



Original Article

Nature-based Solutions for Urban Flooding and Drainage Management in Long Xuyen City

Nguyen Quang Hung^{1,*}, Phan Minh Dat², Luu Van Ninh², Nguyen Thi Lien¹

¹*VNU University of Science, 334 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam*

²*An Giang Provincial Hydrometeorological Center, 01 Nguyen Van Kien, Rach Gia, An Giang, Vietnam*

Received 25th August 2025

Revised 15th October 2025; Accepted 30th October 2025

Abstract: Long Xuyen City, located in the Mekong Delta, is highly vulnerable to urban flooding due to its flat, low-lying terrain, and tidal influences. Recent climate change impacts, including heavy rainfall and sea level rise, have further intensified localized inundation. This study employed an urban hydrological model to simulate flood dynamics and assess adaptation strategies. The model was calibrated and validated using three observed rainfall events from 2021 and 2022, demonstrating reliable performance. Climate change scenarios were developed for mid-century (2046 - 2065) under both high and low emission scenarios to evaluate future risks. Nature-based solutions (NbS) were applied at four severely flooded sites, showing effective mitigation of inundation even under adverse climate conditions. The findings highlight the potential of NbS as a sustainable strategy for enhancing urban flood resilience in deltaic cities facing climate uncertainty.

Keyword: Urban hydrology, Natural-based solution, Long Xuyen, climate change.

* Corresponding author.

E-mail address: nguyenquanghung@gmail.com

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5392>

This research is conducted prior to July 1, 2025; therefore, the former administrative place names are still used.

Giải pháp dựa theo thiên nhiên cho ngập lụt đô thị và thoát nước thành phố Long Xuyên

Nguyen Quang Hung^{1,*}, Phan Minh Dat², Luu Van Ninh², Nguyen Thi Lien

¹*Trường Đại học Khoa học Tự nhiên, Đại học Quốc gia Hà Nội,
334 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam*

²*Đài Khí tượng Thủy văn An Giang, 1 Nguyễn Văn Kiền, Rạch Giá, An Giang, Việt Nam*

Nhận ngày 25 tháng 8 năm 2025

Chỉnh sửa ngày 15 tháng 10 năm 2025; Chấp nhận đăng ngày 30 tháng 10 năm 2025

Tóm tắt: Thành phố Long Xuyên với đặc điểm địa hình bằng phẳng và cao độ thấp so với mực nước sông, có chịu ảnh hưởng của triều nên thường xuyên xảy ra các vấn đề ngập lụt đô thị. Trong thời gian gần đây, biểu hiện của biến đổi khí hậu như mưa lớn, nước biển dâng cũng đã gây ngập lụt cục bộ tại nhiều nơi trong khu vực thành phố Long Xuyên. Nghiên cứu đã áp dụng mô hình thủy văn đô thị để mô phỏng tính toán và đánh giá biện pháp xử lý ngập lụt. Ba trận mưa với các số liệu thực đo trong hai năm 2021 và 2022 được sử dụng để hiệu chỉnh kiểm định mô hình đã khẳng định tính chính xác của mô hình thủy văn đô thị. Bộ bản đồ với các kịch bản Biến đổi khí hậu được thành lập với 2 kịch bản cao và thấp cho giai đoạn giữa thế kỷ 2046 - 2065. Giải pháp thiết kế dựa theo thiên nhiên được triển khai tại 4 điểm ngập nặng đã hoàn toàn giải quyết được vấn đề ngay cả trong tình huống biến đổi khí hậu ở tương lai.

Từ khóa: Thủy văn đô thị, giải pháp dựa theo thiên nhiên, Long Xuyên, biến đổi khí hậu.

1. Giới thiệu chung

Sự phát triển của kinh tế xã hội dẫn đến phát triển mạnh mẽ của cơ sở hạ tầng, thêm vào đó những diễn biến bất thường của thời tiết dẫn đến tình trạng ngập lụt đô thị đang gia tăng và phức tạp hơn rất nhiều. Theo công bố của mình, Rentschler [1] đã thống kê trong thập kỷ vừa qua, khoảng 1,81 tỷ người (khoảng 23% dân số toàn cầu) đã phải trực tiếp chịu ảnh hưởng bởi các trận lũ có tần suất lặp lại 1 trong 100 năm với độ sâu ngập lớn hơn hoặc bằng 0,15 m. Các thành phố lớn ở Đông Á và Nam Á đóng góp hơn một phần ba tổng số người chịu ảnh hưởng bởi ngập lụt toàn cầu. Nguyên nhân ngập lụt của khu vực đô

thị bao gồm ngập do nước chảy tràn trên bề mặt (do thiếu cống hoặc tắc cống), ngập do tắc cống cục bộ gây ùn ứ, ngập do mưa lớn vượt quá khả năng thoát nước của hệ thống và ngập do triều cường dâng nước xâm nhập ngược vào hệ thống thoát nước [2].

Ứng dụng mô hình toán trong quản lý ngập lụt đô thị mang lại nhiều lợi ích thiết thực, cả về dự báo, quy hoạch và ra quyết định. Các mô hình cho phép mô phỏng chi tiết quá trình mưa - dòng chảy và tương tác với hệ thống thoát nước, giúp đánh giá năng lực hệ thống thoát nước, xác định nguyên nhân và vị trí các điểm dễ ngập, làm cơ sở cho quy hoạch và thiết kế hạ tầng [3]. Sử dụng mô hình toán để đánh giá cho phép thiết lập các kịch

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: nguyenquanghung@gmail.com

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.5392>

Bài báo được viết từ nghiên cứu được thực hiện trước ngày 1-7-2025 do đó vẫn sử dụng các tên địa danh theo quy định cũ.

bản khác nhau, bao gồm cả giải pháp công trình (mở rộng cống, hồ điều hòa) và phi công trình (dự báo cảnh báo sớm, giải pháp dựa vào tự nhiên), để phân tích, so sánh và đánh giá hiệu quả.

Tính toán dòng chảy trên bề mặt lưu vực và trong kênh mương ban đầu căn cứ theo những công thức tính toán cơ bản như phương pháp Cường độ giới hạn (Rational method) [4] hay Biểu đồ thủy văn đơn vị (Unit Hydrograph) [5] cùng với các công thức thủy lực cơ bản như Hazen-Williams, Manning's Equation. Trong những năm 40s đến 60s, tiến bộ trong lý thuyết dòng chảy, phương pháp tính toán cho lưu vực và các thủ thuật áp dụng cho khu vực đô thị dần được chuẩn hóa trong giáo trình & báo cáo kỹ thuật, sổ tay hướng dẫn và được áp dụng rộng rãi trong khâu thiết kế tính toán cho các đô thị [6]. Các phần mềm tính toán thủy văn thủy lực sau đó được tập trung đầu tư nghiên cứu và liên tục được đưa ra như HEC-1 (1968), SWMM (1971), HSPF (1970) chạy trên các máy tính lớn (mainframe). Cùng với sự phát triển của máy tính cá nhân, các phần mềm tiếp tục được phát triển mạnh mẽ như HEC-2 (1982), Mike DHI (1982), PCSWMM. Đến cuối những năm 1990s, chủ yếu tính toán vẫn dừng ở giới hạn tính toán thủy lực một chiều (1D), giải quyết bài toán dòng chảy trên bề mặt lưu vực đổ xuống các kênh mương và dòng chảy trong kênh mương. Từ đầu những năm 2000, cách tiếp cận kết nối 1D với 1D đã dần dần trở thành phổ biến [7], ngập lụt trên bề mặt đô thị đã được tính toán và tạm chấp nhận với một độ chính xác nhất định.

Từ những năm 2010s cho tới nay, chất lượng bản đồ cao độ số (DEM) được cải thiện rõ rệt và được truy cập một cách dễ dàng, cũng với công nghệ máy tính đã cho phép các nghiên cứu ứng dụng tính toán thành công thủy lực hai chiều (2D) cho dòng chảy tràn trên bề mặt lưu vực. Việc mô phỏng các quá trình ngập lụt trở nên phổ biến và cho những kết quả chính xác hoàn toàn có thể sử dụng trong thực tế [8]. Các mô hình thủy động lực học sau đó được phát triển theo hướng kết hợp giữa một chiều (1D) và hai chiều (2D), cung cấp sự hiểu biết toàn diện hơn về ngập lụt đô thị.

Ứng dụng vệ tinh viễn thám và các thuật toán giải đoán ảnh mới cho phép cung cấp các số liệu chính xác và cập nhật về bề mặt thảm phủ, mưa dự báo, thay thế các số liệu đo đạc mặt đất tại các khu vực thiếu/không có số liệu quan trắc. Công nghệ IoT truyền dữ liệu đo được từ các cảm biến trên lưu vực đến máy chủ ứng dụng (đám mây điện toán), khắc phục giới hạn về phạm vi của nền tảng không dây trước đây. Công nghệ radar thời tiết cũng đạt những bước tiến bộ, cho phép ước tính lượng mưa tốt hơn với độ phân giải không gian và thời gian cao [9].

Trong bối cảnh các biểu hiện ngày càng gia tăng về biến đổi khí hậu và tác động của quá trình đô thị hóa, các nghiên cứu gần đây tập trung vào việc đánh giá ảnh hưởng của mưa cực đoan, nước biển dâng và sự phát triển đô thị đối với rủi ro ngập lụt. Điều này đã thúc đẩy sự phát triển của các thực hành giải pháp dựa theo thiên nhiên nhằm quản lý hiệu quả dòng chảy nước mưa. Bên cạnh đó, các công cụ trí tuệ nhân tạo (AI) được triển khai trong dự báo lũ và tối ưu hóa vận hành hệ thống. Hiện nay, nghiên cứu tiếp tục hướng tới việc nâng cao hệ thống mô phỏng thời gian thực, cải thiện độ phân giải dữ liệu và phát triển quản lý nước thải đô thị theo hướng dựa vào thiên nhiên, nhằm tăng cường khả năng chống chịu trước các kịch bản ngập lụt trong tương lai.

