

NGHIÊN CỨU GIẢI PHÁP THIẾT KẾ CÁC CẤU KIỆN HỒ TRỒNG CÂY BẰNG BÊ TÔNG CỐT THÉP CÓ KHẢ NĂNG THU THOÁT NƯỚC MƯA CHO ĐƯỜNG PHỐ ĐÔ THỊ

Nguyễn Ngọc Tân^{a,*}, Nguyễn Việt Phương^b, Ngô Việt Đức^b, Phan Quang Minh^a

^a*Khoa Xây dựng dân dụng và công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng,
số 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

^b*Khoa Cầu đường, Trường Đại học Xây dựng,
số 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

Nhận ngày 26/04/2020, Sửa xong 16/05/2020, Chấp nhận đăng 27/05/2020

Tóm tắt

Nghiên cứu này giới thiệu giải pháp thiết kế hồ trồng cây bằng kết cấu bê tông cốt thép có khả năng thu thoát nước mưa cho đường phố đô thị. Ba loại cấu kiện hồ trồng cây đã được đề xuất, đó là: (i) hồ trồng cây dạng đơn không đáy, (ii) hồ trồng cây kết hợp hố ga thu nước đặt trên vỉa hè, (iii) hồ trồng cây kết hợp hố ga thu nước đặt dưới đường. Hồ trồng cây được thiết kế với các kích thước điển hình (chiều dài × chiều rộng × chiều cao) lần lượt là 1200 × 1200 × 900 mm, 1400 × 1400 × 1100 mm và 1600 × 1600 × 1200 mm. Một cấu kiện hồ trồng cây dạng đơn không đáy đã được chế tạo bằng bê tông có cấp độ bền B30 và lưới thép $\phi 6a80$ để ứng dụng thử nghiệm vào thực tế. Trên đường phố đô thị, các kết cấu hồ trồng cây được kết nối với hệ thống thoát nước, cho phép cải thiện khả năng thoát nước mưa và hoạt động như một bể thấm lọc sinh học.

Từ khoá: hồ trồng cây; bê tông cốt thép; hệ thống thoát nước bền vững; đường phố đô thị.

DESIGN SOLUTION OF PLANTER COMPONENTS IN REINFORCED CONCRETE AS SUSTAINABLE DRAINAGE SYSTEMS IN URBAN STREETS

Abstract

This study presents a design solution of tree plantation structures in reinforced concrete that can collect and drain rainwater for urban streets. Three types of planter components have been proposed, such as: (i) filtration planter without bottom, (ii) filtration planter with a pretreatment manhole in the sidewalk, (iii) filtration planter with a pretreatment manhole toward the street. Each type of planters was designed with typical dimensions (length × width × height) of 1200 × 1200 × 900 mm, 1400 × 1400 × 1100 mm and 1600 × 1600 × 1200 mm, respectively. A planter was made of ordinary concrete having B30 compressive strength class and $\phi 6a8$ reinforcement meshes in order to realize a testing pilot. In urban streets, planter components are connected with the drainage systems for improving rainwater runoff and working as bioretention tanks.

Keywords: planter; reinforced concrete; sustainable drainage systems; urban streets.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14\(3V\)-05](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(3V)-05) © 2020 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Giới thiệu

Ngập lụt xảy ra khi có mưa lớn đang có xu hướng tăng cả về tần suất và quy mô ảnh hưởng ở các thành phố và đô thị lớn. Ngập lụt gây ra tình trạng ách tắc giao thông, gây thiệt hại về kinh tế xã hội do tổn thất thời gian tham gia giao thông, hư hỏng phương tiện, ảnh hưởng xấu đến sản xuất và

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: tannn@nuce.edu.vn (Tân, N. N.)

lưu thông hàng hóa. Điều kiện địa hình, điều kiện khí hậu nhiệt đới mưa nhiều, nhiều đô thị chịu ảnh hưởng triều cường là các nguyên nhân khách quan ảnh hưởng lớn đến sự thoát nước tự nhiên của các đô thị. Hơn nữa, tốc độ đô thị hóa ở các thành phố, đô thị lớn và hệ thống thoát nước bị quá tải cũng là một nguyên nhân ảnh hưởng đến sự thoát nước. Quá trình đô thị hóa làm cho mặt đất tự nhiên bị che phủ bởi các vật liệu không thấm nước. Nhiều diện tích trồng cây xanh và ao hồ đã bị bê tông hóa để xây dựng nhà ở, sân bãi, đường giao thông làm cho nước mưa không thể thoát nước tự nhiên xuống đất hoặc chảy vào các ao hồ. Phần lớn lượng nước mưa chảy trực tiếp vào hệ thống thoát nước đô thị đã bị quá tải, gây úng ngập kéo dài, tác động xấu đến nhiều hoạt động của xã hội. Hình 1 giới thiệu một số hình ảnh ngập úng xảy ra trên đường phố ở thành phố Hà Nội và thành phố Hồ Chí Minh trong những năm gần đây. Ngoài ra, tại các khu vực đô thị, nước mưa không thấm được xuống đất làm suy giảm lượng nước ngầm, gây sụt lún, lớp đất bề mặt trở nên khô hạn.



(a) Ngập lụt do mưa lớn trên phố Thái Hà – TP. Hà Nội năm 2017



(b) Ngập lụt do mưa bão trên phố Đinh Tiên Hoàng – TP. Hồ Chí Minh năm 2018

Hình 1. Hiện tượng ngập úng xảy ra khi mưa lớn tại một số thành phố lớn

Bên cạnh đó là sự bất cập trong quy hoạch, quản lý quy hoạch và xây dựng đô thị. Vấn đề sai số trong dự báo tính toán lưu lượng dòng chảy cho tuyến cống thiết kế [1] cũng như việc không tuân thủ quy hoạch cốt nền đô thị xảy ra khá phổ biến trong các hoạt động xây dựng. Một số sự cố thường gặp như đường ống thoát nước của công trình mới không đấu nối được với hệ thống thoát nước chung của thành phố, cao độ mặt đường sau khi nâng cấp sửa chữa cao hơn so với cốt nền nhà dân [2]. Những thực tế này càng làm gia tăng hiện tượng ngập úng tại các đô thị lớn, thậm chí ngập úng ngay cả khi cường độ mưa ở mức trung bình.

