



# ĐỀ XUẤT MÔ HÌNH MÁI XANH - XANH LAM THÔNG MINH THÍCH ỨNG CHO QUẢN LÝ NƯỚC MƯA BỀN VỮNG TẠI HÀ NỘI

**NGUYỄN ĐỨC TOÀN\***

***Tóm tắt:** Trong bối cảnh Việt Nam chịu áp lực ngày càng lớn từ các hiện tượng thời tiết cực đoan và quá trình đô thị hóa nhanh, không gian mái cần được xem xét như một nguồn lực hạ tầng chưa được khai thác hiệu quả cho quản lý nước mưa. Mặc dù các mô hình mái xanh đã được nghiên cứu rộng rãi trên thế giới nhưng hiệu suất của các hệ thống này vẫn còn hạn chế khi áp dụng trong điều kiện nhiệt đới với đặc trưng mưa lớn trong thời gian ngắn và sự phân hóa mùa rõ rệt như ở nước ta.*

*Vì vậy, nghiên cứu này hướng tới đề xuất mô hình Mái Xanh - Xanh lam thông minh thích ứng cho Hà Nội (SBGR - VN). Hệ thống cho phép duy trì dung tích điều tiết hiệu dụng trước các sự kiện mưa cực đoan và đảm bảo ổn định sinh học trên mái trong các giai đoạn khô hạn. Khi được triển khai ở quy mô phù hợp, SBGR - VN góp phần cải thiện vi khí hậu, giảm áp lực lên hệ thống thoát nước của đô thị và hỗ trợ sự phát triển bền vững của thủ đô.*

***Từ khóa:** Mái Xanh; Mái xanh - Xanh lam; SBGR; Đô thị Bọt biển; Ngập lụt đô thị; Khí hậu Việt Nam; Hạ tầng xanh - Xanh lam.*

## Proposal of an Adaptive Smart Blue - Green Roof model for sustainable Urban Stormwater management in Hanoi

**Abstract:** In the context of Vietnam facing increasing pressure from extreme weather events and rapid urbanization, rooftop space should be reconsidered as an underutilized infrastructural resource for urban stormwater management. Although green roof systems have been extensively studied worldwide, their hydrological performance remains limited when applied in tropical climates characterized by high-intensity, short-duration rainfall and pronounced seasonal variability, as observed in Vietnam. Accordingly, this study proposes an adaptive Smart Blue - Green Roof model for Hanoi (SBGR - VN). The system is designed to maintain effective stormwater retention capacity under extreme rainfall events while ensuring biological stability of rooftop vegetation during prolonged dry periods. When implemented at an appropriate scale, SBGR - VN can contribute to microclimate regulation, alleviate pressure on urban drainage systems, and support the sustainable development of the capital city.

**Keywords:** Green roofs; Blue - Green roofs; Smart blue - green roof (SBGR); Sponge city; Urban flooding; Vietnamese climate; Blue - Green infrastructure.

### 1. Đặt vấn đề

Quá trình phát triển đô thị tại Việt Nam trong hơn hai thập kỷ vừa qua đã tạo nên những biến đổi sâu sắc về hình thái không gian, cơ cấu sử dụng đất và tổ chức hạ tầng kỹ thuật. Đến năm 2025, tỷ lệ đô thị hóa đạt khoảng 44,3%. Tuy nhiên diện tích sông hồ thu hẹp, mật độ xây dựng cao, bê tông hoá bề mặt khiến năng lực trữ, thấm và điều tiết nước tự nhiên của đô thị suy giảm rõ rệt.

Ở khía cạnh khác, biến đổi khí hậu đang làm gia tăng tính dễ tổn thương của các thành phố Việt Nam trước rủi ro ngập lụt. Các số liệu quan trắc khí tượng cho thấy mưa lớn với cường độ cao trong thời gian ngắn xuất hiện ngày càng thường xuyên, làm gia tăng dòng chảy mặt đột ngột và áp lực lên hệ thống tiêu thoát. Trong khi đó, phần lớn hệ thống cống, trạm bơm hiện hữu vẫn vận hành theo triết lý “tháo nhanh - xả nhanh”, được thiết kế dựa trên các chuỗi mưa lịch sử không còn phản ánh đầy đủ điều kiện khí hậu hiện tại. Việc mở rộng hạ tầng “xám” tiếp tục gặp nhiều giới hạn về quỹ đất, chi phí đầu tư cùng hiệu quả dài hạn. Theo Bộ Xây dựng(2025), thiệt hại kinh tế do ngập lụt tại các đô thị lớn ước tính tương đương khoảng 1 - 1,5% GDP mỗi năm, cho thấy đây không chỉ là vấn đề kỹ thuật mà đã trở thành thách thức nghiêm trọng đối với chất lượng sống, sức khỏe cộng đồng cũng như năng lực cạnh tranh của các đô thị Việt Nam.