Trên thế giới, các kỹ thuật xử lý tại chỗ gần đây đã được áp dụng, riêng lẻ hoặc kết hợp, để làm chậm dòng chảy, lưu trữ, thấm, thu hoạch, bốc hơi, thoát hơi hoặc tái sử dụng nước mưa tại nguồn và do đó giảm cả lượng dòng chảy đô thị và lưu lượng dòng chảy đỉnh. Các phương pháp xử lý nước mưa tại chỗ được gọi là quản lý nước đô thị tích hợp, phát triển tác động thấp, thoát nước đô thị bền vững,... Các phương pháp với các cách thức gọi khác nhau, nhưng các nguyên tắc lập kế hoạch và thiết kế của chúng lại tương tự nhau, với cùng mục tiêu là giảm dòng chảy bề mặt bằng cách xử lý nước mưa tại nguồn. Các giải pháp dựa vào thiên nhiên ngày càng được áp dụng rộng rãi trong quản lý thoát nước đô thị như một hướng đi bền vững thay thế cho hạ tầng xám truyền thống. Tại Singapore, chương trình Active, Beautiful, Clean Waters (ABC Waters) đã chuyển đổi các kênh bê tông thành sông tự

nhiên, đồng thời xây dựng các vườn mưa và mái xanh nhằm giảm dòng chảy đỉnh và tăng đa dạng sinh học [10]. Ở Trung Quốc, sáng kiến “Thành phố Bọt biển” (Sponge City) kết hợp các bề mặt thấm, hồ điều hòa và mương sinh học để giữ lại đến 70% lượng mưa đô thị, qua đó tăng khả năng chống ngập và bổ cập nước ngầm [11]. Tại châu Âu, chương trình “Room for the River” của Hà Lan cho phép dòng nước lũ lan tỏa có kiểm soát ở các vùng được quy hoạch, đồng thời phục hồi hệ sinh thái tự nhiên [12]. Tương tự, kế hoạch quản lý mưa cực đoan (Cloudburst Management Plan) của Copenhagen và sáng kiến Green City, Clean Waters của Philadelphia đã kết hợp hạ tầng xanh - xám nhằm giảm tràn nước mưa và hiệu ứng đảo nhiệt đô thị [13, 14]. Tại Việt Nam, chủ yếu mới có một vài dự án, đề tài nghiên cứu đánh giá ở một số thành phố lớn như Hà Nội, Cần Thơ, Hồ Chí Minh, xây dựng hướng dẫn quy hoạch và thiết kế và có một vài thử nghiệm hết sức giới hạn về quy mô thực tế.

Thành phố Long Xuyên (bao gồm phường Long Xuyên, phường Bình Đức, phường Mỹ Thới và xã Mỹ Hòa Hưng sau sát nhập) là thành phố ven sông, có chịu tác động của thủy triều (cách cửa biển khoảng 150 km). Hàng năm vào mùa mưa, đặc biệt từ giai đoạn từ tháng IX đến tháng X có mưa lớn kết hợp đỉnh lũ thượng nguồn và triều cường, hiện tượng ngập lụt cục bộ xuất hiện ở nội đô thành phố Long Xuyên. Ngoài ra, do tác động của biến đổi khí hậu gây ra những trận mưa có cường suất lớn cũng đã gây ngập, lụt cục bộ tại nhiều nơi trong khu vực vào các thời điểm trong năm. Do sự phân bố của các yếu tố gây ngập không giống nhau nên hiện tượng ngập ứng diễn ra không đồng đều trên địa bàn thành phố Long Xuyên. Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu đã ứng dụng mô hình thủy văn thủy lực như một công cụ để mô phỏng lại toàn bộ các vấn đề trong hệ thống thoát nước của thành phố Long Xuyên, thông qua các kết quả giả lập lại các trận mưa trong quá khứ để phân tích xác định nguyên nhân và vị trí các điểm ngập trong thành phố. Căn cứ trên hiện trạng xây dựng của thành phố, các biện pháp dựa vào thiên nhiên đã được thiết kế và áp dụng qua các kịch bản trong các mô hình.

2. Khu vực nghiên cứu và phương pháp tiếp cận

2.1. Khu vực nghiên cứu

Thành phố Long Xuyên (bao gồm phường Long Xuyên, phường Bình Đức, phường Mỹ Thới và xã Mỹ Hòa Hưng sau sát nhập) nằm ở khu vực phía bắc của Đồng bằng sông Cửu Long, bên bờ phải sông Hậu, cách biên giới với Campuchia 60 km. Khu vực này thuộc tỉnh An Giang, nằm ở đầu nguồn sông Cửu Long, được xếp hạng đô thị loại I (2020) và là thành phố lớn thứ hai trong vùng sau Cần Thơ (trước sát nhập). Ranh giới khu vực nghiên cứu được giới hạn như sau: Phía Bắc giáp xã An Châu (huyện Châu Thành cũ); Phía Nam giáp thành phố Cần Thơ; Phía Đông giáp sông Hậu và xã Chợ Mới (huyện Chợ Mới cũ); Phía Tây giáp xã Phú Hòa (huyện Thoại Sơn cũ) [15] (Hình 1).

Địa hình khu vực nghiên cứu tương đối bằng phẳng nhưng cao độ mặt đất tương đối thấp: cao độ mặt đất trung bình từ 1-2,5 m. Khu vực có cao độ mặt đất từ 2-3 m là khu vực nội đô gồm 2 phường Mỹ Long, Mỹ Bình (cũ) và ven trục quốc lộ 91. Khu vực có cao độ mặt đất từ 1,5-2,5 m phần lớn là ven các sông rạch chính như sông Hậu, rạch Long Xuyên và ven các trục lộ [16]. Địa hình khu vực khá thấp và tương đối bằng phẳng nằm bên phía hữu ngạn sông Hậu, cấp có độ cao từ 3,00 m trở lên nằm ở ven Sông Hậu và thấp dần vào trong nội đồng và cấp có độ cao dưới 1,50 m.

Toàn bộ khu vực nghiên cứu có dân số vào khoảng 510 nghìn người, với mật độ xấp xỉ 2.480 người/km², là thành phố có tỷ lệ đô thị hóa rất cao: khoảng 84 - 88% dân số thành thị (so với dân số nông thôn) trong tổng dân số thành phố. Nhà cửa trong khu vực nghiên cứu khá đa dạng, khu đô thị trung tâm có mật độ xây dựng cao, đường phố chật hơn, hệ thống hạ tầng xây từ lâu nên có phần xuống cấp hoặc chưa đồng bộ (đường thoát nước, cống). Cảnh quan có sự kết hợp giữa nhà cửa – đô thị hóa, cùng với hệ thống sông, kênh rạch, mặt nước, hệ sinh thái nông nghiệp bao quanh.

Chế độ mưa tại đây ảnh hưởng theo 2 mùa gió, sự biến động của mưa tương đối phức tạp

nhưng mức độ biến động không lớn. Lượng mưa chủ yếu tập trung vào mùa mưa từ tháng V đến XI chiếm 90% lượng mưa cả năm. Lượng mưa trung bình cả năm từ 1.200 - 1.700 mm, trong đó mùa mưa chiếm từ 1.050 - 1.550 mm và tập trung nhiều nhất vào tháng X với lượng mưa bình quân là 281,6 mm. Lượng mưa hằng năm ghi được không lớn với cường độ mưa trung bình một ngày là 3,4 mm, tuy nhiên lượng mưa ngày lớn nhất lại lớn [15].

Chế độ thủy văn khu vực mang đặc điểm chung của hệ thống sông Tiền - sông Hậu, chịu ảnh hưởng mạnh của thủy triều biển Đông, trong thời kỳ mùa lũ còn chịu ảnh hưởng bởi lũ thượng

nguồn sông Mekong và tổng hợp của quá trình triều-lũ-mưa lớn làm cho mực nước dâng cao gây ngập lụt, úng. Sông Hậu và kênh Rạch Giá-Long Xuyên ảnh hưởng trực tiếp đến chế độ thoát nước của thành phố. Ngoài ra còn có hệ thống các kênh, rạch như Long Xuyên, Bà Bầu, Cái Sơn, Tầm Bót, Gòi Lớn, Gòi Bé, Trà Ôn,... Hệ thống sông kênh nhiều đã phân nhỏ lưu vực thoát nước của thành phố [10]. Vào mùa khô, khi mực nước sông kênh thấp, hệ thống thoát nước không bị ứ đọng nhưng vào mùa mưa, nước lũ và triều tràn vào cống khiến hệ thống cống thoát nước mưa tại thành phố đều trong tình trạng chảy ngập.



Hình 1. Bản đồ hành chính thành phố Long Xuyên.

2.2. Phương pháp tiếp cận và các bước triển khai

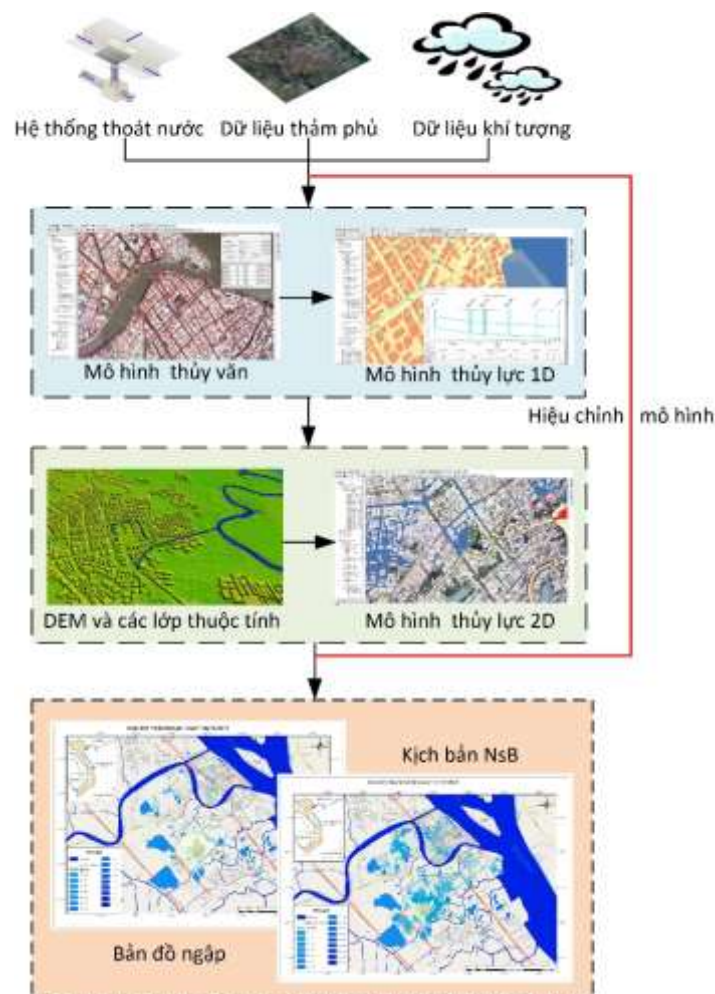
Để giải bài toán ngập lụt đô thị, nghiên cứu dựa trên tiếp cận mô hình hóa, mô phỏng các quá trình thủy văn, thủy lực xảy ra trên lưu vực thông qua các công thức toán học. Kết hợp với các số liệu đo thực tế, mô hình sau khi được hiệu chỉnh và kiểm định sẽ cung cấp các thông tin với một độ chính xác nhất định về dòng chảy trong hệ

thống thoát nước và trên bề mặt lưu vực đô thị. Các bước mô phỏng bao gồm quá trình thủy văn (mưa - dòng chảy), quá trình thủy lực một chiều trong kênh mương hở và trong cống có áp hoặc/và không có áp và cuối cùng là quá trình dòng chảy ngập hai chiều trên bề mặt lưu vực (Hình 2).

