

Bài báo khoa học

Ứng dụng mô hình thủy văn đô thị mô phỏng mức độ ngập do gia tăng mực nước triều và khả năng thoát nước cho hệ thống kênh Tân Hóa – Lò Gốm ở thành phố Hồ Chí Minh

Hoàng Thị Tố Nữ¹, Từ Thiều Quyên², Vũ Thị Vân Anh¹, Nguyễn Thị Hồng Thảo³, Cấn Thu Văn^{1*}

¹ Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường TP.HCM; nu.htt@hcmunre.edu.vn; vtvanh@hcmunre.edu.vn; ctvan@hcmunre.edu.vn

² Sở Nông nghiệp và Phát triển nông thôn tỉnh Trà Vinh; quyentuqldd@gmail.com

³ Viện Quy hoạch xây dựng miền nam; hongthaosgtl@gmail.com

*Tác giả liên hệ: ctvan@hcmunre.edu.vn; Tel.: +84-983738347

Ban Biên tập nhận bài: 12/6/2022; Ngày phản biện xong: 22/7/2022; Ngày đăng: 25/8/2022

Tóm tắt: Với vai trò là trung tâm kinh tế, thương mại và du lịch của cả nước, Thành phố Hồ Chí Minh (TP.HCM) đã có tốc độ đô thị hóa nhanh đã kéo theo nhiều hệ lụy về cơ sở hạ tầng, trong đó vấn đề ngập đô thị là nặng nề nhất. Lưu vực Tân Hóa–Lò Gốm nằm ở ranh Tây Nam của nội thành giáp ranh giới với ngoại vị. Kênh chảy từ hướng Đông Bắc đến khu Tây Nam qua 5 quận: Tân Bình (khu Bàu Cát), quận 11, 6, 8, Bình Chánh và kết thúc tại kênh Tàu Hũ. Tổng diện tích lưu vực là 2.498 ha (chiếm 3,8% diện tích của thành phố). Nghiên cứu đã ứng dụng mô hình PC SWMM để mô phỏng ảnh hưởng của việc gia tăng mực nước biên đối với khả năng thoát nước của lưu vực. Kết quả nghiên cứu cho thấy giải pháp hồ điều tiết có hiệu quả cả trong điều kiện biến đổi khí hậu ứng với các kịch bản đưa ra.

Từ khóa: Ngập lụt đô thị TPHCM; Mô hình SWMM; Kênh Tân Hóa–Lò Gốm.

1. Mở đầu

Thành phố Hồ Chí Minh là thành phố lớn nhất của miền nam nước ta, thành phố giữ vai trò là trung tâm kinh tế, thương mại và du lịch trong nước cũng như thế giới. Cùng với sự phát triển kinh tế và sự gia tăng dân số đã thúc đẩy tăng nhanh tốc độ công nghiệp hóa, đô thị hóa. Vì thế gây ra nhiều vấn đề ảnh hưởng đến môi trường đô thị. Một trong những vấn đề cần phải giải quyết là tình trạng ngập nước và thoát nước đô thị. Mặc dù, đã được nhà nước quan tâm đầu tư xây dựng những công trình chống ngập nhưng hiện tại tình trạng ngập vẫn đang chưa được cải thiện đáng kể.

Xét về điều kiện địa hình: Địa hình TPHCM tương đối bằng phẳng, bờ tây của sông Sài Gòn và Nhà Bè được phân thành 4 vùng địa hình. Vùng phía tây có địa hình thấp cao độ từ 0,7–1 m tại huyện Bình Chánh, khu vực ở giữa là vùng đất cao kể cả vùng đất bồi ở Hóc Môn (8–10 m). Gò vấp 10m và khu đô thị hiện hữu (2–8 m) [1–2].

Xét về điều kiện khí tượng: Khí hậu TPHCM bị ảnh hưởng bởi gió mùa nhiệt đới nên có nhiệt độ cao, độ ẩm cao, có mây nhiều. Các mùa tương tự với khí hậu của miền Nam vào mùa hè, chịu ảnh hưởng của gió mùa Tây Nam và vào mùa đông chịu ảnh hưởng của gió mùa Tây Bắc [1–2].

Xét về điều kiện thủy văn: Sông rạch TP bao gồm một mạng lưới gắn kết với nhau rất phức tạp. Mạng lưới kênh rạch khá dày với tổng chiều dài gần 100 km trên toàn TP. Các con

kênh chính là Bến Nghé, Tham Lương, Vàm Thuật, Nhiêu lộc Thị nghè, Tàu Hũ, kênh đôi, kênh Tè và Tân Hóa–Lò Góm. Mạng lưới kênh bị ảnh hưởng rất lớn bởi thủy triều, một số kênh còn bị ảnh hưởng của triều từ nhiều hướng và kết quả là các chất ô nhiễm bị lưu giữ lại trong kênh. Thời gian triều cường từ tháng 9–12, triều thấp từ tháng 4–8 và mực triều trung bình từ tháng 1–3. Trong lưu vực TH–LG có thể thấy ảnh hưởng của triều lên đến cây số 3,57 (đến cầu Tân Hóa). Do không có trạm kiểm soát tại TH–LG, do đó không có số liệu về triều được ghi nhận tại đây. Tuy nhiên để tham khảo, chú ý là đối với sông Sài Gòn có sự khác biệt trung bình là 1,8 m hằng năm giữa triều cao và triều thấp. Trong lưu vực Tân Hóa–Lò Góm cũng có sự khác biệt tương tự [3–4].

Về mực nước cũng ảnh hưởng theo mùa. TPHCM có hai mùa: mùa mưa từ tháng VI đến tháng XII còn lại là mùa khô. Mực nước khác biệt khoảng 75 cm giữa tháng IX và tháng X (tháng mưa nhiều nhất) và tháng III, IV (tháng khô nhất). Vào mùa khô do lượng nước thải chậm, sự nhiễm mặn của sông khá quan trọng. Mọi vấn đề thoát nước của kênh liên quan đến tác động của triều vì năng suất của kênh chỉ còn ở mức 0 trong thời gian triều cường.

Về lượng mưa: Lượng mưa lớn nhất thường diễn ra vào tháng IX và tháng VI, lượng mưa trung bình là 355 mm và 313 mm. Mưa thường chảy như trút nước, tốc độ nhanh, thường kéo dài từ 30' đến 1 giờ. Lượng nước mưa tối đa 179 mm kéo dài trong 24h được ghi nhận vào tháng 9/1942. Lượng mưa trong mùa gió mùa vào tháng đông từ 51 mm vào tháng 4 và tháng 9, 4,7 mm vào tháng 2. Từ tháng 12 đến tháng 4 lượng mưa rất hiếm [3–4].

Về hệ thống cống thoát nước: Mạng lưới trong lưu vực TH–LG rất phức tạp và phân bố thay đổi. Hệ thống được phân thành 4 cấp tùy theo kích cỡ và chức năng. Hệ thống thoát nước của lưu vực dài 157,1 km (cống cấp 2 và 3) đổ vào kênh bằng 25 cửa xả và 5 kênh nhánh. Hệ thống cống hiện hữu của phạm vi nghiên cứu gồm đường ống có đường kính là 0,8m hoặc lớn hơn và một số đường ống nhỏ hơn chưa biết. Chức năng hệ thống cống này là hệ thống cống chung vì nó mang cả nước mưa, và nước thải từ bề tự hoại, nước thải và nước cống thô. Các kỹ sư Pháp đã thiết kế hệ thống này và bắt đầu xây dựng vào đầu năm 1870. Việc xây dựng tiếp tục theo từng giai đoạn vì tốc độ đô thị hóa. Một bề mặt rất lớn của lưu vực không có hệ thống thoát nước riêng [3–4].

