



KẾT HỢP HẠ TẦNG XÁM – XANH TRONG KIỂM SOÁT NGẬP ÚNG ĐÔ THỊ MIỀN NÚI VÀ BÀI HỌC CHO ĐÔ THỊ CAO BẰNG

INTEGRATING GREY-GREEN INFRASTRUCTURE IN FLOOD CONTROL FOR MOUNTAINOUS CITIES AND LESSONS FOR CAO BẰNG CITY

PGS.TS. Vũ Thị Vinh¹

Tóm tắt: Biến đổi khí hậu đang làm mưa cực đoan gia tăng rõ rệt, khiến nhiều đô thị miền núi ở nước ta thường xuyên đối mặt với ngập úng, lũ quét và sạt lở, gây thiệt hại lớn và làm gián đoạn phát triển kinh tế – xã hội. Tại tỉnh Cao Bằng, các đô thị chủ yếu phân bố dọc các thung lũng sông suối; trong khi địa hình dốc, lưu vực nhỏ, mức độ bê tông hóa tăng và hệ thống thoát nước còn hạn chế, nên rủi ro ngập ngày càng phức tạp, khó kiểm soát.

Bài tham luận phân tích thực trạng và bốn nhóm nguyên nhân chính (khí tượng–thủy văn; địa hình–lưu vực; quy hoạch–hạ tầng; dòng chảy xuyên biên giới), từ đó đề xuất hướng tiếp cận tích hợp hạ tầng xanh – hạ tầng xám và tham khảo kinh nghiệm quốc tế để lựa chọn giải pháp phù hợp cho Cao Bằng. Điểm mới của nghiên cứu là xây dựng mô hình tổ chức hệ thống xanh - xám theo ba tầng không gian địa hình (vùng cao – trung gian – vùng thấp) gắn với cấu trúc lưu vực, nhằm nâng cao năng lực chống chịu và giảm rủi ro ngập úng theo hướng phát triển đô thị Cao Bằng bền vững, thích ứng biến đổi khí hậu.

Từ khóa: Biến đổi khí hậu, mưa cực đoan, ngập úng đô thị, đô thị miền núi, hạ tầng xanh – xám, đô thị bọt biển.

Abstract: Climate change has significantly increased the frequency and intensity of extreme rainfall, causing many mountainous cities in Vietnam to face growing risks of urban flooding, flash floods, and landslides. These hazards cause serious damage and disrupt socio-economic development. In Cao Bằng Province, most urban areas are located along narrow river valleys, while steep terrain, small catchments, increasing levels of urbanization, and limited drainage systems, so the risk of flooding is becoming increasingly complex and difficult to control.

This paper analyzes the current situation of urban flooding in Cao Bằng and identifies four main groups of causes, including meteorological–hydrological factors, topographic–catchment characteristics, limitations

in urban planning and infrastructure, and impacts of transboundary flows. Based on this analysis, the study proposes an integrated grey–green infrastructure approach and reviews international experiences to identify solutions suitable for mountainous cities.

The main contribution of the study is the development of a grey–green infrastructure model organized according to three topographic spatial levels (upper, middle, and lower zones) associated with watershed structures. This approach aims to enhance urban resilience and reduce flood risks, contributing to the sustainable development of mountainous cities in Cao Bằng under climate change conditions.

Keywords: Climate change, extreme rainfall, urban flooding, mountainous cities, grey–green infrastructure, sponge city.

Nhận bài ngày 20/01/2026, chỉnh sửa ngày 22/2/2026, chấp nhận đăng ngày 25/3/2026.

I. GIỚI THIỆU

1.1. Điều kiện tự nhiên – thủy văn và tính dễ tổn thương

Cao Bằng là tỉnh miền núi biên giới Đông Bắc, có khoảng 90% diện tích là núi, độ cao trung bình 600 -1.000 m, địa hình bị chia cắt mạnh bởi các dãy núi đá vôi và thung lũng hẹp. Đặc điểm này tạo nên lưu vực nhỏ, dốc, thời gian tập trung dòng chảy ngắn – một yếu tố làm gia tăng nguy cơ lũ nhanh và ngập đột ngột. Hệ thống sông suối khá dày đặc (0,5–1,0km/km²), gồm các sông chính như Bằng Giang, Gâm, Quây Sơn, Hiến, Năng, Neo... với chế độ nước phân hóa rõ hai mùa:

- Mùa lũ (6–10) chiếm 65–80% tổng lượng nước năm;
- Mùa cạn (11–5) nhiều suối nhỏ suy giảm lưu lượng.