Hình 1: So sánh hiệu quả điều tiết nước để hạn chế ngập lụt giữa hạ tầng Xám và hạ tầng Xanh trong đô thị (Nguồn: georgetownclimate.org)



Hình 2: Mô hình thành phố bọt biển: Công viên rừng ngập mặn Sanya, Hải nam, Trung Quốc. Thiết kế turescape

Trước những giới hạn ngày càng rõ rệt, quản lý nước mưa đô thị đang chứng kiến một sự chuyển dịch tư duy quan trọng trên bình diện quốc tế, từ cách tiếp cận thuần kỹ thuật sang các giải

pháp dựa vào hệ sinh thái và hạ tầng xanh. Trọng tâm của sự chuyển dịch này không nằm ở việc thay thế hoàn toàn hạ tầng truyền thống mà ở việc tái định nghĩa vai trò của nước mưa trong

cấu trúc đô thị. Thay vì coi nước mưa là yếu tố cần loại bỏ càng nhanh càng tốt, các đô thị bắt đầu hướng tới việc giữ nước tại chỗ, phân tán áp lực dòng chảy, điều tiết theo thời gian để gia tăng tính linh hoạt và khả năng thích ứng của hệ thống đô thị trước các tác động khí hậu.

Từ thực tiễn đó, mô hình “Thành phố bọt biển - Sponge City” ra đời tại Trung Quốc giai đoạn 2015 nhanh chóng trở thành hình mẫu cho nhiều quốc gia nhờ hệ triết học đơn giản: “Đô thị cần hành xử giống miếng bọt biển: hút nước - giữ nước - làm sạch nước - trả nước về tự nhiên một cách chậm rãi.” Các công cụ chính của Sponge City bao gồm đất thấm nước, công viên hấp thụ nước, vùng trũng sinh thái, hành lang nước, bể điều hòa phân tán và đặc biệt là các bề mặt theo chiều đứng như tường xanh và mái xanh. Với tỷ lệ chiếm khoảng 20 - 35% diện tích bề mặt đô thị, không gian mái được tái nhận thức như một lớp hạ tầng tiềm năng có thể tích hợp đồng thời vai trò sinh thái, vi khí hậu, điều tiết nước mưa, đặc biệt phù hợp với các đô thị mật độ cao và hạn chế quỹ đất.

**2. Tổng quan lý thuyết: tiến hóa của hệ mái xanh trong quản lý nước mưa đô thị**

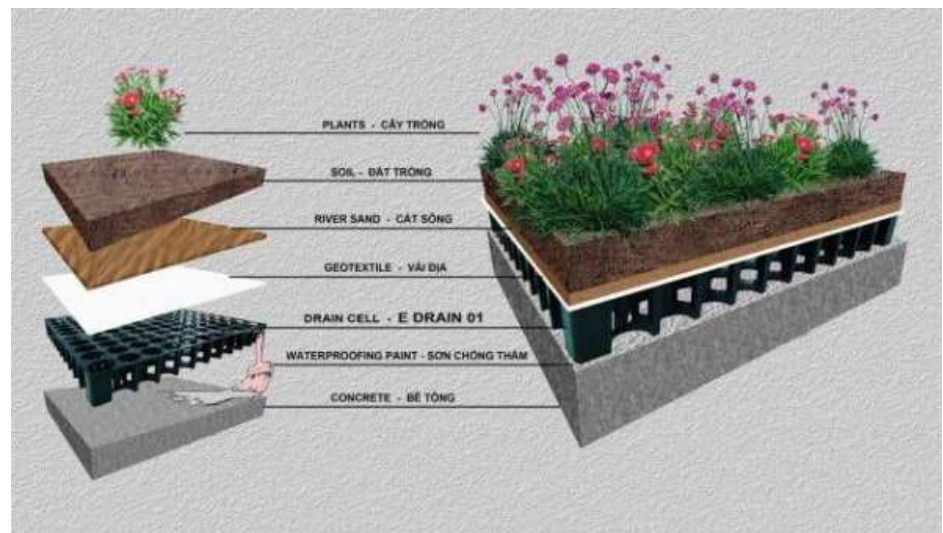
Mái xanh (green roofs) là một trong những cấu phần sớm nhất của hạ tầng xanh đô thị và đã được nghiên cứu, triển khai rộng rãi tại châu Âu, Bắc Mỹ, Đông Á... trong gần ba thập kỷ. Các tổng quan kinh điển của Stovin (2010) và Wong et al. (2010) cho thấy mái xanh mang lại ba nhóm lợi ích chính bao gồm cải thiện vi khí hậu thông qua che phủ và bốc hơi, gia tăng giá trị sinh thái, giảm dòng chảy mặt ở mức độ nhất định. Tuy nhiên, hiệu quả điều tiết nước mưa của mái xanh truyền thống còn hạn chế do dung tích lưu trữ chủ yếu nằm trong lớp giá thể, thường chỉ đạt khoảng 5 - 10 mm. Khi xảy ra mưa lớn, hệ thống nhanh chóng bão hòa, thiếu khả năng điều khiển dòng chảy khiến hiệu suất thủy văn suy giảm đáng kể.