Nước ta đang có tốc độ đô thị hóa tăng nhanh gắn liền với nhu cầu phát triển hạ tầng đô thị. Đô thị hóa kéo theo quá trình bê tông hóa đã lấn chiếm sông ngòi, ao hồ, tàn phá thảm thực vật, làm thu hẹp, thay đổi dòng chảy và quá trình lưu giữ tự nhiên của nước. Các công trình kết cấu hạ tầng (đường sá, sân bãi, ...) chiếm dụng bề mặt tự nhiên đã làm giảm năng lực tiêu thoát tự nhiên, làm tăng lưu lượng dòng chảy bề mặt và giảm thấm thấu của nước xuống lòng đất, giảm khả năng bổ sung tại chỗ nguồn nước ngầm cũng như gây đơn điệu cảnh quan, bức xạ nhiệt do bê tông hóa [5]. Thực trạng cho thấy, nhiều đô thị của nước ta có hệ thống thoát nước thường xuyên bị quá tải mặc dù đã được quan tâm đầu tư. Ngập úng cũng thường xuyên xảy ra tại các đô thị trong cả nước, như: TP Hồ Chí Minh, Hà Nội, Đà Nẵng, Hải Phòng thường xuyên xảy ra ngập úng do mưa lớn hoặc các nguyên nhân khác. Các giải pháp thoát nước theo hướng bền vững đã có từ những năm 70 của thế kỷ trước và đang được các nước trên thế giới chú trọng phát triển. Hệ thống SuDS với các giải pháp kỹ thuật sinh thái đã được thử nghiệm thành công ở nhiều nước phát triển: Tokyo là thủ đô đạt nhiều kết quả đáng ghi nhận trong lĩnh vực này; SuDS có mặt trên khắp các thành phố ở Vương quốc Anh và riêng tại Scotland tính tới năm 2002 đã có 1.300 dự án SuDS được thực hiện [5].

Trên thế giới có nhiều nghiên cứu, ứng dụng các mô hình khác nhau để mô phỏng cũng như đề xuất các phương án thoát nước chống ngập như: Hiệu chỉnh mô hình dòng chảy mặt theo thời gian, đánh giá tác động thủy lực. Mô hình đánh giá tác động dài hạn của nhân tố thủy lực, nghiên cứu sự thay đổi trực tiếp của dòng chảy mặt theo thời gian đối với điều kiện sử dụng đất khác nhau. Và những tác động dài hạn của nhân tố thủy văn với lưu vực sông. Sử dụng phương pháp hồi quy tuyến tính để kiểm định việc đánh giá tác động dài hạn của nhân tố thủy lực và dự đoán dòng chảy trực tiếp. Mô hình cũng đã được thử nghiệm ba lần ở

lưu vực sông Little Eagle Creek, Indian. Kết quả đã phát sinh thêm những vấn đề, chúng được kiểm soát qua sản phẩm dòng chảy mặt, và dự đoán một cách có hệ thống dòng chảy mặt trực tiếp bằng việc đánh giá tác động dài hạn của nhân tố thủy lực cũng như so sánh với dữ liệu quan sát ngoài thực tế [6–7]. Mô hình hệ thống thoát nước kép (*Dual Multilevel Urban Drainage Model*), tác giả sử dụng hệ thống thoát nước kép, mạng lưới kênh hở phía trên mặt đường, hệ thống cống kín phía dưới để giảm lưu lượng đỉnh của hệ thống. Đặc biệt trong mô hình này cho thấy được mối quan hệ thủy động lực giữa những dòng chảy ở mạng trên và mạng dưới. Đây là mô hình nghiên cứu mới trong vấn đề thoát nước đô thị, tuy nhiên mô hình vẫn chưa được ứng dụng rộng rãi trong thực tế [8–9].

Ở Việt Nam nói chung và thành phố Hồ Chí Minh nói riêng, các nghiên cứu phục vụ tiêu thoát nước cho đô thị không ngừng phát triển, tuy nhiên, mô hình vẫn chưa được ứng dụng rộng rãi trong thực tế. Ngưỡng mưa khác nhau và sự tham gia của hệ thống công trình đã cho thấy tính hữu hiệu của nó. Đã có các báo cáo, nghiên cứu: Nghiên cứu khả thi và thiết kế sơ bộ dự án thoát nước TP. HCM lưu vực Nhiêu Lộc Thị Nghè. Báo cáo trình bày các dữ liệu thủy văn cho lưu vực Nhiêu Lộc Thị Nghè. Báo cáo đặc biệt hữu ích do sử dụng SWMM trên khu vực đô thị với những đặc điểm tương tự kênh TH–LG. Đồng thời trình bày lại lượng mưa và các phân tích thủy văn khác cũng như chi tiết về phương pháp luận dòng chảy, được sử dụng cho việc áp dụng mô hình SWMM ở TP.HCM [10–11]; Luận chứng kinh tế kỹ thuật tiêu thoát nước và cải tạo ô nhiễm hệ kênh rạch Tân Hoá–Lò Gôm. Trong luận chứng về thoát nước mưa và phân chia khu vực với các cấp địa hình khác nhau, có hướng thoát nước khác nhau nhằm giải quyết nước mưa vùng cao không chảy vào vùng thấp gây ngập. Các vùng cao hệ thống công thoát nước có nhiệm vụ tiêu thoát lượng mưa của các trận mưa lớn nhất trong năm. Mực nước triều trong kênh rạch được chọn vào tháng IX. Các vùng thấp hệ thống thoát nước chịu ảnh hưởng của thủy triều, mực nước ngoài sông mang tính quyết định [12]; Các kết quả tính toán mực nước trên kênh Lò Gôm. Báo cáo trình bày bảng thống kê các mực nước trên kênh Lò Gôm. Tài liệu này cung cấp các giá trị kiểm tra hữu ích cho những mô hình được giới thiệu bởi tư vấn quốc tế Thái Bình Dương và tái tạo lại trong nghiên cứu hiện nay; Sự thay đổi khí hậu, đô thị hóa và tình trạng ngập ở TPHCM. Bài báo các dữ liệu thủy văn ứng với tình hình thay đổi khí hậu. Đây là tài liệu rất cần thiết cho vấn đề nghiên cứu hiện nay. Đưa ra những lý giải về tình trạng ngập úng ở thành phố hiện nay ứng với các số liệu trên. Sử dụng mô hình thủy lực SWMM để mô phỏng dòng chảy trong hệ thống kênh cống, điển hình là lưu vực TH–LG [13–16]; Ứng dụng kỹ thuật sinh thái, xây dựng hệ thống tiêu thoát nước đô thị bền vững. Tác giả nghiên cứu các nguyên nhân gây ngập do mưa, triều và mưa triều kết hợp nhưng chủ yếu là ngập do mưa. Cải mới trong nghiên cứu là thực hiện tiêu thoát nước mưa đô thị bằng các giải pháp bền vững, hình thành hệ thống tiêu thoát nước mưa gắn kết chặt chẽ với hệ sinh thái tự nhiên. Các giải pháp kỹ thuật sinh thái rất đa dạng được lựa chọn phù hợp với mức độ đô thị hóa. Đây là tài liệu rất cần cho các nghiên cứu hiện nay khi nghiên cứu hệ thống thoát nước đô thị [17].

Tuy vậy, ứng với mỗi khu vực, lưu vực sông kênh cụ thể thì các mô hình ứng dụng có tính khả thi khác nhau và đối với kênh Tân Hóa–Lò Gôm trong nghiên cứu này sẽ sử dụng mô hình PC SWMM để làm công cụ mô phỏng khả năng tiêu thoát nước cho khu vực.