Mô hình thủy văn sẽ xử lý mô phỏng các quá trình hình thành dòng chảy bề mặt từ mưa, có xét

đến các quá trình diễn trũng, thấm, bốc hơi, dòng chảy bề mặt, dòng chảy sát mặt, dòng chảy cơ sở,... thông qua các phương trình thủy văn. Các thông số được xem xét trong mô hình thủy văn bao gồm: các thông số bề mặt lưu vực như phần trăm diện tích không thấm, tính chất thấm phủ, diện tích lưu vực, độ dốc,... Mô hình thủy lực là mô hình giải quyết bài toán dòng chảy một chiều, sử dụng phương trình Saint-Venant để mô phỏng các quá trình dòng chảy trong mạng lưới đường ống thoát nước, bao gồm cả các thiết bị phức tạp như bơm, đập tràn, van 1 chiều,... Việc tính toán

dòng chảy 2 chiều trong bước mô phỏng thứ 2 dựa trên hệ phương trình Saint-Venant nước nông trong không gian 2 chiều. Mô hình sau quá trình kiểm định và hiệu chỉnh với các tham số được đánh giá ở mức tốt sẽ được ứng dụng trong thực tế và cho các sản phẩm như bộ bản đồ ngập lụt, các bản đồ ngập cho các kịch bản mưa và thiết kế hệ thống khác nhau. Bất cứ thay đổi nào hiện trạng thành phố đều có thể cập nhật vào trong mô hình và các số liệu thực đo sẽ được thu thập để hiệu chỉnh kiểm định lại mô hình.



Hình 2. Các bước triển khai tính toán mô phỏng 2 chiều ngập lụt đô thị.

Trong nghiên cứu này, phương pháp tiếp cận mô hình 1 chiều kết nối với mô hình 2 chiều được lựa chọn, bộ phần mềm Mike Urban được sử

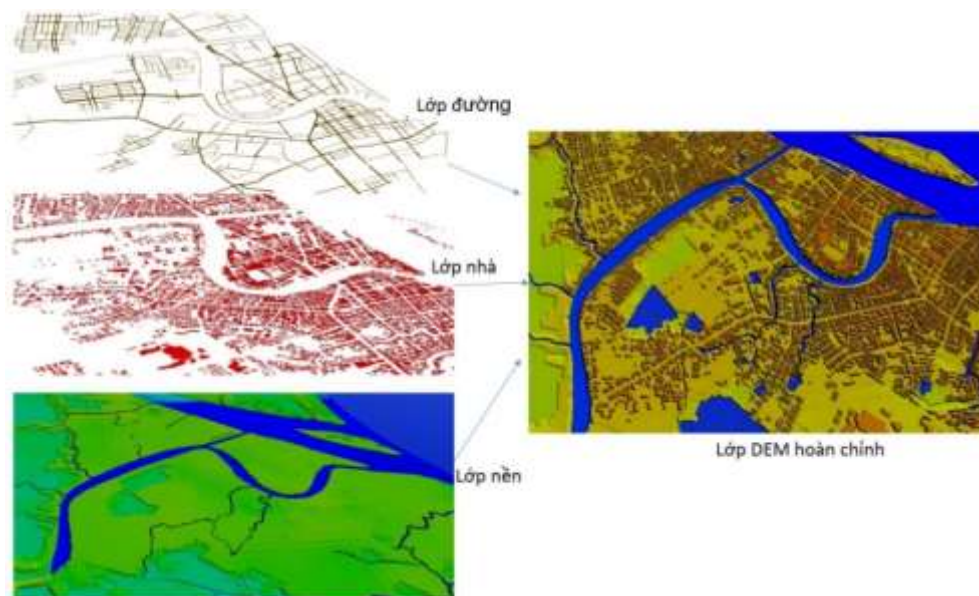
dụng để làm công cụ mô phỏng. Thông tin cơ bản về mô hình Mike Urban có thể tìm thấy dễ dàng trong các tài liệu của DHI [17].

3. Dữ liệu sử dụng và thiết lập mô hình

3.1. Thu thập và xử lý số liệu

Bản đồ cao độ số (DEM) của toàn bộ khu vực nghiên cứu (thành phố Long Xuyên cũ) được xây dựng dựa trên nguồn dữ liệu địa hình đo đạc trực tiếp sử dụng máy GPS RTK thời điểm năm 2022 và 2023. Hơn 2 nghìn điểm đo trực tiếp trong 4 đợt khảo sát cũng với các điểm cao độ trích từ các bản vẽ thu thập từ Sở Xây dựng (cũ) đã được sử dụng để xây dựng DEM. Các điểm đo đạc nằm trên vỉa hè và trong các khu dân cư, do đó, lớp đường phố vốn được coi như một lớp kênh tự nhiên có bề rộng bằng chiều rộng của đường (lấy trung bình 20 m) và chiều cao 20 cm (tính

trung bình chênh cao giữa mặt đường so với vỉa hè). Lớp đường phố (kênh nhân tạo khi tính toán 2D) sẽ được lấy theo shape file trong bản đồ thành phố từ Atlas Việt Nam và hạ thấp so với DEM một khoảng offset 20 cm. Lớp nhà được tạo ra bằng phương pháp số hóa theo bản đồ trên google map, thể hiện đầy đủ các đơn vị hạ tầng (nhà cửa, công trình) dưới dạng các khối với cao trình từ 4 m đến 20 m. Các lớp sau đó được xử lý trong GIS chồng lớp cũng với lớp thủy hệ, tạo ra bản đồ DEM khu vực nghiên cứu với độ phân giải 5x5 m như trong Hình 3, với mục tiêu là lưới tính toán đủ nhỏ chi tiết để mô phỏng và không quá dày gây ảnh hưởng tới tốc độ tính toán của mô hình.



Hình 3. Phương pháp xử lý DEM và kết quả bản đồ DEM 5x5m của thành phố Long Xuyên.

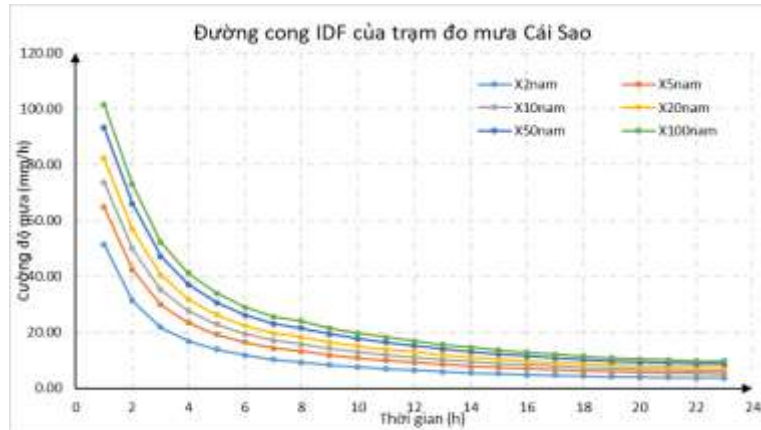
Số liệu mưa được thu thập từ trạm đo mưa Cái Sao, gồm dữ liệu mưa giờ các năm 2012 đến 2022. Sử dụng phương pháp của số trượt để xác định chuỗi mưa 1 giờ, 3 giờ, 5 giờ và 7 giờ cho từng năm, qua đó tiếp tục xác định giá trị cực đại của chuỗi 1 giờ, 3 giờ, 5 giờ và 7 giờ. Sau khi có được chuỗi giá trị lớn nhất năm (annual maxima series - AMS), ứng dụng luật phân phối GEV (Generalized Extreme Value) và ước lượng tham số theo phương pháp L-moments. Với từng chu kỳ lặp lại, ta tính phân vị theo đường phân phối

GEV đã vẽ được. Sử dụng các hàm “fit” ta xây dựng được đường cong IDF của trạm Cái Sao thể hiện như Hình 4.

Hệ thống thoát nước được thiết lập dựa trên các bản vẽ do Sở Xây dựng (cũ) tỉnh An Giang cung cấp và số liệu thực đo qua 03 đợt khảo sát. Hệ thống thoát nước được đưa số hóa trong mô hình tạo thành 1106 đoạn cống, trong đó có 6 đoạn cống hộp, còn lại là cống tròn. Tuy nhiên hầu hết là dạng cống nhỏ, kích thước cống hộp chủ yếu là 400 x 600 mm; cống tròn kích thước

chủ yếu D400, D600, D800 và D1000 mm. Hệ thống các hố ga, cửa xả được mô phỏng gồm 1156

hố ga dọc trên các tuyến cống và 38 cửa xả đổ ra các sông, kênh, rạch bao quanh thành phố (Hình 5).



Hình 4. Đường cong Cường độ - Thời đoạn – Tần suất của trạm đo mưa Cái Sao.



Hình 5. Minh họa mô phỏng hệ thống thoát nước thành phố Long Xuyên.



Hình 6. Một số hình ảnh ngập trên đường phố thành phố Long Xuyên (cũ) trong các đợt khảo sát thực tế.

Khu vực nghiên cứu thoát nước bao gồm phường Long Xuyên (gồm các phường cũ Mỹ Bình, phường Mỹ Hòa, phường Mỹ Xuyên, phường Mỹ Long và phường Mỹ Phước), có tổng diện tích 36,5 ha, chia làm 1102 tiểu lưu vực tính toán. Trong khoảng 5 năm gần đây, nhiều đợt cải tạo nâng cấp đường, xây dựng khu đô thị mới đã làm thay đổi mạnh mẽ cao độ nền trên toàn thành phố. Các trận ngập xảy ra thường xuyên kể cả với các trận mưa thời gian ngắn (Hình 6).

3.2. Thiết lập mô hình

Hệ thống được thiết lập với các dữ liệu cơ bản gồm nút tính toán (hố ga, hố thăm,...), kênh kết nối (kênh mương, công ngầm), các công trình đơn vị (bơm, cửa phai, đập tràn, van một chiều), các biên mưa, biên mực nước và cuối cùng là bộ thông số ban đầu thể hiện tính chất vật lý của bề mặt thấm phủ và hệ thống thoát nước. Mô hình sử dụng số liệu mưa giờ tại trạm thủy văn Long Xuyên, biên mực nước tại các cửa xả được tính toán nội suy từ số liệu đo trực tiếp tại hai trạm đo Cái Sao và Long Xuyên.