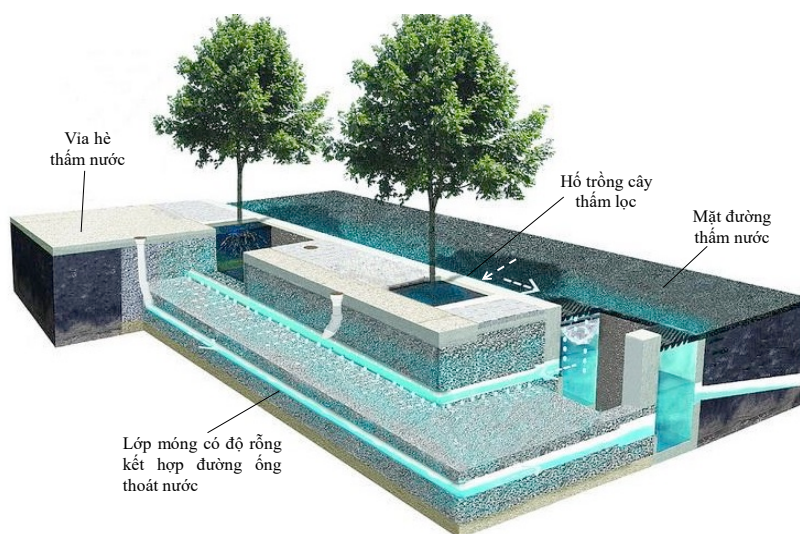
Để giải quyết hiện tượng ngập úng đô thị, cách tiếp cận truyền thống là cho nước bề mặt thoát thật nhanh bằng cách sử dụng hệ thống bơm công suất lớn, hoặc các tuyến cống có quy mô lớn để dẫn nước về phía lưu vực thoát nước. Cách tiếp cận này coi nước mưa là nước thải, đòi hỏi chi phí đầu tư xây dựng tốn kém và các trang thiết bị đồng bộ. Từ những năm 1970, trên thế giới đã hình thành và dần dần hoàn thiện khái niệm về “Hệ thống thoát nước bề mặt bền vững – Sustainable Drainage Systems (SuDS)”. SuDS hoạt động dựa trên nguyên lý thoát nước của dòng chảy tự nhiên. Từ đó, cách tiếp cận là cho nước bề mặt thoát chậm, lưu giữ nước bằng các giải pháp kỹ thuật để giảm lưu lượng tập trung dòng chảy lên tuyến cống thoát nước [3, 4]. Cách tiếp cận này coi nước mưa như một nguồn tài nguyên, đưa trở lại lòng đất để tái sử dụng. Các giải pháp kỹ thuật thoát nước bền vững đã được thử nghiệm thành công ở nhiều thành phố trên thế giới, ví dụ như Denver – Hoa Kỳ từ những năm 1980 [5].

Ở Việt Nam, hệ thống SuDS bắt đầu được đề cập đến từ khoảng những năm 2007 [6] nhằm ứng dụng kỹ thuật sinh thái góp phần phòng chống ngập úng, lún sụt và ô nhiễm ở thành phố Hồ Chí Minh. Một số các nghiên cứu tiếp theo cũng đã được thực hiện với mục đích đề xuất các giải pháp kỹ thuật để giảm thiệt hại do ngập úng đô thị gây ra đối với các địa phương khác như Đà Nẵng, Hà Nội, Hà Tĩnh [7–9]. Các nghiên cứu nêu trên chủ yếu đề xuất giải pháp, tính toán, đánh giá hiệu quả giả định, mà chưa đưa được chế tạo, ứng dụng thực tế. Nhóm tác giả trường Đại học Xây dựng đã có những nghiên cứu thí điểm ứng dụng bê tông rỗng trong công trình đường phố và sân bãi [10, 11]. Trong xu hướng triển khai ứng dụng thực tiễn đó, bài báo này trình bày nghiên cứu thiết kế chế tạo dạng cấu kiện có ý nghĩa phục vụ hệ thống SuDS. Giải pháp cấu tạo (hình dáng, kích thước, vật liệu) của một số loại cấu kiện hồ trồng cây bằng bê tông cốt thép có khả năng thu thoát nước cho đường phố đô thị. Ba loại hồ trồng cây đã được đề xuất và thiết kế với các kích thước điển hình. Một cấu kiện hồ trồng cây dạng đơn không đáy đã được chế tạo để triển khai ứng dụng thí điểm và nhằm hiện thực hoá các giải pháp SuDS.

2. Hệ thống thoát nước bề mặt bền vững cho đường phố đô thị

2.1. Các giải pháp kỹ thuật thoát nước bề mặt bền vững cho đường phố tại Việt Nam

Đối với đường phố trong các đô thị, hệ thống SuDS không chỉ kiểm soát dòng chảy nước bề mặt thông qua khả năng lưu giữ nước tạm thời, làm giảm tải lên các tuyến cống thoát nước, từ đó giảm hiện tượng ngập úng cục bộ trên đường phố do mưa lớn hoặc do hậu quả của biến đổi khí hậu. Đồng thời, hệ thống SuDS mang đến nhiều lợi ích về môi trường, bao gồm: (i) bổ sung nước ngầm nhờ khả năng lưu giữ nước; (ii) cải thiện chất lượng nước ngầm do các chất gây ô nhiễm bị lọc qua các lớp vật liệu; (iii) tạo ra cảnh quan thiên nhiên, các không gian tiện ích cho con người.



Hình 2. Minh họa mô hình SuDS trên đường phố đô thị

Một số giải pháp kỹ thuật có tính ứng dụng cao trong điều kiện Việt Nam có thể được nêu ra, đó là:

- Giải pháp bề mặt thấm áp dụng đối với bề mặt đường phố và vỉa hè như minh họa trên Hình 2. Bề mặt đường được chế tạo bằng vật liệu có tính thấm nước cao như bê tông rỗng. Vật liệu này có độ

rỗng lớn, dao động từ 15% đến 35%, hệ thống lỗ rỗng kết nối với nhau và kích thước trong khoảng 2 – 8 mm. Tùy thuộc vào thành phần cấp phối vật liệu mà bê tông rỗng có tốc độ thoát nước khoảng 81 - 730 lít/phút/m² [12]. Đối với kết cấu vỉa hè, bề mặt được lát bằng các loại gạch tự chèn có tính thấm nước cao, hoặc ở dạng hở để thấm nước vào nền đất. Hơn nữa, lớp móng vỉa hè được thiết kế để có độ rỗng cao để tăng khả năng thoát nước tự nhiên. Ở Việt Nam, các đề tài nghiên cứu đã và đang được thực hiện nhằm áp dụng vào thực tế giải pháp bề mặt thấm sử dụng bê tông rỗng thoát nước nhanh, đồng thời sử dụng cốt liệu nghiền tái chế từ quá trình phá dỡ các công trình xây dựng [10].

- Giải pháp hồ trồng cây thấm lọc trên vỉa hè đường phố (Hình 2). Hồ trồng cây truyền thống được cải tạo bằng cách sử dụng kết cấu bê tông đúc sẵn, kết hợp với lớp móng bằng cát, cuội sỏi để tăng khả năng thấm lọc và lưu giữ nước. Dạng cấu kiện trồng cây này hoạt động như một bể thấm lọc sinh học.

- Giải pháp kênh thực vật cho đường phố dựa trên nguyên lý sử dụng thảm cây xanh để lưu giữ, thấm lọc và thoát nước. Các vị trí đất dự trữ trên đường phố như dải phân cách được trồng cây, kết hợp bó vỉa dọc theo hai bên được nâng cao để có thể lưu giữ nước khi xảy ra mưa.

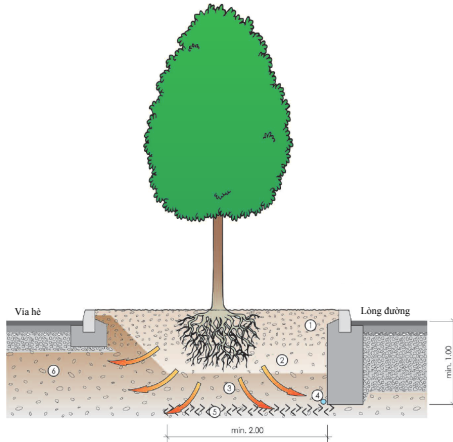
- Giải pháp hầm chứa nước mưa xây dựng ngầm phía dưới đường phố. Giải pháp này đòi hỏi chi phí đầu tư lớn và phải có quy hoạch đồng bộ, lâu dài dựa trên các kịch bản tính toán lưu lượng thoát nước cho đô thị.

Khi một lượng lớn các hồ trồng cây có khả năng thu thoát nước mưa kết nối với các tuyến cống, đồng thời kết cấu đường và vỉa hè được thiết kế với giải pháp bề mặt thấm, sẽ tạo thành một hệ thống thoát nước bề mặt bền vững cho đường phố đô thị. Nước mưa được lưu giữ tại chỗ, một phần thấm lọc tự nhiên vào đất để bổ sung lượng nước ngầm, mặt khác cho phép thoát nước chậm bằng cách điều chỉnh lưu lượng dòng chảy, tránh được hiện tượng ngập úng tại một số điểm cục bộ trên hệ thống tuyến cống thoát nước.