2. Phương pháp nghiên cứu

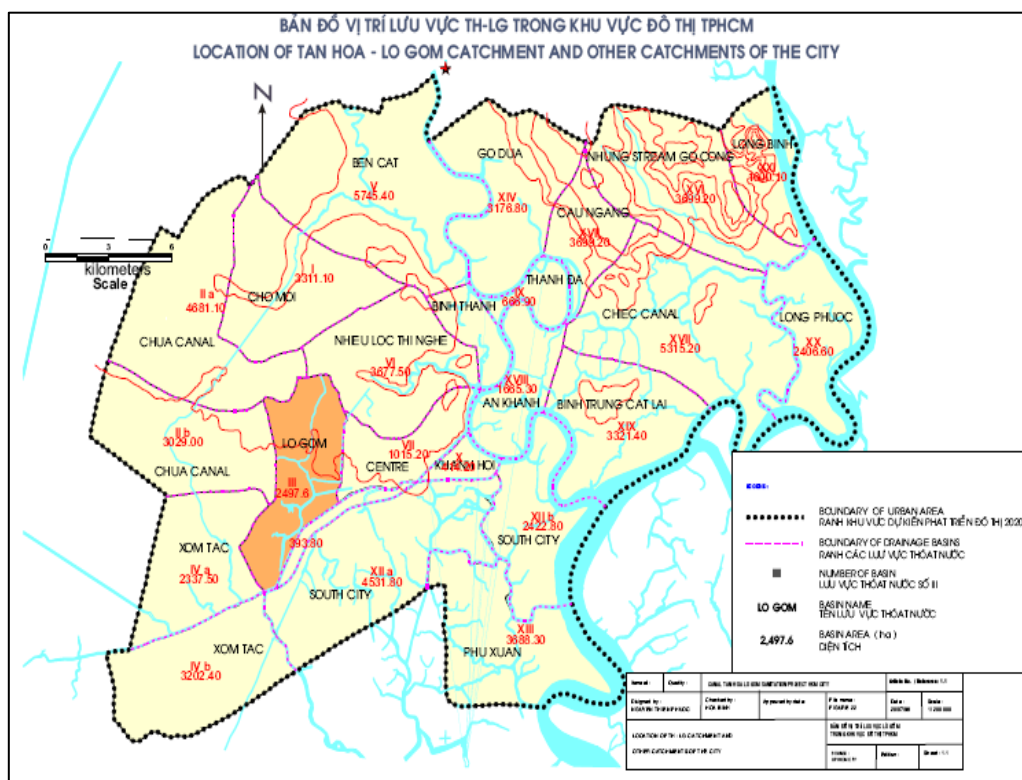
2.1. Giới thiệu lưu vực nghiên cứu

Mỗi năm TP.HCM chịu nhiều trận ngập nghiêm trọng không chỉ trong mùa mưa mà còn trong mùa triều cao. Do thiếu duy tu, địa hình đất đai thấp, lượng mưa lớn trong một giai đoạn ngắn, triều cao và không đủ hệ thống trị thủy và thoát nước, một số khu vực của TPHCM bị ảnh hưởng bởi ngập lụt. Tình trạng ngập lụt kéo dài 1–2 ngày trong mùa mưa.

Lưu vực TH–LG chia thành 2 vùng chính. Một khu đất chính khá cao bao phủ vùng thượng nguồn của kênh (quận 11 và Tân Bình), phần đất thấp phần lớn nằm ở quận 6. Phần

thượng nguồn có địa hình thấp nhô (cao độ 6–8 m trên mực nước biển). Phần phía tây và nam của lưu vực Lò Gốm cao độ trên 2 m trong khi đó huyện Bình Chánh và quận 8 là hai vùng đất đầm lầy thấp. Phần lớn quận 6, 8, 11 cao độ dưới 2 m. Đường đồng mức 2 m được xem là ranh giới quan trọng vì mực nước triều của sông lên đến 1,4 m trên mực nước biển. Nó được xem là rãnh thu nước và thoát nước rất có hiệu quả cho vùng đất có cao độ trên 2 m nếu dưới 2 m hệ thống thoát nước sẽ bị ảnh hưởng bởi triều.

Trong lưu vực TH–LG diện tích ngập lụt là 578,8 ha Khu vực rộng lớn bị ngập do thiếu hệ thống thoát nước nằm ở phần phía tây của lưu vực ở quận 6 và quận Tân Bình. Ở quận 6 nguyên nhân thứ 2 bị ngập do lượng nước thải trong kênh bị quá tải, đặc biệt tại phường 14, 9 và 11. Số lượng lớn đất trồng ngày trước trong khu đất thấp là nơi điều tiết tự nhiên và rất quan trọng, nhưng những năm gần đây một số lượng đất trồng tại quận 6 đã bị lấp nên ngập lụt xảy ra ngày càng nhiều nếu không có giải pháp [3–4, 13–15].



Hình 1. Bản đồ địa hình lưu vực Tân Hóa–Lò Gốm [4].

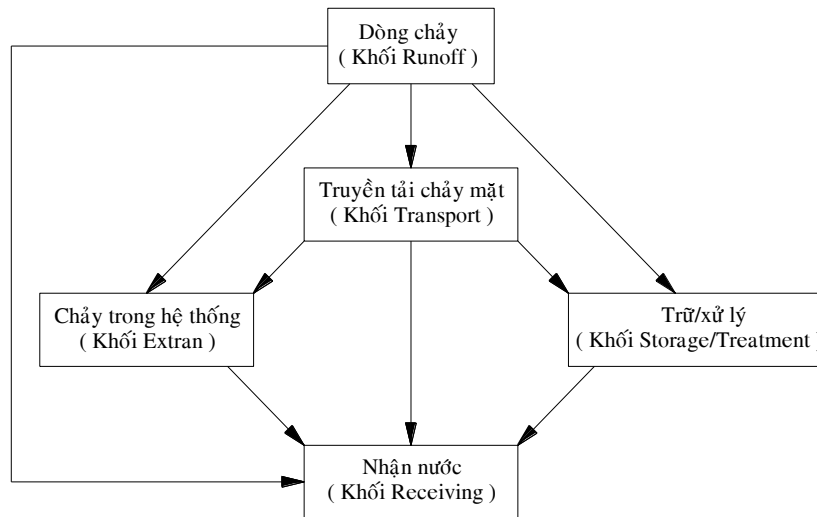
2.2. Cơ sở lý thuyết mô hình SWMM

Mô hình quản lý nước mưa (*Storm Water Management Model – SWMM*) được xây dựng với sự tài trợ liên tục của cơ quan bảo vệ môi trường Mỹ là một trong số những mô hình nổi tiếng nhất về việc tính toán thoát nước mưa đô thị.

Mô hình quản lý nước mưa SWMM là mô hình toán học toàn diện mô phỏng khối lượng tính chất dòng chảy đô thị do mưa và hệ thống cống (kênh) thoát nước thải chung. Mọi vấn đề thủy văn đô thị và chất lượng nước đều được mô phỏng, bao gồm dòng chảy mặt, dòng chảy ngầm, vận chuyển qua mạng lưới hệ thống tiêu thoát nước, hồ chứa và khu xử lý.

Mô hình PC SWMM mô phỏng các dạng mưa thực tế trên cơ sở lượng mưa (biểu đồ quá trình mưa hàng năm) và các số liệu khí tượng đầu vào khác hệ thống mô tả (lưu vực, vận chuyển, hồ chứa/ xử lý) để dự đoán các trị số chất lượng và khối dòng chảy.

Mô hình PC SWMM được xây dựng trên cơ sở gồm hai khối mô đun có cấu trúc như sau (Hình 2) [18–22]:



Hình 2. Sơ đồ làm việc của PC SWMM.

Hệ phương trình đạo hàm riêng cơ bản cho hệ thống dòng chảy trong cống thoát nước xuất phát từ hệ phương trình dòng không ổn định 1D Saint–Venant.

a. Phương trình liên tục của dòng không ổn định:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + V \frac{\partial A}{\partial x} + A \frac{\partial V}{\partial x} = 0$$

(1)

Trong đó A là diện tích mặt cắt ngang, V là lưu tốc trung bình mặt cắt ngang dòng chảy, x là khoảng cách dọc theo lòng dẫn, t là thời gian.

Gọi Q là lưu lượng dòng chảy:

$$V = Q/A \tag{2}$$

Thay (2) vào (1), tìm được:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = 0 \tag{3}$$

b. Phương trình động lượng của dòng không ổn định:

$$S_f = S_o - \frac{\partial h}{\partial x} - \frac{V}{g} \frac{\partial V}{\partial x} - \frac{1}{g} \frac{\partial V}{\partial t} \tag{4}$$

Trong đó S_f là độ dốc thủy lực; S_o là độ dốc đáy; g là gia tốc trọng trường.

Thay (2) vào (4) và sau một số biến đổi, tìm được:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(Q^2/A)}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \tag{5}$$

Với: $H = z + h$ là cột nước đo áp (z là cao độ đáy, h là chiều sâu nước. Độ dốc đáy $S_o = dz/dx$ được bao hàm trong gradient của H.

Trong Môn học thủy lực, phương trình động lượng được dùng trong các ống và phương trình liên tục được dùng tại các nút. Như vậy động lượng được bảo toàn trong ống và liên tục tại nút.

