

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA BIẾN ĐỔI KHÍ HẬU VÀ ĐÔ THỊ HÓA ĐẾN TIÊU THOÁT LŨ TRÊN HỆ THỐNG TRỤC TIÊU CẦU ĐỘ - VĨNH PHÚC

Nguyễn Văn Sơn

Phân hiệu Trường Đại học Thủy lợi

Nguyễn Văn Ngọc, Nguyễn Duy Thắng, Nguyễn Công Lương

Ban QLDA ĐTXD các công trình NN&PTNT Vĩnh Phúc

Tóm tắt: Vĩnh Phúc là một tỉnh đồng bằng sông Hồng, cửa ngõ của thủ đô Hà Nội, trong những năm gần đây có mức tăng trưởng kinh tế cao, mức độ đô thị hóa ngày nhanh, diện tích đất nông nghiệp giảm ảnh hưởng lớn đến tiêu thoát lũ. Bên cạnh đó, biến đổi khí hậu (BĐKH) làm cho lượng mưa thay đổi bất thường và cực đoan cũng là nguyên nhân khiến cho tình trạng ngập úng gia tăng. Trục tiêu Cầu Độ có nhiệm vụ tiêu thoát cho lưu vực 5.046 ha, từ năm 1990 đến 2022, đã xảy ra nhiều lần bị ngập úng mỗi khi có mưa lớn (lượng mưa trên 150 mm), gây ra tổn thất về kinh tế, xã hội trên địa bàn huyện Sông Lô, huyện Lập Thạch. Đặc biệt trận mưa năm 2016 gây thiệt hại nặng nề, trên 120 ha lúa bị ảnh hưởng tới năng suất và hơn 1.000 ha lúa, ngô, rau màu bị ngập úng, làm 1 người bị chết và 2 người bị thương. Kết quả cho thấy do lòng dẫn bị thu hẹp, bồi lắng, tốc độ đô thị hóa cao, mực nước sông Lô dâng cao ảnh hưởng đến tiêu thoát tự chảy của hệ thống.

Từ khóa: Biến đổi khí hậu, tiêu thoát lũ, Cầu Độ.

Summary: Vinh Phuc is a province in the Red River Delta, and is also the gateway of Hanoi. In recent years, it has had high economic growth, rapid urbanization, and reduced agricultural land, which greatly affects flood drainage. In addition, climate change (climate change) causing abnormal and extreme rainfall changes is also the cause of increased inundation. Cau Do drainage system which has the task of draining the watershed of 5,046 ha from 1990 to 2022, was flooded in many times when there was heavy rain (over 150mm of rainfall). Therefore, it has caused economic and social losses in Song Lo district, Lap Thach district. Especially, the rain in 2016 caused heavy damage with over 120 hectares of rice affected on productivity and more than 1,000 hectares of rice, maize and vegetables flooded; 1 dead and 2 injured. The results show that due to the narrowing of the channel, sedimentation, high urbanization rate, the rising water level of the Lo River affects the self-flowing drainage of the system.

Keywords: Climate change, drainage, Cau Do

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Vĩnh Phúc là tỉnh trung du miền núi với địa hình đa dạng, vào mùa mưa lũ các vùng đồng bằng trũng thường xuyên bị ngập úng. Trong

những năm gần đây với tốc độ tăng trưởng kinh tế cao và mức độ đô thị hóa nhanh cùng với biến đổi khí hậu, trên địa bàn huyện Lập Thạch và huyện Sông Lô đã xảy ra tình trạng thường xuyên bị ngập úng và kéo dài, gây thiệt hại lớn về kinh tế địa phương. Vùng tiêu Lập Thạch, Sông Lô có các khu tiêu sau:

Khu tiêu tả Lô: tiêu hầu hết diện tích của

Ngày nhận bài: 19/9/2023

Ngày thông qua phản biện: 16/10/2023

Ngày duyệt đăng: 17/10/2023

huyện Sông Lô với khoảng 15.000ha tiêu tự chảy ra sông Lô qua các cống Cầu Mai, Đo, Ngạc, Dừa...

Khu tiêu hữu Đáy: tiêu hầu hết diện tích của huyện Lập Thạch với khoảng 17.000ha tiêu tự chảy ra sông Đáy, qua các cống Cầu triệu, Bì La, Phú Thụ...

