

MÔ PHỎNG CÁC HẠNG MỤC PHÁT TRIỂN TÁC ĐỘNG THẤP CHO HỆ THỐNG THOÁT NƯỚC MƯA ĐÔ THỊ

Hồ Tuấn Đức⁽¹⁾, Nguyễn Thu Hà⁽¹⁾

⁽¹⁾ Trường Đại học Bách Khoa (VNU-HCM)

Ngày nhận 29/12/2016; Chấp nhận đăng 29/01/2017; Email: hotuanduc@hcmut.edu.vn

Tóm tắt

Nội dung bài báo nhằm nhấn mạnh khả năng của các hạng mục phát triển tác động thấp (LID) phục vụ cho vấn đề thoát nước mưa đô thị tại Việt Nam. Thông qua phần mềm quản lý nước mưa SWMM, diễn biến mực nước trong hồ điều hòa và hiệu quả cải thiện chất lượng nước mưa chảy mặt của một số loại giải pháp điều hòa được đánh giá. Kết quả thu được hướng tới khả năng hỗ trợ việc lựa chọn và thiết kế giải pháp giảm ngập cho các khu đô thị đã xây dựng và thiết kế hệ thống thoát nước mưa theo hướng phát triển bền vững cho các khu đô thị mới.

Từ khóa: LID, thoát nước mưa, hồ điều hòa, SWMM

Abstract

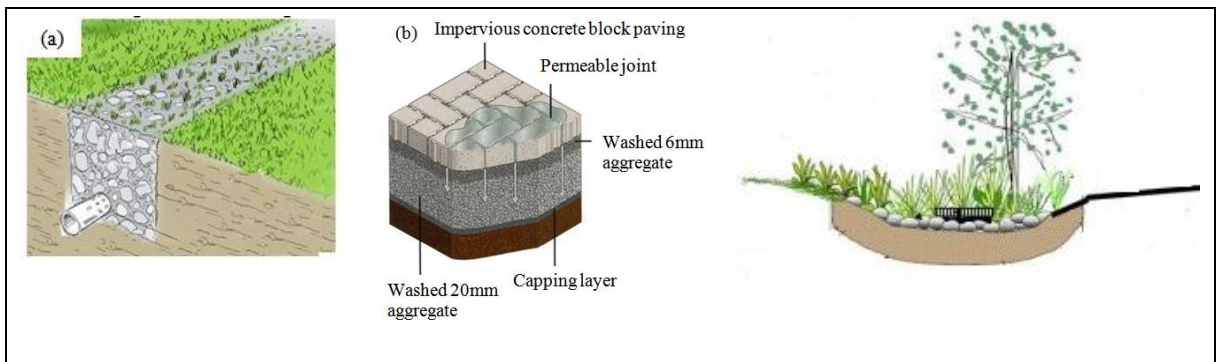
SIMULATION OF LOW-IMPACT-DEVELOPMENT PRACTICES IN URBAN STORMWATER SYSTEM

This paper emphasizes the importance of low impact development (LID) practices in urban stormwater systems in Vietnam. By means of the Storm Water Management Model, evolution of stage in retention pond and efficiency runoff quality of some LID facilities were evaluated. These results support the selection of flood control solutions for current condition and the design of new drainage system in the vision of sustainable urban development.

1. Giới thiệu

Việc nghiên cứu hệ thống thoát nước mưa đô thị đã phát triển từ giải pháp đơn giản thoát nước nhanh cho đến việc tính toán đỉnh lũ [2] và kết hợp loại bỏ chất ô nhiễm [3]. Sau đó, các lo ngại từ việc thay đổi chế độ dòng chảy và hệ thống thủy sinh học gây ra do đô thị hóa ngày càng gia tăng (lượng dòng chảy tăng, giảm bốc hơi thực vật và bổ sung trữ lượng ngầm). Việc áp dụng các hạng mục điều khiển như hồ chứa và hồ điều hòa, bố trí các vùng ướt và lưu vực thấm đã dần giải quyết được các lo ngại này. Các thiết kế này, gọi chung là "Phát triển tác động thấp" (LID), đáp ứng được yêu cầu quản lý nước mưa và đồng thời giữ được các đặc trưng thủy văn và chất lượng nước gần với điều kiện trước khi diễn ra đô thị hóa. Các hạng mục LID giúp làm giảm các vùng không thấm và thúc đẩy việc bổ sung lượng nước ngầm và giảm lượng chảy mặt [1]. Có rất nhiều các nghiên cứu đánh giá về lợi ích của các hạng mục LID trong hệ thống thoát nước bằng cách so sánh lúc trước và sau khi có bố trí các hạng mục này ([9], [14], [5]). Một hệ thống tổng hợp các hạng mục LID tại một khu vực riêng biệt cho thấy hiệu quả tích cực cho việc quản lý nguồn nước và trường hợp mưa bão trong vòng 10 năm [4]. Mặc dù vậy, hiệu