Nhằm khắc phục những giới hạn này, khái niệm mái Xanh - Xanh lam (Blue - Green roofs) được phát triển thông qua việc bổ sung khoang trữ nước tạm thời bên dưới lớp sinh học. Các nghiên cứu thực nghiệm cho thấy cấu trúc này có thể gia tăng dung tích lưu trữ hiệu dụng (khoảng 10 - 40 mm), làm giảm đỉnh dòng chảy và kéo dài thời gian trễ, đồng thời duy trì độ ẩm cho thảm thực vật trong các giai đoạn khô hạn ngắn. Dù vậy, phần lớn các mô hình mái Xanh - Xanh lam vẫn vận hành theo cơ chế “đầy - tràn” tự nhiên và mang tính thụ động. Trong các sự kiện mưa cực đoan, dung tích đệm nhanh chóng bị bão hòa, làm suy giảm hiệu quả điều tiết tổng thể.

Những nghiên cứu gần đây về mái Xanh - Xanh lam thông minh (Smart Blue - Green Roofs - SBGR) đã bước đầu tích hợp cảm biến và thiết bị điều tiết nhằm nâng cao tính chủ động trong

vận hành. Các mô hình SBGR hiện hữu chủ yếu được thử nghiệm ở quy mô công trình và theo kịch bản mưa đơn lẻ, chưa đáp ứng yêu cầu thích ứng dài hạn trong các bối cảnh có chế độ mưa xung mạnh cùng sự phân hóa mùa rõ rệt. Điều này cho thấy sự cần thiết của một chuyển dịch căn bản, từ hệ mái phản ứng theo sự kiện sang hệ mái có khả năng học hỏi, dự báo và điều chỉnh vận hành theo thời gian thực.

Tại Việt Nam, mặc dù mái xanh đã xuất hiện ở một số công trình nhà phố, trường học, văn phòng nhưng các ứng dụng chủ yếu vẫn thiên về cảnh quan, cải thiện vi khí hậu, chưa được tích hợp như một thành phần của hạ tầng quản lý nước mưa đô thị. Đồng thời đặc điểm mưa tập trung cường độ cao, nhiệt độ mái lớn và giới hạn tải trọng của nhiều công trình đặt ra những yêu cầu thích ứng riêng biệt.



Hình 3. Minh họa phương án cấu tạo cơ bản của mái xanh (nguồn: Internet).



Hình 4: Mái xanh tại dự án Trung tâm Phát thanh Truyền hình Quân đội tại phố Xã Đàn - Hà Nội. Ảnh Internet

Trên cơ sở đó, nghiên cứu này như một bước phát triển tiếp theo của hệ mái Xanh - Xanh lam, với hệ thống được tái định nghĩa như một mô - đun hạ tầng thủy văn thông minh, tích hợp cảm biến, dữ liệu dự báo và cơ chế điều khiển thích ứng (đón xả - hút ngược) nhằm duy trì hiệu quả điều tiết nước cũng như ổn định sinh học trong suốt chu trình vận hành năm.

### 3. Nghiên cứu điển hình khu vực Hà Nội: cơ sở khí hậu - đô thị cho tái thiết kế hệ mái Xanh - Xanh lam thông minh

Sự phù hợp của một mô hình mái Xanh - Xanh lam thông minh (SBGR) phụ thuộc trực tiếp vào điều kiện khí hậu, chế độ mưa và cấu trúc đô thị tại nơi áp dụng. Hà Nội hội tụ đồng thời nhiều đặc điểm điển hình của đô thị đang phát triển: khí hậu cận nhiệt đới ẩm với phân hóa mùa rõ rệt, tỷ lệ bề mặt không thấm lớn và hệ thống thoát nước chịu áp lực ngày càng gia tăng. Với quy mô dân số trên 8,5 triệu người (2025) và nhiều quận trung tâm mật độ xây dựng cao, Hà Nội trở thành một trường hợp tiêu biểu của thách thức quản lý nước mưa đô thị. Đồng thời, việc thành phố đang thúc đẩy các chiến lược đô thị Xanh, giảm ngập, nâng cao khả năng chống chịu tạo điều kiện thuận lợi cho nghiên cứu và triển khai các giải pháp hạ tầng bền vững ở quy mô thực tế.

