

Nghiên cứu ảnh hưởng của nhiệt độ do biến đổi khí hậu đối với tuyến đường bộ ven biển tại tỉnh Kiên Giang

Research on the effects of temperature due to climate change on coastal roads in Kien Giang province

> LÊ HOÀNG SƠN^{1,2}, NGÔ THỊ THANH HƯƠNG¹, VÕ NHẬT LUÂN³

¹Trường Đại học Công nghệ giao thông vận tải, Email: sonlh@utt.edu.vn; huongntt@utt.edu.vn

²Trường Đại học Kiên Giang, Email: lhson@vnkgu.edu.vn

³Trường Đại học Văn Hiến, Email: luanvn@vhu.edu.vn

TÓM TẮT

Biến đổi khí hậu (BĐKH) và nước biển dâng (NBD) đã, đang diễn ra trên phạm vi toàn cầu. Nhân loại đã phải đương đầu với nhiều hệ lụy từ các hiện tượng thời tiết cực đoan xuất hiện nhiều hơn với cường độ mạnh hơn. Nhiều nghiên cứu cho thấy Việt Nam là một trong ba quốc gia bị ảnh hưởng nặng nề của BĐKH chịu thiệt hại tương đương (6 ÷ 7)% GDP mỗi năm, tỉnh Kiên Giang là địa phương nằm sát cực mũi của đất nước, có hơn 200 km đường bờ biển, hệ thống các công trình đường bộ thuộc vùng ven biển trong tỉnh hàng năm chịu thiệt hại hàng trăm tỷ đồng do tác động của các hiện tượng thời tiết cực đoan bất lợi. Bài báo trình bày nghiên cứu về xác định bộ chỉ số đánh giá rủi ro, tính dễ bị tổn thương (TDBTT) của công trình đường bộ ven biển trong thời gian vận hành do tác động của BĐKH, tập trung vào loại hình hiểm họa: Hư hỏng mặt đường do gia tăng tần suất nhiệt độ cực trị. Kết quả này cho thấy bức tranh cấp độ rủi ro, TDBTT của tuyến đường theo từng đơn vị không gian và cung cấp cho các đơn vị quản lý vận hành khai thác và bảo trì đường bộ bức tranh mức độ rủi ro, dễ bị tổn thương, các khuyến nghị để tăng cường khả năng chống chịu của công trình đối với hiểm họa liên quan đến thay đổi nhiệt độ cực trị trong quá trình quản lý khai thác.

Từ khóa: Tính dễ bị tổn thương đường bộ; rủi ro; biến đổi khí hậu; hư hỏng mặt đường; thời tiết cực đoan.

ABSTRACT

Climate change and sea level rise have been happening globally. Humanity has had to deal with many consequences from extreme weather phenomena that appear more frequently and with greater intensity. Many studies show that Vietnam is one of the three countries heavily affected by climate change, suffering losses equivalent to (6÷7)% of GDP each year. Kien Giang province is located at the tip of the country, with more than 200 km of coastline, the system of road works in the coastal area in the province annually suffers hundreds of billions of VND in damage due to the impact of adverse extreme weather phenomena. This article presents a study on determining a set of risk assessment indicators, the vulnerability of coastal road works during operation due to the impact of climate change, focusing on the type of hazard: Road surface damage due to increased frequency of extreme temperatures. This result shows the picture of the risk level and vulnerability of the route according to each spatial unit and provides the units managing, operating, exploiting and maintaining the road with a picture of the risk level and vulnerability, recommendations to enhance the resilience of the construction to the hazards related to extreme temperature changes during the exploitation management process

Keywords: Road vulnerability; risk; climate change; coastal road; extreme weather.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Tỉnh Kiên Giang là địa phương nằm sát cực mũi của đất nước Việt Nam, có hơn 200 km đường bờ biển, với hơn 137 hòn, đảo lớn nhỏ có nhân dân sinh sống, trong đó lớn nhất là đảo Phú Quốc có diện tích 589 km². Tổng chiều dài mạng lưới giao thông đường bộ trên địa bàn tỉnh khoảng 12.047 km, tỷ lệ cứng hóa toàn mạng đạt 72,9%, bao gồm, tuyến đường bộ ven biển có tổng chiều dài khoảng 244,5 km, điểm đầu

tại TP Hà Tiên; điểm cuối giáp ranh tỉnh Cà Mau, hiện trạng mặt đường theo từng đoạn tuyến có cấu tạo bằng bê tông asphalt, bê tông xi măng và láng nhựa, chiều rộng mặt đường từ 7,0 m đến 12 m, chiều rộng nền rộng từ 12,0 m đến 17 m, nền đường thuộc loại nền đường đắp chiếm tỷ lệ trên 95% chiều dài tuyến [1].

BĐKH và NBD đã, đang diễn ra trên phạm vi toàn cầu. Nhân loại đã phải đương đầu với nhiều hệ lụy từ hiện tượng nóng lên của trái đất,

mức NBD và các hiện tượng thời tiết cực đoan. Hệ thống các công trình đường bộ nói chung và tuyến đường bộ trong vùng ven biển nói riêng là những đối tượng nhạy cảm và chịu tác động ảnh hưởng lớn của BĐKH và NBD. Tần suất, cường độ xuất hiện thiên tai ngày một gia tăng, biến đổi tăng yếu tố nhiệt độ cực trị, tạo nên các mối đe dọa đến chất lượng quản lý vận hành khai thác và bảo trì, gây suy giảm tuổi thọ, đẩy nhanh tốc độ hư hỏng, gia tăng kinh phí sửa chữa, tạo áp lực lớn đến nguồn lực ngân sách còn hạn chế của tỉnh cho công tác đảm bảo vận chuyển hàng hóa, hành khách thông suốt, êm thuận, an toàn, thúc đẩy phát triển kinh tế biển, cơ động trong các tình huống thiên tai, an ninh quốc phòng [2].