quả của các hạng mục trên vẫn còn là chủ đề tranh cãi của nhiều nhà khoa học và môi trường vì các nguy cơ về sức khỏe và an toàn cộng đồng, khiến cho việc áp dụng các hạng mục này còn bị giới hạn ở nhiều quốc gia. Một trong những dạng phổ biến nhất của hạng mục quản lý nguồn nước là hồ điều hòa. Tại Việt Nam, hồ điều hòa mới chỉ được quan tâm thực sự trong vài năm gần đây [7]. Theo nghị quyết của chính phủ trong *Tiêu chuẩn quốc gia về thiết kế kỹ thuật cơ sở hạ tầng*, đối với đô thị cấp 3 và cao hơn, việc thiết kế hệ thống thoát nước phải tính đến phương án thiết kế hồ điều hòa. Mặc dù vậy, một tiêu chuẩn đầy đủ cho thiết kế kỹ thuật hồ điều hòa vẫn chưa được xây dựng. Rất nhiều báo cáo đã ghi nhận về tình trạng xây dựng và bảo dưỡng sai cách, vấn đề ô nhiễm do phú dưỡng và chất thải rắn, hư hỏng và xuống cấp nghiêm trọng... gây ảnh hưởng ngược lại đến điều kiện sống của những người sống gần hồ [6]. Một hạng mục LID khác là bê tông rỗng (via hè rỗng: via hè làm bằng bê tông rỗng, cho phép nước thấm qua) và dải cỏ (xem hình 1). Những hạng mục trên cho phép nước mưa thấm xuống lớp đất nguyên thổ bên dưới và được lọc một cách tự nhiên, thay vì chảy vào hệ thống thoát nước mưa. Ngoài các lợi ích như loại bỏ chất ô nhiễm, giảm nhiệt lượng từ mặt trời và gia tăng trữ lượng ngầm, vẫn có một số hạn chế về độ rỗng thấp của đất và độ bền của công trình, việc tắc nghẽn và hư hại, nhiễm khuẩn nguồn nước ngầm (nếu áp dụng ở khu vực ô nhiễm cao). Tỷ lệ làm sạch điển hình của một số các hạng mục LID được tóm tắt ở bảng 1.



Hình 1. Các giải pháp lọc sinh học (a) Rãnh cỏ; (b) Dải lọc; (c) Vườn đón mưa

Trong bài báo này, chúng tôi lần lượt đề cập trong phần 2 và phần 3 hai vấn đề sau: (a) tác động của chế độ mưa đến thiết kế của hồ điều hòa và (b) hiệu quả của bê tông rỗng và rãnh cỏ trong việc giảm lượng chất thải rắn lơ lửng. Việc đánh giá các vấn đề trên được tính toán mô phỏng dựa trên phần mềm Quản lý nước mưa SWMM, một phần mềm phi thương mại với mã nguồn mở được phát triển bởi Hiệp hội bảo vệ môi trường Hoa Kỳ (EPA) và hiện đang được sử dụng rộng rãi trên thế giới. Phần mềm này giải hệ phương trình bảo toàn khối lượng và mô men cho dòng chảy không ổn định trong ống (dòng chảy Saint - Venant's 1 chiều) bằng phương pháp sai phân hữu hạn.

Bảng 1. Hiệu quả làm sạch của các giải pháp lọc sinh học ([10], [13])

	TSS	Phốtpho	Nitơ	NO ₃	Kim loại	Vi khuẩn
Rãnh cỏ	81%	29%	-	38%	14 -55%	-50%
Dải lọc (25 m)	54%	-25%	-	-27%	-16% (Pb), 47% (Zn)	-
Vườn đón mưa	-	65-87%	49%	15-16%	90%	-

