

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT

VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI VIỆT NAM

ĐỖ NGỌC ÁNH

**NGHIÊN CỨU MỘT SỐ ĐẶC TRƯNG
THỦY LỰC Ở ĐẬP TRÀN THỰC DỤNG
CÓ TƯỜNG NGỰC BIÊN CONG**

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

CHUYÊN NGÀNH: KỸ THUẬT XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH THỦY

HÀ NỘI, NĂM 2017

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT

VIỆN KHOA HỌC THỦY LỢI VIỆT NAM

ĐỖ NGỌC ÁNH

**NGHIÊN CỨU MỘT SỐ ĐẶC TRƯNG
THỦY LỰC Ở ĐẬP TRÀN THỰC DỤNG
CÓ TƯỜNG NGỰC BIÊN CÔNG**

CHUYÊN NGÀNH: KỸ THUẬT XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH THỦY

MÃ SỐ: 62-58-02-02

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

1: PGS.TS. NGUYỄN DANH OANH

2: PGS.TS. LÊ VĂN NGHỊ

HÀ NỘI, NĂM 2017

LỜI CAM ĐOAN

Tôi xin cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi, các kết quả nghiên cứu được trình bày trong luận án là trung thực, khách quan và chưa từng được bảo vệ ở bất kỳ học vị nào.

Hà Nội, ngày tháng năm 2017

Tác giả luận án

Đỗ Ngọc Ánh

LỜI CẢM ƠN

Quá trình thực hiện luận án, tác giả nhận được sự quan tâm, giúp đỡ rất lớn của cơ quan đào tạo là Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.

Tác giả xin chân thành cảm ơn sự giúp đỡ của các thầy giáo hướng dẫn trực tiếp là PGS.TS Nguyễn Danh Oanh, PGS.TS Lê Văn Nghị, các nhà khoa học, các thầy cô giáo đã góp nhiều ý kiến quý báu cho luận án.

Xin cảm ơn sự giúp đỡ của Viện Thủy điện và Năng lượng tái tạo, Viện Năng lượng, Trung tâm Nghiên cứu Thủy lực cùng các cán bộ, nhân viên và các nhà khoa học, đồng nghiệp.

Xin cảm ơn sự giúp đỡ của các nhà khoa học: PGS.TS Trần Quốc Thương, Th.S Phạm Anh Tuấn, Th.S Nguyễn Việt Hùng, KS Bùi Hữu Anh Tuấn và các cộng sự đã hỗ trợ nghiên cứu sinh thực nghiệm mô hình thủy lực.

Đặc biệt xin cảm ơn gia đình, bạn bè và đồng nghiệp đã luôn bên cạnh động viên, khuyến khích tôi hoàn thành luận án này.

Tác giả luận án

Đỗ Ngọc Ánh

MỤC LỤC

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU CHỦ YẾU VÀ TỪ VIẾT TẮT	vi
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ.....	viii
DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU	xii
DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH	xiv
MỞ ĐẦU.....	1
CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN VỀ ĐẬP TRÀN CÓ TƯỜNG NGỰC BIÊN CONG	5
1.1 Khái quát chung về đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong.....	5
1.1.1 Cấu tạo đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong.....	5
1.1.2 Một số ứng dụng của đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong.....	7
1.1.3 Đặc điểm dòng chảy qua đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong	10
1.2 Các kết quả nghiên cứu về đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong.....	10
1.2.1 Kết quả nghiên cứu về hình dạng đường cong đập tràn.....	10
1.2.2 Tính lưu lượng.....	13
1.3 Các kết quả nghiên cứu về đập tràn thực dụng hình cong.....	14
1.3.1 Cấu tạo mặt tràn thực dụng hình cong.....	14
1.3.2 Kết quả nghiên cứu thực nghiệm về đập tràn thực dụng hình cong.....	15
1.3.3 Kết quả nghiên cứu lý thuyết về đập tràn thực dụng hình cong.....	19
1.4 Các kết quả nghiên cứu về công trình tháo xả sâu, xả mặt kết hợp xả sâu.....	25
1.1.1 Công trình tháo xả sâu (công, tuynel, lỗ xả sâu).....	25
1.4.2 Xả mặt kết hợp xả sâu.....	27
1.4.3 Chảy dưới cửa van.....	29
1.5 Những vấn đề tồn tại.....	30
1.6 Kết luận chương 1.....	31

CHƯƠNG 2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU CÁC ĐẶC TRƯNG THỦY LỰC Ở ĐẬP TRÀN THỰC DỤNG CÓ TƯỜNG NGỰC.....	32
2.1 Phương pháp xác định chế độ dòng chảy.....	32
2.1.1 Phân tích một số dạng đường cong mặt đập tràn.....	32
2.1.2 Phương pháp xác định chế độ dòng chảy ở đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong.....	33
2.2 Phương pháp nghiên cứu mô hình thủy lực.....	34
2.2.1 Tiêu chuẩn tương tự thủy động lực học.....	34
2.2.2 Xây dựng phương trình nghiên cứu thực nghiệm.....	37
2.3 Mô hình nghiên cứu.....	39
2.3.1 Thiết kế và lắp đặt mô hình.....	39
2.3.2 Mô hình mặt cắt dạng Creager-Ophixerop.....	41
2.3.3 Mô hình mặt cắt dạng WES.....	45
2.3.4 Tính đại diện của các mô hình nghiên cứu thực nghiệm.....	51
2.3.5 Kiểm định mô hình nghiên cứu.....	51
2.4 Phương pháp quy hoạch thực nghiệm và xây dựng hàm hồi quy.....	57
2.4.1 Xác định cấu trúc hệ	57
2.4.2 Xác định các hàm toán mô tả hệ	58
2.4.3 Các thông số đánh giá độ phù hợp của mô hình hồi quy	59
2.4.4 Kiểm định công thức thực nghiệm được xây dựng từ mô hình hồi quy	60
2.5 Kết luận chương 2.....	61
CHƯƠNG 3 KẾT QUẢ VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH MỘT SỐ ĐẶC TRƯNG THỦY LỰC CỦA ĐẬP TRÀN CÓ TƯỜNG NGỰC BIÊN CONG.....	63
3.1 Kết quả và đánh giá kết quả thực nghiệm	63
3.1.1 Kết quả xác định giới hạn chế độ chảy	63
3.1.2 Kết quả và đánh giá kết quả thí nghiệm khả năng tháo, hệ số lưu lượng.....	67
3.1.3 Kết quả và đánh giá kết quả thí nghiệm đường mặt nước.....	71
3.1.4 Kết quả và đánh giá kết quả thí nghiệm vận tốc dòng chảy.....	74

3.1.5	Kết quả và đánh giá kết quả thí nghiệm phân bố áp suất trên đập tràn..	76
3.2	Xác định một số đặc trưng thủy lực của đập tràn thực dụng có tường ngực.....	81
3.2.1	Xây dựng công thức tính hệ số lưu lượng.....	81
3.2.2	Xác định đường mặt nước và vận tốc dòng chảy.....	87
3.2.3	Xác định quy luật phân bố áp suất trên mặt tràn.....	91
3.2.4	Xác định áp suất trên tường ngực.....	93
3.3	Kết luận chương 3.....	97
CHƯƠNG 4 QUY TRÌNH TÍNH TOÁN THỦY LỰC CỦA ĐẬP TRÀN THỰC DỤNG CÓ TƯỜNG NGỰC BIÊN CONG		99
4.1	Quy trình tính toán đặc trưng thủy lực ở đập tràn có tường ngực biên cong.....	99
4.1.1	Lựa chọn kích thước công trình.....	99
4.1.2	Tính kiểm tra khả năng tháo.....	100
4.1.3	Tính toán đường mặt nước, vận tốc.....	100
4.1.4	Xác định áp suất lên mặt tràn, tường ngực.....	101
4.1.5	Sơ đồ khối.....	101
4.2	Ví dụ áp dụng tính toán.....	103
4.2.1	Nhiệm vụ thiết kế.....	103
4.2.2	Lựa chọn kích thước công trình.....	105
4.2.3	Tính kiểm tra khả năng xả và xác định chế độ chảy.....	106
4.2.4	Tính đường mặt nước, vận tốc.....	107
4.2.5	Xác định áp suất trên mặt tràn, tường ngực.....	109
4.3	Kết luận chương 4.....	113
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ.....		114
DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ.....		117
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....		118

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU CHỦ YẾU VÀ TỪ VIẾT TẮT

a	Độ mở cửa van (m)
B	Chiều rộng đập tràn (m)
b	Chiều rộng một khoang tràn (m)
C	Hệ số lưu lượng theo cách tính của Anh, Mỹ
CFD	Phần mềm tính toán động lực học chất lỏng
C_p	Hệ số giảm áp suất
D	Chiều cao lỗ xả (m)
D_1	Chiều cao cửa vào lỗ xả (m)
Fr	Số Froude
g	Gia tốc trọng trường
H, H_0	Cột nước trên đỉnh tràn, cột nước tràn có kể tới cột nước lưu tốc tới gần (m)
H_d	Cột nước thiết kế mặt tràn (m)
H_e	Cột nước tác dụng (m)
H_i	Độ sâu của điểm thứ i tính từ mực nước thượng lưu
h_p	Cột nước đo áp (m)
h_n	Chiều sâu nước ngập đỉnh tràn (m)
h_i	Chiều sâu dòng chảy tại mặt cắt tính toán (m)
$h_1 h_2$	Chiều sâu nước ở thượng, hạ lưu đập (m)
k_e	Tỷ lệ giữa bán trục lớn và bán trục nhỏ của elip
m	Hệ số lưu lượng đập tràn chảy hở
MNDBT	Mực nước dâng bình thường (m)
MNGC	Mực nước dâng gia cường (m)
MNC	Mực nước chết (m)
MNLKT	Mực nước lũ kiểm tra (m)
MNLTK	Mực nước lũ thiết kế (m)
MNTL	Mực nước thượng lưu (m)
P	Chiều cao đập tràn so với thượng lưu (m)
PL	Phụ lục
Q, q	Lưu lượng và lưu lượng đơn vị lượng (m^3/s , $m^3/s.m$)
q_m , q_n	Lưu lượng đơn vị trong mô hình, trong nguyên hình (m^2/s)
R	Bán kính cong của mũi phun (m)
Re , Re_{gh} , Re_m	Số Reynolds, số Reynolds giới hạn, số Reynolds ở trong mô hình
S	Hệ số tương quan bội
SSR	Tổng bình phương hồi quy, là đại lượng biến động của y

SST	Tổng biến động của biến phụ thuộc y
SSE	Phần biến động còn lại hay còn gọi là số dư của biến y
T_{oi}	Khoảng cách từ mực nước thượng lưu đến mặt phẳng so sánh (m)
V	Lưu tốc (m/s)
V_i	Lưu tốc dòng chảy tại mặt cắt tính toán (m/s)
V_0	Lưu tốc tiến gần bằng lưu tốc trung bình ở thượng lưu (m/s)
X_i	Tọa độ mặt tràn tại điểm i theo phương X
Y_i	Tọa độ mặt tràn tại điểm i theo phương Y
Z	Độ chênh mực nước thượng, hạ lưu (m)
Z_{ng}	Cao trình đỉnh ngưỡng tràn (m)
Z_{tl}, Z_{hl}	Cao trình mực nước thượng lưu, hạ lưu (m)
ω	Diện tích mặt cắt lỗ (m ²)
WES	Waterways Experiment Station
φ	Hệ số lưu tốc
μ	Hệ số lưu lượng khi đập tràn chảy có áp
ε	Hệ số co hẹp
ξ	Hệ số tổn thất
$\lambda_L, \lambda_v, \lambda_H, \lambda_k, \lambda_Q$	Tỷ lệ hình học, vận tốc, chiều cao, nhám, lưu lượng
ρ	Khối lượng riêng của nước
θ	Góc hợp bởi tiếp tuyến của mặt đập với phương ngang tại điểm xem xét
υ	Hệ số nhót động học
γ	Trọng lượng riêng hoặc trọng lượng đơn vị
σ_n	Hệ số ngập
λ_i	Hệ số sức cản dọc đường
η	Hệ số nhót động lực học

DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ

Hình 1.1 Sơ đồ đập tràn có tường tường ngực.....	6
Hình 1.2 Sơ đồ xác định kích thước đập.....	6
Hình 1.3 Đường cong dưới tường ngực.....	6
Hình 1.4 Mặt cắt đập tràn thủy điện Sơn La Việt Nam [14].....	8
Hình 1.5 Mặt cắt đập tràn Thana Plaun- Ấn Độ [47].....	8
Hình 1.6 Mặt bằng công trình Thana Plaun- Ấn Độ [47].....	8
Hình 1.7 Mặt cắt đập Muskrat Falls-Canada.....	10
Hình 1.8 Mặt cắt đập tràn Mangla-Iran [39].....	10
Hình 1.9 Hình dạng mặt tràn có tường ngực ở Ấn Độ.....	11
Hình 1.10 So sánh tiêu chuẩn năm 1973 và tiêu chuẩn năm 2010 của Ấn Độ....	11
Hình 1.11 Mặt cắt đập tràn dạng Creager-Ophixerop.....	14
Hình 1.12 Mặt cắt đập tràn dạng WES có ba bán kính cong R_1 , R_2 và R_3 [45]....	14
Hình 1.13 So sánh frophin mặt tràn theo hai dạng Creager –Ophixerop và WES[8]	14
Hình 1.14 So sánh hệ số lưu lượng đập tràn dạng Creager - Ophixerop và dạng WES [8].....	16
Hình 1.15 Phân bố áp suất trên mặt tràn không có trụ pin [12].....	16
Hình 1.16 So sánh kết quả hệ số lưu lượng thí nghiệm và đập tràn chuẩn dạng Creager-Ophixerop [8].....	16
Hình 1.17 So sánh kết quả hệ số lưu lượng thí nghiệm và đập tràn chuẩn dạng WES [8].....	17
Hình 1.18 Phân bố áp suất trên mặt tràn Tuyên Quang [14].....	17
Hình 1.19 Phân bố áp suất trên mặt tràn Sê San 3 [8].....	18
Hình 1.20 Phân bố áp suất trên mặt tràn Sê San 4 [8].....	18
Hình 1.21 Phân bố áp suất trên mặt tràn Sông Tranh 2 [15].....	18
Hình 1.22 Phân bố áp suất trên mặt tràn Sơn La [8], [14].....	19
Hình 1.23 Sơ đồ tính đường mặt nước và vận tốc.....	20
Hình 1.24 Quan hệ giữa hệ số lưu tốc φ trên mặt tràn với lưu lượng đơn vị q và khoảng cách l theo mặt đập kể từ đỉnh đập đến mặt cắt tính toán.....	20

Hình 1.25 Sơ đồ và kết quả tính toán bài toán dòng thế	22
Hình 1.26 Sơ đồ bài toán theo [49]	23
Hình 1.27 Sơ đồ xác định lưu lượng ở tuynel có áp	25
Hình 1.28 Sơ đồ xác định áp suất và hệ số giảm áp C_p ở cửa vào [51], [52]	26
Hình 1.29 Kết quả xác định C_p đối với đường viền tròn [51], [52]	26
Hình 1.30 Hệ số C_{pmax} ở cửa vào phẳng [51], [52]	27
Hình 1.31 Vùng tách dòng phụ thuộc C_{pmax} và hệ số lưu lượng μ [7], [51], [52]	27
Hình 1.32 Khả năng tháo theo lý thuyết và thí nghiệm đập tràn thủy điện Hòa Bình [8], [14].....	28
Hình 1.33 Khả năng tháo theo lý thuyết và thí nghiệm đập tràn thủy điện Tuyên Quang [8], [14].....	28
Hình 1.34 Khả năng tháo theo thí nghiệm của đập tràn thủy điện Sơn La [8], [14]	28
Hình 1.35 Sơ đồ dòng chảy dưới cửa van trên đỉnh đập.....	29
Hình 1.36 Đường cong xác định hệ số μ , khi độ mở a khác nhau [8]	30
Hình 2.1 So sánh tọa độ các dạng mặt tràn	32
Hình 2.2 Đường mặt nước tự do trên mặt tràn với các tỉ lệ H/H_d	34
Hình 2.3 Sơ đồ bố trí mô hình thí nghiệm 1	42
Hình 2.4 Mặt bằng bố trí mô hình 4.....	46
Hình 2.5 Mặt bằng một khoang tràn và trụ pin.....	47
Hình 2.6 Bố trí thiết bị đo mô hình 2, mô hình 4.....	47
Hình 2.7 Đường mặt nước chảy hở, mô hình 2.....	52
Hình 2.8 So sánh kết quả thí nghiệm và kết quả lý thuyết đường mặt nước chảy hở	52
Hình 2.9 So sánh kết quả thí nghiệm ở mô hình 2 và mô hình 4, $H=17,2$ m	54
Hình 2.10 So sánh kết quả thí nghiệm ở mô hình 2 và mô hình 4, $H=19,05$ m	54
Hình 2.11 Phân bố áp suất tuyến giữa chảy không áp mô hình 2	55
Hình 2.12 Phân bố áp suất xây dựng theo WES [31]	56
Hình 2.13 So sánh phân bố áp suất xây dựng theo WES và thí nghiệm.....	56

Hình 2.14 Sơ đồ đối tượng nghiên cứu thực nghiệm theo mô hình thống kê.....	57
Hình 2.15 Sơ đồ phương pháp Holdout	61
Hình 3.1 Kết quả thí nghiệm xác định chế độ chảy mô hình 1, D=5m.....	65
Hình 3.2 Kết quả thí nghiệm xác định chế độ chảy mô hình 2.....	65
Hình 3.3 Kết quả thí nghiệm xác định chế độ chảy mô hình 3.....	65
Hình 3.4 Kết quả thí nghiệm xác định chế độ chảy mô hình 4.....	65
Hình 3.5 Đồ thị xác định khả năng tháo	68
Hình 3.6 Đồ thị xác định hệ số lưu lượng μ	69
Hình 3.7 Đường mặt nước chế độ chảy có áp mô hình 1.....	72
Hình 3.8 Đường mặt nước chảy có áp , mô hình 2	73
Hình 3.9 Đường mặt nước chảy có áp, mô hình 3	73
Hình 3.10 Đường mặt nước khi chảy có áp trên mô hình 4.....	73
Hình 3.11 Đồ thị phân bố vận tốc ở mô hình 1, D=5m	74
Hình 3.12 Đồ thị phân bố vận tốc ở mô hình 1, D=6m	74
Hình 3.13 Đồ thị phân bố vận tốc ở mô hình 1, D=7m	75
Hình 3.14 Đồ thị phân bố vận tốc ở mô hình 1, D=8m	75
Hình 3.15 Đồ thị phân bố vận tốc mô hình 2.....	75
Hình 3.16 Đồ thị phân bố vận tốc mô hình 4.....	75
Hình 3.17 Đồ thị so sánh phân bố vận tốc ở mô hình 2 và mô hình 4.....	76
Hình 3.18 Cao độ đường đo áp tuyến giữa khi chảy có áp ở mô hình 1, D=5m .	77
Hình 3.19 Cao độ đường đo áp tuyến giữa khi chảy có áp ở mô hình 1, D=6m .	77
Hình 3.20 Cao độ đường đo áp tuyến giữa khi chảy có áp ở mô hình 1, D=7m .	77
Hình 3.21 Cao độ đường đo áp tuyến giữa khi chảy có áp ở mô hình 1, D=8m .	77
Hình 3.22 Cao độ đường đo áp tuyến giữa khi chảy có áp mô hình 2.....	78
Hình 3.23 Cao độ đường đo áp tuyến sát trụ pin khi chảy có áp mô hình 2.....	78
Hình 3.24 Cao độ đường đo áp tuyến giữa mặt tràn ở mô hình 3.....	79
Hình 3.25 Cao độ đường đo áp tuyến giữa mặt tràn khi chảy có áp ở mô hình 4	79
Hình 3.26 Cao độ đường đo áp trên tường ngược ở mô hình 1, D=5 m.....	80
Hình 3.27 Cao độ đường đo áp trên tường ngược ở mô hình 1, D=6 m.....	80

Hình 3.28 Cao độ đường đo áp trên tường ngực ở mô hình 1, $D=7$ m	80
Hình 3.29 Cao độ đường đo áp trên tường ngực ở mô hình 1, $D=8$ m	80
Hình 3.30 Cao độ đường đo áp trên tường ngực ở đoạn có áp mô hình 2, 4.....	81
Hình 3.31 Cao độ đường đo áp trên tường ngực và mặt tràn ở đoạn có áp mô hình 3	81
Hình 3.32 Quan hệ giữa hệ số lưu lượng μ và tỉ số H/D	86
Hình 3.33 Đồ thị xác định hệ số lưu tốc $\varphi=f(X)$	88
Hình 3.34 Tọa độ đường mặt nước biểu diễn theo dạng hàm $Y/D=f(X/D, H/D)$ mặt tràn dạng WES	89
Hình 3.35 Tọa độ mặt nước biểu diễn theo dạng hàm $Y/D=f(X/D, H/D)$ mặt tràn dạng Creager-Ophixerop.....	91
Hình 3.36 Áp suất $h_p/H_d = f(X/H_d, H/H_d)$ mặt tràn Creager-Ophixerop.....	92
Hình 3.37 Áp suất $h_p/D = f(X/D, H/D)$ mặt tràn Creager-Ophixerop.....	92
Hình 3.38 Phân bố áp suất $h_p/H_d = f(H/H_d, X/H_d)$ tuyến giữa khi chảy có áp, mặt tràn WES	93
Hình 3.39 Phân bố áp suất $h_p/D = f(H/D, X/D)$ tuyến giữa khi chảy có áp, mặt tràn WES	93
Hình 4.1 Sơ đồ tính toán thủy lực đập tràn có tường ngực.....	102
Hình 4.2 Sơ đồ tính toán	106
Hình 4.3 Chi tiết đầu tràn Bản Lãi	106
Hình 4.4 Đường quá trình xả lũ qua đập tràn hồ chứa Bản Lãi.....	107
Hình 4.5 Đường mặt nước trên mặt tràn ứng với các trường hợp chảy có áp ...	108
Hình 4.6 Phân bố áp suất trên mặt tràn Bản Lãi ứng với các mực nước thượng lưu theo quan hệ $h_p/D=f(X/D, H/D)$	110
Hình 4.7 Phân bố áp suất thực trên mặt tràn Bản Lãi ứng với các mực nước thượng lưu.....	110
Hình 4.8 Đường đo áp trên mặt cắt đập tràn.....	111

DANH MỤC CÁC BẢNG BIỂU

Bảng 1.1 Một số ứng dụng đập tràn có tường ngực ở Ấn Độ [29]	9
Bảng 1.2 Hệ số lưu lượng μ trong công thức (1.11)	13
Bảng 2.1 Các mô hình thực nghiệm.....	41
Bảng 2.2 Thông số đường cong dưới tường ngực ở mô hình 1	42
Bảng 2.3 Các trường hợp thí nghiệm ở mô hình 1	43
Bảng 2.4 Các trường hợp thí nghiệm ở mô hình 2, 3, 4.....	49
Bảng 2.5 So sánh hệ số lưu lượng thí nghiệm trường hợp chảy hở.....	51
Bảng 2.6 Đánh giá giá sai số giữa kết quả thí nghiệm và tính toán.....	53
Bảng 2.7 So sánh kết quả thí nghiệm đường mặt nước giữa các mô hình.....	54
Bảng 2.8 Kết quả thí nghiệm áp suất tuyến giữa khoang ở mô hình 2	55
Bảng 2.9 So sánh kết quả thí nghiệm và tính toán khi chảy không áp với $H/H_d=0,5$ và $0,75$	56
Bảng 3.1 Bảng kết quả thí nghiệm xác định chế độ chảy	64
Bảng 3.2 Kết quả thí nghiệm lưu lượng.....	67
Bảng 3.3 So sánh hệ số lưu lượng thí nghiệm với công thức (1.11).....	70
Bảng 3.4 Số liệu thí nghiệm và tính toán hệ số lưu lượng μ	83
Bảng 3.5 Tham số tương quan và hệ số hàm thực nghiệm về hệ số lưu lượng ...	85
Bảng 3.6 So sánh kết quả tính toán hệ số lưu lượng theo công thức 3.7 với thực tế	87
Bảng 3.7 Tọa độ đường mặt nước $Y/D=f(X/D, H/D)$ mặt tràn dạng WES	88
Bảng 3.8 Tọa độ mặt nước không thứ nguyên $Y/D=f(X/D, H/D)$ mặt tràn dạng Creager-Ophixerop	90
Bảng 3.9 Kết quả tính hệ số giảm áp C_p dưới tường ngực mặt tràn WES.....	94
Bảng 3.10 Kết quả tính hệ số giảm áp C_p dưới tường ngực đập mặt cắt Creager- Ophixerop.....	95

Bảng 4.1 Thông số kỹ thuật Dự án Hồ chứa nước Bản Lải theo điều chỉnh TKCS	104
Bảng 4.2 Kết quả tính toán lưu lượng xả qua tràn hồ chứa Bản Lải.....	106
Bảng 4.3 Bảng tính vận tốc trên mặt tràn ứng với các trường hợp chảy có áp..	108
Bảng 4.4 Áp suất trên mặt tràn Bản Lải theo quan hệ $h_p/D=f(X/D, H/D)$	109
Bảng 4.5 Áp suất thực trên mặt tràn	109
Bảng 4.6 Kết quả tính áp suất dư lên tường ngực đập tràn Bản Lải	111
Bảng 4.7 Bảng so sánh kết quả tính toán của luận án và phương án dự kiến điều chỉnh	112

DANH MỤC CÁC HÌNH ẢNH

Ảnh 2.1 Cửa vào ngưỡng tràn mô hình 1	44
Ảnh 2.2 Bố trí đầu đo trên tường ngực mô hình 1	44
Ảnh 2.3 Dòng chảy ở hạ lưu mô hình 1 nhìn từ thượng lưu xuống.....	44
Ảnh 2.4 Ảnh dòng chảy trên mặt tràn nhìn từ hạ lưu mô hình 1	44
Ảnh 2.5 Thiết bị đo lưu tốc	44
Ảnh 2.6 Máng lường đo lưu lượng	44
Ảnh 2.7 Ảnh mô hình 4.....	48
Ảnh 2.8 Phần vào của công trình xả mặt mô hình 4, nhìn từ phía thượng lưu ở H=17,2m và tại khe van thượng lưu	48
Ảnh 2.9 Dạng đường mặt nước trên tuyến xả mặt khi mức nước thượng lưu H=7,2m (a) và H=30,27m (b)	48
Ảnh 3.1 Một số hình ảnh về chế độ chảy ở các mô hình thí nghiệm.....	66

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài luận án

Đập tràn có vai trò quan trọng hàng đầu trong đầu mối công trình thủy lợi, thủy điện, và liên tục được nghiên cứu, phát triển hoàn thiện cùng với trình độ phát triển của khoa học, công nghệ để đáp ứng yêu cầu thực tiễn sử dụng. Đập tràn thực dụng hình cong được sử dụng phổ biến nhất ở các công trình thủy lợi, thủy điện vừa và lớn với hai dạng mặt cắt thông dụng là mặt cắt Creager – Ophixerop [2], [12] và dạng WES [12], [25], [31], [45], [48].

Kết quả nghiên cứu với các loại đập tràn thực dụng hình cong đã xây dựng được các công thức, đồ thị, bảng biểu lựa chọn hình dạng hình học, khả năng tháo, đường mặt nước, vận tốc và áp suất [2], [12], [17], [18], [25], [31], [35], [45], [48], [50], [51]. Các tài liệu công bố này về cơ bản có thể sử dụng cho thiết kế, còn với công trình cụ thể, quan trọng vẫn cần thiết nghiên cứu thực nghiệm để kiểm chứng và tối ưu hoá.

Trên thế giới cũng như ở Việt Nam tiêu chuẩn thiết kế đang thay đổi theo hướng ngày một yêu cầu cao hơn khi xét đến những rủi ro sự cố với hạ lưu. Ở Việt Nam phần lớn các công trình đang hoạt động được thiết kế theo tiêu chuẩn cũ, nay do yêu cầu tính toán cập nhật lại theo QCVN 04-05:2012 và tính đến ảnh hưởng của biến đổi khí hậu, thời tiết cực đoan thì hầu hết lưu lượng lũ thiết kế và kiểm tra đều cao hơn tính toán trước đây [9], lưu lượng thiết kế có thể tăng khoảng 2÷3% và 8÷10% vào các năm 2020 và 2099 [11], [16].

Đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong đã được ứng dụng trên thế giới [29], [30], [34], [35] [37], [45], [47] và ở Việt Nam [8], [14]. Loại đập tràn này có những ưu điểm như cho phép làm việc ở mức nước hồ lớn hơn, tăng dung tích phòng lũ, tháo lũ hồ chứa ở mức nước thấp, tối ưu hóa kích thước cửa van và thiết bị cơ khí, giảm giá thành xây dựng. Chúng có phạm vi ứng dụng rộng rãi với tất cả các loại đập tràn xây dựng mới, sửa chữa nâng cao an toàn và các hồ chứa có yêu cầu phòng lũ.

Đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong có những ưu điểm và có khả năng ứng dụng rộng rãi nhưng kết quả nghiên cứu còn hạn chế, nếu có cũng chỉ đề cập đến kích thước hình học, tính khả năng tháo hoặc giới thiệu một công trình cụ thể. Ở Việt

Nam, có trên 7000 hồ đập với dung tích trên 37 tỷ m³ (có 675 đập lớn)¹ trong đó có nhiều công trình cần sửa chữa nâng cấp và tương lai cần xây dựng những công trình phòng lũ có thể ứng dụng đập tràn có tường ngực biên cong nhưng chưa có công trình khoa học nào nghiên cứu về chế độ thủy lực cho loại đập tràn này.

Do vậy, nghiên cứu chế độ thủy lực đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong, xác định các đặc trưng thủy lực của chúng để đề xuất áp dụng thực tế là vấn đề cần thiết, có ý nghĩa khoa học, thực tiễn, góp phần xem xét đầy đủ và phong phú hơn về lĩnh vực thủy lực công trình tháo lũ.

2. Mục tiêu nghiên cứu

Làm rõ được đặc trưng về thủy lực của dòng chảy ở đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong;

Đề xuất được phương pháp xác định lưu lượng, vận tốc và áp suất dòng chảy ở đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là một số đặc trưng thủy lực gồm chế độ chảy, lưu lượng tháo, vận tốc, áp suất ở đập tràn thực dụng hình cong có tường ngực biên cong (gọi tắt là đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong).

Phạm vi nghiên cứu trong giới hạn của đập tràn với dạng mặt tràn WES, Ophixerop có tường ngực biên cong ở điều kiện làm việc khi tỉ số $H/H_d \leq 1,5$ hay $H/D \leq 3$ và dòng chảy phía sau tường ngực chảy tự do hoặc cửa van mở hoàn toàn.

4. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp kế thừa: Nghiên cứu, kế thừa các kết quả nghiên cứu trong và ngoài nước.

Phương pháp điều tra thu thập các kết quả thí nghiệm công trình thực tế.

Phương pháp thực nghiệm mô hình vật lý: Xây dựng, thí nghiệm và thu thập số liệu mô hình thủy lực.

¹ Báo cáo môi trường quốc gia 2012

Phương pháp thống kê: Phân tích đánh giá, kiểm chứng và so sánh với các kết quả nghiên cứu khác trong và ngoài nước. Xây dựng các công thức, bảng biểu, đồ thị phục vụ tính toán áp dụng thực tế.

5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn

Ý nghĩa khoa học: Luận án góp phần làm sáng tỏ hơn về chế độ thủy lực, chế độ dòng chảy ở đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong và bổ sung cơ sở khoa học cho tính toán các đặc trưng thủy lực ở đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong.

Ý nghĩa thực tiễn: Luận án góp phần đáp ứng tính cấp thiết của việc giải quyết bài toán tối ưu hóa trong điều tiết vận hành hồ chứa, nâng cao khả năng làm việc của công trình thủy lợi, thủy điện trong điều kiện cần tăng dung tích đón lũ, phòng lũ đảm bảo an toàn hạ du.

6. Những đóng góp mới của luận án

Luận án có những đóng góp mới như sau:

1. Xây dựng và đề xuất mới công thức và đồ thị tính hệ số lưu lượng μ cho đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong; phạm vi cột nước làm việc $H/D=1,6\div 3,0$.

2. Xác định được hệ số lưu tốc φ để tính độ sâu mực nước trong trường hợp chảy có áp. Xây dựng và kiến nghị ứng dụng bảng tọa độ không thứ nguyên để tính đường mặt nước và vận tốc trên mặt tràn.

3. Đề xuất phương pháp xác định hệ số giảm áp C_{pmax} để xác định áp suất nhỏ nhất ở phần chảy có áp trên đập tràn. Xây dựng các biểu đồ không thứ nguyên để tính áp suất trên mặt tràn ở đoạn chảy tự do.

7. Bố cục của luận án

Luận án được trình bày với mục mở đầu, 4 chương và kết luận, nội dung các chương như sau:

Mở đầu. Tính cấp thiết của đề tài, mục tiêu, đối tượng, nội dung, phương pháp nghiên cứu, ý nghĩa khoa học, những đóng góp mới, bố cục của luận án;

Chương 1. Tổng quan về đập tràn có tường ngực biên cong;

Chương 2. Phương pháp nghiên cứu các đặc trưng thủy lực ở đập tràn có tường ngực biên cong;

Chương 3. Kết quả và đánh giá kết quả thực nghiệm xác định một số đặc trưng thủy lực của đập tràn có tường ngực biên cong;

Chương 4. Quy trình tính toán thủy lực của đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong;

Kết luận và kiến nghị. Trình bày những kết quả mới của luận án và những kiến nghị về tồn tại và hướng nghiên cứu tiếp theo.

CHƯƠNG 1 TỔNG QUAN VỀ ĐẬP TRÀN CÓ TƯỜNG NGỰC BIÊN CONG

1.1 Khái quát chung về đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong

1.1.1 Cấu tạo đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong

Đập tràn đã được nghiên cứu và xây dựng từ khá lâu trên thế giới. Từ những nghiên cứu ban đầu của Bazin về đập tràn thành mỏng năm 1886 đến thực nghiệm của Pascal năm 1889; tiếp đó là các kết quả của De Marchi 1928, Creager 1929, 1945, Scimemi 1930... đến Creager-Ophixerop, WES 1952 [2], [3], [12], [25], [31], [46], [48], [51].

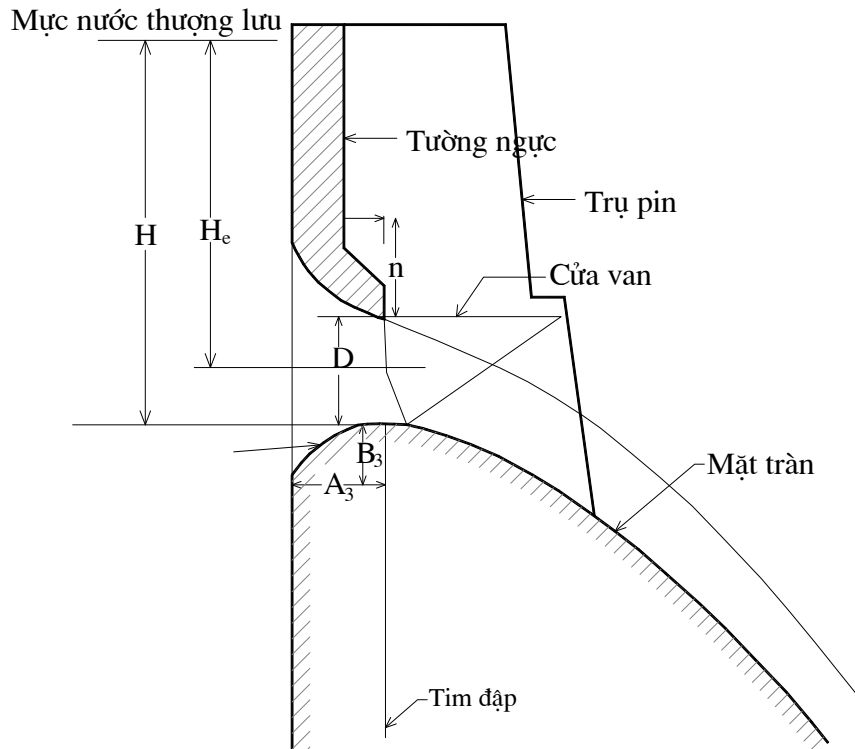
Có nhiều loại đập tràn, nhưng với các đập cao và vừa thường sử dụng đập tràn thực dụng hình cong, phổ biến là mặt cắt dạng Creager – Ophixerop và dạng WES. Dạng mặt cắt Creager – Ophixerop được các nhà khoa học Liên Xô nghiên cứu phát triển và được áp dụng rộng rãi ở các nước như: Nga, Đông Âu, Việt Nam, Trung Quốc v.v... Dạng mặt tràn WES được các nhà khoa học Hoa Kỳ nghiên cứu và được áp dụng ở Mỹ và các nước phương tây, Ấn Độ.... Ở Việt Nam, từ những năm 2000 đã bắt đầu áp dụng thiết kế mặt tràn WES cho một số công trình thủy điện, thủy lợi lớn như Sơn La, Cửa Đạt, Sông Tranh 2, các công trình này đã được đưa vào vận hành an toàn.

Tuy vậy trong quá trình ứng dụng thực tế thiết kế với từng công trình cụ thể, còn nhiều vấn đề cần được tiếp tục nghiên cứu, giải quyết như chế độ chảy, lưu lượng, vận tốc và áp suất, xâm thực mặt đập, tiêu năng hạ lưu.

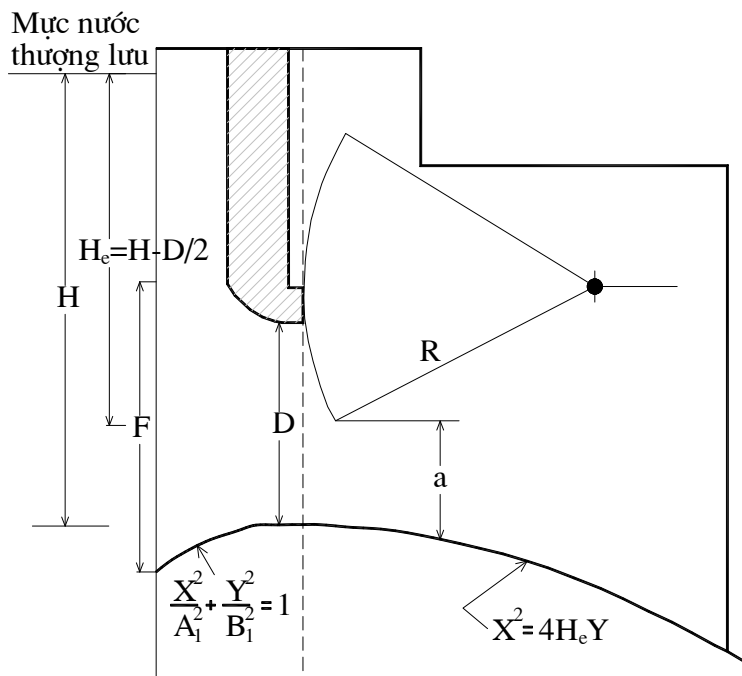
Đập tràn thực dụng có tường ngực là loại đập tràn ngoài đỉnh đập còn được bố trí bộ phận tường ngực ở phía trên. Tường ngực là một bộ phận chắn phía trên ngưỡng tràn nhằm mục đích hạn chế khả năng tăng nhanh của lưu lượng xả khi mực nước thượng lưu lớn, kiểm soát lưu lượng tháo. Tường ngực có thể là dạng đường thẳng, cong, bố trí cố định hoặc di động. Loại đập tràn này trong thực tế vận hành gặp chế độ dòng chảy không áp và có áp. Trong luận án, chúng tôi chọn đối tượng nghiên cứu là đập tràn dạng Creager-Ophixerop, WES có tường ngực biên cong chảy có áp.

Đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong có cấu tạo gồm phần mặt tràn thực dụng hình cong ở phía dưới, tiếp xúc với phần dưới của luồng nước chảy qua tràn, phần biên trên, phía dưới tường ngực giống như cửa vào tuynel hoặc cửa vào cống lấy nước (Hình 1.1÷Hình 1.3) tiếp xúc với phần trên của luồng nước.

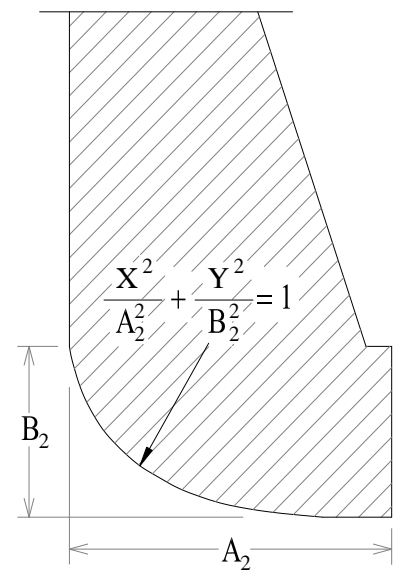
Như vậy sự khác biệt về cấu tạo của loại đập tràn này là cả biên trên là tường ngực và dưới là mặt tràn đều có dạng hình cong.



Hình 1.1 Sơ đồ đập tràn có tường tường ngực



Hình 1.2 Sơ đồ xác định kích thước đập



Hình 1.3 Đường cong dưới tường ngực

1.1.2 Một số ứng dụng của đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong

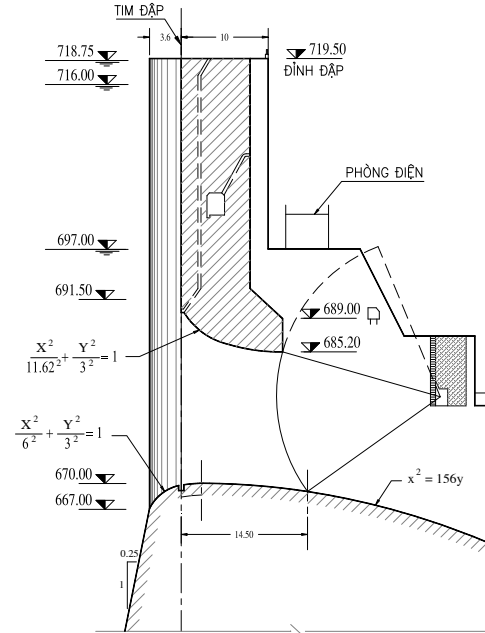
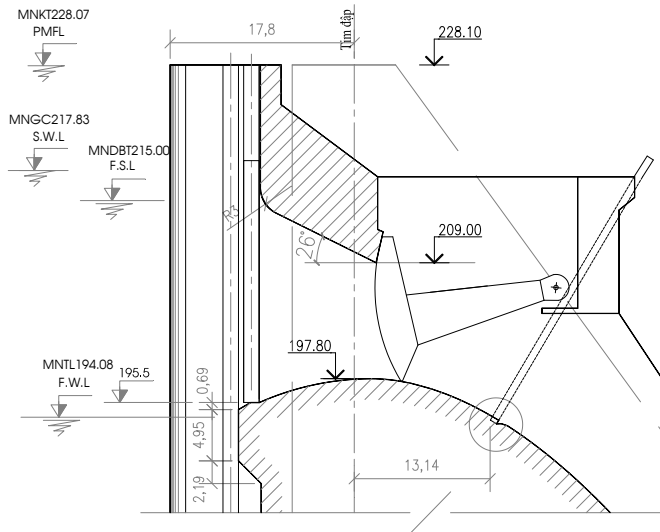
Các hồ chứa thường có vai trò đa mục tiêu, ngoài việc cung cấp nước cho thủy lợi, phát điện, nhiều hồ chứa lớn có nhiệm vụ chống lũ cho hạ du, thậm chí một số hồ chứa còn có nhiệm vụ chính là phòng lũ như Hòa Bình, Sơn La,... Khi đó đập tràn phải điều tiết một lượng lũ lớn trong hồ. Cột nước làm việc trên đỉnh đập tràn có thể lên tới vài chục mét, nếu bố trí tràn mặt thông thường với cửa van cung thì chiều cao cửa van rất lớn và khó khăn trong vận hành. Ví dụ như ở công trình thủy điện Sơn La (Hình 1.4), do yêu cầu tích nước hồ chứa và phòng lũ PMF, chênh lệch từ ngưỡng tràn ở cao trình 197,80 m, tới mức nước lũ PMF 228,10 m có $H_{\max}=30,30$ m. Việc bố trí đập tràn có tường ngực biên cong đã tối ưu hóa kích thước cửa van còn 12 m, tăng thêm dung tích phòng lũ cho hồ chứa lên đến 3 tỷ m^3 , góp phần giảm lũ, cắt lũ cho hạ du.