Để giải quyết thỏa đáng các tác động của BĐKH đối với đường bộ trong quá trình vận hành, các chiến lược thích ứng ở Việt Nam đã được đề ra [3, 4], yêu cầu tổ chức thực hiện đánh giá tác động, TDBTT, rủi ro, tổn thất và thiệt hại do BĐKH. Kết quả đánh giá TDBTT, rủi ro cung cấp cho các chuyên gia quản lý xây dựng nói chung, quản lý khai thác công trình, các nhà hoạch định chính sách bức tranh tổng quan về rủi ro khí hậu, TDBTT và các khuyến nghị giải pháp quản lý tài sản, vận hành khai thác và bảo trì để tăng cường khả năng thích ứng của công trình đối với các hiểm họa do BĐKH gây ra.

Trong bài báo này, nhóm tác giả trình bày kết quả nghiên cứu về xác định bộ chỉ số đánh giá rủi ro, TDBTT do BĐKH đối với tuyến đường bộ khu vực ven biển tỉnh Kiên Giang, tập trung vào loại hình hiểm họa gia tăng nhiệt độ cực trị do BĐKH. Đánh giá mức độ rủi ro, TDBTT theo phương pháp "Chỉ số" bao gồm các biến: Hiểm họa (H); Mức độ phơi bày (E); Mức độ nhạy cảm (S) và khả năng thích ứng (AC).

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU BỘ CHỈ SỐ ĐÁNH GIÁ RỦI RO, TDBTT CỦA TUYẾN ĐƯỜNG BỘ VEN BIỂN DO BĐKH

2.1. Ảnh hưởng của nhiệt độ môi trường đến chất lượng tài sản đường bộ

Nhiệt độ không khí cao nhất của tỉnh Kiên Giang trong thời kỳ cơ sở từ năm 1986 đến năm 2005 là 34°C, thấp nhất 21,5°C, nhiệt độ không khí cao nhất theo số liệu do đạc tại Trạm Rạch Giá thời kỳ 1992÷2022 là 37°C, nhiệt độ thấp nhất 17°C [5]. Theo kịch bản BĐKH RCP 8,5 đến nửa thế kỷ nhiệt độ cao nhất tăng 4,7°C so với thời kỳ cơ sở, cho thấy nhiệt độ không khí có thể đạt mức 38,7°C [6].

Kết cấu mặt đường bê tông asphalt (BTN), láng nhựa chiếm tỷ lệ trên 80% diện tích mặt đường ở khu vực Nam bộ [7] trong đó có tỉnh Kiên Giang. Mặt đường BTN thông thường sau khoảng thời gian đưa vào sử dụng xuất hiện hư hỏng phổ biến như: Xô dòn nhựa, hằn lún vệt bánh xe, nứt dọc, nứt dạng hình lưới, bong bật ổ gà, từ đó gây suy giảm giá trị tài sản đường bộ và ảnh hưởng rất lớn đến công tác quản lý vận hành đảm bảo yêu cầu giao thông êm thuận, thông

suốt, an toàn, quản lý giải pháp ứng dụng công nghệ, vật liệu thích ứng với nhiệt độ cao cực trị do BĐKH trong quá trình bảo trì công trình. Nhiều yếu tố tác động vào mặt đường gây ra các hư hỏng, trong đó có nguyên nhân do nhiệt độ mặt đường cao hơn giới hạn nhiệt độ hóa mềm của loại nhựa sử dụng xây dựng mặt đường, phổ biến từ 46°C÷55°C. Khi tải trọng tác động tại thời điểm nhiệt độ mặt đường cao, tạo ra hư hỏng do cường độ chịu nén và khả năng chống biến dạng của lớp BTN suy giảm, đối với kết cấu áo đường có lớp mặt là BTN được thiết kế theo tiêu chuẩn 22TCN211-06[8] hoặc tiêu chuẩn TCCS 38: 2022/TCĐBVN, khi tính toán sử dụng giá trị mô đun đàn hồi của vật liệu BTN ở mức nhiệt độ 30°C và 60°C. Tuy nhiên, trong quá trình vận hành, có thể dự báo nhiệt độ mặt đường BTN cao nhất trên địa bàn tỉnh Kiên Giang từ (63÷75)°C phụ thuộc vào nhiệt độ không khí, số lượng trục xe tiêu chuẩn tích lũy và vận tốc khai thác bình quân [9]. Điều này cho thấy tính rủi ro, dễ bị tổn thương đối với mặt đường BTN từ hiểm họa tăng nhiệt độ cực trị do BĐKH là hiện hữu với mức độ khác nhau theo từng đơn vị không gian trong tỉnh.