Về khí hậu, Hà Nội chịu tác động của chu trình nhiệt - ẩm phức tạp, khác biệt rõ so với các vùng khác của Việt Nam. Trong khi miền Nam có chế độ mưa tương đối ổn định theo mùa và miền Trung chịu ảnh hưởng trực tiếp của bão lớn, miền Bắc đặc trưng bởi mùa Hè nóng ẩm kéo dài với mưa giông và mùa Đông lạnh, khô. Vào mùa Hè, nhiệt độ không khí nội đô thường đạt 34 - 36°C, trong khi nhiệt độ bề mặt mái bê tông có thể vượt 55 - 60°C do hiệu ứng đảo nhiệt đô thị, làm gia tăng bốc hơi, thúc đẩy lão hóa vật liệu chống thấm và gây bất lợi cho hệ sinh học mái. Ngược lại trong giai đoạn từ tháng 12 đến tháng 3, lượng mưa chỉ chiếm khoảng 10 - 15% tổng



Hình 5: Mái xanh công trình trụ sở tập đoàn Viettel tại Cầu Giấy, Hà Nội.

lượng mưa năm khiến nhiều hệ mái xanh truyền thống rơi vào trạng thái khô hạn sinh học kéo dài.

Thách thức thủy văn của Hà Nội không nằm ở tổng lượng mưa năm (1.600 - 1.800 mm), mà ở cường độ mưa rất lớn trong thời gian ngắn. Hơn 80% lượng mưa tập trung vào mùa hè, với nhiều trận ghi nhận 80 - 100 mm trong một giờ hoặc trên 120 mm trong 2 - 3 giờ tại các trạm Láng, Hà Đông và Cầu Giấy. Dạng mưa xung này khiến dòng chảy bề mặt hình thành nhanh, vượt xa khả năng điều tiết của các hệ mái xanh hoặc mái xanh - xanh lam thụ động có dung tích lưu trữ hạn chế. Trong điều kiện như vậy, các cấu hình SBGR tiêu chuẩn theo mô hình châu Âu dễ bị bão hòa chỉ sau vài phút đầu của một trận mưa lớn.

Xét về hình thái đô thị, Hà Nội thiếu hụt nghiêm trọng không gian xanh mặt đất, với mật độ cây xanh hiện tại khoảng 2 - 3 m<sup>2</sup>/người, thấp hơn nhiều so với các khuyến nghị và tiêu chuẩn Việt Nam. Ngược lại, mái công trình là một trong số ít không gian còn khả

năng tích hợp hạ tầng xanh - xanh lam theo chiều đứng. Hơn 70% công trình đô thị sử dụng mái bê tông phẳng, tạo điều kiện thuận lợi cho việc lắp đặt các mô - đun SBGR. Tuy nhiên, phần lớn công trình hiện hữu chỉ cho phép tải trọng mái trong khoảng 70 - 150 kg/m<sup>2</sup>, đặt ra yêu cầu về thiết kế nhẹ hóa và phân phối tải hợp lý.

### 4. Đề xuất mô hình mái xanh - xanh lam thông minh thích ứng cho Hà Nội (SBGR - VN)

#### 4.1. Định hướng chiến lược tổng thể

Trên cơ sở phân tích đặc điểm khí hậu, chế độ mưa và hình thái đô thị của Hà Nội, nghiên cứu này đề xuất mô hình mái Xanh - Xanh lam thông minh thích ứng (SBGR - VN). Cấu trúc hệ thống không chỉ là tập hợp các lớp vật liệu mà là một tổ hợp thủy - sinh - nhiệt - kỹ thuật vận hành tích hợp, đảm bảo nước mưa được thu - dẫn - lưu - điều tiết trong một chu trình khép kín, đồng thời duy trì sự ổn định sinh học của lớp xanh, không tạo môi trường sinh sản cho muỗi, giảm tải cho hệ thống thoát nước và



Hình 6: Tiến trình phát triển của hệ mái xanh trong quản lý nước mưa đô thị, từ mái xanh truyền thống (GR) đến mô hình SBGR - VN đề xuất. Ảnh. Tác giả

cải thiện chất lượng vi khí hậu đô thị. Tổ hợp SBGR - VN vì vậy phải đáp ứng đồng thời các tiêu chí: thoát nước thẳng đứng nhanh, lưu trữ nước dạng kín, vận hành chủ động theo thời gian thực, trọng lượng nhẹ cho mái bê tông Hà Nội và an toàn sinh học.

**4.2. Các nguyên tắc thiết kế nền tảng**

Lớp trên cùng của hệ thống là thảm thực vật sử dụng các loài bản địa chịu nóng, chịu úng và chịu khô, có khả năng thích nghi với biên độ nhiệt - ẩm lớn. Lớp này đảm nhiệm vai trò che phủ bề mặt, giảm bức xạ mặt trời và tạo điều kiện cho quá trình bốc hơi - thoát hơi nước, góp phần cải thiện vi khí hậu mái. Hệ rễ nông kết hợp với lớp giá thể kỹ thuật mỏng bên dưới cho phép giữ lượng nước mao dẫn cần thiết trong mùa khô mà không gây gia tăng tải trọng đáng kể.