Thời điểm nghiên cứu, thành phố Long Xuyên cũ được xếp theo tiêu chuẩn đô thị loại I, theo tiêu chuẩn TCVN 7595-2008 ta xác định được chu kỳ lặp lại đối với hệ thống thoát nước cho các công chính trong thành phố là 5 năm. Đồng thời, phân tích dữ liệu thu thập được trong quá khứ kết quả cho thấy khu vực thường xuyên bị ngập do những trận mưa có cường độ lớn trong 1 giờ. Vì vậy trận mưa thiết kế tiêu biểu cho

khu vực được lựa chọn là trận mưa 1 giờ với chu kỳ lặp lại 5 năm. Tra số liệu của đường cong IDF và lựa chọn trong số liệu thu thập, nhóm nghiên cứu xác định được trận mưa điển hình (có tổng lượng mưa xấp xỉ với tổng lượng mưa thiết kế 68 mm) ngày 17/10/2016 đáp ứng đủ các yêu cầu trên.

Các mô hình được trình bày trong nghiên cứu này được xếp theo 8 kịch bản như trình bày trong Bảng 1. Kịch bản 1 đến 3 sử dụng ba trận mưa thực đo năm 2021 và 2022 làm đầu vào với mục tiêu hiệu chỉnh kiểm định mô hình. Các trận mưa này được lựa chọn vì có các số liệu đo đặc ngập lụt thực tế tại hơn 20 điểm trên gần 10 điểm ngập điển hình. Kịch bản 4, 5 mô phỏng tác động của Biến đổi khí hậu cho giai đoạn giữa thế kỷ khi có thực hiện các chính sách phát thải vừa phải và ổn định (RCP4.5) và khi không thực hiện chính sách giảm phát thải nào (RCP8.5). Các số liệu biên mưa và mực nước biên được thu phóng từ dữ liệu nền trận mưa thiết kế 2016 với các mức thay đổi (%) theo kịch bản BĐKH được công bố cho tỉnh An Giang (http://csdl.dcc.gov.vn/page_kichban/reg-60/an-giang.html) truy cập ngày 14/8/2025.

Kịch bản 6 mô phỏng tính toán hiệu quả các giải pháp thuận tự nhiên ứng phó với tình trạng ngập lụt của khu vực nghiên cứu, với trận mưa cơ sở là trận mưa ngày 21/10/2021. Đây là trận mưa lớn có cường độ mưa giờ lớn nhất gần 50 mm, gây ngập trên diện rộng toàn thành phố. Các giải pháp thuận tự nhiên này tiếp tục được tính toán mô phỏng trong kịch bản 7 và 8 để kiểm tra tính bền vững của giải pháp, khả năng ứng phó với ngập lụt dưới tác động khác nhau của biến đổi khí hậu.

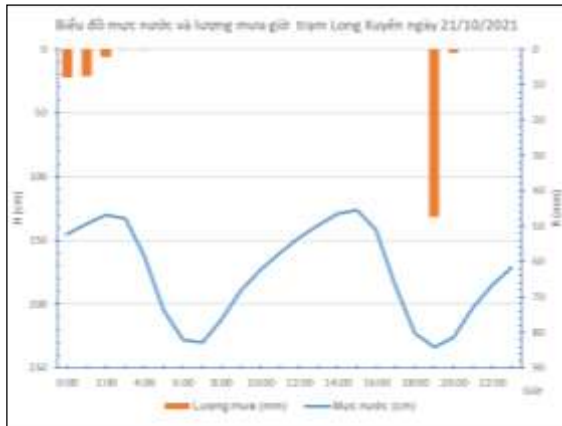
Bảng 1. Số liệu các trận mưa đưa vào các kịch bản tính toán

Tên kịch bản	Số liệu thời gian mưa	Tổng lượng mưa (mm)	Mưa giờ max (mm/h)
KB1 - Hiệu chỉnh mô hình	21/10/2021	66,6	47,4
KB2 - Kiểm định mô hình	28/9/2022	94,8	24,8
KB3 - Kiểm định mô hình	6/11/2021	23,8	22
KB4 – BĐKH RCP4.5 giữa thế kỷ	Thu phóng từ số liệu nền 2016	49,9	37,7
KB5 – BĐKH RCP8.5 giữa thế kỷ	Thu phóng từ số liệu nền 2016	57,4	43,3
KB6 – NbS hiện trạng	21/10/2021	66,6	47,4
KB7 – NbS RCP4.5	Thu phóng từ số liệu nền 2016	49,9	37,7
KB8 – NbS RCP8.5	Thu phóng từ số liệu nền 2016	57,4	43,3

4. Kết quả và thảo luận

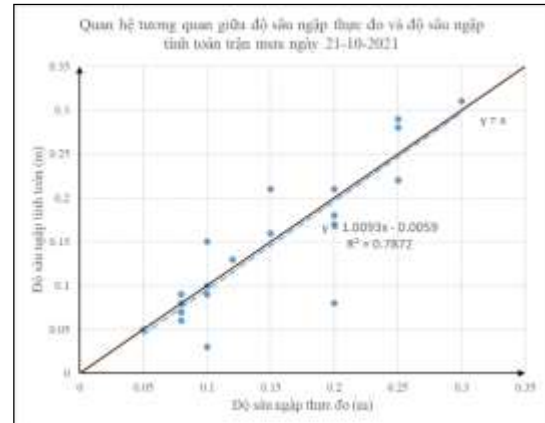
4.1. Hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Với kịch bản 1, trận mưa ngày 21 tháng 10 năm 2021 (Hình 7) được sử dụng để hiệu chỉnh mô hình với thời gian mưa kéo dài hơn 20 tiếng

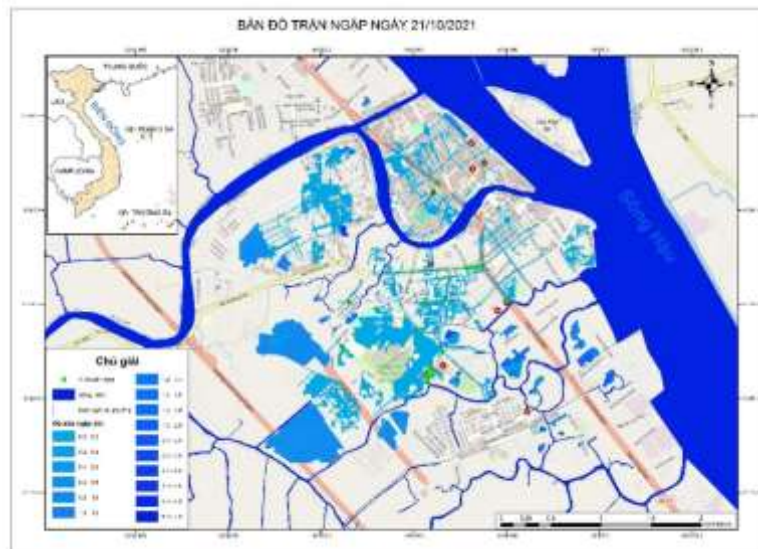


Hình 7. Lượng mưa và mực nước trạm Long Xuyên ngày 21/10/2021.

tổng lượng mưa là 66,6 mm, cường độ mưa lớn nhất là 47,4 mm. Tình trạng ngập lụt được ghi nhận tại 22 điểm trong thành phố được sử dụng để so sánh đánh giá với số liệu tính toán. Hình 8 cho thấy tương quan giữa tính toán và thực đo khá khớp, một số điểm có sự chênh lệch dao động khoảng 0,2 m mực nước ngập.



Hình 8. Sơ đồ scatter của giá trị thực đo và giá trị mô phỏng với trận mưa ngày 21/10/2021.



Hình 9. Bản đồ ngập lớn nhất của KB1 – trận mưa ngày 21 tháng 10 năm 2021.

Bản đồ ngập Hình 9 cho thấy khu vực đô thị mới T&T ngập toàn bộ, dọc trục đường Tôn Đức Thắng, Lê Triệu Kiết, Nguyễn Cư Trinh, Thủ Khoa Nghĩa và khu vực VincomPlaza đến sân vận động Yết Kiêu đều ngập lớn. Phía bên kia

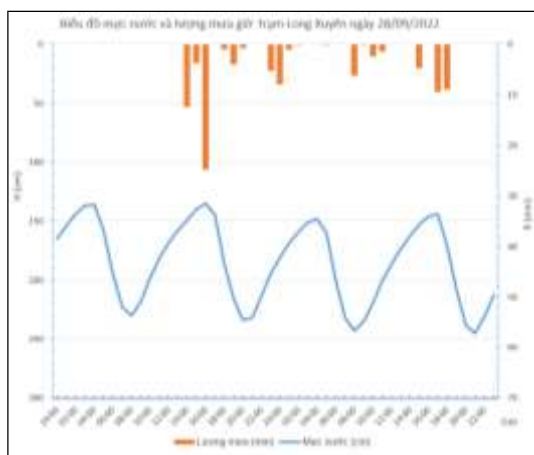
thành phố, khu vực Trường Đại học An Giang và Trường Phổ thông Thực hành Sư phạm đều ngập với diện ngập rất rộng. Các khu vực dọc theo đường tránh Long Xuyên thuộc phường Mỹ Hòa cũ là đất trống và bãi ngập nước, không có hệ

thống thoát nước phục vụ nên đều ngập với bất kỳ trận mưa nào.

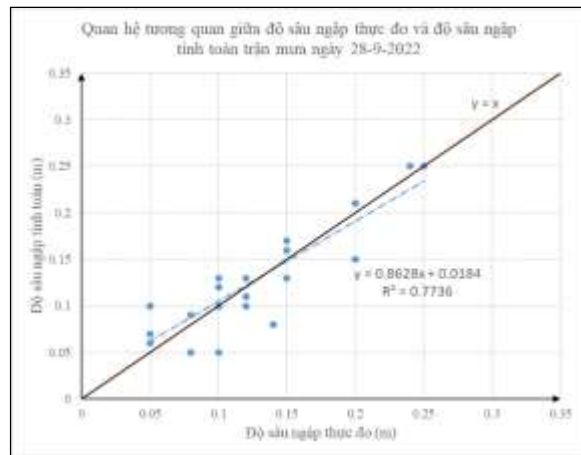
Đối với kịch bản 2, trận mưa ngày 28 tháng 9 năm 2022 được sử dụng làm đầu vào của mô hình, với lượng mưa lớn nhất là 24,8 mm trên tổng lượng mưa 94,8 mm (Hình 10). Có thể thấy mặc dù tổng lượng mưa lớn nhưng kéo dài trong hơn 8 tiếng do đó năng lực thoát nước của hệ thống đã đảm nhận được một phần nào, giảm đi diện ngập khá nhiều so với kịch bản 1. Hệ số tương quan giữa thực đo và tính toán (tại 22 điểm thu thập số liệu ngập) cho thấy khá tốt, đa số kết

quả có tính thiên thấp với độ lệch lớn nhất khoảng 0,01 m (Hình 11).