Toàn tỉnh có khoảng 47 hồ tự nhiên và nhân tạo (như hồ Thang Hen, Bản Viêt), cùng hệ thống hang động khá phát triển. Tuy nhiên,

¹ Nguyên Tổng Thư ký Hiệp hội Các đô thị Việt Nam
Email: vuthivinhhacvn@gmail.com

đặc điểm địa hình dốc và thung lũng hẹp khiến khả năng trữ – điều tiết nước tự nhiên tại khu vực đô thị còn hạn chế.

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu, khu vực Trung du và Miền núi phía Bắc được ghi nhận xu hướng gia tăng mưa lớn cực đoan trong thời đoạn ngắn, làm gia tăng nguy cơ lũ quét và ngập lụt đô thị [3], [4], [11].



Hình 1a,b. Điều kiện tự nhiên và thủy văn tỉnh Cao Bằng

1.2. Diễn biến ngập úng đô thị những năm gần đây

Ngập úng tại Cao Bằng tập trung chủ yếu ở các đô thị và khu dân cư bám theo thung lũng sông suối, đặc biệt dọc trục sông Bằng Giang. Các số liệu thống kê gần đây cho thấy mức độ rủi ro ngày càng gia tăng [7], [8]:

- Báo số 3 năm 2024, đã ảnh hưởng trên toàn tỉnh Cao Bằng: có 2.290 nhà bị thiệt hại/ảnh hưởng, trong đó 1.064 nhà bị ngập, cùng 2.237,8 ha sản xuất nông nghiệp bị thiệt hại nghiêm trọng.
- Đợt mưa lớn ngày 09/9/2024, ghi nhận 391 nhà bị thiệt hại, trong đó 326 nhà bị ngập, riêng TP. Cao Bằng có 308 nhà bị ngập.
- Tháng 10 năm 2025, có thời điểm mực nước sông Bằng Giang vượt Báo động III trên 2,7m, cao hơn đỉnh lũ lịch sử năm 1986, khiến nhiều tuyến phố trung tâm ngập sâu và một số khu dân cư bị cô lập.

Thực tế cho thấy hiện tượng ngập úng không chỉ đơn thuần do lượng mưa lớn, mà là hệ quả từ sự kết hợp giữa các yếu tố: Địa hình dốc, áp lực dân cư ven sông và sự bất cập của hệ thống thoát nước hiện tại.



Hình 2a,b. Ngập lụt nặng ở khu vực đô thị Cao Bằng ven sông Bằng Giang

1.3. Nhóm nguyên nhân chính gây ngập úng đô thị

Thực tiễn cho thấy tình trạng ngập úng tại các đô thị tỉnh Cao Bằng không xuất phát từ một nguyên nhân đơn lẻ, mà là kết quả tổng hợp giữa yếu tố khí hậu, địa hình – thủy văn và quá trình đô thị hóa. Trên cơ sở số liệu thực tế và các nghiên cứu liên quan, có thể khái quát các nhóm nguyên nhân chính như sau:

1) Nguyên nhân khí tượng – thủy văn: Các đợt mưa lớn diện rộng do hoàn lưu bão và vùng hội tụ gió làm gia tăng nhanh dòng chảy mặt. Hiện tượng “lũ chồng lũ” trong 2–3 ngày liên tiếp khiến mực nước sông Bằng Giang và các phụ lưu tăng đột ngột, vượt khả năng tiêu thoát tự nhiên của lưu vực [3], [9].

2) Nguyên nhân địa hình – lưu vực: Địa hình dốc và lưu vực nhỏ làm nước mưa nhanh chóng tập trung về sông chính. Đô thị phát triển chủ yếu trong thung lũng ven sông, suối nên khi mực nước dâng cao dễ tràn bờ, gây ngập sâu; đồng thời sạt lở và bồi lấp lòng dẫn làm giảm khả năng thoát lũ.

3) Nguyên nhân quy hoạch – hạ tầng: Đô thị hóa dọc trục sông và giao thông chính làm thu hẹp hành lang thoát lũ. Tỷ lệ bê tông hóa khu vực trung tâm khoảng 65–75% làm tăng dòng chảy mặt, trong khi không gian xanh, mặt nước hạn chế và hệ thống cống nhỏ, thiếu đồng bộ, dễ ứ tắc trong mưa lớn.