Ngay dưới tầng sinh học là lớp lọc địa kỹ thuật không dệt, đóng vai trò phân tách và bảo vệ cấu trúc hệ thống. Lớp này cho phép nước mưa thấm tự do xuống tầng kỹ thuật trong khi ngăn chặn sự dịch chuyển của hạt mịn và vật chất hữu cơ, qua đó giảm nguy cơ tắc nghẽn và duy trì hiệu suất dài hạn.

Bên dưới lớp lọc là tầng thoát nước kỹ thuật - thành phần quan trọng quyết định khả năng thích nghi của SBGR - VN với các trận mưa xung đặc trưng của Hà Nội. Tầng này thường sử dụng khay nhựa HDPE rỗng hoặc lớp vật liệu hạt nhẹ có hệ số thấm đứng cao, cho phép truyền tải tức thời lượng mưa vượt ngưỡng khả năng giữ nước của tầng sinh học.

Tầng giữ nước của hệ thống là khoang chứa nước xanh lam dạng kín, được hình thành từ mạng lưới các mô - đun HDPE rỗng. Mỗi mô - đun được thiết kế 1x1 m hoặc 0,5x1 m, dễ vận chuyển và lắp ghép. Dung tích hữu dụng 22 - 30 mm. Toàn bộ hệ thống phải có tổng tải trọng bão hòa < 80 - 100 kg/m<sup>2</sup>, phù hợp với mái bê tông của nhà ống, nhà phố và các công trình cũ tại Hà Nội.

Đối với công trình chịu tải tốt hơn (tòa nhà mới) có thể chấp nhận tới 120 - 150 kg/m<sup>2</sup>, dung tích hữu dụng lớn hơn.

Khi nước từ tầng thoát kỹ thuật đi xuống khoang chứa, toàn bộ nước nằm trong không gian kín, không tiếp xúc với ánh sáng hoặc không khí, do đó không tạo bất kỳ điều kiện nào cho muỗi đẻ trứng hoặc ấu trùng phát triển. Những khoang chứa này vừa đóng vai trò như bể chứa nước mưa tạm thời, vừa là "bộ đệm thủy lực" hấp thụ các đợt mưa lớn trước khi hệ thống thoát nước đô thị tiếp nhận. Kết cấu kín cùng hệ ống liên kết đảm bảo nước luôn lưu thông và không bị tù đọng; đồng thời tạo ra một không gian kỹ thuật có thể dễ dàng xả - nạp phụ thuộc vào chiến lược vận hành.

Kết nối các tầng này là hệ điều khiển - vận hành thông minh, gồm cảm biến mưa, cảm biến mực nước, cảm biến độ ẩm giá thể và van điều tiết tự động. Thuật toán vận hành cho phép hệ thống thực hiện "xả đón mưa" (pre - release) trước các sự kiện mưa xung, giải phóng một phần dung tích tích trong khoang kín để tạo khoảng chứa an toàn. Trong mùa khô hoặc mùa đông, hệ thống có thể thực hiện "bơm ngược" từ bể chứa nước mưa đặt dưới đất hoặc tầng kỹ thuật, duy trì độ ẩm giá thể cần thiết cho cây, tránh hiện tượng chết khô và bảo toàn hiệu quả vi khí hậu của lớp xanh. Nhờ khả năng điều khiển theo thời gian thực, toàn bộ hệ thống đạt tính thích ứng cao, không dựa thụ động vào tự nhiên như mái xanh truyền thống.

*Bảng 1. Thông số kỹ thuật chính của hệ SBGR - VN (đề xuất)*

Thành phần	Thông số điển hình	Ghi chú thiết kế
Thảm thực vật	Cây bản địa chịu nóng - úng - khô (vetiver, thạch thảo...)	Rễ nông, sinh trưởng ổn định
Giá thể kỹ thuật	Dày 5 - 10 cm; 18 - 25 kg/m <sup>2</sup> ; độ rỗng ≥ 35%	Vật liệu nhẹ, thấm đứng tốt: đất kỹ thuật, sỏi nhẹ, xơ dừa xử lý, chất hữu cơ phân hủy chậm
Lớp lọc địa kỹ thuật	Vải không dệt, khẩu độ phù hợp	Ngăn trôi hạt mịn
Tầng thoát nước	Hệ số thấm cao	Truyền tải mưa xung 60 - 120 mm/h
Khoang trữ nước xanh lam	Dung tích hữu dụng 22 - 30 mm hoặc lớn hơn	Mô - đun HDPE kín
Tải trọng bão hòa	80 - 100 kg/m <sup>2</sup> (mái hiện hữu)	Có thể tăng với công trình mới
Hệ điều khiển	Cảm biến mưa, mực nước, độ ẩm; van + bơm	Vận hành theo thời gian thực
Chế độ vận hành	Xả đón mưa; bơm bổ sung mùa khô	Điều khiển thích ứng

