

Ứng dụng công nghệ mới và giải pháp kỹ thuật tiên tiến trong quản lý xây dựng hệ thống thoát nước đô thị bền vững

Lê Hồng Dương^{1*}

¹Bộ môn Thi công và Máy xây dựng, Khoa Xây dựng, Trường Đại học Kiến trúc, Hà Nội

TỪ KHOÁ

Hệ thống thoát nước đô thị
Quản lý xây dựng
Phát triển bền vững
Công nghệ mới
Giải pháp kỹ thuật tiên tiến
Giải pháp xanh
Hạ tầng kỹ thuật đô thị

TÓM TẮT

Sự phát triển nhanh chóng của các đô thị lớn tại Việt Nam đã làm gia tăng nhu cầu về hạ tầng kỹ thuật, đặc biệt là hệ thống thoát nước. Bài báo tập trung phân tích vai trò của công nghệ mới và giải pháp kỹ thuật tiên tiến trong quản lý xây dựng hệ thống thoát nước đô thị theo hướng bền vững. Trên cơ sở khảo sát và đối chiếu thực tiễn tại các đô thị lớn như Hà Nội, TP.HCM, Đà Nẵng, bài nghiên cứu đề xuất ứng dụng các công nghệ như GIS, BIM, SCADA, IoT để tối ưu hóa thiết kế, vận hành và bảo trì hệ thống. Đồng thời, các vật liệu kỹ thuật mới (gạch block thấm, bê tông rỗng, màng lọc sinh học) và giải pháp xanh (hồ sinh học, mương cây xanh, vườn mưa, mái xanh) được đề cập như hướng đi hiệu quả trong điều kiện khí hậu Việt Nam. Qua phân tích kinh nghiệm quốc tế (Singapore, Nhật Bản, EU), bài viết đưa ra các khuyến nghị về đào tạo nhân lực, hoàn thiện cơ chế tài chính và xây dựng chiến lược chuyển đổi số để vượt qua các thách thức hiện hữu về hạ tầng, dữ liệu và nguồn lực.

KEYWORDS

Urban drainage systems
Construction management
Sustainable development
New technologies
Advanced technical solutions
Green solutions
Urban technical infrastructure

ABSTRACT

The rapid development of major urban areas in Vietnam has significantly increased the demand for technical infrastructure, particularly urban drainage systems. This paper focuses on analyzing the role of new technologies and advanced technical solutions in the sustainable management and construction of urban drainage systems. Based on surveys and comparative analysis of practical conditions in major cities such as Hanoi, Ho Chi Minh City, and Da Nang, the study proposes the application of technologies including GIS, BIM, SCADA, and IoT to optimize the design, operation, and maintenance of drainage systems. In parallel, the use of modern materials (permeable paving blocks, porous concrete, biological filtration media) and green solutions (urban retention ponds, bio-swales, rain gardens, green roofs) is discussed as an effective approach in Vietnam's climatic context. Through the analysis of international experiences (from Singapore, Japan, and the EU), the paper offers recommendations on human resource training, improving financial mechanisms, and developing a digital transformation strategy to address existing challenges related to infrastructure, data, and resources.

1. Mở đầu

Sự phát triển nhanh chóng của các đô thị lớn tại Việt Nam đang đặt ra yêu cầu cấp thiết về hoàn thiện hạ tầng kỹ thuật, đặc biệt là hệ thống thoát nước đô thị. Nhiều khu vực vẫn đang sử dụng các công trình thoát nước lạc hậu, thiếu đồng bộ, không còn đáp ứng nhu cầu thực tiễn, dẫn đến tình trạng ngập úng kéo dài, ảnh hưởng nghiêm trọng đến đời sống dân cư và phát triển kinh tế - xã hội [1]. Trước bối cảnh đó, việc ứng dụng công nghệ tiên tiến và giải pháp kỹ thuật hiện đại trong quy hoạch, xây dựng và vận hành hệ thống thoát nước được xem là yếu tố then chốt nhằm hướng tới phát triển đô thị bền vững và thích ứng với biến đổi khí hậu.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Phạm vi

Nghiên cứu tập trung vào đánh giá tác động của yếu tố kỹ thuật

và công nghệ trong quản lý xây dựng hệ thống thoát nước tại các đô thị Việt Nam.

2.2. Cách tiếp cận

Phương pháp nghiên cứu được xây dựng trên nền tảng tổng hợp lý thuyết, phân tích tài liệu và khảo sát thực tiễn. Cụ thể:

- Tổng quan tài liệu: Phân tích các nghiên cứu quốc tế và trong nước, tiêu chuẩn kỹ thuật, hướng dẫn sử dụng phần mềm mô phỏng thủy lực (SWMM, MIKE URBAN, InfoWorks ICM), công nghệ GIS, SCADA, IoT, BIM.

- Khảo sát thực tiễn: Tổng hợp thông tin từ các đô thị như Hà Nội, TP.HCM, Đà Nẵng, Thủ Đức, Hưng Yên... qua dữ liệu công khai, báo cáo chuyên ngành và phỏng vấn chuyên gia.

