



PHÁT TRIỂN KẾT CẤU HẠ TẦNG GIAO THÔNG ĐÔ THỊ MIỀN NÚI TỈNH CAO BẰNG THEO HƯỚNG BỀN VỮNG VÀ THÍCH ỨNG BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU

Developing urban mountainous transport infrastructure in Cao Bang province towards sustainability and climate change adaptation



TS. Đỗ Văn Thuận¹, TS. Lê Thị Thu Huyền²

Tóm tắt: Giao thông đô thị miền núi tỉnh Cao Bằng đang đối mặt với sự kết hợp phức tạp giữa điều kiện địa hình chia cắt, nền địa chất phong hóa mạnh, nguồn lực đầu tư hạn chế và xu hướng gia tăng các hiện tượng khí hậu cực đoan. Bài viết tiếp cận vấn đề theo khung phân tích rủi ro và hạ tầng chống chịu, hệ thống hóa các thách thức chủ yếu gồm: (i) Sạt lở và xói lở nền – taluy do mưa cực đoan; (ii) Ngập úng cục bộ tại các khu vực trung tâm đô thị; (iii) Suy giảm khả năng kết nối và an toàn giao thông trong điều kiện thời tiết bất lợi; (iv) Chi phí xây dựng và bảo trì cao trong bối cảnh ngân sách hạn chế.

Trên cơ sở chuyển đổi từ tư duy “chống chịu thụ động” sang “thích ứng chủ động” và tiếp cận “thuận thiên”, bài viết đề xuất định hướng phát triển hạ tầng giao thông đô thị miền núi theo hướng tích hợp rủi ro khí hậu vào quy hoạch, tăng cường khả năng chống chịu mạng lưới và quản trị theo vòng đời công trình. Nghiên cứu góp phần cung cấp cơ sở khoa học và thực tiễn cho phát triển giao thông đô thị miền núi bền vững, thích ứng với biến đổi khí hậu trong bối cảnh Việt Nam.

Từ khóa: Giao thông đô thị miền núi, Cao Bằng, hạ tầng chống chịu, biến đổi khí hậu, quản lý vòng đời công trình, thích ứng chủ động.

Abstract: Urban transportation in the mountainous areas of Cao Bang province faces a complex combination of fragmented terrain, heavily weathered geological conditions, limited investment resources, and an increasing trend of extreme weather events. This article approaches the issue using a risk analysis and resilience infrastructure framework, systematizing the main challenges including: (i) landslides and erosion of the embankment and slopes due to extreme rainfall; (ii) localized flooding in low-lying areas and urban centers; (iii) reduced connectivity and traffic safety under adverse weather conditions; and (iv) high construction and maintenance costs in the context of limited budgets.

Based on a shift from a "passive resilience" mindset to an "active adaptation" and a "nature-friendly" approach, this article proposes a development orientation for urban transportation infrastructure in mountainous

areas that integrates climate risks into planning, enhances network resilience, and manages infrastructure throughout its lifecycle. The research contributes to providing a scientific and practical basis for the sustainable development of urban transport in mountainous areas, adapting to climate change in the Vietnamese context.

Keywords: Urban transportation in mountainous areas, Cao Bang, resilient infrastructure, climate change, lifecycle management of structures, proactive adaptation.

Nhận bài ngày 19/01/2026, chỉnh sửa ngày 20/2/2026, chấp nhận đăng ngày 20/3/2026.

I. ĐẶT VẤN ĐỀ

Biến đổi khí hậu đang làm gia tăng rõ rệt tần suất và cường độ các hiện tượng mưa lớn cực đoan trên phạm vi toàn cầu. Báo cáo Đánh giá lần thứ sáu của Ủy ban Liên Chính phủ về Biến đổi Khí hậu khẳng định mưa cực đoan có xu hướng gia tăng tại nhiều khu vực Châu Á, trong đó có Đông Nam Á [1], [2]. Đối với các vùng địa hình dốc, xu thế này kéo

¹ Phó Giám đốc Học viện Chiến lược, bồi dưỡng cán bộ xây dựng - Bộ Xây dựng

² Trưởng phòng QL Khoa học - Học viện Chiến lược, bồi dưỡng cán bộ xây dựng - Bộ Xây dựng

Email: ¹Thuanqlcb@gmail.com, ²thuhuyen129@yahoo.com

theo nguy cơ sạt lở đất, lũ quét và hư hỏng hạ tầng giao thông.

Theo [3] thiệt hại và gián đoạn hạ tầng do thiên tai có thể làm các nền kinh tế đang phát triển tổn thất 1–2% GDP mỗi năm. Báo cáo này nhấn mạnh rằng việc tích hợp yếu tố chống chịu ngay từ khâu thiết kế và đầu tư mang lại lợi ích kinh tế dài hạn cao hơn nhiều lần so với chi phí bổ sung ban đầu. [4] cũng cho rằng quản lý hạ tầng trong bối cảnh biến đổi khí hậu cần chuyển từ tư duy “khắc phục sau thiên tai” sang “tích hợp rủi ro khí hậu vào quy hoạch và phân bổ nguồn lực”.