Hệ smart gồm cảm biến mưa, cảm biến mực nước tại module, cảm biến độ ẩm giá thể và điều khiển tự động tích hợp dữ liệu dự báo ngắn hạn. Thuật toán "xả đón mưa" hoạt động theo logic: khi dự báo mưa cường độ > X mm trong Y giờ, hệ xả để đạt mức trống T% (ví dụ 40 - 60% dung tích) 1 - 2 giờ trước mưa; nếu không có dự báo, hệ hoạt động theo trạng thái mực nước thực tế và khoang chứa an toàn. Van xả phải cho phép điều tiết lưu lượng rất chính xác. Hệ bơm ngược cho mùa khô được kích hoạt khi độ ẩm giá thể < H% (ví dụ 20 - 25%) với lưu lượng nạp nhỏ, phân phối đều để duy trì sinh trưởng của hệ thực vật.

### 4.3. Kế hoạch thí điểm thực địa để đánh giá hiệu quả và kinh tế

Cấu trúc SBGR - VN nói trên chỉ trở nên hoàn thiện khi gắn liền với kế hoạch thí điểm thực địa và chương trình giám sát khoa học có hệ thống. Để có cơ sở kỹ thuật - kinh tế - sinh học vững chắc trước khi nhân rộng, cần triển khai mô hình thí điểm trên ba loại mái đại diện của Hà Nội: nhà phố thấp tầng khoảng 100 m<sup>2</sup>, công trình công cộng quy mô vừa diện tích mái khoảng 1.000 m<sup>2</sup>, công trình công cộng quy mô lớn như trường học, bệnh viện với mái 2.000 - 5.000 m<sup>2</sup>. Mỗi mô hình thí điểm được lắp đặt hệ SBGR - VN đầy đủ và kết nối vào hệ thống thu thập dữ liệu tập trung. Các tham số giám sát bao gồm đường quá trình thủy văn (đầu vào - đầu ra) theo bước đo 5 - 10 phút, độ ẩm giá thể, nhiệt độ lớp mái, mực nước trong khoang chứa, chất lượng nước (pH, TSS, DO), số liệu côn trùng học (bẫy muỗi, mật độ ấu trùng), mức tiêu thụ năng lượng của bơm, van, cùng chỉ số sinh thái (số loài thực vật - côn trùng có lợi). Thời gian thí điểm tối thiểu 24 tháng giúp quan sát đủ các chu kỳ: mùa mưa cực đoan, mùa đông khô hanh và mùa nắng nóng; cho phép hiệu chỉnh dung tích khoang phù hợp, xác định ngưỡng tối ưu cho thuật toán pre-release, đánh giá rủi ro tắc nghẽn và đo lường khả năng giảm đỉnh lưu lượng ở quy mô mái và tiểu lưu vực.

Kết quả từ chương trình thí điểm sẽ làm cơ sở cho các phân tích chi phí - lợi ích và vòng đời... Về mặt kinh tế, SBGR - VN có chi phí đầu tư ban đầu cao hơn mái truyền thống nhưng lại thấp hơn nhiều so với việc mở rộng cống ngầm trên quy mô lớn, vốn gặp khó khăn về quỹ đất và chi phí giải phóng mặt bằng. Các chi phí cấu thành chính của hệ thống gồm mô-đun HDPE, giá thể kỹ thuật, thiết bị cảm biến - điều khiển và chi phí bảo trì định kỳ. Ngược lại, lợi ích biên có thể tính toán được gồm giảm chi phí xây dựng hạ tầng thoát nước, giảm thiệt hại do ngập, tiết kiệm năng lượng điều hòa không khí, gia tăng chất lượng tiện nghi và giá trị bất động sản cùng lợi ích sức khỏe đô thị. Việc xây dựng mô hình tài chính và thời



Hình 8: Phương án mái xanh cho nhà phố - Văn phòng kiến trúc MM Home

gian hoàn vốn cần dựa trên dữ liệu thí điểm; Nhà nước có thể hỗ trợ thông qua các chính sách khuyến khích như giảm thuế, đồng tài trợ thí điểm hoặc áp dụng điểm ưu đãi quy hoạch xanh.

### 5. Thảo luận

Việc phát triển mô hình Mái Xanh - Xanh lam thông minh thích ứng với điều kiện Hà Nội mang ý nghĩa vượt ra ngoài phạm vi một giải pháp kỹ thuật đơn lẻ. SBGR - VN cần được nhìn nhận như một thành tố cấu trúc của chiến lược đô thị bọt biển, trong đó năng lực quản lý nước không còn tập trung vào các công trình hạ tầng lớn, mà được phân tán vào từng công trình, từng bề mặt đô thị và từng chu trình vận hành vi mô, từ đó làm thay đổi cấu trúc phân bố dung tích điều tiết trong toàn thành phố.