2.2. Phương pháp chỉ số đánh giá rủi ro, TDBTT do gia tăng nhiệt độ cực trị đối với đường bộ

Tính dễ bị tổn thương (V) là xu hướng công trình bị ảnh hưởng tiêu cực do tác động của BĐKH, rủi ro (R) là sản phẩm của khả năng xảy ra và hậu quả. Đại lượng V và R được đánh giá định lượng theo công thức (1) và (2) thông qua các bộ chỉ số (E, S, AC) dựa trên nhiều bộ chỉ thị làm nền TDBTT của một đối tượng xem xét [4]. Phương pháp này cho kết quả là một số duy nhất và có thể được dùng để so sánh các đối tượng khác nhau.

$$\text{Giá trị TDBTT tại các đơn vị không gian: } V_i = \frac{S_i + (1 - AC_i)}{2} \quad (1)$$

$$\text{Giá trị rủi ro tại các đơn vị không gian: } R_i = \frac{H_i + E_i + V_i}{3} \quad (2)$$

Trong đó:

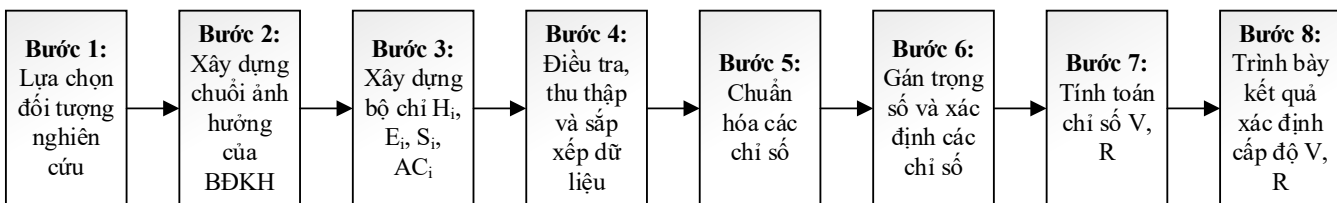
E_i - Mức độ phơi bày ở đơn vị không gian i, là sự hiện diện của bộ phận công trình ở khu vực có thể chịu ảnh hưởng tiêu cực do yếu tố gia tăng nhiệt độ cực trị;

S_i - Mức độ nhạy cảm ở đơn vị không gian i, là phản ứng của công trình khi chịu tác động của thay đổi nhiệt độ môi trường;

H_i - Hiểm họa ở đơn vị không gian i, là các mối nguy có khả năng gây thiệt hại đáng kể đến kết cấu tuyến đường;

AC_i - Khả năng thích ứng ở đơn vị không gian i, là khả năng của một hệ thống để điều chỉnh, sửa chữa và phản ứng với thiệt hại hoặc sự gián đoạn, AC có thể không áp dụng hoặc không thể đánh giá được trong nhiều trường hợp.

Quy trình đánh giá tính rủi ro, TDBTT do BĐKH được thực hiện 8 bước và mô tả chi tiết trên hình 1:



Hình 1. Quy trình thực hiện đánh giá TDBTT và rủi ro [10]

Xây dựng chuỗi ảnh hưởng của BĐKH nhằm giúp hiểu rõ hơn, hệ thống hóa và xếp hạng những yếu tố làm tăng TDBTT, rủi ro của đối tượng đánh giá. Xây dựng bộ chỉ số gồm các chỉ số thành phần E_i, S_i, H_i, AC_i. Các chỉ số được xây dựng trên cơ sở phân tích hợp lý, khả năng đo lường, độ bao phủ, tính phù hợp với hiện tượng được đo lường và mối quan hệ giữa các chỉ số. Chỉ số TDBTT, rủi ro được xây dựng qua nhiều bước: (i) Xây dựng bộ chỉ số tổng quát; (ii) Kiểm tra xem xét dữ liệu của bộ chỉ số tổng quát, phân tích và lựa chọn

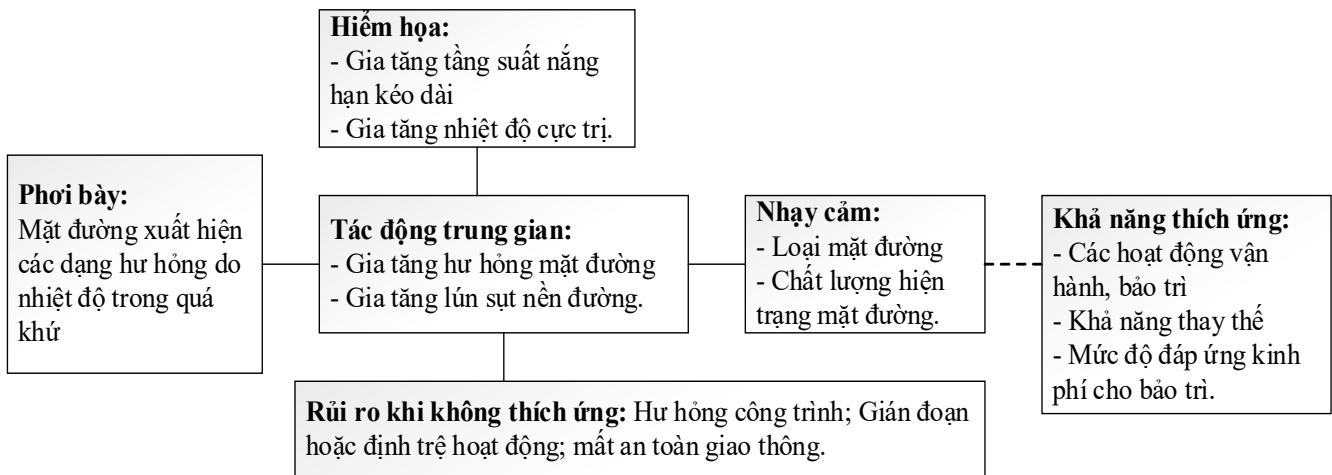
chỉ số nào thể hiện tốt nhất cho yếu tố TDBTT sẽ chọn đưa vào bộ chỉ số rút gọn; (iii) Thị sát thực địa, nghiên cứu sâu các tài liệu, minh chứng cho việc lựa chọn các chỉ số. Khảo sát, thu thập và sắp xếp dữ liệu các chỉ số thông qua các dữ liệu hiện có cùng với sự tham vấn của cơ quan quản lý trực tiếp của tuyến đường, thông qua điều tra ngoài thực địa. Các dữ liệu thu thập được sẽ sắp xếp theo ma trận hình chữ nhật với các hàng thể hiện các đối tượng nghiên cứu và các cột thể hiện các chỉ số. Trong nghiên cứu [11] đã giới thiệu