Công trình tháo lũ của thủy điện Sơn La, gồm có 12 lỗ xả sâu và 6 khoang xả mặt nằm ở bờ phải; 12 lỗ xả sâu kích thước mỗi lỗ 6×10 m^2 , cao trình ngưỡng 145 m và 6 khoang xả mặt, chiều rộng mỗi khoang là 15 m, ở cao trình ngưỡng 197,8 m [13], [14]. Trên công trình xả mặt có bố trí tường ngực, cao độ mặt dưới phía thượng lưu của tường ngực ở cao trình 216,4 m và hạ lưu ở 209 m. Đường cong mặt tràn có dạng WES có phương trình $X^{1,85}=2,0H_d^{0,85}Y$ cột nước thiết kế $H_d=20,03$ m, tương ứng với mức nước gia cường 217,83 m (hình 1.4).

Đập đầu mối ở dự án Nhà máy thủy điện Thana Plaun (191 MW), Ấn Độ bằng bê tông đầm lăn, cao 107 m, đập dài 221 m, lưu lượng lũ 15.640 m^3/s . Phần đập tràn có tường ngực, chiều dài đập tràn 85m, có 5 khoang, mỗi khoang có cửa van với kích thước rộng 11 m x cao 15,2 m (Hình 1.6, Hình 1.5). Đường cong dưới tường ngực có phương trình elip: $X^2/11,62^2+ Y^2/6,0^2=1$, đường cong mặt tràn ngưỡng thấp có phương trình $X^2=156Y$ [47]. Ấn Độ là quốc gia ứng dụng nhiều đập tràn có tường ngực trên thế giới, thống kê một số công trình ứng dụng đập tràn có tường ngực ở Ấn Độ tại Bảng 1.1 [29].

Đập tràn Mangla - Iran [39], tính với lũ PMF là 28.600 m^3/s , được thiết kế dạng tường ngực xả sâu gồm 9 khoang, mỗi khoang rộng 10,97m, cao 12,2m, tỉ lưu 211 m^2/s ; biên tràn tường ngực dạng elip, ngưỡng tràn phía dưới dạng ngưỡng thấp (Hình 1.8).

Đập tràn Muskrat Falls-Canada, nhà máy có 4 tổ máy tổng công suất 824 MW, lũ thiết kế cho đập tràn là lũ PMF $Q=22.100\text{m}^3/\text{s}$, đập tràn xả đáy có 4 khoang với cửa van cung rộng 12,5m, cao 14,8m, xả sâu được thiết kế dạng tường ngực.



Hình 1.4 Mặt cắt đập tràn thủy điện Sơn La Việt Nam [14]

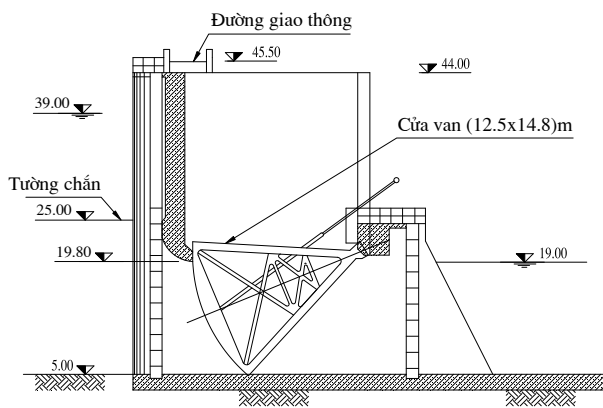
Hình 1.5 Mặt cắt đập tràn Thana Plaun- Ấn Độ [47]



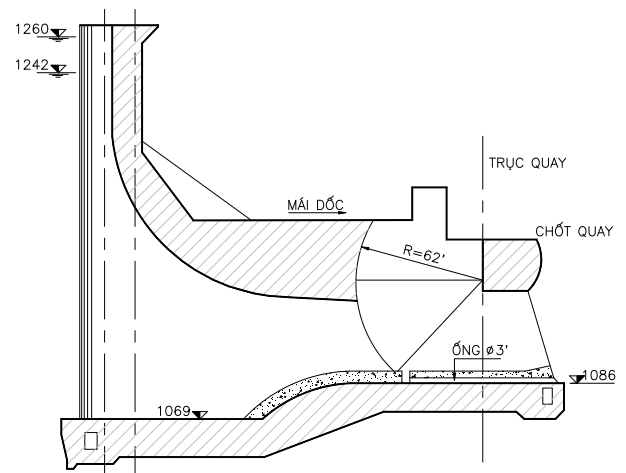
Hình 1.6 Mặt bằng công trình Thana Plaun- Ấn Độ [47]

Bảng 1.1 Một số ứng dụng đập tràn có tường ngược ở Ấn Độ [29]

STT	Công trình	Mặt tràn		Tường ngược	Chiều cao mép vào F	Chiều cao lỗ D	Cột nước đỉnh H	Ngưỡng P	Số khoang và chiều rộng khoang		Lưu lượng m ³ /s	Lưu lượng đơn vị m ² /ms	Hệ số lưu lượng Cd
		Thượng lưu	Hạ lưu	Mặt dưới	m	m	m	m	Số lượng	Rộng (m)		m ³ /m	
1	Chamara - I	Kết hợp vùng đường cong bán kính R=5,2 m và 13 m	$x^2 = 102y$	$\frac{x^2}{6^2} + \frac{y^2}{2^2} = 1$	17,77	12,5	32,5	110	8	10	22000	275	0,83
2	Chamara III	Đường cong bán kính 26,27 m	$x^2 = 122y$	$\frac{x^2}{7^2} + \frac{y^2}{3,5^2} = 1$	37,96	16,5	37	20	3	12,5	11400	304	0,78
3	Dhaulignaga	Đường tròn bán kính 6 m mái dốc ngược 1:1 đường tròn R=4,8 m	$x^2 = 132y$	$\frac{x^2}{4,5^2} + \frac{y^2}{2^2} = 1$	14	10	41,5	12	3	6	3200	177,77	0,66
4	Kurichu	$\frac{x^2}{4,5^2} + \frac{y^2}{2,5^2} = 1$	$x^2 = 80y$	$\frac{x^2}{5,5^2} + \frac{y^2}{2^2} = 1$	24,25	14	28	26	5	10,5	12200	232	0,83
5	Nathpa Jhakri	Phẳng	$x^2 = 126y$	$\frac{x^2}{8,5^2} + \frac{y^2}{2,833^2} = 1$	11,33	8,5	37,5	23	5	8,5	7200	189,41	0,78
6	Nimoobazgo	$\frac{x^2}{5^2} + \frac{y^2}{2^2} = 1$	$x^2 = 100y$	$\frac{x^2}{5,6^2} + \frac{y^2}{2^2} = 1$	11	9	23,5	28	5	7	4500	128	0,84
7	Pandoh	Phẳng	$x^2 = 4273,5y$	$\frac{x^2}{39,37^2} + \frac{y^2}{13,1^2} = 1$	16	13	21,84		5	12	9939	166	0,73
8	Parbati II	$\frac{x^2}{7,38^2} + \frac{y^2}{3,5^2} = 1$	$x^2 = 101y$	$\frac{x^2}{5^2} + \frac{y^2}{2^2} = 1$	14,5	9	33	36	3	6	1850	102,77	0,81
9	Parbati III	$\frac{x^2}{9,86^2} + \frac{y^2}{5,344^2} = 1$	$x^2 = 100y$	$x = 0,158y^{2,4}$	17,64	14	32	10	2	7,2	3300	157,14	0,74
10	Ranganadi	Dạng Elipse	$x^2 = 92y$	Đường cong R=5m rộng 5 m	14	12	23	29	7	10	9100	152	0,78
11	Saw a II	$\frac{x^2}{8,059^2} + \frac{y^2}{4,152^2} = 1$	$x^2 = 96,4y$	$\frac{x^2}{3,6^2} + \frac{y^2}{2^2} = 1$	14,95	10,8	29,5	9,7	4	7	4020	143,57	0,80
12	Subanairi	$\frac{x^2}{5^2} + \frac{y^2}{2^2} = 1$	$x^2 = 195y$	Bề rộng =5m	19,2	14,7	63,25	51	9	11,5	35000	338,16	0,72
13	Tala	Phẳng	$x^2 = 111y$	$\frac{x^2}{13,15^2} + \frac{y^2}{6,58^2} = 1$	19,73	13,15	43	46	5	6,5	10800	326,15	0,92
14	Taagta III	$\frac{x^2}{3,4^2} + \frac{y^2}{10^2} = 1$	$x^2 = 126y$	$\frac{x^2}{6^2} + \frac{y^2}{3^2} = 1$	18	14	25	1	7	14	10430	106,42	0,65 (tự do)
15	Taagta IV	$\frac{x^2}{6^2} + \frac{y^2}{3,5^2} = 1$	$x^2 = 67y$	$\frac{x^2}{4,25^2} + \frac{y^2}{2^2} = 1$	22,1	17	25,25	6	7	11	15400	200	0,72
16	Taagta V	$\frac{x^2}{6^2} + \frac{y^2}{3,5^2} = 1$	$x^{1,85} = 45y$	$\frac{x^2}{6^2} + \frac{y^2}{2^2} = 1$	17,5	12	40,72	25	5	9	9500	211,11	0,76
17	Uri II	$\frac{x^2}{5,4^2} + \frac{y^2}{12,5^2} = 1$	$x^2 = 80y$	$\frac{x^2}{4,8^2} + \frac{y^2}{2^2} = 1$	14,65	11,4	24	20	4	9	4850	134,72	0,81



Hình 1.7 Mặt cắt đập Muskrat Falls-Canada



Hình 1.8 Mặt cắt đập tràn Mangla-Iran [39]

1.1.3 Đặc điểm dòng chảy qua đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong

Dòng chảy qua đập tràn có tường ngực, khi thay đổi mực nước thượng lưu từ thấp đến cao trải qua 2 chế độ là không áp (chảy hờ) và có áp.

Chảy tự do (không áp, chảy hờ), khi đường mặt nước chưa chạm biên dưới tường ngực, toàn bộ mặt tràn là dòng chảy hờ. Trường hợp này đập tràn làm việc như đập tràn thực dụng thông thường và kết quả nghiên cứu về trạng thái này đã có hướng dẫn, quy phạm và tiêu chuẩn áp dụng.

Chảy có áp, khi mực nước thượng lưu ngập kín biên dưới tường ngực. Dòng chảy trên tràn có hai đoạn riêng biệt: đoạn đầu dưới tường ngực là dòng có áp, sau tường ngực là dòng chảy không áp. Nhưng do tác động của phần có áp ở đoạn dưới tường ngực mà các đặc trưng thủy lực của đoạn chảy hờ có sự khác biệt với chế độ chảy hờ hoàn toàn. Chế độ này còn được ít nghiên cứu và ở Việt Nam chưa có quy phạm hay hướng dẫn tính toán.

Khi chuyển đổi qua hai chế độ này có một vùng chuyển tiếp, được gọi là trạng thái quá độ hay trạng thái phân giới. Với đối tượng nghiên cứu của luận án thì ranh giới này cũng có sự khác biệt với ranh giới của dòng chảy qua cống ngầm, dưới cửa van, tuynel.

1.2 Các kết quả nghiên cứu về đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong

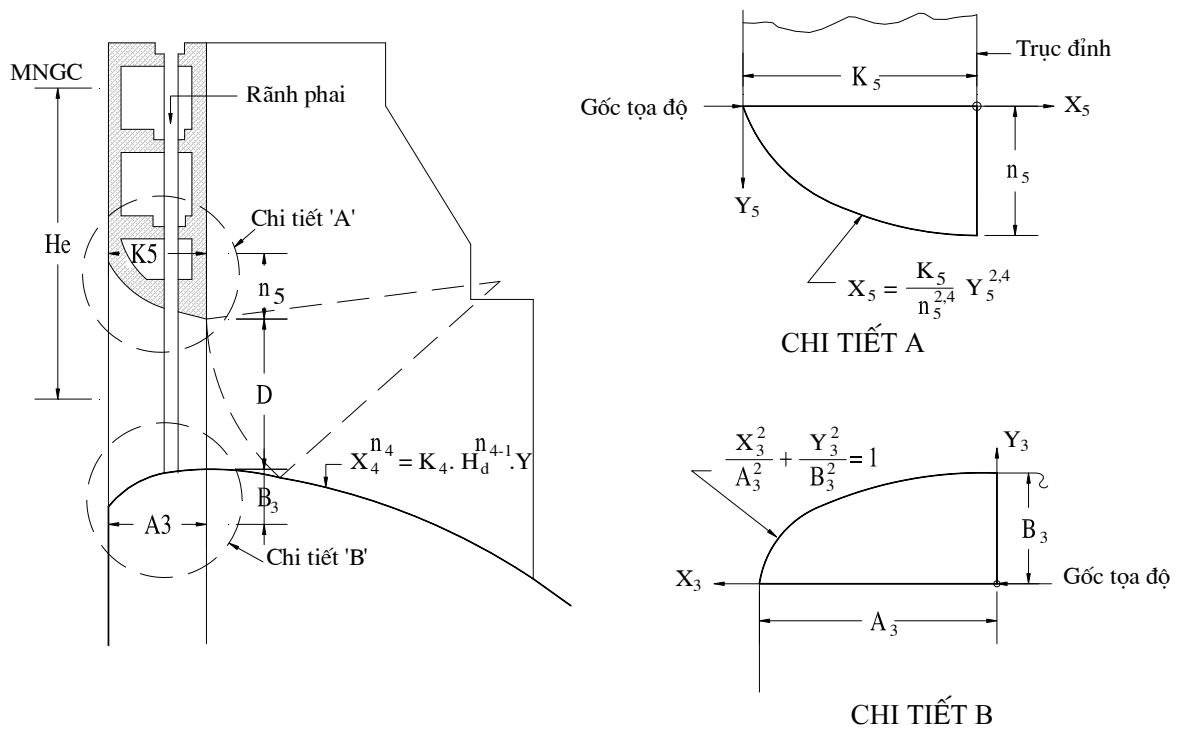
1.2.1 Kết quả nghiên cứu về hình dạng đường cong đập tràn

1.2.1.1 Đường cong phía hạ lưu đập tràn

Đường cong mặt hạ lưu tràn của Ấn Độ trước 2010 [34] theo công thức (1.1):

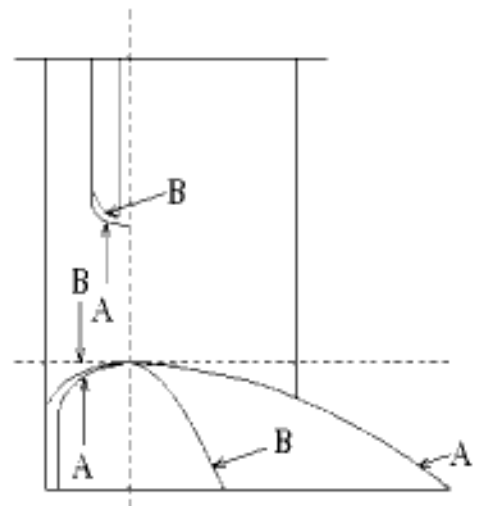
$$X_4^{n_4} = K_4 H_d^{n_4 - 1} Y_4; K_4 = 0,44 - 0,025 \frac{H_d}{D}; n_4 = 1,872 - 0,0099 \left(\frac{H_d}{D} - 1 \right) \quad (1.1)$$

Trong đó K là hệ số phụ thuộc hình dạng, các ký hiệu công thức (1.1) xem Hình 1.9



Hình 1.9 Hình dạng mặt tràn có tường ngược ở Ấn Độ

Đường cong mặt hạ lưu tràn (1.1), tiêu chuẩn năm 1973 của Ấn Độ, ứng dụng với các đập tràn nhỏ, kích thước lỗ cỡ 3x4m, cột nước thấp. Thực tế đã xây dựng những đập tràn có cỡ lớn hơn rộng 5÷15m, cao 10÷20m và ngập dưới mức nước hồ 30÷40m. Năm 2010, Ấn Độ thay đổi tiêu chuẩn để áp dụng cho cỡ đập lớn hơn theo đường cong (1.2) [30]. Hình 1.10 so sánh hai tiêu chuẩn này cho thấy, mặt tràn theo tiêu chuẩn 1973, có độ dốc rất lớn, dễ gây xâm thực.



Hình 1.10 So sánh tiêu chuẩn năm 1973 và tiêu chuẩn năm 2010 của Ấn Độ

Dạng đường cong đã được xây dựng ở Ấn Độ có phương trình (1.2):

$$X^2 = kH_d Y \quad (1.2)$$

Trong đó k là hệ số phụ thuộc hình dạng đập tràn.

Phương trình (1.1) thường được dùng cho các đập thấp, mặt tràn hạ lưu phụ thuộc địa hình bố trí đập.

Đường cong mặt hạ lưu tràn theo tiêu chuẩn của Trung Quốc là công thức (1.3) [18], [45]:

$$X^2 = 4\varphi^2 H_d Y \quad (1.3)$$

Trong đó φ là hệ số lưu tốc ở mặt cắt co hẹp tại miệng lỗ, thường chọn $\varphi=0,95\div 0,96$; H_d là cột nước thiết kế mặt tràn, thường chọn $H_d=(0,75\div 0,95)H_{\max}$, với H_{\max} là cột nước lớn nhất tính từ tim lỗ đến mực nước kiểm tra.

Nếu lấy $\varphi=1$, thì công thức (1.3), có dạng (1.4), giống như ở các tài liệu [29], [35], [38]

$$X^2 = 4YH_d \quad (1.4)$$

Ở công trình thủy điện Sơn La, đường cong hạ lưu mặt tràn theo mặt cắt dạng WES có phương trình $X^{1,85} = 25,55Y$, mặt tràn tường ngực có mép thượng lưu ở cao độ 218,83 m, được nối tiếp ở mặt dưới bởi đường cong tròn $R=5m$, tiếp theo là đoạn thẳng có độ dốc 1:4 (góc ở đỉnh 20°).

1.2.1.2 Đường cong phía thượng lưu mặt tràn

Có hai dạng đường cong chủ yếu được đề nghị sử dụng:

- Theo [12], [45], [48], đường cong thượng lưu mặt tràn nối tiếp bởi 3 đường cong tròn có bán kính $R_1=0,04H_d$, $R_2=0,2H_d$, $R_3=0,5H_d$, nối tiếp bởi hai đường cong tròn $R_1=0,2H_d$, $R_2=0,5H_d$.

- Theo [31], [38] nối tiếp bởi đường cong elip sau:

$$\frac{X^2}{A_1^2} + \frac{(B_1-Y)^2}{B_1^2} = 1 \quad (1.5)$$

Trong đó A_1 , B_1 là bán trục lớn, nhỏ của elip và phụ thuộc vào tỷ lệ P/H_d

Ở Ấn Độ [30], [34] đường cong elip được viết theo công thức (1.6):

$$\frac{X^2}{A_3^2} + \frac{Y^2}{B_3^2} = 1; A_3 = 0,541D \left(\frac{H_d}{D}\right)^{0,32}; B_3 = 0,3693D \left(\frac{H_d}{D}\right)^{0,04} \quad (1.6)$$

Trong đó A_3 , B_3 là các bán trục lớn, nhỏ của elíp, các ký hiệu xem Hình 1.9.

1.2.1.3 Đường cong mép dưới tường ngực

Đường cong mép dưới tường ngực có dạng elip được biểu diễn theo phương trình (1.7) [31], [45].

$$\frac{X^2}{A_2^2} + \frac{Y^2}{B_2^2} = 1 \quad (1.7)$$

Trong đó, A_2 - bán trục lớn elip, bằng chiều dày tường ngực, B_2 - bán trục nhỏ elip, bằng chiều cao thu hẹp của lỗ.

Ở Ấn Độ, đường cong phía dưới của tường ngực được biểu diễn theo phương trình (1.8), Hình 1.9 [34].

$$X_5 = \frac{K_5}{n_5^{2,4}} Y_5^{2,4} \quad (1.8)$$

Trong đó: K_5, n_5 tính theo công thức:

$$K_5 = 0,541D \left(\frac{H_d}{D}\right)^{0,32}; n_5 = 0,4D \quad (1.9)$$

Hoặc cũng có thể là đường cong tròn hay elip nối tiếp đường thẳng, theo [18], [45], đoạn thẳng nối tiếp dưới tường ngực có độ dốc 1:4÷1:6 (xấp xỉ độ dốc đường mặt nước khi chảy hờ dưới tường ngực).

1.2.2 Tính lưu lượng

Lưu lượng chảy có áp dưới tường ngực được tính theo công thức (1.10) [29], [45].

$$Q = \mu\omega\sqrt{2gH_e} \quad (1.10)$$

Trong đó hệ số lưu lượng μ được xác định như sau:

- Ở các thiết kế sơ bộ có thể lấy $\mu=0,74\div0,82$ khi $H/D=2,0\div2,4$; $\mu =0,83\div0,93$ khi $H/D>2,4$. Hệ số μ có thể được tính toán thông qua tổn thất khi tính đường mặt nước [45].

- Theo [29], [30] hệ số lưu lượng được tính theo công thức (1.11) hoặc Bảng 1.2.

$$\mu = 0,148631 + 0,945305 \frac{H}{H_d} - 0,326238 \left(\frac{H}{H_d}\right)^2 \quad (1.11)$$

Bảng 1.2 Hệ số lưu lượng μ trong công thức (1.11)

H/H _d	0,8	1,0	1,15	1,33
μ	0,696	0,769	0,797	0,829

Nhận xét: Công thức chung tính lưu lượng là (1.10), theo [29], [45] xác định hệ số μ gặp khó khăn vì chỉ cho một dải giá trị mà không chỉ rõ yếu tố phụ thuộc. Khi xác định hệ số lưu lượng tại công thức (1.11) chỉ xét theo tỉ lệ H/H_d , mà chưa phản ánh được chế độ chảy và đặc trưng của lỗ là chiều cao D . Đây là những hạn chế mà các nghiên cứu đã có chưa giải quyết được.

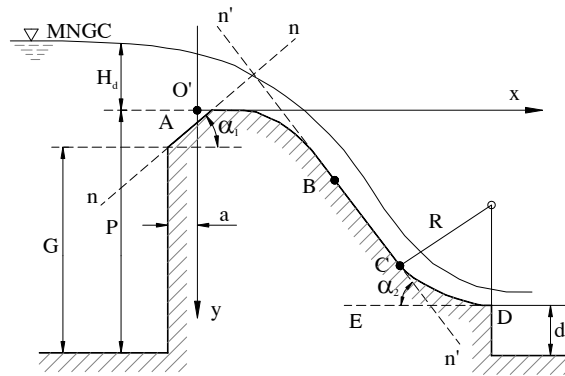
Các nội dung trình bày tiếp theo dưới đây là những kết quả nghiên cứu về đập tràn dạng Creager-Ophixerop, WES, tuynel, chảy dưới cửa van cung, là những trường hợp có tương đồng về cấu tạo, có sự khác biệt về biên dạng, đặc điểm dòng chảy mà luận án có

thể áp dụng trong trường hợp không có tài liệu cho đối tượng nghiên cứu này, cũng như tạo tiền đề về phương pháp nghiên cứu của luận án.

1.3 Các kết quả nghiên cứu về đập tràn thực dụng hình cong

1.3.1 Cấu tạo mặt tràn thực dụng hình cong

Mặt tràn Creager-Ophixerop (Hình 1.11) và WES (Waterways Experiment Station 1952) (Hình 1.12) được dùng rộng rãi với đập cao và vừa đường cong mặt tràn được biểu diễn lần lượt theo phương trình (1.12), (1.13).



Hình 1.11 Mặt cắt đập tràn dạng Creager-Ophixerop

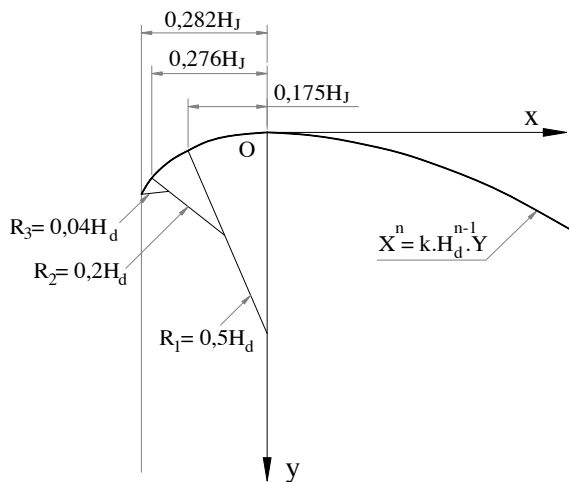
$$\frac{Y}{H_d} = 0,475 \left(\frac{X}{H_d} \right)^{1,80} \quad (1.12)$$

Toạ độ X được tính lùi 0,3H_d về hạ lưu để bố trí đoạn nối tiếp thượng lưu với đỉnh tràn. H_d là cột nước thiết kế mặt tràn.

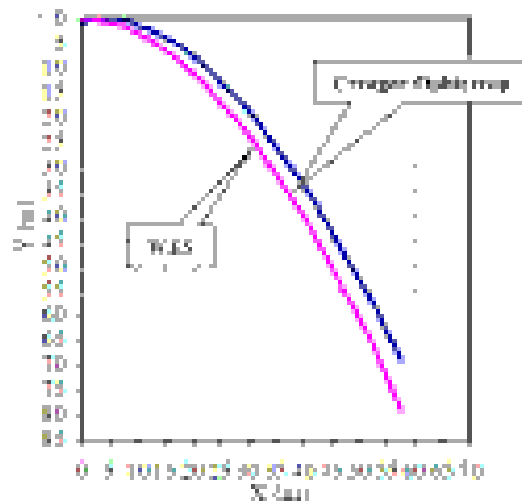
$$X^n = kH_d^{n-1}Y \quad (1.13)$$

Trong đó: k, n là các thông số phụ thuộc vào độ dốc mặt thượng lưu đập [25], [35], [45], [48].

Như vậy, đường cong mặt tràn của cả hai loại mặt cắt đều chỉ phụ thuộc vào H_d. Tức là các đường cong cùng loại mặt cắt sẽ đồng dạng với nhau và kích thước do H_d quyết định.



Hình 1.12 Mặt cắt đập tràn dạng WES có ba bán kính cong R₁, R₂ và R₃[45]



Hình 1.13 So sánh frophin mặt tràn theo hai dạng Creager –Ophixerop và WES[8]

1.3.2 Kết quả nghiên cứu thực nghiệm về đập tràn thực dụng hình cong

Tính toán thủy lực đập tràn nói chung thường phức tạp vì chúng có tính không gian và thời gian, phụ thuộc vào bố trí tổng thể công trình, điều kiện địa hình, thủy văn, ... phụ thuộc loại đập tràn, hình dạng và kết cấu, vì vậy việc tìm lời giải chính xác là không thực hiện được, thường là các lời giải gần đúng hoặc đúng dần. Các phương pháp được sử dụng trong nghiên cứu tính toán thủy lực qua đập tràn thực dụng thông thường là: nghiên cứu lý thuyết, nghiên cứu thực nghiệm mô hình thủy lực và kết hợp cả hai phương pháp trên được gọi là bán thực nghiệm. Dù ứng dụng phương pháp nào thì kết quả của lời giải cũng là gần đúng.

Khả năng tháo qua đập tràn mặt cắt dạng Creager – Ophixerop tính theo công thức (1.14) [2], [50], [51], của mặt tràn dạng WES tính theo công thức (1.15) [25], [34], [45], [48]. Các công thức này được suy luận từ phương pháp phân tích thứ nguyên và hệ số lưu lượng được xác định từ thực nghiệm.

$$Q = \sigma_n \cdot \varepsilon \cdot m \cdot B \cdot \sqrt{2g} H_0^{3/2} \quad (1.14)$$

Trong đó: m là hệ số lưu lượng, δ_n là hệ số ngập, ε là hệ số co hẹp, B là chiều rộng tràn, H_0 là cột nước trên đỉnh tràn có kể đến vận tốc tiến gần.

$$Q = C^* \varepsilon m B \sqrt{2g} H_0^{3/2} \quad (1.15)$$

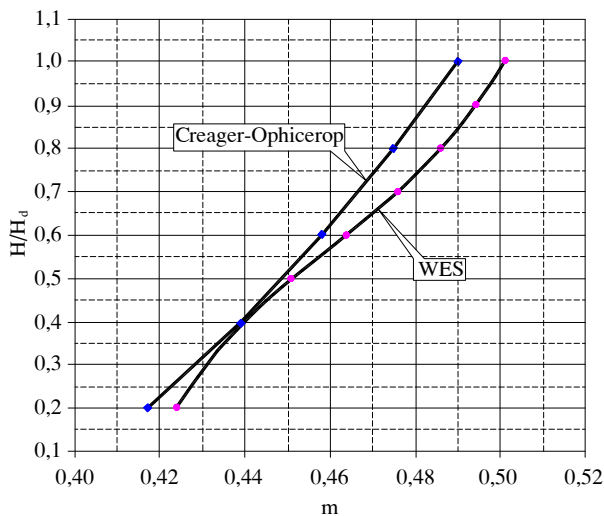
Trong đó: C^* - là hệ số ảnh hưởng của mái thượng lưu, trường hợp mái thượng lưu thẳng đứng $C^*=1,0$; các hệ số khác như trong công thức (1.14).

So sánh hệ số lưu lượng đập tràn dạng Creager - Ophixerop và dạng WES cho thấy hai đập tràn làm việc với cùng tỉ lệ cột nước H/H_d thì hệ số lưu lượng đập tràn dạng WES lớn hơn hệ số lưu lượng đập tràn dạng Ophixerop từ 1% đến 2 % (Hình 1.14).

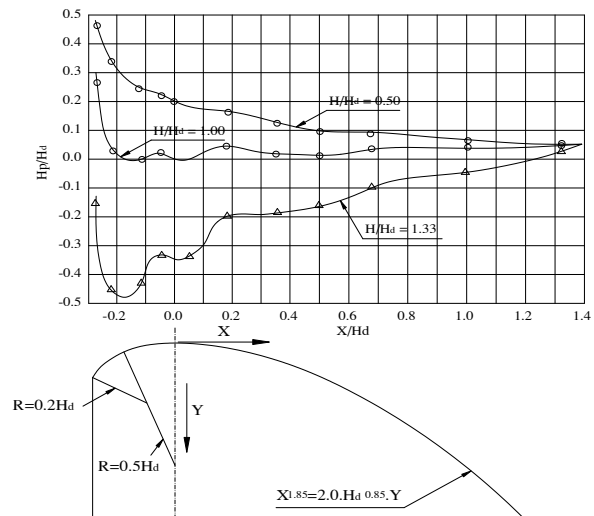
Độ sâu đường mặt nước trên mặt tràn dạng WES xác định theo tài liệu nghiên cứu thí nghiệm, đã được lập thành các bảng tính, đồ thị cho các trường hợp có và không có trụ pin [25], [45], [48].

Vận tốc dòng chảy trên mặt tràn WES theo tài liệu nghiên cứu đã được chỉnh lý thiết lập thành các quan hệ đồ thị đường cong. Vận tốc trên mặt tràn cần được xác định chủ yếu là vị trí cuối tràn nối với dốc nước, nối với bể tiêu năng, hoặc nối với mũi phun [25], [45], [48].

Theo kết quả nghiên cứu thí nghiệm, phân bố áp suất trên mặt đập tràn dạng WES đối với các trường hợp được vẽ trên các Hình 1.15 và hình PL1.1, PL1.2 phụ lục.



Hình 1.14 So sánh hệ số lưu lượng đập tràn dạng Creager - Ophixerop và dạng WES [8]

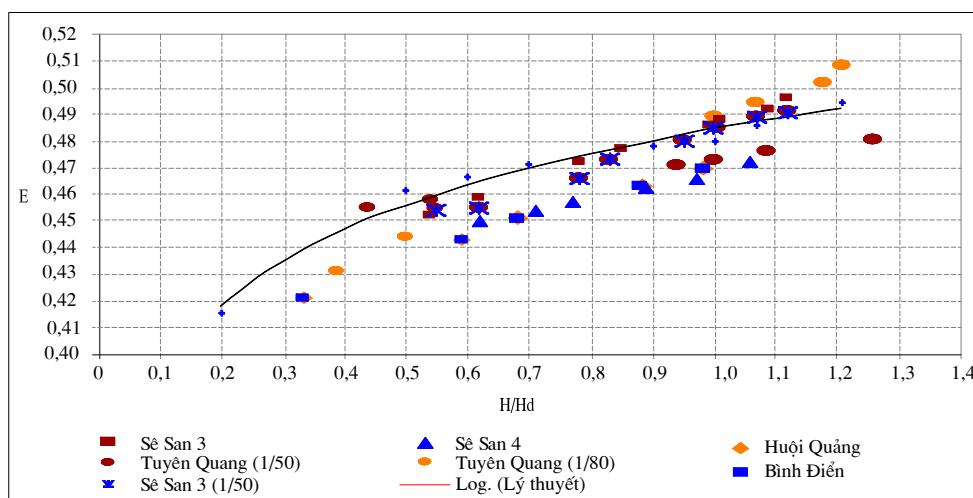


Hình 1.15 Phân bố áp suất trên mặt tràn không có trụ pin [12]

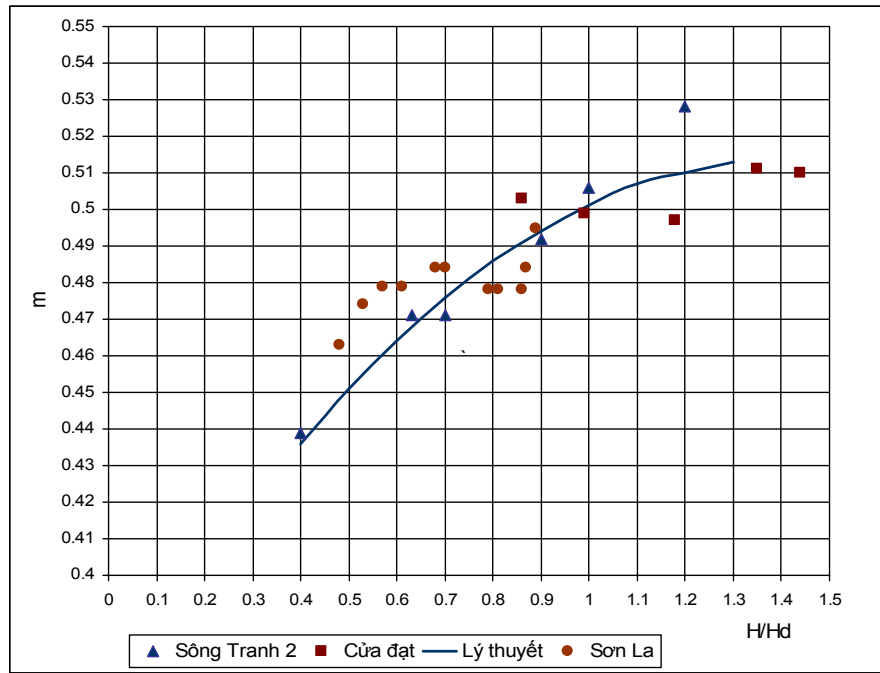
Ở Việt Nam, các nghiên cứu về thủy lực đập tràn dạng cong được thực hiện thông qua các nghiên cứu ứng dụng cho các công trình cụ thể. Danh mục công trình đã thí nghiệm trong thời gian gần đây ghi tại bảng PL.1.3. Phân tích kết quả thí nghiệm các đập tràn tháo lũ ở thủy điện Sê San 3, Sê San 4, Tuyên Quang, Bình Điền (mặt tràn Creager-Ophixerop); các công trình Sơn La, Sông Tranh 2, Cửa Đạt (mặt tràn WES), có kết quả sau: [8], [14], [15].

1.3.2.1 Hệ số lưu lượng và khả năng tháo

Các kết quả hệ số lưu lượng so với mặt tràn chuẩn thể hiện ở Hình 1.16 và Hình 1.17.



Hình 1.16 So sánh kết quả hệ số lưu lượng thí nghiệm và đập tràn chuẩn dạng Creager-Ophixerop [8]

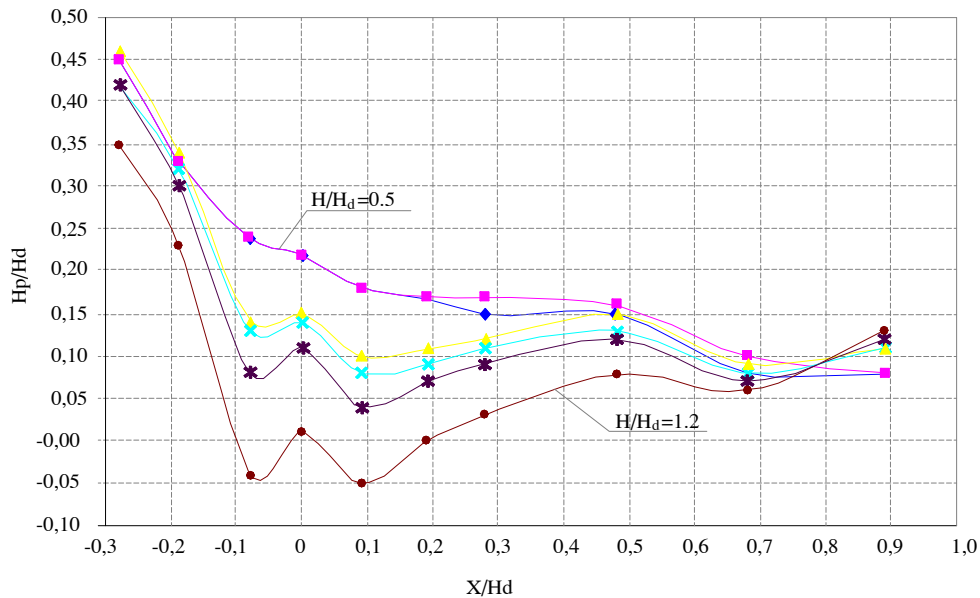


Hình 1.17 So sánh kết quả hệ số lưu lượng thí nghiệm và đập tràn chuẩn dạng WES [8]

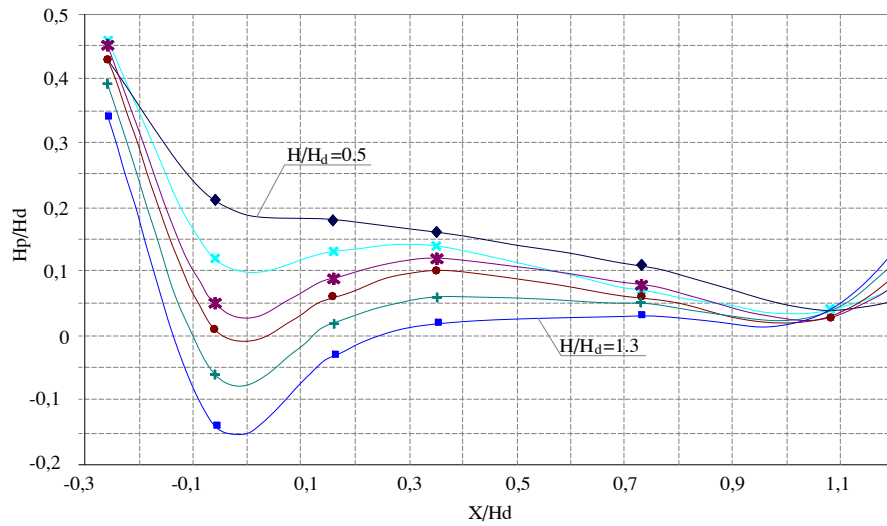
1.3.2.2 Áp suất

Kết quả thí nghiệm mô hình vật lý xác định phân bố áp suất trên mặt tràn cho một số công trình đã xây dựng ở Việt Nam được thể hiện từ Hình 1.18 ÷ Hình 1.22.

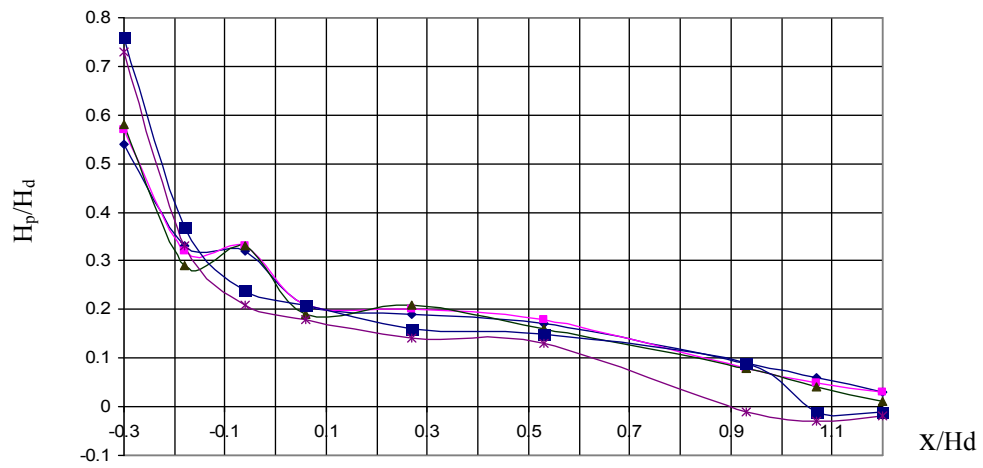
- Kết quả thí nghiệm áp suất trên đập tràn dạng Creager-Ophixerop ở Việt Nam



Hình 1.18 Phân bố áp suất trên mặt tràn Tuyên Quang [14]

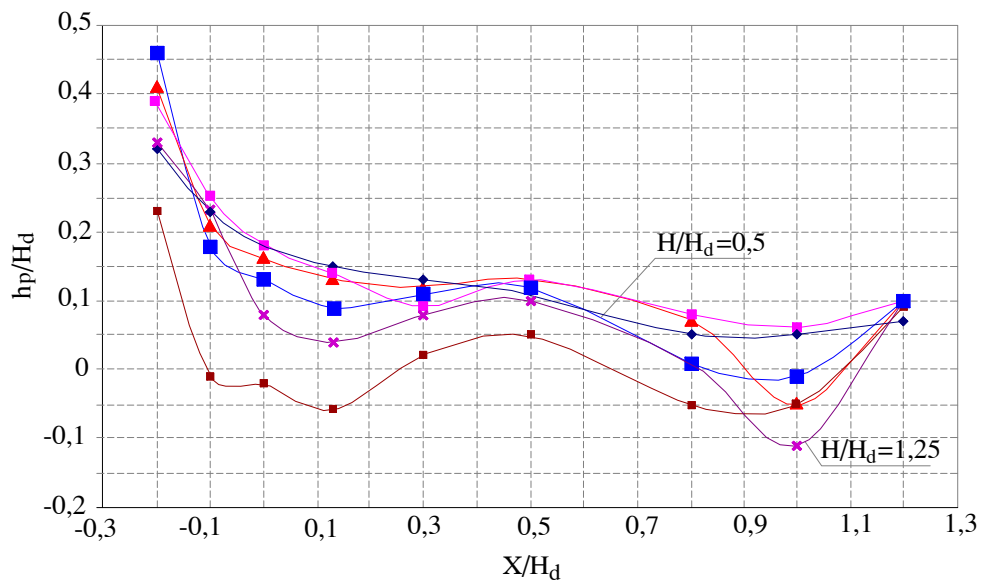


Hình 1.19 Phân bố áp suất trên mặt tràn Sê San 3 [8]

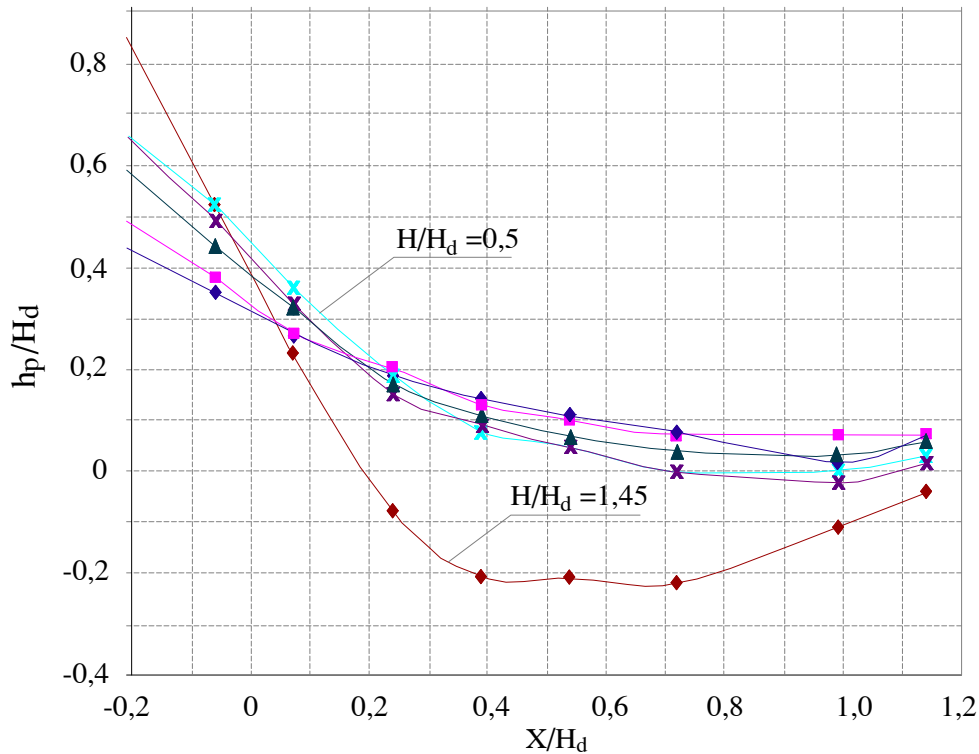


Hình 1.20 Phân bố áp suất trên mặt tràn Sê San 4 [8]

- Kết quả thí nghiệm áp suất trên đập tràn dạng WES ở Việt Nam



Hình 1.21 Phân bố áp suất trên mặt tràn Sông Tranh 2 [15]



Hình 1.22 Phân bố áp suất trên mặt tràn Sơn La [8], [14]

Qua kết quả nghiên cứu có thể có các nhận xét sau:

Kết quả thí nghiệm về hệ số lưu lượng m hay khả năng tháo của đập tràn có sai khác so với đập tràn chuẩn vào khoảng $\pm 5\%$.