Trong khu vực có Hồ Vân Trục được xây dựng năm 1966 có dung tích 8,59 triệu m³, hồ Thiên

Lĩnh được xây dựng năm 1981 có dung tích 0.071 triệu m³. Hạ lưu tràn xả lũ hồ Vân Trục và hồ Thiên Lĩnh là hệ thống trục tiêu Cầu Độ có nhiệm vụ tiêu thoát cho lưu vực 5.046 ha. Diện tích lưu vực gồm lưu vực của hồ Vân Trục, diện tích đất nông nghiệp, khu dân cư, ao hồ xã Xuân Hòa, Vân Trục, thị trấn Lập Thạch huyện Lập Thạch; TT. Tam Sơn, Nhạo Sơn, Như Thụy, Yên Thạch, Tân Lập, Đồng Quế, huyện Sông Lô tỉnh Vĩnh Phúc.



Hình 1: Hệ thống tiêu Cầu Độ

Đây là khu vực có địa hình miền núi, bán sơn địa với nhiều đồi gò xen kẽ với các vùng thấp trũng do vậy vấn đề tiêu thoát rất phức tạp. Qua theo dõi cho thấy trong 32 năm từ năm 1990 đến năm 2022 có đến 11 năm gần đây trục tiêu này bị ngập úng diện rộng, gây thiệt hại nặng nề cho các xã Đồng Thịnh, xã Yên Thạch, xã Như Thụy, xã Phương Khoan, xã Hải Lựu, xã Nhân Đạo, xã Tân Lập, xã Đồng Quế, Thái Hòa, Tử Du.

Đặc biệt, đợt mưa kéo dài trên diện rộng trong từ 24/05/2016 đến 29/05/2016 trên địa bàn 02 huyện Sông Lô và Lập Thạch. Lượng mưa phổ biến đo được trên 150 mm, mực nước tại các hồ chứa đều xấp xỉ hoặc vượt ngưỡng tràn (Hồ Suối Sỏi, hồ Bò Lạc, hồ Vân Trục tràn 20 cm),

làm nhiều diện tích lúa, hoa màu trên địa bàn huyện bị ngập úng. Kết hợp lũ tiểu mãn xuất hiện trên các hệ thống tiêu trong lưu vực kênh, mương tiêu và trên các sông chính, đã gây ảnh hưởng không nhỏ tới sản xuất nông nghiệp và đời sống của bà con nhân dân. Theo thống kê của Phòng Nông nghiệp và Phát triển nông thôn huyện Sông Lô và huyện Lập Thạch, ảnh hưởng của đợt mưa lần này toàn huyện Sông Lô có trên 120 ha lúa bị ảnh hưởng tới năng suất và hơn 1.000 ha lúa, ngô, rau màu bị ngập úng; làm 1 người bị chết và 2 người bị thương do sét đánh; một số công trình xây dựng bị hư hỏng tổng thiệt hại ước tính 60 tỷ đồng (Phòng NN&PTNT Sông Lô, 2016). Huyện Lập Thạch có khoảng 600 ha lúa, 120

ha rau màu bị ngập úng. Trong đó, có khoảng 135 ha lúa có nguy cơ bị mất trắng như: xã

Vân Trục, xã Tiên Lữ, xã Bàn Giản (Phòng NN&PTNT Lập Thạch, 2016).



Hình 2: Ngập nặng tại huyện Sông Lô và Lập Thạch trong trận lũ năm 2016

Qua xem xét nghiên cứu cho thấy một số nguyên nhân gây ra ngập úng khu vực này như sau: Trục tiêu tiếp nối từ hạ lưu tràn xả lũ hồ Vân Trục và hợp lưu cùng kênh tiêu hạ lưu hồ Thiên Lĩnh, sau đó tiêu ra Sông Lô, vì vậy mỗi khi mưa lớn, lưu lượng nước từ tràn xả lũ hồ Vân Trục và hồ Thiên Lĩnh chảy qua kênh rất lớn. Tốc độ đô thị hóa nhanh nên dẫn đến diện tích ao, hồ, đầm bị giảm, mặt cắt kênh nhỏ hẹp, khẩu độ các công trình trên kênh không đảm bảo. Bên cạnh đó, biến đổi khí hậu gây nên tình trạng mưa lớn kéo dài trên diện rộng cũng là một nguyên nhân trực tiếp gây nên ngập úng khu vực này.