- Phân tích so sánh: Đối chiếu với kinh nghiệm quốc tế để rút ra khuyến nghị chính sách phù hợp với điều kiện Việt Nam.

*Liên hệ tác giả: lemai.huong1811.hlm@gmail.com

Nhận ngày 13/08/2025, sửa xong ngày 22/08/2025, chấp nhận đăng ngày 25/08/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.04.2025.1077>

3. Cơ sở lý thuyết về hệ thống thoát nước đô thị

3.1. Cấu trúc hệ thống

Hệ thống thoát nước đô thị bao gồm mạng lưới cống, mương, hồ ga, trạm bơm, hồ điều hòa và các thiết bị điều tiết. Có hai dạng chính: hệ thống riêng (nước thải và nước mưa tách biệt) và hệ thống chung (thoát chung một tuyến). Việc lựa chọn loại hình phụ thuộc vào quy mô, địa hình và định hướng phát triển đô thị [2].

3.2. Yếu tố kỹ thuật ảnh hưởng

Bao gồm: tiêu chuẩn thiết kế, năng lực tiêu thoát, kích thước cống, độ dốc thủy lực, vật liệu xây dựng, và yếu tố địa chất – địa hình. Tuân thủ các quy chuẩn kỹ thuật quốc gia và tích hợp dữ liệu địa phương là yêu cầu bắt buộc để hệ thống vận hành hiệu quả [3][4].

3.3. Vai trò của công nghệ

Các công nghệ hiện đại giúp tối ưu hóa thiết kế – thi công – vận hành. Phần mềm mô phỏng thủy lực hỗ trợ dự báo kịch bản cực đoan [5], hệ thống GIS, SCADA, IoT cung cấp dữ liệu thời gian thực; BIM tăng tính chính xác và đồng bộ trong quản lý vòng đời công trình [6][7].

4. Ứng dụng công nghệ mới trong quản lý thoát nước

Sự phát triển nhanh chóng của các đô thị đòi hỏi công tác quản lý hệ thống thoát nước không chỉ dựa trên các phương pháp truyền thống mà cần tích hợp các công nghệ hiện đại nhằm đảm bảo hiệu quả, độ chính xác và khả năng phản ứng linh hoạt trước biến đổi khí hậu và các tình huống khẩn cấp. Trong đó, công nghệ GIS và BIM đóng vai trò then chốt trong việc số hóa, tự động hóa và đồng bộ hóa các khâu từ thiết kế, thi công đến vận hành và bảo trì hệ thống thoát nước đô thị.

4.1. GIS – Hệ thống thông tin địa lý

Công nghệ GIS hỗ trợ lập bản đồ số hóa mạng lưới cống rãnh, phân tích địa hình và lưu vực, giám sát dòng chảy, cảnh báo ngập úng, lập kế hoạch đầu tư bảo trì. TP.HCM là địa phương tiên phong trong ứng dụng GIS từ năm 2015, dần mở rộng ra các tỉnh khác.

GIS là công nghệ then chốt trong quản lý hệ thống thoát nước đô thị hiện đại, giúp tổ chức, phân tích và hiển thị dữ liệu không gian một cách trực quan và chính xác. Ứng dụng GIS cho phép xây dựng bản đồ số hóa chi tiết mạng lưới cống rãnh, hồ ga, trạm bơm, hồ điều hòa và các điểm xả thải. Công cụ này hỗ trợ phân tích địa hình, xác định vùng trũng, khu vực ngập úng tiềm tàng, từ đó phục vụ quy hoạch và thiết kế hệ thống tối ưu. Khi kết hợp với cảm biến IoT (mức nước, lượng mưa, dòng chảy), GIS trở thành nền tảng dữ liệu thời gian thực, hỗ trợ cảnh báo sớm và ra quyết định kịp thời trong các tình huống khẩn cấp. Ngoài ra, GIS giúp xác định khu vực cần cải tạo, lập kế hoạch đầu tư – bảo trì hiệu quả. Dù đã được ứng dụng tại một số đô thị lớn như

TP.HCM, Hà Nội, Đà Nẵng, nhưng việc triển khai rộng vẫn gặp rào cản về dữ liệu nền, chuẩn hóa và đào tạo nhân lực.

4.2. BIM – Mô hình thông tin công trình

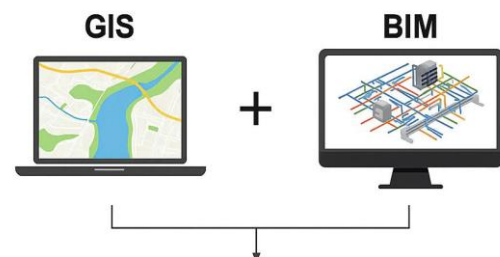
BIM tích hợp dữ liệu 3D, 4D (tiến độ), 5D (chi phí) giúp thiết kế đồng bộ, tránh xung đột kỹ thuật, hỗ trợ thi công và quản lý vận hành sau khi đưa vào khai thác.