Về phân bố áp suất: cả hai loại đập tràn Ophixerop và WES, áp suất chân không thường xuất hiện ở vùng đỉnh tràn trong khoảng chiều dài theo phương ngang tính từ đỉnh tràn $x=(-0.2\div 1.2)H_d$, sau khoảng này áp suất tăng lên.

Áp suất ở mặt tràn WES thấp hơn mặt tràn Ophixerop; áp suất chân không xuất hiện ngay khi tỷ số $H/H_d=1$ ở mặt tràn WES và khi $H/H_d>1$ ở mặt tràn Ophixerop, nên cần có dự trữ hệ số an toàn cho loại đập này. Áp suất chân không tăng khi tỉ lệ H/H_d tăng.

1.3.3 Kết quả nghiên cứu lý thuyết về đập tràn thực dụng hình cong

1.3.3.1 Các công thức giải tích

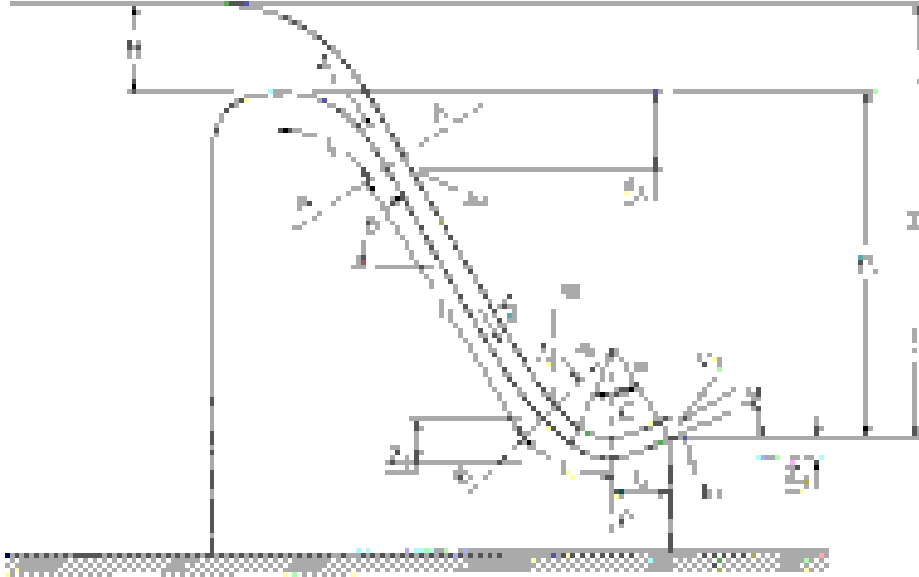
Kết quả nghiên cứu lý thuyết chủ yếu cho đập tràn mặt cắt dạng Creager – Ophixerop.

Độ sâu đường mặt nước và lưu tốc trên mặt tràn được tính theo các công thức (1.16), (1.17), biểu đồ Hình 1.24, [2], [51], [52].

Trường hợp mái đập mặt hạ lưu $m = 0,7\div 0,8$ ($\cotg \theta = 0,7\div 0,8$) và dòng chảy trên mặt đập tràn không có hàm khí ($F_r < 45$) tính theo phương trình (1.16):

$$T_{0i} = Y_i + h_i \cos(\theta) + \frac{V_i^2}{\varphi_i^2 2g} \quad (1.16)$$

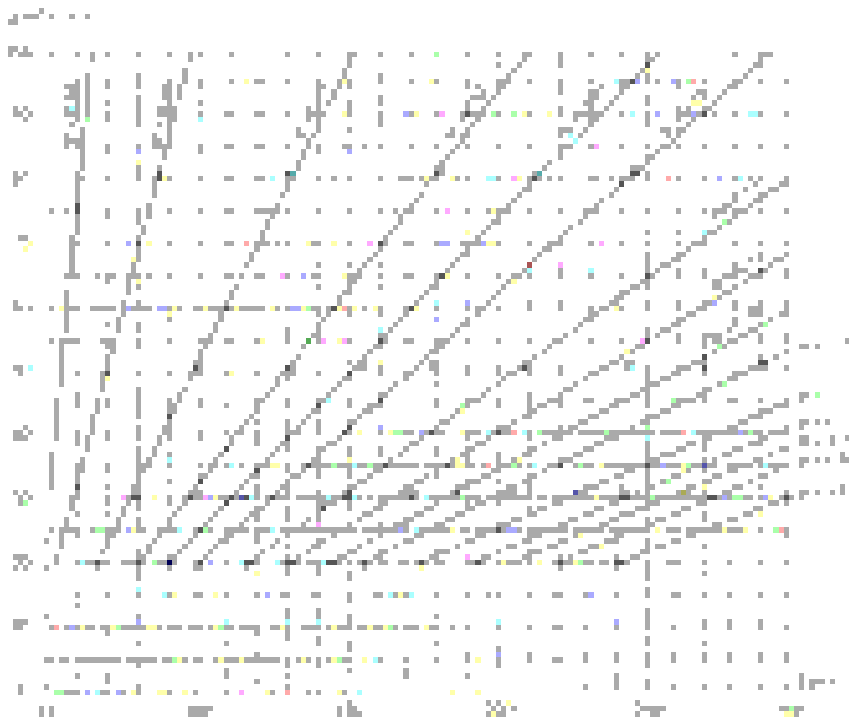
Hệ số lưu tốc φ_i tại mặt cắt bất kỳ trên mặt đập được xác định theo biểu đồ Hình 1.24.



Hình 1.23 Sơ đồ tính đường mặt nước và vận tốc

Trường hợp $\cotg \theta \neq 0,7 \div 0,8$ và dòng chảy trên mặt đập có hàm khí ($Fr > 45$), xác định đường mặt nước theo phương trình Bernoulli (hoặc bằng phương pháp Tsanomxki).

$$Y_i + h_i \cos(\theta) + \frac{V_i^2}{2g} = Y_{i+1} + h_{i+1} \cos(\theta) + \frac{V_{i+1}^2}{2g} + \lambda_i \frac{\Delta l_i}{h_b} \frac{V_{ib}^2}{2g} \quad (1.17)$$



Hình 1.24 Quan hệ giữa hệ số lưu tốc φ trên mặt tràn với lưu lượng đơn vị q và khoảng cách l theo mặt đập kể từ đỉnh đập đến mặt cắt tính toán

Nhận xét: Trong các công thức, đồ thị này, hệ số lưu tốc φ chỉ tính toán cho trường hợp chảy tự do qua tràn. Trường hợp dòng chảy qua đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong có áp thì giá trị của hệ số này không còn phù hợp nữa, vì vậy cần phải làm rõ để áp dụng cho trường hợp dòng chảy của luận án.

1.3.3.2 Nghiên cứu mô hình toán

Từ những năm nửa cuối của thế kỷ trước, nhiều nhà khoa học đã cố gắng để mô phỏng giải các bài toán cơ học chất lỏng ở đập tràn. Cassindy (1965) đã tính hệ số lưu lượng, đường mặt nước cho đập tràn chuẩn dùng mô hình dòng chảy thế; Cùng năm đó Francis H. Harlow and I.Eddie Welch [27] dùng mô hình số để mô phỏng dòng chảy có bề mặt tự do theo thời gian. Tiếp đó Ikegawa & Washizu (1973) đã nghiên cứu đập tràn dùng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM), phần lớn các tác giả dùng lý thuyết dòng chảy thế (Li et al 1989) hoặc phương trình (RANS) Reynolds-averaged Navier - Stokes (Olsen & Kjellevig 1998; Burgisser & Rautschmann 1999; Qun Chen et al 2002; Wei Wenli & Dai Huichao 2005, Anders G.Andersson et al [19], Bruce M. Savage and Micheal C.Johnson [20] dùng phương pháp thể tích hữu hạn (VOF)... Unami et al (1999) phát triển bài toán 2 chiều dùng FEM. Zhou & Bhajantri (1998) và Song & Zhou (1999) phát triển bài toán 2 chiều và 3 chiều; Christopher B. Cook et al (2001) [22] mô phỏng 3 chiều cho cả hạ lưu đập.

Trong 30 năm gần đây, mô hình số đã được phát triển nhanh chóng và khẳng định khả năng mô phỏng cho nhiều ứng dụng. Sự phát triển này đã dẫn đến việc sử dụng rộng rãi mô hình số như một công cụ thiết kế trong nhiều lĩnh vực kỹ thuật.

a) Phương pháp dòng thế

Xét dòng chảy ổn định chảy qua mặt tràn cong. Giả thiết dòng chảy trên mặt tràn là dòng chảy thế. Để xác định độ phân bố lưu tốc và áp lực tại mọi điểm trên làn nước chảy qua tràn, cần xác định lưới của đường dòng và đường thế. Với dòng chảy thế thì hàm dòng và hàm thế đều thỏa mãn phương trình Laplace (1.18) [1].

$$\Delta\Psi = \frac{\partial^2\Psi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2\Psi}{\partial y^2} = 0 \quad (1.18)$$

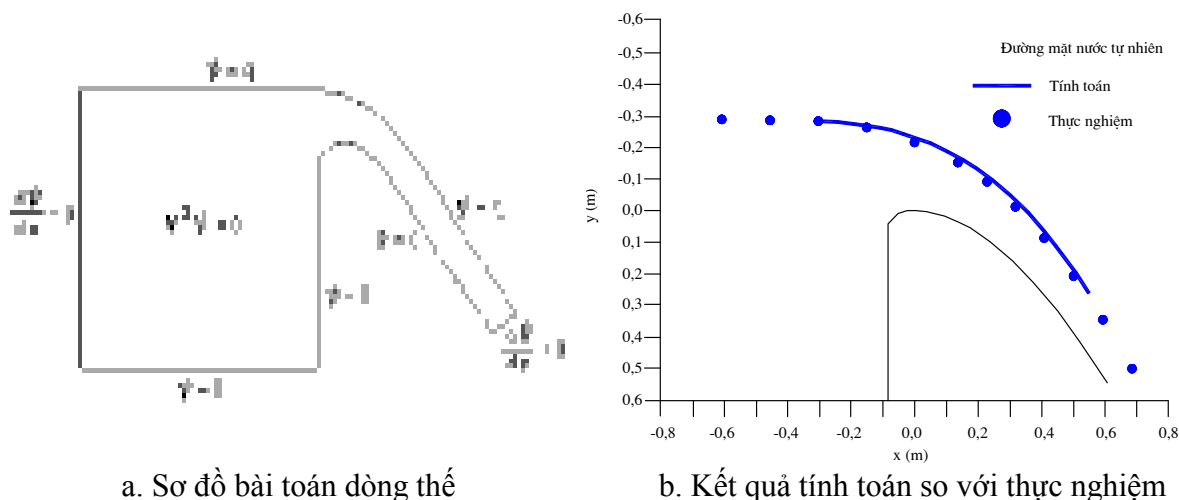
Phương trình (1.18) với các điều kiện biên sơ họa trên Hình 1.25.a là phương trình của bài toán biên. Giải phương trình Laplace với các điều kiện biên cụ thể sẽ xác định được hàm dòng, hàm thế và xác định được sự phân bố vận tốc, áp suất của dòng chảy.

Mô hình thể phẳng, đã được nhiều tác giả [2], [6], [7], [21], [52],... nghiên cứu với nhiều phương pháp khác nhau như: phương pháp hàm thể phức, phương pháp sai phân hữu hạn, phương pháp phần tử hữu hạn.

Nguyễn Xuân Đăng [2], [52] giải hàm dòng (1.18) theo phương pháp hàm thể phức để lựa chọn đường viền kênh dẫn vào tràn xả lũ hợp lý.

Nguyễn Văn Mạo (1987) [6], đã giải phương trình dòng thế, viết phương trình tính độ cong đường dòng và tính hệ số giảm áp C_p theo phương pháp bán thực nghiệm.

Carlos E.F Mello & Jose P.S. Azevedo (2002) [21] đã giải phương trình trên bằng phương pháp phần tử hữu hạn (FEM) so sánh lưu lượng giữa tính toán và thực nghiệm có sai số 0,5÷3%, (Hình 1.25.b).



Hình 1.25 Sơ đồ và kết quả tính toán bài toán dòng thế

b) Giải hệ phương trình Navier - Stokes

Vuxotxki [49] để giải bài toán điều khiển dòng xiết bằng đáy cong 2 hướng và 3 hướng (không gian), đã viết phương trình động lượng và phương trình liên tục dưới đây.

Phương trình động lượng:

$$\vec{a} - \frac{1}{\rho} \text{grad}p - \vec{T} = \frac{d\vec{v}}{dt} \tag{1.19}$$

Phương trình liên tục:

$$\delta(\Delta Q) = u \cos \beta \cos \alpha \delta h \delta b \tag{1.20}$$

V_F là thể tích của toàn bộ chất lỏng trong phân tử, ρ khối lượng riêng chất lỏng, R_{DIF} là khối lượng rời khuếch tán, và R_{SOR} khối lượng nguồn (chất lỏng).

Thành phần vận tốc (u, v, w) đặt trong hệ tọa độ (x, y, z) hoặc (r, R_{SOR}, z) . A_x tổng diện tích dòng chảy được phân đoạn trong phương x , A_y và A_z tương tự lần lượt là diện tích dòng chảy được phân đoạn trong phương y và phương z .

Hệ số R phụ thuộc vào lựa chọn hệ tọa độ. Khi hệ tọa độ trụ được sử dụng đạo hàm theo y phải được chuyển đổi thành đạo hàm góc phương vị.

(G_x, G_y, G_z) là gia tốc trọng lực chất lỏng, (f_x, f_y, f_z) là gia tốc nhớt, (b_x, b_y, b_z) là tổn thất dòng chảy. Thành phần $U_w = (u_w, v_w, w_w)$ trong phương trình (1.22) là vận tốc của thành phần hình học.

Phần mềm tính toán thủy động lực (CFD) là sản phẩm mô hình số đã được phát triển để giải quyết các vấn đề liên quan đến dòng chảy, các ứng dụng liên quan đến sự tương tác chất lỏng - rắn, hoặc dòng chảy hay trên và xung quanh các cấu trúc thủy lực. Do đó có sự ứng dụng rộng rãi CFD để mô hình hoá dòng chảy tại các công trình thủy lợi - thủy điện. Kết quả nghiên cứu sử dụng Flow-3D cho các đập tràn khác nhau đều có kết quả phù hợp với các nghiên cứu mô hình vật lý và hướng dẫn thiết kế của U.S. Army Corps of Engineers (USACE) và U.S. Bureau of Reclamation (USBR) [19], [20], [22], [24], [25], [26].

Nghiên cứu của Savage và Johnson (2001) [20] sử dụng một mô hình Flow-3D để tính toán lưu lượng và áp suất trên đỉnh của đập tràn biên cong thực dụng theo tiêu chuẩn của USACE và USBR. Kết quả từ các mô hình CFD sau đó được so sánh với kết quả từ một nghiên cứu mô hình vật lý của USACE hiện có và dữ liệu của USBR. Kết quả cho thấy rằng với cột nước tăng đến 1,2 lần H_d , kết quả Flow-3D sai số lưu lượng nằm trong 1% so với kết quả mô hình vật lý. Daneshfaraz et al (2013) [23] cũng sử dụng mô hình Flow-3D để nghiên cứu áp suất, vận tốc dòng chảy qua đập Siah-Bishe và so sánh với mô hình vật lý.

Ho, Boyes, Donohoo, và Cooper (2003) đã so sánh áp suất trên mặt và lưu lượng qua một đập tràn mặt cong tiêu chuẩn từ mô phỏng 2D và 3D trong Flow-3D với dữ liệu USACE và phương trình xả thực nghiệm. Nghiên cứu của họ cho thấy áp suất bề mặt tràn trong mô phỏng 2D và 3D theo xu hướng chung của dữ liệu được công bố bởi USACE, tuy nhiên, trong cả hai trường hợp kết quả CFD dự báo áp suất âm lớn hơn. Lưu lượng dòng chảy trong mô phỏng 2D vượt trên khoảng 10 đến 20 % tùy theo cột nước. Kết quả mô phỏng CFD-3D đã tốt hơn nhiều, sai số trong khoảng 5 % của những tính toán thực nghiệm cho ba mức cột nước xem xét. Tài liệu này cũng tiếp tục thảo luận về các ứng dụng thành công phần mềm Flow-3D để phân tích thủy lực đập tràn trên ba cấu trúc thực tại Úc.

Ho, Cooper, Riddette, và Donohoo (2006) cũng đã xem xét việc áp dụng Flow-3D cho 08 dự án nâng cấp đập tràn tại Úc. Lưu lượng dòng chảy cho các cột nước bằng hoặc lớn hơn mức thiết kế với đánh giá cao hơn 5% so với mô hình vật lý. Gessler (2005) ghi nhận Flow-3D có kết quả là lưu lượng sai khác trong vòng 5% so với nghiên cứu mô hình vật lý trước đó.

1.4 Các kết quả nghiên cứu về công trình tháo xả sâu, xả mặt kết hợp xả sâu

1.1.1 Công trình tháo xả sâu (cống, tuynel, lỗ xả sâu)

Theo [50], [51], [52] dòng chảy qua công trình tháo sâu (cống, tuynel, lỗ xả sâu) được phân thành 3 chế độ cơ bản: không áp, bán áp và có áp. Phần sau đây trình bày các kết quả nghiên cứu trong trường hợp chảy có áp.

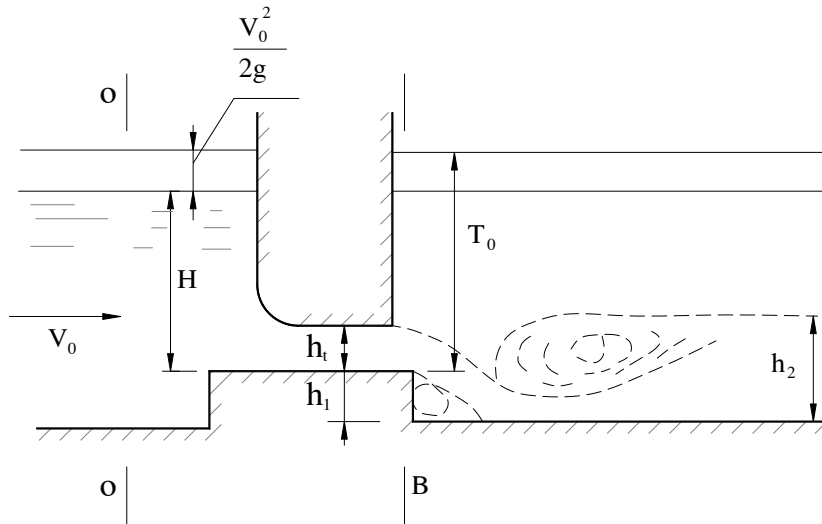
Lưu lượng qua tuynel làm việc ở chế độ có áp khi cửa vào ngập sâu dưới mực nước thượng lưu và trong tuynel dòng chảy kín toàn bộ mặt cắt, không quan sát thấy vị trí dòng chảy tách khỏi trần.

Lưu lượng tính theo công thức:

$$Q = \mu \omega \sqrt{2gH_0} \quad (1.23)$$

Hệ số lưu lượng:

$$\mu = \frac{1}{\sqrt{(\alpha + \sum \xi_i)}} \quad (1.24)$$



Hình 1.27 Sơ đồ xác định lưu lượng ở tuynel có áp

Đối với tuynel thì áp suất thủy động trên trần cửa vào rất được quan tâm nghiên cứu. Theo các nghiên cứu của G.A. Vorobiov, N.P. Rozanop, E.I Đubintric, S.M. Sliski [51], [52] để tính áp suất ở cửa vào, hệ số giảm áp được đưa vào. Nó là đại lượng không thứ

nguyên, ký hiệu là C_p . Hệ số C_p được xác định theo thí nghiệm. Tại mỗi điểm (i) trên biên cửa vào có một trị số C_{pi} và tập hợp tất cả các điểm đó cho mỗi đường viền tìm được giá trị C_{pmax} ở điểm có áp suất nhỏ nhất. Trị số C_{pmax} đặc trưng cho mỗi đường viền cửa vào. Nếu tại vị trí nào có C_p càng lớn thì áp suất dư tại đó càng thấp, khả năng tháo càng cao và ngược lại. Hệ số $C_{pmax} > 1$, và gần bằng 1 khi cửa vào có kích thước lớn. Hệ số C_p phụ thuộc vào kích thước và hình dạng của cửa vào, nó có ý nghĩa ứng dụng thực tế rất lớn, là thông số quyết định để lựa chọn hình dạng cửa vào. Hệ số C_p tại điểm (i) trên trần cửa vào tuynel được tính theo công thức (1.25).

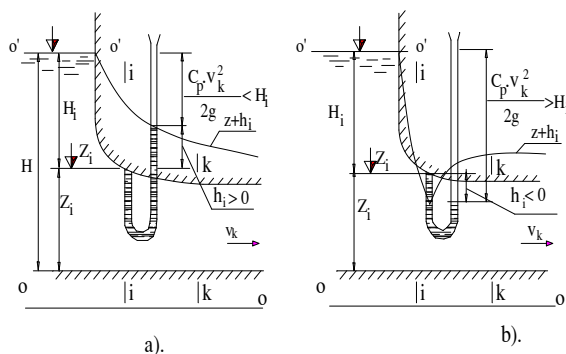
$$C_{pi} = \frac{2g(H_i - p_i / \gamma)}{v_k^2} \quad (1.25)$$

Trong đó: H_i - độ sâu của điểm (i) tính từ mực nước thượng lưu, p_i - áp suất dư tại điểm (i); v_k - vận tốc trung bình tại mặt cắt cuối cửa vào. Như vậy, hệ số giảm áp C_p được xác định bằng hiệu số giữa chiều cao áp suất tĩnh và chiều cao áp suất dư tại điểm (i) so với động năng dòng chảy ở cuối cửa vào. Hệ số C_p đặc trưng cho mức độ ảnh hưởng của gia tốc li tâm đến áp suất dòng chảy ở đoạn cong. Khi biết biên dạng đường viền và hệ số C_p tại điểm (i) có thể tính áp suất dư tại đó theo công thức (1.26):

$$\frac{p_i}{\gamma} = H_i - C_p \frac{v_k^2}{2g} \quad (1.26)$$

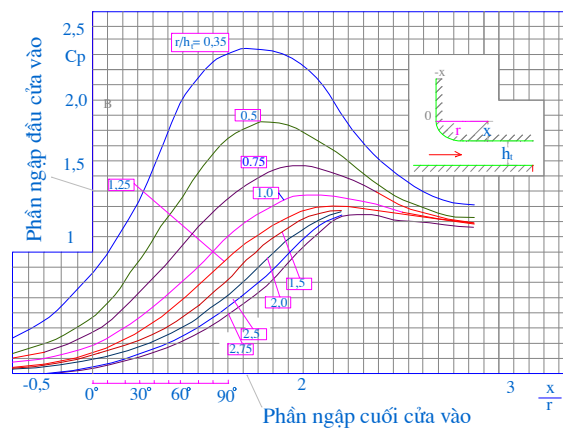
Áp suất nhỏ nhất trên biên cửa vào được xác định theo công thức (1.27):

$$\frac{p_{i \min}}{\gamma} = H_i - C_{p \max} \frac{v_k^2}{2g} \quad (1.27)$$



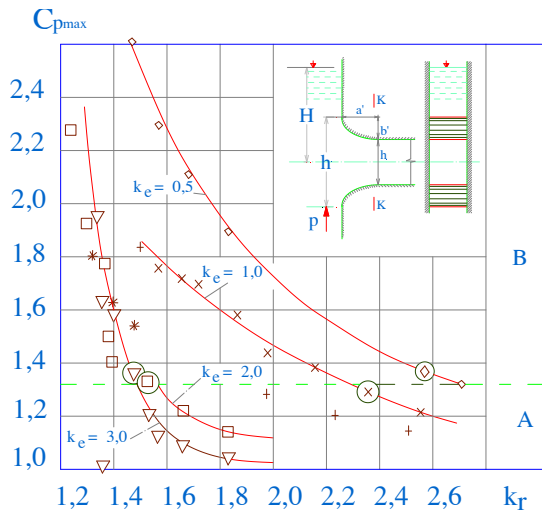
a) Trường hợp không có chân không
b) Trường hợp có chân không

Hình 1.28 Sơ đồ xác định áp suất và hệ số giảm áp C_p ở cửa vào [51], [52]



Hình 1.29 Kết quả xác định C_p đối với đường viền tròn [51], [52]

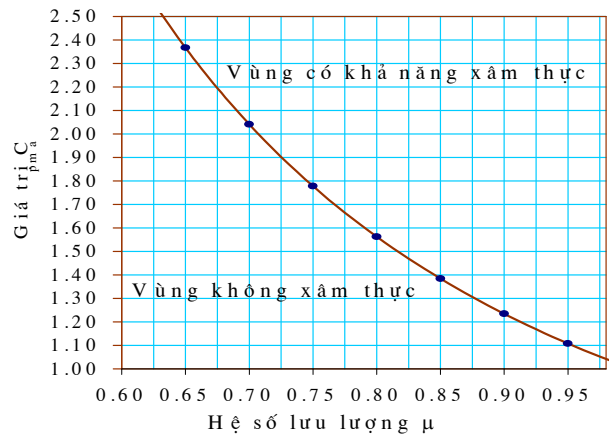
Các nghiên cứu của G.A. Vorobiov, N.P. Rozanop, E.I Đubintric, S.M. Sliski [51], [52] đã thí nghiệm xác định hệ số C_p đối với các loại đường viền. Kết quả nghiên cứu về C_{pmax} của họ được dẫn ra trên hình Hình 1.29, Hình 1.30.



Hình 1.30 Hệ số C_{pmax} ở cửa vào phẳng [51], [52]

- A. Vùng không tác dòng
- B. Vùng tách dòng

Để xác định áp suất ở tường ngực, luận án sẽ áp dụng tính toán, kiểm tra với các kết quả thí nghiệm, làm căn cứ kiến nghị phương pháp xác định.



Hình 1.31 Vùng tách dòng phụ thuộc C_{pmax} và hệ số lưu lượng μ [7], [51], [52]

1.4.2 Xả mặt kết hợp xả sâu

Khi hồ chứa có yêu cầu như phòng lũ, tháo cạn, xả cát hoặc tràn mặt không đủ, cần bố trí kết hợp công trình xả mặt và xả sâu. Ở trong nước, nghiên cứu về xả kết hợp được Hoàng Văn Tần (1999) [10] thực hiện cho hai dạng công trình điển hình là tràn mặt đỉnh rộng hoặc thực dụng kết hợp xả sâu. Thực tế ở Việt Nam nhiều công trình lớn đã áp dụng hình thức này như thủy điện Hòa Bình, Sơn La, Tuyên Quang, Lai Châu, Tả Trịch. Đến nay sau nhiều năm vận hành đã cho thấy các nghiên cứu, tính toán đã áp dụng hình thức xả cho các đập này là rất hiệu quả, đảm bảo an toàn công trình và hạ lưu. Một số kết quả thí nghiệm về khả năng tháo cho các công trình lớn trên Hình 1.32÷ Hình 1.34.

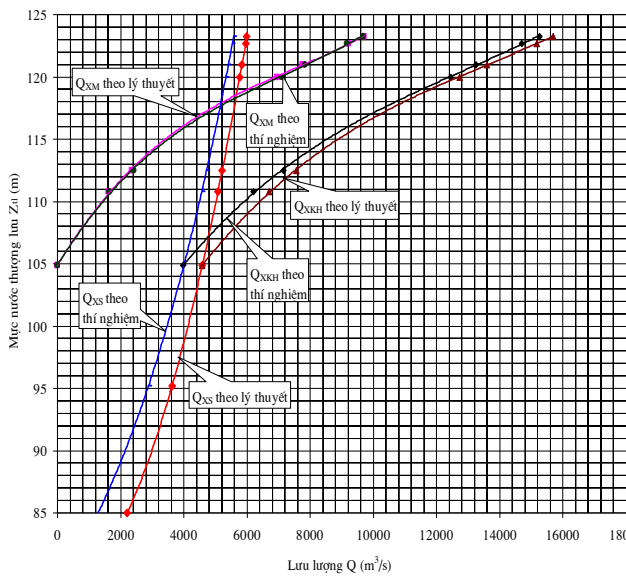
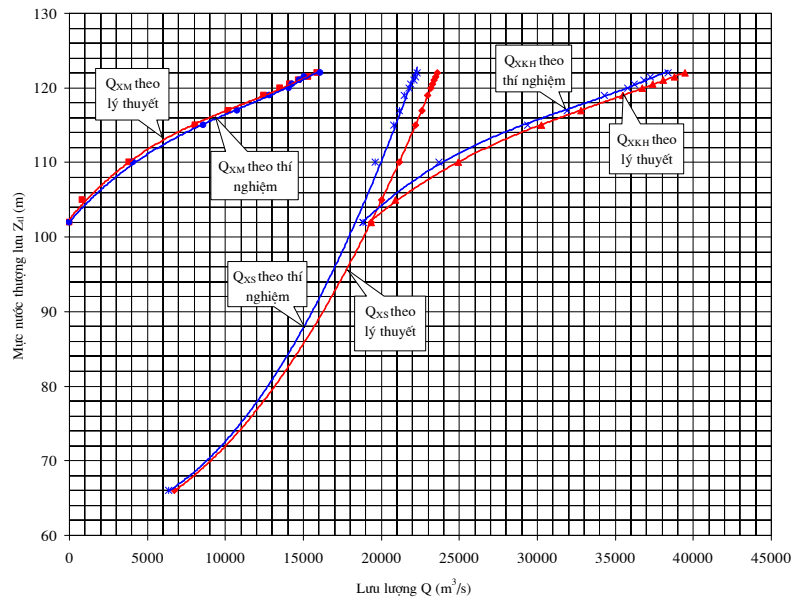
Các kết quả nghiên cứu thực nghiệm và thiết kế cho các công trình đã xác định:

- Cột nước làm việc của các lỗ xả sâu đập tràn thủy điện Sơn La có $H/D=4,5\div 8,3$, hệ số lưu lượng xả sâu $\mu=0,94\div 0,96$, xả mặt trong trường hợp có áp dưới tường ngực hệ số lưu lượng $\mu=0,78\div 0,86$;

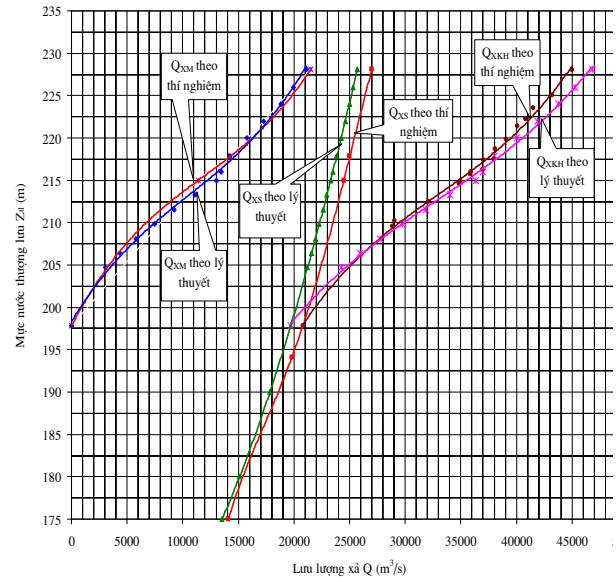
- Cột nước làm việc của các lỗ xả sâu đập tràn thủy điện Hòa Bình có $H/D=4,7 \div 6,5$, thủy điện Tuyên Quang có $H/D=3,5 \div 5$, hệ số lưu lượng xả mặt khi cửa van mở một phần là $\mu=0,56 \div 0,69$;

- Về tính toán khả năng tháo kết hợp, khi tính toán thường là dùng khả năng tháo tổng cộng của xả mặt và xả sâu.

Hình 1.32 Khả năng tháo theo lý thuyết và thí nghiệm đập tràn thủy điện Hòa Bình [8], [14]



Hình 1.33 Khả năng tháo theo lý thuyết và thí nghiệm đập tràn thủy điện Tuyên Quang [8], [14]



Hình 1.34 Khả năng tháo theo thí nghiệm của đập tràn thủy điện Sơn La [8], [14]

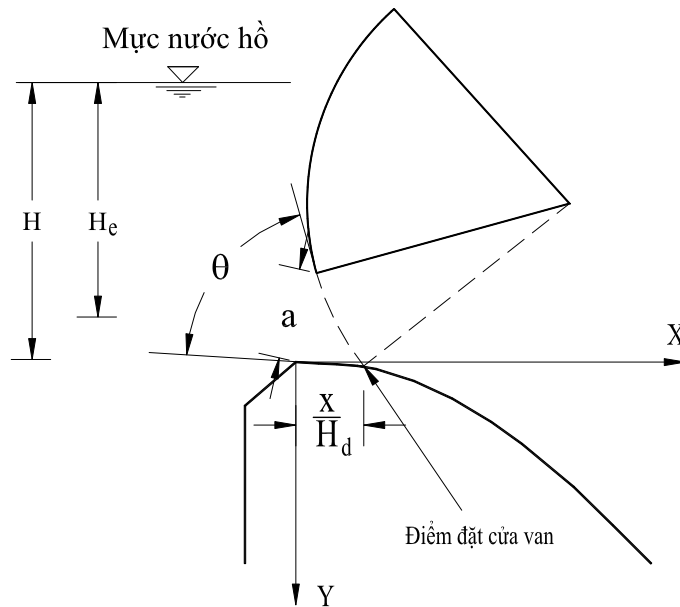
1.4.3 Chảy dưới cửa van

Trong nhiều trường hợp, để kiểm soát khả năng tháo qua đập tràn, điều tiết lũ, người ta bố trí cửa van trên đỉnh đập tràn. Khi cửa van mở một phần, dòng chảy qua đỉnh đập sẽ là dòng chảy dưới cửa van.

Trong trường hợp đỉnh đập lắp cửa van phẳng, lưu lượng qua đập tràn được tính theo công thức (1.28) [2], [25], [31], [45].

$$Q = \epsilon m a b \sqrt{2g(H_0 - \epsilon a)} \quad (1.28)$$

$$\text{Với } H_0 = H + \left(\frac{V_0^2}{2g} \right).$$



Hình 1.35 Sơ đồ dòng chảy dưới cửa van trên đỉnh đập

Trường hợp đỉnh đập là cửa van cung, lưu lượng qua đập tràn được tính theo công thức (1.29) [31], [45].

$$Q = \phi \epsilon a b \sqrt{2gH_e} \text{ hay } Q = \mu a b \sqrt{2gH_e} \quad (1.29)$$

$$\text{Với } H_e = H + \frac{V_0^2}{2g} - \frac{a}{2}$$

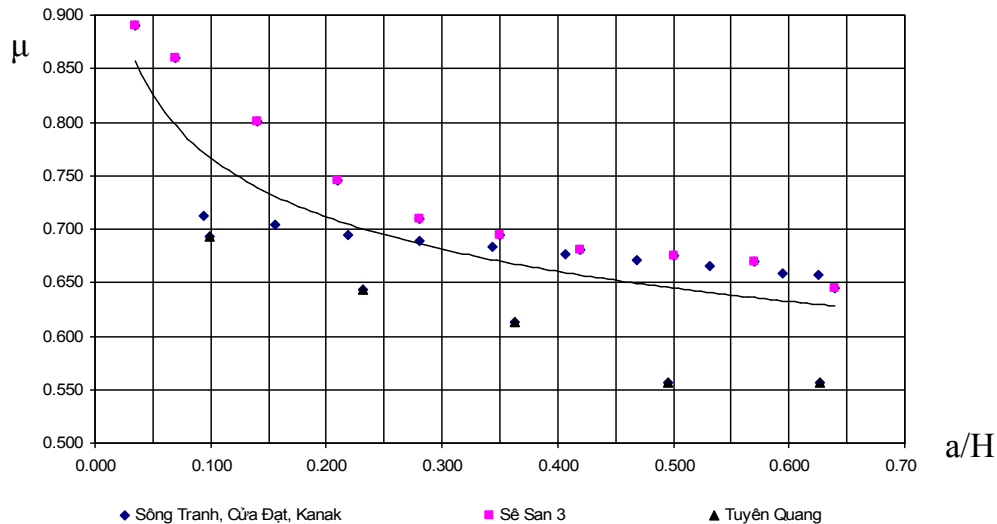
Hệ số lưu lượng μ được xác định cho trường hợp cửa van đặt ở đỉnh và lùi về hạ lưu đỉnh theo đồ thị Hình PL5 phụ lục.

Theo [25], lưu lượng chảy qua đập dưới cửa van cung mở một phần theo công thức (1.30):

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} \mu b \left(H_0^{3/2} - (H_0 - a)^{3/2} \right) \quad (1.30)$$

Khi cửa van mở hoàn toàn thì dòng chảy trên đỉnh đập trở về trường hợp dòng chảy tự do trên đập tràn. Chế độ dòng chảy qua cửa van chịu ảnh hưởng của sự co hẹp dòng chảy, độ mở cửa van v.v.

Một số kết quả nghiên cứu thí nghiệm mô hình ở Việt Nam về dòng chảy dưới cửa van cung ở một số công trình và tính hệ số lưu lượng được ghi ở bảng PL1.4 phụ lục và Hình 1.36.



Hình 1.36 Đường cong xác định hệ số μ , khi độ mở a khác nhau [8]

Phân bố áp suất trên mặt tràn theo [31] được thể hiện ở các hình PL1.6, PL1.7.

1.5 Những vấn đề tồn tại

Như đã phân tích ở trên, tuy đã có những kết quả nghiên cứu nhất định về thủy lực của dòng chảy qua đập tràn có tường ngực như hình dạng mặt tràn, hình dạng cong của tường ngực, khả năng tháo,... nhưng vẫn chưa phản ánh hết phạm vi làm việc, đặc điểm thủy lực trong phạm vi thường dùng, chưa lượng hóa hết các yếu tố ảnh hưởng đến hình dạng, khả năng tháo, áp lực ở đập tràn này. Các vấn đề tồn tại chủ yếu là:

1/ Chưa phân định chế độ chảy qua đập;

2/ Việc xác định hệ số lưu lượng μ gặp khó khăn vì chỉ cho một dải giá trị mà không chỉ rõ yếu tố phụ thuộc. Công thức tính hệ số lưu lượng xét theo tỉ lệ H/H_d , chưa phản ánh được chế độ chảy và đặc trưng của lỗ là chiều cao D ;

3/ Chưa có hướng dẫn cách xác định các yếu tố thủy lực như đường mặt nước, vận tốc, áp suất trên mặt tràn;

4/ Chưa chỉ ra cách xác định áp suất nhỏ nhất trên mặt tràn, biên tường ngực.

Việc xác định các tồn tại này góp phần làm rõ bản chất thủy lực của dòng chảy ở đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong, giảm bớt khối lượng thực nghiệm.

1.6 Kết luận chương 1

Trong thực tế với các đập tràn cột nước vừa vào cao có thể lựa chọn xả mặt, xả sâu hay xả mặt kết hợp xả sâu. Mỗi hình thức đều có phạm vi ứng dụng và những ưu nhược điểm nhất định. Đập tràn thực dụng hình cong với hai loại mặt cắt Creager – Ophixerop và dạng WES là loại đập được áp dụng nhiều nhất.

Với dòng chảy hờ qua đập tràn hay dòng chảy có áp qua cống ngầm, tuy nèn thì các kết quả nghiên cứu là tương đối đầy đủ cơ bản đáp ứng yêu cầu nghiên cứu, thiết kế trong thực tế.

Đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong là hình thức trung gian giữa xả mặt và xả sâu, có ưu điểm là có thể tăng dung tích phòng lũ, tối ưu hóa cửa van, tháo lưu lượng hồ ở mức nước thấp. Nó phát huy được những ưu điểm của cả xả mặt và xả đáy nên hay được dùng cho những đập tràn vừa và cao. Các kết quả nghiên cứu về hình thức xả này đã có nhưng chưa đầy đủ, chi tiết, một số nghiên cứu chỉ là cá biệt cho công trình cụ thể.

Từ những hạn chế về kết quả nghiên cứu và tài liệu hiện có, luận án sẽ nghiên cứu một số đặc trưng thủy lực là xác định chế độ dòng chảy, xác định lưu lượng, vận tốc, áp suất và xây dựng hàm thực nghiệm ứng dụng trong tính toán.

Phương pháp nghiên cứu thủy lực thông thường hiện nay là nghiên cứu lý thuyết, nghiên cứu thực nghiệm mô hình thủy lực hoặc kết hợp cả hai phương pháp trên. Dù phương pháp nào thì kết quả của lời giải cũng chỉ gần đúng. Để giải quyết được các vấn đề của luận án theo mục tiêu đã đề ra, luận án sử dụng phương pháp nghiên cứu thực nghiệm mô hình thủy lực, là phương pháp nghiên cứu truyền thống được sử dụng phổ biến và có độ tin cậy cao nhất trong nghiên cứu thủy lực công trình. Phần tiếp theo sẽ trình bày rõ hơn phương pháp nghiên cứu của luận án.