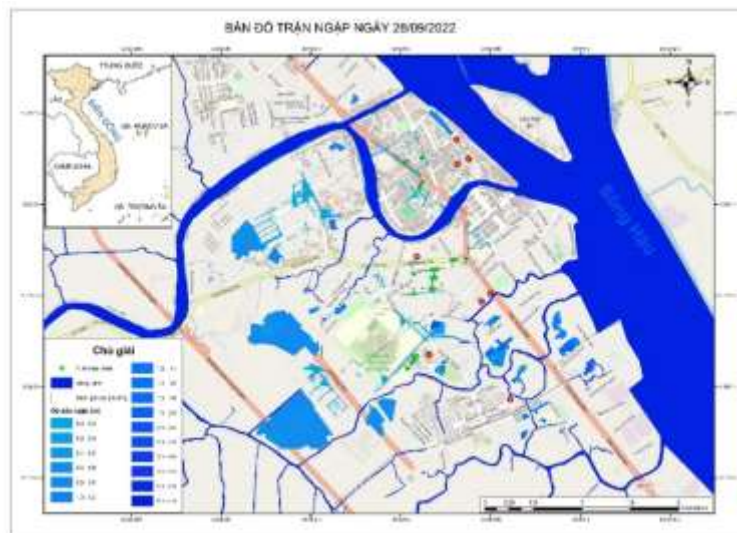
Bản đồ ngập trong Hình 12 cho thấy ở kịch bản này ngập chủ yếu xuất hiện trên trục đường Tôn Đức Thắng, Trần Hưng Đạo và Yết Kiêu ở khu vực phường Long Xuyên (phường Mỹ Bình cũ). Phía bên khu đô thị mới đường Nguyễn Hoàng cũng có xuất hiện ngập chủ yếu do khu vực mới xây dựng nên hệ thống thoát nước chưa hoàn thiện. Khu vực Trường Đại học An Giang chỉ còn xuất hiện ngập tại dọc hai trục đường Nguyễn Văn Linh và Ung Văn Khiêm.



Hình 10. Lượng mưa và mực nước trạm Long Xuyên ngày 28/9/2022.



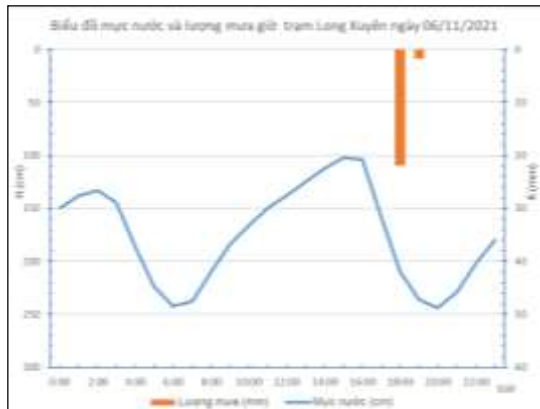
Hình 11. Sơ đồ scatter của giá trị thực đo và giá trị mô phỏng với trận mưa ngày 28/9/2022.



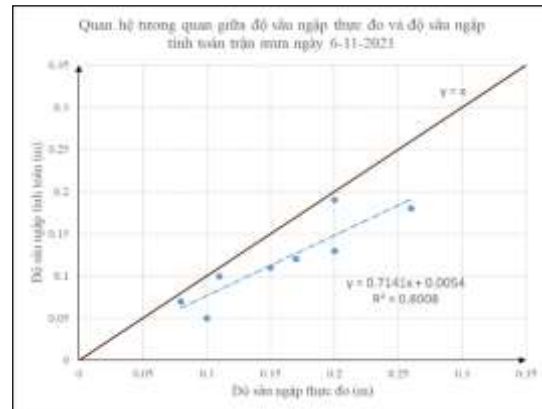
Hình 12. Bản đồ ngập lớn nhất của KB2 - trận mưa ngày 28 tháng 9 năm 2022.

Với kịch bản 3, trận mưa ngày 6 tháng 11 năm 2021 được lựa chọn để kiểm định mô hình, với trận mưa rất ngắn trong vòng hơn 2 tiếng, tổng lượng mưa 23,8 mm và lượng mưa lớn nhất đạt 22 mm (Hình 13). Kết quả đánh giá trên Hình 14 cho thấy với trận mưa ngắn, mức độ phản hồi

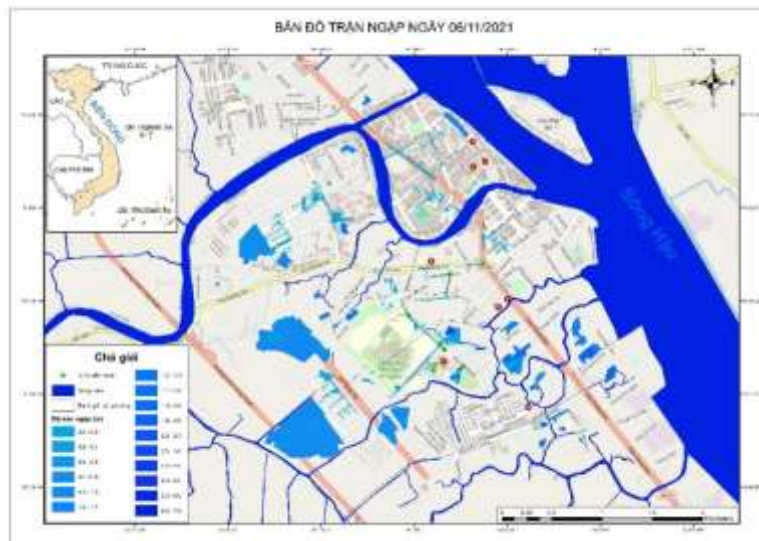
của hệ thống chưa đạt được chính xác như những trận mưa kéo dài, do hệ thống cần có một khoảng thời gian để ổn định mô hình, tuy nhiên các kết quả tại 8 điểm đo cho thấy tính tương quan cũng đạt yêu cầu để mô hình có thể ứng dụng được trong thực tế.



Hình 13. Lượng mưa và mực nước trạm Long Xuyên ngày 6/11/2021.



Hình 14. Sơ đồ scatter của giá trị thực đo và giá trị mô phỏng với trận mưa ngày 6/11/2021.



Hình 15. Bản đồ ngập lớn nhất của KB3 – trận mưa ngày 6/11/2021.

Tương tự như kịch bản 2, trong kịch bản 3 này trận mưa không gây ngập nhiều, chỉ có một số đoạn đường nổi bật luôn bị ngập khi có mưa là xuất hiện trên bản đồ ngập (Hình 15).

Tổng hợp các kết quả qua ba bản đồ này cũng có thể đã xác định được những khu vực thường

xuân xảy ra ngập lụt. Khu vực đất trũng giữa đường tránh Long Xuyên và đường Lê Trọng Tấn thường xuyên xuất hiện nước khi có mưa vì đây là khu vực ruộng tự nhiên, có cốt cao độ thấp. Khu vực trong công viên Trường Đại học An Giang là khu vực xuất hiện ngập khi mưa kéo

dài, vì đây là khu vực tuy còn nhiều mặt đất tự nhiên có thể thấm được nước mưa nhưng do cốt địa hình thấp, hệ thống thoát nước bị ảnh hưởng nhiều khi xung quanh nâng cốt đường và hướng thoát ra Rạch Tâm Bớt bị cản trở. Tương tự là khu vực bao quanh bởi đường Lý Thái Tổ, đường Quốc lộ 91, đường Hà Hoàng Hồ và đường Ung Văn Khiêm cũng bị ngập nhanh do hệ thống thoát nước xuống cấp, cốt cao độ thấp, các cửa xả ra sông dọc theo đường Bùi Văn Danh đều thường xuyên nằm thấp hơn mực nước sông.

Phường Long Xuyên (cụ thể là phường Mỹ Bình cũ) có khu vực công viên Nguyễn Du, nằm ngay cạnh sông Hậu và có hồ Nguyễn Du tuy nhiên các cửa xả cũng phần nhiều nằm ngập dưới mực nước sông, hồ Nguyễn Du không được tận dụng như một hồ điều hòa, do đó ngập lụt xảy ra khá thường xuyên khi nước dồn từ phía trong thành phố ra sông nhưng lại bị nghẽn lại tại các cửa xả xuống sông. Ngoài ra, khu vực nằm giữa sân vận động Yết Kiêu và đường Lê Sát, khu vực khu đô thị mới góc đường Lê Văn Nhung, Lê Hồng Phong và Trần Hưng Đạo cũng thường xuyên có ngập do khu vực này hệ thống thoát nước rất hạn chế, không phục vụ được nhu cầu thoát nước các tiểu lưu vực này.

Kết quả kiểm định và hiệu chỉnh mô hình với ba trận mưa thực tế của hai năm 2021 và 2022 được tổng hợp lại trong Bảng 2. Chỉ số tương quan R^2 đạt ở mức tốt (0,7-0,9) cho thấy các biến động mực nước trong mô hình đã được mô phỏng tốt, dữ liệu ngập lụt thực tế được biểu hiện đầy đủ trong các mô phỏng. Chỉ số MAE nằm trong khoảng 0,025-0,04 m cho thấy sai lệch của các mô phỏng trung bình so với các số liệu đo ngập lụt rất nhỏ, thể hiện độ chính xác cao. Kết hợp với chỉ số MAE, để đánh giá sai số đỉnh và điểm nhạy cảm, chỉ số RMSE được tính toán kiểm tra. Kết quả của RMSE cho thấy độ lệch cụ thể tại các điểm đo nhỏ hơn 0,048 m. Mức độ tương quan giữa MAE và RMSE cho thấy mô hình hoạt động tốt với sai số khá nhỏ và phân bố tương đối ổn định. Mô hình đã bắt được chính xác các giá trị ngập lụt tại các điểm ngập lớn cũng như tại các khu vực ngập ít trên toàn thành phố. Các chỉ số đều thể hiện mô hình đạt mức

khá, hoàn toàn có thể đảm bảo tính tin cậy cho các mô phỏng tính toán với các bộ dữ liệu mưa và mực nước khác nhau.