2. Tác động của chế độ mưa đến thiết kế hồ điều hòa

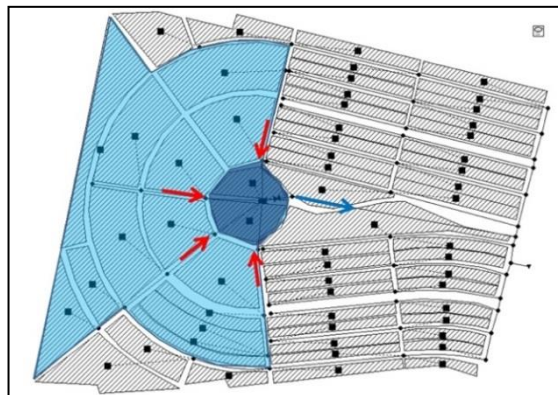
2.1. Mô tả khu vực nghiên cứu và cơ sở thiết kế

Khu vực chọn thiết kế là khu đô thị Làng Sen (Đức Hòa - Long An). Đây là vùng đất thấp, với cao độ tự nhiên trung bình khoảng +0,40m. Sau khi quy hoạch, cao độ san nền là +2,0 m, nước mưa thoát vào hệ thống kênh Hai giáp phía đông của khu vực. Khu vực chịu ảnh hưởng của chế độ bán nhật triều, với mực nước triều bình quân thấp nhất là -2,35 m và cao nhất là -1,40m. Hình 2 thể hiện sơ đồ khu vực thiết kế và hình 3 thể hiện sơ đồ bố trí hệ thống thoát nước kết hợp với hồ điều hòa bằng phần mềm SWMM. Hồ nằm ở trung tâm, lưu vực phụ trách chiếm 40% tổng lưu vực (phần tô màu). Nước được dẫn vào hồ qua 4 cống và tháo khỏi hồ qua đường ống 800 mm nối với hệ thống thoát nước. Hồ điều hòa đặt tại độ sâu -2m và có chiều sâu $H_{ho}=4m$. Lỗ thoát nước được đặt tại cao độ -1m (cách 1m so với đáy hồ) và được nối với đường ống thoát nước thông qua giếng dâng nước. Cửa xả ở cuối hệ thống được bố trí ở cao độ -1,5m. Hồ có diện tích tăng dần theo cao độ: a). Diện tích của hồ tại cao độ thành hồ (+2m) là 1ha. Lưu vực hồ phụ trách là 17,94ha, chiếm khoảng 40% diện tích tổng lưu vực. Tổng dung tích nước vào hồ trong trường hợp diễn ra trận mưa 5 năm bằng $1955m^3$. SWMM nội suy điểm trung gian trên đường đặc tính Chiều sâu - Diện tích thông qua nguyên tắc hình thang để tính toán dung tích của hồ tại một mực nước xác định. Gọi i là khoảng khai báo mà mực nước hồ đạt đến, dung tích của hồ được xác định bằng:

$$V_i = \sum_{k=1}^{i-1} V_k + A_i dh + \frac{A_{i+1} - A_i}{h_{i+1} - h_i} \frac{dh^2}{2} \quad (1). \text{ Với } A_i \text{ là diện tích của lớp thứ } i \text{ và } dh \text{ là bề dày của lớp.}$$



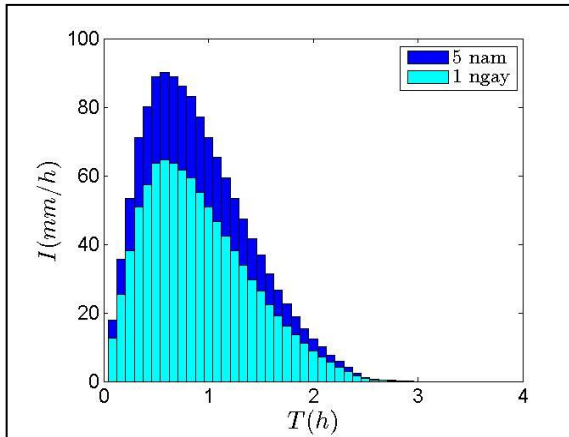
Hình 2. Sơ đồ quy hoạch khu vực thiết kế