CHƯƠNG 2 PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU CÁC ĐẶC TRƯNG THỦY LỰC Ở ĐẬP TRÀN THỰC DỤNG CÓ TƯỜNG NGƯỢC

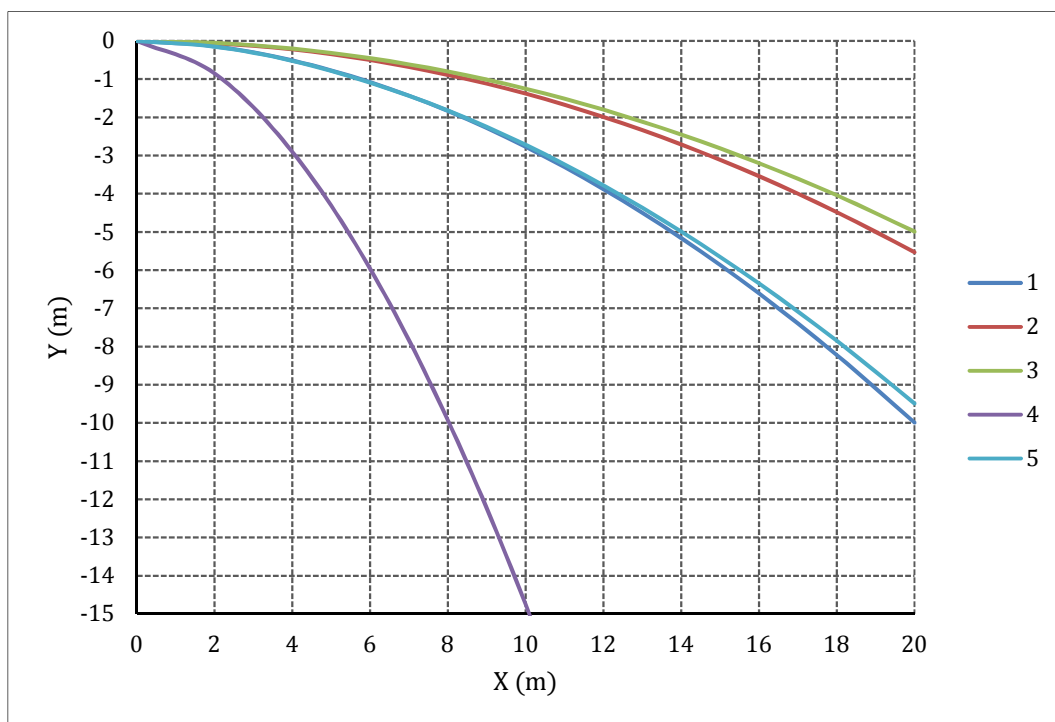
Trong chương này, chúng tôi sẽ trình bày về phương pháp xác định chế độ dòng chảy và phương pháp nghiên cứu thực nghiệm mô hình để xác định các thông số thủy lực của đập tràn thực dụng có tường ngược biên cong.

2.1 Phương pháp xác định chế độ dòng chảy

2.1.1 Phân tích một số dạng đường cong mặt đập tràn

Đường cong mặt đập tràn có ảnh hưởng đến các đặc trưng thủy lực ở đập tràn có tường ngược. Việc lựa chọn đường cong nào cũng cần thỏa mãn các điều kiện đảm bảo lưu lượng tháo, kết cấu đơn giản, thuận dòng, tổn thất nhỏ, không xâm thực, dễ thi công và dễ bố trí kết cấu như khe van, cửa van.

Để phân tích vấn đề này, xin lấy một ví dụ cho công trình làm việc với $H_{\max}=30,3\text{m}$, $D=11,40\text{m}$, cột nước thiết kế $H_d=20,03\text{m}$. Tính tọa độ mặt tràn với các công thức khác nhau được ghi ở bảng PL2.1 và Hình 2.1.



Hình 2.1 So sánh tọa độ các dạng mặt tràn

1) WES; 2) Parapol: $X^2=4\phi^2YH_d$; 3) Parapol: $X^2=4YH_d$; 4) Ấn Độ; 5) OPhixerop

Từ đồ thị Hình 2.1, có thể nhận xét trong 5 loại đường cong trên, đường cong có phương trình (1.1): $X_4^{n_4-1} = K_4 H_d^{n_4-1} Y_4$ của Ấn Độ có mặt cắt mảnh nhất, tiếp theo là các đường cong WES, Ophixerop, đường $X^2=4\varphi^2 Y H_d$ với $\varphi=0,95$ và cao nhất là đường $X^2=4Y H_d$. Đường cong theo phương trình (1.1), phù hợp với các đập tràn thấp; đường cong WES hay Ophierop sử dụng cho các đập tràn làm việc trong phạm vi $H/H_d \leq 1,33$; với các đập tràn làm việc với cột nước cao $H/H_d > 1,33$ nên chọn đường cong có phương trình (1.2) và (1.3). Từ việc xác định đường cong mặt tràn sẽ xác định được đường mặt nước trên mặt tràn khi biết độ sâu dòng nước.

2.1.2 Phương pháp xác định chế độ dòng chảy ở đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong

Để xác định chế độ dòng chảy có áp ở đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong, cần phải xác định đường mặt nước ở chế độ chảy hở, khi đường mặt nước chạm mép dưới tường ngực, bắt đầu xem xét việc chảy có áp. Tính đường mặt nước theo công thức (1.16), (1.17) cho đập tràn dạng Creager-Ophixerop [2], [51], [52]. Sử dụng bảng tra để tính đường mặt nước cho mặt cắt WES [31], [45], [48].

Để minh họa cho việc tính đường mặt nước, xác định chế độ chảy ở đập tràn dạng WES có tường ngực, lấy ví dụ của đập tràn có cột nước thiết kế $H_d=20,03$ m, khi đó phương trình mặt tràn có dạng $X^{1,85} = 25,55Y$. Phân tích lý thuyết đường mặt nước với các mức nước khác nhau trong phạm vi $H/H_d=0,5 \div 1,33$ ở chế độ chảy tự do, mặt tràn WES [31], [45], [48], kết quả ghi ở Bảng PL2.2.

Vẽ vị trí đường mặt nước, mặt tràn, tường ngực trên cùng đồ thị Hình 2.2, cho thấy:

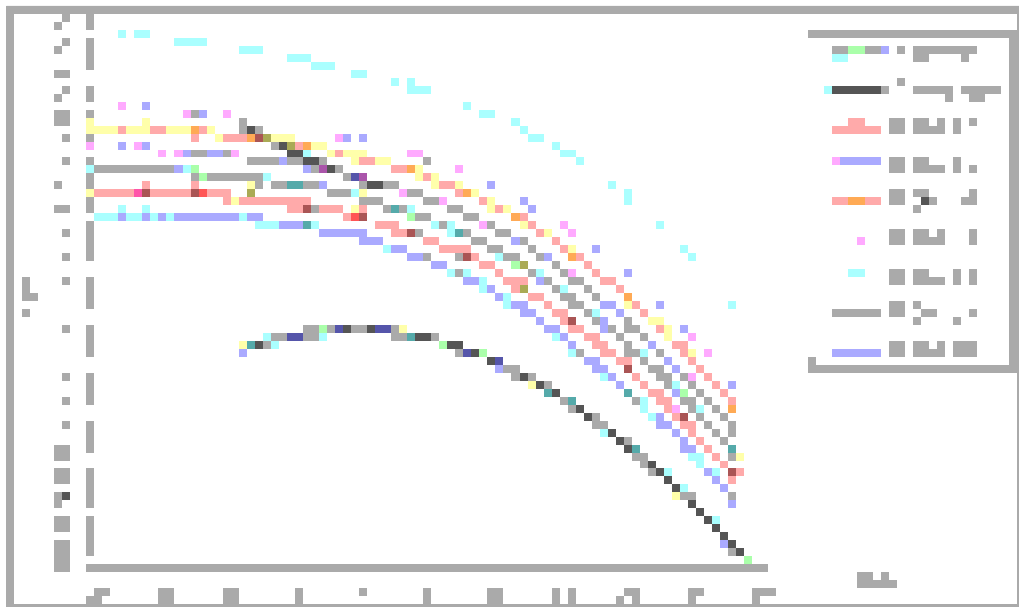
Khi $H/D \leq 0,88 \div 1,23$, đường mặt nước chưa chạm tràn tường ngực, đập tràn chảy tự do.

Khi $H/D \geq 1,41$, đường mặt nước bắt đầu chạm mép dưới tường ngực, dòng chảy qua tường ngực chảy ở chế độ chảy phân giới.

Khi $H/D \geq 1,58$, đường mặt nước ngập mép dưới tường ngực, dòng chảy qua tường ngực chảy ở chế độ có áp.

Theo [2], [52] khi cửa vào cống, tuynel chảy có áp với $H/D \geq 1,5$, chảy không áp khi $H/D < 1,15 \div 1,25$. Và [34], [35], cho biết dòng chảy có áp qua tường ngực khi $H/D > 1,5 \div 1,7$.

Như vậy phương pháp xác định chế độ dòng chảy ở đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong là (i) vẽ đường cong mặt tràn và tường ngực trên cùng một mặt bằng với cùng tỷ lệ, (ii) xây dựng đường mặt nước trên mặt tràn ứng với các tỉ lệ H/D khác nhau trên mặt bằng đó. Tăng dần các tỷ lệ H/D từ chảy hở cho đến khi đường mặt nước chạm tường ngực, chế độ chảy bắt đầu chuyển từ hở sang có áp. Chế độ chảy có áp hoàn toàn khi đường mặt nước ngập kín tường ngực. Kết quả này sẽ được kiểm chứng bằng thực nghiệm ở chương 3.



Hình 2.2 Đường mặt nước tự do trên mặt tràn với các tỉ lệ H/H_d

2.2 Phương pháp nghiên cứu mô hình thủy lực

2.2.1 Tiêu chuẩn tương tự thủy động lực học

Xuất phát từ phương trình Navier- Stokes, thế các đại lượng không thứ nguyên $\bar{x} = x/l_o; \bar{y} = y/l_o; \bar{z} = z/l_o; \bar{u}_x = u_x/u_o; \bar{u}_y \dots$, vào phương trình này, sau khi biến đổi được phương trình đồng dạng sau:

$$\varphi(\text{Fr}, \text{Eu}, \text{Re}, \text{Sh}) = 0 \quad (2.1)$$

Trong đó:

Tiêu chuẩn Reynolds: Khi lực chính là lực ma sát (lực nhớt):

$$\text{Re} = \frac{vl}{\nu} = \text{idem hay } \frac{\lambda_v \lambda_l}{\lambda_\nu} = 1 \quad (2.2)$$

Tiêu chuẩn Froude: Khi lực chính là trọng lực:

$$\text{Fr} = \frac{v^2}{gl} = \text{idem hay } \frac{\lambda_v^2}{\lambda_g \lambda_l} = 1 \quad (2.3)$$

Tiêu chuẩn Euler: Khi lực chính là áp lực:

$$\text{Eu} = \frac{p}{\rho v^2} = \text{idem hay } \frac{\lambda_p}{\lambda_\rho \lambda_v^2} = 1 \quad (2.4)$$

Nếu áp suất có thứ nguyên là độ dài $\frac{p}{\gamma} = l$ trong đó $\gamma = \rho g$ ta có $\text{Eu} = \frac{1}{\text{Fr}}$

Khi đó tiêu chuẩn Euler và Froude là tương đương, được dùng khi lực chính là áp lực.

- Tiêu chuẩn Sh: Khi lực chính là lực quán tính:

$$\text{Sh} = \frac{l}{vt} = \text{idem hay } \frac{\lambda_l}{\lambda_v \lambda_t} = 1 \quad (2.5)$$

Hai dòng chảy chất lỏng được gọi là tương tự thủy động lực học khi thỏa mãn tất cả các tiêu chuẩn trên. Trong thực tế hầu như không thể đảm bảo đồng thời tương tự được các tiêu chuẩn trên, nên thường căn cứ vào dòng chảy chịu tác động của lực nào là chính để chọn tiêu chuẩn tương tự, còn các tiêu chuẩn khác được xem xét như các điều kiện thoả mãn.

Mô hình hoá dòng chảy qua đập tràn có tường ngực biên cong, dòng chảy chịu tác động của lực trọng trường là chính, trong trường hợp chảy tự do có mặt thoáng; chịu tác động của trọng lực và áp lực trong trường hợp chảy có áp (kín mặt cắt). Như vậy để nghiên cứu mô hình thủy lực cần thoả mãn tiêu chuẩn Euler và Froude, nhưng như trên

đã nêu, hai tiêu chuẩn này là đồng nhất khi tính áp suất theo cột nước thường dùng với đơn vị đo là mét cột nước (m H₂O).

Phương trình tiêu chuẩn nghiên cứu được chọn là tiêu chuẩn Froude:

$$Fr = \frac{v^2}{gl} = \text{idem hay } \frac{\lambda_v^2}{\lambda_g \lambda_l} = 1 \quad (2.6)$$

Khi đó các tiêu chuẩn khác được coi là điều kiện thỏa mãn:

Với điều kiện $Re_{mh} \geq Re_{gh}$, thì mô hình chảy trong khu bình phương sức cản để thỏa mãn tương tự về tổn thất dọc đường ta cần có điều kiện (2.7)

$$Re_{gh} = \frac{14 R_m}{k_m \sqrt{\epsilon_m}} \quad (2.7)$$

Trong đó: R_m là bán kính thủy lực mô hình;

Tỉ lệ hình học:

$$\lambda_L = \frac{L_n}{L_m} = \lambda_l = \lambda_b = \lambda_h; \lambda_s = \lambda_l^2; \lambda_v = \lambda_l^3 \quad (2.8)$$

Tỉ lệ cột nước, áp suất:

$$\lambda_H = \frac{H_n}{H_m} = \lambda_1; \lambda_{h_p} = \frac{\left(\frac{p}{\gamma}\right)_n}{\left(\frac{p}{\gamma}\right)_m} = \lambda_1; \lambda_{h_v} = \frac{\left(\frac{v^2}{2g}\right)_n}{\left(\frac{v^2}{2g}\right)_m} = \lambda_1$$

Tỉ lệ vận tốc, lưu lượng:

$$\lambda_v = \frac{v_n}{v_m} = \lambda_l^{\frac{1}{2}}; \lambda_Q = \frac{Q_n}{Q_m} = \lambda_l^{5/2}; \lambda_q = \frac{q_n}{q_m} = \lambda_l^{3/2} \quad (2.9)$$

Tỉ lệ nhám:

$$\lambda_k = \frac{k_n}{k_m} = \lambda_1; \lambda_n = \frac{n_n}{n_m} = \lambda_1^{1/6}$$

2.2.2 Xây dựng phương trình nghiên cứu thực nghiệm

Luận án nghiên cứu một số đặc trưng thủy lực của dòng chảy qua tràn thực dụng có tường ngực biên cong, khi xét chế độ chảy có áp qua tường ngực các đại lượng có thể thay đổi trong quá trình nghiên cứu là các đặc trưng của chất lỏng thí nghiệm gồm: khối lượng riêng ρ có thứ nguyên là $[M/L^3]$, độ nhớt động lực học η $[M/LT]$, lực khối đại diện là gia tốc trọng trường g $[L/T^2]$; các đại lượng hình học thuộc về kích thước công trình có thứ nguyên là độ dài $[L]$ gồm cột nước tác dụng H , chiều cao cửa ra của tường ngực D , chiều cao cửa vào của tường ngực D_1 , chiều dài tường ngực theo phương dòng chảy D_2 , chiều cao ngưỡng đập tràn P , chiều rộng khoang tràn B , cột nước hình dạng của mặt tràn H_d ; lưu lượng tháo qua tràn Q $[L^3/T]$, các đại lượng đo đặc thí nghiệm trên mô hình gồm vận tốc v $[L/T]$, độ sâu dòng chảy h_i $[L]$. Ở đây áp suất được đo là m cột nước nên cũng được biểu diễn như độ sâu dòng chảy. Từ đó ta có phương trình:

$$f(Q, H, D, D_1, D_2, P, b, H_d, g, \rho, \eta, h_i, v_i) = 0 \quad (2.10)$$

Trong phương trình trên số đại lượng biến đổi độc lập $n=13$. Dùng phương pháp Buckingham (định lý Pi) với việc lựa chọn 3 đại lượng cơ bản là Q, D, ρ ta có phiên hàm mới có $n - 3 = 10$ đại lượng không thứ nguyên (2.11).

$$F(\pi_1, \pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{n-3}) = 0 \text{ hay } \pi_1 = G(\pi_2, \pi_3, \dots, \pi_{n-3}) \quad (2.11)$$

Việc xác định các tổ hợp không thứ nguyên theo phương pháp Buckingham thu được phương trình biểu diễn các đại lượng không thứ nguyên và phương trình thực nghiệm tổng quát (2.12).

$$\begin{array}{ll} 1. \pi_1 = \frac{H}{D} & 6. \pi_6 = \frac{D^5 \cdot g}{Q^2} \\ 2. \pi_2 = \frac{D_1}{D} & 7. \pi_7 = \frac{D\eta}{Q\rho} \\ 3. \pi_3 = \frac{P}{D} & 8. \pi_8 = \frac{D_2}{D} \\ 4. \pi_4 = \frac{b}{D} & 9. \pi_9 = \frac{h_i}{D} \\ 5. \pi_5 = \frac{H_d}{D} & 10. \pi_{10} = \frac{D^2 V_i}{Q} \end{array}$$

$$F\left[\frac{H}{D}, \frac{D_1}{D}, \frac{D_2}{D}, \frac{P}{D}, \frac{b}{D}, \frac{H_d}{D}, \frac{D^5 \cdot g}{Q^2}, \frac{1}{Re}, \frac{h_i}{D}, \frac{D \cdot v_i}{q}\right] = 0 \quad (2.12)$$

Phương trình (2.12), là phương trình được sử dụng để xác định các chuỗi thí nghiệm và khi nghiên cứu thực nghiệm tổng quát của luận án.

Từ công thức tính lưu lượng chảy qua ống có áp ta có: $\sqrt{2 \pi_1 \pi_4^2 \pi_6} = \frac{b \cdot D \cdot \sqrt{2gH}}{Q} = \frac{1}{\mu}$

Lấy tích $\pi_4 \pi_7$ ta có: $\pi_4 \pi_7 = \frac{b}{D} \frac{D \eta}{Q \rho} = \frac{b \eta}{Q \rho} = \frac{v}{v \cdot h} = \frac{1}{Re}$

Khi nghiên cứu bài toán chảy có áp ở cửa vào tuynel, cống, dòng chảy dưới tường ngực thì ảnh hưởng của co hẹp bên là không đáng kể, trong nghiên cứu này không xét đến.

Với dòng chảy được xét trong khu bình phương sức cản và các tổn thất cục bộ là chủ yếu thì giá trị Re ít tác động đến các yếu tố thủy lực do vậy sẽ được bỏ qua.

Đại lượng D_2/D là tỷ lệ chiều dài đoạn dòng chảy có áp, với các thí nghiệm được xét đều có $D_2/D < 3$, nên là ống ngắn, tổn thất dọc đường rất bé, nên cũng được bỏ qua.

Giá trị $(D_1-D)/D_2$ là tỷ lệ hình dạng cửa vào của tràn có tường ngực, có thể coi là tỷ lệ hai bán trục elip của đường cong tường ngực, tỷ số này đã được tham khảo [51], [52] và có ảnh hưởng rất ít đến khả năng xả. Mặt khác có nhiều biên dạng tường ngực khác nhau như elip, đường thẳng kết hợp elip hoặc đường tròn phụ thuộc chủ yếu vào tỷ lệ D_1/D . Do vậy phương trình thực nghiệm khi nghiên cứu một đại lượng khả năng tháo (μ), chiều sâu dòng chảy hoặc áp suất (h_i) hoặc vận tốc (v_i) sau tường ngực thì phương trình (2.12) trở thành:

$$\text{Khi nghiên cứu khả năng tháo} \quad \mu = F1\left[\frac{H}{D}, \frac{H_d}{D}, \frac{D_1}{D}, \frac{b}{D}\right] \quad (2.13)$$

$$\text{Khi nghiên cứu áp suất hoặc cột nước:} \quad \frac{h_i}{H_d} = F2\left[\frac{H}{D}, \frac{H_d}{D}, \frac{D_1}{D}, \frac{b}{D}\right] \quad (2.14)$$

Khi nghiên cứu vận tốc trên mặt công trình trong phạm vi dòng xiết:

$$\frac{v_i}{v_r} = F3\left[\frac{H}{D}, \frac{H_d}{D}, \frac{D_1}{D}, \frac{b}{D}\right] \quad (2.15) \quad \text{với } v_r \text{ là vận tốc dòng chảy ở tại mặt cắt cuối cùng}$$

của tường ngực phía hạ lưu. Tại mặt cắt này vận tốc được tính theo công thức: $v_r = \frac{Q}{D \cdot B}$.

2.3 Mô hình nghiên cứu

2.3.1 Thiết kế và lắp đặt mô hình

2.3.1.1 Tỷ lệ mô hình

Các mô hình được lựa chọn theo tiêu chuẩn tương tự. Tỷ lệ mô hình được xác định theo điều kiện tương tự Frut và điều kiện thực tế của phòng thí nghiệm như thiết bị đo, khả năng bố trí lắp đặt thiết bị.... Sau khi đã chọn được tỷ lệ mô hình, kiểm tra điều kiện tương tự để khẳng định việc chọn tỷ lệ mô hình đáp ứng các điều kiện tương tự. Các tỷ lệ của mô hình thực nghiệm được chọn có tỷ lệ 1/48, 1/64 và 1/100 đảm bảo theo tiêu chuẩn TCVN8214:2009 và thỏa mãn các điều kiện tương tự.

2.3.1.2 Chế tạo và lắp đặt mô hình

Trên cơ sở tỷ lệ mô hình đã chọn, tiến hành chuyển đổi từ kích thước thực sang kích thước mô hình và chế tạo mô hình. Các bề mặt như mặt tràn, cửa van, dốc nước được chế tạo bằng vật liệu có tính hữu cơ là mê ca; bề mặt hạ lưu, lòng hồ dùng xi măng, cát để đảm bảo độ nhám và các điều kiện tương tự.

2.3.1.3 Thiết bị đo

Các thiết bị đo là thiết bị tiêu chuẩn của phòng thí nghiệm và được kiểm định thường xuyên theo quy định.

Cao độ được đo bằng máy thủy bình Ni04 có độ chính xác cao; độ dài được đo bằng thước lá, thước thép. Vận tốc trung bình thời gian (v , m/s), mạch động vận tốc được đo bằng đầu đo điện từ ký hiệu P.EMS của Hà Lan, với các đầu đo E30 và E40, có vận tốc đo đến 2,5m/s và 5m/s trên mô hình; sai số của nhà chế tạo đã được kiểm định không vượt quá 0,1%.

Áp suất trung bình thời gian (p , m), mạch động áp suất được đo bằng thiết bị điện tử ký hiệu HYDRA với các đầu đo 891.13.500 và 891.13.353 (WIKA) của Đức, sai số của nhà chế tạo 0,1%.

Để đảm bảo sự ổn định của phép đo, tại mỗi vị trí đo, thời gian thực hiện ghi số liệu kéo dài 20÷60s, mỗi giây nhận 10 số liệu, tổng số số liệu có được $n=200÷600$; việc tính giá trị được tính toán tự động theo phần mềm.

Đo lưu lượng, dùng đập tràn thành mỏng chữ nhật.

Sơ đồ, vị trí đo và điểm đo được trình bày chi tiết trong các mục (2.3.2, 2.3.3).

2.3.1.4 Đánh giá sai số

Do lưu lượng, dùng đập tràn thành mỏng chữ nhật, lưu lượng được tính theo công thức Rehbock:

$$q = b \left(1,782 + 0,24 \frac{H}{P} \right) H_e^{3/2} \quad (2.16)$$

Công thức này có sai số khoảng 1%, phạm vi giới hạn $0,15m < p < 1,22m$, trong đó p chiều cao đập phía thượng lưu, H cột nước đỉnh tràn; cột nước tính toán H_e được tính theo công thức: $H_e = H + 0,0011m$.

Sai số đo mức nước đập tràn bằng kim đo là 0,1mm.

Do độ dài, được đánh giá theo thang chia của dụng cụ đo: kim đo, thước lá, thước thép,... sai số là $\frac{1}{2}$ khoảng chia 0,5mm.

Sai số đo cao độ, theo máy thủy chuẩn độ chính xác cao Ni04 là 0,1mm.

Sai số tương đối đo lưu lượng tính theo công thức:

$$\frac{\nabla q}{q} (\%) = 1,782 \left(\left| \frac{\nabla b}{b} \right| + \left| \frac{3\nabla H_e^{1/2}}{2H_e} \right| \right) = 1,782(0,00067 + 0,0047) \cdot 100 \approx 1\% \quad (2.17)$$

Trong đó: b - chiều rộng đập tràn chữ nhật $b=1500mm$, $\nabla b = 1mm$, sai số mức nước $\nabla H = 0,1mm$, độ cao mức nước thấp nhất $H_{\min}=10cm$. Tính cả sai số công thức, tổng sai số tương đối đo lưu lượng khoảng 2%.

Sai số tương đối đo vận tốc tính theo công thức:

$$v = \frac{q}{\omega}, \text{ sai số tương đối } \frac{\nabla v}{v} = \left| \frac{\nabla q}{q} \right| + \left| \frac{\nabla \omega}{\omega} \right|; \frac{\nabla \omega}{\omega} (\%) = \left| \frac{\nabla h}{h} \right| + \left| \frac{\nabla b}{b} \right| = \left| \frac{0,5mm}{200} \right| + \left| \frac{0,5mm}{400} \right| \approx 1\%$$

Trong đó b, h chiều rộng và chiều sâu mặt cắt đo,

Tổng cộng sai số vận tốc: $\Delta v = 2\% + 1\% + 0,1\% \sim 3\%$.

Sai số đo áp suất bằng ống đo áp tĩnh, thang chia đến 1mm, sai số $\Delta p = 0,2 \div 0,05m$ cột nước.

Sai số đo mức nước, đường mặt nước, sai số đọc mia 0,5 mm, sai số thực tế $\Delta z = 0,2 \div 0,05 m$.

2.3.1.5 Lựa chọn mô hình nghiên cứu

Luận án đã sử dụng 04 mô hình thực nghiệm để nghiên cứu (Bảng 2.1).

Trong đó:

- Xây dựng và thí nghiệm 01 mô hình cho mặt cắt tràn dạng Creager-Ophixerop với 4 chiều cao lỗ khác nhau.

- Khai thác, sử dụng số liệu của 03 mô hình thực nghiệm có mặt cắt tràn dạng WES.

Bảng 2.1 Các mô hình thực nghiệm

TT	Thông số	Đơn vị	Mô hình 1	Mô hình 2	Mô hình 3	Mô hình 4
1	Đường cong mặt tràn		Creager - Ophixerop	WES	WES	WES
2	Cột nước hình dạng mặt tràn H_d	m	12	20,03	17,2	20,03
3	Chiều cao lỗ (cửa ra) D	m	5; 6; 7; 8	11,4	13,0	11,4
4	Chiều cao cửa vào lỗ D_1	m	9,5÷12,5	17,6	17,6	17,6
5	Chiều cao đập tràn (P)	m	62	138	138	138
6	Chiều rộng tháo nước 1 khoang tràn b	m	11	15	15	15
7	Tỉ lệ mô hình		1/64	1/48	1/48	1/100

Chi tiết về các mô hình được trình bày tại mục 2.3.2 và 2.3.3.

2.3.2 Mô hình mặt cắt dạng Creager-Ophixerop

Thống kê các công trình vừa và lớn đã xây dựng đa số có chiều cao cột nước thiết kế $H_d=10\div 15\text{m}$ [8]. Để có thể phản ánh việc nghiên cứu gần thực tế, luận án chọn $H_d=12\text{m}$ làm cột nước thiết kế mô hình 1. Mô hình này tận dụng một phần nguyên mẫu của mô hình tràn xả lũ Sông Mã 3 có tỷ lệ $\lambda_L=64$, được xây dựng tại Phòng Thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về Động lực học sông biển, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam. Các số liệu thí nghiệm phần dòng chảy tự do qua tràn được kế thừa và sử dụng trong luận án. Để thực hiện các nghiên cứu mới của luận án, mô hình này được sửa đổi và lắp đặt thêm tường ngực để thí nghiệm theo mục tiêu của luận án. Một số hình ảnh về mô hình thí nghiệm được thể hiện từ Ảnh 2.1÷Ảnh 2.6.

Đường cong mặt dưới tường ngực dạng elip có phương trình: $X^2/A^2+Y^2/B^2=1$, với A, B là bán kính các bán trục lớn và nhỏ của elip hoặc cong tròn kết hợp đường thẳng. Thông số đường cong dưới tường ngực như Bảng 2.2. Sơ đồ bố trí mô hình thí nghiệm

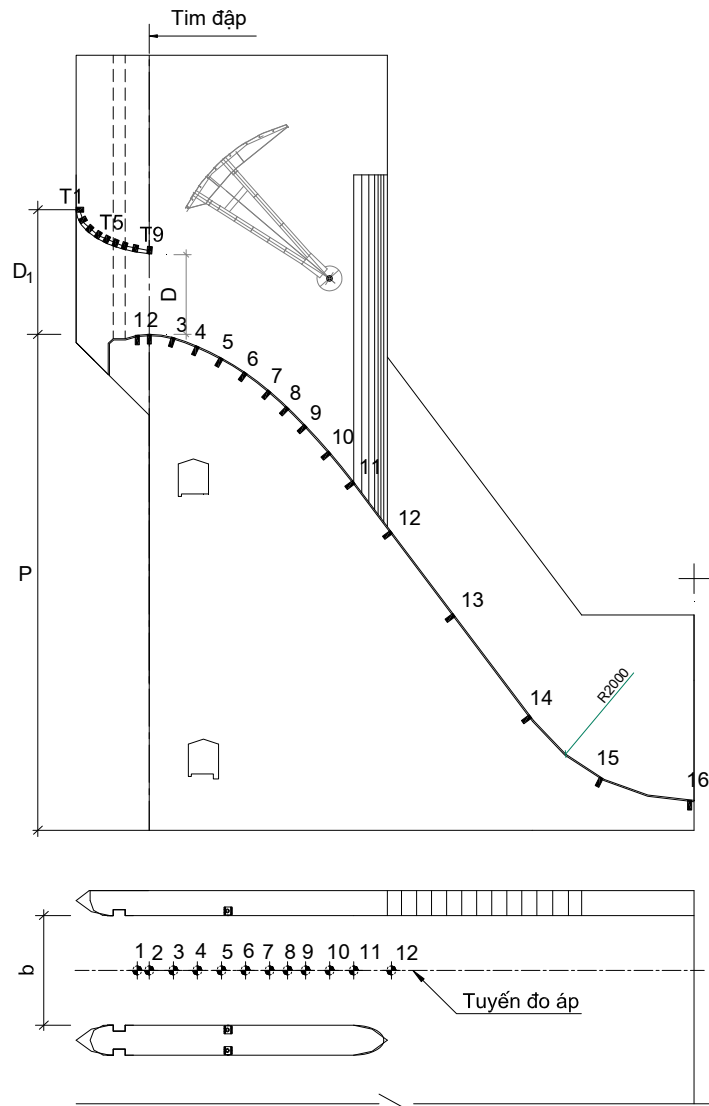
1 được minh họa ở Hình 2.3. Mô hình đã thí nghiệm cho 01 khoang tròn có tường ngực có kích thước $b=11$ m.

Bảng 2.2 Thông số đường cong dưới tường ngực ở mô hình 1

Loại đường	Tỉ lệ A/B	D (m)	Ghi chú
Elip: $\frac{X^2}{7,5^2} + \frac{Y^2}{4,5^2} = 1$	1,67	5; 6; 7; 8	

Để nghiên cứu một số đặc trưng thủy lực trên tràn gồm phân bố áp suất, vận tốc đã tiến hành thí nghiệm với các Seri được thống kê ở Bảng 2.3 với các biến không thứ nguyên trong phạm vi:

$$a_1 = \frac{X}{H_d}; a_2 = \frac{Y}{H_d}; a_3 = \frac{H}{H_d} = 0,65 \div 1,89; a_4 = \frac{H}{D} = 1,35 \div 4,40$$



Hình 2.3 Sơ đồ bố trí mô hình thí nghiệm 1

Bảng 2.3 Các trường hợp thí nghiệm ở mô hình 1

STT	Cột nước $H = Z_{tl} - Z_{đỉnh}$ (m)	H/H_d	H/D	Q Mô hình (l/s)
A	D=5 m			
1	7,82	0,65	1,56	14,8
2	8,42	0,70	1,68	17,4
3	9,32	0,78	1,86	19,5
4	11,34	0,94	2,27	23,2
5	14,45	1,20	2,89	27,8
6	15,85	1,32	3,17	29,7
7	18,68	1,56	3,74	33,1
8	21,99	1,83	4,40	36,5
B	D=6 m			
1	10,39	0,87	1,73	20,75
2	1,93	0,99	1,99	24,01
3	14,47	1,21	2,41	28,49
4	17,26	1,44	2,88	32,73
5	20,47	1,71	3,41	36,84
C	D=7 m			
1	9,63	0,80	1,38	19,39
2	11,75	0,98	1,68	25,76
3	13,59	1,13	1,94	29,80
4	15,87	1,32	2,27	34,92
5	19,20	1,60	2,74	40,58
6	22,39	1,87	3,20	45,33
D	D=8 m			
1	10,80	0,90	1,35	23,18
2	11,30	0,94	1,41	25,08
3	13,75	1,15	1,72	31,93
4	16,42	1,37	2,05	37,94
5	19,67	1,64	2,46	43,61
6	22,66	1,89	2,83	48,42
E	Sử dụng kết quả thí nghiệm chảy hở của mô hình 1			
1	9,75	0,81		19,66
2	12,00	1,00		27,41

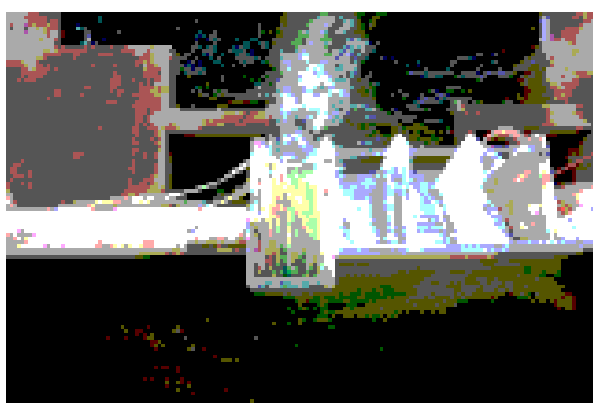
STT	Cột nước $H = Z_{tl} - Z_{đỉnh}$ (m)	H/H_d	H/D	Q Mô hình (l/s)
3	12,95	1,08		31,09
4	14,15	1,18		35,61
5	15,30	1,28		40,13



Ảnh 2.1 Cửa vào ngưỡng tràn mô hình 1



Ảnh 2.2 Bố trí đầu đo trên tường ngực mô hình 1



Ảnh 2.3 Dòng chảy ở hạ lưu mô hình 1 nhìn từ thượng lưu xuống



Ảnh 2.4 Ảnh dòng chảy trên mặt tràn nhìn từ hạ lưu mô hình 1



Ảnh 2.5 Thiết bị đo lưu tốc



Ảnh 2.6 Máng lường đo lưu lượng

2.3.3 Mô hình mặt cắt dạng WES

Để có đủ số liệu phân tích các đặc trưng thủy lực cho kết cấu đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong, luận án kế thừa các số liệu thực nghiệm của công trình thủy điện Sơn La là công trình đã áp dụng tường ngực, được Viện Năng lượng, Bộ Công Thương nghiên cứu ở các mô hình phân đoạn (mô hình 2, mô hình 3), mô hình tổng thể (mô hình 4). Tác giả đã thu thập số liệu, nghiên cứu, phân tích và đánh giá theo mục tiêu, nội dung nghiên cứu của luận án. Mặt bằng tràn và mặt cắt minh họa ở Hình 2.4÷Hình 2.6. Các trường hợp thí nghiệm mô hình 2, 3, 4 được ghi ở Bảng 2.4.

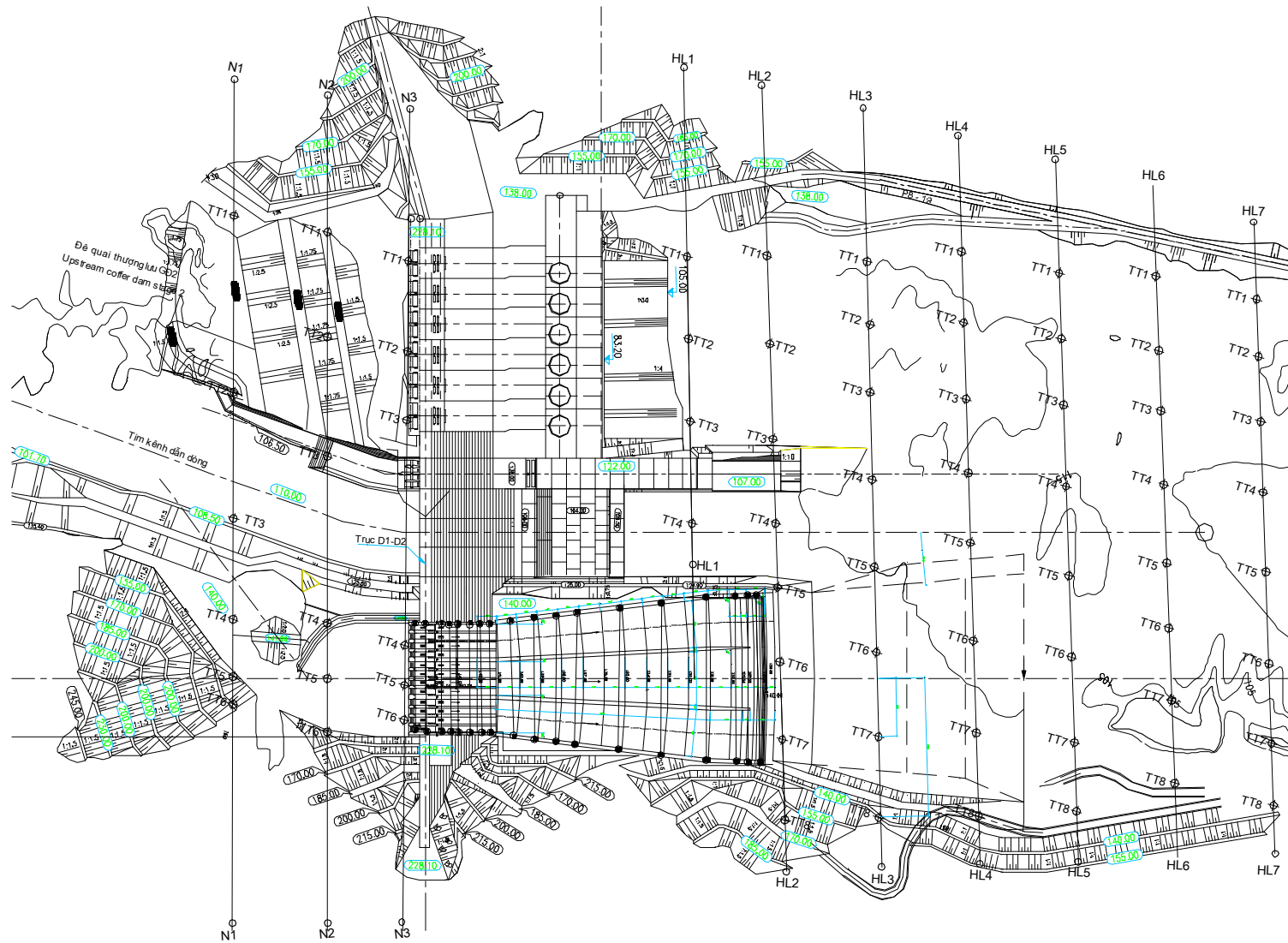
Mô hình 2, đã lấy kích thước đoạn công trình xả gồm 2 lỗ xả sâu, 1 khoang xả mặt $b=15$ m, 1/2 của hai trụ bên dày 5m và 3,5 m. Tổng kích thước chiều rộng ngoài thực tế là 19,25 m, chuyển đổi sang mô hình là 40cm, được lắp đặt trong máng có chiều rộng 40cm. Mô hình phân đoạn gồm có 2 mô hình 2 và 3.

Mô hình 4 là mô hình tổng thể có kích thước toàn bộ công trình xả gồm 12 lỗ xả sâu, 12 khoang xả mặt $B=90$ m, và một phần thượng lưu và hạ lưu.

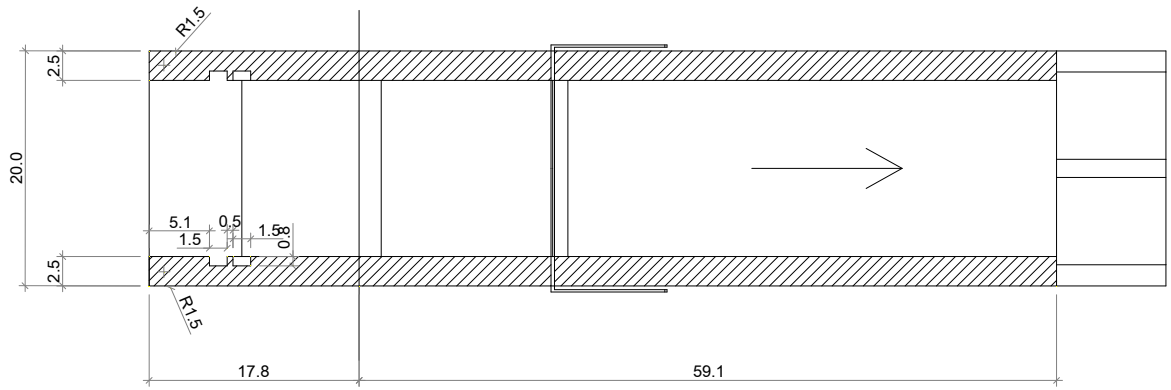
Để nghiên cứu phân bố áp suất và vận tốc cho mỗi mặt tràn WES đã lựa chọn, tiến hành thí nghiệm với các Seri được tính dưới đây và thống kê ở Bảng 2.4.

$$a_1 = \frac{X}{H_d}; a_2 = \frac{Y}{H_d}; a_3 = \frac{H}{H_d} = 0,5 \div 1,5; a_4 = \frac{H}{D} = 0,9 \div 2,6$$

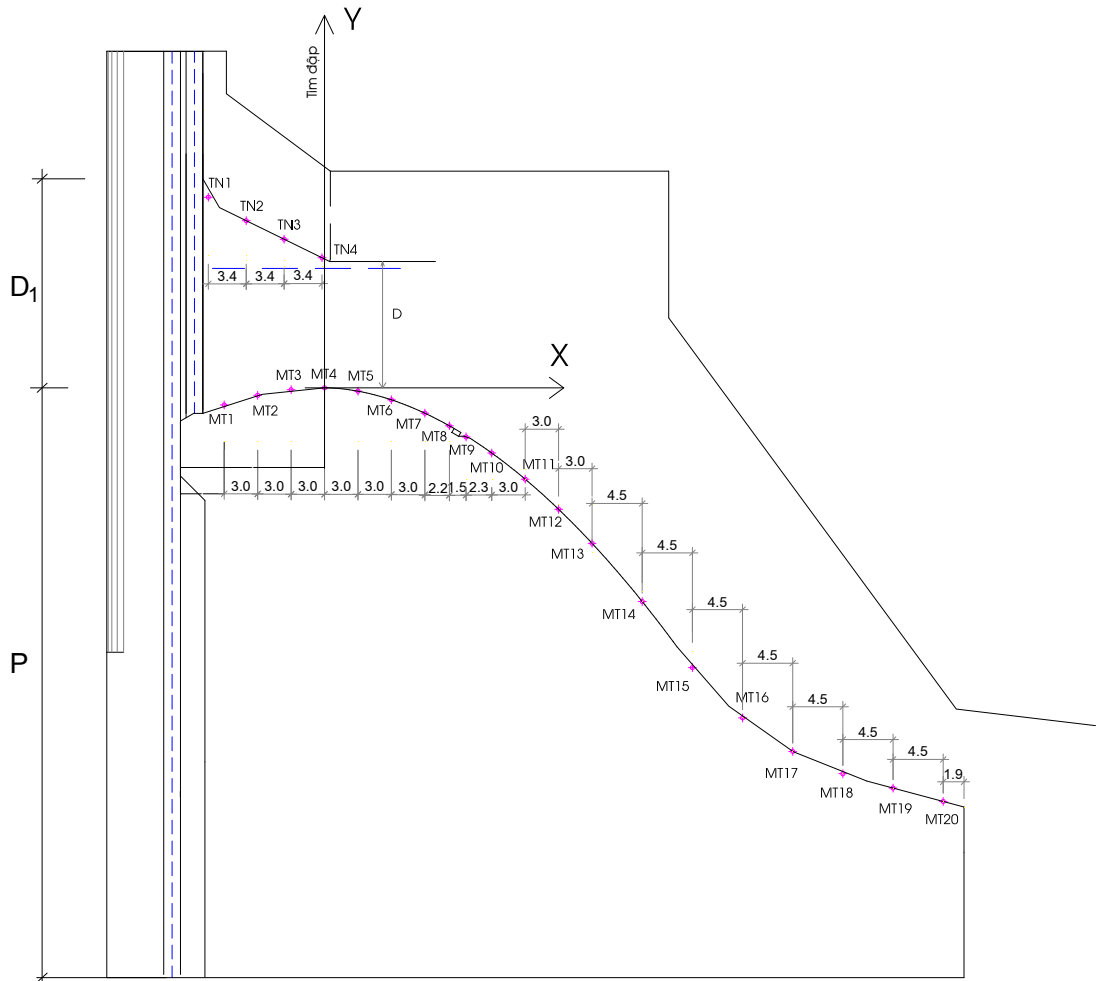
Bố trí thiết bị đo mặt nước, vận tốc, áp suất được chỉ ra ở sơ đồ Hình 2.6.