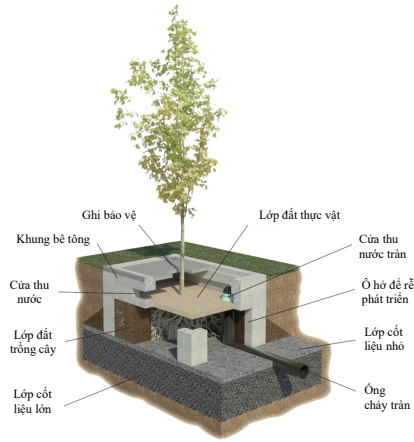
2.2. Giải pháp hồ trồng cây kết hợp thu thoát nước cho đường phố

Phương pháp trồng cây truyền thống được áp dụng phổ biến hiện nay là trồng trực tiếp vào hố đào đất trên vỉa hè hoặc trên dải phân cách. Hình 3 minh họa phương pháp trồng cây bằng hố đào đất trên vỉa hè đường phố đô thị, trong đó: (1) lớp đất thực vật có khả năng thoát nước nhanh, (2) lớp đất trồng cây để nuôi dưỡng bộ rễ, (3) hướng phát triển bộ rễ cây, (4) ống thoát nước nếu có, (5) lớp đất đầm chặt và (6) lớp đất tự nhiên phía dưới vỉa hè. Thực tế là lớp đất thực vật phía trên thường ngang bằng với mép trên của bó vỉa. Quá trình thi công trồng cây, các lớp đất trong hố đào có thể bị đầm chặt quá mức yêu cầu, hoặc bị lún chặt theo thời gian. Do đó, dạng hồ trồng cây này chỉ có tác dụng bảo vệ và nuôi dưỡng cây xanh, tạo ra các mảng xanh cho đường phố đô thị, trong khi hiệu quả lưu giữ nước mưa gần như không đáng kể do đất trồng cây thường cao ngang với bó vỉa gốc cây.

Để khắc phục những nhược điểm về thoát nước của hồ trồng cây truyền thống, cấu kiện hồ trồng cây kết hợp thu thoát nước mưa được đề xuất sử dụng như một phần của hệ thống SuDS cho đường phố đô thị. Hình 4 minh họa dạng hồ trồng cây không đáy đối với cây thân gỗ. Cấu kiện được chế tạo bằng kết cấu bê tông và bê tông cốt thép (BTCT), với các kích thước thiết kế phụ thuộc vào loại cây trồng. Mặt trên của hồ trồng cây được che đậy bằng tấm ghi thép hoặc composite có tác dụng bảo vệ gốc cây và chắn rác. Lớp đất thực vật trên cùng được hạ thấp so với mặt trên một khoảng tối thiểu từ 20 – 30 cm. Khoảng hở tạo ra phía trong hồ trồng cây tạo thành không gian chứa nước khi xảy ra mưa lớn và xuất hiện hiện tượng ngập úng. Trên tấm vách của hồ trồng cây phía tiếp giáp với đường phố, một cửa thu nước có thể được bố trí ngang với mặt đường. Các vách còn lại của hồ trồng cây thường là tấm kín hoặc được bố trí lỗ mở để bộ rễ cây phát triển theo phương ngang. Cấu kiện không có đáy để không cản trở sự phát triển của rễ cọc đối với các loại cây thân gỗ lớn, đồng thời sự thấm lọc nước

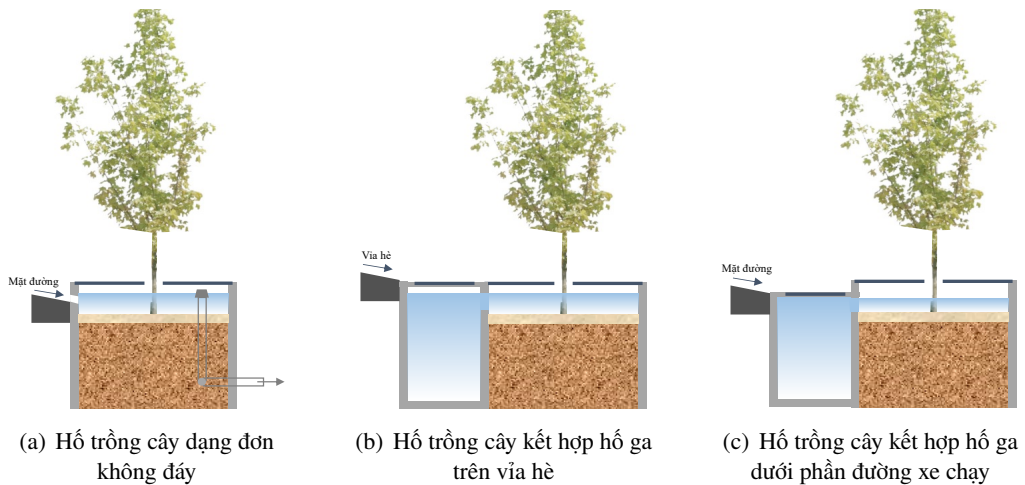


Hình 3. Trồng cây bằng hố đào đất kết hợp bó vỉa trên vỉa hè đô thị



Hình 4. Hố trồng cây kết hợp thu thoát nước mưa

mưa diễn ra theo phương đứng để bổ sung nước ngầm. Để tăng hiệu quả thấm lọc tự nhiên, phía dưới lớp đất trồng cây có thể bố trí lớp cốt liệu có độ rỗng lớn, được cấu tạo gồm một lớp vải địa kỹ thuật, một lớp hạt cốt liệu nhỏ (cát, đá dăm hạt nhỏ) và một lớp hạt cốt liệu lớn (cuội sỏi). Cửa thu nước chảy tràn và ống thoát nước kết nối với các tuyến công thoát nước được đề xuất áp dụng để tăng hiệu quả thoát nước khi xảy ra mưa với cường độ lớn, vượt quá khả năng thấm lọc tự nhiên. Trong quá trình thi công trồng cây, độ chặt của các lớp vật liệu phía trong và phía dưới hố trồng cây cần được kiểm soát. Sự đầm chặt quá mức yêu cầu đối với các lớp vật liệu này có thể làm giảm hiệu quả thấm lọc tự nhiên.



Hình 5. Minh họa hố trồng cây kết hợp thu thoát nước mưa

Dựa trên nguyên lý lưu giữ nước mưa và thấm lọc tự nhiên nêu ra ở trên, nghiên cứu này đề xuất ba loại cấu kiện hố trồng cây bằng bê tông cốt thép như minh họa trên Hình 5, cụ thể như sau:

(a) Hố trồng cây dạng đơn không đáy: sử dụng để trồng một cây xanh thuộc nhóm cây thân gỗ cho đường phố đô thị. Mặt trên được che đậy bằng tấm ghi bảo vệ gốc cây. Mặt dưới không đáy, dạng hở, tiếp xúc trực tiếp với nền đất. Ba mặt tiếp giáp với vỉa hè bằng các tấm vách dạng kín (không đục lỗ mở). Mặt tiếp xúc với đường là tấm vách có một cửa thu nước.