BIM là công nghệ mô hình hóa công trình ba chiều tích hợp đầy đủ thông tin kỹ thuật, chi phí và tiến độ, mang lại giải pháp toàn diện trong quản lý hệ thống thoát nước đô thị. Trong giai đoạn thiết kế, BIM cung cấp mô hình 3D chi tiết của các cấu kiện như cống, hồ ga, bể gom, tuyến ống... với đầy đủ thông số kỹ thuật, giúp phát hiện và xử lý xung đột thiết kế trước khi thi công. BIM cho phép phối hợp liên ngành (thoát nước, điện, giao thông...) trên một nền tảng chung, tránh trùng lặp hoặc va chạm kỹ thuật. Trong thi công, BIM hỗ trợ mô phỏng tiến độ (4D), kiểm soát chi phí (5D) và tối ưu hóa quy trình xây dựng. Sau khi đưa vào vận hành, mô hình BIM trở thành cơ sở dữ liệu “sống” phục vụ bảo trì, nâng cấp hoặc mở rộng công trình. Việc ứng dụng BIM trong lĩnh vực thoát nước tại Việt Nam vẫn đang ở giai đoạn khởi đầu và cần được thúc đẩy mạnh mẽ.

4.3. Tích hợp GIS – BIM

Việc tích hợp hai công nghệ này tạo nên nền tảng City Information Modeling (CIM), nâng cao hiệu quả quản lý đô thị theo hướng thông minh – bền vững.

Sự tích hợp giữa GIS và BIM đang trở thành xu hướng tất yếu trong quản lý hạ tầng đô thị, đặc biệt là hệ thống thoát nước. Trong khi GIS cung cấp bối cảnh không gian địa lý toàn đô thị, thì BIM lại mô tả chi tiết cấu trúc và thông số kỹ thuật của từng công trình cụ thể. Khi kết hợp, hai công nghệ này tạo nên mô hình thông tin đô thị (City Information Modeling – CIM), cho phép quản lý từ tổng thể đến chi tiết một cách linh hoạt và hiệu quả. Tích hợp GIS–BIM giúp tăng cường năng lực quy hoạch, mô phỏng kịch bản mưa lớn – ngập lụt, tối ưu hóa thiết kế và hỗ trợ vận hành – bảo trì hệ thống thoát nước theo thời gian thực. Mô hình này còn góp phần thúc đẩy chuyển đổi số trong lĩnh vực hạ tầng, nâng cao hiệu quả đầu tư và quản lý tài nguyên đô thị. Tuy nhiên, việc tích hợp đòi hỏi chuẩn hóa dữ liệu và nền tảng đồng bộ giữa các cơ quan chuyên ngành.



Hình 1: Mô hình GIS-BIM.

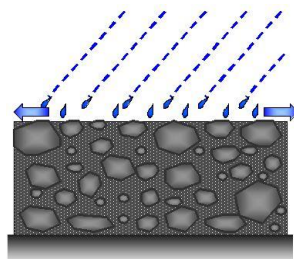
5. Vật liệu kỹ thuật tiên tiến và giải pháp xanh

5.1. Vật liệu tiên tiến

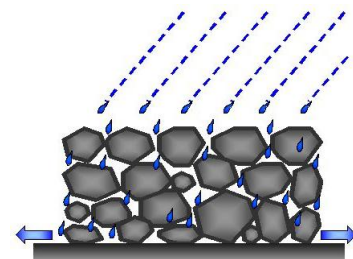
Việc sử dụng các vật liệu kỹ thuật mới trong xây dựng hệ thống thoát nước góp phần nâng cao hiệu quả tiêu thoát, giảm thiểu tác động môi trường và thích ứng tốt hơn với điều kiện khí hậu nhiệt đới. Gạch block thấm nước là một trong những vật liệu tiên tiến đang được ứng dụng rộng rãi, giúp nước mưa thấm xuống nền thay vì chảy tràn, từ đó giảm áp lực cho hệ thống cống và tăng khả năng bổ cấp nước ngầm. Bên cạnh đó, bê tông rỗng với cấu trúc đặc biệt cho phép nước thấm xuyên qua, thích hợp sử dụng cho vỉa hè, bãi đỗ xe, sân trường học. Ngoài ra, các vật liệu lọc tự nhiên như sỏi, cát, vỏ trấu hay than hoạt tính được dùng trong hồ sinh học hoặc bể xử lý nước mưa để loại bỏ



Hình 2: Gạch block thấm nước.



Hình 3: Bê tông thường không thấm: Nước mưa chảy tràn qua.



Hình 4: Bê tông thấm nước: Nước mưa thoát ra ngoài qua lỗ rỗng.

5.1.2. Bê tông rỗng (porous concrete)

Là vật liệu bê tông được thiết kế với cấp phối đặc biệt, có kết cấu hở cho phép nước mưa thấm qua (Hình 3; Hình 4). Được ứng dụng trong:

- Vỉa hè, bãi đỗ xe, sân trường học và công viên.
- Đường giao thông nội bộ tại các khu đô thị mới.

5.1.3. Màng lọc sinh học và lớp vật liệu lọc thô

Trong các công trình như bể xử lý nước mưa, mương sinh học hoặc hồ điều hòa, lớp vật liệu lọc gồm sỏi, cát, than hoạt tính, vỏ trấu hoặc xơ dừa được sử dụng để loại bỏ chất rắn lơ lửng và kim loại nặng trước khi nước xả ra môi trường.