Khung phân tích rủi ro được IPCC sử dụng (nguy cơ – phơi nhiễm – dễ bị tổn thương) cho thấy mức độ thiệt hại không chỉ phụ thuộc vào cường độ hiện tượng khí hậu, mà còn phụ thuộc vào cấu trúc quy hoạch, chất lượng thiết kế và năng lực quản trị. Kinh nghiệm của một số quốc gia (như Nhật Bản, Thụy Sĩ) cho thấy việc phân vùng rủi ro, ứng dụng hệ thống cảnh báo sớm và quản lý vòng đời công trình giúp giảm đáng kể chi phí bảo trì và nâng cao khả năng chống chịu của hạ tầng giao thông.

Tại Việt Nam, khu vực miền núi phía Bắc là một trong những vùng có nguy cơ sạt lở cao. Tuy nhiên, nhiều tuyến giao thông miền núi vẫn được thiết kế dựa trên số liệu khí tượng lịch sử và tiêu chuẩn kỹ thuật truyền thống, trong khi điều kiện khí hậu ngày càng gia tăng bất định. Cao Bằng một tỉnh miền núi phía Bắc, là trường hợp điển hình của những thách thức nêu trên.

II. VẬT LIỆU NGHIÊN CỨU

2.1. Đặc thù đô thị miền núi Cao Bằng

Cao Bằng có diện tích khoảng 6.700,4km², quy mô dân số khoảng 573,1 nghìn người, trong đó khoảng 95% là đồng bào dân tộc thiểu số. Toàn tỉnh có 56 đơn vị hành chính cấp xã, trong đó có 03 phường với quy mô dân số khoảng 73.940 người [5], [6], [7]. Đô thị miền núi tỉnh Cao Bằng được xác định là có quy mô vừa và nhỏ, không gian đô thị phân tán theo các thung lũng và ven sông, địa hình dốc và bị chia cắt mạnh.

Về cấu trúc không gian, các tuyến giao thông chủ yếu bám sườn núi hoặc chạy dọc theo các trục địa hình tự nhiên. Mặt cắt đường nhìn chung hẹp; hệ thống giao thông chủ yếu là đường bộ (chưa có đường sắt, đường không; đường thủy nội địa phát triển



Hình 1. Cấu trúc không gian đô thị miền núi tỉnh Cao Bằng phân bố dọc thung lũng và ven sông, địa hình dốc và chia cắt mạnh

chậm). Cấu trúc này làm gia tăng mức độ phơi nhiễm của hệ thống giao thông trước các hiện tượng mưa lớn, lũ quét và sạt lở.

Mạng lưới giao thông đô thị phụ thuộc nhiều vào một số trục chính và các tuyến quốc lộ đi qua địa bàn như QL3, QL34, QL34B, QL4A, QL4C... Trong khi đó, các tuyến thay thế, tuyến vòng và đường kết nối phụ trợ còn hạn chế. Khi xảy ra sạt lở hoặc ngập úng tại một vị trí trọng yếu, khả năng duy trì kết nối của toàn hệ thống bị ảnh hưởng đáng kể. Điều này làm tăng nguy cơ gián đoạn mang tính dây chuyền, không chỉ trong phạm vi đô thị mà còn ảnh hưởng đến kết nối liên vùng.

Hạ tầng thoát nước đô thị hiện còn hạn chế và chưa đồng bộ, dễ quá tải khi xuất hiện mưa lớn cường suất cao. Quá trình đô thị hóa trong những năm gần đây làm gia tăng diện tích bê tông hóa, thu hẹp không gian thấm nước tự nhiên và làm tăng dòng chảy mặt trong thời gian mưa lớn. Trong điều kiện địa hình dốc, dòng chảy tập trung có thể gây xói lở chân taluy, phá hoại nền đường và làm suy giảm tuổi thọ công trình.

Về yếu tố nguy cơ khí hậu, trong những năm gần đây Cao Bằng ghi nhận nhiều trận mưa cực đoan với lượng mưa trên 100 mm; đặc biệt trận mưa tối ngày 22–23/8/2024 có điểm đo lên tới 164mm [8]. Các đợt mưa lớn này kèm theo ngập lụt và sạt lở tại nhiều khu vực. Sau mưa lũ, các tuyến quốc lộ qua địa bàn ghi nhận nhiều vị trí sạt lở, sa bồi với tổng khối lượng đất đá khoảng 15.600m³, gây ách tắc giao thông và chi phí khắc phục lớn [9].

Thống kê cho thấy từ năm 2021 đến hết tháng 11/2025, thiên tai trên địa bàn tỉnh Cao Bằng diễn biến phức tạp, gây thiệt hại đặc biệt nghiêm trọng về người, tài sản và cơ sở hạ tầng, với tổng giá trị thiệt hại ước

tính 5.918,85 tỷ đồng [10]. Những con số này phản ánh mức độ gia tăng rủi ro không chỉ do cường độ hiện tượng khí hậu, mà còn do mức độ tổn thương của hệ thống hạ tầng trong điều kiện nguồn lực đầu tư và bảo trì còn hạn chế.