Phương trình (5) được cải biến nhờ biểu thức:

$$Q^2/A = V^2A \tag{6}$$

$$\frac{\partial \left(\frac{Q^2}{A} \right)}{\partial x} = \frac{\partial (V^2A)}{\partial x} = \frac{2AV \times \partial V}{\partial x} + \frac{V^2 \partial A}{\partial x} \tag{8}$$

Thay (7) vào (5), nhận được phương trình động lượng với 4 biến phụ thuộc Q, A, V và H.

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + 2AV \frac{\partial V}{\partial x} + V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} + gAS_f = 0 \tag{8}$$

Nhân hai vế của (1) bởi V và sắp xếp lại được:

$$AV \frac{\partial V}{\partial x} = -V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} \tag{9}$$

Cuối cùng thay (9) vào (8) để khử số hạng $\partial V/\partial x$, được phương trình động lượng kết hợp với phương trình liên tục dưới dạng sau:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + gAS_f - 2V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} = 0 \tag{10}$$

Trong (10), độ dốc thủy lực được xác định nhờ biểu thức Manning:

$$S_f = \frac{n^2}{AR^{4/3}} Q|V| \tag{11}$$

Trong đó n là hệ số nhám Manning, R là bán kính thủy lực. Dấu giá trị tuyệt đối trong (11) làm cho Sf là một đại lượng có hướng và bảo đảm rằng lực ma sát luôn luôn ngược chiều dòng chảy.

Như vậy phương trình cuối cùng để giải là:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{gn^2}{R^{4/3}} Q|V| - 2V \frac{\partial A}{\partial t} - V^2 \frac{\partial A}{\partial x} + gA \frac{\partial H}{\partial x} = 0 \tag{12}$$

Sử dụng phương pháp sai phân hữu hạn với sơ đồ hiện áp dụng vào phương trình (12), sau một số biến đổi nhận được phương trình rời rạc sau đây:

$$Q_{t+\Delta t} = \frac{1}{1 + \frac{gn^2}{\bar{R}^{4/3}|\bar{V}|}} \left[Q_t + 2\bar{V}\Delta t \left(\frac{\Delta A}{\Delta t} \right)_t + \bar{V}^2 \Delta t \left(\frac{A_2 - A_1}{L} \right) - g\bar{A}\Delta t \left(\frac{H_2 - H_1}{L} \right) \right] \tag{13}$$

Trong đó $Q_{t+\Delta t}$ và Q_t lần lượt là lưu lượng ở cuối và đầu thời đoạn Δt ; $\bar{V}, \bar{A}, \bar{R}$ là trung bình có gia trọng của những giá trị tương ứng ở hai đầu ống vào thời điểm t; $(\Delta A/\Delta t)_t$ là đạo hàm theo thời gian của A từ bước thời gian trước.

Các ẩn số trong (13) là $Q_{t+\Delta t}$, H_2 và H_1 .

Các đại lượng $\bar{V}, \bar{A}, \bar{R}$ đều có quan hệ với Q và H.

Do đó, cần có một phương trình liên hệ giữa Q và H. Đó chính là phương trình liên tục tại một nút:

$$\partial H/\partial t = \Sigma Q/As \tag{14}$$

Hay dưới dạng sai phân: $H_{t+\Delta t} = H_t + \Sigma Q_t \Delta t / A_{st} \tag{15}$

với A_s là diện tích mặt thoáng của nút.

Các phương trình (13) và (15) có thể được giải liên tiếp nhằm xác định lưu lượng trong mỗi ống và cột nước tại mỗi nút cho mỗi bước thời gian Δt .

Ưu điểm của phương pháp sai phân hữu hạn theo sơ đồ hiện là đơn giản, dễ lập trình trên máy tính nhưng có nhược điểm là bị hạn chế về bước thời gian. Để bảo đảm sự ổn định của lời giải số, bước thời gian Δt phải thỏa mãn điều kiện Courant sau đây:

* Đối với ống:

$$\Delta t \leq L/(gD)^{1/2} \tag{16}$$

Trong đó D là chiều sâu tối đa trong ống. Vế phải của (16) là thời gian cần cho một sóng động lực truyền trên chiều dài L của ống.

* Đối với nút:

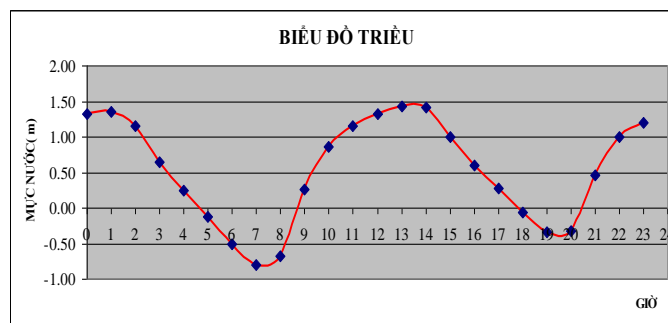
$$\Delta t \leq 0,1 A_s \Delta H_{\max} / \Sigma Q \tag{17}$$

Trong đó ΔH_{max} là độ dâng lớn nhất của mặt nước trong một bước thời gian; ΣQ là tổng lưu lượng thực chảy vào nút.

Bước thời gian Δt được chọn sẽ là giá trị nhỏ nhất trong hai giá trị cho bởi (16) và (17). Theo kinh nghiệm, $\Delta t = 15 \div 30$ s là thích hợp.

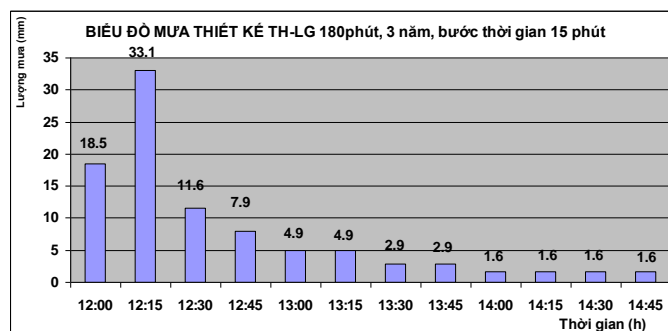
2.3. Cơ sở dữ liệu

- Biên mực nước: Dao động mực nước triều được gán tại nút 101 (giao tại đầu rạch Ông Buồng và kênh Tàu Hủ) là mô hình triều tiêu được tính toán trên mô hình tổng thể, ứng với mực nước sông Sài Gòn tại trạm Phú An là 1,43 m, tương ứng với tần suất thiết kế là 10% (Hình 3).



Hình 3. Quá trình mực nước triều.

- Mô hình mưa thiết kế: Mô hình mưa được sử dụng trong tính toán được lấy theo trạm Tân Sơn Nhất với chu kỳ tràn công lập lại là 3 năm dựa theo kết quả xử lý của CDM (Công ty tư vấn Camp Dresser McKee). Hệ số triết giảm áp dụng cho lưu vực nhỏ đề nghị lấy bằng 1 (Hình 4).



Hình 4. Biểu đồ mưa thiết kế.

- Các thông số khác:

Kênh TH-LG chịu trách nhiệm thoát nước cho lưu vực TH-LG và Hàng Bàng (HB). Do đó tổng diện tích được nghiên cứu trong mô hình là khoảng 1700 ha, bao gồm cả hệ thống thoát nước TH-LG và HB. Độ dốc địa hình của từng tiểu lưu vực trong lưu vực nghiên cứu được xác định trực tiếp dựa trên bản đồ số hóa của lưu vực.

Tỉ lệ diện tích phần không thấm so với tổng diện tích được ước tính theo cơ cấu sử dụng đất về lâu dài là 55–75%. Giả thiết bỏ qua bốc hơi do thời đoạn tính toán ngắn.