(b) Hồ trồng cây kết hợp hồ ga thu nước đặt trên vỉa hè: là tổ hợp của một cấu kiện hồ trồng cây dạng đơn không đáy và một hồ ga có đáy đặt dọc theo cạnh dài của vỉa hè. Cao độ mặt trên của hồ trồng cây và hồ ga là bằng nhau. Hồ ga này có nhiệm vụ thu nước chảy vào từ mặt vỉa hè và nước chảy tràn từ hồ trồng cây. Nước chứa trong hồ ga được dẫn chảy vào cống thoát nước đặt trên vỉa hè hoặc dưới đường.

(c) Hồ trồng cây kết hợp hồ ga thu nước đặt dưới đường: là tổ hợp một cấu kiện hồ trồng cây dạng đơn không đáy và một hồ ga có đáy đặt vuông góc với cạnh dài của vỉa hè. Cao độ mặt trên của hồ ga ngang bằng với mặt đường và thấp hơn so với hồ trồng cây. Hồ ga có nhiệm vụ thu nước chảy vào từ mặt đường và nước chảy tràn từ hồ trồng cây. Nước trong hồ ga được dẫn chảy vào cống thoát nước đặt dưới lòng đường.

3. Thiết kế cấu kiện hồ trồng cây bằng BTCT có khả năng thu thoát nước mưa

3.1. Cơ sở thiết kế

Việc thiết kế cấu kiện trồng cây trong hệ thống SuDS cho đường phố đô thị có thể được tham khảo theo những hướng dẫn của sổ tay SuDS C753 [3] do Hiệp hội CIRIA (Construction Industry Research and Information Association) ban hành năm 2015, cũng như tuân theo quy chuẩn kỹ thuật quốc gia đối với công trình hạ tầng kỹ thuật đô thị [13], tiêu chuẩn thiết kế đường đô thị [14], tiêu chuẩn thiết kế về thoát nước [15] và tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép [16]. Ngoài ra, ở một số địa phương như thành phố Hà Nội, thành phố Hồ Chí Minh có các quy định cụ thể về việc thiết kế hè đường đô thị [17, 18].

Đối với đường phố đô thị, các loại cây xanh thường được trồng chia thành hai nhóm chính, đó là nhóm cây thân gỗ và nhóm cây bụi. Tùy thuộc vào loại cây mà kích thước hố đào đất được quy định khác nhau. Đối với các cây bụi, hồ trồng cây thường có đường kính và chiều sâu khoảng 50 cm, do đường kính bộ rễ nằm trong khoảng 30 – 50 cm và chiều sâu rễ từ 25 – 45 cm. Đối với các cây thân gỗ với hệ thống rễ trần và không có vầng đất, thì kích thước hố đào có chiều sâu 70 cm và đường kính khoảng 60 – 70 cm. Đối với các cây thân gỗ có vầng đất, thì kích thước hố đào phụ thuộc vào kích thước của vầng đất, thông thường có đường kính 1,0 - 2,6 m và chiều sâu 65 – 90 cm. Do đó, hồ trồng cây bằng BTCT phải có chiều cao tối thiểu là 90 cm, bao gồm khoảng hở thu nước có chiều cao 20 - 30 cm tính từ mặt trên đến lớp đất thực vật và chiều cao của các lớp đất nuôi cây như minh họa trên các Hình 4 và 5. Tiết diện ngang (chiều dài $\times$ chiều rộng) của hồ trồng cây BTCT được xác định dựa trên đường kính vầng đất của cây, cũng như phù hợp với một số kích thước điển hình [17, 18] thường được sử dụng trong thực tế khi trồng cây bằng hố đào đất kết hợp với bó vỉa (Hình 3), đó là $1,2 \times 1,2$ m, $1,4 \times 1,4$ m và $1,6 \times 1,6$ m.

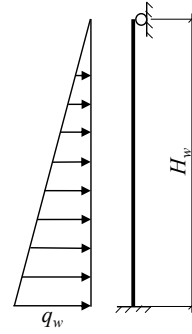
3.2. Phương pháp thiết kế

a. Thiết kế cấu kiện bê tông cốt thép

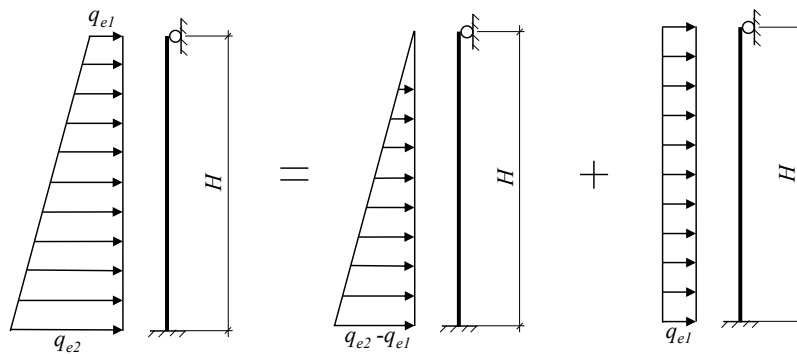
Cấu kiện hồ trồng cây bằng bê tông cốt thép phải được thiết kế để đảm bảo khả năng chịu lực trong quá trình cấu lắp, vận chuyển từ nơi sản xuất đến vị trí trồng cây, thi công lắp đặt và trong giai đoạn làm việc của nó. Để đơn giản hóa việc thiết kế, cấu kiện này có thể được tính toán giống như sơ đồ làm việc kết cấu bể nước ngầm trong đất. Nghiên cứu này đề xuất sử dụng các loại hồ trồng cây không đáy và mặt trên hở, nên việc thiết kế chỉ được tính toán cho các tấm vách ở trạng thái giới hạn về độ bền. Các loại tải trọng tác dụng lên tấm vách của cấu kiện hồ trồng cây bao gồm: tải trọng bản thân, áp lực ngang của nước, áp lực ngang của đất và hoạt tải do con người, vật tư, thiết bị, xe cộ, ... đặt tạm thời hoặc dài hạn.

Tải trọng tiêu chuẩn do áp lực ngang của nước, ký hiệu q_w , được tính toán theo công thức (1), với H_w là chiều cao cột nước lấy bằng chiều cao hồ trồng cây trong trường hợp ngập nước, γ_w là trọng lượng riêng của nước bằng 10 kN/m^3 . Tải trọng tính toán xác định bằng tải trọng tiêu chuẩn nhân với hệ số độ tin cậy n_w lấy bằng 1,1. Sơ đồ tính toán tấm vách của cầu kiện khi chịu tải trọng ngang của nước được minh họa như trên Hình 6.

$$q_w = H_w \gamma_w \quad (1)$$



Hình 6. Sơ đồ tải trọng ngang do áp lực nước



Hình 7. Sơ đồ phân bố tải trọng do áp lực ngang của đất và hoạt tải

Hình 7 minh họa sơ đồ phân bố các tải trọng tiêu chuẩn do áp lực ngang của đất và hoạt tải trên mặt đất tác dụng lên mặt ngoài của tấm vách. Các tải trọng tại đỉnh và chân vách, ký hiệu q_{e1} và q_{e2} , được xác định lần lượt theo các công thức (2) và (3), trong đó γ là trọng lượng riêng của đất, q_s là hoạt tải, h_0 là chiều cao lớp đất trên mặt hồ (nếu có), H là chiều cao cầu kiện. K_a là hệ số áp lực chủ động tính bằng công thức (4) với φ là góc nội ma sát trong của đất. Hệ số độ tin cậy n_e của các tải trọng tiêu chuẩn này lấy bằng 1,15.

