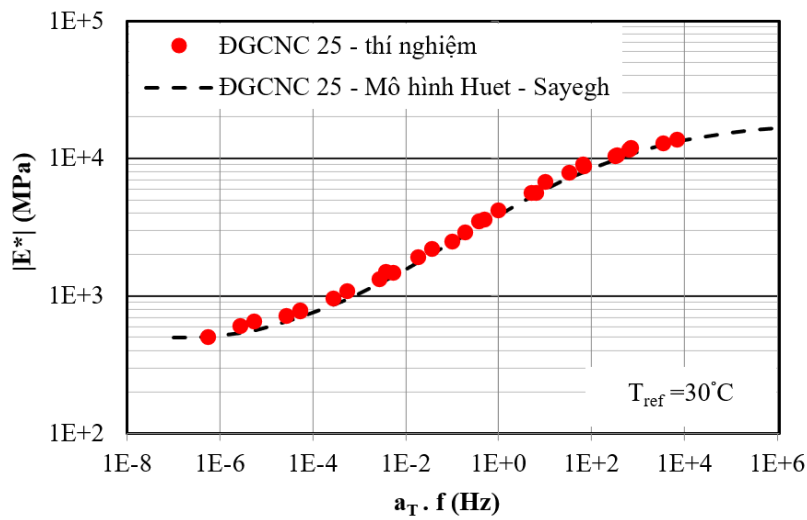
Thông số thể hiện đặc tính đàn nhót tuyến tính của vật liệu BTN và ĐGCN được thể hiện trong Bảng 1. Các thông số này được xác định từ kết quả mô phỏng đường cong đặc trưng của vật liệu bằng mô hình Huet-Sayegh. Thông số của lớp móng cấp phối và đất nền thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 1. Thông số vật liệu của BTN và ĐGCN.

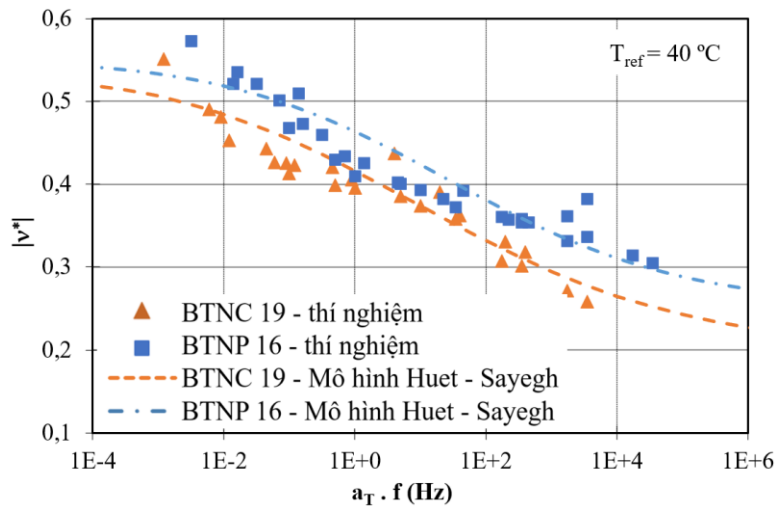
Vật liệu	E_{00} (MPa)	E_0 (MPa)	k	h	δ	A_0	A_1	A_2
BTNP 16	220	30000	0,23	0,44	4,5	2,821	-0,270	-0,00024
BTNC 19	202	32000	0,21	0,51	4,0	0,3	-0,119	-0,00166
ĐGCN 25	500	26000	0,25	0,42	6,60	8,196	-0,234	-0,002



Hình 2. Các đường cong đặc trưng $|E^*|$ của BTNC 16 và BTNC 19.



Hình 3: Đường cong đặc trưng $|E^*|$ của ĐGCN 25.



Hình 4. Đường cong đặc trưng hệ số Poát xông động của BTNC 16 và BTNC 19.

Bảng 2. Thông số vật liệu của lớp móng cấp phối và đất nền.

Các lớp kết cấu	Mô đun đàn hồi (MPa)	Hệ số Poát xông
CPĐĐ loại I	260	0,35
CPĐĐ loại II	220	0,35
Đất nền	42	0,35

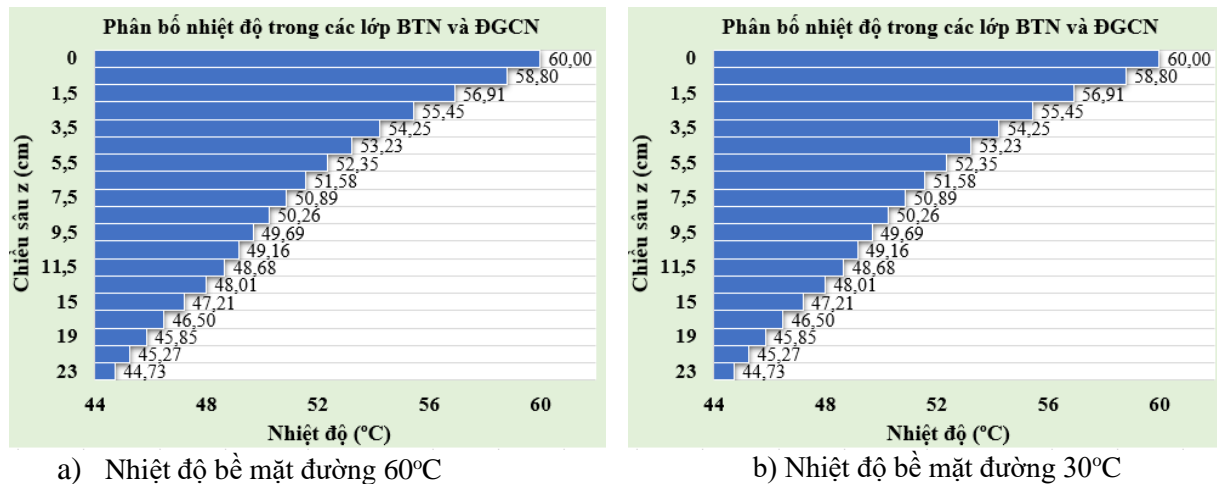
4.2. Sự thay đổi nhiệt độ theo chiều sâu của lớp BTN và ĐGCN