5.1.4. Nhựa tái chế và vật liệu composite

Một số địa phương đang thử nghiệm sử dụng nhựa tái chế kết hợp sợi thủy tinh làm nắp hố ga, ống cống nhỏ, máng thoát nước nhẹ và bền. Vật liệu này có ưu điểm là nhẹ, không gỉ sét, cách điện và dễ vận chuyển.

5.2. Giải pháp xanh

Giải pháp xanh đóng vai trò quan trọng trong định hướng phát triển đô thị bền vững, giúp giảm áp lực cho hệ thống cống truyền thống,

chất ô nhiễm. Một số địa phương cũng đang thử nghiệm nhựa tái chế và vật liệu composite cho các cấu kiện nhẹ, bền và thân thiện với môi trường [2][8].

5.1.1. Gạch block thấm nước (permeable paving blocks)

Gạch block thấm nước là loại vật liệu xây lát được thiết kế với cấu trúc rỗng hoặc khe hở để cho phép nước mưa thấm trực tiếp qua bề mặt xuống lớp nền thấm bên dưới (Hình 2). Ưu điểm gồm:

- Giảm dòng chảy mặt, hạn chế quá tải hệ thống cống.
- Tăng khả năng tái nạp nước ngầm.
- Giảm hiện tượng đảo nhiệt đô thị.
- Dễ dàng tháo dỡ, bảo trì và tái sử dụng.

đồng thời cải thiện cảnh quan và môi trường sống. Một số mô hình nổi bật gồm hồ sinh học – nơi kết hợp giữa khả năng trữ nước và xử lý bằng thực vật như lau sậy, thủy trúc; mương cây xanh (bio-swales) – dạng rãnh thấm trồng cây có lớp vật liệu lọc bên dưới giúp làm sạch dòng chảy mặt. Vườn mưa (rain gardens) được thiết kế lõm hơn mặt bằng xung quanh để thu gom và thấm thấu nước mưa tại chỗ, tăng cường khả năng tự làm sạch và bảo tồn đa dạng sinh học. Ngoài ra, mái xanh và hệ thống thu nước mưa không chỉ giúp cách nhiệt công trình mà còn tạo vùng hấp thụ nước tạm thời trong các đợt mưa lớn, góp phần kiểm soát lưu lượng đột biến hiệu quả.

5.2.1. Hồ sinh học và vùng trữ nước đô thị (urban retention ponds)

Các hồ sinh học được thiết kế kết hợp giữa khả năng trữ nước mưa và lọc sinh học. Hệ thực vật dưới nước và trên bờ như lau sậy, lục bình, thủy trúc giúp hấp thụ dinh dưỡng, kim loại nặng và cải thiện chất lượng nước.

5.2.2. Mương cây xanh (bio-swales)

Mương cây xanh là dạng rãnh nông được trồng cây bản địa, có lớp đất thấm và hệ thống lọc bên dưới. Chức năng chính:

- Hướng dòng chảy bề mặt qua thảm thực vật để lọc tự nhiên.
- Làm giảm tốc độ dòng chảy, giảm xói mòn và ô nhiễm.
- Kết hợp cảnh quan với tiêu thoát nước hiệu quả.

5.2.3. Vườn mưa (rain gardens)

Là khu vực trồng cây được bố trí lõm hơn bề mặt xung quanh, nơi thu gom nước từ mái nhà, sân hoặc vỉa hè. Hệ thống này giúp:

- Lọc nước tại chỗ, giảm lưu lượng nước chảy vào cống.
- Bảo tồn đa dạng sinh học đô thị.
- Cải thiện vi khí hậu khu vực.

5.2.4. Mái xanh và mái thu nước mưa

Việc lắp đặt hệ thống mái xanh và mái thu nước không chỉ giúp cách nhiệt, làm mát công trình mà còn tạo lớp hấp thụ nước mưa tạm thời, giảm lưu lượng đột biến khi mưa lớn.

6. Kinh nghiệm quốc tế

6.1. Singapore – Mô hình quản lý nước thông minh toàn diện

Singapore là quốc gia đi đầu trong ứng dụng công nghệ thông minh vào quản lý hệ thống thoát nước đô thị. Từ năm 2015, Cơ quan Quản lý Tiện ích Công cộng (PUB) đã triển khai chiến lược “Smart Water Management”, tích hợp cảm biến IoT, dữ liệu lớn và nền tảng phân tích dự báo. Hệ thống này sử dụng cảm biến mực nước, lưu lượng dòng chảy, chất lượng nước và lượng mưa để thu thập dữ liệu thời gian thực. Các thuật toán phân tích dữ liệu lớn giúp dự báo tình huống ngập úng, phát hiện bất thường và đưa ra phương án ứng phó tức thời. Ngoài ra, Singapore kết hợp hạ tầng xanh – xám, như công viên mưa, mái xanh và kênh sinh học, vào thiết kế đô thị để kiểm soát nước mưa tại nguồn. Mô hình này không chỉ nâng cao hiệu quả vận hành mà còn hướng tới mục tiêu phát triển đô thị bền vững, linh hoạt và chống chịu tốt với biến đổi khí hậu [6].