4) Nguyên nhân dòng chảy xuyên biên giới: Sông Bằng Giang là sông xuyên biên giới, nên trong các đợt mưa lớn toàn lưu vực, nước từ thượng nguồn đổ về làm đỉnh lũ đến sớm và cao hơn. Hiện tượng dâng nước hạ lưu và hạn chế trong chia sẻ dữ liệu xuyên biên giới cũng ảnh hưởng đến dự báo và điều hành.

Tổng hợp các nguyên nhân trên cho thấy ngập úng đô thị tại Cao Bằng là hệ quả của tác động đan xen giữa biến đổi khí hậu, đặc điểm tự nhiên và hạn chế trong quy hoạch – hạ tầng, làm suy giảm khả năng thấm – trữ – điều tiết nước mưa. Đây là cơ sở đặt ra yêu cầu đổi mới tư duy phát triển theo hướng tăng cường khả năng chống chịu, kết hợp hài hòa giữa hạ tầng xanh và hạ tầng xám.

II. VẬT LIỆU NGHIÊN CỨU

2.1. Hạ tầng xám và hạ tầng xanh trong phòng, chống ngập úng

Trong bối cảnh biến đổi khí hậu làm gia tăng mưa cực đoan, các đô thị miền núi phải đối mặt đồng thời với nguy cơ ngập úng, lũ quét và sạt lở. Do đó, việc lựa chọn mô hình hạ tầng phù hợp đóng vai trò quyết định đối với hiệu quả kiểm soát rủi ro [10], [11].

a) Hạ tầng xám (Gray infrastructure): Hình thành từ cuối thế kỷ XIX – đầu thế kỷ XX cùng quá trình công nghiệp hóa ở châu Âu và Bắc Mỹ, gắn với hệ thống cống ngầm, kênh bê tông, đê – kè và trạm bơm. Giai đoạn 1850–1950 được coi là thời kỳ “thoát nước nhanh – xả tập trung”, nhằm giải quyết vấn đề vệ sinh và ngập úng đô thị.

Tuy nhiên, từ sau năm 2005, nhiều nghiên cứu chỉ ra rằng hệ thống hạ tầng xám thuần túy ngày càng quá tải trước mưa cực đoan và biến đổi khí hậu, dẫn đến chi phí duy tu lớn và hiệu quả giảm dần [9].



Hình 3a,b,c. Hệ thống Kè bờ sông - Trạm bơm
Hệ thống cống thoát nước

b) Hạ tầng xanh (Green infrastructure): Được sử dụng rộng rãi từ thập niên 1990 trong lĩnh vực sinh thái đô thị và quản lý nước mưa tại Mỹ và Châu Âu.

Hạ tầng xanh bao gồm các bề mặt thấm nước, công viên trồng, nương sinh học, hồ tự nhiên, thảm thực vật và các giải pháp dựa vào tự nhiên (NbS) [10], [13], [14].

Các thành phần này giúp tăng khả năng thấm, trữ, làm chậm dòng chảy, đồng thời mang lại lợi ích về sinh thái, cảnh quan và xã hội.

c) Tiếp cận tích hợp xám – xanh cho đô thị miền núi: Đối với đô thị miền núi, việc kết hợp hạ tầng xám và hạ tầng xanh cần được tổ chức theo tư duy lưu vực và theo cao độ địa hình. Đặc trưng dòng chảy nhanh, thời gian tập trung ngắn đòi hỏi hệ thống vừa phân tán để giảm tải, vừa có cấu phần an toàn để kiểm soát tình huống cực đoan. Tiếp cận tích hợp xám – xanh được xem là nền tảng khoa học cho quản lý ngập bền vững.

2.2. Nguyên tắc thiết kế kết hợp hạ tầng xám – xanh

Theo hướng dẫn của OECD, Ngân hàng Thế giới (WB) và UN-Habitat [9], [10], [11], việc tích hợp hạ tầng xám – xanh cần tuân thủ một số nguyên tắc cơ bản:

1) Tôn trọng địa hình và quy luật dòng chảy tự nhiên: Thiết kế cần dựa trên việc nhận diện hướng dòng chảy, điểm hội tụ và phân lưu theo sườn dốc; bảo tồn và phục hồi khe suối, thung lũng nhỏ.

2) Nguyên tắc “xanh trước - xám sau”: Ưu tiên các giải pháp thấm, trữ và làm chậm dòng chảy; hạ tầng xám đóng vai trò hỗ trợ và bảo đảm an toàn cho các kịch bản biến đổi khí hậu cực đoan.