Về ý nghĩa quy hoạch, điều này tương đương với việc nói rộng "khả năng chứa" của thành phố theo chiều đứng mà không cần giải phóng quỹ đất cho hồ điều hòa truyền thống. Về hiệu suất thủy văn, SBGR - VN thực hiện đồng thời ba chức năng: giữ lại phần lượng mưa ngay tại mái, trì hoãn và tiêu tán phần dư qua van điều tiết và tạo dung tích trữ chủ động trước trận mưa lớn. Sự kết hợp ba cơ chế này làm nổi bật một nguyên tắc then chốt cho đô thị bọt biển ở Hà Nội: dung tích điều tiết không nhất thiết phải nằm trên mặt đất hay trong các công trình phân vùng lớn, mà có thể phân tán hiệu quả trên hàng triệu mét vuông mái. Khi chỉ một phần diện tích mái nội đô

được trang bị SBGR - VN, tổng dung tích phân tán có thể tương đương với một hay nhiều hồ điều hòa cỡ trung bình, từ đó giảm áp lực tức thời lên hệ thống cống hỗn hợp và giảm tần suất ngập cục bộ.

Ở khía cạnh vi khí hậu và năng lượng, sự kết hợp giữa lớp thực vật và khoang trữ nước giúp giảm đáng kể nhiệt độ bề mặt mái thông qua che phủ và bốc hơi, đồng thời giảm dao động nhiệt truyền xuống không gian bên dưới. Trong bối cảnh hiệu ứng đảo nhiệt đô thị ngày càng gia tăng, việc giảm nhiệt độ bề mặt mái ở quy mô lớn có tiềm năng góp phần điều hòa vi khí hậu và giảm nhu cầu năng lượng làm mát, qua đó hỗ trợ mục tiêu giảm phát thải đô thị.

Tác động sinh thái và xã hội của SBGR - VN cũng đáng chú ý trong bối cảnh Hà Nội đang thiếu hụt không gian xanh mặt đất. Khi được thiết kế với thực vật bản địa, mái xanh trở thành hốc sinh thái thẳng đứng, tăng tính liên kết sinh thái, hỗ trợ đa dạng sinh học đô thị và mang lại giá trị cảnh quan, sức khỏe tinh thần cho cư dân.

Tuy nhiên, hiệu quả của SBGR - VN phụ thuộc lớn vào chất lượng thiết kế, vận hành và bảo trì. Các rủi ro như tắc nghẽn lớp lọc, vận hành sai van điều tiết hay suy giảm vệ sinh sinh học cần được kiểm soát thông qua tiêu chuẩn kỹ thuật rõ ràng, cơ chế bảo trì bắt buộc và hệ thống giám sát tự động. Do đó, để SBGR - VN thực sự trở thành một mắt xích của đô thị

bọt biển Hà Nội, cần song hành các chính sách hỗ trợ, từ quy chuẩn thiết kế, cơ chế khuyến khích tài chính cho thí điểm đến mô hình quản lý - giám sát ở cấp đô thị

Về mặt thể chế, SBGR - VN đặt ra nhu cầu phối hợp liên ngành giữa các cơ quan quản lý thủy lợi, quy hoạch đô thị, xây dựng, y tế công cộng và quản lý năng lượng. Suốt quá trình triển khai, trách nhiệm giữa chủ đầu tư, đơn vị quản lý toà nhà và cơ quan quản lý nhà nước cần được xác định minh bạch: ai chịu trách nhiệm bảo trì, ai giám sát an toàn sinh học, ai chịu chi phí vận hành? Câu trả lời cho những câu hỏi này sẽ quyết định mức độ bền vững của SBGR khi nhân rộng.

### 6. Kết luận

Việc đề xuất mô hình SBGR - VN trong nghiên cứu này hướng đến mục tiêu giải quyết các vấn đề đô thị Hà Nội đang phải đối mặt. SBGR - VN không chỉ là một giải pháp kỹ thuật mới, mà còn là một hình thức “tái cấu trúc đô thị” theo hướng mềm dẻo và thích ứng. Khi được tích hợp vào chiến lược đô thị bọt biển, SBGR - VN giúp thành phố đối phó tốt hơn với ngập lụt, kiểm soát nhiệt đô thị, cải thiện chất lượng không khí và tăng cường tính bền vững trong dài hạn.

Cần nhấn mạnh rằng nghiên cứu này được xây dựng trên cơ sở tổng hợp các tiếp cận lý thuyết, dữ liệu khí hậu - thủy văn và kết quả thực nghiệm quốc tế, chưa bao gồm các thử nghiệm thực địa tại Hà Nội. Theo đó, SBGR - VN được đề xuất như một khung giải pháp định hướng thiết kế, đóng vai trò nền tảng cho các nghiên cứu ứng dụng và triển khai tiếp theo.