2.2. Thách thức và nguyên nhân chính

2.2.1. Gia tăng sạt lở, xói lở nền – taluy đường do mưa cực đoan

Cao Bằng có địa hình đồi núi dốc, nền địa chất phong hóa mạnh, nhiều khu vực có mái dốc cao, taluy lớn và tồn tại các mặt trượt tiềm năng. Khi mưa lớn kéo dài, đất đá nhanh chóng bão hòa nước, làm giảm lực kháng trượt và suy giảm ổn định mái dốc. Trong bối cảnh biến đổi khí hậu làm gia tăng cường suất và tính tập trung của mưa trong thời gian ngắn, nhiều trận mưa đã vượt quá ngưỡng chịu tải của nền – taluy và năng lực tiêu thoát của hệ thống hiện hữu.

Bên cạnh yếu tố tự nhiên, nguyên nhân còn đến từ việc thiết kế công trình giao thông chủ yếu dựa trên số liệu mưa lịch sử, chưa tích hợp đầy đủ kịch bản mưa cực đoan trong dài hạn; các giải pháp gia cố taluy và phòng chống xói lở còn thiếu tính hệ thống và đồng bộ theo toàn tuyến. Công tác quản lý, bảo trì còn hạn chế, nhiều rãnh thoát nước và cống ngang bị bồi lấp, làm gia tăng áp lực nước chân taluy và gây phá hoại nền đường khi xuất hiện mưa lớn. Điều này cho thấy rủi ro sạt lở không chỉ là vấn đề khí hậu, mà còn phản ánh khoảng cách giữa tiêu chuẩn thiết kế, điều kiện thực tế và năng lực quản lý.

2.2.2. Ngập úng cục bộ tại các khu vực trung, trung tâm đô thị

Ngập úng đô thị tại Cao Bằng không xảy ra trên diện rộng nhưng thường xuất hiện cục bộ, đặc biệt tại khu vực trung tâm và các khu dân cư mới hình thành. Nguyên nhân trước



Hình 2. Sạt lở taluy và ngập úng cục bộ gây ách tắc giao thông trên các tuyến quốc lộ qua địa bàn tỉnh Cao Bằng sau mưa lớn

hết xuất phát từ đặc điểm địa hình xen kẽ giữa núi – thung lũng – sông suối, tạo nhiều điểm trũng tự nhiên khó thoát nước.

Về bản chất, tình trạng ngập úng cục bộ phản ánh sự thiếu đồng bộ giữa phát triển không gian đô thị và đầu tư hạ tầng kỹ thuật, đồng thời làm gia tăng chi phí bảo trì và rút ngắn vòng đời mặt đường.

2.2.3. Tính kết nối và an toàn giao thông thấp trong điều kiện thời tiết bất lợi

Giao thông đô thị miền núi Cao Bằng chịu tác động trực tiếp của điều kiện thời tiết, làm suy giảm cả khả năng kết nối lẫn mức độ an toàn. Mạng lưới đường phụ thuộc nhiều vào một số trục chính và tuyến độc đạo, thiếu các tuyến thay thế. Khi xảy ra sạt lở, ngập úng hoặc tai nạn, khả năng kết nối bị gián đoạn nhanh chóng và khó khôi phục trong thời gian ngắn.

Hình học tuyến đường miền núi thường có bán kính cong nhỏ, độ dốc lớn và tầm nhìn hạn chế. Trong điều kiện mưa, sương mù hoặc mặt đường trơn trượt, nguy cơ mất an toàn giao thông gia tăng. Các giải pháp an toàn giao thông thích ứng với thời tiết như hệ thống cảnh báo sạt lở, thoát nước mặt hiệu quả, chống trơn trượt và tổ chức giao thông linh hoạt còn chưa được triển khai đầy đủ.

Năng lực quản lý và ứng phó sự cố giao thông còn hạn chế, dẫn đến thời gian xử lý chậm khi xảy ra mưa lớn hoặc sạt lở, làm gia tăng tính dễ bị gián đoạn của hệ thống, đặc biệt đối với các khu vực phụ thuộc mạnh vào một số trục kết nối chiến lược.

2.2.4. Nguồn lực đầu tư hạn chế, trong khi chi phí xây dựng và bảo trì cao

Quy mô kinh tế Cao Bằng còn nhỏ, nguồn thu ngân sách hạn chế và phụ thuộc lớn vào hỗ trợ từ Trung ương. Năm

2025, GRDP ước đạt 27.935 tỷ đồng, GRDP bình quân đầu người đạt 49,62 triệu đồng [11]. Trong khi đó, chi phí xây dựng giao thông miền núi cao hơn đáng kể so với khu vực đồng bằng do điều kiện địa hình phức tạp, khối lượng đào đắp lớn và yêu cầu xử lý nền – taluy.