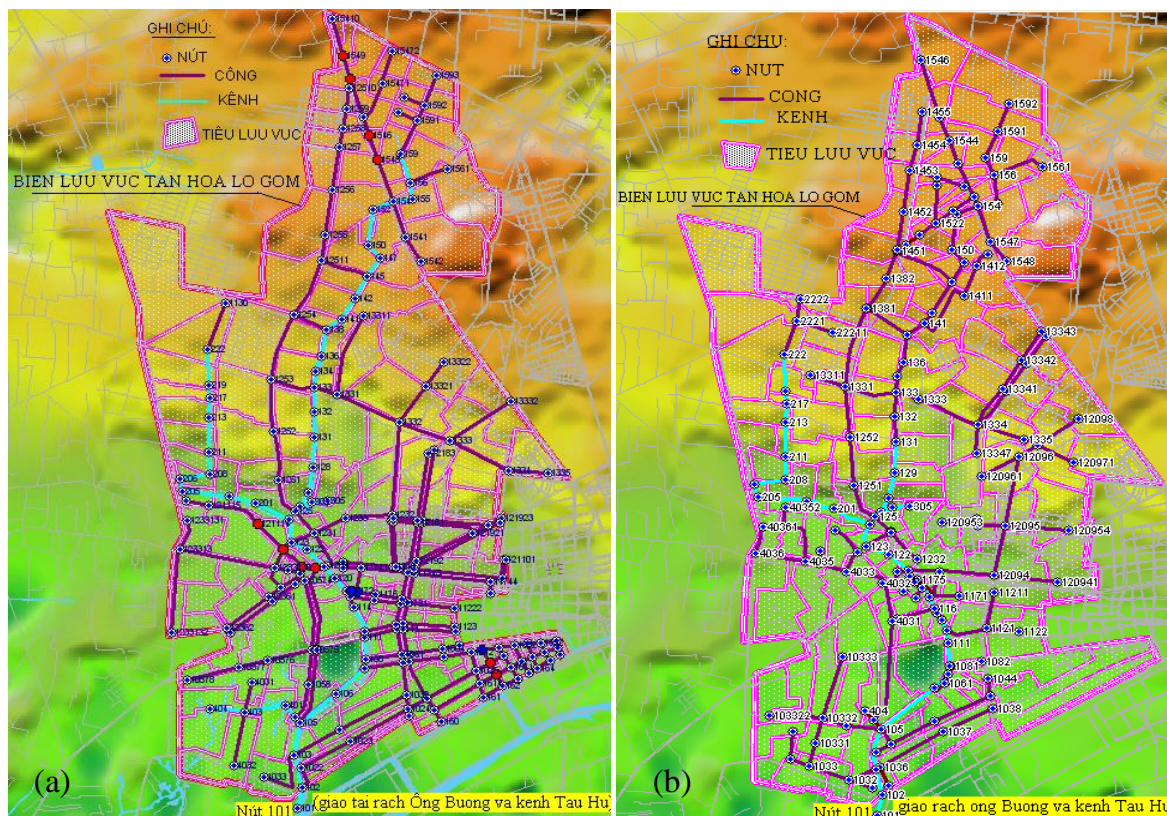
Các số liệu về mặt cắt các tuyến kênh rạch được lấy theo dự án thoát nước cho lưu vực TH-LG.

Cao độ mặt đất được lấy theo cao độ tự nhiên xác định trên bản đồ số hóa, tuy nhiên đối với vùng trũng thấp, cao độ mặt đất được giả định bằng cao độ san nền tối thiểu +2m (theo quyết định số 752/QĐ-Ttg của Thủ Tướng Chính Phủ ngày 19/06/2001 v/v phê duyệt Quy Hoạch tổng thể hệ thống thoát nước TP HCM đến năm 2020).

Sơ đồ thoát nước:

Sơ đồ hiện trạng: Toàn bộ hệ thống hiện trạng được sơ đồ hóa thành 180 tiểu lưu vực, 221 đoạn ống và 181 nút (Hình 5a).

Sơ đồ thiết kế: Toàn bộ hệ thống hiện trạng được cải tạo mở rộng theo thiết kế và được sơ đồ hóa thành 162 tiểu lưu vực, 164 đoạn ống và 163 nút. (Hình 5b). Sơ đồ thiết kế có số tiểu lưu vực, số đoạn ống và nút ít hơn ở sơ đồ hiện trạng là vì khi thiết kế những đường ống có khẩu độ nhỏ bị bỏ đi và thay bằng đường ống có khẩu độ to hơn, một số đường ống kép hai bên đường chuyển thành đường ống đơn ở giữa đường.



Hình 5. (a) Sơ đồ hiện trạng lưu vực TH-LG; (b) Sơ đồ thiết kế lưu vực TH-LG.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả mô phỏng hiện trạng ngập lụt

* Kết quả hiệu chỉnh, kiểm định mô hình

Dùng phương án hiện trạng để kiểm nghiệm mô hình bằng cách so sánh những điểm ngập có được từ việc mô phỏng bằng mô hình với điểm ngập từ khảo sát thực tế.

Sau khi thực hiện mô phỏng bằng mô hình PC SWMM, kết quả như sau:

Số điểm quan sát 180 điểm. Trong đó có 74 điểm ngập chiếm 41%. Còn theo khảo sát thực tế thì số điểm ngập là 99 điểm, chiếm 55% tổng số điểm.

Như vậy tỉ lệ mô tả thành công của mô hình là khoảng 75%. Do số liệu điều tra về hiện trạng kênh cống không đầy đủ và thiếu tin cậy nên tỉ lệ thành công như vậy là khá cao, cho thấy mô hình có khả năng tái hiện tình trạng ngập ở lưu vực TH-LG.

Nghiên cứu này sẽ sử dụng mực nước biên thay đổi cho phù hợp với thực tế dao động mực nước triều và chế độ vận hành của cống ngăn triều. Bảng 1 trình bày kết quả so sánh giữa 2 trường hợp mực nước biên: (1) cố định 1,31 m và (2) dao động theo thủy triều với đỉnh max là 1,43 m (Bảng 1).

Bảng 1. Kết quả phương án thiết kế cải tạo mở rộng trường hợp biên là mực nước cố định và dao động theo thủy triều.

Biên	Mực nước cố định	Dao động theo mực nước thủy triều
Quan sát	163	163
Tổng thời gian ngập (phút)	9.448,1	2.583,6
Số điểm ngập	17	17

Theo kết quả mô phỏng biên mực nước cố định dẫn đến kết quả sai lệch nhiều với biên dao động theo triều. Trong khi đó, theo kết quả tính toán thủy lực các dự án quy hoạch thoát nước chi tiết TPHCM thì mực nước tại ngã ba Lò Gốm–Tàu Hủ không phải là mực nước độc lập mà chịu ảnh hưởng của chế độ mưa–dòng chảy trên toàn lưu vực rộng.

Vậy để giải quyết tình trạng ngập, việc mở rộng cải tạo hệ thống kênh cống như phương án thiết kế, điều kiện biên mô hình mưa được sử dụng trong tính toán được lấy theo trạm Tân Sơn Nhất với chu kỳ lặp lại 3 năm dựa theo kết quả sử lý của CDM, và mực nước dao động theo triều tại trạm Phú An tháng 10/2002 chỉ giải quyết ngập do mưa ở thời điểm hiện tại, không giải quyết tình trạng ngập do triều. Cho nên để giải quyết tình trạng ngập do triều, phương án hiện tại hoặc là kết hợp nâng cao độ nền (phương án chọn của dự án) hoặc kết hợp tổ hợp công ngăn triều và bơm.

3.4. Mô phỏng ảnh hưởng việc gia tăng mực nước biên với khả năng thoát nước của lưu vực và đề xuất biện pháp khắc phục.

Dưới ảnh hưởng của biến đổi khí hậu (BĐKH) mực nước trên các sông đều có xu hướng gia tăng (Bảng 2).

Bảng 2. Xu thế gia tăng mực nước cao nhất hàng năm thời kỳ 1990–2017.

Trạm	Vũng Tàu	Phú An	Nhà Bè	Thủ Dầu Một	Tân An	Bến Lức	Biên Hòa
Tốc độ tăng (cm/năm)	-0,08	1,45	1,17	0,94	2	1,94	1,63

Kết quả kiểm tra xu thế tăng của mực nước lớn nhất hàng năm tại các trạm thủy văn chính trong khu vực theo phương pháp Mann–Kendall và Sen được trình bày trong bảng 3.

Bảng 3. Đánh giá xu thế tăng của mực nước lớn nhất hàng năm tại các trạm thủy văn chính.