6.2. Nhật Bản – Tích hợp vật liệu thấm và điều khiển mực nước thông minh

Nhật Bản là quốc gia thường xuyên đối mặt với thiên tai và mưa lớn bất thường, do đó đã phát triển hệ thống thoát nước đô thị với mức độ tích hợp công nghệ cao [7]. Một trong những điểm nổi bật là sử dụng vật liệu thấm nước như bê tông rỗng, gạch block thấm, kết hợp cùng hệ thống điều khiển mực nước tự động. Các cảm biến được lắp đặt tại trạm bơm, kênh dẫn và hồ điều tiết giúp theo dõi mực nước liên tục và điều chỉnh van xả hoặc bơm lưu lượng một cách linh hoạt. Nhật Bản cũng áp dụng các thiết bị dự báo thời tiết chính xác để kết hợp điều hành hệ thống thoát nước sớm trước các đợt mưa lớn. Ngoài ra, thiết kế đô thị còn tích hợp các khu trữ nước tạm thời, đường ngập có kiểm soát và vùng thấm tại chỗ, góp phần giảm thiểu rủi ro ngập lụt và nâng cao khả năng chống chịu đô thị trước biến đổi khí hậu [8].

6.3. EU và UN-Habitat – Thúc đẩy áp dụng SUDS trong phát triển đô thị

Liên minh châu Âu (EU) và UN-Habitat là những tổ chức tiên phong trong việc thúc đẩy mô hình Hệ thống thoát nước đô thị bền

vững (SUDS – Sustainable Urban Drainage Systems). Khác với cách tiếp cận truyền thống, SUDS ưu tiên xử lý nước mưa tại nguồn, giảm thiểu dòng chảy mặt và ô nhiễm môi trường. Các giải pháp điển hình gồm mái xanh, vườn mưa, vùng thấm nước và hồ điều tiết kết hợp lọc sinh học. Mục tiêu của SUDS là “làm chậm – làm sạch – tái sử dụng” nước mưa, đồng thời tích hợp với không gian công cộng và hành lang sinh thái. Nhiều đô thị tại châu Âu đã triển khai thành công mô hình này như Copenhagen, Rotterdam và Berlin, không chỉ giảm thiểu ngập úng mà còn tạo nên hệ sinh thái đô thị hài hòa, tăng chất lượng sống cho người dân. UN-Habitat cũng khuyến nghị lồng ghép SUDS vào quy hoạch tổng thể để thúc đẩy phát triển đô thị bền vững trên toàn cầu.

7. Thách thức tại Việt Nam

7.1. Hạ tầng kỹ thuật cũ, thiếu đồng bộ

Một trong những rào cản lớn trong việc hiện đại hóa hệ thống thoát nước đô thị tại Việt Nam là tình trạng hạ tầng kỹ thuật đã lạc hậu và thiếu tính liên kết. Nhiều đô thị lớn như Hà Nội, TP.HCM hay Hải Phòng có mạng lưới thoát nước được xây dựng từ nhiều giai đoạn khác nhau, sử dụng vật liệu và kỹ thuật không đồng nhất. Theo khảo sát của Ngân hàng Thế giới (2013), phần lớn các đô thị tại Việt Nam vẫn sử dụng hệ thống thoát nước chung cho cả nước mưa và nước thải, trong đó tỷ lệ hộ gia đình đầu nối chính thức còn thấp và tình trạng đầu nối tự phát khá phổ biến, gây khó khăn cho việc kiểm soát và vận hành hiệu quả [9].

Việc thiếu bản đồ mạng lưới số hóa, sơ đồ đầu nối chính xác và hồ sơ lưu trữ đầy đủ cũng khiến công tác quản lý gặp nhiều trở ngại. Một nghiên cứu tại Hà Tĩnh cho thấy hệ thống thoát nước chỉ phủ được 57 % diện tích đô thị, nhiều tuyến cống không có hồ sơ hoàn công rõ ràng, gây khó khăn khi duy tu và cải tạo [10]. Ngoài ra, tại Hải Phòng, kết quả mô phỏng bằng phần mềm SWMM chỉ ra rằng mạng lưới thoát nước được xây dựng từ nhiều thập kỷ trước, không có sự tách biệt hoàn chỉnh giữa nước mưa và nước thải, khiến tình trạng ngập úng gia tăng trong mùa mưa lớn [11].

Bên cạnh đó, sự phân mảnh về quản lý giữa các cấp chính quyền (quận/huyện) và giữa các cơ quan chuyên ngành như xây dựng, tài nguyên và thoát nước làm giảm hiệu quả phối hợp trong việc triển khai công nghệ mới. Luận án tiến sĩ của Phạm (2022) tại Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội [12] cũng nhấn mạnh sự thiếu đồng bộ trong tổ chức quản lý và cơ sở dữ liệu, từ đó đề xuất mô hình quản lý tích hợp để nâng cao hiệu quả điều hành hệ thống thoát nước đô thị.