Hình 2.4 Mặt bằng bố trí mô hình 4



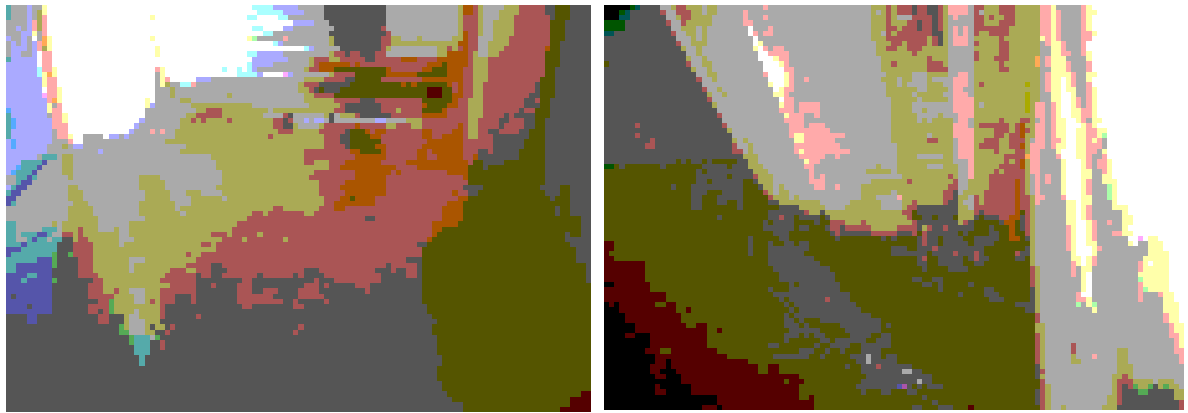
Hình 2.5 Mặt bằng một khoang tràn và trụ pin



Hình 2.6 Bố trí thiết bị đo mô hình 2, mô hình 4



Ảnh 2.7 Ảnh mô hình 4



Ảnh 2.8 Phần vào của công trình xả mặt mô hình 4, nhìn từ phía thượng lưu ở $H=17,2m$ và tại khe van thượng lưu



Ảnh 2.9 Dạng đường mặt nước trên tuyến xả mặt khi mức nước thượng lưu $H=7,2m$ (a) và $H=30,27m$ (b)

Bảng 2.4 Các trường hợp thí nghiệm ở mô hình 2, 3, 4

STT	Cột nước H (m)	$a_3=H/H_d$	$a_4=H/D$	Q Mô hình (l/s)
	Mô hình 2			
1	10,70	0,53	0,93	64,65
2	17,04	0,85	1,49	131,56
3	19,05	0,95	1,66	140,95
4	19,15	0,96	1,67	144,09
5	20,03	1,00	1,75	147,85
6	29,76	1,49	2,60	179,80
	Mô hình 3			
1	10,70	0,53	0,93	64,65
2	17,04	0,85	1,49	131,56
3	19,05	0,95	1,66	140,95
4	19,15	0,96	1,67	144,09
5	20,03	1,00	1,75	147,85
6	29,76	1,49	2,60	179,80
	Mô hình 4			
1	10,60	0,53	0,92	61,90
2	11,65	0,58	1,02	73,50
3	12,20	0,61	1,06	76,20
4	13,95	0,70	1,22	93,10
5	16,15	0,81	1,41	112,70
6	17,38	0,87	1,52	122,99
7	17,50	0,87	1,53	129,00
8	17,73	0,89	1,55	134,26
9	18,18	0,91	1,59	137,20
10	18,98	0,95	1,66	140,00
11	19,20	0,96	1,68	141,60

STT	Cột nước H (m)	$a_3=H/H_d$	$a_4=H/D$	Q Mô hình (l/s)
12	20,08	1,00	1,75	147,00
13	21,20	1,06	1,85	151,90
14	22,80	1,14	1,99	161,70
15	24,70	1,23	2,16	174,00
16	24,26	1,21	2,12	172,50
17	25,20	1,26	2,20	176,40
18	30,27	1,51	2,64	182,00

Tính toán kiểm tra điều kiện tương tự:

$$\text{Tương tự hình học học: } \lambda_L = \frac{L_n}{L_m} = 48 ; L_m = L_n/48$$

Tỉ lệ cột nước áp suất $\lambda_p = \lambda_L$

$$\text{Tỉ lệ vận tốc, lưu lượng } \lambda_v = \frac{v_n}{v_m} = 48^{\frac{1}{2}}; \lambda_Q = \frac{Q_n}{Q_m} = 48^{5/2}; \lambda_q = \frac{q_n}{q_m} = 48^{3/2}$$

$$\text{Tỉ lệ nhám } \lambda_k = \frac{k_n}{k_m} = 48; \lambda_n = \frac{n_n}{n_m} = 48^{1/6}$$

$$\text{Tính điều kiện } Re_{mh} \geq Re_{gh}; Re_{gh} = \frac{14 R_m}{k_m \sqrt{\epsilon_m}}$$

Tính lưu lượng trong trường hợp mức nước thấp nhất thí nghiệm với mức nước hồ bé nhất $H/H_d=0,5$; $Q=1032 \text{ m}^3/\text{s}$; tra đường mặt nước trên đỉnh tràn $h=0,384H_d=0,384 \times 20,03=7,7\text{m}$, $v=Q/(b \cdot h) = 1032/(15 \cdot 7,7)=8,9\text{m/s}$.

Trên mô hình 2 có $h_{mh}=16 \text{ cm}$, $v_{mh}=129 \text{ cm/s}$, các điều kiện tương tự về mô hình được đảm bảo; $Re_{mh} = \frac{vh}{\nu} = \frac{129 \cdot 16}{0,01} = 206400 > Re_{gh} = 5600$.

Trên mô hình 4, có $h_{mh}=7,7 \text{ cm}$, $v_{mh}=89 \text{ cm/s}$,

$$Re_{mh} = \frac{vh}{\nu} = \frac{89 \cdot 7,7}{0,01} = 68530 > Re_{gh} = 5600 \quad \text{bảo đảm cho mô hình làm việc trong khu bình phương sức cản.}$$

2.3.4 Tính đại diện của các mô hình nghiên cứu thực nghiệm

Các công trình nghiên cứu đại diện cho phạm vi ứng dụng phù hợp thực tế ở Việt Nam theo thống kê ở phụ lục PL1.2 và Ấn Độ ở bảng (1.1) với đa số các công trình đập tràn có chiều cao cột nước thiết kế đập tràn $H_d=10\div 15$ m, chiều rộng khoang $B_t=5\div 15$ m, tỉ lưu lượng $q=40\div 220$ m³/s.m, $H_d/D=1,5\div 4,4$. Theo Tiêu chuẩn thí nghiệm mô hình TCVN 8214:2009 tỉ lệ mô hình khi nghiên cứu dòng chảy của một bộ phận công trình không nhỏ hơn 1:80, tỉ lệ mô hình mặt cắt không nhỏ hơn 1:50, tỉ lệ mô hình không gian không nhỏ hơn 1:100. Như vậy các mô hình 1, 2, 3, 4 đã chọn hoàn toàn đáp ứng, có thể áp dụng với các tỉ lệ khác nhau cho công trình thực tế.

2.3.5 Kiểm định mô hình nghiên cứu

Để đánh giá việc chế tạo và thí nghiệm mô hình, luận án đã tiến hành kiểm định mô hình đối với mặt tràn dạng Creager-Ophixerop và WES cho trường hợp chảy hở để so sánh với các tài liệu đã công bố.

2.3.5.1 Về hệ số lưu lượng và khả năng tháo ở trường hợp chảy hở

Bảng 2.5 So sánh hệ số lưu lượng thí nghiệm trường hợp chảy hở

TT	H	H/H _d	m _{thí nghiệm}	m _{lý thuyết}	Sai lệch %
I	Mô hình 1				
	12,00	1,00	0,446	0,467	-4,56
	9,75	0,81	0,436	0,455	-4,14
	12,95	1,08	0,451	0,472	-4,51
	14,15	1,18	0,453	0,473	-4,25
	15,30	1,28	0,454	0,474	-4,15
II	Mô hình 2				
	10,70	0,53	0,475	0,460	3,24
	17,04	0,85	0,501	0,494	1,47
III	Mô hình 4				
	10,60	0,53	0,484	0,460	4,93
	11,65	0,58	0,485	0,464	4,33
	12,20	0,61	0,489	0,465	4,93
	13,95	0,70	0,495	0,476	3,74

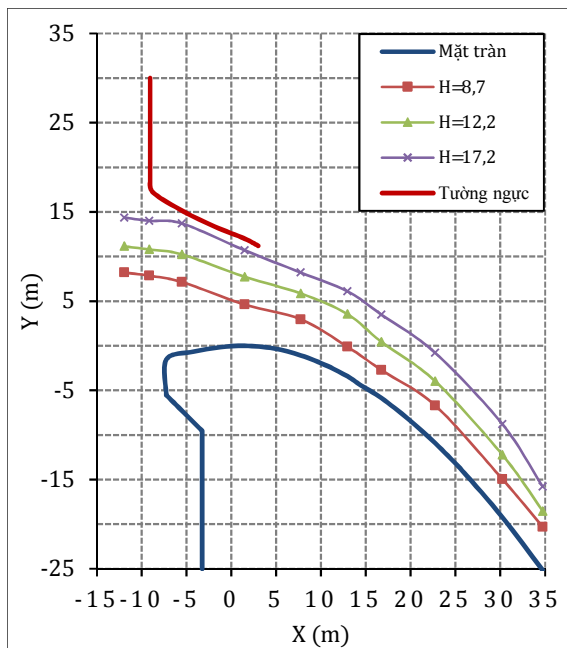
TT	H	H/H _d	m _{thí nghiệm}	m _{lý thuyết}	Sai lệch %
	16,15	0,81	0,489	0,486	0,59
	17,38	0,87	0,489	0,492	-1,83
	17,50	0,87	0,483	0,494	0,08
	17,73	0,89	0,494	0,494	2,30
	18,18	0,91	0,506	0,494	0,08

Qua bảng 2.6 thấy rằng hệ số lưu lượng thí nghiệm thu được phù hợp với quy luật và có sai lệch với tính toán trong khoảng $\pm 5\%$ là chấp nhận được.

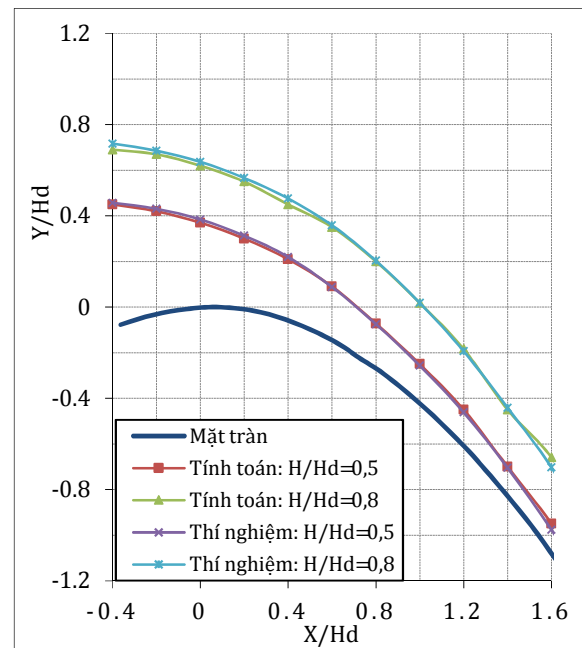
2.3.5.2 Về đường mặt nước

Đường mặt nước các trường hợp chảy hờ ở mô hình 2 biểu diễn tại Hình 2.7 và so sánh với kết quả tính toán ở Hình 2.8 cho thấy sự phù hợp giữa thí nghiệm và tính toán.

Để đánh giá kết quả thí nghiệm đường mặt nước, tham khảo [31], [48] về tính đường mặt nước của đập tràn dạng WES dưới dạng không thứ nguyên quy đổi qua tỉ lệ H/H_d, được ghi ở bảng PL2.4. Từ kết quả đo đường mặt nước các trường hợp dòng chảy tự do ở Bảng PL2.3 và Bảng PL2.4 phụ lục tính chuyển tương đương theo nội suy kết quả thực nghiệm được tọa độ đường mặt nước không thứ nguyên ghi ở bảng PL2.5 phụ lục.



Hình 2.7 Đường mặt nước chảy hờ, mô hình 2



Hình 2.8 So sánh kết quả thí nghiệm và kết quả lý thuyết đường mặt nước chảy hờ

a) So sánh kết quả mô hình 2 và lý thuyết [31], [48] được ghi ở Bảng 2.6

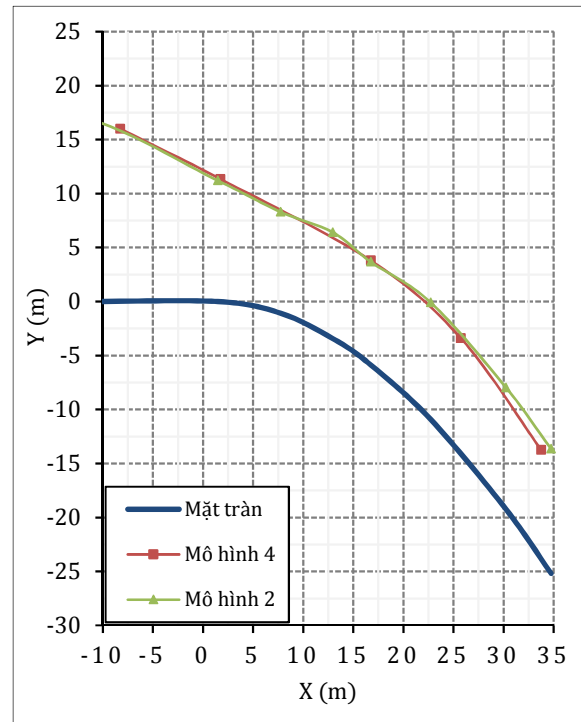
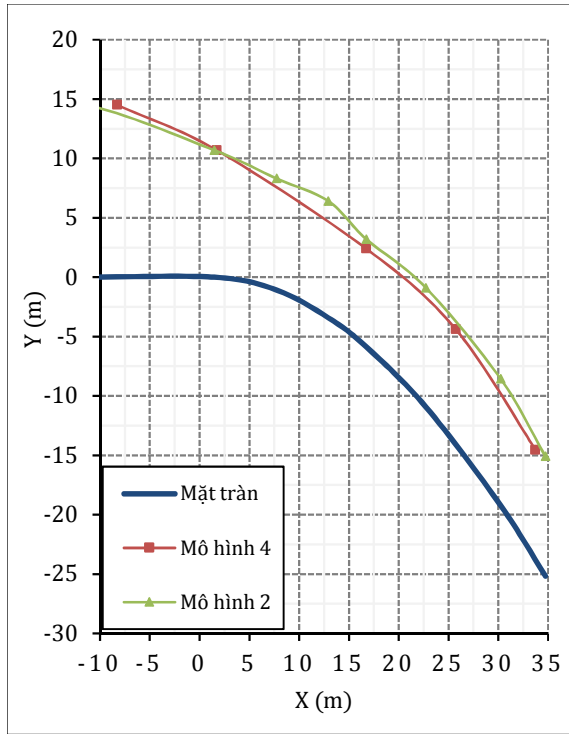
Bảng 2.6 Đánh giá giá sai số giữa kết quả thí nghiệm và tính toán

Toạ độ mặt tràn		Sai số về toạ độ đường mặt nước theo Y/H _d thí nghiệm và tính toán (%)			
X/H _d	Y/H _d	H/H _d =0,5	H/H _d =0,6	H/H _d =0,7	H/H _d =0,8
-1,00	0,00	0,41	-1,08	-5,17	0,98
-0,80	0,00	1,04	1,82	-2,91	2,82
-0,60	0,00	0,42	2,17	0,37	4,39
-0,40	0,00	1,53	4,34	4,79	3,74
-0,20	0,00	2,55	5,00	3,43	2,25
0,00	0,00	3,65	3,89	5,87	2,61
0,20	-0,02	4,15	4,38	4,52	2,86
0,40	-0,06	4,55	1,77	5,32	5,50
0,60	-0,15	-2,27	-3,82	3,13	2,40
0,80	-0,30	4,00	-3,93	0,54	1,67
1,00	-0,45	2,72	3,15	4,63	5,43
1,20	-0,60	2,60	4,99	4,66	5,06
1,40	-0,85	0,71	2,79	5,55	-1,90
1,60	-1,10	2,76	4,04	5,61	6,17
1,80	-1,35	2,19	3,72	5,47	5,57

So sánh kết quả tính toán ở Bảng 2.6, đánh giá sai số về đường mặt nước giữa thí nghiệm và tính toán trong khoảng $\pm 5\%$. Có một vài số liệu có sự sai lệch $> 5\%$ có thể do đo đạc.

b) So sánh đường mặt nước mô hình 2 và 4

Để so sánh kết quả thí nghiệm, vẽ đường mặt nước với các cột nước trên đỉnh tràn H=17,20m và H=19,05m từ kết quả thí nghiệm ở mô hình 2 và mô hình 4, cho thấy kết quả phù hợp giữa hai mô hình.



Hình 2.9 So sánh kết quả thí nghiệm ở mô hình 2 và mô hình 4, $H=17,2\text{ m}$

Hình 2.10 So sánh kết quả thí nghiệm ở mô hình 2 và mô hình 4, $H=19,05\text{ m}$

Bảng 2.7 So sánh kết quả thí nghiệm đường mặt nước giữa các mô hình

	Mô hình 2		Mô hình 4		Sai lệch %	
	H	X	H	X	H	X
H	17,20	19,05	17,20	19,05	17,20	19,05
X						
1,47	10,61	10,63	11,34	12,31	0,347	0,802
7,74	8,83	9,49	8,4	9,27	-0,208	-0,107
12,94	6,43	6,42	5,31	6,09	-0,552	-0,161
16,74	4,03	4,15	2,67	3,39	-0,676	-0,376
22,74	0,19	-0,09	-2,13	-1,52	-1,188	-0,727
30,24	-7,63	-6,96	-9,26	-8,77	-0,863	-0,958
34,74	-14,25	-13,65	-14,13	-13,72	0,068	-0,038
39,24	-18,72	-20,16	-19,44	-19,11	-0,403	0,588
43,74	-24,24	-23,44	-25,2	-24,94	-0,555	-0,868

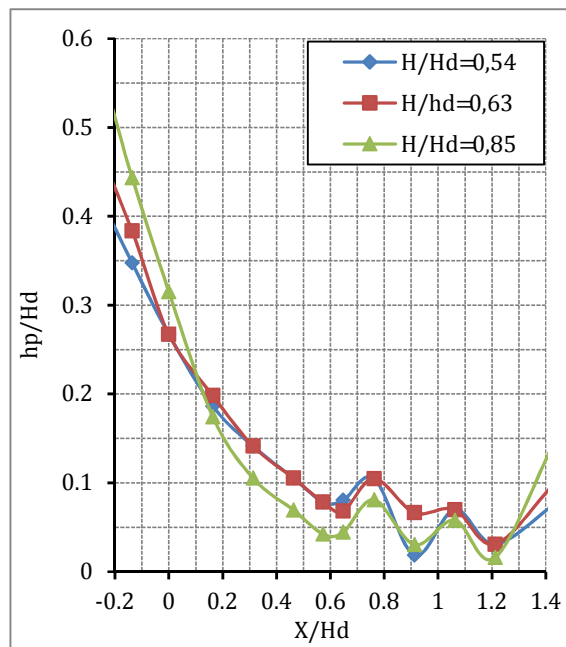
Từ Bảng 2.7 cho thấy kết quả sai số đường mặt nước giữa hai mô hình phân đoạn và không gian là $\pm 1\%$.

2.3.5.3 Về kết quả thí nghiệm áp suất

Để đánh giá kết quả thí nghiệm áp suất trong trường hợp chảy hở, chuyển giá trị áp suất về dạng không thứ nguyên cho trường hợp mô hình 2, bằng cách chia các giá trị toạ độ X, áp suất cho $H_d=20,03\text{m}$, được bảng kết quả thí nghiệm áp suất Bảng 2.8, vẽ được các đồ thị phân bố áp suất ở chế độ chảy hở Hình 2.11.

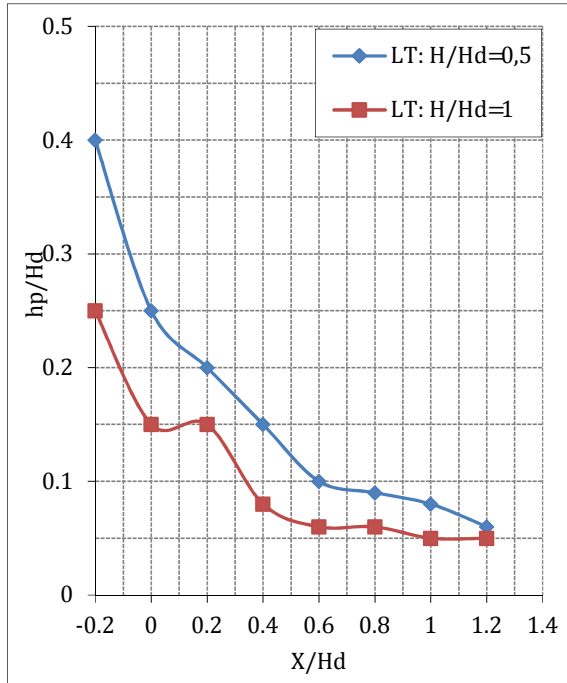
Bảng 2.8 Kết quả thí nghiệm áp suất tuyến giữa khoang ở mô hình 2

X/H _d	-0,29	-0,14	0,00	0,16	0,31	0,46	0,65	0,76	0,91	1,06	1,21	1,44
H/H _d	h_p/H_d											
0,54	0,44	0,35	0,27	0,19	0,14	0,11	0,08	0,10	0,02	0,07	0,03	0,08
0,63	0,49	0,38	0,27	0,20	0,14	0,11	0,07	0,10	0,07	0,07	0,03	0,10
0,85	0,59	0,44	0,32	0,17	0,11	0,07	0,04	0,08	0,03	0,06	0,02	0,15

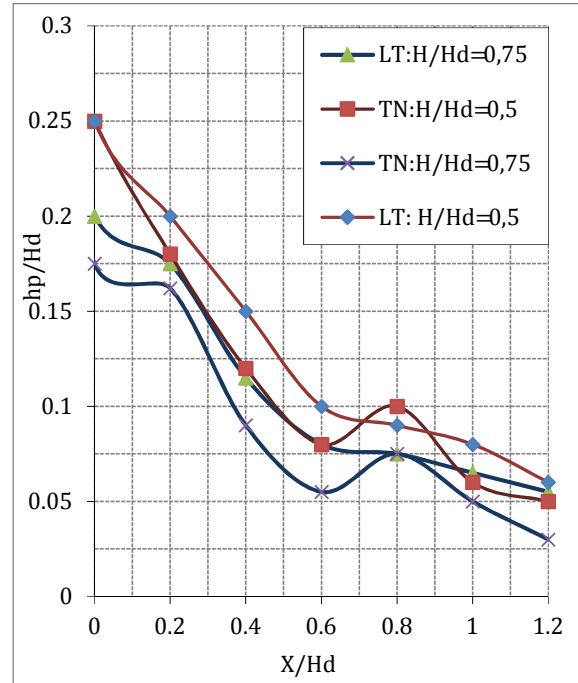


Hình 2.11 Phân bố áp suất tuyến giữa chảy không áp mô hình 2

Tham khảo các tài liệu về phân bố áp suất với trường hợp chảy hờ [31], [48], lập bảng so sánh giá trị áp suất thí nghiệm và tính toán với các trường hợp $H/H_d=0,5$ và $0,75$ như Bảng 2.9, biểu diễn ở Hình 2.12 và Hình 2.13.



Hình 2.12 Phân bố áp suất xây dựng theo WES [31]



Hình 2.13 So sánh phân bố áp suất xây dựng theo WES và thí nghiệm

Bảng 2.9 So sánh kết quả thí nghiệm và tính toán khi chảy không áp với $H/H_d=0,5$ và $0,75$

H/H _d	X	-0,20	0	0,20	0,40	0,60	0,80	1,00	1,20
		Tính theo WES (h_p/H_d)							
0,50		0,40	0,25	0,20	0,15	0,10	0,09	0,08	0,06
0,75		0,33	0,20	0,18	0,12	0,08	0,08	0,07	0,06
		Theo thí nghiệm (h_p/H_d)							
0,50		0,35	0,25	0,18	0,12	0,08	0,10	0,06	0,05
0,75		0,43	0,28	0,16	0,09	0,06	0,08	0,05	0,03
		So sánh sai số (m cột nước)							
0,50		1,00	0,00	0,40	0,60	0,40	-0,20	0,40	0,20
0,75		-1,10	0,50	0,26	0,50	0,50	0,00	0,30	0,50

Nhận xét: Sai số về áp suất $\Delta p = \pm 0,5m$, với các điểm đo sau đỉnh tràn ($X=0$), sai số áp suất tuyệt đối như vậy có thể chấp nhận được trong các tính toán liên quan đến

áp suất trên mặt tràn. Các giá trị áp suất phía thượng lưu đỉnh tràn có sai số lớn hơn một chút $\Delta p = \pm 1m$, lý do vùng đầu tràn phụ thuộc vào việc lựa chọn đường cong nối tiếp với đỉnh tràn. Ở các chỉ dẫn [31], [45], đường cong nối tiếp đỉnh tràn thiết kế với 2 bán kính cong $R = 0,2H_d$ và $0,5H_d$.

2.4 Phương pháp quy hoạch thực nghiệm và xây dựng hàm hồi quy

2.4.1 Xác định cấu trúc hệ

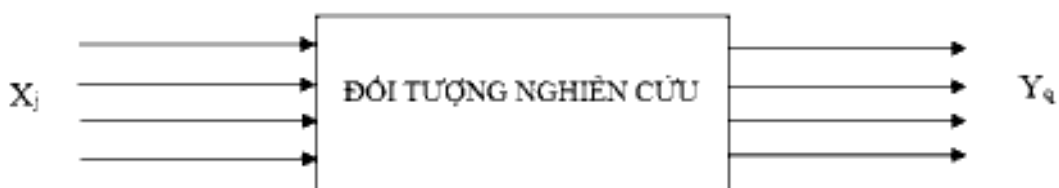
Nếu gọi $F_{đk}$ là bậc tự do điều khiển và F_{hh} là bậc tự do hình học của hệ thống số các yếu tố độc lập tối đa ảnh hưởng lên hệ được xác định theo công thức:

$$F = F_{đk} + F_{hh} \quad (2.18)$$

Tùy theo yêu cầu nghiên cứu mà có thể chọn m yếu tố ($m \leq F$) ảnh hưởng lên hàm mục tiêu Y nào đó hoặc nhiều hàm mục tiêu. Điều quan trọng là hàm mục tiêu phải thể hiện được mối quan hệ của nó với các biến độc lập và giúp ta đánh giá được đúng đắn các chỉ tiêu mà mình quan tâm.

Phương pháp mô tả thống kê quan niệm mô hình nghiên cứu là một hộp đen, trong đó cấu trúc và tính chất bên trong không biết rõ. Nói cách khác, mô hình thống kê không cho biết bản chất bảo toàn và động học của hệ, mà chỉ mô tả mối quan hệ giữa các thông số đầu vào và các thông số đầu ra trên cơ sở các phương pháp của toán học thống kê.

Như vậy mối quan hệ đầu vào và đầu ra ở đây thuần túy là quan sát thực nghiệm chứ không được dựa trên một cơ sở lý thuyết. Từ các quan sát thực nghiệm, mà tìm hiểu, ước đoán để giả thiết ra các dạng quan hệ có thể tồn tại giữa các biến đầu vào với các thông số đầu ra (quan hệ $X_j - Y_q$). Mô tả về nguyên tắc của một mô hình hộp đen cùng các quan hệ giữa các thông số đầu vào X_j và các thông số đầu ra Y_q (Hình 2.14).



Hình 2.14 Sơ đồ đối tượng nghiên cứu thực nghiệm theo mô hình thống kê

Với sơ đồ nghiên cứu như Hình 2.14, các cách khác nhau được sử dụng để tìm ra các quan hệ phụ thuộc của các thông số đầu ra và các thông số đầu vào. Có hai phương pháp thường được dùng nhiều nhất đó là:

- Phương pháp xây dựng các phương trình hồi quy thực nghiệm dựa trên cơ sở phân tích thụ động các số liệu có được trong một thời gian làm việc đủ dài của hệ. Nhược điểm chính của phương pháp này là không thể khảo sát tính chất của hệ ở những vùng nằm ngoài miền làm việc, những vùng mà không có khả năng thu thập được số liệu.

- Phương pháp mô hình hóa dựa trên cơ sở chủ động bố trí các thí nghiệm để đo các thông số đầu ra theo các thông số đầu vào đã định trước. Do chủ động bố trí các thông số đầu vào nên có thể chủ động mở rộng được miền khảo sát ra lân cận vùng làm việc của hệ từ đó có thể giúp tìm ra miền làm việc tối ưu của hệ. Thông số đầu vào là các biến kiểm tra được và điều khiển được mà người nghiên cứu có thể điều chỉnh theo dự định. Vì vậy, đây là phương pháp quan trọng được dùng phổ biến trong nghiên cứu để xây dựng các mô hình theo kiểu hộp đen nhằm mô tả những hệ có cấu trúc phức tạp.

Trong luận án, chúng tôi sử dụng phương pháp mô hình hóa chủ động để xây dựng các quan hệ thực nghiệm.

2.4.2 Xác định các hàm toán mô tả hệ

Khi nghiên cứu liên kết tương quan giữa nhiều đại lượng, các nhà nghiên cứu thường dùng mô hình hồi quy đa tuyến tính.

Giả sử có n thí nghiệm với m biến độc lập (X_1, X_2, \dots, X_m), Y là chỉ tiêu phân tích của thí nghiệm. Mô hình hồi quy đa tuyến tính có dạng:

$$Y = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_m X_m + U \quad (2.19)$$

Trong đó, Y (biến phụ thuộc): là chỉ tiêu phân tích của thí nghiệm; α : là hệ số chặn phản ánh mức độ ảnh hưởng của các nhân tố khác đến chỉ tiêu phân tích; β : là hệ số ước lượng, các hệ số hồi quy này phản ánh mức độ ảnh hưởng của từng nhân tố đến biến độc lập (nếu $\beta > 0$ thì ảnh hưởng thuận và ngược lại là ảnh hưởng nghịch, β càng

lớn thì sự ảnh hưởng đến chỉ tiêu phân tích càng mạnh); X_i (biến độc lập): là các yếu tố ảnh hưởng đến chỉ tiêu phân tích ($i = 1 \div m$); U : là sai số

Muốn xác định được các hệ số hồi quy lý thuyết β_i phải cần vô số thí nghiệm. Trong thực tế số thí nghiệm chỉ là hữu hạn, nên chỉ xuất hiện các hệ số hồi quy thực nghiệm (còn gọi là các tham số của mô hình thống kê) b . Vì vậy hàm toán mô tả hệ hàm hồi quy thực nghiệm:

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X_2 + \dots + b_mX_m \quad (2.20)$$

Các tham số của mô hình thống kê (các hệ số hồi quy) được xác định từ N thí nghiệm theo phương pháp bình phương nhỏ nhất.

Số thí nghiệm N phải lớn hơn số tham số. Khi thực hiện thực nghiệm toàn phần, tổng số thí nghiệm N cần làm ít nhất là 2^m .

Từ số liệu thí nghiệm, các hệ số b_0, b_1, \dots, b_m có thể được ước lượng dễ dàng bằng sử dụng các phần mềm toán học hay thống kê như Microsoft Excel, MatLab, SAS, SPSS .v.v.

Sau khi tính được các hệ số hồi quy phải kiểm tra tính có ý nghĩa theo tiêu chuẩn Student.

Sự tương hợp của mô hình thống kê với kết quả thực nghiệm được kiểm tra theo tiêu chuẩn Fisher.

2.4.3 Các thông số đánh giá độ phù hợp của mô hình hồi quy

2.4.3.1 Hệ số xác định

Hệ số xác định S^2 là thể hiện tính chặt chẽ giữa biến phụ thuộc Y và các biến độc lập X_i , tức là nó thể hiện phần trăm biến thiên của Y được giải thích bởi sự biến thiên của tất cả các biến X_i .

$$\text{Hệ số xác định: } S^2 = \frac{SSR}{SST} = 1 - \frac{SSE}{SST} \quad (0 \leq S^2 \leq 1) \quad (2.21)$$

Trong đó: $SST = \sum(y_i - y_{tb})^2$ là tổng biến động của y ; $SSR = \sum(\tilde{y}_i - y_{tb})^2$ là tổng bình phương hồi quy, là đại lượng biến động của y được giải thích bởi đường hồi

quy (SSR càng lớn thì mô hình hồi quy càng có độ tin cậy cao, trong việc giải thích biến động của y); $SSE = \sum (y_i - \tilde{y}_i)^2$ là phần biến động còn lại hay còn gọi là số dư.

2.4.3.2 Hệ số tương quan bội:

S là hệ số tương quan bội nói lên tính chặt chẽ của mối quan hệ giữa biến phụ thuộc y và các biến độc lập X_i .

$$S = \sqrt{S^2} \quad (-1 \leq S \leq +1) \quad (2.22)$$

2.4.3.3 Phân tích Anova hồi quy:

Giá trị được dùng để kiểm định sự phù hợp của hàm hồi quy là giá trị Sig.F. Việc kiểm định này nhằm đảm bảo cho việc phù hợp của hàm hồi quy tuyến tính mẫu với các hệ số tìm được vẫn có giá trị khi suy diễn ra mô hình thực tế cho tổng thể. Để kiểm định sự phù hợp của mô hình hồi quy tổng thể, ta sử dụng Sig.F làm căn cứ cho việc chấp nhận hay bác bỏ giả thuyết.

Sig. F < α : Mô hình có ý nghĩa.

Sig. F > α : Mô hình không có ý nghĩa.

Thông thường chọn $\alpha = 0,05$ (mức ý nghĩa là 5%)

2.4.3.4 Khoảng tin cậy cho tham số hồi quy

Đặt $S_{b_0}, S_{b_1}, \dots, S_{b_k}$ là những độ lệch chuẩn đã ước lượng và U coi như phân phối chuẩn trong phương trình (2.21) thì biến ngẫu nhiên t được tính như sau:

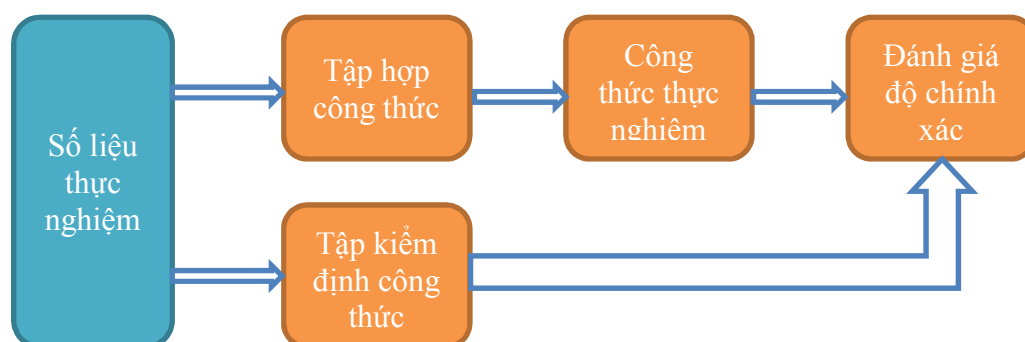
$$t_\alpha = \frac{b_0 - \alpha}{S_{b_0}}; \quad t_{b_1} = \frac{b_1 - \beta_1}{S_{b_1}} \quad (2.23)$$

Vì vậy khoảng tin cậy $(1 - \alpha)\%$ cho các hệ số hồi quy β_1 được tính như sau:

$$b_1 - t_{n-k-1, \frac{\alpha}{2}} S_{b_1} < \beta < b_1 + t_{n-k-1, \frac{\alpha}{2}} S_{b_1} \quad (2.24)$$

2.4.4 Kiểm định công thức thực nghiệm được xây dựng từ mô hình hồi quy

Để kiểm định độ chính xác của các công thức thực nghiệm được xây dựng từ mô hình hồi quy tuyến tính đa biến người ta thường sử dụng phương pháp Holdout. Trong phương pháp này, số liệu thực nghiệm được chia làm 2 tập: tập lập công thức và tập kiểm định công thức, Hình 2.15 thể hiện sơ đồ của phương pháp này.



Hình 2.15 Sơ đồ phương pháp Holdout

2.5 Kết luận chương 2

Lựa chọn đường cong, kích thước mặt tràn, tường ngực và đoạn chuyển tiếp thượng lưu tràn cần thoả mãn các điều kiện đảm bảo lưu lượng tháo, đáp ứng yêu cầu mức nước phòng lũ, kết cấu đơn giản, thuận dòng, tổn thất nhỏ, không xâm thực, dễ thi công, tiết kiệm khối lượng vật liệu và dễ bố trí kết cấu như khe van, cửa van.

Luận án lựa chọn sử dụng phương pháp nghiên cứu mô hình thủy lực với tiêu chuẩn Froude và lý thuyết quy hoạch thực nghiệm để xác định các đặc trưng thủy lực với số lượng thí nghiệm đủ lớn, tuân thủ các điều kiện tương tự về thủy lực đảm bảo độ chính xác, tin cậy của kết quả. Đây là một phương pháp nghiên cứu truyền thống có độ tin cậy cao và đã được sử dụng cho hầu hết các nghiên cứu về thủy lực công trình cho đến nay.

Phương pháp xử lý số liệu theo phương pháp quy hoạch thực nghiệm với hàm hồi quy thực nghiệm (2.20). Về hình dạng, luận án chọn hai dạng đập tràn WES và Creager-Ofixerop là hai loại đập tràn được sử dụng rộng rãi để nghiên cứu với các tỉ lệ $H/H_d=0,5\div 2,60$, $H_d/D=0,92\div 4,40$; hình dạng tường ngực là elip và đường tròn kết hợp đường thẳng để nghiên cứu.

Luận án đã sử dụng 6 kịch bản với 60 trường hợp thí nghiệm, trong đó có 30 trường hợp cho dạng đập WES và 30 trường hợp cho dạng đập Creager-Ofixerop.

Mô hình thí nghiệm của luận án đã được kiểm định bằng cách thí nghiệm mô hình xác định các đặc trưng thủy lực trong trường hợp chảy hở và so sánh với các tài liệu đã công bố. Kết quả sai số về đường mặt nước $< \pm 5\%$, sai số về lưu lượng trong

khoảng 2÷5%, sai số về áp suất $< \pm 0,5m$. Các kết quả so sánh hầu hết đều cho giá trị sai số $< 5\%$, điều đó nói lên độ tin cậy của mô hình thí nghiệm.

Như vậy phương pháp thí nghiệm mô hình thủy lực là đủ độ tin cậy để tiến hành nghiên cứu các đặc trưng của luận án ở chế độ chảy có áp dưới tường ngực (hay chảy đầy tường ngực).

Kết quả nghiên cứu từ phương pháp này sẽ được trình bày và thảo luận ở chương 3 tiếp theo.

CHƯƠNG 3 KẾT QUẢ VÀ ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM XÁC ĐỊNH MỘT SỐ ĐẶC TRƯNG THỦY LỰC CỦA ĐẬP TRÀN CÓ TƯỜNG NGƯỢC BIÊN CONG

Ở chương 2, chúng tôi đã chọn phương pháp thực nghiệm mô hình thủy lực và các kích bản để xác định một số trưng thủy lực như lưu lượng, vận tốc, áp suất dòng chảy ở đập tràn thực dụng có tường ngược biên cong. Trong chương 3, chúng tôi xin trình bày các kết quả xác định các đặc trưng thủy lực ở đập tràn có tường ngược và đánh giá kết quả từ phương pháp nêu trên.

3.1 Kết quả và đánh giá kết quả thực nghiệm

3.1.1 Kết quả xác định giới hạn chế độ chảy

3.1.1.1 Kết quả thí nghiệm chế độ chảy

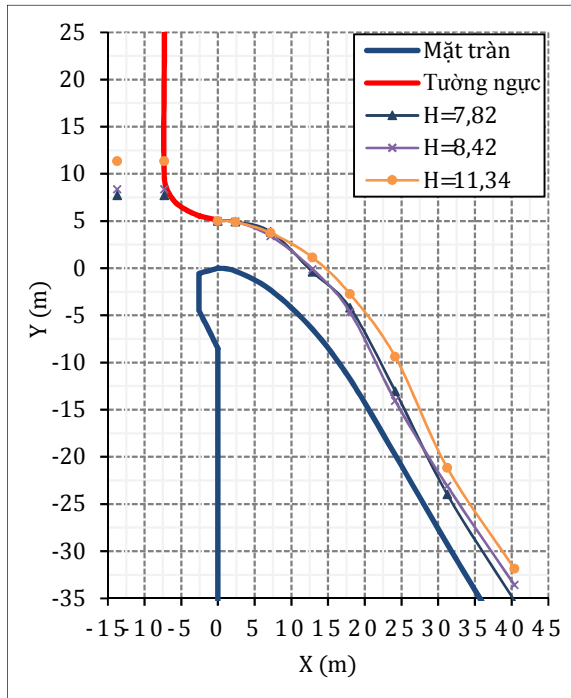
Để xác định giới hạn chế độ chảy từ tự do như ở đập tràn thực dụng bình thường sang chế độ quá độ và chế độ chảy có áp hoàn toàn, trên các mô hình nghiên cứu, bắt đầu thực hiện thí nghiệm từ mực nước thấp, ở chế độ chảy tự do, tăng tiếp mực nước đến chế độ chảy phân giới rồi tiếp tục tăng mực nước đến chế độ chảy có áp. Kết quả ghi nhận 19 trường hợp thí nghiệm được lập ở Bảng 3.1, các hình từ Hình 3.1÷Hình 3.4, Ảnh 3.1, cho thấy:

- Có 4/19 trường hợp tỉ lệ $H/D \leq 1,4$, dòng chảy chưa chạm mép dưới tường ngược, chế độ chảy là tự do;
- Có 6/19 trường hợp tỉ lệ $1,4 < H/D < 1,6$, dòng chảy chạm một phần mép dưới tường ngược, chế độ chảy phân giới;
- Có 9/19 trường hợp tỉ lệ $H/D \geq 1,6$, dòng chảy ngập mép dưới tường ngược, chế độ chảy có áp.