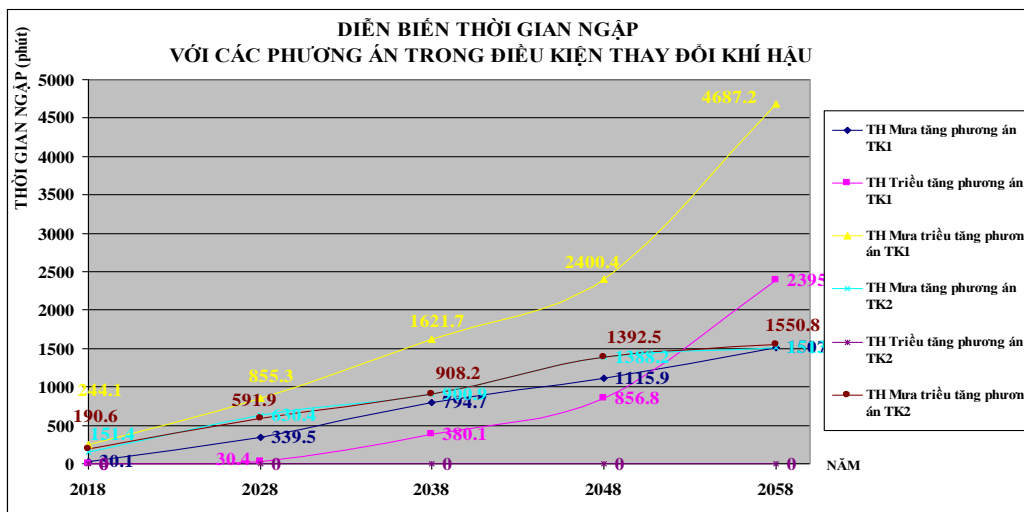
Zmax (cm)	n	Mann–Kendall Z	Sen's Q	Sen's B	COV	Đánh giá
Phú An	18	4,03	1,455	108,82	0,06	Tăng mạnh
Vũng Tàu	18	-0,04	0,000	134,00	0,06	Không tăng
Thủ Dầu Một	18	4,46	0,900	100,70	0,05	Tăng mạnh
Nhà Bè	18	3,27	1,167	116,58	0,06	Tăng mạnh
Biên Hòa	18	1,86	1,800	138,30	0,11	Tăng ít
Bến Lức	18	3,88	1,917	92,00	0,09	Tăng mạnh
Tân An	18	2,88	1,941	97,76	0,12	Tăng mạnh

Lượng mưa thiết kế cho trận mưa 180 phút được nghiên cứu đề xuất bởi CDM, là 90,3 mm và 105,4 mm, tương ứng với các chu kỳ lặp lại là 3 và 5 năm, với hệ số triết giảm là 1. Trong tính toán này nghiên cứu sẽ sử dụng lại những giá trị tính toán của CDM và dự phóng theo xu thế cho từng thời kỳ 10 năm để đánh giá khả năng làm việc của hệ thống thoát nước ở các thời kỳ 2008 (giá trị tham chiếu), 2018, 2028, 2038, 2048 và 2058. Các thông số thiết kế của hệ thống thoát nước mưa sẽ được mô phỏng bằng mô hình PC SWMM cho hai phương án thiết kế với ảnh hưởng của việc gia tăng mực nước biên (mưa tăng -0,8 mm/năm, triều tăng -1,0 cm/năm, mưa triều cùng tăng):

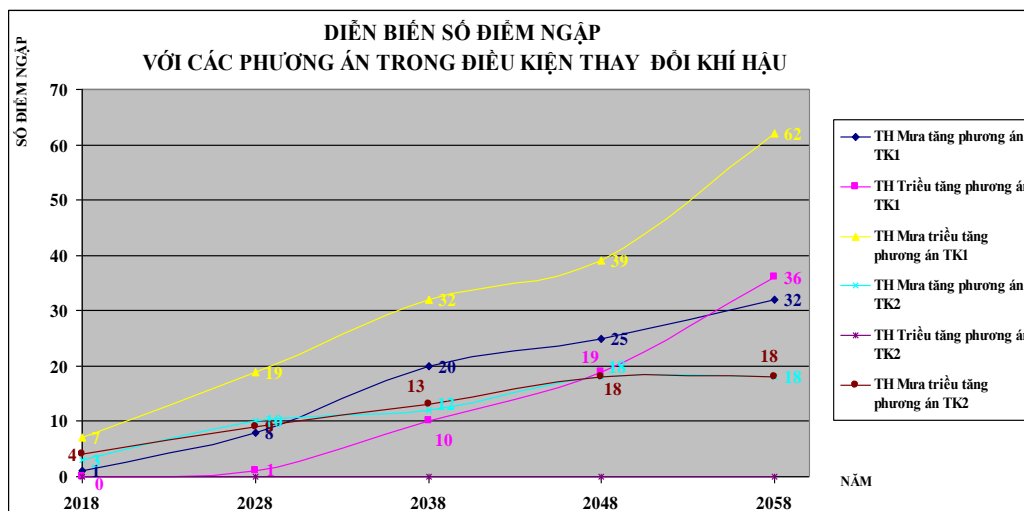
- Phương án thiết kế 1 (TK1) – cải tạo mở rộng kết hợp nâng cao độ nền.

- Phương án thiết kế 2 (TK2) – cải tạo mở rộng kết hợp cống ngăn triều và bơm. (Xây dựng một cống ngăn triều ở đầu kênh TH-LG với kích thước HxB = 4,5x50 m, với nguyên lý làm việc đóng ở cao độ +0 khi triều lên và mở ở cao độ +1,3 m khi triều xuống. Việc chống ngập cho lưu vực được kết hợp với một trạm bơm để vận hành trong trường hợp mưa lớn gặp triều cường bên ngoài).

Kết quả mô phỏng khả năng thoát nước bằng mô hình PC SWMM trong điều kiện thay đổi khí hậu: mực nước gia tăng (hình 6 và hình 7).



Hình 6. Diễn biến thời gian ngập với các phương án trong điều kiện BĐKH.



Hình 7. Diễn biến số điểm ngập với các phương án trong điều kiện BĐKH.

Theo kết quả mô phỏng, càng về sau thời gian ngập và số điểm ngập càng tăng dần, do đó các phương án thiết kế hiện tại không khả thi với diễn biến khí hậu trong tương lai. Cả hai phương án thiết kế đều không giải quyết ngập triệt để cho lưu vực.

Vậy để xóa ngập triệt để trong điều kiện BĐKH nghiên cứu xét hai kịch bản bổ sung (a) và (b) tổ hợp với hai phương án TK1 và TK2.

(a) Quy hoạch lại mật độ xây dựng cho phép sao cho có thể giảm dần tỉ lệ diện tích mặt phủ không thấm nước từ 75% hiện nay xuống đến khoảng 55% trong vài thập niên tới.

(b) Bổ sung thêm các hồ điều tiết phân bố rải rác trên lưu vực. Vị trí và diện tích phù hợp cho việc phát triển hồ sẽ được thử dần trên mô hình PC SWMM.

* Phương án điều chỉnh giảm diện tích không thấm (a).

- Phương án TK1: Cải tạo mở rộng kết hợp nâng nền.

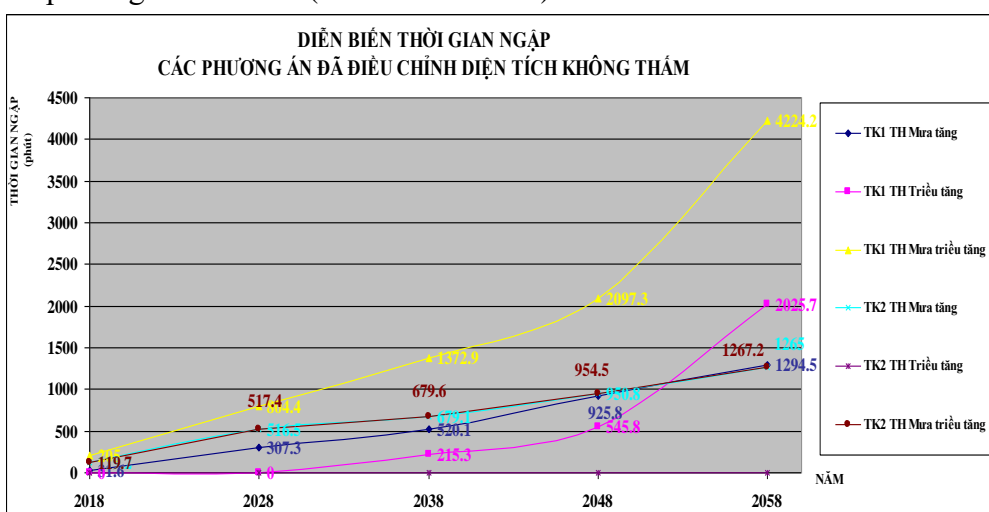
Nghiên cứu tiến hành giảm dần phần diện tích không thấm theo thời gian sao cho đạt tới tỉ lệ 55% sau 50 năm. Quy trình này sẽ được thực hiện cho tất cả các trường hợp (TH) của phương án (PA) TK1, TK2.