7.2. Chi phí đầu tư lớn và thiếu cơ chế tài chính hỗ trợ

Việc triển khai các giải pháp công nghệ hiện đại như cảm biến IoT, phần mềm mô phỏng thủy lực, hệ thống SCADA, GIS, hay BIM trong quản lý thoát nước đòi hỏi chi phí đầu tư ban đầu rất cao. Không chỉ bao gồm chi phí thiết bị và phần mềm, quá trình triển khai còn đòi hỏi nguồn lực cho đào tạo, vận hành và duy tu hệ thống. Tuy nhiên, ngân sách nhà nước dành cho hạ tầng thoát nước vẫn còn hạn chế, chủ

yếu tập trung vào xử lý tình huống ngập cục bộ hơn là đầu tư chiều sâu theo hướng công nghệ cao. Bên cạnh đó, các cơ chế hỗ trợ tài chính như tín dụng xanh, ưu đãi thuế hay hình thức hợp tác công – tư (PPP) trong lĩnh vực thoát nước vẫn chưa thực sự rõ ràng và hấp dẫn. Điều này làm hạn chế sự tham gia của khu vực tư nhân và cản trở quá trình chuyển đổi số trong ngành thoát nước đô thị.

7.3. Thiếu hụt nhân lực kỹ thuật trình độ cao

Nguồn nhân lực là yếu tố then chốt quyết định sự thành công của quá trình hiện đại hóa hệ thống thoát nước, tuy nhiên hiện nay Việt Nam đang đối mặt với tình trạng thiếu hụt nghiêm trọng đội ngũ kỹ thuật có trình độ chuyên sâu. Phần lớn cán bộ đang làm việc tại các đơn vị quản lý thoát nước mới chỉ tiếp cận ở mức cơ bản với các công nghệ như GIS, BIM, SCADA hay phần mềm mô phỏng thủy lực (SWMM, MIKE URBAN, InfoWorks ICM). Nhiều địa phương chưa có đủ nhân lực để vận hành và duy trì hệ thống công nghệ tiên tiến một cách hiệu quả. Trong khi đó, các chương trình đào tạo chuyên ngành về thoát nước đô thị thông minh tại cấp đại học và sau đại học vẫn còn rất hạn chế. Việc thiếu lực lượng chuyên gia được đào tạo bài bản không chỉ ảnh hưởng đến khả năng triển khai công nghệ mà còn làm chậm quá trình chuyển giao và nội địa hóa giải pháp kỹ thuật hiện đại.

7.4. Thiếu dữ liệu đầu vào và chuẩn hóa thông tin

Một trong những rào cản lớn trong việc ứng dụng công nghệ vào quản lý hệ thống thoát nước đô thị tại Việt Nam là sự thiếu hụt dữ liệu đầu vào và thiếu chuẩn hóa thông tin giữa các đơn vị quản lý. Nhiều đô thị chưa có bản đồ địa hình số, dữ liệu mưa – ngập theo thời gian thực, bản vẽ hệ thống cống ngầm, hay thông tin chi tiết về cấu trúc hạ tầng hiện hữu. Tình trạng dữ liệu phân tán, không đồng bộ và lưu trữ thủ công khiến việc xây dựng hệ thống mô phỏng, giám sát thông minh và ra quyết định trở nên kém hiệu quả. Bên cạnh đó, chưa có hệ thống chuẩn hóa định dạng và quy trình chia sẻ dữ liệu giữa các sở ngành như xây dựng, tài nguyên môi trường, công ty thoát nước..., dẫn đến khó khăn trong việc tích hợp và vận hành các nền tảng quản lý hiện đại như GIS, BIM, SCADA theo hướng đô thị thông minh.

7.5. Rào cản kỹ thuật và thể chế

Theo thực tiễn ở Việt Nam hiện nay, cả hai rào cản kỹ thuật và thể chế đều tồn tại song song, nhưng mức độ khác nhau:

- Rào cản kỹ thuật: GIS và BIM vốn phát triển trong hai “hệ sinh thái” khác nhau – GIS thiên về không gian, quản lý tài nguyên và hạ tầng đô thị, trong khi BIM tập trung vào mô hình thông tin công trình. Việc tích hợp gặp khó khăn do định dạng dữ liệu chưa tương thích (ví dụ: IFC trong BIM và GML/CityGML trong GIS), thiếu bộ tiêu chuẩn chung để trao đổi dữ liệu, và hạn chế về hạ tầng số (máy chủ, phần mềm bản quyền, nền tảng tích hợp). Đây là thách thức lớn về mặt công nghệ.

- Rào cản thể chế: Ở Việt Nam, dữ liệu đô thị liên quan đến nhiều ngành (xây dựng, tài nguyên môi trường, giao thông, cấp thoát nước...), nhưng cơ chế chia sẻ dữ liệu chưa rõ ràng, mỗi ngành vẫn quản lý theo “silo”. Việc phối hợp giữa các sở, ban, ngành còn rời rạc, thiếu khung pháp lý thống nhất về chuẩn dữ liệu và trách nhiệm chia sẻ. Điều này dẫn đến tình trạng “có dữ liệu nhưng không dùng chung được”.