Vì vậy, việc nghiên cứu ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và đô thị hóa đến hệ thống trục tiêu Cầu Độ để từ đó có những giải pháp phù hợp nhằm giảm tình trạng ngập úng là rất cần thiết.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Nghiên cứu sử dụng mô hình thủy lực MIKE FLOOD để mô phỏng dòng chảy trên hệ thống kênh tiêu Vân Trục. MIKE FLOOD thuộc

Viện thủy lực Đan Mạch DHI Water & Environment phát triển, hệ thống mô hình thủy lực kết nối giữa mô hình một chiều và mô hình hai chiều bằng lưới hình chữ nhật hoặc lưới phi cấu trúc. Mô hình MIKE FLOOD có ưu điểm bảo toàn động lượng qua các nút liên kết, liên kết bên cho phép mô phỏng dòng chảy tràn từ sông vào các bãi tràn, mô phỏng các công trình thủy lực, liên kết giữa mô hình một và hai chiều theo mọi hướng,...

Sử dụng mô hình thủy văn HEC-HMS mô phỏng quá trình điều tiết lũ từ hồ Vân Trục đến hệ thống tiêu thoát nước hạ du hồ. Mô hình HEC-HMS thuộc bộ phần mềm Quân đội Hoa Kỳ xây dựng có đầy đủ các mô đun hay chương trình khác nhau để giải quyết mọi bài toán liên quan đến tài nguyên nước, môi trường, phòng chống thiên tai.

Các mô hình trên được sử dụng rộng rãi trong việc mô phỏng dòng chảy lũ trên sông, kênh tiêu. Nghiên cứu thiết lập mô phỏng ngập lụt để đánh giá và đề xuất phương án cải tạo hệ thống để tăng khả năng tiêu thoát, giảm thiểu thiệt hại.



Hình 3: Phương pháp nghiên cứu

3. THIẾT LẬP MÔ HÌNH VÀ KỊCH BẢN TÍNH TOÁN

Nghiên cứu thiết lập mô hình mô phỏng ngập lụt với các kịch bản: Tần suất tiêu 10% (với mưa 05 ngày lớn nhất).

Mô hình mưa tiêu thiết kế:

- Số liệu mưa của các trạm đo mưa trong vùng (trạm Vĩnh Yên) với chuỗi số liệu từ năm 1985 – 2021.

- Mô hình mưa giờ thực đo tại trạm Vĩnh Yên trận mưa tháng X-XI/2008 để phân phối dòng chảy lưu lượng giờ đến hồ và đường nhập lưu khu giữa.

Từ đó, xây dựng kịch bản tính toán cho vùng nghiên cứu: Kịch bản mưa 5 ngày lớn nhất - tần suất 10%.

Về kịch bản biến đổi khí hậu, tác giả sử dụng kịch bản phát thải trung bình B2 là kịch bản được khuyến nghị cho các bộ, ngành, địa phương làm định hướng ban đầu để đánh giá ảnh hưởng của BĐKH. Mốc so sánh là thời kỳ nền – giai đoạn 1980-1999 để đánh giá ảnh hưởng của Biến đổi khí hậu và phát triển kinh tế xã hội đến khả năng cấp nước của hồ Yên Mỹ tại các giai đoạn 2020; 2050 trong tương lai.

Mức tăng nhiệt độ và mức thay đổi lượng mưa theo kịch bản phát thải trung bình B2 cho khu vực tỉnh Vĩnh Phúc được trình bày trong *bảng 1* (tính cho giai đoạn 2020 đến 2100) dưới đây.