Trong tương lai, việc kết hợp SBGR - VN với các công nghệ số như IoT, trí tuệ nhân tạo và nền tảng GIS có thể mở ra một hệ thống quản lý nước mưa thông minh theo thời gian thực, nâng cao khả năng chống chịu khí hậu cho đô thị Việt Nam.

Với những lợi ích đa mục tiêu và tính linh hoạt cao, SBGR - VN có thể được xem như một cấu phần quan trọng



Hình 9: Diện tích mái xanh được áp dụng SBGR - VN sẽ nở rộng “khả năng chứa” của thành phố theo chiều đứng. Ảnh internet

trong chiến lược quy hoạch và thiết kế đô thị bền vững hướng tới các mục tiêu thích ứng khí hậu và giảm thiểu rủi ro ngập lụt trong dài hạn.

\* Khoa Kiến trúc - ĐH Kinh doanh và Công nghệ Hà Nội

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Kỷ yếu Diễn đàn "Hoàn thiện chính sách t1. Stovin, V. (2010). The potential of green roofs to manage urban stormwater. *Water and Environment Journal*, 24(3), 179 - 193. <https://doi.org/10.1111/j.1747-6593.2009.00174.x>
2. Berndtsson, J. C. (2010). Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering*, 36(4), 351 - 360. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2009.12.014>
3. Wong, N. H., Tan, P. Y., & Chen, Y. (2010). Study of thermal performance of extensive rooftop greenery systems in the tropical climate. *Building and Environment*, 45(1), 45 - 54. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.024>
4. Beecham, S., Razzaghamanesh, M., & Kazemi, F. (2015). Stormwater management using green roofs. *Urban Water Journal*, 12(1), 1 - 14. <https://doi.org/10.1080/1573062X.2014.939092>
5. Shafique, M., Kim, R., & Rafiq, M. (2018). Green roof benefits, opportunities and challenges - A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90, 757 - 773. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.006>
6. Johannessen, B. G., Muthanna, T. M., & Braskerud, B. C. (2018). Detention and retention behavior of blue - green roofs. *Water*, 10(6), Article 671. <https://doi.org/10.3390/w10060671>
7. Richter, M., & Dickhaut, W. (2023). Long - term performance of blue - green roof systems: Results of a building - scale monitoring study in Hamburg, Germany. *Water*, 15(15), Article 2806. <https://doi.org/10.3390/w15152806>
8. Cha, S. M., Han, M., Choi, C., & Kim, H. (2025). Rooftop - scale runoff reduction performance of smart blue - green roofs and their potential role in urban flood mitigation. *Water*, 17(22), Article 3328. <https://doi.org/10.3390/w17223328>
9. Xia, J., Zhang, Y., Xiong, L., He, S., Wang, L., & Yu, Z. (2017). Opportunities and challenges of the Sponge City construction related to urban water issues in China. *Science China Earth Sciences*, 60, 652 - 658. <https://doi.org/10.1007/s11430-016-0111-8>
10. Li, F., Yan, X., Duan, H., & Zhang, Y. (2019). Urban stormwater management and sponge city construction. *Journal of Cleaner Production*, 228, 755 - 765. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.04.164>
11. Ngo - Duc, T., Matsumoto, J., Phan - Van, T., & Vo - Van, H. (2020). Rainfall trends in Vietnam and their associations with tropical cyclones during 1979 - 2019. *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, 16, 169 - 174. <https://doi.org/10.2151/sola.2020-029>
12. Roversi, G., Pancaldi, M., Cossich, W., Corradini, D., Nguyen, T. T. N., Nguyen, T. V., & Porcù, F. (2024). The extreme rainfall events of the 2020 typhoon season in Vietnam as seen by seven precipitation products. *Remote Sensing*, 16(5), Article 805. <https://doi.org/10.3390/rs16050805>
13. World Bank. (2021). Vietnam: Urban resilience and climate adaptation. World Bank Publications.
14. Vietnam.vn. (2024). Bộ Xây dựng đề xuất loạt giải pháp chống ngập ứng đô thị. <https://www.vietnam.vn/en/bo-xay-dung-de-xuat-loat-giai-phap-chong-ngap-ung-do-thi>
15. UBND Thành phố Hà Nội. (2023). Thuyết minh quy hoạch chung xây dựng Thủ đô Hà Nội đến năm 2045, tầm nhìn đến năm 2065. Hà Nội, Việt Nam.
16. Hanoi Department of Construction. (2025). Hanoi's drainage system overwhelmed as rainfall far exceeds design limits. *VietnamNet Global*. <https://vietnamnet.vn/en/hanoi-s-drainage-system-overwhelmed-as-rainfall-far-exceeds-design-limits-2458710.html>

Nhận bài ngày: 10/12/2025. Phản biện từ ngày 10/12/25. Người phản biện: TS. Trương Văn Quảng. Ngày thông qua phản biện và duyệt đăng: 20/12/2025