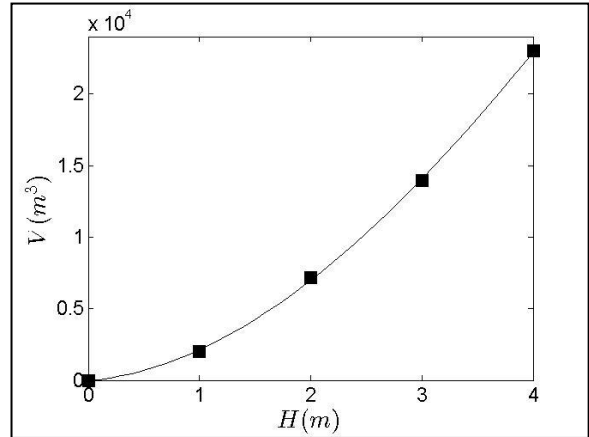
Hình 3. Hệ thống thoát nước mưa

Dựa theo tiêu chuẩn thoát nước cho mạng lưới và công trình bên ngoài (Thoát nước - Mạng lưới và công trình bên ngoài - Tiêu chuẩn thiết kế, 2008), ứng với khu đô thị loại 1, cường độ mưa thiết kế cho hệ thống công chính của khu vực tính theo chu kỳ lặp lại là 5 năm với tổng lượng mưa rơi trên lưu vực ước tính bằng 109mm, mưa trong 3 giờ. Ngoài ra, do tính chất thời tiết của khu vực thiết kế có thể diễn ra mưa hàng ngày và thời gian tháo hết nước trong hồ có thể kéo dài (một đến nhiều ngày) nên ta cần tiến hành kiểm tra mực nước hồ ứng với trận mưa có cường độ trung bình (78 mm/trận) và lặp lại liên tục. Trong khuôn khổ bài báo này, dựa theo các thống kê về dữ liệu mưa, chúng tôi chọn thời gian trận mưa lặp lại là 24 giờ. Biểu đồ trên hình 4 thể hiện các dữ liệu mưa sử dụng trong tính toán thiết kế. Hình 5 thể hiện

quan hệ giữa chiều sâu và dung tích hồ thiết lập trong SWMM. Dung tích tổng cộng của hồ được ước tính bằng 23000 m³, lớn hơn dung tích nước mưa dẫn vào hồ khi diễn ra trận mưa với tần suất thiết kế và tương đương ½ lượng nước mưa rơi trên toàn lưu vực.



Hình 4. Trận mưa trung bình (78 mm/trận)



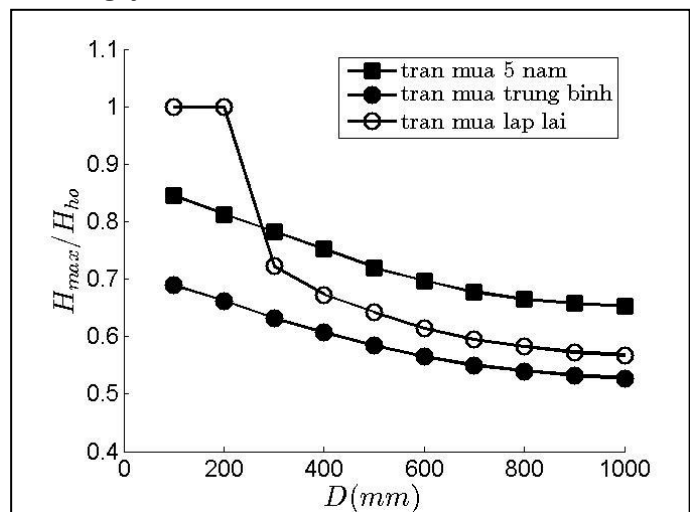
Hình 5. Đường đặc tính của hồ điều hòa và trận mưa 5 năm (109 mm/trận).

2.2. Kết quả mô phỏng hồ điều hòa

Khi đường kính lỗ thoát nước càng tăng thì mực nước lớn nhất trong hồ và thời gian để tháo lượng nước trữ trong hồ càng giảm. Tính toán với trận mưa thiết kế (109mm) và trận mưa một ngày (78mm) đều cho kết quả mực nước trong hồ giảm chậm hơn khi tăng dần đường kính (hình 6). Hình dạng đường thay đổi mực nước lớn nhất theo đường kính lỗ thoát có sự tương đồng cho hai cường độ mưa, với giá trị mực nước hồ tăng tịnh tiến ứng với cơn mưa lớn hơn.