phương pháp tỉ lệ các đặc tính dữ liệu và kết hợp với phương pháp chuyên gia, phương pháp phân tích thứ bậc (Analytic Hierarchy Process - AHP) [12] để chuẩn hóa bằng cách quy đồng nhất giá trị các chỉ số trong khoảng từ 0÷1. Sử dụng phương pháp tính bình quân dựa trên số lượng để xác định trọng số cho các chỉ số thành phần. Kết quả tính toán chỉ số TDBTT và rủi ro của từng đối tượng đối với từng loại tác động do BĐKH được phân hạng theo 05 mức độ từ thấp đến cao theo trình bày như bảng 1.

Bảng 1. Khung giá trị chỉ số và cấp độ tổn thương, rủi ro

STT	Chỉ số V, R	Cấp độ rủi ro (R), TDBTT (V)
1	0 ÷ 0,2	Rất thấp
2	0,2 ÷ 0,4	Thấp
3	0,4 ÷ 0,6	Trung bình
4	0,6 ÷ 0,8	Cao
5	0,8 ÷ 1,0	Rất cao

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN



Hình 2. Chuỗi ảnh hưởng đối với mặt đường do gia tăng nhiệt độ cực trị

3.3. Định lượng chỉ số đánh giá mức độ phơi bày (E)

Chỉ số về mức độ phơi bày (E) phản ánh mức độ tiếp xúc giữa hiểm họa gia tăng nhiệt độ cực trị và tuyến đường. Chỉ số liên quan đến mức độ phơi bày được trình bày trong bảng 2:

Bảng 2. Định lượng chỉ số đánh giá mức độ phơi bày (E)

Chỉ số mức độ phơi bày	Biến	Đơn vị	Giá trị	Cơ sở lựa chọn	Nguồn thông tin
Mặt đường đã xuất hiện hư hỏng do nhiệt độ.	E1	Có	1,0	Mặt đường đã xuất hiện một trong các dạng hư hỏng trong quá khứ: Mặt đường bị rạn nứt, nứt dọc, nứt ngang, hằn lún vệt bánh xe, dồn ụ nhựa, gợn sóng, bong tróc, gỗ ghề, ổ gà, Lún nền đường, mất ổn định taluy nền đường.	Nguồn số liệu được lấy từ số liệu thống kê các vị trí dọc tuyến đường bị hư hỏng và tham vấn đơn vị quản lý.
		Không	0,2		

3.4. Định lượng chỉ số xác định mức độ nhạy cảm (S)

Giá trị chỉ số xác định mức độ nhạy cảm (S) của một số loại mặt đường đã được tổng hợp, khảo sát và trình bày trong bảng 3.

Bảng 3. Định lượng chỉ số xác định mức độ nhạy cảm (S)

Chỉ số phức hợp	Biến	Chỉ số thành phần	Giá trị	Cơ sở lựa chọn	Nguồn thông tin
Loại mặt đường.	S1	Bê tông xi măng	0,2	Loại mặt đường là chỉ số rõ ràng nhất về TDBTT. Theo việc phân tích nguyên nhân cốt lõi của sự việc, đường bê tông được nhận định như là loại đường có khả năng chống chịu và tồn tại lâu dài hơn mặt đường BTN.	Khảo sát thực địa.
		Bê tông asphalt	1,0		
Hiện trạng mặt đường.	S2	Loại tốt	0,25	Hiện trạng mặt đường tốt thì TDBTT thấp hơn tình trạng mặt đường thuộc loại xấu, rất xấu.	Nguồn số liệu được lấy từ số liệu thống kê do cơ quan quản lý vận hành và bảo trì cung cấp.
		Loại trung bình	0,5		
		Loại xấu	0,75		
		Loại rất xấu	1,0		

Đặc tính dòng xe: Số trục xe tiêu chuẩn 10T tích lũy trong 20 năm (N10 - Triệu trục xe/làn).	S3	N10 < 0,12	0,2	Nhiệt độ trong lớp mặt đường BTN bao gồm: Nhiệt độ không khí và phần điều chỉnh nhiệt độ theo đặc tính dòng xe. Do vậy, đoạn tuyến có số lượng trục xe tiêu chuẩn 10T (N10) tích lũy trong 01 ngày đêm thấp thì nhiệt độ trong lớp mặt BTN thấp và ngược lại.	Nguồn số liệu được lấy từ số liệu thống kê đếm xe hàng năm do cơ quan quản lý vận hành và bảo trì cung cấp.
		N10 ≥ 0,12	1,0		

3.5. Định lượng chỉ số đánh giá mức độ hiểm họa (H)

Hiểm họa là các mối nguy có khả năng gây thiệt hại đáng kể đến kết cấu tuyến đường, có thể thống kê được bằng tiền. Bảng 4 trình bày các chỉ số thành phần để xác định mức độ hiểm họa gia tăng nhiệt độ cực trị.