Đề phù hợp với xu thế phát triển cơ cấu sử dụng đất trong tương lai, nghiên cứu tiến hành điều chỉnh diện tích phần không thấm 2018 (75%), 2028 (65%), 2038 (55%), 2048 (55%), 2058 (55%).

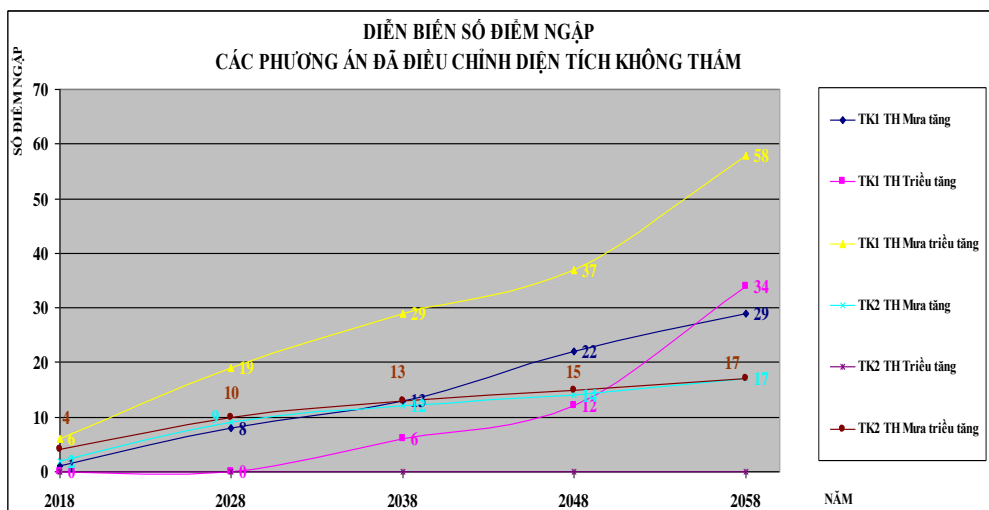
- Phương án TK2: Cải tạo mở rộng kết hợp công ngăn triều và bơm, nghiên cứu tiến hành điều chỉnh diện tích phần không thấm đến khi thỏa mãn điều kiện không ngập.

Tóm lại ở phương án TK2 (cải tạo mở rộng kết hợp công ngăn triều bơm) nghiên cứu có thể kết luận, tác động do mưa là chủ yếu, triều là không đáng kể. Để xóa ngập cần diện tích phần không thấm 15% (điều này là không thể). Phương án này đối với TK2 cũng chỉ có tác dụng giảm ngập.

Theo xu thế phát triển bền vững, cơ cấu sử dụng đất lâu dài, việc chỉnh trang đô thị trong tương lai, tiến đến một đô thị lý tưởng. Sau khi điều chỉnh diện tích không thấm phù hợp, kết quả của 2 phương án đã xét là (Hình 8 và Hình 9).



Hình 8. Diễn biến thời gian ngập các PA đã điều chỉnh diện tích không thấm.



Hình 9. Diễn biến số điểm ngập các PA đã điều chỉnh diện tích không thấm.

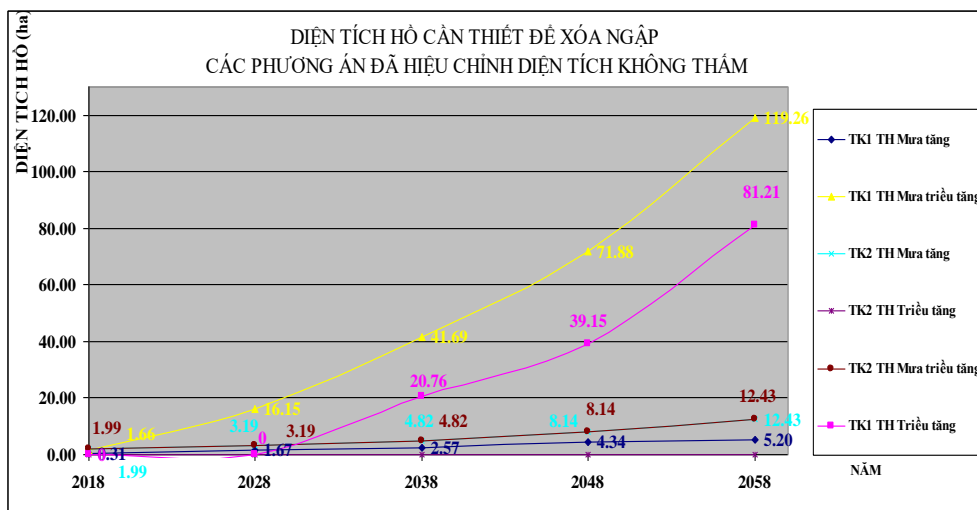
Kết quả mô phỏng cho thấy:

Phương án cải tạo mặt phủ đô thị chỉ có tác dụng giảm ngập, hiện tại thì mưa là nguyên nhân gây ngập chủ yếu, nhưng càng về sau mức độ ngập do triều càng tăng.

Như đã nói ở trên, để xóa ngập một cách triệt để, phương án hồ điều tiết phân tán hoạt động theo thủy triều là phương án khả thi và mang lại hiệu quả cao nhất trong việc giải quyết tình trạng ngập dưới tác động của biến đổi khí hậu.

* Phương án hồ điều tiết phân tán đã hiệu chỉnh diện tích không thấm.

Ứng với từng thời điểm ngập, nghiên cứu thử dần diện tích cần thiết của hồ đến khi không còn ngập, kết quả cụ thể như sau (hình 10):



Hình 10. Diện tích hồ cần thiết để xóa ngập các PA đã điều chỉnh diện tích không thấm.

Phương án này giúp nghiên cứu xóa ngập một cách triệt để với diện tích hồ không đáng kể (trường hợp bất lợi nhất 119,26 ha chiếm 7% diện tích lưu vực) so với tổng diện tích lưu vực. Ứng với từng thời điểm, nghiên cứu có từng diện tích hồ thích hợp để xóa ngập.

4. Kết luận

Đối với bài toán thoát nước đô thị sử dụng phương pháp mô hình toán (PC SWMM) kết hợp với các dữ liệu quan sát-đo đạc thực tế để đánh giá khả năng thoát nước của lưu vực TH-LG trong điều kiện BĐKH với các kịch bản mực nước gia tăng. Mô hình quản lý nước mưa PC SWMM là 1 mô hình toán học toàn diện, dùng để mô phỏng khối lượng và tính chất dòng chảy đô thị do mưa và hệ thống cống thoát nước thải chung. Lợi ích lớn nhất từ mô hình là có thể dự đoán được tình trạng ngập nước tại một số vị trí. Bằng cách thay đổi một vài yếu tố của đường ống, dòng chảy, có thể đoán được nguyên nhân gây ngập, mức độ ngập, thời gian ngập, từ đó đề ra các giải pháp hợp lý. Nghiên cứu đã ứng dụng và đánh giá được khả năng thoát nước của lưu vực TH-LG trong việc gia tăng mực nước biên với các kịch bản: mưa tăng theo tốc độ 0,8 mm/năm và mực nước tăng 1cm/năm, tuy nhiên trong thực tế tốc độ này có thể tăng nhanh hoặc chậm hơn, lúc đó hiệu quả của phương án có thể ngắn hoặc dài hơn. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đã sử dụng bộ thông số để tính toán cho hai phương án thiết kế: cải tạo mở rộng mạng lưới kênh rạch + nâng nền, cải tạo mở rộng mạng lưới kênh rạch + công ngăn triều + bơm ứng với giải pháp chỉnh trang đô thị giảm dần diện tích không thấm và xây dựng hồ điều tiết phân tán trong điều kiện gia tăng mực nước biên. Kết quả cho thấy với giải pháp xây dựng hồ điều tiết phân tán (7% diện tích lưu vực) mang lại hiệu quả tốt nhất và có khả năng xóa ngập cho đô thị.