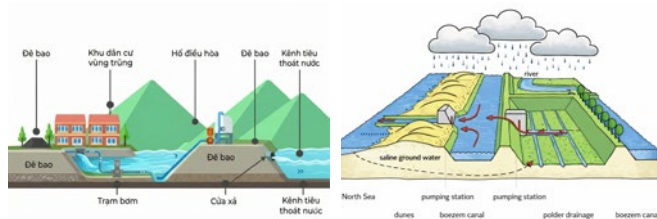
3) Cấu trúc đa tầng và đa chức năng: Mỗi không gian vừa phục vụ thoát nước, vừa là cảnh quan và không gian cộng đồng, như công viên trồng, quảng trường ngập theo mùa, ruộng bậc thang đô thị.

Tiếp cận này giúp giảm quy mô công trình cứng, tối ưu chi phí đầu tư và nâng cao khả năng thích ứng dài hạn.

2.3. Mô hình Polder trong kiểm soát ngập đô thị miền núi

Mô hình Polder là hình thức kiểm soát ngập chủ động, bao kín khu đô thị bằng hệ thống đê – kè kết hợp hồ điều hòa, cống và trạm bơm, nhằm tách khu dân cư khỏi dòng lũ tự nhiên và chủ động tiêu thoát nước. Mô hình này đã được áp dụng phổ biến tại Nhật Bản và châu Âu [15], [17].

Một hệ thống Polder điển hình gồm bốn cấu phần chính: (i) Đê bao – kè bao: Ngăn nước lũ tràn vào khu dân cư; (ii) Hồ điều hòa – vùng trữ nước: Giảm đỉnh lũ và quá tải cống; (iii) Hệ thống cống – nương: Thu và dẫn nước về hồ hoặc trạm bơm; (iv) Trạm bơm tiêu cưỡng bức: Bơm nước ra sông khi mực nước ngoài cao.



Hình 4 a,b. Hệ thống kiểm soát lũ vùng trũng theo mô hình Polder

Hình ảnh trên diễn tả sơ đồ mô hình Polder đô thị gồm hệ thống đê bao, hồ điều hòa, trạm bơm và kênh tiêu nhằm bảo vệ khu dân cư vùng trũng thấp và chủ động tiêu thoát nước khi mưa lớn, lũ dâng. Khác với thoát nước tự nhiên, polder vận hành theo cơ chế điều tiết chủ động, phù hợp với các khu đô thị miền núi nằm trong thung lũng trũng thấp. Khi kết hợp với thảm thực vật, vùng đệm sinh thái và không gian trữ nước, mô hình này góp phần nâng cao khả năng chống chịu trước mưa lớn và lũ quét.

2.4. Khung pháp lý và định hướng chính sách của Việt Nam

Hệ thống pháp luật hiện hành đã tạo cơ sở quan trọng cho việc tích hợp hạ tầng xanh – hạ tầng xám trong kiểm soát ngập ứng đô thị miền núi. Luật sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Phòng, chống thiên tai và Luật Đê điều; Luật Tài nguyên nước (2023) định hướng quản lý rủi ro theo lưu vực, khuyến khích kết hợp giải pháp công trình (đê, kè, trạm bơm) với giải pháp phi công trình và giải pháp dựa vào tự nhiên, qua đó tạo nền tảng pháp lý cho mô hình điều tiết phân tán và trữ nước sinh thái. [1], [2], [5], [6].

Trong lĩnh vực quy hoạch xây dựng đô thị, Luật Quy hoạch đô thị và nông thôn (2025) cùng QCVN 01:2021/BXD yêu cầu tích hợp phòng, chống ngập vào đồ án quy hoạch, xác định cao độ nền, hành lang thoát lũ, quỹ đất mặt nước và cây xanh – đây là cơ sở quan trọng để bố trí đồng thời cấu phần hạ tầng xanh và hạ tầng xám. Các tiêu chuẩn (như TCVN 7957:2023) cho phép áp dụng giải pháp trữ – thấm – điều tiết nước mưa kết hợp hệ thống thoát nước truyền thống.

Ở cấp chiến lược, Chiến lược quốc gia phòng, chống thiên tai (QĐ 379/QĐ-TTg, 2021) và Chiến lược quốc gia về biến đổi khí hậu (QĐ 896/QĐ-TTg, 2022) đều nhấn mạnh nâng cao năng lực chống chịu đô thị và khuyến khích phát triển hạ tầng xanh, đô thị bọt biển và các giải pháp dựa vào hệ sinh thái. [3], [4].