Chương trình nghiên cứu mặt đường dài hạn LTPP (Long-Term Pavement Performance) của Mỹ [20] và tiêu chuẩn ПИСТ 542-2021 của Nga đã đưa ra công thức (1) tính toán phân bố nhiệt độ theo chiều sâu kết cấu áo đường mềm. Trong TCVN 13567-1:2022, công thức này cũng được sử dụng để xác định nhiệt độ bề mặt đường và phân bố nhiệt theo chiều sâu [21]. Do vậy, công thức (1) được sử dụng trong nghiên cứu này để tính toán nhiệt độ theo chiều sâu các lớp BTN và ĐGCN của các kết cấu (KC1 và KC2) với nhiệt độ bề mặt đường (tương ứng với H = 0) lần lượt là 60°C và 30°C.

$$T_{H,pav} = 54,32 + 0,78T_{air} - 0,0025L_{at}^2 - 15,14 \log(H + 25) - Z(9 + 0,61\sigma_{T_{air}})^{0,5} \quad (1)$$

Trong đó: T_{air} – giá trị trung bình nhiệt độ không khí trong 7 ngày cao nhất (°C); L_{at} - vĩ độ của trạm khí tượng lấy dữ liệu nhiệt không khí (độ); H - chiều sâu của vị trí cần xác định nhiệt độ tính từ bề mặt đường (mm); Z - hệ số được xác định phụ thuộc vào độ tin cậy R; $\sigma_{T_{air}}$ - độ lệch chuẩn của 7 ngày có nhiệt độ không khí cao nhất (°C).

Để mô phỏng được sự thay đổi nhiệt độ này trong các lớp BTN và ĐGCN, các lớp vật liệu này được phân chia thành các phân lớp mỏng hơn và xác định nhiệt độ cho các phân lớp đó. Trong nghiên cứu này, các phân lớp có chiều dày 1cm. Nhiệt độ tính toán tại một mỗi phân lớp được tính tại vị trí chính giữa của phân lớp đó. Giả định tính toán cho kết cấu áo đường ở khu vực Hà Nội có $L_{at} = 21$ độ. Kết quả tính toán nhiệt độ theo chiều sâu các lớp BTN và ĐGCN thể hiện ở biểu đồ trên Hình 5.



Hình 5. Phân bố nhiệt độ trong các lớp BTN và ĐGCN theo chiều sâu kết cấu áo đường.

Để xác định mô đun động E^* và hệ số Poát xông động v^* ở các cặp nhiệt độ tính toán và vận tốc xe chạy khác nhau từ các đường cong đặc trưng, tần số tác dụng tải có thể được xác định theo các công thức liên hệ giữa vận tốc xe chạy và tần số. Nghiên cứu này sử dụng công thức (2) từ kết quả của nghiên cứu [22] như sau:

$$f = 0,2187V \quad (2)$$

Trong đó: f - tần số tác dụng tải (Hz); V - vận tốc xe chạy (km/h).

5. CÁC TRƯỜNG HỢP TÍNH TOÁN VÀ PHÂN TÍCH KẾT QUẢ

5.1. Các trường hợp tính toán

Các trường hợp tính toán và phân tích được thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 3. Tổng hợp các bài toán sử dụng trong tính toán và phân tích.

Loại kết cấu áo đường	Tốc độ xe chạy (km/h)	Ảnh hưởng của nhiệt độ theo chiều sâu các lớp BTN	Nhiệt độ bề mặt đường (°C)
KC1	40	TH1 và TH2	30 và 60
	80	TH1 và TH2	30 và 60
KC2	40	TH1 và TH2	30 và 60
	80	TH1 và TH2	30 và 60

Trong đó: TH1 là trường hợp nhiệt độ không đổi theo chiều sâu; TH2 là trường hợp nhiệt độ thay đổi theo chiều sâu các lớp BTN. Các kết quả được tính toán và phân tích là biến dạng kéo tại đáy của lớp mặt BTN dưới cùng (ϵ_t) và biến dạng thẳng đứng tại đỉnh nền đường (ϵ_v) ở vị trí tâm của tải trọng tác dụng (vị trí có giá trị cực trị) trong 2 kết cấu được lựa chọn ở các nhiệt độ bề mặt khác nhau (30°C và 60°C) và ứng với các tốc độ xe chạy khác nhau (40 km/h và 80 km/h).

Hình 6 thể hiện một ví dụ về mô phỏng kết cấu (KC1) tính toán cho trường hợp nhiệt độ thay đổi theo chiều sâu trong lớp BTN (TH2) với nhiệt độ bề mặt của kết cấu là 60 °C trong phần mềm Viscoroute và có tính đến sự thay đổi của hệ số Poát xông động theo nhiệt độ.