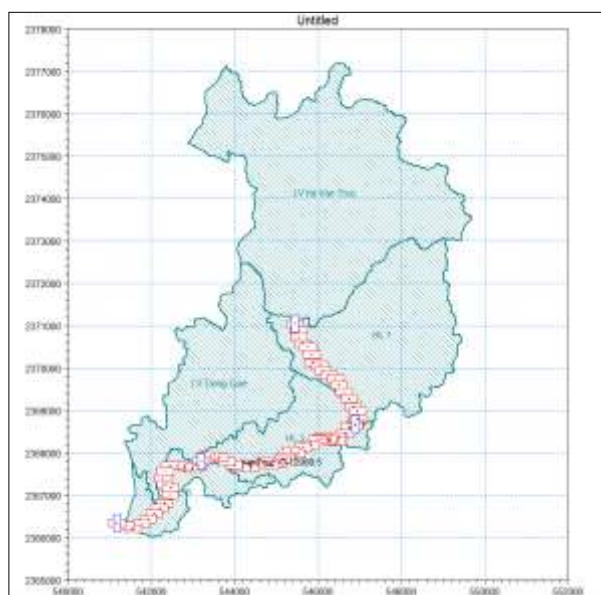
Bảng 1: Mức tăng nhiệt độ trung bình (°C) và mức thay đổi lượng mưa năm (%) so với thời kỳ 1980-1999 theo kịch bản B2

Thời kỳ trong năm	Nhiệt độ thay đổi				Tỷ lệ % lượng mưa thay đổi			
	2020	2050	2070	2100	2020	2050	2070	2100
XII - II	0,5	1,3	1,8	2,5	0,7	1,8	2,6	3,5
III – V	0,5	1,4	1,9	2,6	-1,0	-2,6	-3,6	-4,9
VI – VII	0,4	1,1	1,5	2,1	2,3	6,2	8,7	11,8
IX - XI	0,5	1,2	1,7	2,3	0,9	2,4	3,5	4,7

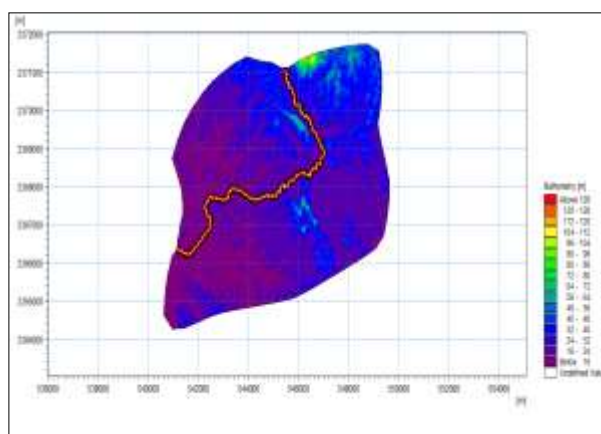
Bảng 2: Lượng mưa 05 ngày lớn nhất trạm Vĩnh Yên

XTB	X5maxP (mm)					
	0,2%	0,5%	1%	1,5%	5%	10%
201,3	780,2	652,9	561,7	510,5	369,3	296,6

Hồ chứa nước Vân Trục với nhiệm vụ chính là cấp đủ nước tưới, nước cho sinh hoạt, chăn nuôi, thủy sản và cải tạo môi trường, do đó trong các trường hợp tính toán điều tiết lũ hồ chứa, mực nước trước lũ của hồ ở cao trình mực nước dâng bình thường (+40,15 m). Các trường hợp tính toán điều tiết lũ nhằm mục đích xác định quy mô của công trình xả, quá trình lưu lượng xả qua đập để làm biên đầu vào cho mô hình thủy lực. Hồ Thiên Linh phía thượng nguồn khi xả lũ đổ vào trực tiêu Cầu Độ cũng là một điều kiện biên tính toán. Mô hình mô phỏng hạ du hồ Vân Trục đến nhập lưu sông Lô dài 12,07 km.