Với tỉnh Cao Bằng, các định hướng này được cụ thể hóa thông qua Kế hoạch 1149/KH-UBND năm 2024 về phòng, chống thiên tai và Văn bản 3317/UBND-KT năm 2025 về cập nhật các điểm ngập trên bản đồ GIS, góp phần quản lý “điểm đen ngập” dựa trên dữ liệu. Các báo cáo thường niên của tỉnh cho thấy cơ chế tổng kết, rút kinh nghiệm được duy trì thường xuyên. Như vậy, khung pháp lý hiện hành đã mở đường cho việc triển khai mô hình tích hợp hạ tầng xanh – xám trong kiểm soát ngập ứng đô thị miền núi, trong đó quy hoạch không gian và thiết kế kỹ thuật giữ vai trò then chốt.

Trên cơ sở tổng hợp lý luận và kinh nghiệm quốc tế, nghiên cứu này đã cụ thể hóa các nguyên tắc tích hợp hạ tầng xanh – xám vào điều kiện địa hình, thủy văn và quản lý đô thị của Cao Bằng. Đây là cơ sở để chuyển hóa các khung tiếp cận chung thành mô hình áp dụng thực tiễn cho đô thị miền núi phía Bắc.

III. TRAO ĐỔI VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kinh nghiệm quốc tế trong phòng, chống ngập ứng đô thị miền núi

3.1.1. Xu hướng tiếp cận chung trên thế giới

Các đô thị miền núi thường có lưu vực nhỏ, địa hình dốc và thời gian tập trung dòng chảy ngắn nên dễ xảy ra ngập nhanh, lũ

quét. Trước tác động gia tăng của biến đổi khí hậu, nhiều quốc gia đã chuyển từ cách làm “thoát nước thuần túy” sang mô hình tích hợp hạ tầng xanh – hạ tầng xám theo tư duy lưu vực.

Các xu hướng chủ đạo gồm: (i) Tổ chức hệ thống điều tiết liên thông từ thượng lưu đến hạ lưu; (ii) Kết hợp công trình kỹ thuật (đê/kè, hồ điều hòa, trạm bơm, cống-kênh) với cấu phần sinh thái (bể mặt thấm, vùng trữ nước, hành lang xanh); (iii) Ưu tiên trữ-thấm phân tán để giảm đỉnh lũ và làm chậm dòng chảy, thay vì chỉ tăng năng lực tiêu thoát; và (iv) Ứng dụng CN số để quan trắc, mô phỏng và vận hành hệ thống theo thời gian thực.

Theo Ngân hàng Thế giới, mô hình xanh - xám cần được cấu trúc thành “gói giải pháp” gồm: 1) Lớp công trình bảo vệ/tiêu thoát, lớp NbS (phục hồi ven sông, vùng ngập nước, không gian trữ nước sinh thái) và 2) Lớp hỗ trợ quản trị – dữ liệu (quy hoạch, quan trắc, mô hình hóa, vận hành thông minh); 3) Đồng thời lựa chọn phương án dựa trên phân tích chi phí – lợi ích và khả năng vận hành dài hạn. Những định hướng này là cơ sở để phát triển các mô hình hạ tầng thích ứng cho đô thị miền núi.

3.1.2. Kinh nghiệm Nhật Bản: Quản lý lũ tổng hợp theo lưu vực

Nhật Bản là quốc gia điển hình trong phát triển mô hình kiểm soát lũ tổng hợp theo lưu vực (Flood Control Measures), dựa trên sự kết hợp chặt chẽ giữa hạ tầng xám và hạ tầng xanh [17].

Hệ thống này gồm ba nhóm cấu phần chính:

- (i) Công trình điều tiết: Đập, hồ chứa, hồ – vùng điều tiết lũ (retarding basin);
- (ii) Cải tạo dòng chảy: Nạo vét, kè, mở rộng lòng dẫn, kênh phân lũ;
- (iii) Giảm dòng chảy đô thị: Kiểm soát đô thị hóa, tăng bề mặt thấm, trữ nước mưa tại khu dân cư.

Cách tiếp cận “giữ nước - làm chậm - xả có kiểm soát” trong đó các vùng điều tiết lũ đa mục tiêu vừa cắt đỉnh lũ, vừa tích hợp không gian công cộng và cây xanh khi không có lũ, giúp giảm đáng kể áp lực cho hệ thống cống và bảo đảm an toàn cho khu vực hạ lưu.