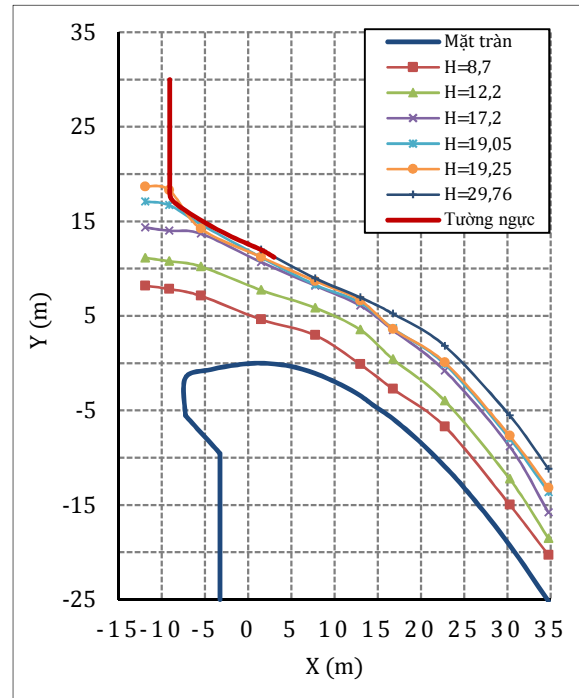
Nhận xét: Khi $H/D \geq 1,6$, kết hợp với quan sát hình ảnh và kết quả vẽ đường mặt nước, chế độ chảy có áp, kết quả này phù hợp với nhận xét tại [2], [51], [52], khi cửa vào công, tuynel chảy có áp.

Bảng 3.1 Bảng kết quả thí nghiệm xác định chế độ chảy

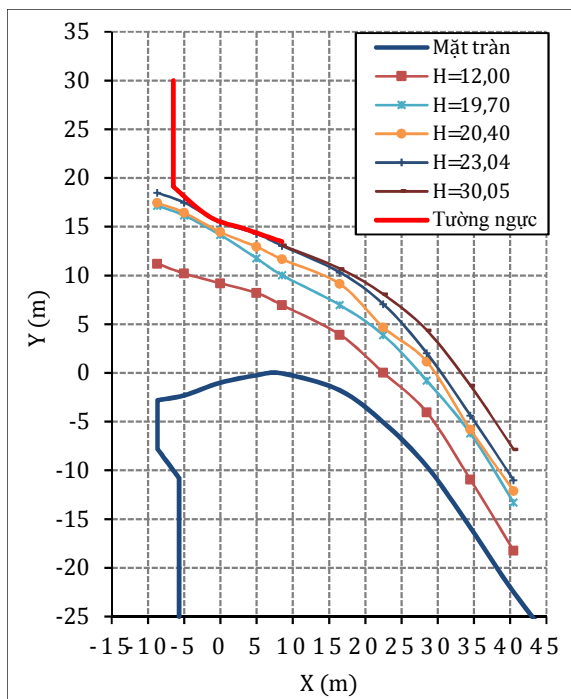
TT thí nghiệm	D (m)	D ₁ (m)	H (m)	H/D	Độ sâu cửa vào h ₁ (m)	h ₁ /D ₁	Độ sâu cửa ra h ₂ (m)	h ₂ /D	Chế độ chảy
Mô hình 1									
1	5	9,5	7,82	1,56	7,71	0,81	5,00	1,00	h ₁ /D ₁ <1, h ₂ /D=1, chảy phân giới
2	5	9,5	8,42	1,68	8,35	0,88	5,03	1,01	h ₁ /D ₁ <1, h ₂ /D>1, dòng chảy có áp
3	5	9,5	9,34	1,87	9,15	0,96	5,09	1,02	h ₁ /D ₁ <1, h ₂ /D>1, chảy có áp
4	6	10,5	8,33	1,39	8,10	0,77	4,74	0,79	h ₁ /D ₁ <1, h ₂ /D<1, chảy không áp
5	6	10,5	8,87	1,48	8,51	0,81	5,76	0,96	h ₁ /D ₁ <1, h ₂ /D<1, chảy phân giới
6	6	10,5	9,92	1,65	9,79	0,93	6,06	1,01	h ₁ /D ₁ <1, h ₂ /D>1, dòng chảy có áp
7	6	10,5	10,95	1,83	10,62	1,01	6,10	1,02	h ₁ /D ₁ >1, h ₂ /D>1, chảy có áp
8	7	11,5	9,62	1,37	9,38	0,82	6,86	0,98	h ₁ /D ₁ <1, h ₂ /D<1, chảy không áp
9	7	11,5	11,81	1,69	11,71	1,02	7,02	1,00	h ₁ /D ₁ >1, h ₂ /D=1, chảy có áp
10	8	12,5	13,75	1,72	13,63	1,09	8,01	1,00	h ₁ /D ₁ >1, h ₂ /D=1, chảy có áp
11	8	12,5	16,42	2,05	16,40	1,31	8,02	1,00	h ₁ /D ₁ >1, h ₂ /D=1, chảy có áp
Mô hình 2, 3									
10	11	17,16	17,04	1,49	14,61	0,85	10,89	0,96	h ₁ /D ₁ <1, h ₂ /D<1, chảy phân giới
11	11	17,16	17,20	1,51	15,22	0,89	10,91	0,96	h ₁ /D ₁ <1, h ₂ /D<1, chảy phân giới
12	11	17,16	19,05	1,67	17,00	0,99	11,40	1,00	h ₁ /D ₁ =1, h ₂ /D<1, chảy có áp
13	11	17,16	20,03	1,76	20,03	1,17	11,40	1,00	h ₁ /D ₁ >1, h ₂ /D<1, chảy có áp
14	13	17,16	17,20	1,32	15,03	0,88	11,51	0,89	h ₁ /D ₁ <1, h ₂ /D<1, chảy tự do
15	13	17,16	18,20	1,40	15,20	0,89	11,61	0,89	h ₁ /D ₁ <1, h ₂ /D<1, chảy tự do
16	13	17,16	19,72	1,52	17,15	1,00	11,85	0,91	h ₁ /D ₁ =1, h ₂ /D<1, chảy phân giới
17	13	17,16	20,40	1,57	17,44	1,02	13,48	1,04	h ₁ /D ₁ >1, h ₂ /D>1, chảy có áp



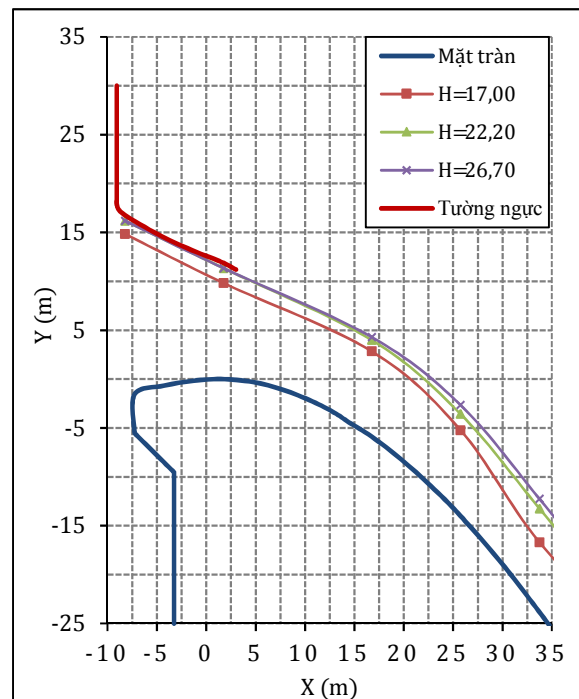
Hình 3.1 Kết quả thí nghiệm xác định chế độ chảy mô hình 1, $D=5m$



Hình 3.2 Kết quả thí nghiệm xác định chế độ chảy mô hình 2



Hình 3.3 Kết quả thí nghiệm xác định chế độ chảy mô hình 3



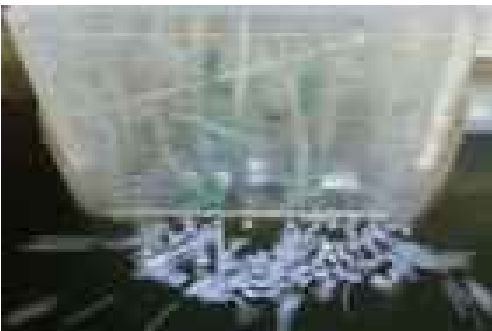
Hình 3.4 Kết quả thí nghiệm xác định chế độ chảy mô hình 4



a) Mô hình 1, $D=5\text{ m}$, $H/D=1,40$



b) Mô hình 1, $D=5\text{ m}$, $H/D=1,68$



c) Mô hình 1, $D=6\text{ m}$, $H/D=1,48$



d) Mô hình 1, $D=6\text{ m}$, $H/D=1,65$



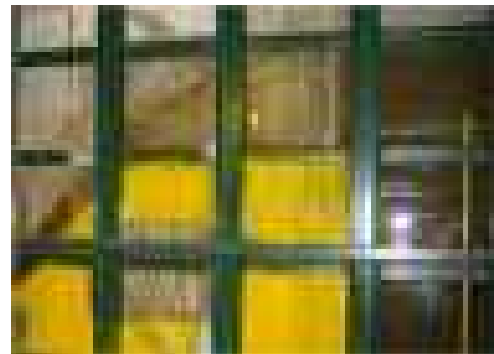
e) Mô hình 1, $D=7\text{ m}$, $H/D=1,37$



f) Mô hình 1, $D=7\text{ m}$, $H/D=1,69$



g) Mô hình 2, $H/D=1,50$



h) Mô hình 2, $H/D=1,57$

Ảnh 3.1 Một số hình ảnh về chế độ chảy ở các mô hình thí nghiệm

3.1.1.2 Đánh giá kết quả thí nghiệm chế độ chảy

Để xác định chế độ chảy tự do hay có áp dưới tường ngực cần phải xác định đường mặt nước ở chế độ chảy tự do. Tùy thuộc vào biên cong mặt tràn, tính toán theo công thức (1.16), công thức (1.17) và tham khảo các tài liệu khác để xác định đường mặt nước. Chế độ dòng chảy có áp qua tường ngực được xác định khi đường mặt nước chảy ngập hoàn toàn tường ngực. Từ kết quả thí nghiệm cho 19 trường hợp và phân tích ở mục 3.1.1.1, luận án đề xuất chế độ chảy là có áp dưới tường ngực khi $H/D \geq 1,6$.

3.1.2 Kết quả và đánh giá kết quả thí nghiệm khả năng tháo, hệ số lưu lượng

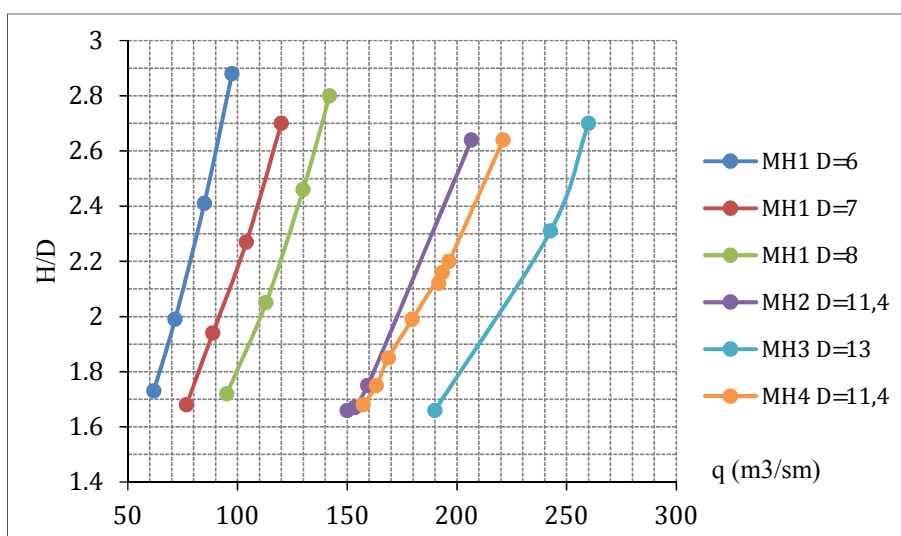
3.1.2.1 Kết quả thí nghiệm khả năng tháo

Số liệu thí nghiệm 12 trường hợp với đập Creager-Ofixerop và 15 trường hợp với đập WES trong phạm vi $0,8 < H/H_d < 1,89$ hoặc $1,6 < H/D < 2,83$ cho kết quả ở Bảng 3.2, biểu diễn trên các Hình 3.5÷Hình 3.6.

Bảng 3.2 Kết quả thí nghiệm lưu lượng

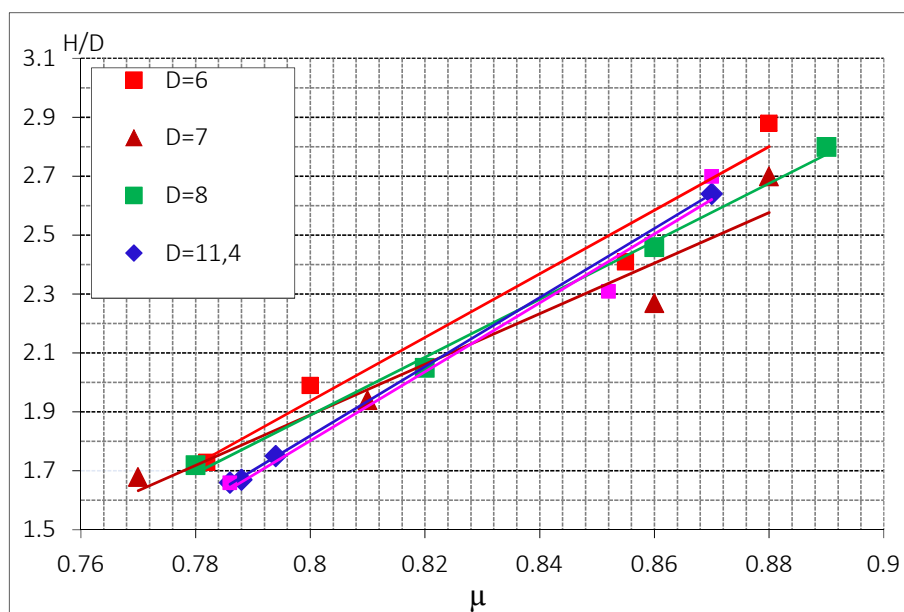
STT	H	Tỉ lưu $q(m^2/s)$	H_0/H_d	H_0/D	μ thí nghiệm
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
I	Mô hình 1				
1.1	D=6 m				
1	10,39	61,81	0,87	1,73	0,782
2	11,93	71,53	1,00	1,99	0,801
3	14,47	84,87	1,21	2,41	0,864
4	17,26	97,49	1,44	2,88	0,870
1.2	D=7 m				
1	11,75	76,74	0,98	1,68	0,770
2	13,59	88,77	1,13	1,94	0,813
3	15,87	104,02	1,32	2,27	0,861
4	19,20	120,87	1,60	2,74	0,880
1.3	D=8 m				
1	13,75	95,10	1,15	1,72	0,780
2	16,42	113,02	1,37	2,05	0,824
3	19,67	129,92	1,64	2,46	0,862

STT	H	Tỉ lưu $q(m^2/s)$	H_o/H_d	H_o/D	μ thí nghiệm
4	22,66	144,23	1,89	2,83	0,800
II	Mô hình 2				
1	19,05	150,00	0,95	1,66	0,794
2	19,15	153,33	0,96	1,67	0,786
3	20,03	159,33	1,00	1,75	0,794
4	29,76	206,67	1,49	2,6	0,870
III	Mô hình 3				
1	23,04	204,73	1,34	1,77	0,825
2	30,05	242,67	1,75	2,31	0,852
IV	Mô hình 4				
1	18,98	155,56	0,95	1,66	0,799
2	19,20	157,33	0,96	1,68	0,802
3	20,08	163,33	1,00	1,75	0,809
4	21,20	168,78	1,06	1,85	0,808
5	22,80	179,67	1,14	1,99	0,822
6	24,26	191,67	1,21	2,12	0,844
7	24,47	193,33	1,23	2,16	0,843
8	25,20	196,44	1,26	2,20	0,846
9	24,30	221,11	1,51	2,64	0,854



Hình 3.5 Đồ thị xác định khả năng tháo

Từ đồ thị Hình 3.5, cho thấy khả năng tháo tăng tỉ lệ thuận với chiều cao lỗ, đường khả năng tháo với các chiều cao lỗ khác nhau có xu hướng song song nhau, thể hiện quan hệ tuyến tính của lưu lượng tháo và chiều cao lỗ.



Hình 3.6 Đồ thị xác định hệ số lưu lượng μ

Từ kết quả khả năng tháo xác định được hệ số lưu lượng tại Bảng 3.2 và biểu diễn trên đồ thị Hình 3.6, cho thấy, với các mô hình thí nghiệm cho kết quả hệ số lưu lượng phân bố tương đối tập trung, có qui luật, giá trị trong khoảng $\mu = 0,76 \div 0,888$. Hệ số μ đồng biến với tỉ lệ với H/D.

Để đánh giá kết quả thí nghiệm của luận án, so sánh với kết quả tính theo công thức (1.11), cho thấy khi $H/D=1,8 \div 2,6$, sai lệch trong khoảng $(1 \div 4)\%$. Khi $H/D=1,6 \div 1,8$, sai số có thể tới 7 %, phản ánh sự không ổn định của dòng chảy khi bắt đầu chảy có áp.

3.1.2.2 Đánh giá kết quả thí nghiệm khả năng tháo

So sánh với kết quả nghiên cứu được công bố [29], [30], [35] sai số về lưu lượng khoảng 2÷5%, khi chế độ chảy có áp ổn định qua lỗ $H/D \geq 1,6$. Quy luật thay đổi hệ số lưu lượng μ phù hợp với các tài liệu đã công bố, chúng tăng lên khi tỉ lệ H/D tăng; khi $H/D > 2,8$ hệ số lưu lượng có xu thế giảm, dòng chảy có thể tách dòng.. Kết quả nghiên cứu trên mô hình 2 có sai số nhỏ hơn so với mô hình 4, do có tỉ lệ mô hình lớn hơn có

một vài giá trị hệ số lưu lượng $\geq 5\%$ ở các trường hợp chảy quá độ với tỉ lệ $H/D=1,6\div 1,7$ và trường hợp H/D quá lớn.

Bảng 3.3 So sánh hệ số lưu lượng thí nghiệm với công thức (1.11)

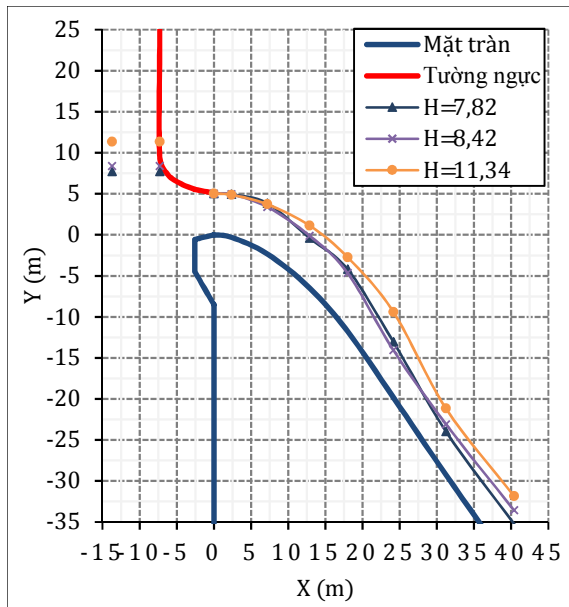
STT	$q(m^2/s)$	H_0/H_d	H_0/D	Hệ số μ thí nghiệm	Hệ số μ tính theo (1.11)	Sai lệch (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
I	Mô hình 1					
	D=6					
1	61,81	0,87	1,73	0,782	0,720	-7,4
2	71,53	1,00	1,99	0,805	0,770	4,04
3	84,87	1,21	2,41	0,864	0,810	5,26
4	97,49	1,44	2,88	0,870	0,830	4,21
	D=7					
1	76,74	0,98	1,68	0,770	0,760	-1,08
2	88,77	1,13	1,94	0,813	0,800	1,20
3	104,02	1,32	2,27	0,861	0,830	3,72
	D=8					
1	95,1	1,15	1,72	0,780	0,800	3,11
2	113,02	1,37	2,05	0,824	0,830	-1,39
3	129,92	1,64	2,46	0,862	0,824	4,48
4	144,23	1,89	2,83	0,870	0,81	-7,41
II	Mô hình 2					
1	150,00	0,95	1,66	0,794	0,750	5,53
2	153,33	0,96	1,67	0,786	0,750	4,61
3	159,33	1,00	1,75	0,794	0,770	2,97
4	206,67	1,49	2,64	0,870	0,830	-4,27
III	Mô hình 3					
1	204,73	1,34	1,77	0,825	0,830	3,34
2	242,67	1,75	2,31	0,852	0,830	3,81
IV	Mô hình 4					
1	155,56	0,95	1,66	0,799	0,751	7,64

STT	$q(m^2/s)$	H_o/H_d	H_o/D	Hệ số μ thí nghiệm	Hệ số μ tính theo (1.11)	Sai lệch (%)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)
2	157,33	0,96	1,68	0,802	0,754	6,02
3	163,33	1,00	1,75	0,809	0,768	5,95
4	168,78	1,06	1,85	0,808	0,783	5,12
5	179,67	1,14	1,99	0,822	0,801	3,10
6	193,33	1,23	2,16	0,843	0,817	2,55
7	191,67	1,21	2,12	0,844	0,814	2,99
8	196,44	1,26	2,20	0,846	0,821	3,59
9	221,11	1,51	2,64	0,854	0,831	2,97

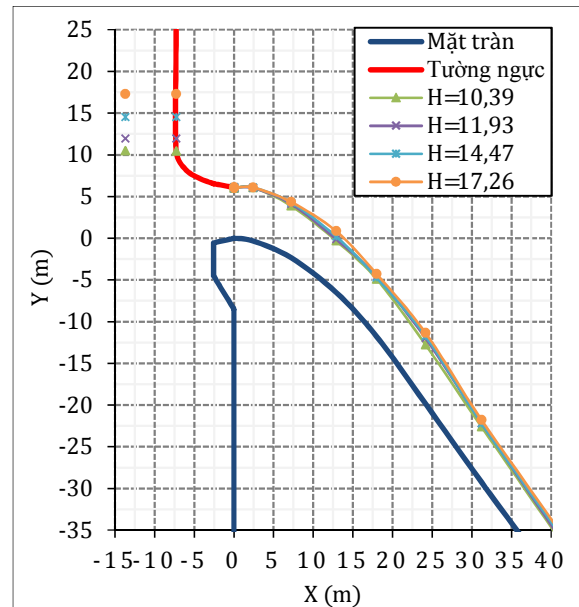
3.1.3 Kết quả và đánh giá kết quả thí nghiệm đường mặt nước

3.1.3.1 Đường mặt nước mô hình 1

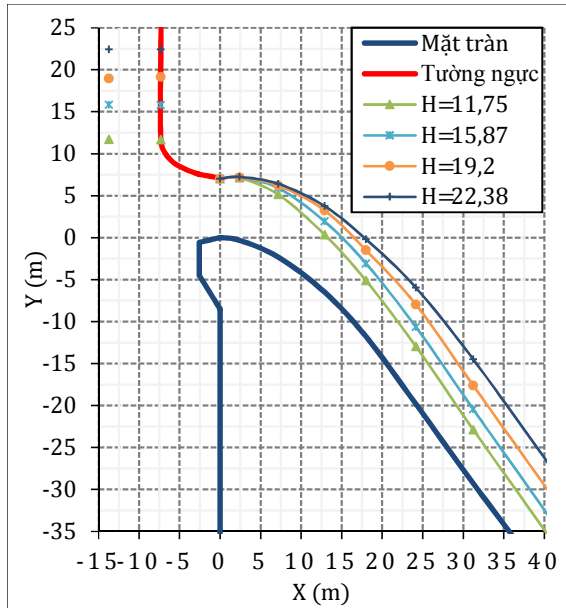
Luận án đã thí nghiệm cho 14 trường hợp đường mặt nước với tỷ lệ $H/D=1,68\div 3,2$. Kết quả thí nghiệm được ghi ở bảng PL3.1÷PL3.4 phụ lục, biểu diễn trên Hình 3.7.



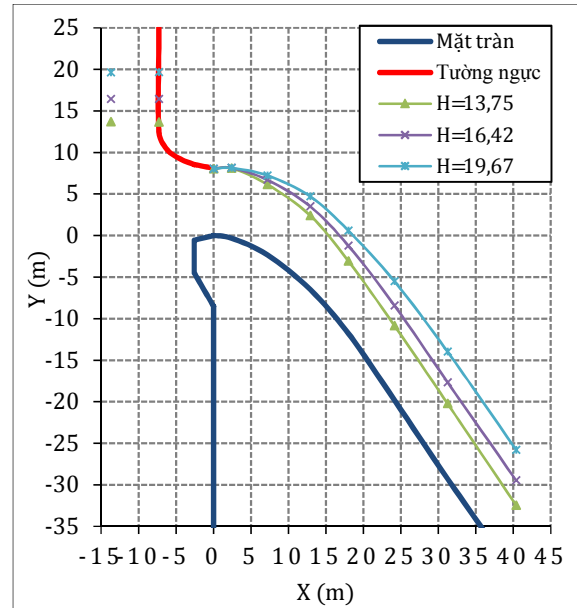
a) $D=5m$



b) $D=6m$



c) $D=7m$



d) $D=8m$

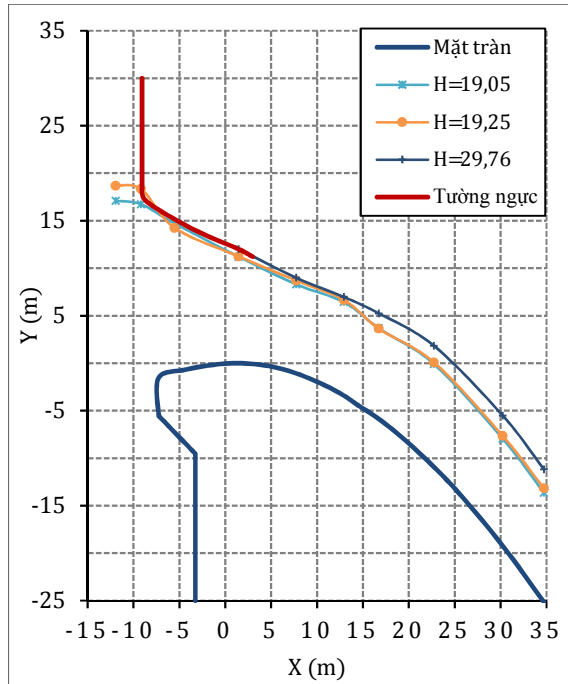
Hình 3.7 Đường mặt nước chế độ chảy có áp mô hình 1

Quan sát thí nghiệm và các đồ thị cùng tôi nhận thấy, các trường hợp thí nghiệm $H/D=1,6\div 2,8$, dòng chảy sau tường ngực chảy bám sát mặt tràn và có độ sâu bằng chiều cao lỗ. Độ sâu dòng chảy giảm dần về phía hạ lưu, phù hợp với đặc tính dòng xiết.

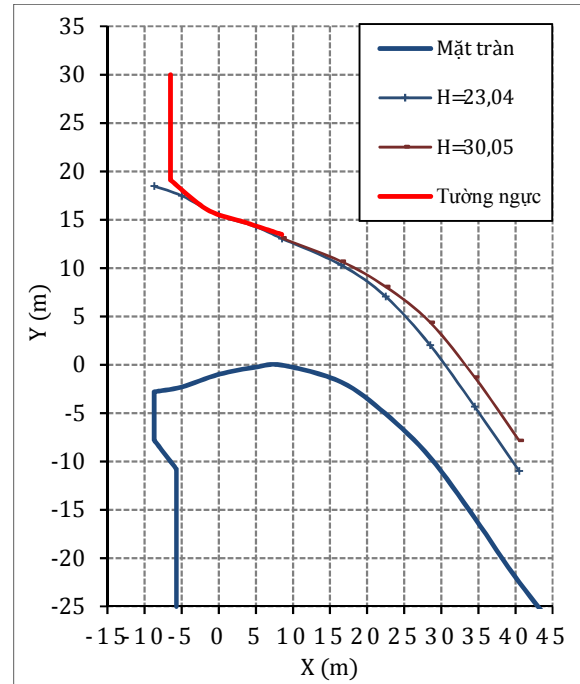
Với các trường hợp $H/D > 3$, độ sâu dòng chảy ra khỏi lỗ có xu hướng vòng cao hơn chiều cao lỗ, đây là biểu hiện của dòng chảy có xu thế tách dòng, gây hiện tượng chân không lớn, điều này phù hợp với các khuyến cáo trong các tài liệu hướng dẫn khi lựa chọn $H/H_d < 1,33$.

3.1.3.2 Đường mặt nước mô hình 2, 3, 4

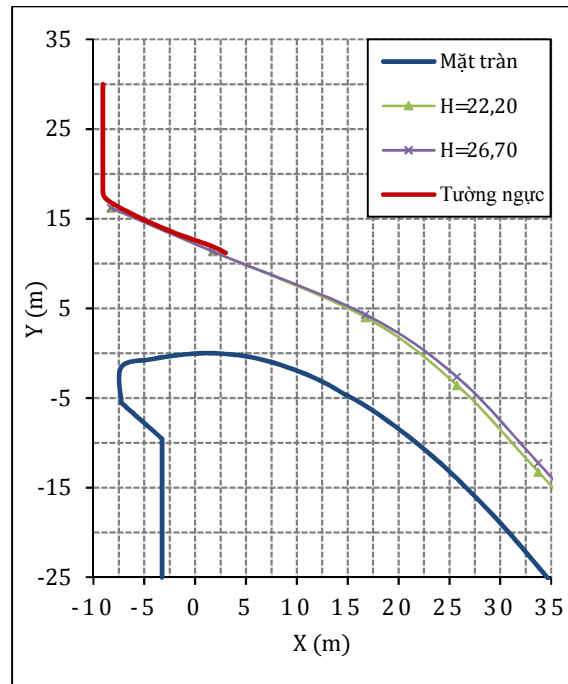
Kết quả thí nghiệm đường mực nước chế độ chảy có áp dưới tường ngực cho các trường hợp trên mặt tràn dạng WES được ghi tại PL3.5 đến PL3.7, biểu diễn trên Hình 3.8÷Hình 3.10. Phân tích các trường hợp có tỉ lệ $H/D=1,67\div 2,61$, đường mặt nước đều chạm trần tường ngực. Kết quả thí nghiệm cũng cho thấy tương tự như trên mặt tràn dạng Ophixerop ở mô hình 1.



Hình 3.8 Đường mặt nước chảy có áp, mô hình 2



Hình 3.9 Đường mặt nước chảy có áp, mô hình 3



Hình 3.10 Đường mặt nước khi chảy có áp trên mô hình 4

Đối với cả hai dạng mặt tràn được nghiên cứu, khi $H/D \geq 1,6$ thì dòng chảy qua tường ngực là dòng có áp. Sau đoạn chảy có áp ở tường ngực, dòng chảy là dòng chảy hở có mặt thoáng, độ sâu dòng chảy ở trên đoạn ngay sau tường ngực ít thay đổi, xấp xỉ chiều cao lỗ tường ngực. Giải thích cho kết quả này là do ở đoạn đỉnh tràn gần như nằm ngang, độ dốc theo phương ngang rất bé (khoảng $\theta < 7-8^\circ$, $\cos(\theta) > 0,99$), dòng chảy xiết ($Fr > 1$) ra khỏi lỗ giữ nguyên độ sâu đến đoạn thay đổi độ dốc lớn hơn. Các trường hợp $H/D > 3$ dòng chảy có xu thế tách dòng.

3.1.4 Kết quả và đánh giá kết quả thí nghiệm vận tốc dòng chảy

3.1.4.1 Vận tốc dòng chảy ở mô hình 1

Kết quả đo vận tốc dòng chảy trên tuyến mặt tràn được ghi ở bảng PL3.8÷PL3.11 phụ lục, biểu diễn trên các Hình 3.11÷Hình 3.14.

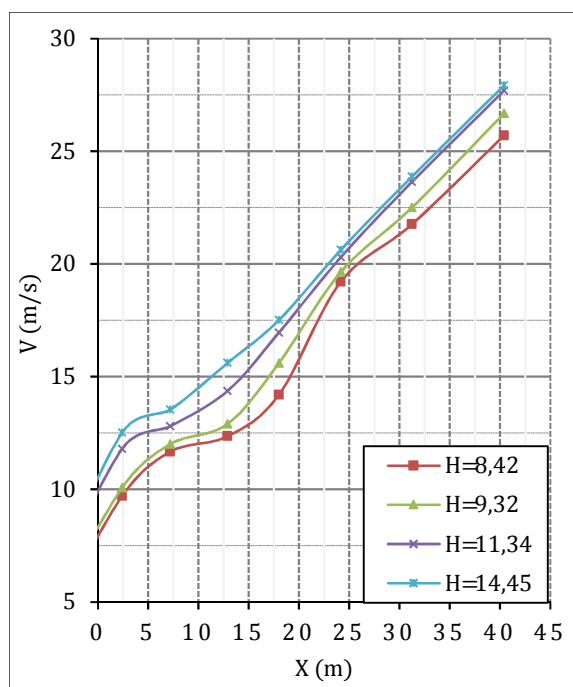
3.1.4.2 Vận tốc dòng chảy mô hình 2, 4

Kết quả đo vận tốc dòng chảy trên tuyến mặt tràn mô hình 2 được ghi ở bảng PL3.12 phụ lục, biểu diễn trên Hình 3.15.

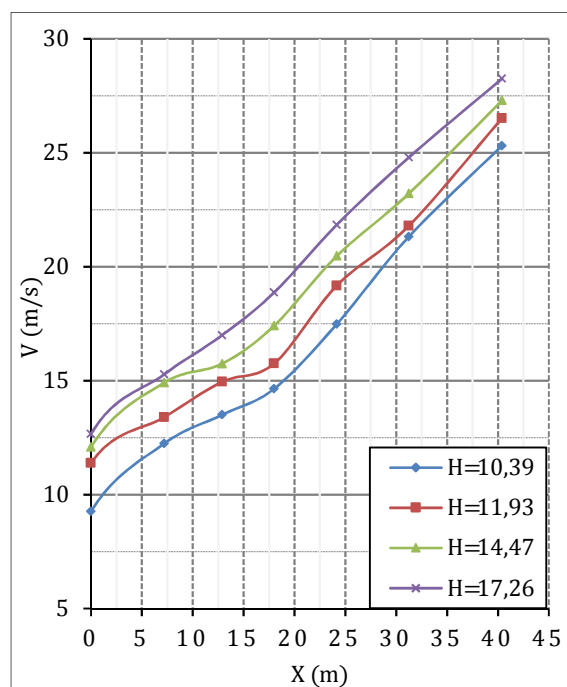
Kết quả đo vận tốc dòng chảy trên tuyến mặt tràn mô hình 4 được ghi ở bảng PL3.13 phụ lục, biểu diễn trên Hình 3.16.

Từ kết quả đo cho thấy phân bố vận tốc dòng chảy là phù hợp với quy luật, vận tốc dòng chảy tăng dần từ đỉnh tràn đến đoạn chuyển tiếp đường thẳng trên mặt tràn, vận tốc tăng khi mức nước thượng lưu tăng và không phát hiện sự khác biệt về qui luật giữa các trường hợp nghiên cứu.

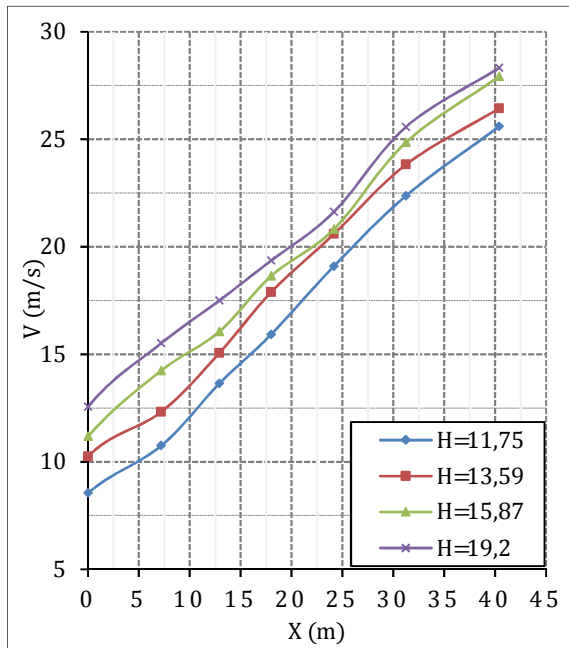
Để đánh giá kết quả thí nghiệm, tiến hành so sánh kết quả thí nghiệm vận tốc ở mô hình 2 và mô hình 4 thể hiện ở Hình 3.17. Phân bố vận tốc thí nghiệm ở mô hình 2 và mô hình 4 tương đồng về giá trị và qui luật phân bố, sai lệch $\Delta v=0,5\div 1\text{m/s}$ (khoảng 3÷5%).



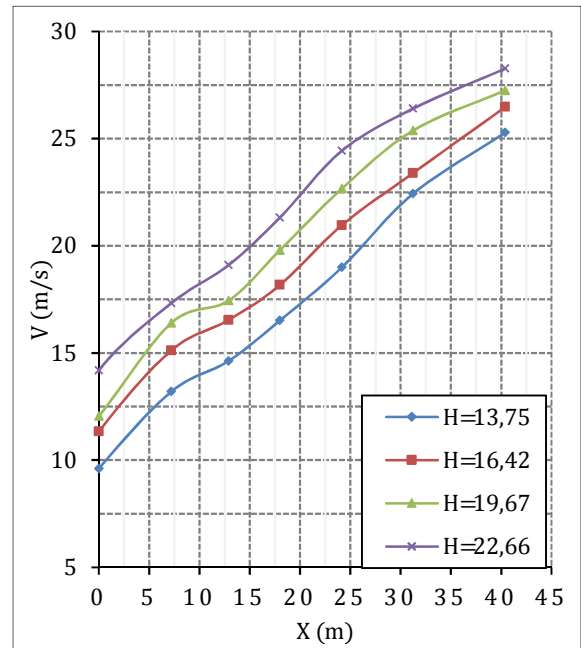
Hình 3.11 Đồ thị phân bố vận tốc ở mô hình 1, $D=5\text{m}$



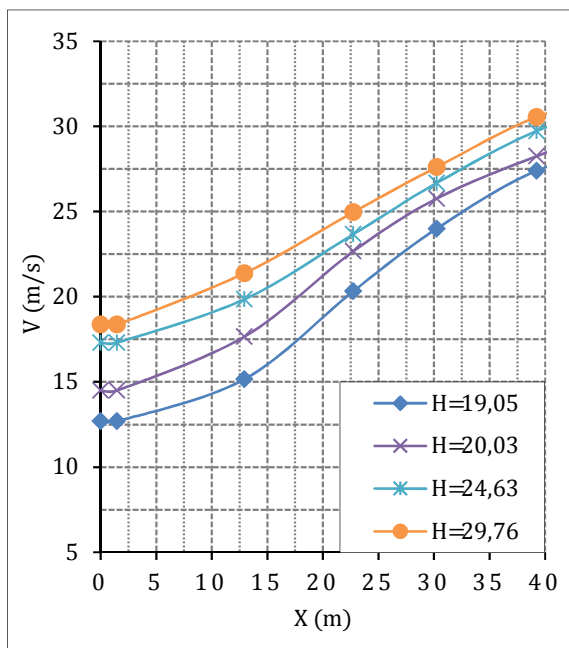
Hình 3.12 Đồ thị phân bố vận tốc ở mô hình 1, $D=6\text{m}$



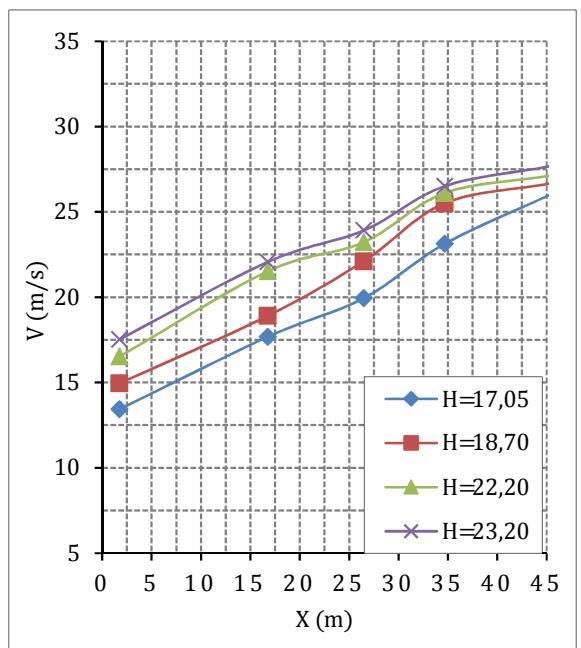
Hình 3.13 Đồ thị phân bố vận tốc ở mô hình 1, D=7m



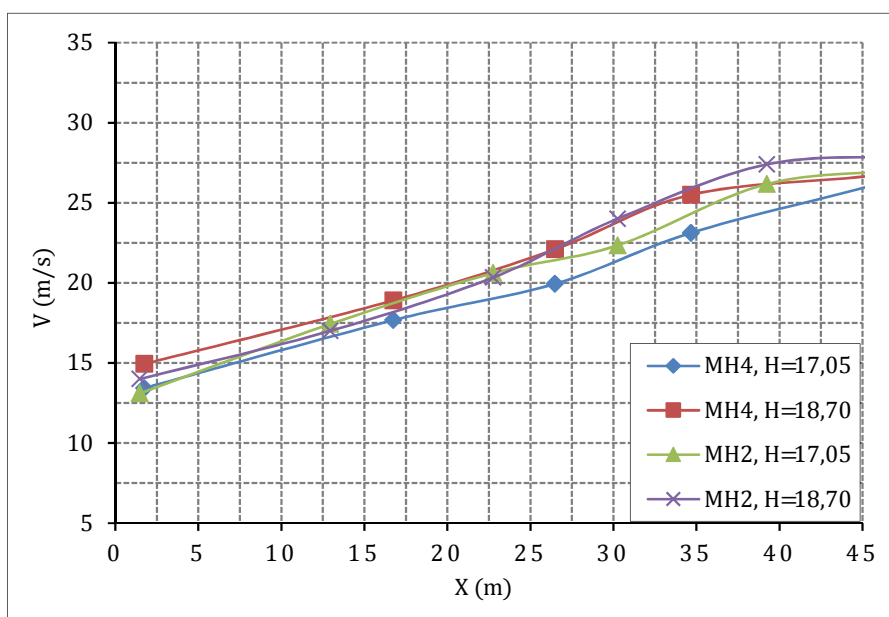
Hình 3.14 Đồ thị phân bố vận tốc ở mô hình 1, D=8m



Hình 3.15 Đồ thị phân bố vận tốc mô hình 2



Hình 3.16 Đồ thị phân bố vận tốc mô hình 4



Hình 3.17 Đồ thị so sánh phân bố vận tốc ở mô hình 2 và mô hình 4

3.1.5 Kết quả và đánh giá kết quả thí nghiệm phân bố áp suất trên đập tràn

3.1.5.1 Kết quả và đánh giá kết quả thí nghiệm áp suất trên mặt tràn

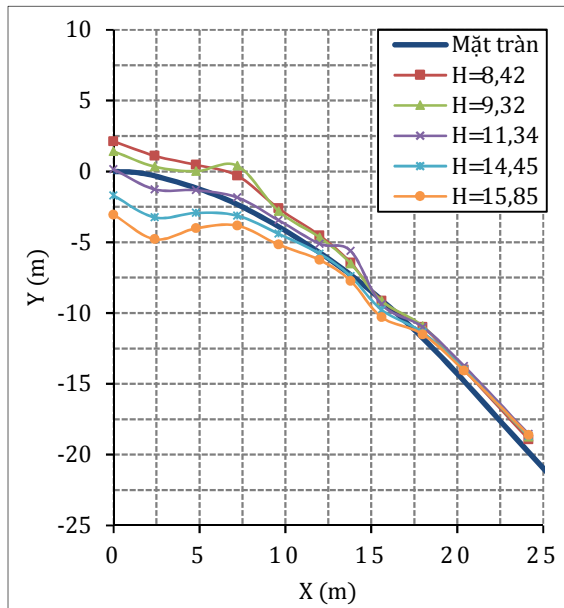
a) Thí nghiệm áp suất mặt tràn ở mô hình 1

Kết quả đo áp suất tuyến giữa khoang ở mô hình 1 với $D=5\div 8m$ được ghi ở bảng PL3.14 phụ lục, biểu diễn trên Hình 3.18÷Hình 3.21.