Hình 4: Mô hình một chiều MIKE 11



Hình 5: Mô hình MIKEFLOOD



Hình 6: Sơ đồ lưu vực tiêu



Hình 7: Bản đồ quy hoạch sử dụng đất

4. KẾT QUẢ VÀ BÀN LUẬN

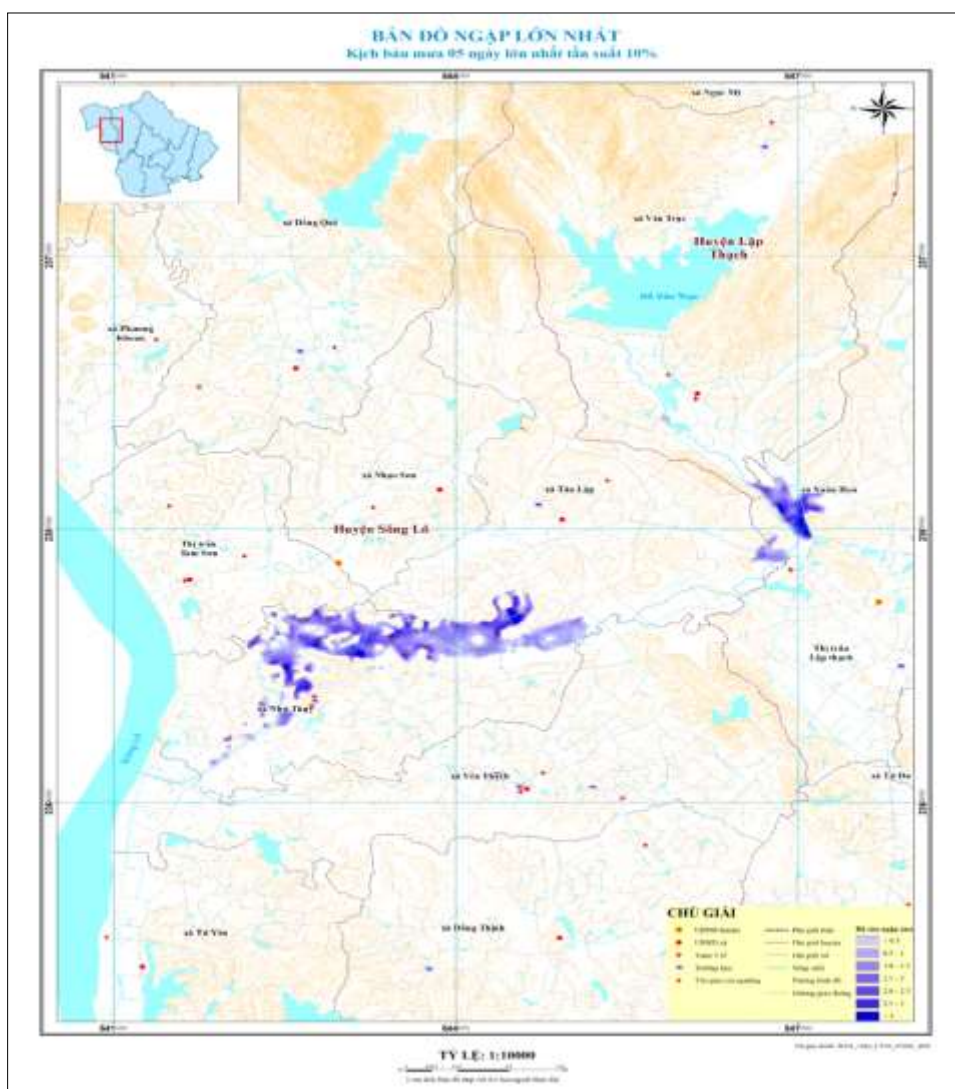
4.1. Kết quả tính toán

Trục kênh tiêu Cầu Độ không có trạm thủy văn quan trắc, do đó bộ thông số mô hình được hiệu chỉnh và kiểm định dựa trên vết lũ điều tra trận lũ 23/5 – 8/6/2022 và ảnh vệ tinh chụp từ 23/5 – 29/5. Kết quả tính toán hiệu chỉnh và kiểm định cho thấy vùng ngập tập trung tại xã

Như Thụy, xã Tân Lập – huyện Sông Lô. Mực nước ngập chủ yếu dưới 2 m, nguyên nhân chủ yếu là do mưa lớn gây ra, hệ thống kênh tiêu không tiêu thoát kịp. Đối chiếu và kiểm tra với các vết lũ năm 2022 thu thập được nhận thấy việc mô phỏng cho kết quả tương đối trùng khớp với thực tế về độ sâu ngập, sai số dao động từ 0,0 – 0,33 m. Đối chiếu, kiểm tra diện ngập từ ảnh vệ tinh ngày 24/5 – 29/5 hầu hết nằm trong diện ngập mô phỏng cả quá trình trận lũ từ 23/5 – 8/6/2022. Quá trình hiệu chỉnh và kiểm định với trận lũ năm 2022 cho kết quả tương đối tốt. Độ sâu ngập tại các vị trí điều tra về lũ chênh lệch không nhiều so với

kết quả tính toán của mô hình, về diện tích
ngập cũng tương đương so với ảnh viễn thám.