Đối với trường hợp trận mưa lặp lại liên tục nhiều ngày, đường giá trị mực nước lớn nhất trong hồ có sự khác biệt rõ rệt so với trường hợp chỉ diễn ra một trận mưa. Về độ lớn, ứng với một giá trị đường kính thoát nước bất kỳ, mực nước lớn nhất khi mưa lặp lại nhiều ngày luôn cao hơn so với chỉ diễn ra một trận mưa. Khi giảm dần đường kính lỗ thoát, mực nước lớn nhất trong hồ tăng nhanh hơn và đến khi đường kính lỗ thoát giảm tới một mức xác định, mực nước hồ lớn nhất tăng đột ngột, hồ trữ đầy hoàn toàn. Điều này có nghĩa là việc chọn thiết kế đường kính lỗ thoát nước nhỏ dù thỏa mãn yêu cầu không tràn hồ đối với trận mưa có tần suất thiết kế chưa hẳn đã an toàn với trận mưa lặp lại nhiều ngày.

Hình 6. Kết quả tính toán mực nước hồ lớn nhất theo đường kính lỗ thoát nước cho 3 trường hợp: mưa với tần suất thiết kế, mưa trung bình và mưa lặp lại nhiều ngày.

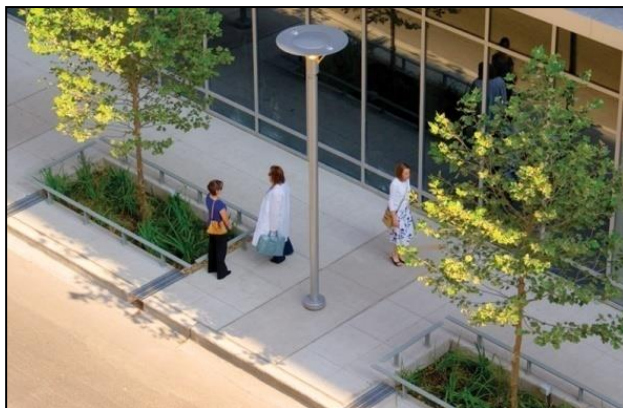


3. Hiệu quả của một số hạng mục LID đến chất lượng nước mưa

3.1. Bố trí công trình

Khu vực mô phỏng là lưu vực điển hình có diện tích 2,3ha, mật độ xây dựng là 75%. Dọc đường có bố trí vỉa hè rộng 3m, với tổng diện tích vỉa hè là 0,26ha. Các cơn mưa được tính toán là cơn mưa có chu kỳ lặp lại 1 năm (78mm) và 5 năm (109mm), thời gian mưa trong 3h.

Nghiên cứu này sẽ tận dụng vỉa hè của các dãy nhà để bố trí các giải pháp điều hòa. Cụ thể sẽ có 4 kịch bản được đưa ra để so sánh khả năng xử lý nước mưa chảy mặt của các giải pháp. Vỉa hè lát đá không thấm, rộng 3m – trường hợp không có giải pháp điều hòa. Vỉa hè lát đá không thấm, rộng 2m, nối tiếp rãnh cỏ, rộng 1m. Vỉa hè lát khối bê tông có khe thấm, rộng 3m. Vỉa hè bằng bê tông thấm nước, rộng 3m.



Hình 7. Vỉa hè và rãnh cỏ

Vỉa hè thấm có chiều sâu tầng trữ nước là 0,5 m, sỏi thô có độ rỗng là 0,4 nên chiều sâu trữ nước thật là 0,2m. Ở đáy tầng trữ nước đặt ống đục lỗ chạy dọc theo vỉa hè để thu nước mưa sau xử lý vào hệ thống thoát nước khu vực. Loại vỉa hè có khe thấm (như hình 1b) chỉ có 10% lưu lượng nước mưa chảy mặt thấm xuống tầng trữ nước, phần còn lại sẽ chảy trực tiếp vào các cửa thu nước. Trường hợp vỉa hè kết hợp rãnh cỏ, các rãnh cỏ có chiều sâu 0,2m, trồng các loại cây chịu ngập nước. Các rãnh cỏ có kích thước 1m x 2m, bố trí cách nhau 2m.

Chất ô nhiễm được mô phỏng trong nghiên cứu này là chất thải rắn lơ lửng (TSS). Giả sử rằng mỗi vỉa hè thấm và rãnh cỏ có thể loại bỏ 70% TSS cho dòng chảy mặt chảy ngang qua nó. Đây là một lượng loại bỏ điển hình được quan sát cho giải pháp điều hòa [8]

3.2. Đánh giá chất lượng nước

Để tính toán chất lượng nước, cần khai báo các đặc tính của chất ô nhiễm và chức năng sử dụng đất. Mỗi chức năng, trong đó có xét đến sự tích tụ, rửa trôi và xử lý chất ô nhiễm.