3.1.3. Kinh nghiệm vùng Alps: Phục hồi sông suối và “không gian cho nước”

Các quốc gia vùng Alps (Thụy Sĩ, Áo, Pháp, Ý) chú trọng quản lý rủi ro lũ theo hướng thích ứng BĐKH; trong đó kiểm soát ngập úng đô thị miền núi được triển khai nổi bật thông qua phục hồi hệ sinh thái sông suối và mở rộng “không gian cho nước”.

Trong khuôn khổ Alpine Convention, hạ tầng xanh và phục hồi dòng chảy tự nhiên được coi là giải pháp trọng tâm, với các nhóm can thiệp điển hình gồm: Khôi phục hành lang thoát lũ và bãi tràn tự nhiên; Kết hợp kè mềm, mái dốc sinh thái với các vùng ngập nước; và Lồng ghép mạng lưới không gian xanh vào hệ thống thoát nước đô thị [15].

Cách tiếp cận này gắn quản lý lũ với các rủi ro đặc thù miền núi như sạt lở và dòng bùn đá, thông qua kiểm soát sử dụng đất và bảo vệ hành lang sông suối, nhằm duy trì chức năng tự nhiên của thung lũng thoát lũ. Nhờ tăng khả năng trữ nước, làm chậm dòng chảy và giảm xói lở - bồi lắng, mô hình này đồng thời hỗ trợ nâng cao hiệu quả và tuổi thọ của các cấu phần hạ tầng xám trong đô thị.

3.1.4. Kinh nghiệm Trung Quốc: Mô hình đô thị bọt biển

Trung Quốc triển khai chương trình đô thị bọt biển (Sponge City) từ năm 2015, được xem là mô hình tiêu biểu về tích hợp hạ tầng xanh với hệ thống thoát nước truyền thống. Cách tiếp cận này hướng tới hệ thống nước đô thị vận hành “như bọt biển”, với chu trình hấp thụ – lưu giữ – thấm – làm sạch – tái sử dụng và xả nước khi cần.

Về cấu trúc, hệ thống được tổ chức theo chuỗi liên hoàn: (i) Các giải pháp tại nguồn như bề mặt thấm, vườn mưa, rãnh sinh học; (ii) Các không gian điều tiết trung gian như công viên ngập nước và hồ điều hòa phân tán; và (iii) Kết nối – tiêu thoát an toàn thông qua cống, kênh và trạm bơm.

Nhờ đó, nước mưa được kiểm soát ngay từ đầu, dòng chảy tràn về sông được làm chậm và giảm đỉnh, đồng thời hạn chế tình trạng quá tải cho hạ tầng xám. Mục tiêu tổng hợp của chương trình là giảm ngập do mưa và tăng khả năng trữ nước đô thị; đối với khu vực miền núi “Sponge City” chỉ phát huy hiệu quả khi triển khai đồng bộ ở quy mô đô thị – lưu vực, gắn với quy hoạch, tiêu chuẩn kỹ thuật và cơ chế vận hành thống nhất - theo hướng dẫn kỹ thuật của Trung Quốc và các nghiên cứu gần đây [12], [16].

3.2. Bài học kinh nghiệm và đề xuất giải pháp hạ tầng xanh-xám cho Tỉnh Cao Bằng

3.2.1. Bài học kinh nghiệm từ thực tiễn quốc tế và trong nước

Tổng hợp kinh nghiệm quốc tế và thực tiễn quản lý ngập lụt tại Việt Nam cho thấy, công tác phòng, chống ngập úng đô thị miền núi cần chuyển từ cách tiếp cận xử lý cục bộ sang quản lý tổng hợp theo lưu vực và theo không gian địa hình. Đối với tỉnh Cao Bằng, có thể rút ra một số bài học chủ yếu như sau:

- **Chuyển từ tư duy thoát nhanh sang giảm đỉnh lũ:** Thay vì tập trung mở rộng cống, kè trong đô thị, cần hình thành các lớp điều tiết ở thượng lưu và trung lưu, kết hợp hồ chứa nhỏ, vùng trữ nước và kiểm soát dòng chảy nhằm giảm tải cho khu vực trung tâm.

- **Coi trữ – thấm nước mưa phân tán là hạ tầng thiết yếu:** Các giải pháp bề mặt thấm, bể trữ nước mưa, hồ thấm, công viên trũng cần được triển khai rộng rãi trong khu dân cư, phù hợp với địa hình dốc và lưu vực nhỏ.