Kết quả mô phỏng kịch bản hiện trạng: Thời điểm mô phỏng kịch bản thì sau 27 tiếng thì nước trong kênh tràn ra khỏi bờ và bắt đầu gây ngập úng ven sông. Tổng diện tích ngập là 145,14 ha trong đó huyện Sông Lô có 122,93 ha ngập (chiếm 81,7% trên tổng diện tích ngập toàn vùng), huyện Lập Thạch có 22,21 ha ngập. Diện tích ngập tập trung chủ yếu ở 02 xã, 01 thị trấn thuộc huyện Lập Thạch, huyện Sông Lô có 02 xã và 01 thị trấn. Độ sâu ngập trên toàn vùng chủ yếu là dưới 2 m, vùng bị ngập có độ sâu trên 3 m chỉ chiếm 3,0%.



Hình 8: Bản đồ ngập lớn nhất với kịch bản mưa 05 ngày lớn nhất tần suất 10% có xét BĐKH

Như vậy có thể thấy nếu xét đến điều kiện biến đổi khí hậu và đô thị hóa như hiện nay thì việc ngập úng trong khu vực là thường xuyên, mức độ ngập úng lớn, thời gian ngập úng kéo dài. Nguyên nhân chính là lòng dẫn bị thu hẹp, mực nước sông Lô dâng cao trong lũ nên tốc độ tiêu tự chảy giảm.

4.2. Đề xuất giải pháp

Trước thực trạng đó, nghiên cứu đề xuất cải tạo, nạo vét lòng dẫn và cải tạo các công trình trên kênh như sau:

+ Từ K0+000 đến K0+980,26 bề rộng đáy kênh $B = 3,0\text{m}$; Từ K0+980,26 đến Km1+722,26 bề rộng đáy kênh $B = 5,0\text{m}$; Km1+722,26 đến Km2+462,16 bề rộng đáy kênh $B = 10,0\text{m}$ (do thực tế đoạn kênh hiện trạng bề rộng 10m, để giảm kinh phí đắp nền bề rộng giữ theo mặt cắt hiện trạng); Từ Km2+462,16 đến Km3+673,26 bề rộng đáy kênh $B = 5,5\text{m}$; Từ Km3+673,26 đến Km5+968,36 bề rộng đáy kênh $B = 6,0\text{m}$; Từ Km6+75,75 đến Km7+294,76 bề rộng đáy kênh $B = 6,5\text{m}$; kết cấu kênh đất với hệ số mái kênh $m = 1,75$.

+ Từ Km7+369,6 đến Km7+800,2; K7+825,3 đến K8+176,46 bề rộng đáy kênh $B = 7,0\text{m}$; bố trí gia cố đáy và mái kênh bằng bê tông cốt thép M200; hệ số mái kênh $m = 1,50$.

+ K8+176,46 đến K8+500 bề rộng đáy kênh $B = 12,0\text{m}$ gia cố 2 bên bằng tường chắn kết cấu bên tông cốt thép M250 cao 4m, trên tạo cơ 1,5m, gia cố mái bằng bê tông cốt thép M200.

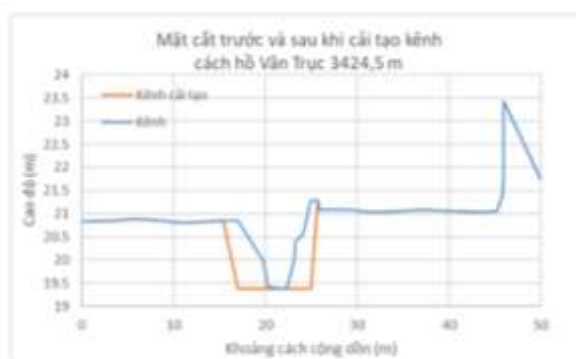
+ Một bên bờ kênh kết hợp đường giao thông phục vụ quản lý vận hành và canh tác nông nghiệp với bề rộng mặt bờ $B = 5,0\text{m}$; Với các vị trí bờ kênh kết hợp đường giao thông, bố trí gia cố mặt bờ bằng BTXM M250 dày 20cm, dưới là lớp cấp phối đá dăm dày 15cm.