	Z (m)	Epais. (m)	Module E (MPa)	Coef. de Poisson	Mas. Vol. (kg/m3)	Type de matériau	Comport.	Type de liaison	Module E0 (MPa)	T (°C)	k (loi H-S)
1	0.010	0.010	30000.00000	0.465	2400.000	autre	Viscoelastique	collée	220.00000	58.800	0.230
2	0.020	0.010	30000.00000	0.460	2400.000	autre	Viscoelastique	collée	220.00000	56.910	0.230
3	0.030	0.010	30000.00000	0.456	2400.000	autre	Viscoelastique	collée	220.00000	55.450	0.230
4	0.040	0.010	30000.00000	0.452	2400.000	autre	Viscoelastique	collée	220.00000	54.250	0.230
5	0.050	0.010	30000.00000	0.449	2400.000	autre	Viscoelastique	collée	220.00000	53.230	0.230
6	0.060	0.010	32000.00000	0.446	2400.000	autre	Viscoelastique	collée	202.00000	52.350	0.210
7	0.070	0.010	32000.00000	0.443	2400.000	autre	Viscoelastique	collée	202.00000	51.580	0.210
8	0.080	0.010	32000.00000	0.441	2400.000	autre	Viscoelastique	collée	202.00000	50.890	0.210
9	0.090	0.010	32000.00000	0.439	2400.000	autre	Viscoelastique	collée	202.00000	50.260	0.210
10	0.100	0.010	32000.00000	0.437	2400.000	autre	Viscoelastique	collée	202.00000	49.690	0.210
11	0.110	0.010	32000.00000	0.435	2400.000	autre	Viscoelastique	collée	202.00000	49.160	0.210
12	0.120	0.010	32000.00000	0.433	2400.000	autre	Viscoelastique	collée	202.00000	48.680	0.210
13	0.270	0.150	276.00000	0.350	2600.000	autre	Elastique	collée	0.00000	0.000	0.000
14	0.570	0.300	240.00000	0.350	2600.000	autre	Elastique	collée	0.00000	0.000	0.000
15		infini	44.00000	0.350	1800.000	autre	Elastique	collée	0.00000	0.000	0.000

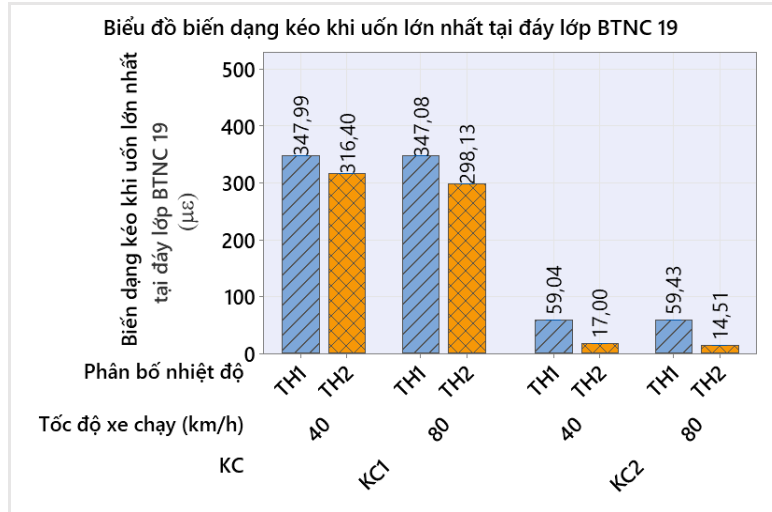
Hình 6. Mô phỏng kết cấu bằng phần mềm Viscoroute 2.0.

5.2. Kết quả và phân tích

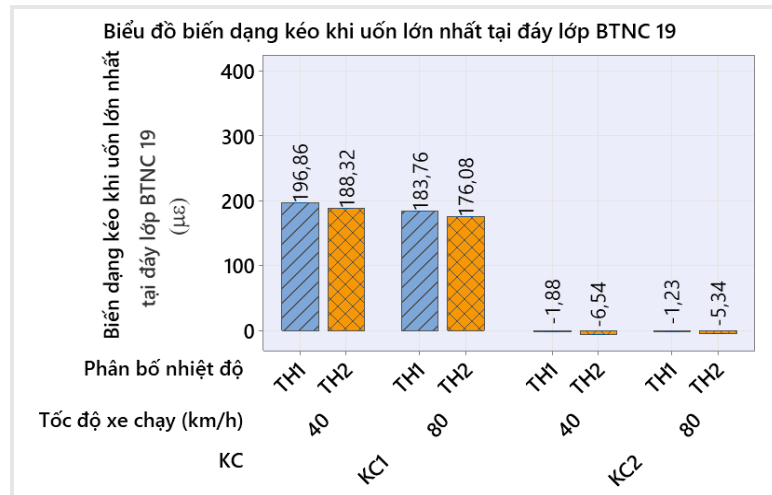
Các kết quả tính toán biến dạng kéo khi uốn lớn nhất tại đáy của lớp mặt BTN dưới cùng (ϵ_t) và biến dạng thẳng đứng lớn nhất tại đỉnh nền đường (ϵ_v) được thể hiện ở từ Bảng 4 đến Bảng 6 và các biểu đồ từ Hình 7 đến Hình 11.

Bảng 4. Kết quả tính toán biến dạng kéo khi uốn lớn nhất (ϵ_i) tại đáy của lớp BTNC 19.

Kết cấu áo đường	Vận tốc xe chạy (km/h)	Biến dạng kéo khi uốn lớn nhất tại đáy lớp BTNC 19 ($\mu\epsilon$)			
		Nhiệt độ bề mặt (30°C)		Nhiệt độ bề mặt (60°C)	
		TH1: Nhiệt độ không đổi theo chiều sâu	TH2: Nhiệt độ thay đổi theo chiều sâu	TH1: Nhiệt độ không đổi theo chiều sâu	TH2: Nhiệt độ thay đổi theo chiều sâu
KC1	40	196,86	188,32	347,99	316,40
KC1	80	183,76	176,08	347,08	298,13
KC2	40	-1,88	-6,54	59,04	17,00
KC2	80	-1,23	-5,34	59,43	14,51



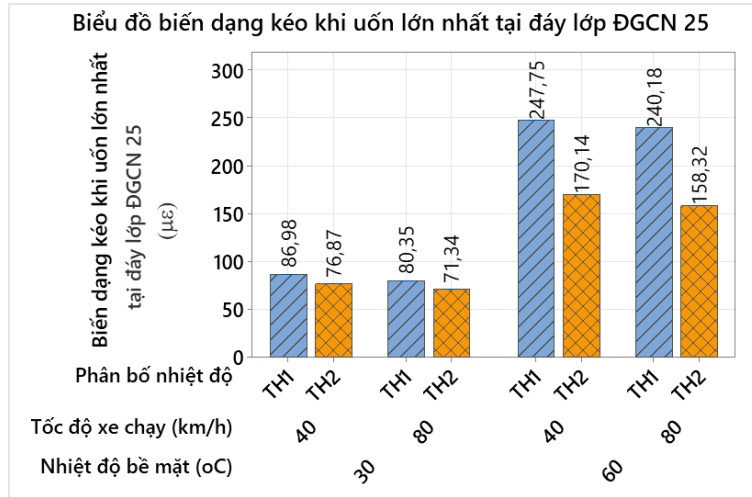
Hình 7. Biến dạng kéo khi uốn lớn nhất tại đáy lớp BTNC 19 với nhiệt độ bề mặt đường 60°C.