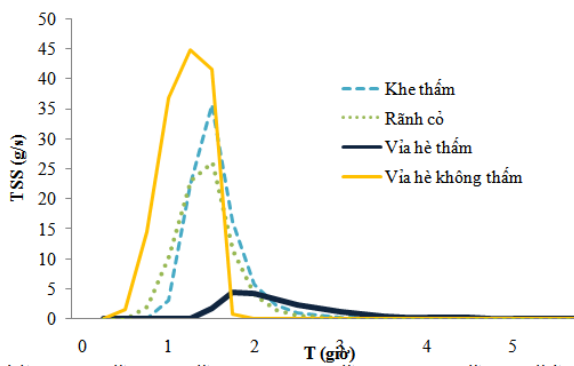
Hàm tích tụ được sử dụng là hàm số mũ, theo đó: $B = C_1(1 - e^{-C_2t})$

Trong đó: B là lượng tích tụ được tính bằng kg trên một đơn vị diện tích (ha), C_1 là lượng tích tụ tối đa (kg/ha), C_2 là lượng gia tăng tích tụ (kg/ha), t là số ngày không mưa trước đó.

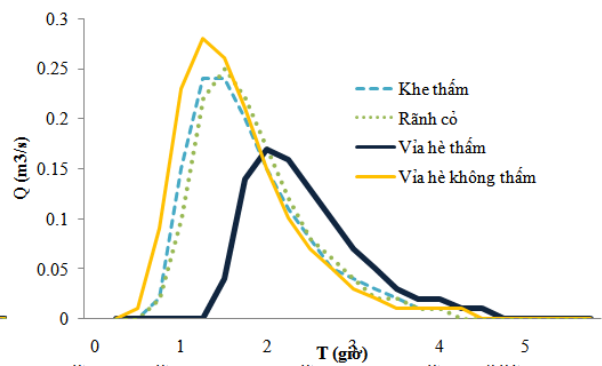
Ở Việt Nam, chưa có các nghiên cứu cụ thể về tích tụ chất ô nhiễm trên bề mặt lưu vực, nên nghiên cứu này giả sử $C_1 = 50$ kg/ha, $C_2 = 5$ kg/ha, t = 7 ngày.

Hàm rửa trôi được sử dụng là EMC, hàm nồng độ rửa trôi trung bình. Tức là đơn giản xem nồng độ rửa trôi không phụ thuộc vào lưu lượng dòng chảy mặt. Tuy điều này không chính xác với thực tế nhưng trong một số tính toán trước đó cho thấy rằng mặc dù quá trình rửa trôi bằng các hàm khác nhau cho đường quá trình khác nhau nhưng kết quả nồng độ trung bình lại khá giống nhau. Vì vậy với điều kiện thiếu số liệu đầu vào thì phương pháp nồng độ trung bình là chấp nhận được. Đối với khu dân cư điển hình, EMC = 160 mg/L. Hiệu suất làm sạch 70% được gán cho mỗi chức năng sử dụng đất rãnh cỏ, vỉa hè thấm và vỉa hè có khe thấm.

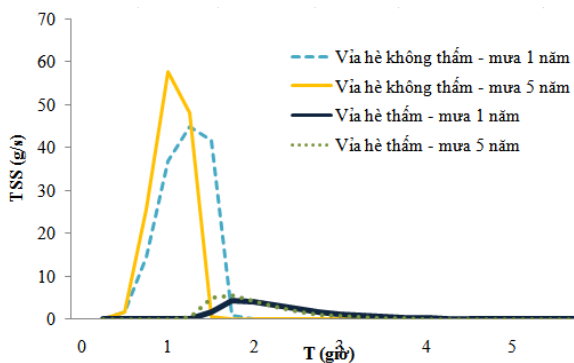
Xét hiệu quả của các loại giải pháp điều hòa cho lưu vực điển hình nghiên cứu. Yếu tố được xem xét ở đây là lượng TSS chảy vào hồ thu nước sau khi qua các loại giải pháp điều hòa dưới tác dụng của các cơn mưa thiết kế. Hình 8 thể hiện hiệu quả loại bỏ TSS qua các giải pháp này với trường hợp mưa 1 năm và hình 9 thể hiện khả năng điều hòa lưu lượng của chúng. Theo đó, vỉa hè thấm loại bỏ hơn 80% lượng TSS do toàn bộ nước mưa đều được lọc bởi vỉa hè thấm trước khi chảy vào giếng thu và một phần lưu lượng chứa TSS được trữ lại trong tầng trữ nước. Trong khi đó, rãnh cỏ và vỉa hè thấm mặc dù tác dụng điều hòa lưu lượng không đáng kể nhưng lại loại bỏ được khoảng 40% TSS. Nguyên nhân khả năng loại bỏ TSS của 2 giải pháp này nhỏ hơn vỉa hè thấm là vì chỉ 10% (khe thấm) và 50% (rãnh cỏ) lượng nước mưa chảy mặt được xử lý. Ngoài ra trong mô phỏng đã giả sử rằng khả năng thoát của các ống đục lỗ dưới tầng trữ nước của các giải pháp lọc được thiết kế đủ để tháo nước để thu được tối đa lượng nước mưa chảy mặt.