+ Nâng cấp, cải tạo cống qua đường trên kênh tại các vị trí tuyến đường liên thôn cắt qua. Bao gồm 7 cống qua đường tại lý trình:

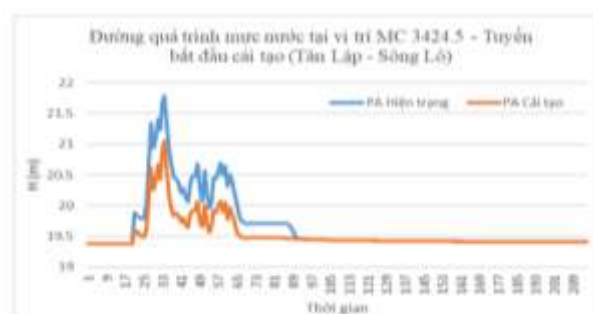
K1+373,76; Km2+747,1; Km2+795,6;
Km4+844,7; Km5+333,5; Km5+913,2;
Km8+27,46.

+ Cải tạo, nâng cấp các đập dâng trên trục tiêu, bao gồm 03 đập dâng: Đập Đồng Mộc K3+849,36, đập Đờ Rứa K5+66,86, đập Chằm Tôm K6+263,86.

+ Xây dựng 6 cống tiêu từ ruộng vào kênh K2+755,76; K3+934,86; K5+6,86; K6+165,76; K6+243,86; K7+98,36.

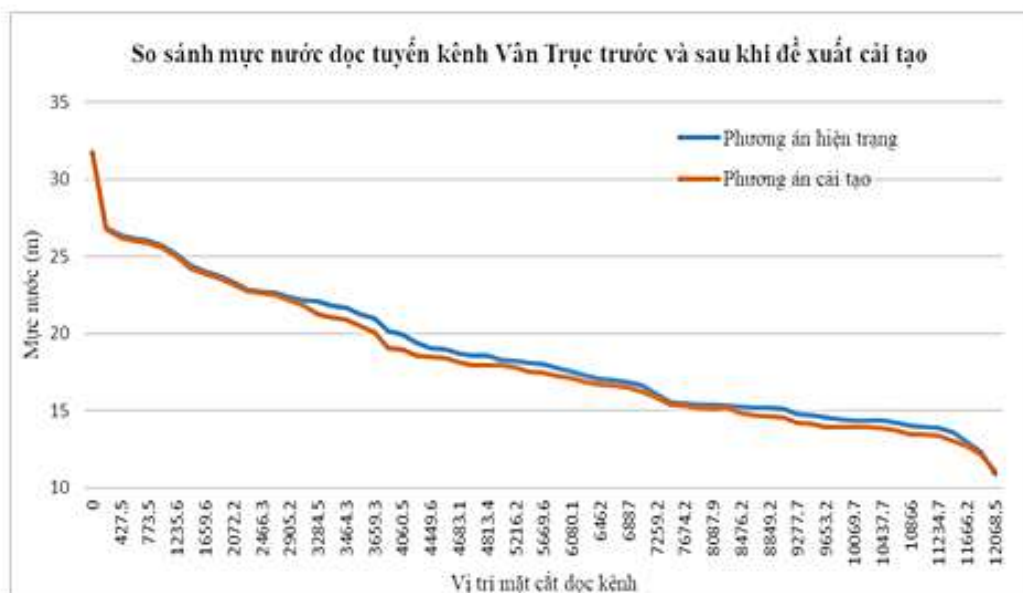


Hình 9: Mặt cắt kênh trục tiêu chính trước và sau cải tạo



Hình 10: Đường mực nước, vị trí cách hồ Vân Trục 3424,5 m

Sau khi cải tạo tuyến kênh và công trình thì khả năng thoát lũ trên sông là nhanh hơn rất nhiều, mực nước lớn nhất dọc tuyến kênh giảm đi rõ rệt, vị trí bắt đầu cải tạo kênh (cách hồ 3424,5 m) giảm 0,728 m. Vị trí mực nước giảm lớn nhất là 1,089 m (so với mực nước phương án hiện trạng) tại vị trí cách hồ Vân Trục số 3863,6 m các đoạn vị trí đoạn kênh bắt đầu cải tạo là 439 m về phía hạ du.



Hình 11: So sánh mực nước dọc tuyến kênh tiêu Vân Trục

Với phương án cải tạo đề xuất thì diện tích ngập giảm 43,09 ha so với hiện trạng, trong đó diện tích ngập ở độ sâu trên 3 m giảm 2,55 ha.