Bảng 4. Định lượng chỉ số xác định mức độ hiểm họa (H)

Chỉ số phức hợp	Biến	Chỉ số thành phần	Giá trị	Cơ sở lựa chọn	Nguồn thông tin
Nhiệt độ lớp mặt đường.	H1	$T_{HighPav} \leq 60^{\circ}C$	0,2	Ngưỡng nhiệt độ vật liệu BTN sử dụng tính toán thiết kế lớp mặt đường là $30^{\circ}C$, $60^{\circ}C$. Do vậy khi vận hành, nhiệt độ lớp BTN ở độ sâu 20mm ($T_{HighPav}$) > $60^{\circ}C$ thì mặt đường TDBTT, rủi ro hơn và ngược lại.	Tính toán nhiệt độ lớp BTN mặt đường theo TCCS 13567-1:2022 [13].
		$T_{HighPav} > 60^{\circ}C$	1,0		
Loại mặt đường.	H2	Bê tông xi măng	0,2	Nhiệt độ cao có khả năng gây ra thiệt hại đáng kể cho mặt đường BTN hơn loại mặt đường bê tông xi măng.	Khảo sát thực địa phạm vi tuyến cần đánh giá TDBTT.
		Bê tông asphalt	1,0		

3.6. Định lượng chỉ số đánh giá mức độ khả năng thích ứng (AC)

Khả năng thích ứng (AC) được xác định thông qua yếu tố phản ánh tiềm lực, hành động, kế hoạch của tuyến đường có thể ứng phó với tác động của BĐKH nhằm giảm mức độ tổn thương, rủi ro. Chỉ số khả năng thích ứng (AC) được trình bày theo bảng 5:

Bảng 5. Định lượng chỉ số đánh giá khả năng thích ứng (AC) đối với hiểm họa gia tăng nhiệt độ không khí

Loại năng lực thích ứng	Biến	Chỉ số thành phần	Giá trị	Cơ sở lựa chọn	Nguồn thông tin
Khả năng chống chịu của tuyến đường được đo lường dựa trên khả năng sử dụng các tuyến đường thay thế trong trường hợp một con đường bị chặn.	AC1	Đáp ứng 100% năng lực	1,0	Có tuyến đường khác thay thế khi một con đường bị chặn hoặc là điều kiện để điều tiết giảm tác động vào tuyến đường bị tổn thương khi vận hành trong thời điểm bất lợi về nhiệt độ từ đó làm cho tuyến đường đang xét giảm rủi ro và thích ứng hơn với hiểm họa.	Khảo sát thực địa.
		Đáp ứng 80% năng lực	0,8		
		Đáp ứng 60% năng lực	0,6		
		Đáp ứng 40% năng lực	0,4		
		Không có tuyến đường thay thế	0,2		
Năng lực tài chính: Khả năng đáp ứng kinh phí cho nhu cầu sửa chữa, bảo trì.	AC2	Đáp ứng dưới 10%	0,2	Tuyến đường có nguồn tài chính để bảo dưỡng, bảo trì đầy đủ sẽ có tuổi thọ dài hơn, phục vụ tốt hơn và có khả năng chống chịu tốt hơn.	Nguồn số liệu được lấy từ số liệu Báo cáo tổng kết công tác bảo trì hàng năm do cơ quan quản lý cung cấp.
		Đáp ứng (10÷20)%	0,4		
		Đáp ứng (20÷30)%	0,6		
		Đáp ứng (30÷40)%	0,8		
		Đáp ứng trên 40%	1,0		

3.7. Kết quả chi tiết đánh giá rủi ro và TDBTT do hiểm họa gia tăng nhiệt độ cực trị

Sau thời gian thu thập số liệu đặc tính dòng xe, nhiệt độ không khí trên từng đoạn tuyến theo đơn vị không gian và áp dụng hướng dẫn từ tính toán dự báo nhiệt độ lớp mặt đường BTN tại độ sâu 20mm, kết quả theo bảng 6.

Bảng 6. Kết quả xác định nhiệt độ lớp mặt đường bê tông asphalt

STT	Đơn vị không gian	Đặc tính dòng xe [1] (N10)	Trạm khí tượng [5]		$T_{air-max}$ ($^{\circ}C$)	$T_{HighPav}$ ($^{\circ}C$)
			Tên	Vĩ độ (Lat)		
1	TP Rạch Giá	4,41	Rạch Giá	10,01	37,0	70,3
2	Huyện Hòn Đất	4,38	Hòn Đất	10,21	36,8	70,1
3	Huyện Kiên Lương	2,20	Kiên Lương	10,26	36,5	69,9
4	TP Hà Tiên	1,85	Hà Tiên	10,39	36,4	69,8

Ghi chú: $T_{air-max}$: Nhiệt độ không khí trung bình 7 ngày cao nhất ($^{\circ}C$), thu thập 20 năm liên tục; $T_{HighPav}$: Nhiệt độ mặt đường BTN cao nhất ($^{\circ}C$) tại độ sâu 20mm từ bề mặt; N10: Số trục xe tiêu chuẩn 10T tích lũy trên 01 làn xe trong thời gian 20 năm (Triệu trục xe/làn)