Theo đa số nghiên cứu gần đây, rào cản thể chế thường được coi là lớn nhất, vì ngay cả khi có giải pháp kỹ thuật thì nếu thiếu cơ chế phối hợp, dữ liệu vẫn bị phân mảnh và không thể khai thác hiệu quả.

8. Giải pháp đề xuất

Để thúc đẩy ứng dụng công nghệ vào công tác quản lý hệ thống thoát nước đô thị một cách hiệu quả và bền vững, Việt Nam cần triển khai đồng bộ nhiều giải pháp chiến lược sau:

8.1. Xây dựng chiến lược chuyển đổi số trong ngành thoát nước đô thị

Bộ Xây dựng và các cơ quan chức năng cần ban hành Chiến lược chuyển đổi số chuyên ngành, xác định rõ mục tiêu, lộ trình, công nghệ ưu tiên và khung pháp lý cho quản lý thoát nước thông minh. Chiến lược này cần được tích hợp trong quy hoạch tổng thể phát triển đô thị, đồng thời bảo đảm tính kết nối liên ngành và phù hợp với chiến lược chuyển đổi số quốc gia.

8.2. Ban hành tiêu chuẩn kỹ thuật phù hợp với công nghệ mới

Hiện nay, hệ thống tiêu chuẩn và quy chuẩn kỹ thuật về thoát nước tại Việt Nam còn thiên về thiết kế truyền thống. Cần xây dựng và cập nhật các bộ tiêu chuẩn mới về thiết kế hệ thống thông minh, vật liệu thấm nước, hồ sinh học, mương cây xanh, ứng dụng SCADA và BIM trong thoát nước. Đây là cơ sở để cơ quan quản lý phê duyệt thiết kế và kiểm soát chất lượng công trình trong bối cảnh mới.

8.3. Đào tạo và phát triển nguồn nhân lực kỹ thuật chuyên sâu

Chính phủ cần hỗ trợ các trường đại học, viện nghiên cứu phát triển các chương trình đào tạo chuyên ngành về kỹ thuật thoát nước đô thị thông minh, tích hợp công nghệ GIS, BIM, mô hình hóa thủy lực và phân tích dữ liệu. Cần ưu tiên liên kết đào tạo giữa các cơ sở trong nước và quốc tế, đồng thời tổ chức các khóa tập huấn ngắn hạn cho cán bộ đang làm việc tại các đơn vị quản lý thoát nước.

8.4. Khuyến khích xã hội hóa đầu tư và chuyển giao công nghệ

Nhà nước nên ban hành chính sách ưu đãi và hỗ trợ tài chính cho doanh nghiệp đầu tư vào lĩnh vực thoát nước theo hướng công nghệ cao, như miễn/giảm thuế nhập khẩu thiết bị, ưu đãi tín dụng xanh hoặc hỗ trợ lãi suất. Đồng thời, thúc đẩy hình thức hợp tác công – tư

(PPP) trong xây dựng và vận hành hệ thống thoát nước thông minh. Việc mở rộng hợp tác quốc tế, chuyển giao công nghệ và chia sẻ kinh nghiệm với các quốc gia tiên tiến là một trong những đòn bẩy quan trọng [1][6][13].

8.5. Một số cơ chế tài chính tiềm năng khác

Một số mô hình tài chính ngoài PPP đã và đang được triển khai tại Việt Nam để giải quyết rào cản chi phí đầu tư trong các dự án thoát nước và hạ tầng xanh.

Thứ nhất, trái phiếu xanh: Việt Nam đã thí điểm phát hành từ năm 2016, như TP. Hồ Chí Minh huy động 523 tỷ đồng cho 11 dự án xanh và Bà Rịa – Vũng Tàu phát hành 80 tỷ đồng cho dự án quản lý nước; năm 2018, TP. Hồ Chí Minh tiếp tục phát hành 3.000 tỷ đồng cho 34 dự án, trong đó có 11 dự án quản lý nguồn nước; đến năm 2024, tổng giá trị phát hành trái phiếu xanh, xã hội và bền vững đạt 33,5 nghìn tỷ đồng (~1,4 tỷ USD), riêng năm 2024 đạt gần 6,9 nghìn tỷ đồng, chiếm 1,5 % tổng phát hành trái phiếu doanh nghiệp, được đánh giá là công cụ huy động vốn quy mô lớn, phù hợp cho dự án thoát nước và xử lý nước thải đô thị [14],[15],[16].

Thứ hai, tín dụng xanh và quỹ đầu tư xanh: triển khai từ 2015, đến cuối 2022 dư nợ đã đạt 500.000 tỷ đồng (~4,2 % tổng dư nợ nền kinh tế) với tốc độ tăng trưởng 23 %/năm giai đoạn 2017–2022, cao hơn tín dụng truyền thống; bên cạnh đó có các nguồn hỗ trợ quốc tế như GIF (Green Investment Facility), WB qua REDP; đồng thời, các chuyên gia đề xuất thành lập Quỹ Phát triển Xanh dựa trên kinh nghiệm Trung Quốc nhằm nâng cao hiệu quả của Quỹ Bảo vệ Môi trường Việt Nam [16][17].