Số xã bị ảnh hưởng bởi ngập lụt giảm 01 xã và diện tích đất khu dân cư giảm 8,03 ha, đất nông nghiệp là 32,02 ha.

Bảng 3: Chênh lệch thống kê thiệt hại trước và sau cải tạo kênh

Phương án	Số xã ngập	Diện tích đất bị ngập (ha)		
		Tổng	Đất khu dân cư	Đất nông nghiệp
Hiện trạng	6	145,14	13,28	124,96
Cải tạo	5	102,05	5,25	92,94
Chênh lệch	1	43,09	8,03	32,02

5. KẾT LUẬN

Bài báo tập trung đánh giá ảnh hưởng của biến đổi khí hậu và đô thị hóa đến tình trạng ngập úng của hệ thống trục tiêu Cầu Độ và đề xuất giải pháp cải tạo lòng dẫn nhằm giảm thiểu mức độ ngập úng và thiệt hại cho khu vực. Kết quả cho thấy dưới ảnh hưởng của BĐKH và đô thị hóa hiện tại khu vực tiêu bị ảnh hưởng sẽ ngày càng lớn (diện tích ngập lên đến 6 xã với 145,14 ha, thời gian ngập sâu kéo dài trên 40 giờ). Vì vậy, trước mắt cần sớm có giải pháp nhằm cải tạo lòng dẫn và các công trình trên hệ thống để đảm

bảo tiêu thoát lũ cho lưu vực. Với phương án cải tạo mực nước trong kênh giảm đáng kể từ 0 – 1,089 m, đơn vị hành chính giảm 1 xã, diện tích ngập giảm 43,09 ha (trong đó diện tích khu dân cư giảm 8,03 ha, đất nông nghiệp giảm 32,02 ha) và nước lũ rút nhanh hơn và ít vùng bị chịu tác động do mưa lũ gây ra so với hiện trạng.

Tuy nhiên, do trục tiêu chịu ảnh hưởng của mực nước trên sông Lô nên về lâu dài cần đầu tư xây dựng trạm bơm Cầu Độ để chủ động tiêu úng trong trường hợp nước sông Lô dâng cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ Tài nguyên và Môi Trường, (2012), *Kịch bản biến đổi khí hậu, nước biển dâng, Hà Nội.*
- [2] Trường Đại học Thủy Lợi, (2000), *Giáo trình thủy văn công trình, NXB Nông Nghiệp, Hà Nội.*
- [3] Phòng NN&PTNT huyện Sông Lô (2016), *Báo cáo tình hình thiệt hại do mưa lũ năm 2016 huyện Sông Lô, tỉnh Vĩnh Phúc.*
- [4] Phòng NN&PTNT huyện Lập Thạch (2016), *Báo cáo tình hình thiệt hại do mưa lũ năm 2016 huyện Lập Thạch, tỉnh Vĩnh Phúc.*
- [5] UBND tỉnh Vĩnh Phúc, (2012), *Quyết định 2358/QĐ-UBND ngày 20/09/2012, về việc phê duyệt Quy hoạch xây dựng vùng tỉnh Vĩnh Phúc đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050.*
- [6] UBND tỉnh Vĩnh Phúc, (2014), *Quyết định 2286/QĐ-UBND ngày 22/8/2014, về việc Phê duyệt đồ án quy hoạch xây dựng vùng phía tây đô thị Vĩnh Phúc, tỉnh Vĩnh Phúc đến năm 2030 và tầm nhìn đến 2050, trong đó có huyện Sông Lô và Lập Thạch.*
- [7] UBND tỉnh Vĩnh Phúc, (2023), *Quyết định 655/QĐ-UBND ngày 24/3/2023 Phê duyệt Đề án Khai thác tổng hợp hồ chứa nước Vân Trục, xã Vân Trục, huyện Lập Thạch và hồ chứa nước Bò Lạc, xã Đồng Quế, huyện Sông Lô, tỉnh Vĩnh Phúc.*
- [8] Denmark Hydraulic Institute (DHI) (2014), *MIKE 11 User Manual.*
- [9] Denmark Hydraulic Institute (DHI) (2014), *MIKEFLOOD User Manual, 36 pp.*