- **Bảo đảm “không gian cho nước”:** Việc bảo vệ hành lang sông suối, bãi tràn và mở rộng các đoạn thắt cổ chai có ý nghĩa quyết định trong duy trì năng lực thoát lũ tự nhiên cho các đô thị thung lũng.

- **Tích hợp kiểm soát lũ với quản lý sườn dốc và bồi lấp:** Công tác phòng, chống ngập cần gắn với ổn định mái dốc, chống xói mòn và hạn chế bồi lắng lòng dẫn để giảm nguy cơ tắc nghẽn dòng chảy cục bộ.

- **Triển khai đô thị bọt biển theo hướng hệ thống và đồng bộ:** Các giải pháp như công viên ngập nước, rãnh sinh học, hồ điều hòa phân tán cần được tổ chức theo chuỗi cao độ địa hình, tránh triển khai manh mún, rời rạc.

- **Kết hợp hạ tầng xanh – xám và quản trị dựa trên dữ liệu:** Cần phát triển đồng thời các cấu phần điều tiết tự nhiên, công trình bảo vệ và hệ thống cảnh báo sớm trên nền tảng GIS, mô hình hóa và dữ liệu thời gian thực.

Những bài học trên là cơ sở quan trọng để xây dựng mô hình kiểm soát ngập phù hợp với điều kiện tự nhiên và năng lực quản lý của tỉnh Cao Bằng trong giai đoạn tới.

3.2.2. Đề xuất nhóm giải pháp hạ tầng xanh – xám cho đô thị miền núi tỉnh Cao Bằng

Trên cơ sở đặc điểm địa hình – thủy văn và các bài học kinh nghiệm, giải pháp cho Cao Bằng cần tiếp cận theo hướng tích hợp hạ tầng xanh – hạ tầng xám theo lưu vực và theo cao độ địa hình, thay vì xử lý cục bộ từng điểm ngập, phù hợp với các khuyến nghị quốc tế về quản lý rủi ro lũ đô thị [9], [10], [11]. Trọng tâm là:

* **Tăng cường điều tiết theo lưu vực** thông qua hình thành các vùng trữ nước thượng lưu và trung lưu, hồ điều hòa bán tự nhiên và vùng điều tiết lũ tạm thời nhằm cắt giảm đỉnh lũ trước khi dòng chảy vào khu vực trung tâm; đồng thời bảo vệ và phục hồi các khe suối, lòng dẫn tự nhiên.

* **Phát triển hạ tầng xanh phân tán** trong khu dân cư nhằm giữ nước tại chỗ và làm chậm dòng chảy mặt, thông qua mở rộng bề mặt thấm, vườn mưa, rãnh sinh học, công viên trung và các hồ điều hòa nhỏ theo cao độ. Đây là nhóm giải pháp cốt lõi của mô hình LID và đô thị bọt biển.

* **Nâng cấp hạ tầng xám** theo vai trò hỗ trợ và bảo vệ, trong đó cải tạo hệ thống cống gắn với xây dựng hồ điều hòa, xây dựng đê kè, trạm bơm và cửa xả một chiều tại các khu vực trũng thấp, đồng thời nghiên cứu áp dụng mô hình polder với quy mô phù hợp. Hạ tầng xám đóng vai trò “lớp bảo vệ cuối cùng” trong các kịch bản mưa cực đoan.

* **Tổ chức hệ thống xanh - xám** theo cấu trúc nhiều tầng không gian, phù hợp điều kiện miền núi: Vùng cao tầng che phủ thực vật và phân tán dòng chảy; vùng trung gian bố trí hồ điều tiết và nương sinh học; vùng thấp phát triển công viên ngập nước, hồ điều hòa và đê kè kiểm soát, theo nguyên tắc “giữ nước ở vùng cao, làm chậm ở trung gian và kiểm soát ở vùng thấp”.

* **Đẩy mạnh ứng dụng công nghệ số** trong vận hành hệ thống, thông qua xây dựng bản đồ ngập trên nền GIS, lắp đặt cảm biến mưa – mực nước và áp dụng mô hình thủy văn – thủy lực nhằm phục vụ dự báo và điều hành theo thời gian thực.