Mô hình mới mô phỏng cho những trận mưa thiết kế có tần suất 3 năm xuất hiện 1 lần là những trận mưa chưa lớn. Đồng thời mực nước biên triều ở mức 1,43 m tại trạm Phú An ở tần suất 10% là mức triều thấp. Vì thế để bộ thông số tốt hơn và có kịch bản mang tính tổng quát hơn (đặc biệt là các trận mưa lớn, cực lớn kết hợp triều cường cao). Đây cũng chính là hạn chế của nghiên cứu này.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.T.Q., H.T.T.N.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: T.T.Q., C.T.V., H.T.T.N.; Xử lý số liệu: V.T.V.A., N.T.H.T.; Mô hình hóa: T.T.Q., H.T.T.N.; Phân tích kết quả: T.T.Q., H.T.T.N., C.T.V.; Chỉnh sửa bài báo: H.T.T.N., C.T.V., V.T.V.A.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Nữ, H.T.T.; Vũ, Đ.T.; Phùng, L.V.; Văn, C.T. Mô phỏng mức độ ngập và đề xuất giải pháp thoát nước chống ngập cho khu vực Văn Thánh – thành phố Hồ Chí Minh. *Tap chí Khí tượng Thủy văn* **2020**, 716, 12–25. doi:10.36335/VNJHM.2020(716).12-25.
2. Sở Quy hoạch – Kiến trúc TPHCM. Giải pháp hạn chế tình trạng ngập lụt tại TP.HCM và tình hình biến đổi khí hậu trong tương lai. 2017. <https://qhkt.hochiminhcity.gov.vn/do-thi-xanh/giai-phap-han-che-tinh-trang-ngap-lut-tai-tp-hcm-va-tinh-hinh-bien-doi-khi-hau-trong-tuong-lai-1031.html>.
3. Nữ, H.T.T. Nghiên cứu giải pháp thoát nước chống ngập cho lưu vực rạch Văn Thánh Thành phố Hồ Chí Minh. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật Đại học Bách Khoa TP.HCM, 2010.
4. Quyên, T.T. Nghiên cứu ảnh hưởng của việc gia tăng mực nước biên đối với khả năng thoát nước của lưu vực Tân Hóa – Lò Gốm và biện pháp khắc phục. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật Đại học Bách Khoa TP.HCM, 2008.
5. Phương, N.V và cs. Nghiên cứu giải pháp thoát nước mưa trên đường phố theo hướng bền vững. *Tap chí KHCN Xây dựng NUCE* **2019**, 13(V2), 73–85.
6. Tính, N.Đ.; Viện, D.V. Một số giải pháp chống ngập ở TP.HCM, Cơ Sở 2– trường Đại học Thủy lợi, Hội đập lớn và phát triển nguồn nước. URL: www.vncold.vn. 2007.
7. Điềm, N.V.; Sơn, H.T. Mô hình tính toán thoát nước mưa cho những đô thị trong vùng bị ảnh hưởng thủy triều. Trường đại học Bách Khoa TP HCM. 2002.
8. Muthukrishnan, S.; Harbor, J.; Kyoung, K.J.; Engel, B.A. Calibration of a Simple rainfall–runoff model for long–term hydrological impact evaluation. *URISA J.* **2004**, 18(2), 35–42.
9. Nasello, C.; Tucciarelli, T. Dual Multilevel Urban Drainage Model. *J. Hydr. Eng.* **2005**, 131(9), 748–754.
10. UBND TPHCM. Các kết quả phân tích kênh Tân Hóa – Lò Gốm để xác định và thiết kế các dự án thí điểm BQL 415, báo cáo chính và các phụ lục UBND TPHCM và Ủy ban hợp tác quốc tế Bỉ, 2005.
11. Nghiên cứu khả thi và thiết kế sơ bộ dự án thoát nước TP. HCM lưu vực Nhiều Lộc Thị Nghè PCHMC và công ty Tư vấn Camp Dresser và McKee International, 1999.
12. Huy, N.S. và cs. Luận chứng kinh tế kỹ thuật tiêu thoát nước và cải tạo ô nhiễm hệ kênh rạch Tân Hoá – Lò Gốm, 1994.
13. Báo cáo tổng hợp Dự án nâng cấp đô thị và vệ sinh rạch Tân Hóa Lò Gốm. Báo cáo của ban quản lý dự án 415 (PMU 415).
14. Báo cáo nghiên cứu kỹ thuật dự án Cải thiện vệ sinh–Nâng cấp Đô thị kênh Tân Hóa Lò Gốm. <http://www2.btctb.org/TH-LG/vn/fs.htm>.
15. Phi, H.L. Sự thay đổi khí hậu, đô thị hóa và tình trạng ngập ở TPHCM. Đại học Bách khoa TP.HCM, 2004.
16. Hiều, T.V. và cs. Nghiên cứu phương pháp phân vùng ngập và thoát nước đô thị nội thành TP.HCM (2000–2002). Báo cáo tổng kết đề tài Phân viện Khí tượng Thủy văn và BDKH, 2002.

17. Cảnh, Đ.; Trục, D.V. Ứng dụng kỹ thuật sinh thái, xây dựng hệ thống tiêu thoát nước đô thị bền vững. Đại học Quốc gia TPHCM, 2006.
18. Harremoes, P. Intergrated urban drainage, status and perspectives. *Water Sci. Technol.* **2002**, *45(3)*, 1–10.
19. Boyd, J.M.; Bufill, M.C.; Knee, R.M. Pervious and impervious runoff in urban catchments. *Hydrol. Sci. J.* **1993**, *38*, 463–478.
20. Zhou, Q.; Yang, X.; Melville, M.D. A GIS network model for sugarcane field drainage management. School of Geography, University of New South Wales, 1996.
21. Sydney, Australia. Proceedings of 8th Australasian Remote Sensing Conference, 25–29 March 1996, Canberra, 1996, *2*, 366–372.
22. O’Loughlin, G.; Huber, W.; Chocat, B. Rainfal–runoff process and modeling. *J. Hydraul. Res.* **1996**, *34*, 733–751.

Application of urban hydrological model to simulate inundation and drainage capacity due to increase in tidal water level for Tan Hoa – Lo Gom canal system in Ho Chi Minh City

Hoang Thi To Nu¹, Tu Thieu Quyen², Vu Thi Van Anh¹, Nguyen Thi Hong Thao³, Can Thu Van^{1*}

¹ HCMC university of Natural resources and Environment; nu.htt@hcmunre.edu.vn; vtvanh@hcmunre.edu.vn; ctvan@hcmunre.edu.vn

² Department of Agriculture and Rural Development Tra Vinh province; quyentuqldd@gmail.com

³ Southern Institute of Construction Planning; hongthaosgtl@gmail.com

Abstract: As the economic, trade and tourism center of Vietnam, Ho Chi Minh City (HCMC) has experienced rapid urbanization, which has led to many consequences on infrastructure, in which the problem of urban flooding is the most severe. Tan Hoa–Lo Gom basin is located on the southwest boundary of the inner city of HCMC. The TH–LG channel flows from the Northeast to the Southwest through 5 districts: Tan Binh (Bau Cat area), District 11, 6, 8, Binh Chanh and ends at Tau Hu canal. The total catchment area is 2,498 ha (3.8% of the city’s area). The study applied the PC SWMM model to simulate the effect of marginal water level increase on the drainage capacity of the basin. The results of the study show that the reservoir solution is effective even in climate change conditions with the given scenarios.

Keywords: Urban flooding in Ho Chi Minh City; SWMM model; Tan Hoa–Lo Gom.