Hình 8. Biến dạng kéo khi uốn lớn nhất tại đáy lớp BTNC 19 với nhiệt độ bề mặt đường 30°C.

Bảng 5. Kết quả tính toán biến dạng kéo khi uốn lớn nhất (ϵ_i) tại đáy của lớp ĐGCN 25.

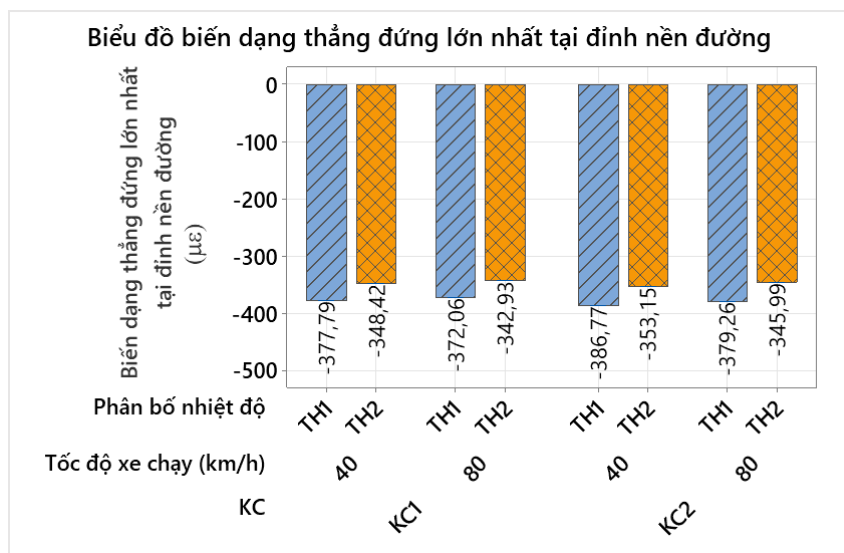
Kết cấu áo đường	Vận tốc xe chạy (km/h)	Biến dạng kéo khi uốn lớn nhất tại đáy lớp ĐGCN 25 ($\mu\epsilon$)			
		Nhiệt độ bề mặt (30°C)		Nhiệt độ bề mặt (60°C)	
		TH1: Nhiệt độ không đổi theo chiều sâu	TH2: Nhiệt độ thay đổi theo chiều sâu	TH1: Nhiệt độ không đổi theo chiều sâu	TH2: Nhiệt độ thay đổi theo chiều sâu
KC2	40	86,98	76,87	247,75	170,14
KC2	80	80,35	71,34	240,18	158,32



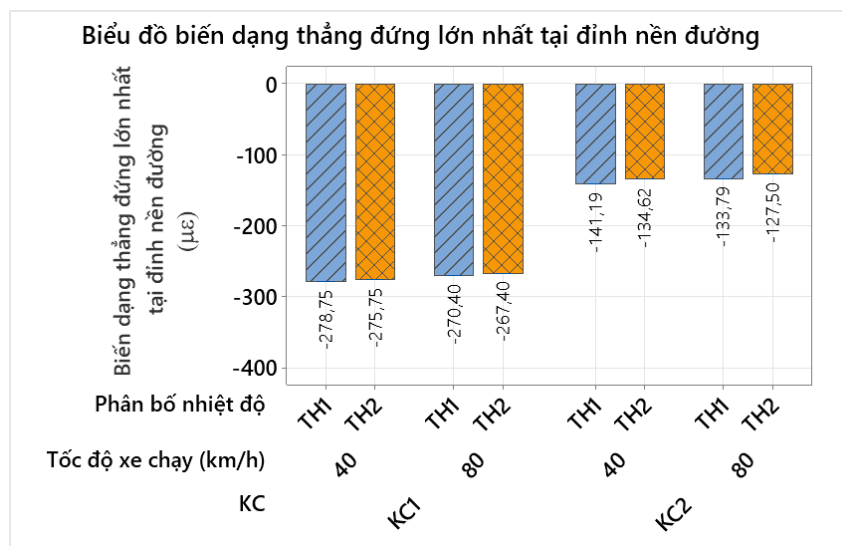
Hình 9. Biến dạng kéo khí uốn lớn nhất tại đáy lớp ĐGCN 25.

Bảng 6. Kết quả tính toán biến dạng thẳng đứng (ϵ_v) tại đỉnh của nền đường.

Kết cấu áo đường	Vận tốc xe chạy (km/h)	Biến dạng thẳng đứng (ϵ_v) tại đỉnh của nền đường ($\mu\epsilon$)			
		Nhiệt độ bề mặt (30°C)		Nhiệt độ bề mặt (60°C)	
		TH1: Nhiệt độ không đổi theo chiều sâu	TH2: Nhiệt độ thay đổi theo chiều sâu	TH1: Nhiệt độ không đổi theo chiều sâu	TH2: Nhiệt độ thay đổi theo chiều sâu
KC1	40	-278,75	-275,75	-377,79	-348,42
KC1	80	-270,40	-267,40	-372,06	-342,93
KC2	40	-141,19	-134,62	-386,77	-353,15
KC2	80	-133,79	-127,50	-379,26	-345,99



Hình 10. Biến dạng thẳng đứng lớn nhất tại đỉnh nền đường với nhiệt độ bề mặt đường 60°C.