Bảng 2. Chỉ tiêu đánh giá kết quả hiệu chỉnh và kiểm định mô hình

Trận mưa	R^2	RMSE (m)	MAE (m)
21/10/2021	0,787	0,038	0,025
28/9/2022	0,774	0,029	0,024
6/11/2021	0,801	0,048	0,04

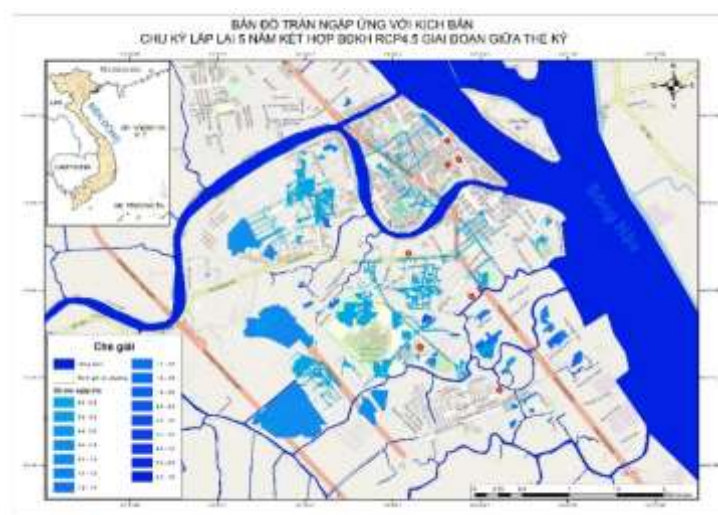
Trong quá trình hiệu chỉnh kiểm định, các tham số của mô hình được hiệu chỉnh bao gồm: Hệ số thấm bề mặt, tỷ lệ diện tích thấm được trên lưu vực, thời gian tập trung nước, tổn thất ban đầu, hệ số triết giảm, hệ số nhám (Manning) của hệ thống thoát nước, hệ số nhám bề mặt lưu vực, tổn thất thủy lực qua kết nối 1D-2D,... Quá trình hiệu chỉnh kiểm định cho thấy tỷ lệ diện tích thấm được và hệ số thấm có ảnh hưởng rất nhạy đối với kết quả hiệu chỉnh. Thời gian tập trung nước cũng đóng góp điều chỉnh mạnh mẽ tới việc xuất hiện đỉnh của dòng chảy, tuy nhiên trong mô hình các lưu vực tính toán thường có diện tích chia nhỏ, thời gian tập trung nước chỉ dao động trong khoảng 5 đến 10 phút do đó tham số này tuy nhạy nhưng mức điều chỉnh có giới hạn và không ảnh hưởng nhiều đến các thay đổi đầu ra.

4.2. Đánh giá mức độ ảnh hưởng của biến đổi khí hậu

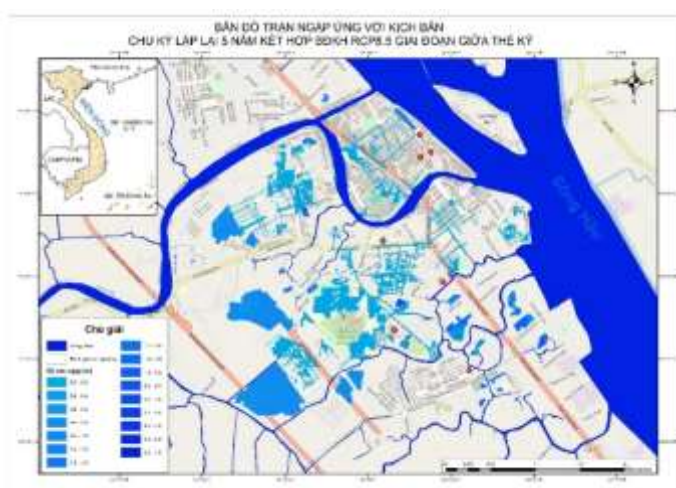
Với bộ mô hình đã được hiệu chỉnh kiểm định, hai kịch bản biến đổi khí hậu lần lượt là RCP4.5 (là kịch bản mô phỏng biến đổi khí hậu giai đoạn 2046 - 2065 theo kịch bản phát thải trung bình, giả định thế giới có các chính sách giảm phát thải, phát triển năng lượng sạch và công nghệ) với RCP8.5 (là kịch bản phát thải cao, đại diện cho tác động khí hậu cực đoan giai đoạn 2046 - 2065) được đưa vào tính toán. Các kết quả cho thấy, trong cả hai trường hợp, khu vực ngập và thời gian ngập cũng như độ sâu ngập tương đồng so với các tính toán nền (Hình 16 và 17). Chi tiết đánh giá phân tích độ sâu ngập và diện ngập được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 3. Biến đổi của lượng mưa (%) so với thời kỳ cơ sở theo các kịch bản biến đổi khí hậu tỉnh An Giang

Lượng mưa	Kịch bản RCP4.5		Kịch bản RCP8.5	
	2046 - 2065	2080 - 2099	2046 - 2065	2080 - 2099
Lượng mưa năm	16,9 (2,3 ÷ 31,2)	15,0 (2,1 ÷ 27,9)	18,3 (5,7 ÷ 31,5)	20,4 (8,2 ÷ 37,4)
Lượng mưa mùa đông	7,8 (-20,7 ÷ 32,6)	52,8 (-22,6 ÷ 95,8)	23,8 (-31,7 ÷ 68,7)	18,9 (-22,2 ÷ 52,2)
Lượng mưa mùa xuân	14,5 (-4,0 ÷ 34,9)	9,7 (-5,0 ÷ 23,1)	14,6 (-3,6 ÷ 36,1)	4,6 (-24,6 ÷ 33,2)
Lượng mưa mùa hè	13,9 (2,7 ÷ 24,9)	11,7 (-1,8 ÷ 22,8)	14,1 (4,8 ÷ 22,7)	14,9 (2,2 ÷ 30,4)
Lượng mưa mùa thu	20,8 (2,3 ÷ 35,7)	16,8 (4,4 ÷ 32,0)	22,4 (7,4 ÷ 35,5)	31,2 (15,8 ÷ 49,5)



Hình 16. Bản đồ mô phỏng mức ngập lớn nhất kịch bản BDKH RCP4.5 thời kỳ giữa thế kỷ.



Hình 17. Bản đồ mô phỏng mức ngập lớn nhất kịch bản BDKH RCP8.5 thời kỳ giữa thế kỷ.

4.3. Giải pháp dựa theo thiên nhiên (NbS)

Dựa trên các phân tích tình hình ngập lụt cho thấy trên khu vực nghiên cứu có một số khu dân cư với mật độ bê tông hóa cao và cao độ thấp so với xung quanh nên bị ngập và một số khu vực là chưa có đường ống thoát nước phụ vụ nên bị ngập. Các khu như khu dân cư giữa sân vận động Yết Kiêu và đường Phạm Văn Xảo, khu kẹp giữa đường Lê Văn Nhung - Trần Hưng đạo và bờ sông, khu đô thị mới nằm ở giữa đường Trần Hưng Đạo - Lê Hồng Phong - Lê Văn Nhung, trục đường Tôn Đức Thắng và Lê Triệu Kiệt thuộc phường Long Xuyên (phường Mỹ Bình cũ) là những khu thường xuyên bị ngập nặng do khả năng thoát nước của hệ thống không tải kịp.

Khu vực Trường Đại học An Giang cũng là một trong những khu vực luôn bị ngập khi có mưa xảy ra với nguyên nhân chủ yếu là hệ thống thoát nước chưa được bao phủ hết khu khuôn viên của trường nên nước đọng lại trên bề mặt không thoát kịp, mất thời gian dài để thấm và bốc hơi sau khi mưa ngừng. Ngoài ra còn một số vùng khác có diện ngập trên bản đồ thể hiện khá lớn tuy nhiên thực địa cho thấy đây là các vùng đất hoang hoặc khu trồng màu của người dân hoặc là bãi ngập nước, do đó việc xử lý ngập lụt sẽ tạm thời không quan tâm đến các khu vực này. Nghiên cứu trình bày ứng dụng các giải pháp chống ngập tại 4 khu vực bị ngập nặng nhất như trên Hình 18.



Hình 18. Các khu vực triển khai các biện pháp dựa vào thiên nhiên để chống ngập.

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả áp dụng nguyên tắc “Làm chậm - Lưu giữ - Thoát nước”, xuất phát trên quan điểm xử lý nước mưa tại chỗ tối đa, giảm tải cho hệ thống thoát nước đặc biệt là trong trường hợp hệ thống đã cũ, quá tải, xuống cấp. Nguyên tắc Làm chậm được thực hiện qua các biện pháp dựa theo tự nhiên để thay đổi bề mặt lưu vực, làm chậm dòng chảy trên bề mặt hay nói cách khác là tăng thời gian tập trung nước của các tiểu lưu vực, hạn chế tình trạng quá tải tức thời tại các điểm nút giao của hệ thống

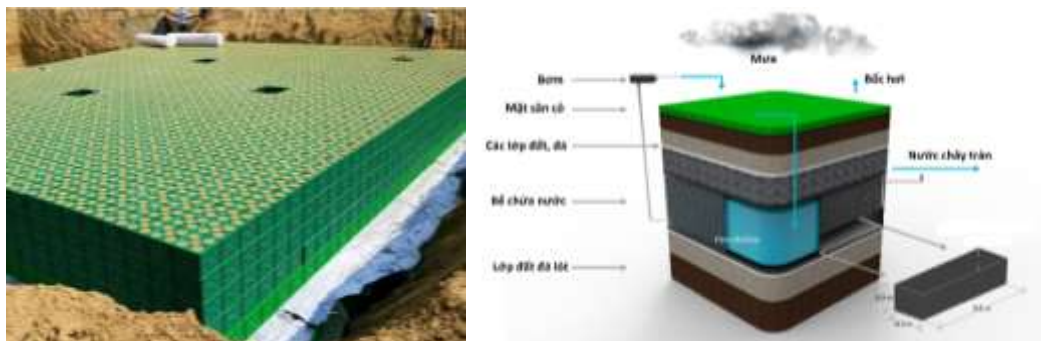
cống thoát. Toàn bộ khu vực Trường Đại học An Giang sẽ được cải tạo lại bề mặt bằng các lớp vật liệu thấm nước (bê tông thoát nước) để nước mưa thấm xuống dưới mặt đất, qua lớp sỏi đệm ở dưới rồi mới tới được các đường ống ngầm thu nước. Ngoài ra các vỉ trồng cây được rải dọc theo các khuôn viên, có tác dụng bảo vệ bộ rễ, tăng khả năng thấm của bề mặt (Hình 19). Việc thay thế nguyên vật liệu xanh làm lượng dòng chảy sinh ra từ mưa trên bề mặt sẽ dao động khoảng 40%.



Hình 19. Bê tông thoát nước và vỉ trồng cây thoát nước [18].