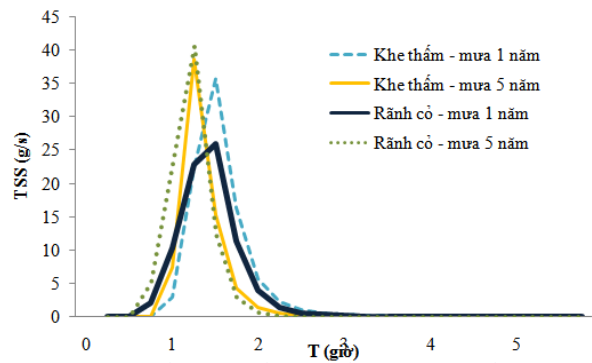
Hình 8. Lượng TSS còn lại sau khi qua các giải pháp điều hòa- mưa 1 năm



Hình 9. Lưu lượng vào giếng thu sau khi qua các giải pháp điều hòa – mưa 1 năm



Hình 10. Lượng TSS còn sau khi qua vỉa hè thấm và không thấm- mưa 1 và 5 năm



Hình 11. Lượng TSS còn sau khi qua khe thấm và rãnh cỏ- mưa 1 và 5 năm

Hình 10 và 11 so sánh hiệu quả xử lý của các giải pháp điều hòa khi cường độ mưa thay đổi. Đối với cơn mưa lớn hơn như cơn mưa 5 năm, sự rửa trôi diễn ra mạnh mẽ và nhanh chóng hơn so với cơn mưa 1 năm tuy tổng lượng TSS bị rửa trôi hầu như không đổi vì lượng tích tụ là cố định. Vỉa hè thấm vẫn duy trì hiệu suất làm sạch là hơn 80%. Tuy nhiên, khả năng xử lý của khe thấm tăng lên còn rãnh cỏ giảm xuống. Điều này là do đối với cơn mưa 1 năm, do lượng nước qua khe thấm chỉ bằng 10% tổng lượng chảy mặt nên khả năng chứa nước của khe thấm chưa được tận dụng hết mà chỉ mới phát huy khả năng lọc. Khi mưa lớn hơn, lưu lượng chứa

trong tầng trữ nước tăng lên nên một lượng nước chứa TSS đã được giữ lại, làm tăng hiệu quả xử lý của khe thấm. Ngược lại, rãnh cỏ đã phát huy tối đa cả việc trữ và loại bỏ TSS do bản thân thực vật ở cơn mưa 1 năm nên khi lưu lượng dòng chảy mặt chứa TSS tăng lên, rãnh cỏ chỉ phát huy được khả năng tự xử lý.

4. Kết luận

Thời gian thoát nước của hồ điều hòa thường kéo dài (từ một đến nhiều ngày) nên việc xét đến trận mưa lặp lại thường xuyên là cần thiết khi tính toán thiết kế hồ, đảm bảo hệ thống thoát nước trong mạng lưới làm việc bình thường. Đối với những khu vực diễn ra mưa thường xuyên thì việc tăng dung tích hồ sẽ không hiệu quả bằng việc lựa chọn hợp lý kích thước và độ sâu đặt lỗ thoát nước để cân bằng lượng tháo và lượng nước vào hồ. So với trận mưa có tần suất thiết kế, kích bản trận mưa lặp lại nhiều ngày ít gây nguy hiểm hơn nếu chọn đường kính lỗ thoát lớn, nhưng có thể gây tràn hồ với đường kính lỗ bé. Trong trường hợp cần phải chọn lỗ thoát nước bé để giới hạn lưu lượng xả, cần kết hợp nhiều lỗ thoát nước hoặc lỗ thoát nước chính với hạng mục tràn trong hệ thống thoát nước của hồ.