Hình 11. Biến dạng thẳng đứng lớn nhất tại đỉnh nền đường với nhiệt độ bề mặt đường 30°C.

So sánh biến dạng kéo khi uốn lớn nhất tại đáy của lớp BTNC 19 và đáy lớp ĐGCN 25 cũng như biến dạng thẳng đứng lớn nhất tại đỉnh nền đường đối với KC1 và KC2 trong 2 trường hợp không xem xét (TH1) và có xem xét (TH2) ảnh hưởng của phân bố nhiệt độ trong kết cấu đến các thông số đầu vào của các lớp kết cấu thấy rằng:

- Biến dạng kéo khi uốn lớn nhất tại đáy lớp BTNC 19 và ĐGCN 25 có xu hướng giảm trong TH2. Cụ thể như sau:

+ Trường hợp nhiệt độ bề mặt đường là 60°C, mức độ giảm của biến dạng kéo lớn nhất tại đáy lớp BTNC 19 của KC1 là 6,8% và 12,6% tương ứng với tốc độ xe chạy lần lượt là 40 km/h và 80 km/h. Cũng ở nhiệt độ này, KC2 có mức độ giảm biến dạng kéo lớn nhất tại đáy lớp BTNC 19 lần lượt là 9,1% và 14,1% tương ứng với tốc độ xe chạy 40 km/h và 80 km/h.

+ Khi nhiệt độ bề mặt đường là 30°C, biến dạng kéo lớn nhất tại đáy lớp BTNC 19 của KC1 có mức độ giảm ít hơn so với trường hợp nhiệt độ mặt đường 60°C. Mức độ giảm biến dạng kéo chỉ vào khoảng 4% với cả trường hợp tốc độ xe chạy 40 km/h và 80 km/h. Đối với KC2, ở nhiệt độ 30°C, vùng đáy của lớp BTNC 19 chịu nén thay vì chịu kéo như KC1.

+ Với nhiệt độ bề mặt đường 60°C, mức độ giảm biến dạng kéo tại đáy lớp ĐGCN 25 của KC2 lần lượt là 31,3% và 34,1% tương ứng với tốc độ xe chạy 40 km/h và 80 km/h, trong khi đó mức độ giảm khi nhiệt độ bề mặt đường là 30°C chỉ còn 11,6% và 11,2% tương ứng với tốc độ xe chạy 40 km/h và 80 km/h.

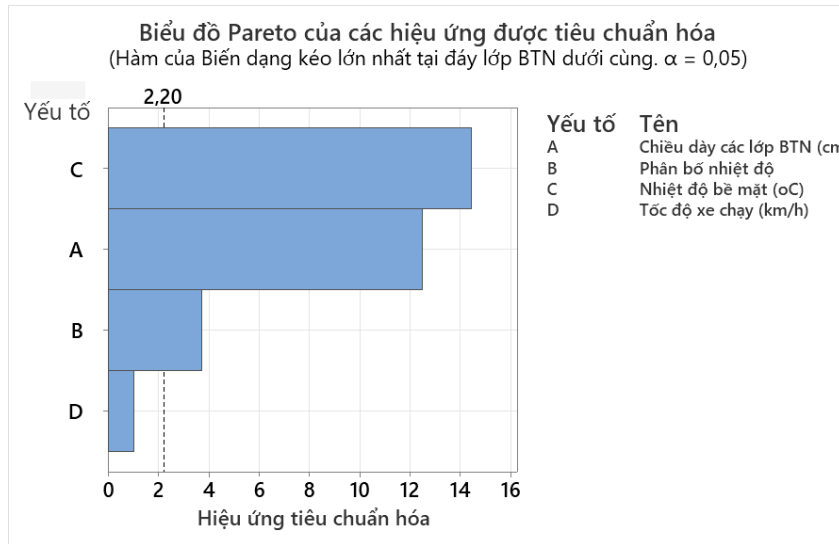
- Biến dạng thẳng đứng lớn nhất tại đỉnh nền đường giảm từ 7,8 – 8,8% đối với cả KC1, KC2 khi nhiệt độ bề mặt đường 60°C và tốc độ xe chạy từ 40 – 80 km/h. Trong khi đó, nếu nhiệt độ bề mặt đường là 30°C thì mức độ giảm chỉ còn khoảng 1,0% đối với KC1 và 4,7% đối với KC2 tương ứng với tốc độ xe chạy 40 km/h và 80 km/h.

Để đánh giá mức độ ảnh hưởng của các yếu tố như tổng chiều dày các lớp BTN và ĐGCN, phân bố nhiệt độ theo chiều sâu, nhiệt độ bề mặt đường và tốc độ xe chạy đến biến dạng kéo lớn nhất tại đáy của lớp BTN/ĐGCN dưới cùng và biến dạng thẳng đứng lớn nhất tại đỉnh nền đường của KC1 và KC2, sử dụng phần mềm Minitab19.1 quy