IV. KẾT LUẬN

Ngập úng đô thị tại tỉnh Cao Bằng không chỉ là hệ quả của mưa cực đoan và địa hình miền núi dốc, mà còn phản ánh những giới hạn của mô hình phát triển dựa chủ yếu vào hạ tầng cứng truyền thống. Trong điều kiện biến đổi khí hậu ngày càng gia tăng, cách tiếp cận “thoát nhanh” không còn đủ để bảo đảm an toàn và bền vững cho các đô thị thung lũng ven sông. Tiếp cận tích hợp hạ tầng xanh – hạ tầng xám theo lưu vực và theo cao độ địa hình là hướng đi tất yếu, giúp giảm đỉnh lũ, tăng khả năng trữ – thấm – điều tiết và củng cố “lớp bảo vệ an toàn” trước các kịch bản mưa cực đoan. Việc tổ chức hệ thống nhiều tầng không gian – từ vùng cao, trung gian đến vùng thấp – cho phép kiểm soát nước một cách chủ động và linh hoạt hơn.

Để chuyển hóa định hướng này thành hiệu quả thực tế, tỉnh Cao Bằng cần đưa mô hình xanh – xám trở thành cấu phần bắt

buộc trong quy hoạch, đầu tư và quản lý đô thị, gắn với ứng dụng công nghệ số và huy động nguồn lực xã hội. Đây không chỉ là giải pháp kỹ thuật, mà là lựa chọn chiến lược nhằm nâng cao năng lực chống chịu, bảo vệ môi trường sống và bảo đảm phát triển đô thị miền núi bền vững trong dài hạn.

Đỗ Giang (BT)

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Quốc hội, *Luật số 60/2020/QH14: Luật sửa đổi, bổ sung một số điều của Luật Phòng, chống thiên tai và Luật Đê điều*, Hà Nội, 2020.
- [2]. Quốc hội, *Luật Tài nguyên nước*, Hà Nội, 2023.
- [3]. Thủ tướng Chính phủ, *Quyết định số 379/QĐ-TTg ngày 17/3/2021 về Chiến lược quốc gia phòng, chống thiên tai đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050*, Hà Nội, 2021.
- [4]. Thủ tướng Chính phủ, *Quyết định số 896/QĐ-TTg ngày 26/7/2022 về Chiến lược quốc gia về biến đổi khí hậu đến năm 2050*, Hà Nội, 2022.
- [5]. Bộ Xây dựng, QCVN 01:2021/BXD – *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về Quy hoạch xây dựng*, Hà Nội, 2021.
- [6]. Bộ Xây dựng, QCVN 07-2:2016/BXD – *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về các công trình hạ tầng kỹ thuật: Công trình thoát nước*, Hà Nội, 2016.
- [7]. UBND tỉnh Cao Bằng, *Kế hoạch số 1149/KH-UBND ngày 15/5/2024 về phòng, chống thiên tai năm 2024*, Cao Bằng, 2024.
- [8]. UBND tỉnh Cao Bằng, *Văn bản số 3317/UBND-KT ngày 22/10/2025 về cập nhật các điểm ngập lụt trên bản đồ GIS tỉnh Cao Bằng*, Cao Bằng, 2025.
- [9]. World Bank, *Urban Flood Risk Handbook: Assessing Risk and Identifying Interventions*, Washington DC, USA, 2019.
- [10]. OECD, *Nature-based Solutions for Water Management*, Paris, France, 2018.
- [11]. UN-Habitat, *Enhancing Urban Resilience to Climate Change*, Nairobi, Kenya, 2021.
- [12]. Ministry of Housing and Urban-Rural Development of China, *Sponge City Technical Guidelines*, Beijing, China, 2015.
- [13]. CIRIA, *The SuDS Manual (C753)*, London, UK, 2015.
- [14]. T. D. Fletcher et al., “SUDS, LID, BMPs, WSUD and more – The evolution and application of terminology surrounding urban drainage,” *Water Science and Technology*, vol. 67, no. 3, 2014.
- [15]. Alpine Convention, *Alpine Signals 7: Guidelines for Climate Change Adaptation at the Local Level in the Alps*, Innsbruck, Austria.
- [16]. H. Wang, C. Wang, C. Yan, L. Xu, C. Zhang, J. Wang and Y. Kou, “Characteristics of Urban Flood Resilience Evolution and Analysis of Influencing Factors: A Case Study of Yingtan City, China.”
- [17]. “Evolution of Japan's flood control planning and policy in response to climate change risks and social changes,” *Water Policy*, vol. 23, suppl. 1, pp. 77–84, 2021.
- [18]. GTZ, *Flood Control Measures – Best Practices Report: An Approach for Community-Based Flood Control Measures in the Terai Rivers*, 2000.