Cơn mưa lớn hay nhỏ nếu có cùng khoảng thời gian không mưa trước đó thì cho lượng chất ô nhiễm rửa trôi gần như nhau. Vì vậy khi tính toán chất lượng nước trong hệ thống thoát nước mưa cần xem xét cả các cơn mưa cường độ thấp. Khả năng loại bỏ chất ô nhiễm của một giải pháp điều hòa bao gồm khả năng làm sạch của bản thân cấu tạo giải pháp (như khả năng lọc của vỉa hè thấm, khe thấm hay khả năng giữ bùn cát của thực vật trong rãnh cỏ) và khả năng trữ nước của giải pháp vì lượng nước được trữ lại cũng giúp giữ lại TSS. Để việc loại bỏ TSS hiệu quả thì nên thiết kế sao cho toàn bộ lượng nước mưa chảy mặt đều đi qua giải pháp điều hòa trước khi đổ ra hệ thống thoát nước. Cần quan tâm đến diện tích bố trí giải pháp điều hòa trên bề mặt và kích thước các ống đục lỗ để thu nước sau xử lý sao cho thu nước kịp thời tránh nước chảy tràn lên bề mặt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Coffman, L.S. (2004), *Discussion of an Ecosystem Functional Basis for Protecting Receiving Waters*, Proceedings of Protection and Restoration of Streams ASCE: 383-391.
- [2] Hall, M.J., (1984), *Urban Hydrology*, Elsevier Applied Science Publishers, New York.
- [3] Heaney, J.P. and W.C. Huber (1984), *Nationwide Assessment of Urban Runoff Impact on Receiving Water Quality*, Water Resources Bulletin, 20 (1): 35:42.
- [4] Hood, M., J.C. Clausen and G.S. Warner (2006), *Low Impact Development Works!*, Journal of Soil and Water Conservation, 58A-61A.
- [5] Gregoire, B. G. & Clausen, J. C. (2011), *Effect of a modular extensive green roof on stormwater runoff and water quality*, Ecological Engineering, 37, p. 963–969.
- [6] Quân, L. V. & Anh, N. T. (2013), *Thực trạng sử dụng hồ điều hòa trong hệ thống thoát nước mưa ở một số đô thị thuộc đồng bằng Bắc Bộ Việt Nam*, Khoa học Kỹ thuật Thủy lợi và Môi Trường, 41.
- [7] Sâm, L., Vượng, N. Đ. & Tuấn, T. M. (2010), *Tận dụng khả năng trữ nước của hồ điều hòa để giảm thiểu ngập lụt trên địa bàn thành phố Hồ Chí Minh*, Tuyển tập Khoa học Công nghệ 50 năm Xây dựng và Phát triển, tập II, NXB Nông nghiệp.
- [8] Sansalone, J.J. and Hird, J. (2003), *Treatment of Stormwater Runoff from Urban Pavement and Roadways*, Wet-Weather Flow in the Urban Watershed, Technology and Management, Edited by R. Field and D. Sullivan. CRC Press LLC, Boca Raton, FL.

- [9] Selbig, W. & Bannerman, R. (2007), *Evaluation of street sweeping as a stormwater-quality-management tool in three residential basins in Madison, Wisconsin*. U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2007–5156, p. 102 p.
- [10] Schueler, T. (1987), *Controlling Urban Runoff: A Practical Manual for Planning and Designing Urban BMPs*, Metropolitan Washington Council of Governments, Washington, DC.
- [11] Schueler, T. (1997), *Comparative pollutant removal capability of urban BMPs: A reanalysis*, Watershed Protection Techniques, 2(4):515.520.
- [12] Van Seters, T. (2007), *Performance Evaluation of Permeable Pavement and a Bio retention Swale Seneca College, King City, Ontario, Interim Report #3*, Toronto and Region Conservation Authority, Downsview, Ontario.
- [13] Yu, S., S. Barnes and V. Gerde (1993), *Testing of Best Management Practices for Controlling Highway Runoff*, FHWA/VA 93-R16, Virginia Transportation Research Council, Charlottesville, VA.
- [14] Zimmerman, M., Barbaro, J., Sorenson, J. & Waldron, M. (2010), *Effects of low-impact-development on water quality and quantity in the Ipswich River Basin, Massachusetts - Field and modeling studies*, U.S. Geological Survey Scientific Investigations Report 2010–5007, p. 113 p.