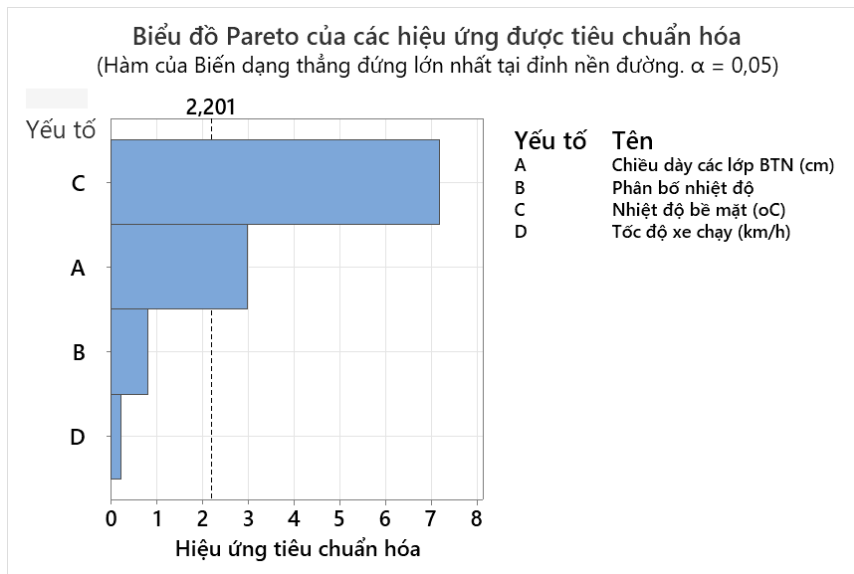
hoạch thực nghiệm (DOE) hai mức đầy đủ $2^k=2^4=16$ lần phân tích kết cấu. Tiến hành phân tích thống kê mức độ ảnh hưởng của các thông số đến hàm đầu ra là biến dạng kéo lớn nhất tại đáy lớp BTN/ĐGCN dưới cùng và biến dạng thẳng đứng lớn nhất tại đỉnh nền đường. Chọn các mức thấp và mức cao của các thông số phân tích như ở Bảng 7.

Bảng 7. Các thông số đầu vào sử dụng trong phân tích độ nhạy.

TT	Tên thông số	Đơn vị	Mức thấp	Mức cao
1	Chiều dày các lớp BTN và ĐGCN	cm	12	22
2	Phân bố nhiệt độ theo chiều sâu		TH1	TH2
3	Nhiệt độ bề mặt đường	°C	30	60
4	Tốc độ xe chạy	Km/h	40	80

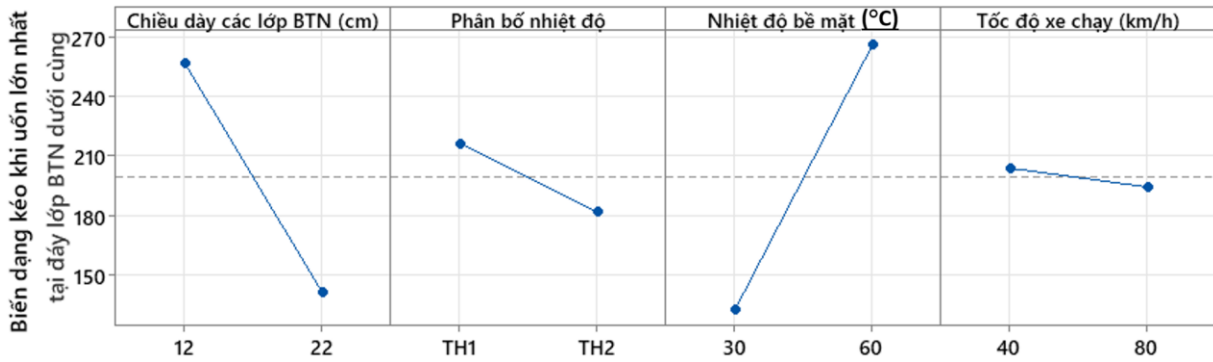


Hình 12. Biểu đồ Pareto các thông số ảnh hưởng đến biến dạng kéo lớn nhất tại đáy lớp BTN/ĐGCN dưới cùng.



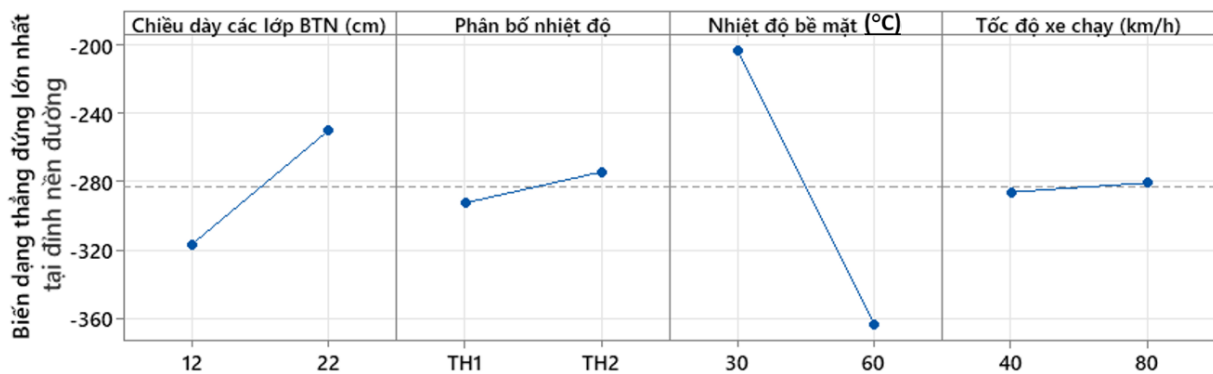
Hình 13. Biểu đồ Pareto các thông số ảnh hưởng đến biến dạng thẳng đứng lớn nhất tại đỉnh nền đường.

Biểu đồ các yếu tố ảnh hưởng đến biến dạng kéo khi uốn lớn nhất tại đáy lớp BTN dưới cùng



Hình 14. Biểu đồ đánh giá ảnh hưởng của các thông số đến biến dạng kéo khi uốn lớn nhất tại đáy lớp BTN/ĐGCN dưới cùng.

Biểu đồ các yếu tố ảnh hưởng đến biến dạng thẳng đứng lớn nhất tại đỉnh nền đường



Hình 15. Biểu đồ đánh giá ảnh hưởng của các thông số đến biến dạng thẳng đứng lớn nhất tại đỉnh nền đường.