Nguyên tắc “Lưu trữ” được vận dụng vào thiết kế 03 đơn vị trữ nước, tại các vị trí xảy ra ngập lụt thường xuyên: khu vực sân vận động Yết Kiêu, khu vực khu đô thị mới sát cầu Lê Hồng Phong và khu hồ Nguyễn Du. Thay vì tìm giải pháp thoát nước ra ngoài hệ thống, nước sẽ được lưu trữ lại ngay trong chính hệ thống và sẽ được tận dụng tái sử dụng cho các mục đích tưới cây, rửa đường, điều hòa nhiệt,... Cụ thể, khu đô thị mới hiện đang còn trống khoảng đất làm tiểu cảnh nên sẽ tận dụng thiết kế một hồ điều hòa có

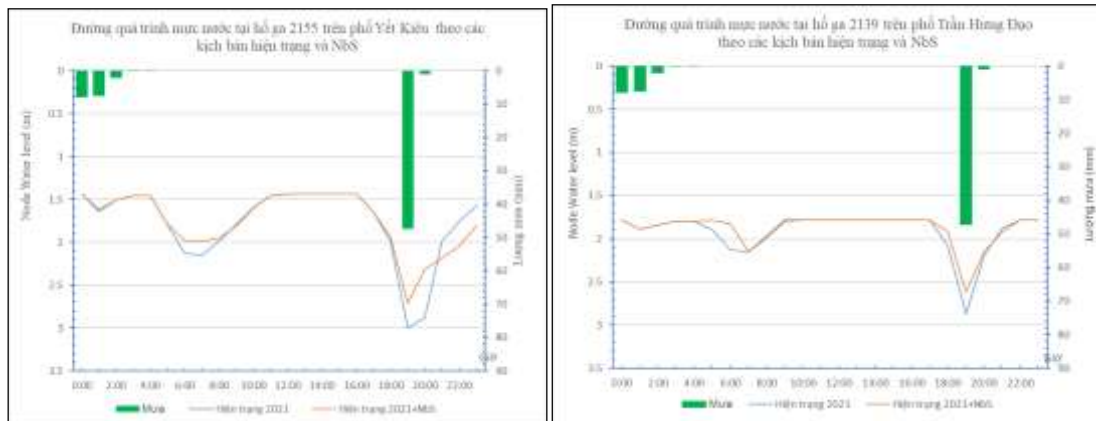
dung tích khoảng 45 nghìn mét khối, khu vực sân vận động Yết Kiêu sẽ xây một bể ngầm dưới mặt cỏ sân vận động với khối tích khoảng 10 nghìn mét khối và hồ Nguyễn Du sẽ thiết kế lại các giếng tách nước sao cho nước thải giữ nguyên không chảy vào hồ như thiết kế hiện tại mà chỉ cho phép nước mưa sau đợt đầu chảy tràn vào hồ để trữ với dung tích trữ khoảng 23 nghìn mét khối. Thiết kế xanh cho bể ngầm tự lọc hay bể dưới sân bóng có thể được tham khảo như trong Hình 20.



Hình 20. Bể chứa ngầm tự lọc và bể chứa ngầm dưới sân sân vận động [18].

Kết quả tính toán ứng dụng giải pháp dựa vào thiên nhiên lần lượt được đưa lên bản đồ trong các Hình 22, 23 và 24. Có thể thấy rõ rằng các khu vực ngập cục bộ đã được giải quyết triệt để. Trên các bản đồ cho thấy rõ khu vực Trường Đại học An Giang, khu vực sân vận động Yết Kiêu và khu vực đô thị mới T&T đều không còn xuất hiện ngập. Tuy nhiên các khu lân cận vẫn còn có các vết ngập nhỏ, đặc biệt trên các tuyến đường thành phố và khu trường Phổ thông Thực hành Sư phạm vẫn còn ngập diện rộng. Điều này có

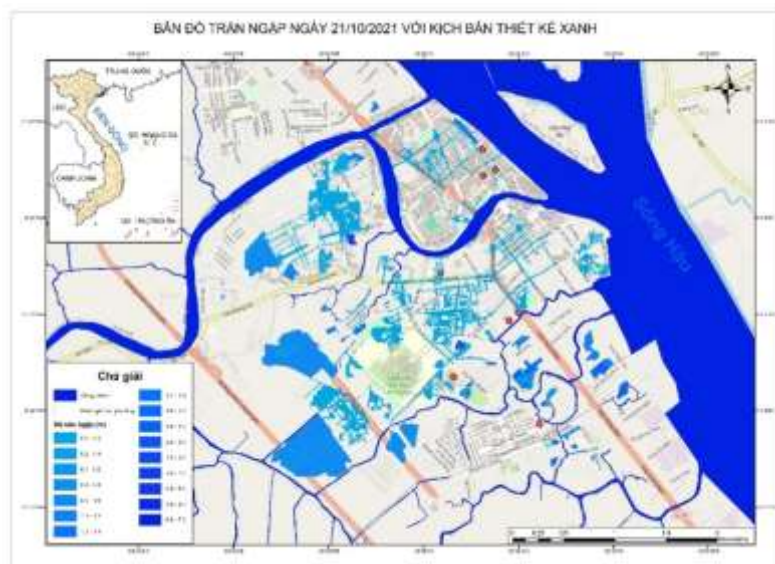
thể lý giải vì hiện trạng đường ống thoát nước nói chung là nhỏ, chưa đảm bảo phục vụ vận chuyển nước kịp thời, do đó các tiêu lưu vực xung quanh có thể không bị ngập nhưng nước ở các khu ngập không được vận chuyển kịp thời sang khu vực khác. Một phần là do vấn đề rác thải gây tắc các miệng hàm ếch thu nước trên các tuyến đường nên nước mưa không chảy kịp vào trong đường cống thu gom mà chảy tràn trực tiếp trên bề mặt đường phố.



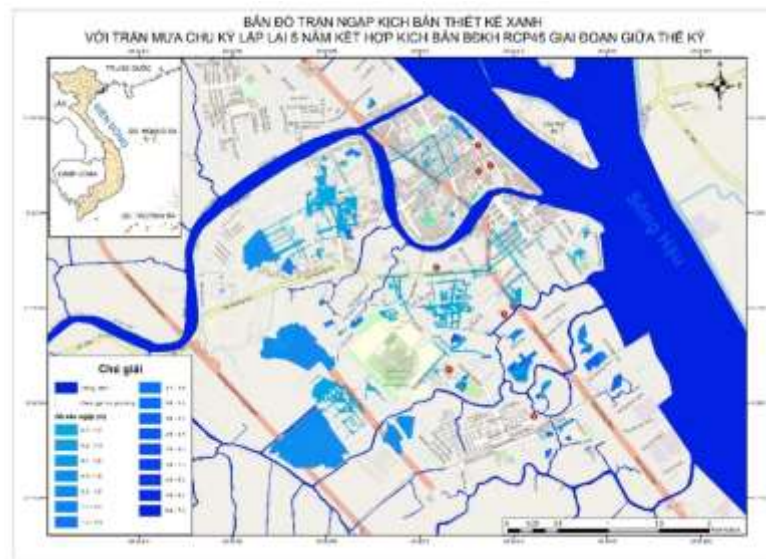
Hình 21. Đường cao trình độ sâu tại khu phố Yết Kiêu (trái) và Trần Hưng Đạo (phải) trong hai kịch bản hiện trạng và áp dụng các biện pháp thuận theo tự nhiên với trận mưa 21/10/2021.

Hình 21 cho thấy rõ, trong hai vị trí ngập lớn của trận mưa ngày 21 tháng 10 năm 2021, khi áp dụng các biện pháp thuận tự nhiên, xây dựng các nút lưu trữ nước (hồ Yết Kiêu và hồ điều hòa khu đô thị mới), mức ngập sẽ được giảm đi khoảng 0,2 m tại đỉnh. Kiểm tra chi tiết ta thấy nút 2157 có cao độ mặt đất là 2,83 m, còn nút 2155 có cao độ là 2,84 m, như vậy trong trường hợp áp dụng các biện pháp ứng phó thì hiện tượng ngập đã không xuất hiện ở hai nút kiểm tra này nữa. Tuy nhiên, có thể thấy khi xuất hiện mưa đột đầu lúc 2 giờ sáng, hệ thống làm việc hoàn toàn ổn định, mực nước trong các cống không tăng lên nhiều

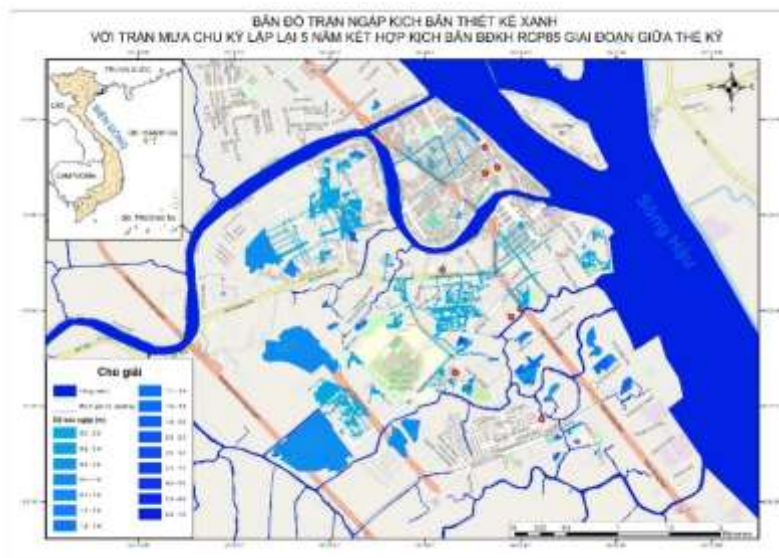
(khoảng 0,2 m), tuy nhiên đến 6h sáng do ảnh hưởng của mực nước sông nên nước trong cống tăng cao và sau đó giữ ở mức ổn định kéo dài cho đến chiều khi đợt mưa lớn xuất hiện lúc 18h. Khi mưa lớn xuất hiện, kết hợp với đúng thời điểm mực nước sông lại dâng lên do ảnh hưởng triều, dẫn đến mực nước trong hệ thống thoát nước dâng cao, các giếng tách nước hoạt động và dẫn nước vào các nút lưu trữ nước cho đến khi đạt dung tích lưu trữ. Hoạt động các nút lưu trữ này rõ ràng đã giải quyết được vấn đề ngập lụt tại các khu vực mà các biện pháp NbS được áp dụng.



Hình 22. Bản đồ mô phỏng mức ngập lớn nhất kịch bản 6 - NbS với hiện trạng.



Hình 23. Bản đồ mô phỏng mức ngập lớn nhất kịch bản 7 - NbS với RCP4.5.



Hình 24. Bản đồ mô phỏng mức ngập lớn nhất kịch bản 8 - NbS với RCP8.5.

Bảng 4. So sánh diện tích ngập của các kịch bản KB3, KB8 và KB9 (đơn vị ha)

Kịch bản	Diện tích ngập theo các mức (m)								
	0-0,2	0,2-0,4	0,4-0,6	0,6-0,8	0,8-1	1-1,2	1,2-1,4	1,4-1,6	Tổng
Hiện trạng 2021	129,58	6,65	6,22	33,37	20,37	6,77	1,92	1,89	206,77
KB6	97,27	5,65	6,18	33,36	20,36	6,64	1,9	1,81	173,17
KB4	74,32	4,6	6,71	33,3	19,66	6,7	1,91	2,46	149,66
KB7 NbS	55,41	4,08	6,69	33,29	19,59	6,63	1,91	2,43	130,03
KB5	99,57	4,92	6,54	33,21	20,05	6,75	1,92	2,03	174,99
KB9 Nbs	69,42	4,26	6,48	33,2	20	6,62	1,9	2	143,88

Bảng 4 thể hiện rõ hơn về mặt con số giữa các kịch bản thường và kịch bản có áp dụng biện pháp dựa theo tự nhiên theo từng cấp. Tác dụng của các biện pháp được thể hiện rõ rệt với các khu vực ngập nhỏ dưới 0,4 m.