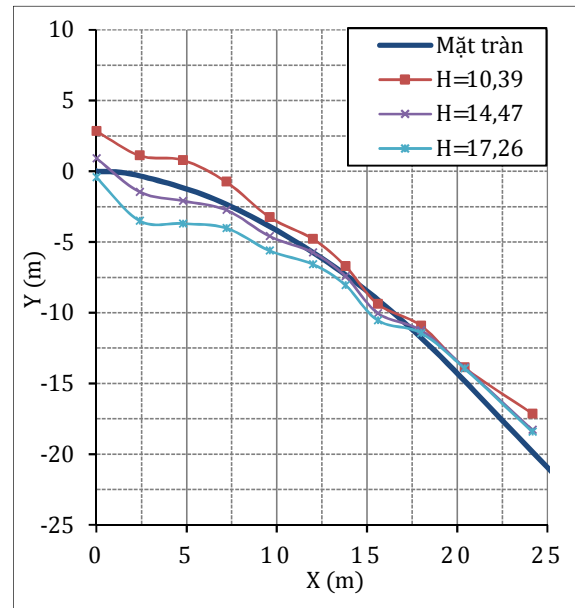
Các nghiên cứu thực hiện với tỷ lệ $H/D=1,35\div 3,4$ hay $H/H_d=0,80$ đến 1,89, phân tích kết quả và trên đồ thị nhận thấy:

- Khi $H/H_d \leq 1$, Trên mặt tràn không xuất hiện áp suất chân không và ngược lại. Áp suất chân không tăng nhanh khi $H/H_d > 1$.
- Vị trí xuất hiện áp suất chân không lớn nhất ở lân cận đỉnh tràn, vùng chân không kéo dài từ đỉnh tràn về hạ lưu trong khoảng $X/H_d = (0\div 1,2)$.
- Giá trị chân không có thể vượt quá giá trị chân không cho phép không xâm thực mặt tràn ($h_{ck}=5\div 6m$) khi tỷ lệ $H/H_d > 1,6$.

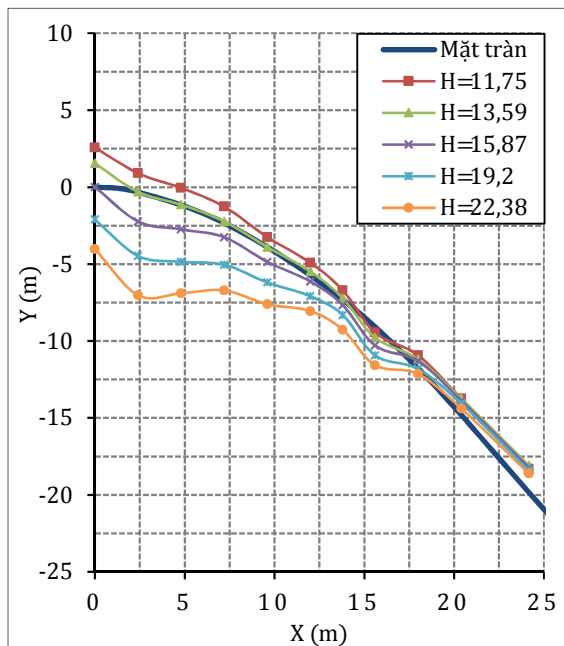
Các nhận xét trên phù hợp với quy luật phân bố áp suất ở mặt tràn khi chảy tự do, nhưng giá trị có thể khác, và phù hợp với khuyến cáo cho trường hợp chảy hở, $H/H_d < 1,33$.



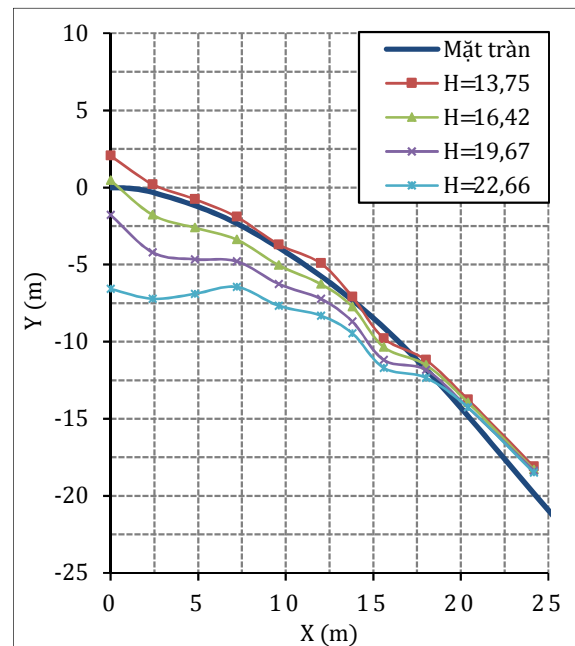
Hình 3.18 Cao độ đường đo áp tuyến giữa khi chảy có áp ở mô hình 1, $D=5m$



Hình 3.19 Cao độ đường đo áp tuyến giữa khi chảy có áp ở mô hình 1, $D=6m$



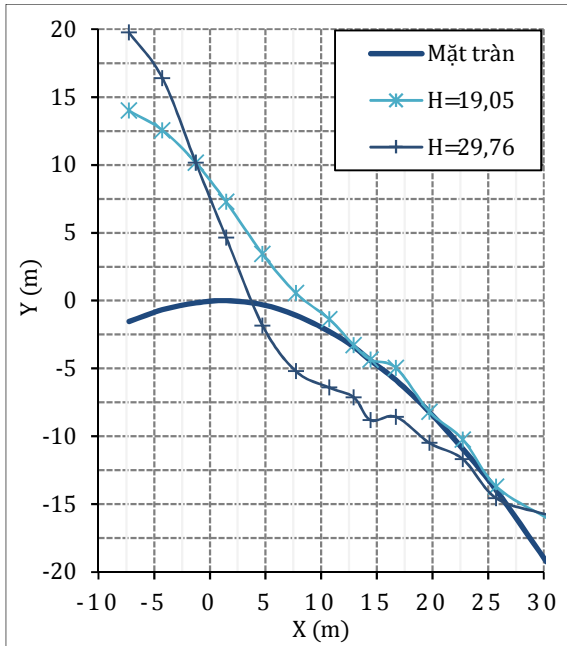
Hình 3.20 Cao độ đường đo áp tuyến giữa khi chảy có áp ở mô hình 1, $D=7m$



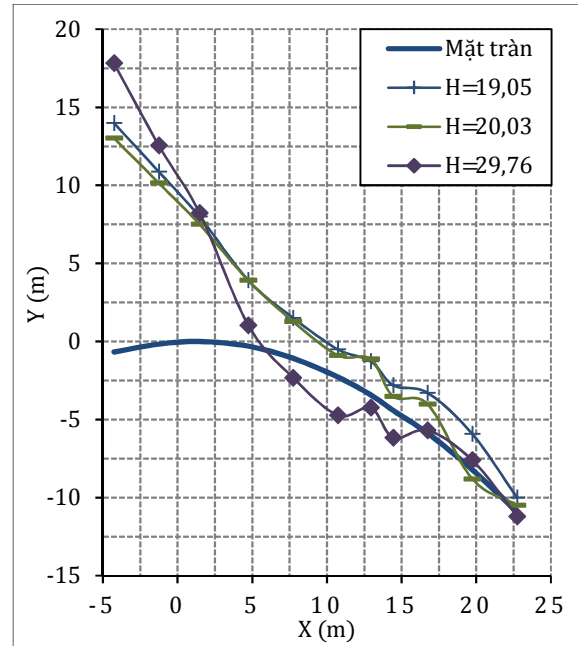
Hình 3.21 Cao độ đường đo áp tuyến giữa khi chảy có áp ở mô hình 1, $D=8m$

b) Thí nghiệm áp suất mặt tràn ở mô hình 2, 3, 4.

Kết quả thí nghiệm về áp suất ở tuyến giữa khoang và sát trụ pin mô hình 2 được ghi ở các bảng PL3.15÷3.16, được vẽ trên các Hình 3.22÷ Hình 3.23.



Hình 3.22 Cao độ đường đo áp tuyến giữa khi chảy có áp mô hình 2



Hình 3.23 Cao độ đường đo áp tuyến sát trụ pin khi chảy có áp mô hình 2

Quy luật phân bố áp suất trên mặt đập, do ảnh hưởng của phần đoạn cong thượng và hạ lưu, áp suất dòng chảy có xu thế giảm dần từ thượng lưu về hạ lưu, vùng áp suất giảm mạnh, có thể có chân không trong khoảng $X = (-0,2 \div 1,4)H_d$ tùy thuộc vào tỉ lệ H/H_d . Tỉ lệ H/H_d tăng áp suất càng giảm mạnh, vùng giảm áp và chân không càng lớn. Đây cũng là lý do để khi H/H_d tăng thì hệ số lưu lượng tháo cũng tăng lên. Theo [31], khi áp suất chân không vượt quá khoảng $-4,5m$ có thể xâm thực. Bởi vậy trong thiết kế không nên chọn $H/H_d > 1,33$. Việc quyết định mức nước lớn nhất H_{max} và H_d , cần thiết để áp suất không vượt quá $-4,5m$. Thiết kế mặt đập hợp lý sẽ chưa xuất hiện áp suất chân không khi $H/H_d < 1$, chỉ khi tỉ số H/H_d gần bằng 1, áp suất trên đỉnh tràn gần về “0”. Áp suất chân không sẽ tăng mạnh khi $H/H_d > 1,33$.

Để minh chứng cho việc thiết kế H_{max} , H_d chưa hợp lý, có thể lấy ví dụ với mô hình 3, giá trị $H/H_d = 0,7 \div 1,75$, giá trị $H_{max}/H_d = 1,75$ vượt lớn hơn rất nhiều so với các chỉ dẫn là $H/H_d < 1,33$.

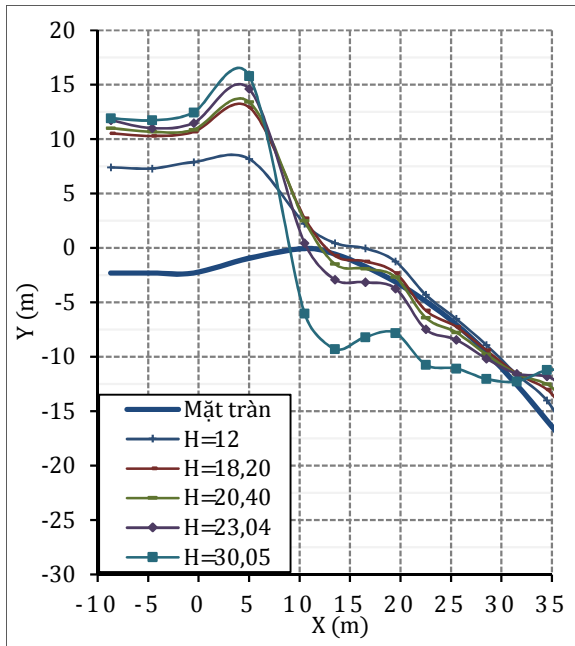
Kết quả đo cao độ đường đo áp được ghi ở bảng PL3.17 phụ lục, biểu diễn trên Hình 3.24.

Theo kết quả thí nghiệm, khi cột nước thượng lưu $H=12 m$, tỉ lệ $H/H_d \leq 1$, áp suất chân không chưa xuất hiện trên mặt tràn; với $H= 18,2 m$, $H/H_d=1,06$ lớn hơn 1 một

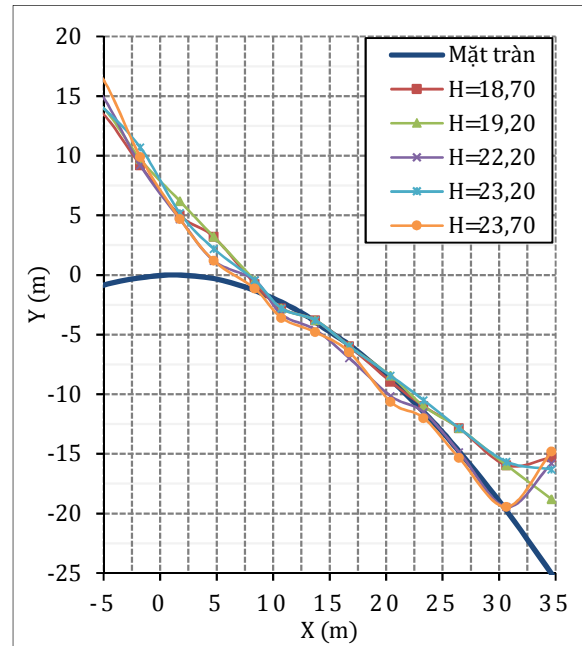
chút, áp suất bắt đầu có chân không với giá trị nhỏ. Khi tăng cột nước thượng lưu từ $H = 18,2$ m đến 30 m, tỉ số $H/H_d=1,06 \div 1,75$, giá trị áp suất chân không tăng nhanh, giá trị chân không lớn nhất đến $-8,72$ m, giá trị này vượt quá giá trị cho phép, cần phải có thiết kế lại mặt tràn. Với thiết kế đỉnh tràn có đoạn gần như nằm ngang kéo dài khoảng 10m, phần tiếp giáp với thượng lưu không thuận dòng, tạo nên vùng suy giảm áp suất lớn ngay ở đầu tràn, có thể xuất hiện sự tách dòng ở vùng này, quy luật phân bố áp suất khác với thông thường (Hình 3.24).

Kết quả đo áp suất tuyến giữa khoang ở mô hình 4 chảy có áp được ghi ở bảng PL3.18 phụ lục, biểu diễn trên Hình 3.25.

Các nhận xét về kết quả thí nghiệm áp suất trên mô hình 4, tương tự như ở mô hình 2. Quy luật và giá trị phù hợp giữa hai mô hình.



Hình 3.24 Cao độ đường đo áp tuyến giữa mặt tràn ở mô hình 3



Hình 3.25 Cao độ đường đo áp tuyến giữa mặt tràn khi chảy có áp ở mô hình 4

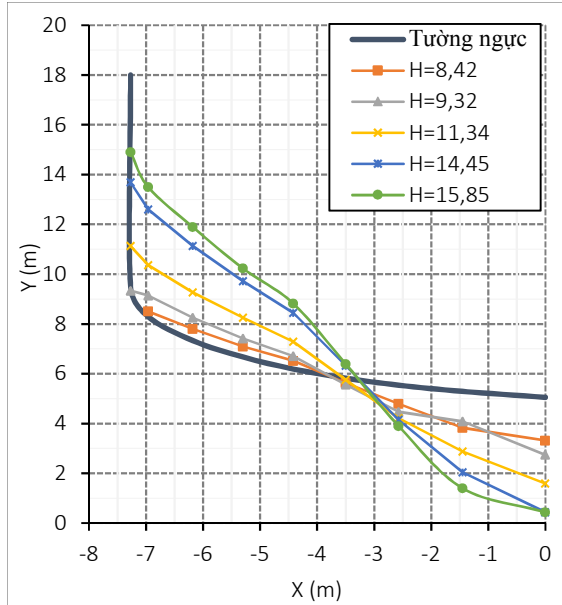
3.1.5.2 Kết quả và đánh giá kết quả thí nghiệm áp suất ở tường ngực

a) Phân bố áp suất ở tường ngực mô hình 1

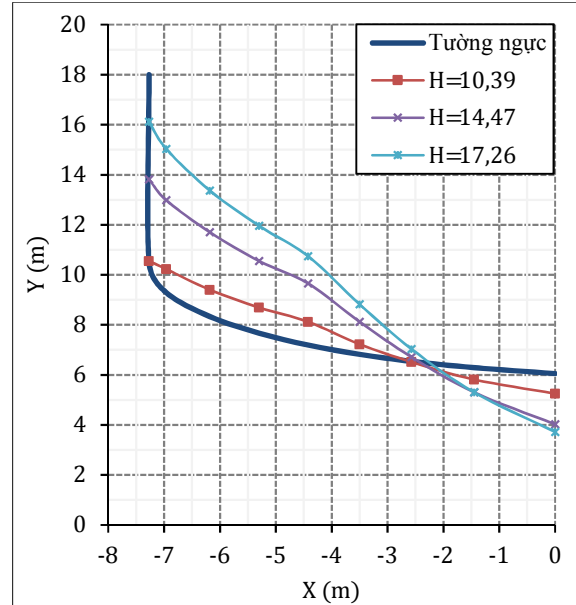
Kết quả thí nghiệm áp suất dưới tường ngực ở mô hình 1 ứng với các chiều cao lỗ $D=5; 6; 7; 8$ m được ghi ở bảng PL3.19÷PL3.22 phụ lục và biểu diễn trên các Hình 3.26 ÷ Hình 3.29 dưới đây. Từ số liệu thí nghiệm cho thấy:

- Vùng áp suất dương $h_p > 0$, ở khoảng 2/3 chiều dài đoạn đầu tường ngực.

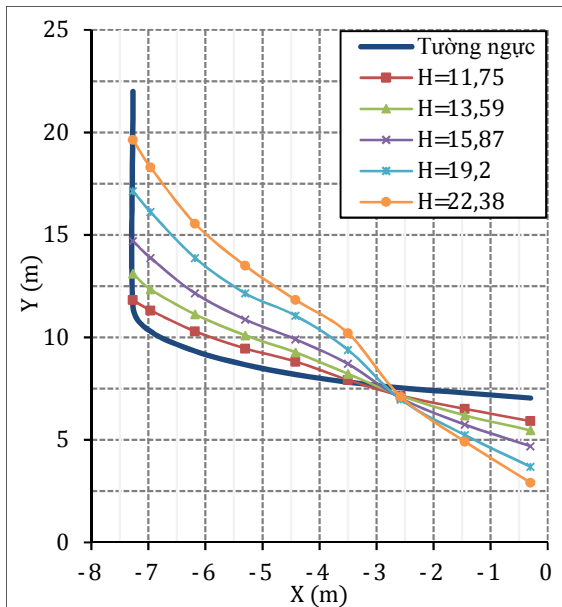
- Áp suất giảm, $h_p < 0$, ở 1/3 đoạn cuối của tường ngực, áp suất chân không càng lớn, khi mực nước càng cao.
- Giá trị áp suất chân không có thể vượt quá giá trị cho phép khi $H/D > 3$.
- Qui luật phân bố áp suất ở tường ngực trong các trường hợp thí nghiệm không có sự khác biệt.



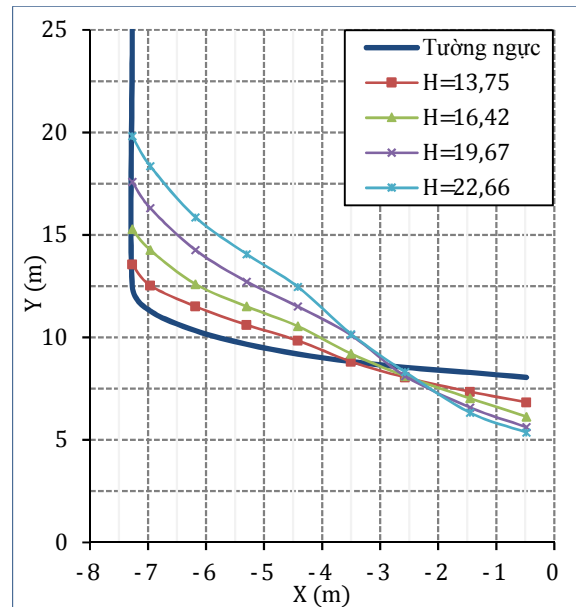
Hình 3.26 Cao độ đường đo áp trên tường ngực ở mô hình 1, $D=5\text{ m}$



Hình 3.27 Cao độ đường đo áp trên tường ngực ở mô hình 1, $D=6\text{ m}$.



Hình 3.28 Cao độ đường đo áp trên tường ngực ở mô hình 1, $D=7\text{ m}$



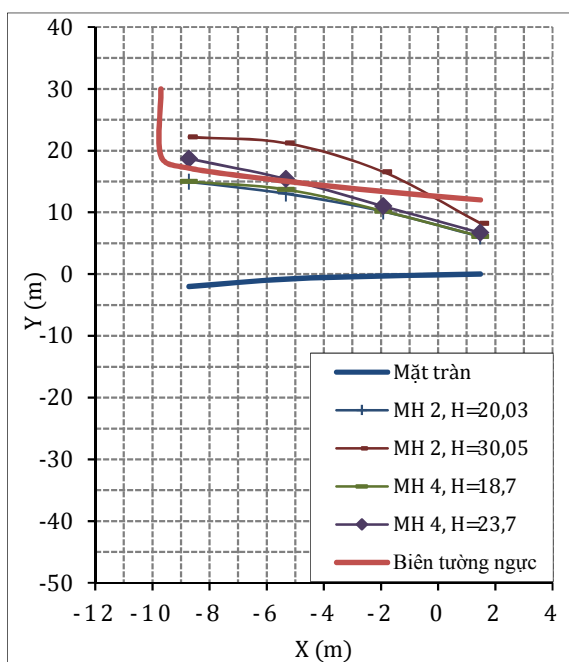
Hình 3.29 Cao độ đường đo áp trên tường ngực ở mô hình 1, $D=8\text{ m}$

b) Phân bố áp suất ở tường ngực mô hình 2, 3, 4

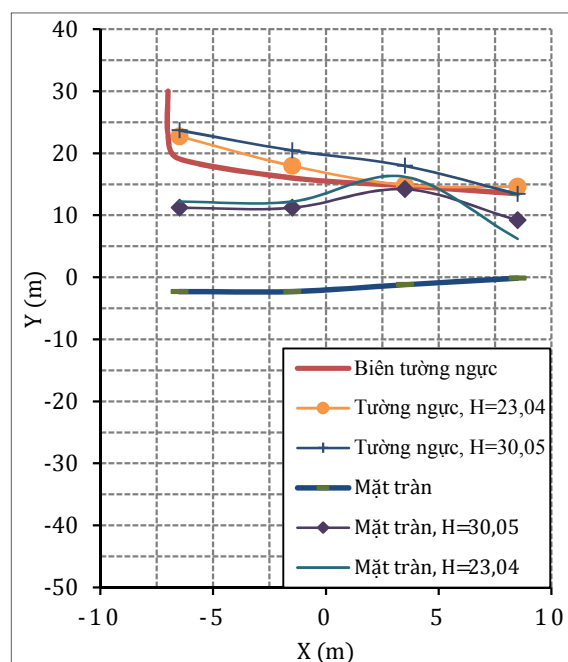
Kết quả thí nghiệm áp suất dưới tường ngực ở các mô hình 2, 3, 4 được ghi ở bảng PL3.23 phụ lục và các Hình 3.30, Hình 3.31 dưới đây.

Từ kết quả thí nghiệm cho thấy, với các trường hợp thí nghiệm chảy có áp dưới tường ngực, áp suất trên tường ngực rất nhỏ hoặc có chân không với giá trị bé. Điều này cho thấy phạm vi thí nghiệm thuộc vùng cột nước thấp $H/D < 2,6$.

Quy luật phân bố trên tường ngực cho hai dạng mặt tràn ở các mô hình thí nghiệm tương tự nhau.



Hình 3.30 Cao độ đường đo áp trên tường ngực ở đoạn có áp mô hình 2, 4



Hình 3.31 Cao độ đường đo áp trên tường ngực và mặt tràn ở đoạn có áp mô hình 3

Với mô hình 3, do có kết cấu đoạn nối tiếp thượng lưu đập tràn và tỉ lệ H_{max}/H_d lớn, nên quy luật phân bố áp suất trên mặt tràn có sự thay đổi rất lớn, hình thành vùng giảm áp mạnh có thể gây tách dòng ngay tại đầu tràn như Hình 3.24.

3.2 Xác định một số đặc trưng thủy lực của đập tràn thực dụng có tường ngực

3.2.1 Xây dựng công thức tính hệ số lưu lượng

Từ kết quả xây dựng phương trình nghiên cứu thực nghiệm và phân tích tương quan đã xác định được các biến của hàm không thứ nguyên hệ số lưu lượng μ như phương trình (2.13). Từ công thức này kết hợp với dạng hàm đa thức tuyến tính, phi

tuyến hoặc hàm mũ, sử dụng phương pháp phân tích hồi quy tuyến tính để tìm ra mối quan hệ giữa các biến thực nghiệm với μ . Việc tuyến tính hóa các dạng hàm khác nhau bằng cách sử dụng phép đổi biến và hàm hợp của toán học giải tích. Nhiều dạng hàm số tích hợp bởi các biến không thứ nguyên và các dạng hàm của các công thức tính μ đã được khảo sát và thử nghiệm, nhưng dạng hàm tuyến tính được sử dụng cho hàm f_1 thu được kết quả tốt nhất như dạng (3.1).

$$\mu = b_0 + b_1 \frac{H}{D} + b_2 \frac{H_d}{D} + b_3 \frac{D_1}{D} + b_4 \frac{b}{D} \quad (3.1)$$

Bên cạnh đó kế thừa các kết quả nghiên cứu đã có, đặc biệt là các nghiên cứu của Ấn Độ, kết hợp với phân tích tương quan cho thấy, hệ số lưu lượng μ tương quan rất chặt với đại lượng H/D (hệ số tương quan là 0,92), trong khi đó hệ số H/H_d có tương quan với μ thấp hơn chỉ đạt 0,83. Do vậy, ở đây sử dụng dạng hàm của công thức (1.11), thay H/H_d bằng H/D thu được công thức (3.2).

$$\mu = M \left(\frac{H}{D} \right)^2 + N \left(\frac{H}{D} \right) + P \quad (3.2)$$

Từ số liệu thí nghiệm với các kích bản, cấp lưu lượng đã được trình bày ở chương 2, tập hợp viết dưới dạng không thứ nguyên ghi ở Bảng 3.4. Áp dụng phương pháp kiểm định sai số cho công thức thực nghiệm bằng phương pháp Holdout. Tập số liệu thí nghiệm (Bảng 3.4) được chia thành 2 tập: Tập lập công thức gồm 18 số liệu (từ 1 đến 18), tập kiểm định công thức dùng để đánh giá sai số của công thức gồm 9 số liệu (từ 19 đến 27). Tập lập công thức có số liệu thí nghiệm của 5 kích bản chiều cao lỗ D , 3 chiều cao cửa vào, 3 giá trị H_d , 17 giá trị H/D . Tập kiểm định công thức với số liệu thí nghiệm của 2 trường hợp chiều cao lỗ D có $H_d/D=1,71$ và $1,78$; $D_1/D=1,77$ và $1,83$. Sai lệch trong luận án này được tính là sai lệch tương đối $(\mu_{tn}-\mu_{tt})/\mu_{tn}$.

Luận án sử dụng tập lập công thức và tập kiểm định công thức trên để xây dựng và kiểm định các công thức thực nghiệm. Ngoài ra, cũng đồng thời so sánh kết quả thí nghiệm với công thức (1.11) của Ấn Độ.

Bảng 3.4 Số liệu thí nghiệm và tính toán hệ số lưu lượng μ

STT	Số liệu thí nghiệm					Các đại lượng không thứ nguyên				μ tính toán theo công thức						Sai lệch (%)					
	D ₁ (m)	D (m)	H _d (m)	q (m ² /s)	μ thí nghiệm	H ₀ /D	H _d /D	D ₁ /D	B/D	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	(1.11)	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	(1.11)
I	Tập lập công thức																				
1	20,90	11,4	20	150	0,794	1,66	1,76	1,83	1,32	0,786	0,791	0,792	0,794	0,788	0,752	-1,05	-0,38	-0,20	-0,02	-0,74	-5,26
2	20,90	11,4	20	153	0,786	1,67	1,76	1,83	1,32	0,79	0,79	0,793	0,795	0,789	0,755	0,04	0,72	0,91	1,09	0,42	-3,89
3	0,90	11,4	20	159	0,794	1,75	1,76	1,83	1,32	0,79	0,80	0,799	0,800	0,799	0,768	-0,33	0,37	0,63	0,80	0,58	-3,31
4	20,90	11,4	20	207	0,87	2,64	1,76	1,83	1,32	0,85	0,86	0,864	0,865	0,864	0,833	-2,51	-1,65	-0,73	-0,63	-0,65	-4,27
5	20,90	13	17,2	205	0,825	1,77	1,32	1,61	1,15	0,81	0,82	0,811	0,802	0,801	0,830	-1,46	-1,09	-1,68	-2,82	-2,93	0,55
6	20,90	13	17,2	243	0,852	2,31	1,32	1,61	1,15	0,85	0,85	0,850	0,841	0,848	0,804	-0,54	-0,04	-0,19	-1,32	-0,47	-5,66
7	20,90	11,40	20,3	156	0,799	1,66	1,78	1,83	1,32	0,80	0,79	0,792	0,794	0,788	0,752	0,05	-1,15	-0,89	-0,65	-1,36	-5,85
8	20,90	11,40	20,3	192	0,844	2,12	1,78	1,83	1,32	0,83	0,82	0,825	0,827	0,834	0,815	-1,81	-2,82	-2,22	-2,01	-1,15	-3,46
9	20,90	11,40	20,3	196	0,846	2,20	1,78	1,83	1,32	0,83	0,83	0,831	0,833	0,840	0,822	-1,44	-2,43	-1,76	-1,56	-0,66	-2,86
10	20,90	11,40	20,3	221	0,854	2,64	1,78	1,83	1,32	0,86	0,85	0,863	0,865	0,864	0,832	0,93	0,06	1,06	1,23	1,21	-2,55
11	11,38	6	12	62	0,782	1,73	2,00	1,90	1,83	0,78	0,78	0,792	0,799	0,796	0,724	0,20	0,35	1,22	2,16	1,83	-7,40
12	11,38	6	12	72	0,800	1,99	2,00	1,90	1,83	0,80	0,80	0,810	0,818	0,823	0,768	0,02	0,24	1,31	2,20	2,89	-4,04
13	11,38	6	12	85	0,860	2,41	2,00	1,90	1,83	0,83	0,83	0,841	0,848	0,854	0,815	-3,85	-3,53	-2,21	-1,40	-0,70	-5,26
14	11,38	6	12	97	0,870	2,88	2,00	1,90	1,83	0,86	0,86	0,875	0,882	0,870	0,833	-1,50	-1,08	0,59	1,36	0,04	-4,21
15	13,38	8	12	95	0,780	1,72	1,50	1,67	1,38	0,81	0,81	0,803	0,798	0,795	0,804	3,58	3,22	2,96	2,33	1,95	3,11
16	13,38	8	12	113	0,820	2,05	1,50	1,67	1,38	0,83	0,83	0,827	0,822	0,828	0,831	1,10	0,84	0,87	0,24	1,03	1,39

STT	Số liệu thí nghiệm					Các đại lượng không thứ nguyên				μ tính toán theo công thức						Sai lệch (%)					
	D ₁ (m)	D (m)	H _d (m)	q (m ² /s)	μ thí nghiệm	H _o /D	H _d /D	D ₁ /D	B/D	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	(1.11)	3.3	3.4	3.5	3.6	3.7	(1.11)
17	13,38	8	12	130	0,860	2,46	1,50	1,67	1,38	0,86	0,85	0,857	0,852	0,857	0,821	-0,56	-0,71	-0,36	-0,98	-0,40	-4,48
18	13,38	8	12	144	0,870	2,83	1,50	1,67	1,38	0,88	0,88	0,884	0,878	0,870	0,770	1,01	0,96	1,58	0,95	-0,05	-11,51
	<i>Min</i>															-3,85	-3,53	-2,22	2,82	-2,93	-11,51
	<i>Max</i>															3,58	3,22	2,96	2,33	2,89	3,11
II	Tập kiểm định công thức																				
19	12,38	7	12	77	0,770	1,68	1,71	1,77	1,57	0,79	0,79	0,795	0,795	0,791	0,762	3,20	3,05	3,24	3,28	2,67	-1,08
20	12,38	7	12	89	0,81	1,94	1,71	1,77	1,57	0,81	0,81	0,814	0,814	0,818	0,800	0,15	0,08	0,47	0,50	1,04	-1,20
21	12,38	7	12	104	0,86	2,27	1,71	1,77	1,57	0,83	0,83	0,838	0,838	0,845	0,828	-3,22	-3,21	-2,58	-2,58	-1,70	-3,72
22	12,38	7	12	121	0,88	2,74	1,71	1,77	1,57	0,86	0,86	0,872	0,872	0,867	0,826	-2,01	-1,89	-0,91	-0,94	-1,42	-6,14
23	20,90	11,40	20,3	157	0,802	1,68	1,78	1,83	1,32	0,80	0,79	0,793	0,795	0,791	0,755	-0,17	-1,35	-1,08	-0,84	-1,43	-5,80
24	20,90	11,40	20,3	163	0,809	1,75	1,78	1,83	1,32	0,81	0,80	0,798	0,800	0,799	0,768	-0,48	-1,63	-1,31	-1,07	-1,28	-5,11
25	20,90	11,40	20,3	169	0,808	1,85	1,78	1,83	1,32	0,81	0,80	0,806	0,808	0,809	0,784	0,43	-0,70	-0,29	-0,06	0,17	-2,96
26	20,90	11,40	20,3	180	0,822	1,99	1,78	1,83	1,32	0,82	0,81	0,816	0,818	0,823	0,802	-0,19	-1,26	-0,75	-0,53	0,13	-2,40
27	20,90	11,40	20,3	193	0,843	2,16	1,78	1,83	1,32	0,83	0,82	0,828	0,830	0,837	0,818	-1,39	-2,39	-1,76	-1,55	-0,66	-2,99
	<i>Min</i>															-3,22	-3,21	-2,58	-2,58	-1,70	-6,14
	<i>Max</i>															3,20	3,05	3,24	3,28	2,67	-1,08

Từ số liệu ở Bảng 3.4, lập bảng tính giá trị hàm số và biến số ở dạng bậc nhất cho các dạng công thức (3.1) và (3.2) bằng cách sử dụng công cụ phân tích hồi quy (Regression) của phần mềm xử lý số liệu Microsoft Excel, xác định được các hệ số hồi quy của phương trình cho kết quả các tham số và hệ số hồi quy của hàm thực nghiệm ở (Bảng 3.5), các công thức từ (3.3) đến (3.6) theo dạng tuyến tính (3.1) và công thức (3.7) dạng đa thức bậc 2 theo dạng (3.2).

Bảng 3.5 Tham số tương quan và hệ số hàm thực nghiệm về hệ số lưu lượng

Công thức	Hệ số hàm thực nghiệm					Tham số tương quan		Sai số (%)	
	b_0	b_1	b_2	b_3	b_4	S	$Sig.F$	Min	Max
Công thức (3.3)	1,8700	0,0638	0,5797	-1,0967	-0,1507	0,797	0,0073	-3,85	3,58
Công thức (3.4)	0,7410	0,0660	-0,0481	0,0136		0,784	0,0033	-3,53	3,22
Công thức (3.5)	0,7150	0,0727	-0,0246			0,929	3E-07	-2,22	2,96
Công thức (3.6)	0,6741	0,0721				0,915	1E-07	-2,82	2,33
Công thức (3.7)	M	N	P						
	-0,0432	0,2640	0,4695			0,932	2,37E-07	-2,93	2,89

Ghi chú: - S là hệ số tương quan bội;

- Sig.F là hệ số kiểm định tương quan với giả thiết hàm bậc nhất.

Kết quả ở Bảng 3.5 cho thấy giá trị của hệ số kiểm định tương quan $Sig.F < 0,05$. Như vậy việc giả thiết hàm tuyến tính là phù hợp. Các hệ số tương quan bội $> 0,9$ là có tương quan rất chặt. Sai số chuẩn nhỏ hơn 0,16 nên các kết quả có ý nghĩa. Bảng 3.5 cho các phương trình hồi quy tính toán hệ số lưu lượng như sau:

$$\mu = 1,8700 + 0,0638 \frac{H}{D} + 0,5797 \frac{H_d}{D} - 1,0967 \frac{D_1}{D} - 0,1507 \frac{b}{D} \quad (3.3)$$

$$\mu = 0,7410 + 0,066 \frac{H}{D} - 0,0481 \frac{H_d}{D} + 0,0136 \frac{D_1}{D} \quad (3.4)$$

$$\mu = 0,7150 + 0,0727 \frac{H}{D} - 0,0246 \frac{H_d}{D} \quad (3.5)$$

$$\mu = 0,6741 + 0,0721 \frac{H}{D} \quad (3.6)$$

$$\mu = 0,4695 + 0,2637 \left(\frac{H}{D}\right) - 0,0432 \left(\frac{H}{D}\right)^2 \quad (3.7)$$

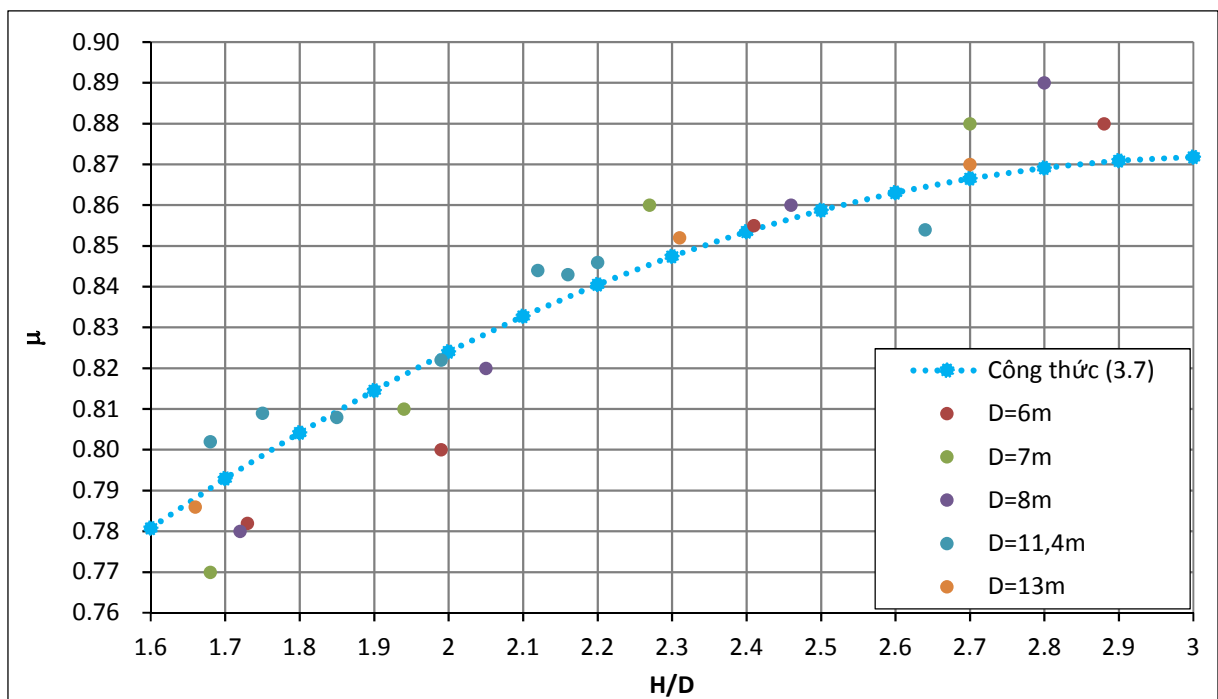
Áp dụng các công thức trên để tính toán hệ số lưu lượng và sai số giữa thí nghiệm và tính toán theo các công thức này được ghi trong Bảng 3.4, cụ thể như sau:

+ Khi tính μ theo các công thức (3.3)÷(3.7), công thức (3.3) có sai số mắc phải lớn nhất với tập lập công thức là 3,58%, với tập kiểm định công thức là 3,20%; công thức (3.6) có sai số mắc phải lớn nhất với tập lập công thức là 2,33% và tập kiểm định công thức là 3,28%; công thức (3.7) có sai số mắc phải lớn nhất với tập lập công thức là 2,93% và tập kiểm định công thức là 2,89%; công thức (1.11) có sai số mắc phải lớn nhất với tập lập công thức là 11,51% và tập kiểm định công thức là 6,14%. Công thức thực nghiệm (1.11) của Ấn Độ có sai số lớn nhất do tính μ theo tỉ số H/H_d và không phản ánh được chế độ chảy qua đập theo tỉ lệ H/H_d .

Công thức thực nghiệm (3.7) có cùng dạng với các công thức thực nghiệm (1.11), của Ấn Độ đã xây dựng cho quan hệ $\mu = f(H/H_d)$.

Các công thức (3.3) và (3.4) cho thấy ảnh hưởng của yếu tố b/D và D_1/D với hệ số lưu lượng là không đáng kể, điều này là phù hợp với đặc tính của dòng chảy có áp ở đập tràn có tường ngược.

So sánh sai số và mức độ tương quan cho thấy công thức (3.7) là phù hợp nhất để xác định hệ số lưu lượng chảy có áp qua đập tràn có tường ngược. Biểu diễn mối quan hệ này trên Hình 3.32.



Hình 3.32 Quan hệ giữa hệ số lưu lượng μ và tỉ số H/D

Để kiểm chứng với các công trình thực tế đã xây dựng, đã lập bảng tính hệ số lưu lượng theo công thức 3.7 và so sánh với thực tế tại bảng 3.6 dưới đây.

Bảng 3.6 So sánh kết quả tính toán hệ số lưu lượng theo công thức 3.7 với thực tế

STT	Công trình	D	H	H/D	Hệ số lưu lượng công trình	Hệ số lưu lượng tính theo (3.7)	Sai lệch
		m	m				%
1	Chamara - I	12,5	32,5	2,60	0,83	0,86	3,83
2	Chamara III	16,5	37	2,24	0,78	0,84	7,54
3	Kurichu	14	28	2,00	0,83	0,82	-0,72
4	Nimoobazgo	9	23,5	2,61	0,84	0,86	2,72
5	Pandoh	13	21,84	1,68	0,73	0,79	7,66
6	Ranganadi	12	23	1,92	0,78	0,82	4,44
7	Saw a II	10,8	29,5	2,73	0,80	0,87	7,78
8	Uri II	11,4	24	3,39	0,81	0,83	2,78

Kết quả cho thấy hầu hết các giá trị hệ số lưu lượng tính theo công thức 3.7 và hệ số lưu lượng của công trình thực tế có sai khác nhỏ hơn 5%, một vài trường hợp sai khác lớn hơn 5% nhưng không vượt quá 8%. Như vậy có thể thấy công thức 3.7 đã chọn của luận án là phù hợp và tin cậy.