$$q_{e1} = K_a (\gamma h_0 + q_s) \quad (2)$$

$$q_{e2} = K_a \gamma (h_0 + H) + K_a q_s \quad (3)$$

$$K_a = \tan^2 \left(45^\circ - \frac{\varphi}{2} \right) \quad (4)$$

Nội lực trong tấm vách được tính toán như cầu kiện chịu uốn, bao gồm mô men uốn tại chân vách, mô men uốn lớn nhất, lực cắt tại đỉnh và chân vách. Dựa trên nội lực tính toán để lựa chọn cốt thép dọc và xác định khả năng chịu lực. Thực tế, hồ trồng cây làm việc ở nhiều trạng thái khác nhau từ giai đoạn thi công đến sử dụng và các tấm vách chịu đồng thời mô men uốn dương và mô men uốn âm nên kiến nghị đặt hai lớp lưới thép.

b. Thiết kế thấm ba chiều

Khi trời mưa, hồ trồng cây thực hiện chức năng lưu giữ nước và làm việc như một bể thấm lọc sinh học. Do đó, các lớp đất bên trong hồ trồng cây phải được thiết kế để làm việc như một hệ thống thấm ba chiều. Nếu hồ trồng cây có chiều cao hạn chế, các lớp đất này thường bao gồm một lớp đất

thực vật ở bề mặt và một lớp đất nuôi cây khá tơi xốp ở phía dưới đến chiều sâu đáy hồ. Nếu hồ trồng cây có chiều cao lớn hơn, có thể bố trí thêm một lớp cuội sỏi có độ rỗng cao ở phía dưới lớp đất nuôi cây để tăng hiệu quả thấm lọc. Đối với một sự kiện mưa nhất định chảy vào hệ thống thấm có kích thước cụ thể, các phương trình thủy lực có thể được giải để xác định mực nước lớn nhất. Hồ trồng cây là hệ thống thấm thẳng đứng, nên mực nước lớn nhất $h_{\max}$ được xác định theo công thức (5), với D (giờ) là thời gian mưa với chu kỳ lặp lại yêu cầu tại khu vực thiết kế.

$$h_{\max} = a \left[e^{(-bD)} - 1 \right] \quad (5)$$

$$a = \frac{A_b}{P} - i \frac{A_D}{Pq} \quad (6)$$

$$b = \frac{Pq}{nA_b} \quad (7)$$

Hệ số a được tính toán theo công thức (6), trong đó A_b (m^2) là diện tích đáy của hệ thống thấm, A_D (m^2) là diện tích bề mặt thoát nước, P (m) là chu vi của đáy hệ thống thấm, i (m/giờ) là cường độ mưa thiết kế với chu kỳ lặp lại yêu cầu, q là hệ số thấm tính toán lấy bằng tốc độ thấm đo bằng thí nghiệm thấm tại hiện trường chia cho hệ số an toàn. Đối với hệ thống thấm ba chiều, hệ số an toàn lấy bằng 1,5.

Hệ số b được tính toán theo công thức (7), trong đó n là độ rỗng lấp đầy của vật liệu thấm được xác định từ thí nghiệm hoặc có thể sử dụng các giá trị hướng dẫn chỉ ra trong Bảng 1. Nếu giá trị độ rỗng lấp đầy lớn hơn 0,3 thì vật liệu phải được kiểm tra để đạt được yêu cầu thiết kế. Lưu ý rằng, các giá trị này được sử dụng đối với hồ trồng cây không bố trí lỗ mở trên các tấm vách. Trong trường hợp, hồ trồng cây được thiết kế lỗ mở trên các tấm vách sẽ làm tăng hiệu quả thoát nước theo phương ngang, thì phải sử dụng giá trị độ rỗng hiệu dụng [3].

Bảng 1. Độ rỗng lấp đầy của vật liệu

Vật liệu	Độ rỗng (n)
Vải địa kỹ thuật	0,9 – 0,95
Đá dăm, cuội sỏi tiêu chuẩn	0,3 – 0,4
Cát hoặc cấp phối đá dăm, cuội sỏi	0,2 – 0,3

c. Kiểm tra thời gian tháo cạn

Các phương trình thủy lực tính đến sự lưu giữ và sự thấm lọc nước bề mặt. Nếu tốc độ thấm lọc thấp thì hệ thống thấm không được tháo cạn trước khi sự kiện mưa tiếp theo xảy ra. Để giảm thiểu nguy cơ ngập úng do sự kiện mưa tiếp theo, hệ thống thấm phải có khả năng tháo cạn một nửa mực nước trong một thời gian hợp lý. Thông thường, thời gian để tháo cạn một nửa mực nước được quy định nhỏ hơn 24 giờ. Nếu thời gian này được thiết kế quá dài (lớn hơn hoặc bằng 24 giờ), thì hệ thống thoát nước phải có khả năng chứa nước rất lớn. Khi thiết kế, thời gian tháo cạn của hệ thống thấm được quyết định dựa trên khả năng của hệ thống thoát nước và những hậu quả của các sự kiện mưa liên tiếp có thể xảy ra, với sự phê duyệt của cơ quan quản lý thoát nước của địa phương.

Thời gian tháo cạn một nửa mực nước trong hệ thống thấm ba chiều, ký hiệu $T_{1/2}$ (giờ), được xác định theo công thức (8). Nếu thời gian $T_{1/2}$ được quy định nhỏ hơn 24 giờ, thì hệ số thấm q (m/giờ) được chấp nhận nếu thỏa mãn bất đẳng thức (9).

$$T_{1/2} = \frac{nA_b}{qP} \log_e \left[\frac{h_{\max} + \frac{A_b}{P}}{\frac{h_{\max}}{2} + \frac{A_b}{P}} \right] \quad (8)$$

$$q > \frac{nA_b}{24P} \log_e \left[\frac{h_{\max} + \frac{A_b}{P}}{\frac{h_{\max}}{2} + \frac{A_b}{P}} \right] \quad (9)$$

3.3. Đề xuất một số mẫu thiết kế điển hình cho hồ trồng cây

Nghiên cứu này đề xuất một số mẫu thiết kế điển hình cho các loại hồ cây trình bày trong mục 2.2, sử dụng vật liệu bê tông thông thường có cấp độ bền B30 (tương đương mác M400) và cốt thép với các tính chất cơ học như trong Bảng 2. Tĩnh tải bao gồm trọng lượng của các vật liệu và hoạt tải sử dụng để tính toán thiết kế được tổng hợp trong Bảng 3.

Bảng 2. Các tính chất cơ học của vật liệu thép sử dụng

Đường kính	Mác thép	Cường độ giới hạn chảy f_y (MPa)	Cường độ chịu kéo tính toán R_s (MPa)	Cường độ chịu nén tính toán R_{sc} (MPa)	Cường độ chịu cắt tính toán R_{sw} (MPa)
$\phi < 10$ mm	CB240-T	240	225	225	175
$\phi > 10$ mm	CB300-V	300	280	280	225
Thép hình, thép tấm	CCT34	220	210	210	120