Sau khi chuẩn hóa số liệu, gán trọng số cho các biến, xác định được giá trị các biến H_i , E_i , S_i , AC_i , kết quả tính toán theo bảng 7:

Bảng 7. Tổng hợp kết quả đánh giá TDBTT, rủi ro đối với tuyến đường ven biển Kiên Giang

Biến	Chỉ số (thành phần)	Ký hiệu	Thu thập dữ liệu	Mô tả				Giá trị điểm số				Trọng số	Giá trị tính toán			
				RG	HD	KL	HT	RG	HD	KL	HT		RG	HD	KL	HT
H	$T_{HighPav}$ ($^{\circ}C$)	H1	Tính toán	70,3	70,1	69,9	69,8	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
	Loại mặt đường	H2	Khảo sát thực địa	BTN	BTN	BTN	BTN	1,0	1,0	1,0	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5

Tổng giá trị độ phơi bày trước hiểm họa tính toán $H = H1 + H2$													1,0	1,0	1,0	1,0
E	Mặt đường đã xuất hiện hư hỏng do nhiệt độ	E1	Khảo sát thực địa	Có	Có	Có	Không	1,0	1,0	1,0	0,2	1,0	1,0	1,0	1,0	0,2
Tổng giá trị độ phơi bày trước hiểm họa tính toán $E = E1$													1,0	1,0	1,0	0,2
S	Loại mặt đường	S1	Khảo sát thực địa	BTN	BTN	BTN	BTN	0,5	0,5	0,5	0,5	0,33	0,17	0,17	0,17	0,17
	Hiện trạng mặt đường	S2	Từ đơn vị quản lý	Loại tốt	Loại xấu	Loại TB	Loại tốt	0,25	0,75	0,5	0,5	0,33	0,08	0,25	0,17	0,08
	N_{10} (Triệu trục xe/làn)	S3	Đơn vị quản lý cung cấp	$\geq 0,12$	$\geq 0,12$	$\geq 0,12$	$\geq 0,12$	1,0	1,0	1,0	1,0	0,33	0,33	0,33	0,33	0,33
Tổng giá trị độ nhạy cảm tính toán $S = S1 + S2 + S3$																
	Khả năng sử dụng các tuyến đường thay thế	AC1	Tính toán	0%	0%	0%	0%	0,2	0,2	0,2	0,2	0,5	0,1	0,1	0,1	0,1
	Năng lực tài chính	AC2	Từ đơn vị quản lý	$30 \div 40\%$	$20 \div 30\%$	$10 \div 20\%$	$20 \div 30\%$	0,8	0,6	0,4	0,6	0,5	0,4	0,3	0,2	0,3
Tổng giá trị khả năng thích ứng tính toán $AC = AC1 + AC2$													0,5	0,4	0,3	0,4

Kết quả đánh giá cấp độ rủi ro, TDBTT đối với hiểm họa nhiệt độ cực trị tăng cao do BĐKH của tuyến theo đơn vị không gian được trình bày theo bảng 8:

Bảng 8. Kết quả đánh giá V và R theo đơn vị không gian của tuyến đường ven biển

STT	Đoạn tuyến thuộc địa giới hành chính (Đơn vị không gian)	Giá trị TDBTT		Giá trị rủi ro	
		Hiểm họa nhiệt độ			
		Điểm V (nhiệt độ)	Cấp độ	Điểm R(nhiệt độ)	Cấp độ
1	TP Rạch Giá	0,5	Trung bình	0,8	Rất cao
2	Huyện Hòn Đất	0,7	Cao	0,9	Rất cao
3	Huyện Kiên Lương	0,7	Cao	0,9	Rất cao
4	TP Hà Tiên	0,6	Cao	0,6	Cao

3. 8. Khuyến nghị khung giải pháp quản lý vận hành khai thác và bảo trì công trình thích ứng hiểm họa tăng nhiệt độ cực trị

Để đối phó với tác động ngày càng nghiêm trọng của BĐKH, các công trình đường bộ tại vùng ven biển cần được quản lý và bảo trì bằng các giải pháp kỹ thuật và tổ chức phù hợp, nhằm giảm thiểu rủi ro và nâng cao khả năng chống chịu. Mặt khác, việc quản lý tài sản công trình đường bộ và đảm bảo hoạt động vận hành, bảo trì hiệu quả là một yếu tố then chốt để bảo vệ và duy trì sự ổn định của

hạ tầng giao thông trong bối cảnh BĐKH. Do đó, việc phát triển và áp dụng các giải pháp quản lý tài sản và bảo trì công trình đường bộ cần xem xét một cách tổng thể và linh hoạt, kết hợp giữa các yếu tố kỹ thuật, môi trường và quản lý bền vững. Nhóm tác giả đề xuất khung giải pháp quản lý nhằm thích ứng với hiểm họa gia tăng nhiệt độ cực trị.