Từ các biểu đồ Hình 12, Hình 13, Hình 14 và Hình 15, có thể thấy rằng thông số ảnh hưởng nhiều nhất đến biến dạng kéo khi uốn lớn nhất tại đáy lớp BTN dưới cùng là tổng chiều dày các lớp BTN và nhiệt độ trên bề mặt đường. Các thông số phân bố nhiệt độ và tốc độ xe chạy lần lượt có mức độ ảnh hưởng giảm dần đối với biến dạng kéo khi uốn lớn nhất tại đáy lớp BTN dưới cùng. Có thể thấy rằng sự thay đổi nhiệt độ theo chiều sâu kết cấu áo đường mềm có ảnh hưởng khá rõ đến biến dạng kéo lớn nhất tại đáy lớp BTN/ĐGCN dưới cùng và biến dạng thẳng đứng lớn nhất tại đỉnh nền đường.

Để xét riêng ảnh hưởng của hệ số Poát xông của các lớp BTN đến trạng thái ứng suất – biến dạng trong KCAĐ, tiến hành tính toán và so sánh biến dạng kéo lớn nhất tại đáy lớp BTNC 19 và biến dạng thẳng đứng lớn nhất tại đỉnh nền đường của KC1 trong 2 trường hợp sau:

- Hệ số Poát xông của các lớp BTN lấy bằng hằng số và bằng 0,35;
- Hệ số Poát xông của các lớp BTN thay đổi theo nhiệt độ của chúng.

Trong cả 2 trường hợp, bài toán được tính toán với tốc độ xe chạy 40 km/h và nhiệt

độ bề mặt lần lượt là 30°C và 60°C. Kết quả tính toán biến dạng kéo lớn nhất tại đáy lớp BTNC 19 và biến dạng thẳng đứng lớn nhất tại đỉnh nền đường thể hiện trong Bảng 8.

Bảng 8. Kết quả tính toán biến dạng kéo lớn nhất (ϵ_t) và biến dạng thẳng đứng lớn nhất (ϵ_v) tại đỉnh của nền đường xét đến sự thay đổi hệ số Poát xông theo nhiệt độ.

Chỉ tiêu	Kết cấu áo đường	Vận tốc xe chạy (km/h)	Nhiệt độ bề mặt (°C)			
			Nhiệt độ bề mặt (30°C)		Nhiệt độ bề mặt (60°C)	
			Hệ số Poát xông không đổi = 0,35	Hệ số Poát xông của BTN xác định theo nhiệt độ	Hệ số Poát xông không đổi = 0,35	Hệ số Poát xông của BTN xác định theo nhiệt độ
Biến dạng kéo tại đáy lớp BTNC 19 ($\mu\epsilon$)	KC1	40	189,06	189,43	302,08	316,15
Biến dạng thẳng đứng tại đỉnh nền ($\mu\epsilon$)	KC1	40	- 275,89	- 275,92	- 358,50	- 348,24

Kết quả tính toán chỉ ra rằng ở nhiệt độ bề mặt đường là 60°C, biến dạng kéo lớn nhất tại đáy của lớp BTNC 19 tăng lên 4,66% và biến dạng nén thẳng đứng lớn nhất tại đỉnh nền đường giảm đi 2,86% trong trường hợp hệ số Poát xông lấy theo nhiệt độ của lớp BTN. Trường hợp nhiệt độ bề mặt là 30°C, sự khác nhau giữa 2 trường hợp trên là không đáng kể. Điều này có thể giải thích là ở nhiệt độ cao (60°C), hệ số Poát xông của BTN khá cao (xấp xỉ 0,5), thường cao hơn nhiều so với giá trị thường được sử dụng trong tính toán (0,35).

6. KẾT LUẬN

Các tính toán trong bài báo được thực hiện có xét đến ứng xử đàn hồi nhớt của các vật liệu bê tông nhựa. Trên cơ sở các kết quả tính toán và phân tích biến dạng kéo khi uốn lớn nhất tại đáy của lớp BTN/ĐGCN dưới cùng và biến dạng thẳng đứng lớn nhất tại đỉnh nền đường của 2 kết cấu áo đường mềm điển hình (KC1 và KC2) có xét đến tốc độ dòng xe ($V=40$ km/h và $V=80$ km/h), có thể rút ra một số các kết luận sau:

- Ảnh hưởng của sự thay đổi nhiệt độ trong KCAĐM đến biến dạng kéo khi uốn lớn nhất tại đáy của lớp BTN/ĐGCN dưới cùng và biến dạng thẳng đứng lớn nhất tại đỉnh nền ít hơn so với ảnh hưởng của thay đổi nhiệt độ bề mặt và chiều dày các lớp BTN/ĐGCN trong kết cấu.

- Với kết cấu áo đường mềm có tổng chiều dày các lớp BTN/ĐGCN lớn (KC2), mức độ ảnh hưởng của sự thay đổi nhiệt độ trong kết cấu đến biến dạng kéo khi uốn lớn nhất tại đáy của lớp BTN/ĐGCN dưới cùng khá lớn. Đặc biệt là trường hợp nhiệt độ bề mặt đường cao (60°C) và tốc độ xe chạy cao (80 km/h), giá trị biến dạng kéo khi uốn lớn nhất tại đáy lớp ĐGCN của KC2 giảm đến 34% khi xét đến sự thay đổi nhiệt độ trong kết cấu.

- Phân bố nhiệt độ trong các lớp vật liệu của KCAĐM có ảnh hưởng đối với biến dạng thẳng đứng lớn nhất tại đỉnh nền đường ít hơn so với biến dạng kéo lớn nhất tại đáy các lớp BTN/ĐGCN dưới cùng. Mức độ giảm biến dạng thẳng đứng lớn nhất tại đỉnh nền đường với trường hợp nhiệt độ bề mặt đường 60°C lớn hơn so trường hợp nhiệt độ mặt đường 30°C.