5. Kết luận

Từ kết quả mô phỏng 3 trận ngập dùng để hiệu chỉnh và kiểm định mô hình cho kết quả tương đối tốt về trị số. Sai số giữa giá trị tính toán và thực đo ΔH nhỏ hơn 0,2 m, trong giá trị sai số cho phép. Kết hợp các quan trắc ngập lụt và kết quả của mô hình cho thấy thành phố Long Xuyên thường xảy ra các trận ngập khi xuất hiện mưa kết hợp với thời điểm triều cường dâng cao. Toàn khu vực nghiên cứu có khoảng 30 điểm ngập thường xuyên trên các tuyến phố rải rác trên tất cả các phường cũ gồm Mỹ Bình, Mỹ Phước, Mỹ Long, Mỹ Thới và Mỹ Xuyên. Nguyên nhân gây ngập bao gồm: cốt cao độ nền của thành phố thay đổi theo chiều hướng bất lợi cho thoát nước khi một số đường mới cũng như các khu mới xây được nâng cao gây tình trạng úng nước cục bộ; hệ thống cống đã cũ, có kích thước nhỏ không đủ phục vụ lưu vực tính toán; nước sông dưới ảnh hưởng của triều thường xuyên ngập trên các cửa xả và các cửa xả hầu hết không có van một chiều hoặc đã hỏng. Thời gian xuất hiện ngập có xu thế bắt đầu sau thời điểm xuất hiện mưa từ 30 phút đến 60 phút và kéo dài trung bình từ 2-3 giờ sau khi hết mưa. Mức độ và thời gian ngập, ứng phụ thuộc vào cường độ mưa và mực nước tại các vị trí cửa xả, ngoài ra còn ảnh hưởng bởi các yếu tố mật độ và dân sinh.

Hệ thống thoát nước của phường Long Xuyên (thành phố Long Xuyên cũ) có một yếu điểm cần khắc phục là có tới 38 cửa xả đổ ra sông bao xung quanh, tuy nhiên chỉ còn 2 cửa xả là có van một chiều. Mực nước sông dao động khá cao, ít xuất hiện trường hợp tràn bờ vào thành phố tuy nhiên thường xuyên ngập sâu các cửa xả, dẫn đến việc khó khăn trong thoát nước từ thành phố ra sông. Theo quan điểm trong nghiên cứu của Quy hoạch thoát nước thành phố Long Xuyên đến năm 2035, tầm nhìn đến năm 2050 [16], hai biện pháp chính được đưa ra là chủ

trương tôn nền các công trình mới cho đến nền quy hoạch xây dựng chung (+3,10 m) và xây dựng tường chắn, van một chiều cho cửa xả và các trạm bơm cưỡng bức ra sông để thoát nước khi mưa lớn và mực nước sông dâng cao. Tuy nhiên, cũng trong quy hoạch đánh giá việc tôn nền toàn bộ rất tốn kém nên sẽ thiết kế các cống thoát nước sử dụng loại cống hộp bề mặt kết hợp với cửa thu để nâng cao cao trình cửa xả, cải thiện điều kiện thủy lực dòng chảy khi mưa lớn xuất hiện đồng thời với triều cường. Trên thực tế cho thấy, việc triển khai nâng cốt của thành phố rất khó khăn do tốn kém và chỉ có thể triển khai khi xây mới các công trình và có các dự án tôn cao cốt nền đường. Trong khi hầu hết các khu vực khác không được nâng cao cốt, việc tôn cao nền đường trong vài năm vừa qua đã dẫn đến việc ngập úng cục bộ tại rất nhiều nơi do hướng thoát nước mặt bị chặn. Chính vì thế, việc nghiên cứu triển khai áp dụng các biện pháp thoát nước tại chỗ với phương châm “Làm chậm - Lưu trữ - Thoát nước” sẽ đem lại hiệu quả và có tính bền vững.

Mô hình toán thủy văn thủy lực đã chứng tỏ năng lực của một công cụ rất tích cực trong việc giải quyết bài toán ngập lụt đô thị, nghiên cứu đã xây dựng được mô hình thoát nước thành phố Long Xuyên cũ nay là phường Long Xuyên có khả năng mô phỏng tính toán hiện trạng và các kịch bản. Để phục vụ công tác dự báo cũng như quy hoạch phát triển thành phố, bộ bản đồ ngập lụt với các kịch bản khác nhau đã được thiết lập. Phát huy hơn nữa các thế mạnh của mô hình thì cần gắn liền mô hình với các dữ liệu thời gian thực để có thể xây dựng dự báo, cảnh báo từ 6 tiếng đến 1 ngày với độ chính xác cao. Có thể thấy mô hình với hơn 1 nghìn tiểu lưu vực tính toán thể hiện độ phức tạp lớn, do đó việc hiệu chỉnh kiểm định mô hình vẫn cần thiết phải tiến hành liên tục với các số liệu đo đạc trên toàn bộ lưu vực.

Việc ứng dụng giải pháp dựa vào thiên nhiên cho thấy hoàn toàn có thể giải quyết được các vấn đề kỹ thuật thoát nước và phòng chống ngập úng. Để có sức thuyết phục, cần có các phân tích cụ thể về chi phí và môi trường để đưa ra lựa chọn chính xác các giải pháp được ưu tiên đầu tư, ví dụ lựa chọn giữa cách thoát nước ra khỏi

thành phố càng nhanh càng tốt hay lưu trữ trong một thời gian nhất định để sau đó có thể tái sử dụng.

Tài liệu tham khảo

- [1] J. Rentschler, M. Salhab, B. A. Jafino, 2022, Flood Exposure and Poverty in 188 countries, *Nat Commun*, Vol. 13, pp. 3527, <https://doi.org/10.1038/s41467-022-30727-4>.
- [2] N. Q. Hung, N. P. Tho, Application of Two-Dimensional Hydraulic Modelling for Urban Flooding Simulation in Coastal Cities - A Case Study in Ninh Kieu District, Can Tho City, *Journal of Meteorology and Hydrology - The 2nd Conference on Earth - Mine - Environment*, ISSN 2525-2208, 2019, pp. 55-163 (in Vietnamese).
- [3] N. Q. Hung, W. Sutat, W. Uruya, C. Chavalit, M. Ole, C. L. Lars, A Real-Time Hydrological Information System for Cities, *Water Encyclopedia*, ISBN: 9780471441649, 2005.
- [4] T. G. Cleveland, D. B. Thompson, X. Fang, W. H. Asquith, 2011, Use of Rational and Modified Rational Method for Hydraulic Design (Report No, FHWA/TX-08/0-6070-1), Texas Department of Transportation; Center for Transportation Research, University of Texas at Austin, https://library.ctr.utexas.edu/hostedpdfs/TechMR/T_0-6070-1.pdf (accessed on: August 14th, 2025).
- [5] L. K. Sherman, Stream Flow from Rainfall by the Unit Graph Method, *Engineering News-Record*, No. 108, 1932, pp. 501-505.
- [6] S. Elga, B. Jan, B. Okke, Hydrological Modelling of Urbanized Catchments: A Review and Future Directions, *Journal of Hydrology*, Vol. 529, Part 1, 2015, pp. 62-81, <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2015.06.028>.
- [7] M. Ole, W. Sutat, A. Chusit, B. Surajate, D. Slobodan, Potential and Limitations of 1D Modeling of Urban Flooding, *Journal of Hydrology*, Vol. 299, Iss. 3-4, 2004, pp. 284-299.
- [8] K. A. Kamal el al., A. Paquier, E. Mignot, Modelling Flash Flood Propagation in Urban areas Using a Two-Dimensional Depth-Averaged Model, *Natural Hazards*, Vol. 50, Iss. 3, 2008, pp. 433-460.
- [9] S. Thorndahl, T. Einfalt, P. Willems, J. Nielsen, V. Ten, C. Marie, N. Arnbjerg, R. Karsten, R. Michael, P. Molnar, Weather Radar Rainfall Data in Urban Hydrology, *Hydrology and Earth System Sciences*, Vol. 21, 2017, pp. 1359-1380, <https://doi.org/10.5194/hess-21-1359-2017>.
- [10] PUB Singapore, 2018, Active, Beautiful, Clean Waters Programme: Annual Report.
- [11] L. Hui, D. Liuqian, R. Minglei, L. Changzhi, W. Hong, Sponge City Construction in China: A Survey of the Challenges and Opportunities. *Water*, No. 9, 2017, pp. 594, <https://doi.org/10.3990/w9090594>.
- [12] J. Rijke, S. Herk, C. Zevenbergen, R. Ashley, Room for the River: Delivering Integrated River Basin Management in the Netherlands, *International Journal of River Basin Management*, Vol. 10, 2012, pp. 369-382, <https://doi.org/10.1080/15715124.2012.739173>.
- [13] City of Copenhagen, 2014, Copenhagen Cloudburst Management Plan 2012, <https://academiccommons.columbia.edu/doi/10.7916/jbw7-zs51/download> (accessed on: August 14th, 2025).
- [14] Philadelphia Water Department, Green City, Clean Waters: Progress Report, 2016, <https://www.phila.gov/media/20160421133948/green-city-clean-waters.pdf> (accessed on: August 14th, 2025).
- [15] L. V. Ninh, N. M. Giam, Climate Characteristics of An Giang Province, *Journal of Meteorology and Hydrology*, 2017 (in Vietnamese).
- [16] Southern Institute of Water Resources Planning, Drainage Master Plan for Long Xuyen City to 2035, with a Vision to 2050, 2018 (in Vietnamese), <https://www.viup.vn/vn/Quy-hoach-he-thong-phat-trien-xanh-phong-chong-thien-tai-va-thich-ung-voi-BDKH-n176-Long-ghep-cac-giai-phap-thoat-nuoc-mat-ben-vung-Trong-quy-hoach-thoat-nuoc-do-thi-truong-hop-cua-tp-Long-xuyen-tinh-an-giang-d28011.html> (accessed on: August 14th, 2025).
- [17] DHI Manual, https://manuals.mikepoweredbydhi/help/2017/MIKE_Urban.htm (accessed on: August 14th, 2025).
- [18] GIZ, Final Report of the Mekong Delta Urban Drainage and Flood Control Program for Climate Change Adaptation.