Thứ ba, nguồn vốn ODA có mục tiêu: nhiều dự án từ WB, ADB, JICA đã tài trợ hạ tầng môi trường, trong đó có cấp nước – thoát nước – xử lý nước thải, điển hình là các dự án vay lại trong tín dụng xanh từ chương trình REDP của WB, cho thấy khả năng tận dụng nguồn vốn ODA ưu đãi vào lĩnh vực này [18][19][20]. Tổng hợp cho thấy, ba mô hình này tạo nền tảng quan trọng để huy động vốn bền vững, giúp vượt qua rào cản chi phí trong phát triển hệ thống thoát nước đô thị xanh và bền vững.

9. Kết luận

Yếu tố kỹ thuật và công nghệ đóng vai trò cốt lõi trong nâng cao hiệu quả quản lý xây dựng hệ thống thoát nước đô thị, đặc biệt trong bối cảnh đô thị hóa nhanh và biến đổi khí hậu gia tăng tại Việt Nam. Việc ứng dụng đồng bộ các giải pháp công nghệ như GIS, BIM, SCADA, IoT, cùng với việc sử dụng vật liệu mới và áp dụng giải pháp xanh,

không chỉ giúp nâng cao năng lực tiêu thoát nước mà còn góp phần xây dựng đô thị thông minh, bền vững và thích ứng. Tuy nhiên, quá trình triển khai còn đối mặt với nhiều thách thức, từ hạ tầng cũ kỹ, thiếu dữ liệu, nhân lực hạn chế đến khó khăn về tài chính và cơ chế. Để vượt qua các rào cản này, cần có chiến lược tổng thể, lộ trình rõ ràng và sự phối hợp liên ngành chặt chẽ. Đầu tư vào công nghệ và kỹ thuật không chỉ là yêu cầu cấp thiết, mà còn là lựa chọn chiến lược để hướng tới tương lai phát triển đô thị xanh và hiện đại tại Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

- [1]. World Bank (2020). Vietnam Urban Flood Resilience.
- [2]. Nguyễn Hồng Tiến (2020). Thoát nước đô thị và giải pháp công nghệ mới. NXB Xây dựng.
- [3]. Trần Anh Tuấn (2021). Ứng dụng GIS trong quản lý hệ thống thoát nước đô thị. Tạp chí Xây dựng.
- [4]. Phạm Quang Minh (2022). Ứng dụng công nghệ SCADA trong hệ thống thoát nước TP. HCM.
- [5]. Nguyễn Văn Hòa (2023). Vật liệu thấm nước trong hạ tầng thoát nước đô thị. Tạp chí Khoa học GTVT.
- [6]. Singapore PUB (2019). Smart Water Management Strategy.
- [7]. Bentley Systems (2021). BIM for Urban Drainage.
- [8]. United Nations-Habitat (2020). Sustainable Urban Drainage Systems
- [9]. World Bank. (2013). *Vietnam Urban Wastewater Review*. Washington, DC: World Bank.
- [10]. Nguyễn Văn An & Trần Hoàng Phúc. (2021). Nghiên cứu và đánh giá thực trạng hệ thống thoát nước của thành phố Hà Tĩnh. *Tạp chí Môi trường*, (9), 30-39.
- [11]. Đỗ Văn Tuấn, Lê Minh Hùng & Phạm Thị Quỳnh. (2020). Ứng dụng phần mềm SWMM đề xuất giải pháp thoát nước bền vững cho trung tâm Hải Phòng. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi trường*, (69), 45-52
- [12]. Phạm Văn Vượng. (2022). *Nghiên cứu giải pháp nâng cao hiệu quả quản lý mạng lưới thoát nước đô thị tại Hải Phòng* (Luận án tiến sĩ, Đại học Kiến trúc Hà Nội).
- [13]. McCuen R.H. (2017). *Hydrologic Analysis and Design*. Pearson.
- [14]. Bộ Xây dựng. (2024). *Báo cáo về phát triển hạ tầng thoát nước đô thị bền vững*. Hà Nội.
- [15]. Quản lý Nhà nước. (2024). Phát hành trái phiếu xanh tại Việt Nam: Thực trạng và triển vọng. *Tạp chí Quản lý Nhà nước*, (3), 40-48.
- [16]. Tạp chí Công Thương. (2023). Thị trường trái phiếu xanh và tín dụng xanh ở Việt Nam: Xu hướng và thách thức. *Tạp chí Công Thương*, (9), 55-63.
- [17]. Phạm, V. V. (2023). Đề xuất thành lập Quỹ Phát triển Xanh tại Việt Nam. *Tạp chí Phát triển Bền vững*, (12), 15-22.
- [18]. World Bank. (2013). *Vietnam Urban Wastewater Review*. Washington, DC: World Bank.
- [19]. ADB. (2022). *Green Infrastructure Financing in Asia*. Asian Development Bank.
- [20]. JICA. (2021). *Urban Wastewater Management Projects in Vietnam*. Japan International Cooperation Agency.