Bảng 9. Khung giải pháp chiến lược quản lý tài sản, vận hành và bảo trì đường bộ thích ứng gia tăng nhiệt độ cực trị

Tính dễ bị tổn thương	Khung giải pháp thích ứng
A. Chức năng quản lý tài sản đường bộ	
- Nhu cầu cần thêm nhân sự có chuyên môn bổ sung hoặc chuyên gia để theo dõi, kiểm soát, đánh giá mức độ rủi ro, TDBTT, báo cáo và ứng phó. - Suy thoái tài sản ngày càng tăng, đòi hỏi phải kiểm tra thường xuyên hơn, việc này có thể tốn kém và mất thời gian. - Yêu cầu phải lập các kế hoạch khẩn cấp và dự phòng để ứng phó với thời tiết cực đoan, điều này làm tăng gánh nặng quản lý. - Yêu cầu xây dựng cơ sở dữ liệu tài sản đường bộ bao gồm yếu tố gia tăng nhiệt độ cực trị. - Gia tăng chi phí quản lý tài sản. - Phương pháp quản lý tài sản thích ứng biến đổi nhiệt độ cực trị.	- Ngắn hạn: Đào tạo nhân viên hiện có về các tác động tiềm ẩn của BĐKH và điều này có thể ảnh hưởng đến vai trò và trách nhiệm hiện tại của họ; Theo dõi tác động của nhiệt độ cực trị để xác định các "điểm nóng" có thể cần tăng tần suất kiểm tra; Tăng cường công tác đánh giá rủi ro, TDBTT do thời tiết cực đoan với nhiều đơn vị không gian để có giải pháp thích ứng mang lại hiệu quả cao. - Trung hạn: Tăng cường sự sẵn có của nhân viên hợp đồng để hỗ trợ trong các sự kiện cực đoan, hư hỏng khẩn cấp; Ứng dụng công nghệ giám sát tự động; Phân tích dự báo khí hậu. - Dài hạn: Thuê thêm nhân viên để theo kịp tốc độ tăng đối tượng, hành vi tác động tiêu cực đến giá trị tài sản, nhu cầu bảo trì và quản lý khẩn cấp; Thu thập và phân tích dữ liệu môi trường; Phân tích dữ liệu hiệu suất công trình, các dữ liệu thu thập từ các công trình như trọng tải, lưu lượng giao thông, nhiệt độ, độ ẩm giúp tối ưu hóa việc bảo trì và quản lý tài sản; Thực hiện đồng bộ các phương pháp quản lý tài sản theo chu kỳ và tình trạng; Dựa trên cơ sở dữ liệu; Quản lý rủi ro và ứng phó với thiên tai; Dựa trên công nghệ tiên tiến; Tích hợp mô hình quản lý toàn diện kết hợp các yếu tố kỹ thuật, tài chính, môi trường và xã hội.

B. Chức năng quản lý vận hành	
- Kết cấu công trình chịu tác động lâu dài của nhiệt độ cao, gây lão hóa nhanh và làm suy giảm khả năng chịu tải. - Mặt đường được thiết kế để chịu được ngưỡng nhiệt độ cụ thể. Nhiệt độ cao làm yếu cấu trúc mặt đường ở các khu vực chịu tải nặng hoặc nền móng yếu dẫn đến gia tăng vết lún, nứt, bong tróc ổ gà, ảnh hưởng đến an toàn giao thông. - Nhiệt độ cao có thể làm khô héo thảm thực vật ven đường, ảnh hưởng đến hành lang an toàn giao thông, tăng nguy cơ sụt lở đất nền đường. - Có thể gây gián đoạn giao thông ngắn hạn hoặc lâu dài đối với xe tải nặng hoặc toàn bộ phương tiện tham gia giao thông. - Mất an toàn, gia tăng tai nạn giao thông do mặt đường biến dạng, hư hỏng, bong tróc tạo ra các chướng ngại vật.	- Ngắn hạn: Tăng cường kiểm tra và theo dõi tình trạng đường bộ, thực hiện giám sát định kỳ và sửa chữa kịp thời các hư hỏng do nhiệt độ gây ra; Xây dựng kế hoạch duy trì giao thông trong các hiện tượng thời tiết có cường độ khác nhau. - Trung hạn: Đánh giá những thay đổi dự kiến về nhiệt độ được thu nhỏ lại, đánh giá rủi ro, TDBTT ở nhiều đơn vị không gian để xác định xem có cần thay đổi hỗn hợp mặt đường hay không; Sử dụng các hệ thống giám sát nhiệt độ và cảm biến để theo dõi sự biến dạng của công trình; xây dựng ngưỡng nhiệt độ đảm bảo vận hành. - Dài hạn: Áp dụng các mô hình dự báo tác động của nhiệt độ để điều chỉnh chiến lược vận hành; Ứng dụng công nghệ hỗ trợ mặt đường hoạt động tốt hơn dưới nhiệt độ cao; Các công nghệ giám sát từ xa như cảm biến, drone, hình ảnh vệ tinh giúp theo dõi tình trạng công trình cầu, đường theo thời gian thực. Điều này giúp phát hiện các vấn đề sớm, từ đó có thể đưa ra các biện pháp khắc phục kịp thời; Xây dựng bản đồ.
C. Chức năng quản lý bảo trì	
- Kế hoạch bảo trì ngắn hạn, trung hạn, dài hạn - Các sự kiện cực đoan và những thay đổi lâu dài về khí hậu có thể ảnh hưởng đến yêu cầu tài nguyên làm tăng chi phí bảo trì mặt đường hàng năm. - Tính thích ứng nhiệt độ cao của vật liệu sử dụng bảo trì.	- Tăng cường kế hoạch bảo trì phòng ngừa. - Tăng cường huy động vốn từ nhiều nguồn, bao gồm hợp tác công tư và xây dựng cơ chế ưu tiên sử dụng ngân sách vào các tuyến đường trọng yếu. - Khi việc xây dựng lại mặt đường xảy ra, điều chỉnh hỗn hợp vật liệu khi cần thiết. - Sử dụng vật liệu có độ bền cao trong điều kiện gia tăng nhiệt độ.