Chi phí bảo trì, khắc phục hư hỏng sau mưa lũ ngày càng gia tăng, trong khi kinh phí duy tu thường xuyên còn thiếu và phân tán. Mô hình đầu tư tập trung vào chi phí xây dựng ban đầu, chưa chú trọng đầy đủ đến chi phí vòng đời công trình, có thể dẫn tới tổng chi phí dài hạn cao hơn do sửa chữa lặp lại. Đồng thời, việc thu hút vốn ngoài ngân sách gặp khó khăn do hiệu quả tài chính thấp và rủi ro thiên tai cao.

III. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Trên cơ sở kế thừa khung phân tích rủi ro khí hậu của [2], [12], tiếp cận hạ tầng chống chịu của Ngân hàng Thế giới [3] định hướng quản trị hạ tầng thích ứng khí hậu của [4] và hướng dẫn thích ứng khí hậu đối với hạ tầng đường bộ của [13], phát triển kết cấu hạ tầng giao thông đô thị miền núi tỉnh Cao Bằng cần được định hướng theo cách tiếp cận tích hợp, trong đó rủi ro khí hậu được xem là đầu vào bắt buộc của quy hoạch, thiết kế và quản lý [4].

Cách tiếp cận này đặt trọng tâm vào ba nguyên tắc xuyên suốt: (i) Quy hoạch dựa trên rủi ro và tôn trọng điều kiện tự nhiên; (ii) Thiết kế thích ứng và quản lý rủi ro chủ động; (iii) Phát triển bền vững gắn với quản trị vòng đời và bảo đảm kết nối thiết yếu.

3.1. Phát triển giao thông đô thị gắn với điều kiện tự nhiên và bản sắc miền núi

Đặc thù địa hình đồi núi chia cắt, nền địa chất phong hóa mạnh và mạng lưới sông

suối dày đặc khiến hệ thống giao thông đô thị Cao Bằng có mức độ phơi nhiễm cao trước các hiện tượng mưa cực đoan và sạt lở. Theo [2], trong bối cảnh biến đổi khí hậu, tần suất và cường độ các hiện tượng mưa lớn tại khu vực châu Á có xu hướng gia tăng, làm gia tăng rủi ro đối với hạ tầng nằm tại các khu vực địa hình dốc.

3.1.1. Quy hoạch dựa trên rủi ro và tôn trọng cấu trúc địa hình

Phát triển giao thông đô thị cần được triển khai theo nguyên tắc “risk-informed planning” – quy hoạch dựa trên rủi ro, trong đó bản đồ nguy cơ sạt lở, ngập úng và xói lở phải được tích hợp vào quá trình lựa chọn hướng tuyến và xác định cao độ thiết kế. Thay vì áp dụng mô hình san gạt quy mô lớn nhằm tạo mặt bằng bằng phẳng, cần ưu tiên giải pháp bám sát địa hình tự nhiên, hạn chế đào đắp sâu và bảo tồn cấu trúc sườn dốc ổn định.

Theo khuyến nghị của PIARC (2019), việc giảm can thiệp thô bạo vào địa hình không chỉ giúp giảm chi phí đầu tư ban đầu mà còn làm giảm rủi ro mất ổn định mái dốc trong dài hạn, đặc biệt trong điều kiện mưa cực đoan.

3.1.2. Ưu tiên giải pháp thuận thiên và dựa vào tự nhiên

[4] và nhiều nghiên cứu quốc tế nhấn mạnh vai trò của các giải pháp dựa vào tự nhiên trong nâng cao khả năng chống chịu hạ tầng. Đối với Cao Bằng, các giải pháp như duy trì thảm phủ thực vật, gia cố mái dốc bằng sinh học, cải thiện khả năng thấm nước bề mặt và bảo tồn dòng chảy tự nhiên có thể góp phần giảm áp lực lên hệ thống thoát nước và nền đường.

Cách tiếp cận thuận thiên không chỉ góp phần nâng cao khả năng chống chịu trước thiên tai, mà còn bảo tồn cảnh quan và bản sắc đô thị miền núi – yếu tố quan trọng trong chiến lược phát triển dài hạn của địa phương.

3.2. Chuyển từ “chống chịu thụ động” sang “thích ứng chủ động”

Theo IPCC [2], [12], thích ứng hiệu quả không nhằm loại bỏ hoàn toàn rủi ro mà hướng tới giảm tính dễ bị tổn thương và tăng khả năng chống chịu của hệ thống. Đối với Cao Bằng, việc chỉ tập trung khắc phục hư hỏng sau thiên tai không còn phù hợp trong bối cảnh rủi ro khí hậu ngày càng gia tăng.

3.2.1. Thiết kế hạ tầng theo kịch bản khí hậu cực đoan

Hệ thống giao thông đô thị cần được thiết kế trên cơ sở các kịch bản mưa cực đoan dài hạn, thay vì chỉ dựa vào chuỗi số liệu khí tượng lịch sử. Điều này bao gồm nâng chuẩn thiết kế thoát nước, tăng cường ổn định nền – taluy và bảo đảm khả năng “chịu đựng có kiểm soát” (controlled failure) khi xảy ra sự cố cục bộ.