- Hệ số Poát xông có ảnh hưởng đến tính toán biến dạng kéo khi uốn lớn nhất tại đáy các lớp BTN/ĐGCN và biến dạng thẳng đứng lớn nhất tại đỉnh nền đường ở nhiệt độ cao (60°C), còn nhiệt độ trung bình (30°C) thì mức độ ảnh hưởng không đáng kể.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. S.F. Brown, J.W. Pappin, Analysis of Pavements with Granular Bases, Transportation Research Record, No. 810, Transportation Research Board, National Research Council, Washington, DC, (1981) 17-23.
- [2]. M.R. Thompson, R.P. Elliott, ILLI-PAVE-Based Response Algorithms for Design of Conventional Flexible Pavements, Transportation Research Record, (1985) 50-57.
- [3]. G.D. Airey, R. B, A. Collop, Viscoelastic linearity limits for bituminous materials, Materials and Structures, 36 (2003) 643-647. <http://10.1007/BF02479495>
- [4]. H.D. Benedetto, F. Olard, C. Sauzéat, B. Delaporte, Linear viscoelastic behavior of bituminous materials: from binders to mixes, Road Materials and Pavement Design, 5 (2004) 163-202. <https://doi.org/10.1080/14680629.2004.9689992>
- [5]. Nguyễn Hồng Hải, Trần Thị Thu Thảo, Hoàng Văn Tĩnh, Tôn Thất Bảo Nam, Huỳnh Ngọc Hùng, Phân bố nhiệt trong mặt đường bê tông nhựa: Thực nghiệm và mô phỏng số, Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng, 20 (2022). <https://jst-ud.vn/jst-ud/article/view/7778>
- [6]. Trần Danh Hội, Dự báo mô đun phức động của hỗn hợp đá – nhựa chặt từ tính chất lưu biến của nhựa đường, Tạp chí Giao thông vận tải tháng, số tháng 5/2018 (2018).
- [7]. Bùi Văn Phú, Nguyễn Quang Tuấn, Nguyễn Quang Phúc, Nghiên cứu thực nghiệm hệ số Poát xông phức động của một số loại bê tông nhựa ở Việt Nam, Tạp chí Khoa học Giao thông vận tải, 72 (2021) 1082-1096. <https://doi.org/10.47869/tcsj.72.9.7>
- [8]. Bùi Văn Phú, Nghiên cứu ứng xử cơ học của vật liệu và kết cấu áo đường mềm dưới tác dụng của tải trọng động trong điều kiện Việt Nam, Luận án tiến sĩ, Trường Đại học Giao thông vận tải, 2024.
- [9]. Q.T. Nguyen, H.D. Benedetto, Q.P. Nguyen, T.T.N. Hoang, V.P. Bui, Effect of time–temperature, strain level and cyclic loading on the complex Poisson’s ratio of asphalt mixtures, Construction and Building Materials, 294 (2021). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123564>
- [10]. Q. Xue, L. Liu, Y. Zhao, Y.-J. Chen, J.-S. Li, Dynamic behavior of asphalt pavement structure under temperature-stress coupled loading, Applied thermal engineering, 53 (2013) 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2012.10.055>
- [11]. H.D. Benedetto, B. Delaporte, C. Sauzéat, Three-dimensional linear behavior of bituminous materials: experiments and modeling, Int. J. Geomech, 7 (2007) 149-157. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1532-3641\(2007\)7:2\(149\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1532-3641(2007)7:2(149))
- [12]. Q.T. Nguyen, H.D. Benedetto, C. Sauzéat, M.L. Nguyen, T.T.N. Hoang, 3D complex modulus tests on bituminous mixture with sinusoidal loadings in tension and/or compression, Materials and Structures, 50 (2017) 98. <https://doi.org/10.1617/s11527-016-0970-x>
- [13]. ПНСТ 542 – 2021, Дороги автомобильные общего пользования НЕЖЕСТКИЕ ДОРОЖНЫЕ ОДЕЖДЫ Правила проектирования (Automobile roads of general use. Flexible pavement. Design rules), 2021.
- [14]. Y. Zheng, Y. Cai, Y. Zhang, Study on Temperature Field of Asphalt Concrete Pavement, Emerging Technologies for Material, Design, Rehabilitation, and Inspection of Roadway Pavements, 2012. [https://doi.org/10.1061/47629\(408\)33](https://doi.org/10.1061/47629(408)33)
- [15]. Bộ Giao thông Vận tải, TCCS 38 : 2022/TCĐBVN - Áo đường mềm - Các yêu cầu và chỉ dẫn thiết kế, 2022.
- [16]. F. Olard, H.D. Benedetto, General 2S2P1D model and relation between the linear viscoelastic behaviors of bituminous binders and mixes, Road Materials and Pavement Design, 4 (2003) 185-224. <https://doi.org/10.1080/14680629.2003.9689946>
- [17]. G. Sayegh, Contribution à l'étude des propriétés viscoélastiques des bitumes purs et des bétons bitumineux, Sorbonne University, France, 1965.

- [18]. A. Chabot, O. Chupin, L. Deloffre, D. Duhamel, ViscoRoute 2.0 A Tool for the Simulation of Moving Load Effects on Asphalt Pavement, Road Materials and Pavement Design, 11 (2010) 227-250. <https://doi.org/10.1080/14680629.2010.9690274>
- [19]. A. Loft, Evaluation de Viscoroute-v1 pour l'étude de quelques chaussées souples, 2005.
- [20]. R. Ahmad, J.R. Menendez, N. Kargah-Ostadi, Long-Term Pavement Performance Bind Online User Guide, FHWA-HRT-17-010, Federal Highway Administration, 2017.
- [21]. Bộ Khoa học Công nghệ, TCVN 13567-1 : 2022 - Lớp mặt đường bằng hỗn hợp nhựa nóng-Thi công và nghiệm thu - Phần 1: Bê tông nhựa chặt sử dụng nhựa đường thông thường, 2022.
- [22]. H. Cheng, L. Liu, L. Sun, Y. Li, Y. Hu, Comparative analysis of strain-pulse-based loading frequencies for three types of asphalt pavements via field tests with moving truck axle loading, Construction and Building Materials, 247 (2020). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118519>