4. KẾT LUẬN

Trên cơ sở các kết quả nghiên cứu và phân tích như trên, có thể rút ra những kết luận sau:

- Phương pháp chỉ số thích hợp sử dụng khi cần xác định tương đối chính xác mức độ DBTT của công trình đường bộ mà không phải phụ thuộc quá lớn vào ý kiến chủ quan của người làm công tác đánh giá, cho phép đưa vào các phép tính một số lượng lớn tùy ý các chỉ tiêu, chỉ số các biến của mức độ rủi ro, TDBTT là độ phơi nhiễm, độ nhạy cảm, hiểm họa và khả năng thích ứng. Nhược điểm của phương pháp là công tác đánh giá phức tạp và cần có sự hỗ trợ của công cụ tính toán.
- Kết quả đánh giá R, V cung cấp cho các cơ quan quản lý khai thác công trình và các bên liên quan thấy được bức tranh tổng thể mức độ tác động của các hiện tượng thời tiết cực đoan gia tăng nhiệt độ cực trị ảnh hưởng tiêu cực đến chất lượng khai thác, suy giảm tuổi thọ, hư hỏng công trình để từ đó đưa ra các giải pháp quản lý vận hành và bảo trì công trình thích ứng trước các tác động bất lợi do BĐKH gây ra.
- Cấp độ rủi ro, TDBTT của công trình luôn bất định kể từ thời điểm được đánh giá, có thể giảm hoặc nghiêm trọng hơn tùy thuộc vào chiến lược ngắn hạn, trung hạn, dài hạn nhằm cải thiện khả năng thích ứng.
- Sử dụng kết quả đánh giá các đại lượng là V, R có thể xây dựng bản đồ tổn thương và rủi ro cho tuyến đường đối với từng loại tác động do BĐKH bằng phần mềm ArcGIS. Bản đồ giúp đưa ra cái nhìn trực quan về phân bố mức độ tổn thương và rủi ro theo từng đơn vị không gian.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Sở Giao thông vận tải Kiên Giang, "Báo cáo Tình hình thực trạng kết cấu hạ tầng giao thông đường bộ trên địa bàn tỉnh Kiên Giang", tr. 5, 2022.
[2] UBND tỉnh Kiên Giang, "Báo cáo Quy hoạch chung tỉnh Kiên Giang. Phương án phòng chống thiên tai và biến đổi khí hậu", tr. 75, 2021.
[3] Thủ tướng Chính phủ, "Quyết định số 1422/QĐ-TTg Ban hành Kế hoạch quốc gia

thích ứng với biến đổi khí hậu giai đoạn 2021 - 2030, tầm nhìn đến năm 2050", tr. 3-10, 2024.
[4] Bộ Tài nguyên và Môi trường, "Thông tư số 01/2022/TT-BTNMT quy định chi tiết thi hành Luật Bảo vệ môi trường về ứng phó với biến đổi khí hậu", tr. 3, 2022.
[5] Đinh Thị Việt Hà, "Đánh giá xu thế biến đổi mưa, nhiệt độ tỉnh Kiên Giang", *Tạp chí khí tượng thủy văn*, tr. 4-15, 2023.
[6] Bộ Tài nguyên Môi trường, "Kịch bản biến đổi khí hậu phiên bản cập nhật năm 2020", NXB Tài Nguyên - Môi trường và Bản đồ Việt Nam, tr. 64, 2020.
[7] Nguyễn Thống Nhất, "Một số nguyên nhân hư hỏng mặt đường bê tông nhựa phổ biến ở Nam bộ và hướng giải quyết", *Tạp chí Giao thông vận tải*, vol. Số 7, tr. 2-10, 2014.
[8] Tiêu chuẩn ngành, "22TCN211-06: Áo đường mềm - Các yêu cầu và chỉ dẫn thiết kế", tr. 67, 2006.
[9] Tiêu chuẩn cơ sở, "TCCS 38: 2022/TCĐBVN - Áo đường mềm - Các yêu cầu và chỉ dẫn thiết kế", Bộ Giao thông vận tải, tr. 55, 2022.
[10] Đỗ Hoài Nam và cộng sự, "Đánh giá tính dễ bị tổn thương lập bản đồ rủi ro, xác định giải pháp thích ứng và phân tích chi phí lợi ích cho hệ thống đường bộ tại Việt Nam", *Bộ Giao thông vận tải*, tr. 43, 2020.
[11] Jeni Klugman, "Báo cáo Phát triển Con người 2009", *Chương trình phát triển Liên hợp quốc (UNDP)*, tr. 11, 2009.
[12] Phạm Quang Thanh, "Áp dụng phương pháp phân tích thứ bậc (AHP) để lựa chọn phương thức thực hiện dự án đầu tư xây dựng", *Tạp chí khoa học công nghệ xây dựng*, vol. Tháng 7, tr. 4-15, 2019.
[13] Tiêu chuẩn Việt Nam, "TCVN 13567-1:2022 - Lớp mặt đường bằng hỗn hợp nhựa nóng, thi công và nghiệm thu", tr 49, 2022.