[3] chỉ ra rằng đầu tư nâng cao khả năng chống chịu ngay từ giai đoạn thiết kế có thể giảm đáng kể thiệt hại kinh tế do gián đoạn dịch vụ hạ tầng. Đối với Cao Bằng, việc tích hợp kịch bản khí hậu vào tiêu chuẩn thiết kế không chỉ mang ý nghĩa kỹ thuật mà còn là giải pháp tối ưu hóa nguồn lực đầu tư.

3.2.2. Quản lý rủi ro ở mức độ chấp nhận được và bảo đảm kết nối thiết yếu

Trong điều kiện địa hình phức tạp và nguồn lực hạn chế, việc loại bỏ hoàn toàn rủi ro thiên tai là không khả thi. Do đó, cần chuyển sang quản lý rủi ro ở mức độ chấp nhận được (acceptable risk), thông qua phân vùng rủi ro và xác định các tuyến giao thông thiết yếu (lifelines) cần ưu tiên bảo vệ.

Theo [3], bảo đảm duy trì tính liên tục của dịch vụ hạ tầng thiết yếu là yếu tố cốt lõi của hạ tầng chống chịu. Đối với Cao Bằng, điều này có nghĩa là xác định các trục kết nối chiến lược phục vụ y tế, cứu hộ, vận chuyển hàng hóa và bảo đảm các tuyến này có phương án dự phòng và khắc phục nhanh khi xảy ra sự cố.

3.3. Phát triển bền vững trên ba trụ cột gắn với quản trị vòng đời công trình

Phát triển giao thông đô thị miền núi cần bảo đảm hài hòa giữa hiệu quả kinh tế, công bằng xã hội và bảo vệ môi trường. Tuy nhiên, để tránh tiếp cận mang tính khẩu hiệu, cần cụ thể hóa ba trụ cột này thông qua quản trị vòng đời công trình và cơ chế phân bổ nguồn lực dựa trên mức độ rủi ro.

3.3.1. Về kinh tế: Tối ưu hóa chi phí vòng đời và phân bổ đầu tư theo rủi ro

[4] nhấn mạnh rằng thích ứng khí hậu cần được tích hợp vào quy trình ra quyết định đầu tư công. Đối với Cao Bằng, điều này đòi hỏi áp dụng phân tích chi phí vòng đời (life-cycle cost analysis), ưu tiên đầu tư vào các điểm nghẽn có mức độ rủi ro cao và chi phí gián đoạn lớn.

Việc chuyển từ tư duy “đầu tư ban đầu thấp – sửa chữa nhiều lần” sang “đầu tư hợp lý – bảo trì chủ động” sẽ giúp giảm chi phí dài hạn và nâng cao hiệu quả sử dụng ngân sách.

3.3.2. Về xã hội: Bảo đảm tiếp cận công bằng và an toàn trong điều kiện thời tiết bất lợi

Với đặc điểm dân số phần lớn là đồng bào dân tộc thiểu số và phân bố không gian phân tán, giao thông đô thị có vai trò đặc biệt trong bảo đảm tiếp cận dịch vụ thiết yếu. Hạ tầng chống chịu không chỉ là vấn đề kỹ thuật mà còn là điều kiện bảo đảm công bằng xã hội.

Việc nâng cao an toàn giao thông trong điều kiện mưa lớn, sương mù và địa hình dốc góp phần giảm thiểu tai nạn và bảo vệ nhóm dân cư dễ bị tổn thương.

3.3.3. Về môi trường: Giảm phát thải và tăng khả năng hấp thụ tự nhiên

Phát triển giao thông cần hạn chế bê tông hóa không cần thiết, duy trì không gian thấm nước tự nhiên và giảm tác động tiêu cực đến hệ sinh thái. Các giải pháp dựa vào tự nhiên vừa góp phần giảm ngập úng và xói lở, vừa hỗ trợ mục tiêu phát triển bền vững dài hạn của tỉnh.

3.4. Kết luận định hướng

Tổng thể, phát triển hạ tầng giao thông đô thị miền núi Cao Bằng cần chuyển từ tư duy mở rộng hạ tầng đơn thuần sang tư duy quản trị rủi ro và tăng cường khả năng chống chịu mạng lưới. Việc vận dụng các khung phân tích quốc tế và điều chỉnh phù hợp với điều kiện địa phương là cơ sở để xây dựng mô hình phát triển

giao thông bền vững, thích ứng và khả thi trong dài hạn.

3.5. Đề xuất một số giải pháp

Các giải pháp dưới đây được xây dựng trên cơ sở tích hợp khung phân tích rủi ro của [2], [12], cách tiếp cận hạ tầng chống chịu của [3], định hướng quản trị hạ tầng thích ứng khí hậu của [4] và hướng dẫn kỹ thuật của [13], đồng thời tham chiếu kinh nghiệm quốc tế trong phát triển hạ tầng giao thông miền núi.