Bảng 3. Tải trọng và hệ số vượt tải sử dụng tính toán

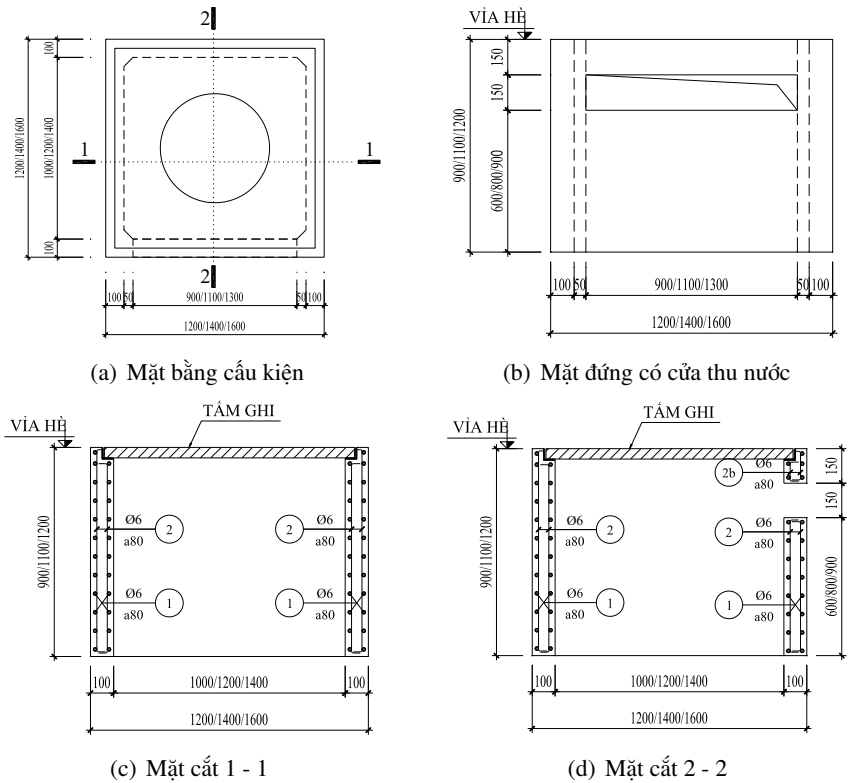
Loại tải trọng	Vật liệu/vật tư	Tải trọng tiêu chuẩn	Hệ số vượt tải
Tĩnh tải	Bê tông cốt thép	25 kN/m ³	1,10
	Nước	10 kN/m ³	1,10
	Đất đắp (cát)	20 kN/m ³	1,15
Hoạt tải	Tải xe cộ	6 kN/m ²	1,15

a. Hồ trồng cây dạng đơn không đáy

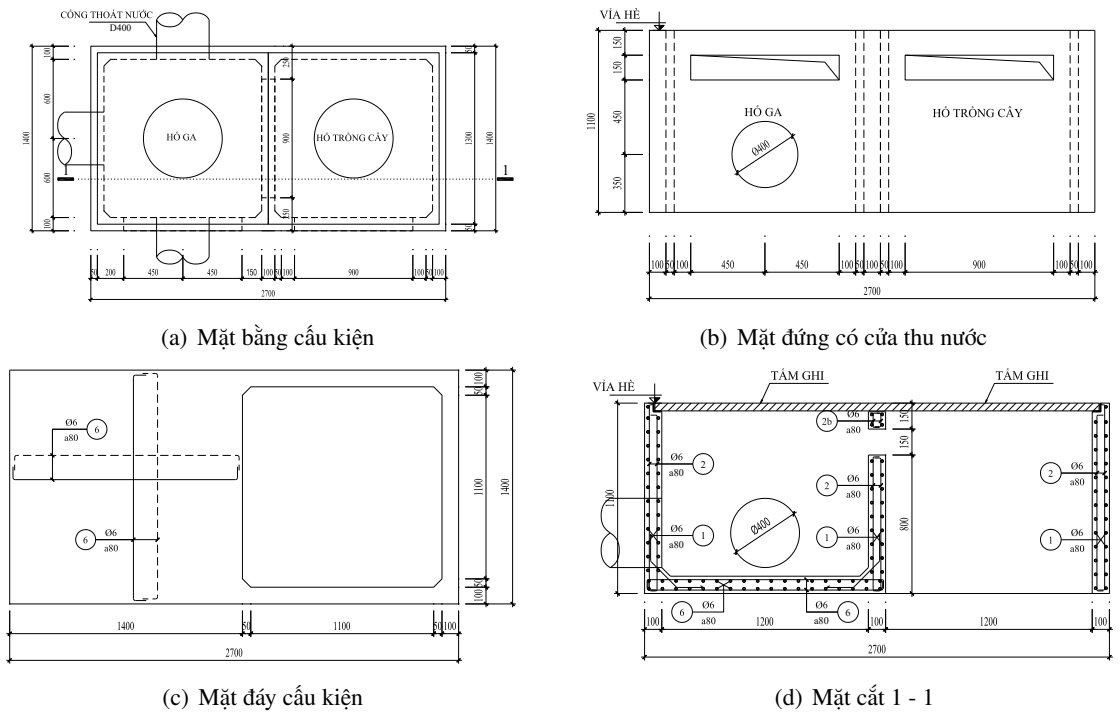
Cấu kiện hồ trồng cây dạng đơn không đáy đã được thiết kế cho ba mẫu điển hình với các kích thước (chiều dài × chiều rộng × chiều cao) như sau: 1200 × 1200 × 900 mm, 1400 × 1400 × 1100 mm và 1600 × 1600 × 1200 mm. Các kích thước chi tiết và cấu tạo cốt thép của từng loại cấu kiện được giới thiệu trên Hình 8.

b. Hồ trồng cây kết hợp hồ ga thu nước đặt trên vỉa hè

Loại cấu kiện này là tổ hợp của một hồ trồng cây dạng đơn không đáy và một hồ ga thu nước có đáy, có chung một tấm vách ở giữa. Trong nghiên cứu này, hồ ga được chọn tiết diện ngang là 1400 × 1400 mm, chiều cao chọn bằng với hồ trồng cây vì được đặt cùng một cao độ trên vỉa hè. Ba mẫu điển hình của loại cấu kiện này đã được thiết kế với các kích thước tổng thể (chiều dài × chiều rộng × chiều cao) lần lượt là: 2500 × 1400 × 900 mm, 2700 × 1400 × 1100 mm và 2900 × 1600 × 1200 mm. Hình 9 giới thiệu cấu tạo chi tiết của một cấu kiện điển hình có kích thước trung bình.



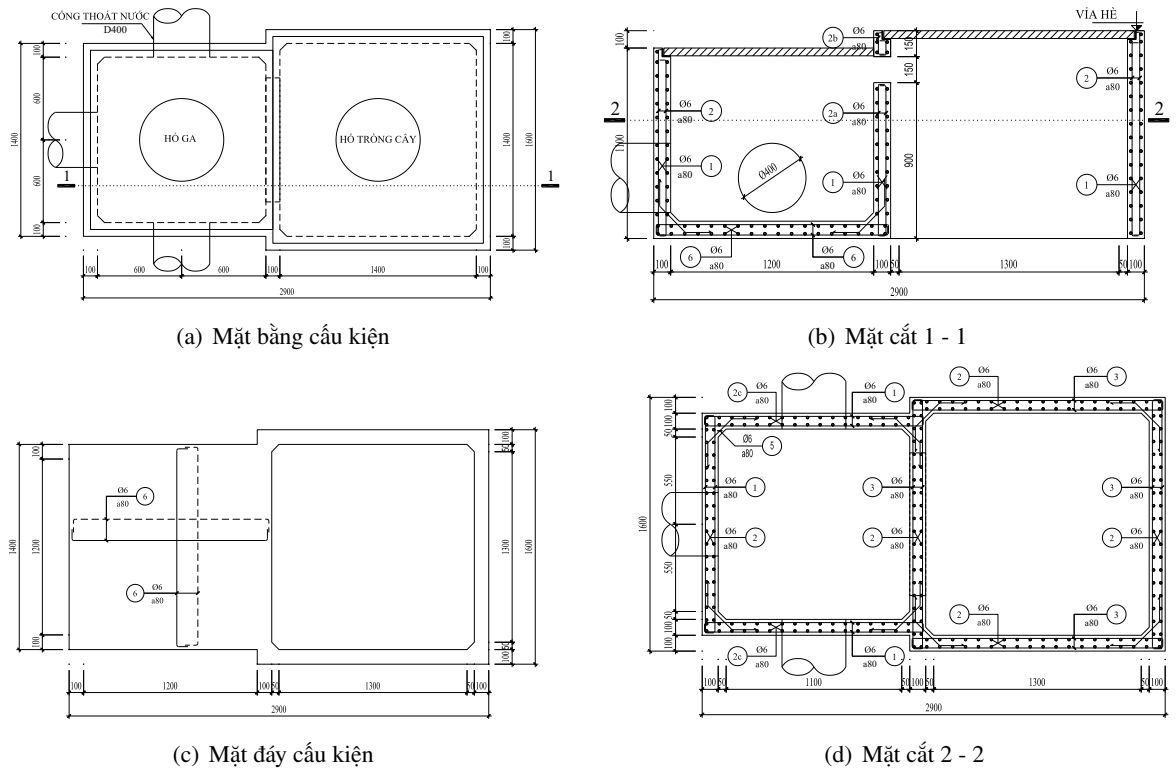
Hình 8. Cấu tạo chi tiết các hố trồng cây dạng đơn không đáy