3.5.1. Giải pháp về quy hoạch và tổ chức không gian giao thông

a) *Lồng ghép kịch bản biến đổi khí hậu vào quy hoạch giao thông đô thị*

Theo [2], việc tích hợp kịch bản khí hậu vào quy hoạch là điều kiện tiên quyết để giảm rủi ro dài hạn. Đối với Cao Bằng, quy hoạch giao thông cần sử dụng bản đồ nguy cơ sạt lở, ngập úng và dòng chảy bề mặt như một lớp thông tin bắt buộc trong lựa chọn hướng tuyến và cao độ nền đường.

Kinh nghiệm của Nhật Bản trong quy hoạch giao thông tại các vùng đồi núi (ví dụ tỉnh Nagano) cho thấy việc tích hợp bản đồ nguy cơ sạt lở vào quy hoạch từ đầu giúp giảm đáng kể thiệt hại sau các đợt mưa lớn. Tương tự, Thụy Sĩ áp dụng nguyên tắc “build with the landscape” trong phát triển hạ tầng vùng Alps, hạn chế bố trí công trình quan trọng tại các khu vực có nguy cơ trượt lở cao.

Đối với Cao Bằng, điều này đồng nghĩa với việc tránh đặt các nút giao chiến lược hoặc công trình hạ tầng quan trọng tại các vùng trũng, chân taluy lớn hoặc khu vực có tiền sử sạt lở.



Hình 3. Giải pháp nâng chuẩn thiết kế thoát nước và cổng ngang nhằm thích ứng với mưa cường suất cao

b) Phát triển mạng lưới giao thông đa dạng, có tính dự phòng

[3] nhấn mạnh rằng hạ tầng chống chịu cần được nhìn nhận như một mạng lưới (network) thay vì các dự án riêng lẻ. Đối với Cao Bằng, cần giảm phụ thuộc vào một số trục chính (QL3, QL4A, QL34...) bằng cách phát triển các tuyến vòng, tuyến song hành và các tuyến kết nối ngắn cấp khu vực.

Na Uy – quốc gia có địa hình fjord và đồi núi tương đồng – đã tăng cường khả năng chống chịu mạng lưới thông qua các tuyến thay thế và hệ thống cảnh báo giao thông linh hoạt khi có thời tiết xấu. Cách tiếp cận này giúp duy trì kết nối ngay cả khi một tuyến bị gián đoạn.

Đối với Cao Bằng, phát triển mạng lưới dự phòng không nhất thiết phải quy mô lớn, mà có thể là các tuyến kết nối ngắn, phù hợp địa hình, đóng vai trò “đường thoát hiểm” trong điều kiện khẩn cấp.

c) Tăng cường kết nối trung tâm – vùng ven, giảm áp lực trực độc đạo

Theo UN-Habitat, phát triển giao thông bền vững cần bảo đảm tiếp cận công bằng giữa trung tâm và ngoại vi. Đối với Cao Bằng, nơi địa hình bị chia cắt mạnh, việc phát triển các tuyến kết nối ngắn, phù hợp địa hình giữa khu trung tâm và các khu dân cư vùng ven giúp giảm áp lực lên trục chính và nâng cao khả năng tiếp cận dịch vụ đô thị.

3.5.2. Giải pháp kỹ thuật – công nghệ

a) Thiết kế thích ứng với kịch bản mưa cực đoan

[13] khuyến nghị điều chỉnh tiêu chuẩn thiết kế đường bộ dựa trên kịch bản khí hậu tương lai thay vì dữ liệu lịch sử. Cao Bằng cần nâng chuẩn thiết kế thoát nước, ổn định nền – taluy theo kịch bản mưa cực đoan.

Hàn Quốc sau các trận mưa lớn năm 2011 đã điều chỉnh tiêu chuẩn thiết kế thoát nước đô thị, tăng hệ số an toàn và áp dụng kết cấu dễ phục hồi. Đối với Cao Bằng, việc áp dụng thiết kế “chịu hư hỏng có kiểm soát” (controlled failure) sẽ giúp giảm chi phí sửa chữa quy mô lớn.

b) Gia cố taluy và quản lý nước theo hướng tích hợp

Ổn định taluy và kiểm soát nước là yếu tố sống còn của giao thông miền núi. Thụy Sĩ



Hình 4. Ứng dụng cảm biến và hệ thống cảnh báo sớm trong giám sát chuyển vị mái dốc tại khu vực đồi núi

và Áo đã áp dụng kết hợp tường chắn linh hoạt, neo đất và giải pháp sinh học (bio-engineering) để tăng ổn định mái dốc mà không làm biến dạng cảnh quan.

Cao Bằng có thể ưu tiên giải pháp gia cố sinh học kết hợp vật liệu địa phương, vừa tiết kiệm chi phí, vừa thân thiện môi trường.

c) Ứng dụng công nghệ số và AI trong giám sát – cảnh báo

[3], [4] nhấn mạnh vai trò của chuyển đổi số trong quản trị hạ tầng chống chịu. Nhật Bản và Na Uy đã triển khai hệ thống cảm biến theo dõi chuyển vị mái dốc và lượng mưa theo thời gian thực.

Đối với Cao Bằng, việc từng bước triển khai hệ thống giám sát taluy, cảnh báo sạt lở dựa trên cảm biến chi phí thấp và nền tảng dữ liệu số là hướng đi khả thi. AI có thể hỗ trợ phân tích dữ liệu mưa – địa hình để phát hiện nguy cơ sớm, giúp cơ quan quản lý tổ chức giao thông kịp thời.

3.5.3. Giải pháp về giao thông xanh và giảm phát thải

a) Phát triển hạ tầng đi bộ – xe đạp phù hợp địa hình

OECD và UN-Habitat đều khuyến nghị đô thị quy mô vừa và nhỏ ưu tiên giao thông phi cơ giới. Với quy mô đô thị Cao Bằng, việc phát triển tuyến đi bộ – xe đạp tại lõi trung tâm và khu dân cư đông đúc là giải pháp hiệu quả, chi phí thấp và giảm phát thải.

Tại các đô thị miền núi của Áo và Thụy Sĩ, hệ thống đường dốc được thiết kế với độ dốc hợp lý, bề mặt chống trơn và tích hợp cảnh quan tự nhiên, tăng tính hấp dẫn và an toàn.

b) Phát triển giao thông công cộng quy mô nhỏ, tiết kiệm năng lượng

World Bank và OECD đều khuyến nghị phát triển hệ thống giao thông phù hợp quy mô đô thị. Đối với Cao Bằng, mô hình xe buýt cỡ nhỏ hoặc xe điện linh hoạt, kết nối trung tâm – vùng ven là phù hợp hơn so với hệ thống quy mô lớn.

Nhiều đô thị miền núi tại Nhật Bản áp dụng xe buýt nhỏ chạy điện phục vụ dân cư phân tán, giảm chi phí vận hành và phát thải.

3.5.4. Giải pháp về quản lý, đầu tư và huy động nguồn lực

a) Quản lý hạ tầng theo vòng đời công trình (Lifecycle Governance)

[3], [4] nhấn mạnh rằng thích ứng khí hậu phải được tích hợp vào chu trình đầu tư công. Cao Bằng cần chuyển từ quản lý theo dự án xây dựng sang quản lý theo vòng đời công trình, tính toán đầy đủ chi phí vận hành, bảo trì và rủi ro.

Phân tích chi phí vòng đời giúp tránh tình trạng đầu tư thấp ban đầu nhưng chi phí sửa chữa cao trong dài hạn.

b) Ưu tiên đầu tư theo mức độ rủi ro và vai trò kết nối

Theo khung “lifelines resilience” [3], cần ưu tiên đầu tư vào các tuyến giữ vai trò kết nối thiết yếu (y tế, cứu hộ, thương mại). Cao Bằng nên xây dựng danh mục tuyến ưu tiên theo mức độ rủi ro và tầm quan trọng chiến lược.

c) Huy động nguồn lực đa dạng và nâng cao năng lực quản lý

Việc triển khai PPP quy mô nhỏ, linh hoạt gắn với du lịch sinh thái và dịch vụ



Hình 5. Hạ tầng giao thông phi cơ giới tại đô thị miền núi, tích hợp cảnh quan và đảm bảo an toàn

địa phương là hướng khả thi. Đồng thời, cần nâng cao năng lực đội ngũ quản lý trong phân tích rủi ro, ứng dụng công nghệ số và quản lý tài sản hạ tầng.

Theo OECD, năng lực thể chế quyết định hiệu quả của mọi giải pháp thích ứng.

IV. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Phát triển kết cấu hạ tầng giao thông đô thị miền núi tỉnh Cao Bằng theo hướng bền vững và thích ứng với biến đổi khí hậu không chỉ là yêu cầu ứng phó trước mắt với các hiện tượng mưa cực đoan, sạt lở và ngập úng, mà còn là định hướng chiến lược nhằm bảo đảm an toàn, duy trì kết nối thiết yếu và nâng cao năng lực chống chịu của toàn hệ thống đô thị trong dài hạn.

Trên cơ sở kết quả phân tích, đánh giá rủi ro, bài viết kiến nghị một số nội dung trọng tâm sau:

Thứ nhất, tỉnh Cao Bằng cần sớm xây dựng và ban hành Chương trình phát triển giao thông đô thị thích ứng với biến đổi khí hậu giai đoạn trung hạn và dài hạn, trong đó tích hợp đầy đủ bản đồ rủi ro sạt lở, ngập úng và kịch bản khí hậu vào quy hoạch, thiết kế và đầu tư hạ tầng; cần xác định rõ danh mục các tuyến giao thông thiết yếu, ưu tiên đầu tư theo mức độ rủi ro và vai trò kết nối chiến lược.