Hình 9. Cấu tạo chi tiết hố trồng cây kết hợp hố ga thu nước trên vỉa hè

c. Hồ trồng cây kết hợp hồ ga thu nước đặt dưới đường

Loại cấu kiện này là tổ hợp của một hồ trồng cây dạng đơn không đáy đặt trên vỉa hè và một hồ ga thu nước đặt dưới đường. Hai phần cấu kiện chung một tấm vách ở giữa, và chênh lệch cao độ mặt trên đúng bằng chênh lệch giữa vỉa hè và mặt đường. Hồ ga thu nước có tiết diện ngang được chọn là 1400×1400 mm và chiều cao thay đổi phụ thuộc vào chiều cao của hồ trồng cây. Ba mẫu điển hình đã được thiết kế có các kích thước tổng thể (chiều dài $\times$ chiều rộng $\times$ chiều cao) lần lượt là: $2500 \times 1400 \times 900$ mm, $2700 \times 1400 \times 1100$ mm và $2900 \times 1600 \times 1200$ mm. Hình 10 giới thiệu cấu tạo chi tiết của một cấu kiện điển hình có kích thước lớn nhất trong số các mẫu thiết kế.



Hình 10. Cấu tạo chi tiết hồ trồng cây kết hợp hồ ga thu nước dưới đường

4. Chế tạo và ứng dụng cấu kiện hồ trồng cây có khả năng thu thoát nước mưa

4.1. Vật liệu sử dụng

Trong nghiên cứu này, một kết cấu thử nghiệm được chế tạo bằng vật liệu bê tông cấp độ bền thiết kế B30 và lưới thép tròn trơn có đường kính danh nghĩa $\phi 6$. Thành phần cấp phối bê tông được giới thiệu trong Bảng 4, bao gồm cốt liệu lớn có đường kính lớn nhất $d_{\max} = 20$ mm, cốt liệu nhỏ là cát sông tự nhiên, xi măng Pooc-lăng PCB40 và nước. Trong quá trình đổ bê tông, các mẫu thử hình lập

Bảng 4. Thành phần cấp phối vật liệu bê tông

Xi măng (kg/m^3)	Cát vàng (kg/m^3)	Đá dăm (kg/m^3)	Nước ($\text{lít}/\text{m}^3$)	Tỷ lệ N/X
477	596	1250	185	0,39

phương có kích thước $150 \times 150 \times 150$ mm được chế tạo, để thực hiện thí nghiệm nén xác định cường độ chịu nén của bê tông ở 28 ngày tuổi theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 3118:1993 [19].

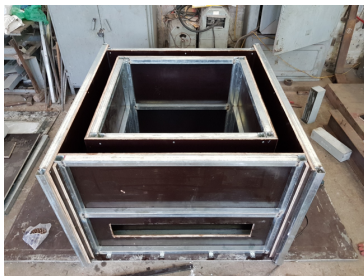
Các kết quả thí nghiệm nén của một tổ mẫu bê tông được giới thiệu trong Bảng 5, đặc trưng bởi các tham số như sau: P_{ph} (kN) là lực phá hoại mẫu thử; R_n (MPa) là cường độ chịu nén của từng mẫu; R_n^{tb} (MPa) là giá trị cường độ chịu nén trung bình đặc trưng cho tổ mẫu; s (MPa) là độ lệch chuẩn và cv (%) hệ số biến động của cường độ chịu nén. Trong phòng thí nghiệm, cường độ chịu nén trung bình của bê tông là 41,5 MPa, với hệ số biến động nhỏ $cv = 2,9\%$, đạt yêu cầu về cường độ chịu nén so với thiết kế.

Bảng 5. Cường độ chịu nén của bê tông ở 28 ngày tuổi

Mẫu thử	P_{ph} (kN)	R_n (MPa)	R_n^{tb} (MPa)	s (MPa)	cv (%)
M1	920,5	40,9	41,5	1,2	2,9
M2	965,7	42,9			
M3	917,2	40,8			

4.2. Chế tạo kết cấu thử nghiệm

Trong phòng thí nghiệm, một cấu kiện hồ trồng cây dạng đơn không đáy đã được chế tạo thử nghiệm bằng bê tông cốt thép. Kết cấu thử nghiệm có các kích thước tổng thể là $L \times B \times H = 1200 \times 1200 \times 900$ mm (Hình 8). Chiều dày của mỗi tấm vách tương ứng với bốn cạnh là $h = 10$ cm đồng đều tại tất cả mặt cắt ngang. Đối với tấm vách tiếp giáp với đường phố, bố trí một cửa thu nước có kích thước 150×900 mm. Mỗi tấm vách được cấu tạo bởi hai lớp lưới thép $\phi 6a80$ đặt cách nhau 70 mm. Chiều dày của lớp bê tông bảo vệ là 15 mm. Hình 11 giới thiệu một số hình ảnh thực tế trong quá trình chế tạo kết cấu thử nghiệm.



(a) Chế tạo cốt pha



(b) Gia công cốt thép



(c) Đổ bê tông

Hình 11. Chế tạo kết cấu thử nghiệm hồ trồng cây dạng đơn không đáy

4.3. Ứng dụng kết cấu thử nghiệm vào thực tế

Kết cấu thử nghiệm được vận chuyển từ Phòng thí nghiệm và kiểm định công trình - Đại học Xây dựng đến Cơ sở thực nghiệm của Trường ở tỉnh Hà Nam, để tiến hành lắp đặt và trồng một cây thân gỗ vào phía trong hồ trồng cây. Việc lắp đặt kết cấu trồng cây cần tuân theo những yêu cầu sau đây để đảm bảo hiệu quả thu thoát nước:

- Cao độ của kết cấu trồng cây bằng với cao độ của vỉa hè;

- Cửa thu nước của kết cấu trồng cây đặt về với mặt đường, bằng hoặc thấp hơn cao độ mặt đường để đón nước mưa từ mặt đường chảy vào;

- Cao độ lớp đất trồng cây phía trong cách mặt trên từ 20 đến 30 cm, và thấp hơn mặt đường để đảm bảo khả năng thu và chứa nước mưa.

Lớp đất phía trong đóng vai trò là môi trường sống cho cây trồng, đồng thời làm việc như một hệ thống thấm lọc tự nhiên để nước mưa thấm từ từ vào lòng đất. Do đó, khi thực hiện việc trồng cây, nên tránh việc đầm chặt đất vượt quá yêu cầu, dẫn đến giảm khả năng thấm nước. Trong trường hợp cường độ mưa lớn, vượt quá hệ số thấm của lớp đất này, thì nước mưa sẽ được dẫn vào ống thu nước chảy tràn. Hình 12 giới thiệu các hình ảnh thực tế việc lắp đặt và trồng cây vào cấu kiện thử nghiệm.



(a) Lắp đặt hố trồng cây tại hiện trường



(b) Cấu kiện thử nghiệm sau khi trồng cây

Hình 12. Ứng dụng thực tế kết cấu trồng cây có khả năng thu thoát nước

Khoang hở có chiều cao 30 cm phía trên của hố trồng cây cho phép lưu giữ một thể tích nước mưa tối thiểu 300 lít, kết hợp với khả năng thấm lọc của lớp đất phía dưới có thể làm tăng hiệu quả thu thoát nước. Trên đường phố đô thị, khoảng cách giữa các cây xanh là 5 – 10 m. Với giả thiết khoảng cách cây thường là 7 - 8 m/cây, thì trên một km đường phố có thể lắp đặt 250 cấu kiện hố trồng cây trên vỉa hè hai bên đường. Khi sử dụng hố trồng cây kết hợp hố ga thu nước, thể tích lưu giữ nước có thể tăng lên đáng kể. Những hố ga không chỉ được kết nối với tuyến cống thoát nước mà còn góp phần lắng đọng các chất gây ô nhiễm, bùn thải trong dòng chảy nước bề mặt.

5. Kết luận

Hiện tượng ngập úng đường phố xảy ra thường xuyên tại các đô thị nước ta, đòi hỏi phải ứng dụng những giải pháp thoát nước bền vững, chú trọng việc thu, thấm nước tại chỗ, thay vì chỉ dồn nước nhanh vào hệ thống cống. Dựa trên nguyên lý của hệ thống thoát nước bề mặt bền vững (SuDS), nghiên cứu này đã đề xuất áp dụng cấu kiện hố trồng cây thấm lọc thay thế cho phương pháp trồng cây truyền thống. Ba loại cấu kiện bằng bê tông cốt thép đã được thiết kế, đó là: hố trồng cây dạng đơn không đáy, hố trồng cây kết hợp hố ga trên vỉa hè, và hố trồng cây kết hợp hố ga dưới đường. Mỗi loại cấu kiện đã được tính toán khả năng chịu lực, khả năng lưu giữ nước mưa và thời gian tháo cạn với ba mẫu kích thước điển hình để trồng cây thân gỗ trên đường phố.

Trong nghiên cứu này, một cấu kiện hố trồng cây dạng đơn không đáy bằng bê tông cốt thép có các kích thước hình hộp 1200 × 1200 × 900 mm đã được chế tạo để ứng dụng thử nghiệm vào thực tế. Thực tế cho thấy cấu kiện hố trồng cây này vừa là môi trường sống của cây xanh và hoạt động như một bể thấm lọc sinh học cho phép lưu giữ và thấm lọc nước mưa.

Lời cảm ơn

Tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của Bộ Xây dựng cho nghiên cứu này trong khuôn khổ đề tài mã số RD 15-17.

Tài liệu tham khảo

- [1] Điệp, V. H., Uyên, N. T. N., Hoài, Đ. T. T., Phú, N. H., Hương, Đ. T. (2019). Xác định lưu lượng tính toán trong quy hoạch mạng lưới thoát nước mưa đô thị có ảnh hưởng của biến đổi khí hậu. *Tạp chí Khoa học Kiến trúc và Xây dựng*, (35):106–116.
- [2] Hoàng, C. V. (2019). Quy hoạch và quản lý xây dựng cao độ nền và thoát nước mưa hướng tới phát triển đô thị bền vững. *Tạp chí Khoa học Kiến trúc và Xây dựng*, (35):36–40.
- [3] Woods Ballard, B., Wilson, S., Udale-Clarke, H., Illman, S., Scott, T., Ashley, R., Kellagher, R. (2015). *The SuDS Manual*. C753, CIRIA, London.
- [4] Illman, S., Wilson, S. (2017). *Guidance on the construction of SuDS*. C768, CIRIA, London.
- [5] Marritz, L. (2014). *Denver's 16th street mall: custom suspended pavement system turns 32*.
- [6] Cảnh, Đ. (2007). Nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật sinh thái xây dựng hệ thống tiêu thoát nước đô thị bền vững (SuDS), góp phần phòng chống ngập úng, lún sụt và ô nhiễm ở TP. Hồ Chí Minh. Đề tài NCKH cấp Thành phố.
- [7] Vy, N. H. (2012). *Đề xuất các giải pháp thoát nước bền vững cho thành phố Đà Nẵng – Nghiên cứu áp dụng cho lưu vực Thạc Gián, Vĩnh Trung, Đà Nẵng*. Luận văn thạc sỹ, Đại học Đà Nẵng.
- [8] Thắng, P. T. (2014). Đánh giá hiệu quả giảm ngập úng của việc áp dụng các giải pháp thu trữ nước mưa cho Trường Đại học Thủy lợi. *Tạp chí Khoa học Thủy lợi và Môi trường*, (45):63–68.
- [9] Phương, N. V., Nam, T. H., Hải, P. T., Cẩn, K. V., Ngọc, N. T. (2019). *Nghiên cứu giải pháp thiết kế thoát nước mưa trên đường phố theo hướng bền vững*. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD)-ĐHXD*, 13(2V):73–85.
- [10] Minh, P. Q., và cs. (2016-2020). *Nghiên cứu chế tạo, ứng dụng bê tông rỗng thoát nước nhanh và kết cấu rỗng thu chứa nước trong công trình hạ tầng kỹ thuật nhằm giảm thiểu úng ngập khi mưa, điều tiết nước trong đô thị thích ứng với biến đổi khí hậu*. Đề tài KHCN cấp quốc gia, mã số: BĐKH 07/16-20.
- [11] Dong, N. V., Hanh, P. H., Tuan, N. V., Minh, P. Q., Phuong, N. V. (2020). The effect of mineral admixture on the properties of the binder towards using in making pervious concrete. *Lecture Notes in Civil Engineering*, Springer, 367–372.
- [12] ACI 552R-10 (2010). *Report on pervious concrete*. ACI Committee 522.
- [13] QCVN 07:2010/BXD. *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia các công trình hạ tầng kỹ thuật đô thị*.
- [14] Đạo, N. Q., Phương, N. V. (2007). *Một số nội dung quan trọng đề cập trong tiêu chuẩn mới “Tiêu chuẩn kỹ thuật thiết kế đường đô thị - TCXDVN 104-2007”*. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXD*, 1(1):144–149.
- [15] TCVN 7957:2008. *Thoát nước - Mạng lưới và công trình bên ngoài - Tiêu chuẩn thiết kế*.
- [16] TCVN 5574:2018. *Thiết kế kết cấu bê tông và bê tông cốt thép*.
- [17] Ủy ban Nhân dân TP. Hà Nội (2014). *Quyết định về việc Ban hành thiết kế mẫu hệ thống thoát nước đô thị trên địa bàn TP. Hà Nội*. Quyết định số 4340/QĐ-UBND ngày 20/08/2014.
- [18] Sở Giao thông vận tải TP. Hồ Chí Minh (2009). *Quyết định việc ban hành Quy định về thực hiện công tác đầu tư, cải tạo, nâng cấp, chỉnh trang, quản lý vỉa hè và tăng mảng xanh, cây xanh đường phố trên địa bàn TP. Hồ Chí Minh*. Quyết định số 1762/QĐ-SGTVT ngày 18/06/2009.
- [19] TCVN 3118:1993. *Bê tông nặng – Phương pháp xác định cường độ nén*.