Thứ hai, tăng cường cơ chế phối hợp liên ngành giữa các cơ quan quản lý xây dựng, giao thông, tài nguyên – môi trường và phòng chống thiên tai trong quá trình lập quy hoạch, thẩm định dự án và tổ chức thực hiện. Việc chia sẻ dữ liệu khí tượng, địa chất, địa hình và thông tin

vận hành hạ tầng theo thời gian thực sẽ giúp nâng cao hiệu quả quản trị rủi ro và giảm thiểu gián đoạn hệ thống.

Thứ ba, đẩy mạnh hợp tác với các cơ quan nghiên cứu, trường đại học và tổ chức quốc tế trong lĩnh vực hạ tầng chống chịu, quản lý tài sản hạ tầng và ứng dụng công nghệ số. Thông qua hợp tác nghiên cứu – chuyển giao công nghệ, tỉnh có thể tiếp cận các giải pháp thiết kế thích ứng, mô hình phân tích rủi ro và công cụ quản lý vòng đời hiện đại, phù hợp.

Thứ tư, từng bước nâng cao năng lực đội ngũ cán bộ quản lý đô thị và giao thông thông qua đào tạo chuyên sâu về quy hoạch dựa trên rủi ro, phân tích chi phí vòng đời, quản lý tài sản hạ tầng và ứng dụng công nghệ số. Năng lực thể chế và năng lực con người là điều kiện tiên quyết để các giải pháp kỹ thuật và chính sách được triển khai hiệu quả.

Tài liệu tham khảo:

- [1]. IPCC, “Climate Change 2021: The Physical Science Basis”, 2021.
- [2]. IPCC, “Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability”, 2022.
- [3]. S. Hallegatte, J. Rentschler, và J. Rozenberg, *Lifelines: The Resilient Infrastructure Opportunity*. Washington, DC: World Bank, 2019. doi: 10.1596/978-1-4648-1430-3.
- [4]. OECD, “Climate-resilient infrastructure”, tháng 4 2017. doi: 10.1787/02f74d61-en.
- [5]. Báo điện tử chính phủ, “Danh sách 56 xã, phường của tỉnh Cao Bằng”. Truy cập:

26 Tháng Hai 2026. [Online]. Available at: <https://xaydungchinhachsach.chinhphu.vn/sap-xep-dvhc-danh-sach-56-xa-phuong-cua-tinh-cao-bang-119250622175648834.htm>

[6]. Cổng thông tin điện tử Cao Bằng, “Lịch sử phát triển”. Truy cập: 26 Tháng Hai 2026. [Online]. Available at: <https://caobang.gov.vn/lich-su/lich-su-phat-trien-926096>

[7]. H. Anh, “Xếp hạng dân số 34 tỉnh thành của Việt Nam”, *Thuvienphapluat*. Truy cập: 26 Tháng Hai 2026. [Online]. Available at: <https://thuvienphapluat.vn/chinh-sach-phap-luat-moi/vn/ho-tro-phap-luat/thong-tin-huu-ich/90896/xep-hang-dan-so-34-tinh-thanh-cua-viet-nam>

[8]. VTV, “Cao Bằng: Nhiều khu vực ngập lụt do mưa lớn”. Truy cập: 26 Tháng Hai 2026. [Online]. Available at: <https://vtv.vn/xa-hoi/cao-bang-nhieu-khu-vuc-ngap-lut-do-mua-lon-20240823183251122.htm>

[9]. N. Hinh, “Bão số 10 gây sạt lở, cấm đường trên nhiều tuyến giao thông ở miền Trung và miền núi phía Bắc”, *Pháp Luật*. Truy cập: 26 Tháng Hai 2026. [Online]. Available at: <https://plo.vn/bao-so-10-gay-sat-lo-cam-duong-tren-nhieu-tuyen-giao-thong-o-mien-trung-va-mien-nui-phia-bac-post873209.html>

[10]. D. Kim, “Toàn tỉnh thiên tai gây thiệt hại gần 5.920 tỷ đồng”, *Báo Cao Bằng*. Truy cập: 26 Tháng Hai 2026. [Online]. Available at: <https://baocaobang.vn/toan-tinh-thien-tai-gay-thiet-hai-gan-5-920-ty-dong-3182969.html>

[11]. Thống kê tỉnh Cao Bằng, “Báo cáo tình hình kinh tế - xã hội tháng 12 và cả năm 2025 tỉnh Cao Bằng”. Truy cập: 26 Tháng Hai 2026. [Online]. Available at: <https://thongkecaobang.nso.gov.vn/bao-cao-tinh-hinh-kinh-te-xa-hoi-nam/bao-cao-tinh-hinh-kinh-te-xa-hoi-thang-12-va-ca-nam-2025-tinh-cao-bang-1416.html>

[12]. IPCC, “AR5 Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability”, 2014.

[13]. PIARC, “International climate change adaptation framework for road infrastructure”, 2019.