3.2.2 Xác định đường mặt nước và vận tốc dòng chảy

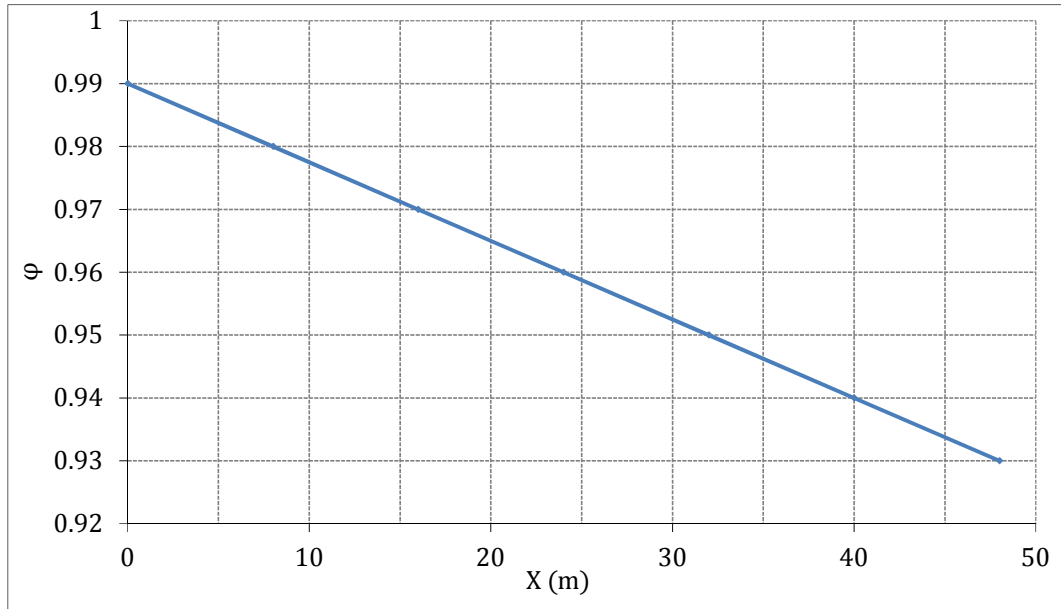
3.2.2.1 Xác định đường mặt nước

Phương pháp chung xác định đường mặt nước và vận tốc được tính đồng thời trên cơ sở phương trình Bernoulli. Phương trình xác định đường mặt nước là phương trình (1.16). Tuy nhiên sự khó khăn với việc ứng dụng phương trình này là xác định hệ số vận tốc φ trong trường hợp chảy có áp. Các tài liệu tham khảo chỉ có giá trị φ trong trường hợp chảy không áp [2], [51], [52].

a) Xác định đường mặt nước cho mặt tràn WES

Để xác định đường mặt nước chảy hở sau đoạn tường ngực cho trường hợp chảy có áp luận án đã sử dụng phương pháp tính thử dần theo phương trình (1.16) rồi so sánh vận tốc, đường mặt nước với kết quả thí nghiệm để xác định hệ số lưu tốc φ với sai số nhỏ nhất giữa lý thuyết và thí nghiệm (bảng phụ lục PL3.25).

Phân tích các kết quả tính toán đối chiếu so sánh với kết quả thí nghiệm vận tốc cho thấy khi chọn giá trị $\varphi=0,94\div 0,98$, sai số $<5\%$. Chỉ có một vài giá trị $>5\%$, sai số này có thể gặp phải trong quá trình đo đạc thí nghiệm. Quy luật đường mặt nước và vận tốc là phù hợp giữa hai phương pháp. Từ kết quả nêu trên kiến nghị chọn $\varphi=0,94\div 0,98$, theo đồ thị Hình 3.33 với $\varphi = -0,001X + 0,99$



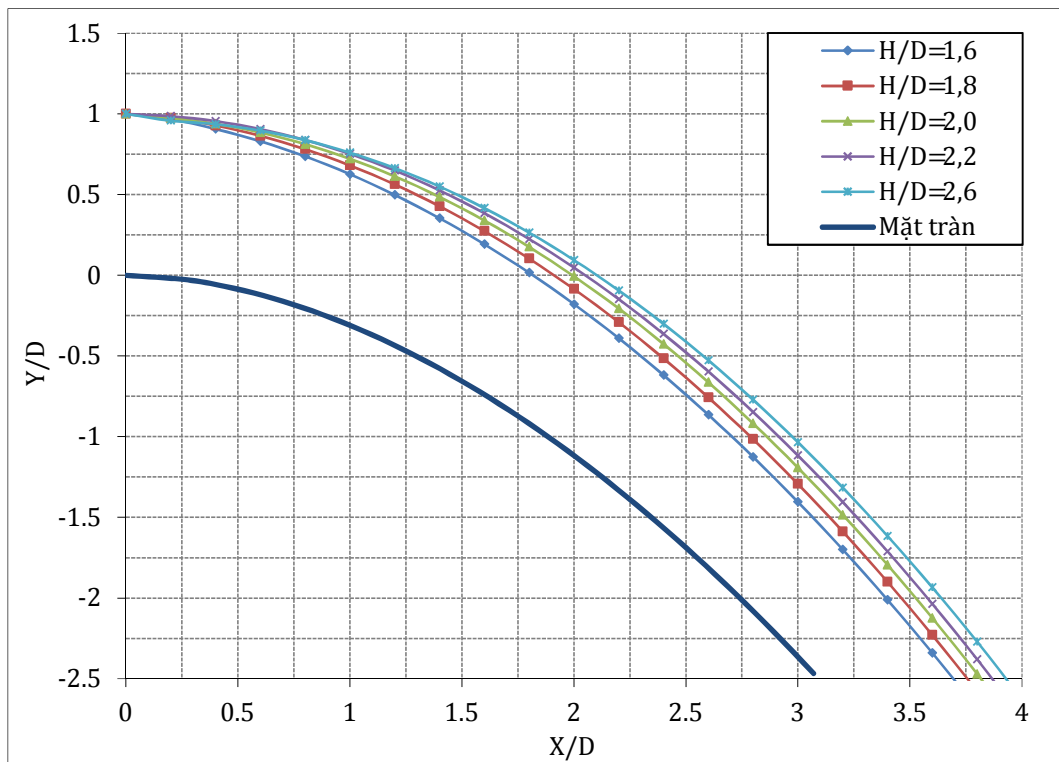
Hình 3.33 Đồ thị xác định hệ số lưu tốc $\varphi=f(X)$

Để có thể áp dụng thực tế kết quả nghiên cứu này, bằng tính toán đường mặt nước theo phương trình (1.16) với các mức nước quy định $H/D=1,6; 1,8; 2,0; 2,2$ và $2,6$ là phạm vi cột nước thường dùng thực tế được kết quả ở Bảng PL3.26, Hình PL3.1. Từ các kết quả này chuyển về dạng không thứ nguyên bằng cách chia giá trị ở bảng PL3.26 cho D được Bảng 3.7, Hình 3.34.

Bảng 3.7 Tọa độ đường mặt nước $Y/D=f(X/D, H/D)$ mặt tràn dạng WES

H/D	H/D=1,6	H/D=1,8	H/D=2,0	H/D=2,2	H/D=2,6
X/D	Tọa độ đường mặt nước $Y/D=F(X/D, H/D)$				
0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,20	0,97	0,98	0,97	0,99	0,96
0,40	0,91	0,93	0,94	0,96	0,94
0,60	0,83	0,86	0,89	0,91	0,90
0,80	0,74	0,78	0,81	0,84	0,84
1,00	0,63	0,68	0,72	0,75	0,76
1,20	0,50	0,56	0,61	0,65	0,66

H/D	H/D=1,6	H/D=1,8	H/D=2,0	H/D=2,2	H/D=2,6
X/D	Tọa độ đường mặt nước $Y/D=F(X/D, H/D)$				
1,40	0,35	0,43	0,49	0,53	0,55
1,60	0,19	0,27	0,34	0,39	0,42
1,80	0,02	0,10	0,18	0,23	0,26
2,00	-0,18	-0,09	-0,01	0,05	0,09
2,20	-0,39	-0,29	-0,21	-0,15	-0,09
2,40	-0,62	-0,51	-0,43	-0,36	-0,30
2,60	-0,86	-0,76	-0,66	-0,60	-0,53
2,80	-1,13	-1,02	-0,92	-0,85	-0,77
3,00	-1,40	-1,29	-1,19	-1,12	-1,03
3,20	-1,70	-1,59	-1,48	-1,41	-1,32
3,40	-2,01	-1,90	-1,79	-1,71	-1,62



Hình 3.34 Tọa độ đường mặt nước biểu diễn theo dạng hàm $Y/D=f(X/D, H/D)$ mặt tràn dạng WES

Như vậy để tính vận tốc trên mặt tràn, phương trình cơ bản là phương trình (1.16), giá trị hệ số vận tốc φ xác định theo đồ thị Hình 3.33 từ kết quả thí nghiệm. Việc tính toán sẽ thuận lợi hơn khi sử dụng Bảng 3.7, Hình 3.34 để xác định tọa độ đường mặt nước và vận tốc.

b) Xác định đường mặt nước cho mặt tràn dạng Creager-Ophixerop

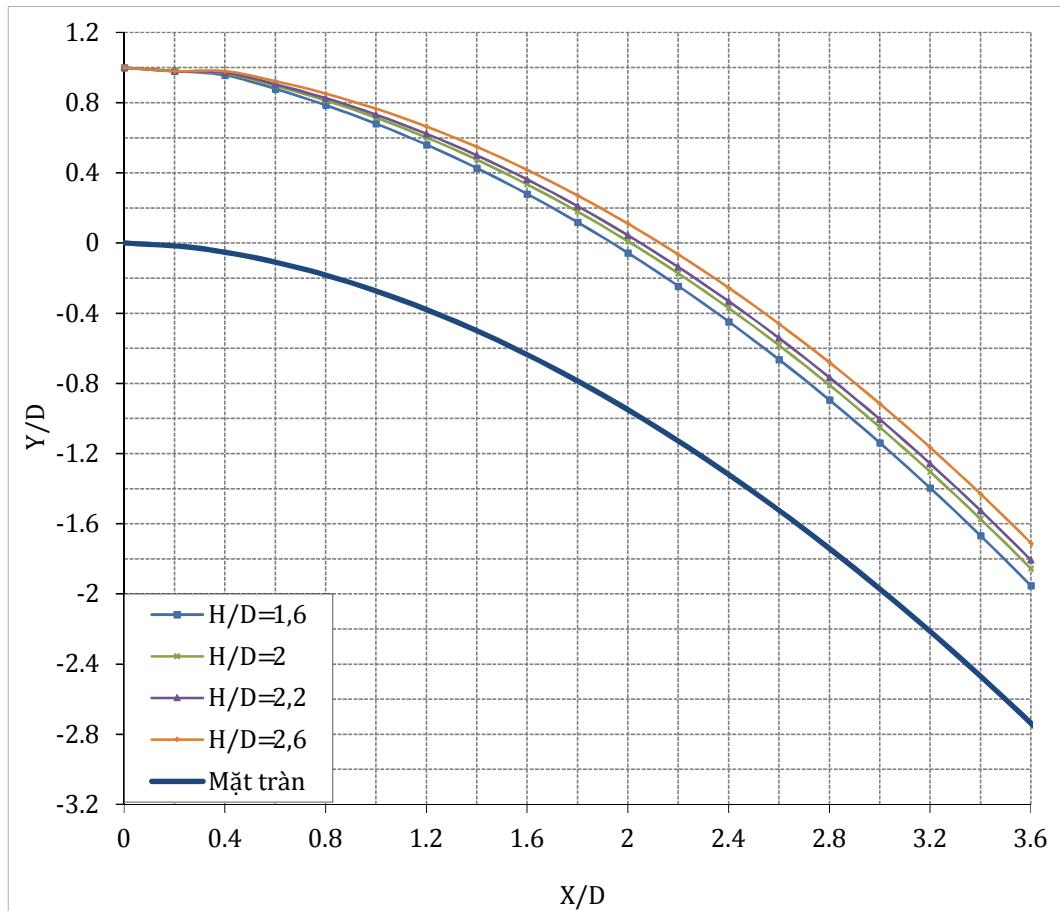
Tương tự như đối với mặt tràn dạng WES, từ kết quả đo vận tốc ở mô hình 1 tính đường mặt nước và vận tốc theo phương trình (1.16), so sánh kết quả thí nghiệm có Bảng PL3.27. Từ kết quả bảng PL3.27 cho thấy quan hệ $\varphi=f(X)$ ở Hình 3.33 là phù hợp để xây dựng đường mặt nước cho đập tràn dạng Creager-Ophixerop. Tọa độ đường mặt nước $Y=f(X)$ cho $H/D = 1,73 \div 2,88$ ghi ở Bảng PL3.28.

Bằng phép biến đổi không thứ nguyên chia các giá trị ở Bảng PL3.28 cho chiều cao lỗ D và tính toán theo các hàm thực nghiệm được bảng tọa độ đường mặt nước không thứ nguyên $Y/D=f(X/D, H/D)$ ở Bảng 3.8 và biểu diễn trên Hình 3.35.

Bảng 3.8 Tọa độ mặt nước không thứ nguyên $Y/D=f(X/D, H/D)$ mặt tràn dạng Creager-Ophixerop

H/D	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60
X/D	Y/D=f(X/D, H/D)					
0,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
0,20	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98	0,98
0,40	0,96	0,96	0,97	0,97	0,98	0,98
0,60	0,88	0,89	0,90	0,91	0,91	0,92
0,80	0,79	0,80	0,81	0,83	0,84	0,85
1,00	0,68	0,70	0,71	0,73	0,75	0,77
1,20	0,56	0,58	0,60	0,62	0,64	0,66
1,40	0,43	0,45	0,48	0,50	0,52	0,55
1,60	0,28	0,31	0,33	0,36	0,39	0,42
1,80	0,12	0,15	0,18	0,21	0,24	0,27
2,00	-0,06	-0,02	0,01	0,04	0,08	0,11
2,20	-0,24	-0,21	-0,17	-0,14	-0,10	-0,06
2,40	-0,45	-0,41	-0,37	-0,33	-0,29	-0,25
2,60	-0,66	-0,62	-0,58	-0,54	-0,50	-0,46
2,80	-0,89	-0,85	-0,81	-0,77	-0,72	-0,68
3,00	-1,14	-1,09	-1,05	-1,00	-0,96	-0,92
3,20	-1,40	-1,35	-1,30	-1,26	-1,21	-1,17
3,40	-1,67	-1,62	-1,57	-1,52	-1,48	-1,43
3,60	-1,95	-1,91	-1,86	-1,81	-1,76	-1,71

H/D	1,60	1,80	2,00	2,20	2,40	2,60
X/D	Y/D=f(X/D, H/D)					
3,80	-2,25	-2,20	-2,15	-2,10	-2,05	-2,00



Hình 3.35 Tọa độ mặt nước biểu diễn theo dạng hàm $Y/D=f(X/D, H/D)$ mặt tràn dạng Creager-Ophixerop

3.2.2.2 Tính vận tốc

Vận tốc dòng chảy được tính theo công thức $V_i=q/h_i$

Trong đó: h_i - độ sâu dòng chảy tại mặt cắt i tính toán được tra theo bảng tính hay đồ thị không thứ nguyên Bảng 3.7, Hình 3.34 cho mặt tràn WES; Bảng 3.8, Hình 3.35 cho mặt tràn Creager-Ophixerop.

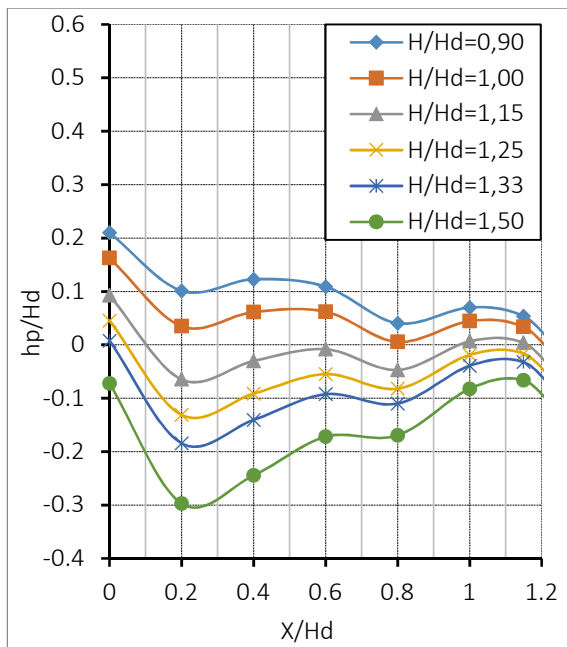
3.2.3 Xác định quy luật phân bố áp suất trên mặt tràn

3.2.3.1 Quy luật phân bố áp suất mặt tràn dạng Creager-Ophixerop

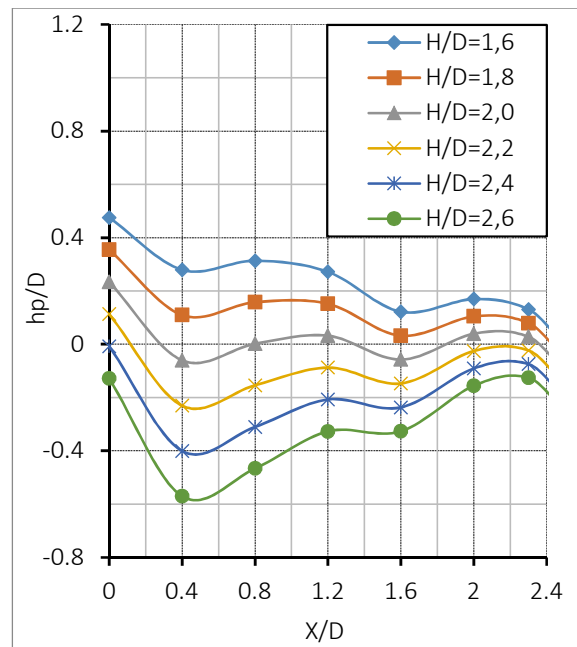
Từ kết quả thí nghiệm áp suất ở bảng PL3.14 biểu diễn theo dạng hàm $h_p/H_d=f(X/H_d)$ bằng cách chia kết quả này cho H_d có Bảng PL3.29 và biểu diễn trên các Hình PL3.2÷Hình PL3.5.

Tương tự, từ bảng PL3.14 chuyển giá trị áp suất sang dưới dạng không thứ nguyên $h_p/D=f(X/D)$ bằng cách chia kết quả này cho D , được Bảng PL3.30 và biểu diễn trên các Hình PL3.6÷Hình PL3.9.

Theo [12], [14], [31], [45], [48] đã xây dựng các biểu đồ tính áp suất phân bố trên mặt trần ở các trường hợp chảy tự do dưới dạng không thứ nguyên theo dạng $h_p/H_d = f(X/H_d, H/H_d)$, ở mục 3.1 của luận án cũng đã tính toán so sánh kết quả thí nghiệm của luận án với các tài liệu công bố này và cho thấy phù hợp về giá trị và quy luật. Từ các kết quả áp suất cho các trường hợp thực nghiệm, sử dụng phương pháp thống kê thực nghiệm với các giá trị cột nước thiết kế H_d , các trường hợp thí nghiệm với tỉ lệ H/H_d , trung bình hóa các giá trị này với các giá trị $H/H_d=0,9$ đến 1,5 và $H/D=1,6$ đến 2,6 rồi chuyển về dạng áp suất $h_p/D=f(H/H_d, X/H_d)$ hoặc $h_p/D=f(H/D, X/D)$ tuyến giữa mặt trần Creager-Ophixerop khi chảy có áp ứng với các trường hợp H/H_d hoặc H/D hay gặp trong thực tế để thuận lợi trong sử dụng được kết quả ở Hình 3.36 và Hình 3.37.



Hình 3.36 Áp suất $h_p/H_d = f(X/H_d, H/H_d)$ mặt trần Creager-Ophixerop

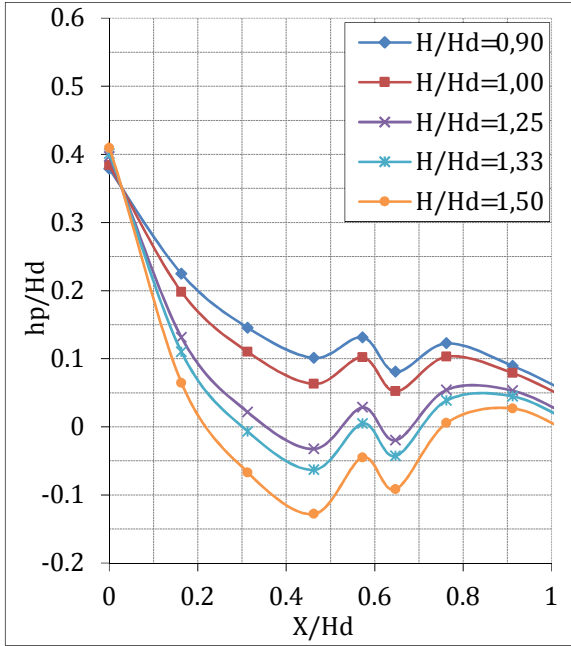


Hình 3.37 Áp suất $h_p/D = f(X/D, H/D)$ mặt trần Creager-Ophixerop

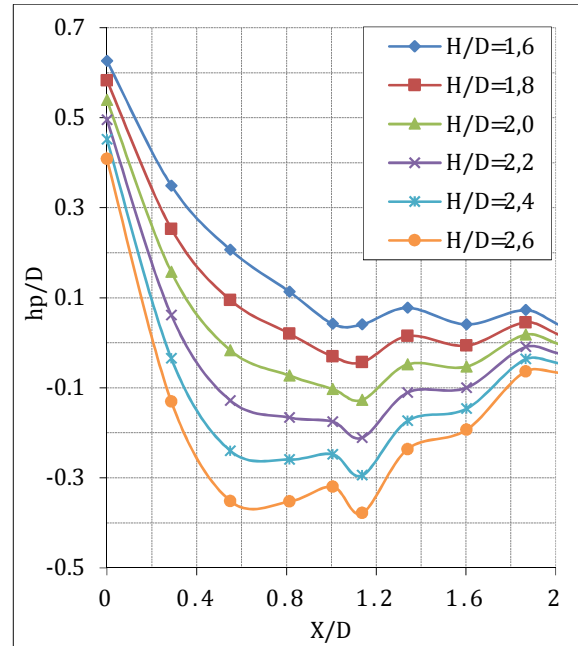
3.2.3.2 Quy luật phân bố áp suất trên mặt trần WES

Tương tự như đối với đập Creager-Ophixerop, từ các kết quả áp suất cho các trường hợp thực nghiệm, sử dụng phương pháp thống kê thực nghiệm, chuyển về dạng

áp suất $h_p/H_d=f(H/H_d, X/H_d)$ hoặc $h_p/D=f(H/D, X/D)$ tuyến giữa mặt tràn cho mặt tràn dạng WES khi chảy có áp ứng với các trường hợp H/H_d hoặc H/D hay gặp trong thực tế. Kết quả được biểu diễn ở Hình 3.38-Hình 3.39.



Hình 3.38 Phân bố áp suất $h_p/H_d = f(H/H_d, X/H_d)$ tuyến giữa khi chảy có áp, mặt tràn WES



Hình 3.39 Phân bố áp suất $h_p/D = f(H/D, X/D)$ tuyến giữa khi chảy có áp, mặt tràn WES

Quy luật phân bố áp suất trên mặt đập, do ảnh hưởng của phần đoạn cong đầu tràn và mặt cong, áp suất dòng chảy có xu thế giảm dần từ thượng lưu về hạ lưu, vùng áp suất giảm mạnh, có thể có chân không trong khoảng $X=(-0,2 \div 1,4)H_d$ tùy thuộc vào tỉ lệ H/H_d . Tỉ lệ H/H_d tăng áp suất càng giảm mạnh, vùng giảm áp và chân không càng lớn. Đây cũng là lý do để khi H/H_d tăng thì hệ số lưu lượng tháo cũng tăng lên. Theo [31], áp suất chân không vượt quá khoảng -4,5m (-15ft) có thể bị xâm thực. Bởi vậy trong thiết kế không nên chọn $H/H_d > 1,33$. Việc quyết định mức nước lớn nhất H_{max} và H_d , cần thiết để áp suất không vượt quá -4,5m. Thiết kế mặt đập hợp lý sẽ chưa xuất hiện áp suất chân không khi $H/H_d < 1$, chỉ khi tỉ số H/H_d gần bằng 1, áp suất trên đỉnh tràn gần về “0”. Áp suất chân không sẽ tăng mạnh khi $H/H_d > 1,33$.

3.2.4 Xác định áp suất trên tường ngược

Sơ đồ tính áp suất trên bề mặt tường ngược tương tự như tràn cửa vào tuynel, cống. Để tính toán phân bố áp suất dưới tường ngược và mặt tràn trong phần chảy có áp có thể áp dụng phương pháp tính như ở cửa vào tuynel, cống được trình bày tại [2], [7], [51], [52]. Áp suất ở tường ngược được tính theo công thức (1.26). Từ kết quả thí nghiệm ở

các mô hình thí nghiệm được ghi ở bảng PL3.23 và các Hình 3.30÷Hình 3.31 tính hệ số giảm áp C_p , kết quả ghi ở Bảng 3.9, Bảng 3.10 dưới đây.

Bảng 3.9 Kết quả tính hệ số giảm áp C_p dưới tường ngực mặt tràn WES

Mô hình 2											
Cột nước	H (m)	19,05	20,03	30,03	19,05	20,03	30,03	19,05	20,03	30,03	
Tỉ lệ	H/H _d	0,95	1,00	1,50	0,95	1,00	1,50	0,95	1,00	1,50	
Toạ độ điểm đo		Áp suất hp(m)			Độ ngập sâu H _i			C _p			
	X	Y									
Tường ngực	-8,72	17,16	-1,39	-0,76	7,26	1,89	2,87	12,87	0,20	0,28	0,28
	-5,32	15,04	-0,79	-0,74	6,91	4,01	4,99	14,99	0,45	0,49	0,43
	-1,92	13,38	-0,76	-0,68	5,91	5,67	6,65	16,65	0,65	0,67	0,65
	1,48	11,01	-0,31	-0,51	2,56	7,85	8,83	18,83	1,01	1,00	1,05
Mặt tràn	-8,72	-2	16,95	16,95	24,20	21,05	22,03	32,03	0,36	0,42	0,42
	-5,32	-0,8	13,83	13,83	22,00	19,85	20,83	30,83	0,58	0,62	0,48
	-1,92	-0,3	10,45	10,45	16,85	19,35	20,33	30,33	0,91	0,91	0,76
	1,48	0	6,07	6,07	8,23	19,05	20,03	30,03	1,37	1,32	1,26
Mô hình 3											
Cột nước	H (m)	23,04	30,05		23,04	30,05		23,04	30,05		
Tỉ lệ	H/H _d	1,34	1,75		1,34	1,75		1,34	1,75		
	X	Y	Áp suất hp(m)			Độ ngập sâu H _i			C _p		
Tường ngực	-6,50	19,1	3,64	4,60		3,94	10,95		0,28	0,40	
	-1,50	16,02	1,95	4,43		7,02	14,03		0,43	0,60	
	3,50	14,74	0,11	3,23		8,30	15,31		0,70	0,76	
	8,50	13,47	1,14	-0,06		9,57	16,58		1,01	1,05	
Mặt tràn	-6,50	-2,3	13,50	14,50		25,34	32,35		1,01	1,12	
	-1,50	-2,3	13,50	14,50		25,34	32,35		1,01	1,12	
	3,50	-1,2	15,40	17,40		24,24	31,25		0,76	0,87	
	8,50	-0,14	9,34	6,34		23,18	30,19		1,18	1,50	
Mô hình 4											
Cột nước	H (m)	18,7	22,20	23,7	18,7	22,20	23,7	18,7	22,20	23,7	
Tỉ lệ	H/H _d	0,93	1,11	1,18	0,93	1,11	1,18	0,93	1,11	1,18	

	X	Y	Áp suất hp(m)			Độ ngập sâu H _i			C _p		
Tường ngực	-8,72	17,16	-1,71	0,54	1,84	1,54	5,04	6,54	0,29	0,40	0,35
	-5,32	15,04	-0,84	0,66	1,36	3,66	7,16	8,66	0,53	0,57	0,54
	-1,92	15,04	-0,83	-0,23	0,82	5,32	8,82	10,32	0,73	0,77	0,71
	1,48	12,01	-0,11	-0,57	0,09	7,50	11,00	12,50	1,06	1,06	1,01
Mặt tràn	-8,72	-2	17,00	19,20	20,70	20,70	24,20	25,70	0,42	0,44	0,37
	-5,32	-0,8	14,50	16,00	16,20	19,50	23,00	24,50	0,57	0,62	0,62
	-1,92	-0,3	10,50	9,50	11,30	19,00	22,50	24,00	0,96	1,15	0,95
	1,48	0	6,10	6,12	6,70	18,70	22,20	23,70	1,43	1,42	1,27

Bảng 3.10 Kết quả tính hệ số giảm áp C_p dưới tường ngực đập mặt cắt Creager-Ophixerop

Mô hình 1, D=5m											
Cột nước		H (m)	8,42	11,34	14,45	8,42	11,34	14,45	8,42	11,34	14,45
Tỉ lệ		H/Hd	0,70	0,94	1,20	0,70	0,94	1,20	0,70	0,94	1,20
Toạ độ điểm đo			Áp suất hp(m)			Độ ngập sâu H _i			C _p		
	X	Y									
Tường ngực	-7,27	9,50	0,00	1,63	4,19	-1,08	1,84	4,95		0,02	0,07
	-4,42	6,19	0,33	1,10	2,25	2,23	5,15	8,26	0,39	0,47	0,51
	-2,57	5,54	-0,75	-1,33	-1,39	2,88	5,80	8,91	0,74	0,83	0,87
	-0,48	5,05	-1,77	-3,00	-3,50	3,37	6,29	9,40	1,05	1,08	1,10
Mặt tràn	-1,20	-0,08	2,40	0,99	1,18	8,50	11,42	14,53	1,25	1,21	1,13
	0,00	0,00	2,12	0,14	-1,72	8,42	11,34	14,45	1,29	1,30	1,37
	2,40	-0,32	1,42	-0,95	-2,93	8,74	11,66	14,77	1,50	1,46	1,50
Mô hình 1, D=6m											
Cột nước		H (m)	10,39	14,47	17,26	10,39	14,47	17,26	10,39	14,47	17,26
Tỉ lệ		H/Hd	0,83	1,09	1,51	0,83	1,09	1,51	0,83	1,09	1,51
Toạ độ điểm đo			Áp suất hp(m)			Độ ngập sâu H _i			C _p		
	X	Y									
Tường ngực	-7,27	10,5	0,05	3,31	5,62		3,97	6,76		0,06	0,08
	-4,42	7,19	0,93	2,46	3,55	3,20	7,28	10,07	0,42	0,47	0,48
	-2,57	6,54	-0,02	0,17	0,49	3,85	7,93	10,72	0,72	0,76	0,76
	-0,48	6,05	-1,04	-2,27	-2,57	4,34	8,42	11,21	1,00	1,05	1,02
Mặt tràn	-1,20	-0,08	3,04	1,31	-0,42	10,47	14,55	17,34	1,37	1,30	1,32

	0,00	0,00	2,83	0,91	-0,44	10,39	14,47	17,26	1,40	1,33	1,32
	2,40	-0,32	1,42	-1,14	-3,19	10,71	14,79	17,58	1,72	1,56	1,54
Mô hình 1, D=7m											
Cột nước	H (m)	11,75	13,59	15,87	11,75	13,59	15,87	11,75	13,59	15,87	
Tỉ lệ	H/Hd	0,98	1,13	1,32	0,98	1,13	1,32	0,98	1,13	1,32	
Toạ độ điểm đo		Áp suất hp(m)			Độ ngập sâu Hi			Cp			
	X	Y									
Tường ngực	-7,27	11,5	0,33	1,61	3,21	0,25	2,09	4,37		0,06	0,10
	-4,42	8,19	0,63	1,08	1,72	3,56	5,40	7,68	0,48	0,53	0,53
	-2,57	7,54	-0,38	-0,38	-0,51	4,21	6,05	8,33	0,75	0,78	0,79
	-0,48	7,05	-1,37	-1,82	-2,59	4,70	6,54	8,82	0,99	1,02	1,01
Mặt tràn	-1,20	-0,08	2,27	0,99	-1,00	11,83	13,67	15,95	1,56	1,55	1,51
	0,00	0,00	2,57	1,55	0,01	11,75	13,59	15,87	1,50	1,47	1,41
	2,40	-0,32	1,23	0,01	-1,91	12,07	13,91	16,19	1,77	1,70	1,61
Mô hình 1, D=8m											
Cột nước	H (m)	13,75	16,42	19,67	13,75	16,42	19,67	13,75	16,42	19,67	
Tỉ lệ	H/Hd	1,15	1,37	1,64	1,15	1,37	1,64	1,15	1,37	1,64	
Toạ độ điểm đo		Áp suất hp(m)			Độ ngập sâu ti			Cp			
	X	Y									
Tường ngực	-7,27	12,5	1,06	2,79	5,09	1,25	3,92	7,17	0,03	0,11	0,15
	-4,42	9,19	0,66	1,36	2,32	4,56	7,23	10,48	0,54	0,58	0,61
	-2,57	8,54	-0,49	-0,42	-0,42	5,21	7,88	11,13	0,79	0,82	0,86
	-0,48	8,05	-1,21	-1,92	-2,43	5,70	8,37	11,62	0,96	1,01	1,05
Mặt tràn	-1,20	-0,08	1,37	-0,74	-3,62	13,83	16,50	19,75	1,73	1,69	1,74
	0,00	0,00	2,06	0,46	-1,78	13,75	16,42	19,67	1,62	1,57	1,60
	2,40	-0,32	0,52	-1,46	-3,89	14,07	16,74	19,99	1,88	1,79	1,78

Với đập tràn có mặt cắt dạng WES: Từ kết quả tính ở bảng trên cho thấy, mỗi vị trí trên tường ngực và mặt tràn phần chảy có áp có một giá trị C_p , giá trị C_p tăng theo chiều dòng chảy và giá trị C_{pmax} ở vị trí mặt cắt cuối phần chảy có áp. Với kết cấu mặt tràn biên cong và tường ngực có đoạn cong tròn nổi với đoạn thẳng nghiêng 20^0 như mô hình thí nghiệm đập WES, các giá trị C_p như sau:

Ở mô hình 2, 4 có $D=11,4\text{m}$, $H_d=20,03\text{m}$; giá trị C_p trên tường ngực thay đổi từ mép thượng lưu đến mặt cắt cuối $C_p=0,2\div 1,06$, $C_{p\max}\approx 1,05$; giá trị C_p trên mặt tràn thay đổi từ mép thượng lưu đến mặt cắt cuối $C_p=0,4\div 1,43$, giá trị trung bình $C_{p\max}\approx 1,35$.

Ở mô hình 3 có $D=13\text{m}$, $H_d=17,2\text{m}$; giá trị C_p trên tường ngực thay đổi từ mép thượng lưu đến mặt cắt cuối $C_p=0,3\div 1,06$, $C_{p\max}\approx 1,05$; giá trị C_p trên mặt tràn thay đổi từ mép thượng lưu đến mặt cắt cuối $C_p=1,01\div 1,50$, giá trị $C_{p\max}\approx 1,5$.

Phân tích hình dạng tường ngực của đập tràn ở cả 3 mô hình thí nghiệm đập tràn mặt tràn WES, đoạn tiếp giáp thượng lưu tường ngực có $R=5$ và độ lồi $k_r=h_v/D\approx 1,47\div 1,51$, tra biểu đồ 7.17 [2], bỏ qua tổn thất dọc đường do độ dài tường ngực bé có $\zeta_v=0,05\div 0,1$, $C_p=1,05\div 1,1$. Đối với mặt đập tràn phân chảy có áp, tra các đồ thị tương ứng với $k_r=1,47\div 1,51$ được $C_{p\max}=1,30\div 1,45$, kết quả thí nghiệm phù hợp với kết quả tính lý thuyết. Riêng đối với đập tràn với $D=13\text{m}$, $H_d=17,2\text{m}$, hệ số $C_{p\max}\approx 1,5$, theo các đồ thị nêu trên đã xảy ra hiện tượng tách dòng ngay tại mặt cắt sát với mép thượng lưu đã có hệ số giảm áp $C_p>1$. Trong thiết kế cần tránh hiện tượng này.

Với đập tràn có mặt cắt dạng Creager-Ophixerop: Tương tự đối với các trường hợp mô hình đập tràn mặt cắt dạng WES, đoạn tường ngực có độ lồi $k_r=h_v/D\approx 2,80\div 2,13$ tương ứng có $C_{p\max}=1,10\div 1,15$. Mặt đập tràn có $k_r=1,23\div 1,36$ có $C_{p\max}=1,15\div 1,18$. Các giá trị thí nghiệm, kết quả thí nghiệm phù hợp với kết quả tính lý thuyết.

Như vậy có thể sử dụng công thức (1.25) để xác định áp suất ở đập tràn có tường ngực trong vùng chảy có áp với hệ số C_p tham khảo [51], [52].

3.3 Kết luận chương 3

Qua khảo sát 19 trường hợp thí nghiệm kết hợp quan sát chúng tôi nhận thấy dòng chảy có áp qua đập tràn thực dụng có tường ngực khi $H/D\geq 1,6$;

Các kết quả thực nghiệm mô hình thủy lực là chế độ dòng chảy, đường mặt nước, khả năng tháo, vận tốc dòng chảy và phân bố áp suất có quy luật phù hợp với các tài liệu đã công bố.

Kết quả và những đánh giá kết quả nghiên cứu thực nghiệm mô hình vật lý đủ tin cậy làm căn cứ để xây dựng phương pháp xác định một số đặc trưng thủy lực ở đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong.

Các yếu tố thủy lực liên quan là xác định phạm vi cột nước làm việc, lưu lượng, chế độ dòng chảy qua đập tràn, vận tốc dòng chảy và áp suất lên mặt tường ngực và đập tràn.

Luận án đã sử dụng phương pháp hồi quy tuyến tính để tìm ra mối quan hệ giữa các biến thực nghiệm với hệ số lưu lượng và xác định được phương trình (3.7) phù hợp nhất để tính hệ số lưu lượng cho dòng chảy có áp ở đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong. Công thức này biểu diễn quan hệ giữa $\mu = f(H/D)$. Công thức này cũng đã được kiểm tra và phù hợp với công trình thực tế đã xây dựng

Sử dụng phương trình (1.16) kết hợp với đồ thị tính hệ số lưu tốc φ ở Hình 3.33 để xác định đường mặt nước hoặc cũng có thể xác định theo Bảng 3.7, hình 3.34 đối với mặt tràn WES; Bảng 3.8, hình 3.35 đối với mặt tràn Creager-Ophixerop.

Luận án đã kiến nghị áp dụng công thức xác định áp suất trên mặt tràn, tường ngực ở đoạn chảy có áp theo các công thức (1.25), (1.26) là các công thức tính áp suất cho cống, tuynel. Áp suất nhỏ nhất trên tường ngực ở đoạn chảy có áp tính theo công thức (1.27).

Luận án đã sử dụng phương pháp thống kê thực nghiệm để đề xuất phương pháp xác định quy luật phân bố áp suất trên mặt tràn ở đoạn chảy tự do sau tường ngực trên mặt tràn Creager-Ophixerop theo các Hình 3.36, Hình 3.37, trên mặt tràn WES theo các Hình 3.38÷Hình 3.39.

CHƯƠNG 4 QUY TRÌNH TÍNH TOÁN THỦY LỰC CỦA ĐẬP TRÀN THỰC DỤNG CÓ TƯỜNG NGỰC BIÊN CONG

Ở các chương 1 và 2 chúng tôi đã nghiên cứu tổng quan, lựa chọn phương pháp nghiên cứu và chương 3 đã trình bày kết quả, đánh giá kết quả thí nghiệm mô hình theo các kích bản và xác định các đặc trưng thủy lực của đập tràn có tường ngực. Để thuận lợi trong việc ứng dụng các kết quả nghiên cứu nêu trên, chương 4 trình bày về quy trình tính toán các đặc trưng thủy lực như đường mặt nước, lưu lượng, vận tốc và áp suất dòng chảy ở đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong và ứng dụng cho một công trình cụ thể.

4.1 Quy trình tính toán đặc trưng thủy lực ở đập tràn có tường ngực biên cong

4.1.1 Lựa chọn kích thước công trình

Căn cứ vào yêu cầu nhiệm vụ công trình xác định được các mực nước thiết kế hồ chứa như với hồ chứa có đập tràn thông thường.

Những thông số chính về kết cấu đập tràn tường ngực biên cong cần phải xác định gồm Profile đỉnh đập tràn, cả phía thượng lưu và hạ lưu, Profile mặt dưới tường ngực và chiều cao lỗ D.

Tính toán điều tiết, xác định được mực nước thượng lưu tràn (Z_{TL}) ứng với các tần suất thiết kế. Cao trình ngưỡng tràn (Z_n) bằng cao trình mực nước trước lũ. Cột nước tác dụng lên đỉnh ngưỡng tràn tương ứng xác định được: $H=Z_{TL}-Z_n$.

Quy trình xác định các thông số hình học của đập tràn gồm:

1/ Cột nước thiết kế đập tràn H_d

Cột nước thiết kế đập tràn được lựa chọn để đảm bảo mặt cắt tràn hợp lý, ổn định và tiết kiệm. Chọn H_d trong phạm vi $H/H_d \leq 1,33$ để đảm bảo không sinh chân không trên mặt tràn, đảm bảo ổn định mặt cắt tràn.

2/ Chiều cao lỗ D

Thống kê kinh nghiệm 17 công trình ở Bảng 1.1 cho thấy tỉ lệ chiều cao cột nước $H/D=1,5 \div 4,4$, trong đó có 11 công trình có $H/D=1,5 \div 2,7$; còn 6 công trình có $H/D > 2,7 \div 4,4$ thuộc loại lỗ xả sâu. Về chiều cao cửa vào thượng lưu đập tràn $H_v/D=1,2 \div 2,3$. Ở công trình thủy điện Sơn La, chọn $H/D=2,6$; $H_v/D=1,5$; $D=11,4m$, $H_d=20,03m$, tỉ lệ $D/H_d=0,57$. Như vậy hợp lý là chọn $H/D=1,5 \div 2,7$ và $H_v/D > 1,5$ để hạn

chế tồn thất đột ngột cửa vào có thể gây tách dòng và đảm bảo chế độ dòng chảy có áp ổn định khi làm việc với $H/D \geq 1,6$. Sơ bộ chọn $D/H_d = 0,4 \div 0,7$.

3/ Các đường cong mặt tràn, tường ngực được lựa chọn để phù hợp với bố trí chung của đập tràn, yêu cầu về giao thông và các yêu cầu khác nếu có. Đường cong mặt hạ lưu tràn được chọn theo phương trình (1.12) cho mặt cắt Creager-Ophixerop hoặc (1.13) cho mặt cắt WES; đường cong mặt thượng lưu tràn theo phương trình elip (1.5), (1.6) hoặc nối tiếp bởi các đường cong tròn [45], [48]; đường cong mép dưới tường ngực theo phương trình elip (1.7), phương trình đường cong (1.8) hoặc cong tròn hay elip nối tiếp đoạn thẳng.

4/ Chiều rộng tràn B

Chiều rộng tràn được lựa chọn để đảm bảo xả được lưu lượng lũ yêu cầu xuống hạ lưu theo nhiệm vụ công trình.

4.1.2 Tính kiểm tra khả năng tháo

4.1.2.1 Trường hợp chảy tự do

Tính toán như với đập tràn chảy hở thông thường. Lưu lượng được xác định theo công thức (1.14) cho mặt cắt Creager-Ophixerop hoặc (1.15) cho mặt cắt WES.

4.1.2.2 Trường hợp chảy có áp

Lưu lượng qua tràn khi chảy ngập được xác định theo công thức (1.10), với μ xác định theo công thức (3.7).

4.1.3 Tính toán đường mặt nước, vận tốc

Nội suy từ bảng (3.7) hoặc hình (3.35) cho mặt cắt Creager-Ophixerop, bảng (3.6) hoặc hình (3.34.) cho mặt cắt WES được các đường mặt nước ứng với các mực nước thượng lưu theo các quan hệ $Y/D = f(X/D, H/D)$.

Đưa đường mặt nước về tọa độ thực của công trình $Y = f(X, H/D)$ bằng cách nhân cả 2 vế với D, rồi biểu diễn trên cùng tọa độ mặt tràn xác định được chiều sâu lớp nước h_i trên mặt tràn tại các mặt cắt tính toán;

Tính vận tốc trung bình tại từng mặt cắt tính toán theo công thức $V = q/h_i$.

4.1.4 Xác định áp suất lên mặt tràn, tường ngược

4.1.4.1 Xác định áp suất lên mặt tràn

Nội suy từ hình (3.36÷3.37) cho mặt cắt Creager-Ophixerop, hình (3.38÷3.40.) cho mặt cắt WES được áp suất lên mặt tràn ứng với các mực nước thượng lưu theo quan hệ $h_p/D=f(X/D,H/D)$.

Đưa áp suất về giá trị thực của công trình $h_p =f(X,H/D)$ rồi biểu diễn trên cùng tọa độ mặt tràn xác định được áp suất lên mặt tràn tại các vị trí tính toán.

4.1.4.2 Xác định áp suất lớn nhất lên tường ngược

Căn cứ vào độ cong của tường ngược được k_e ;

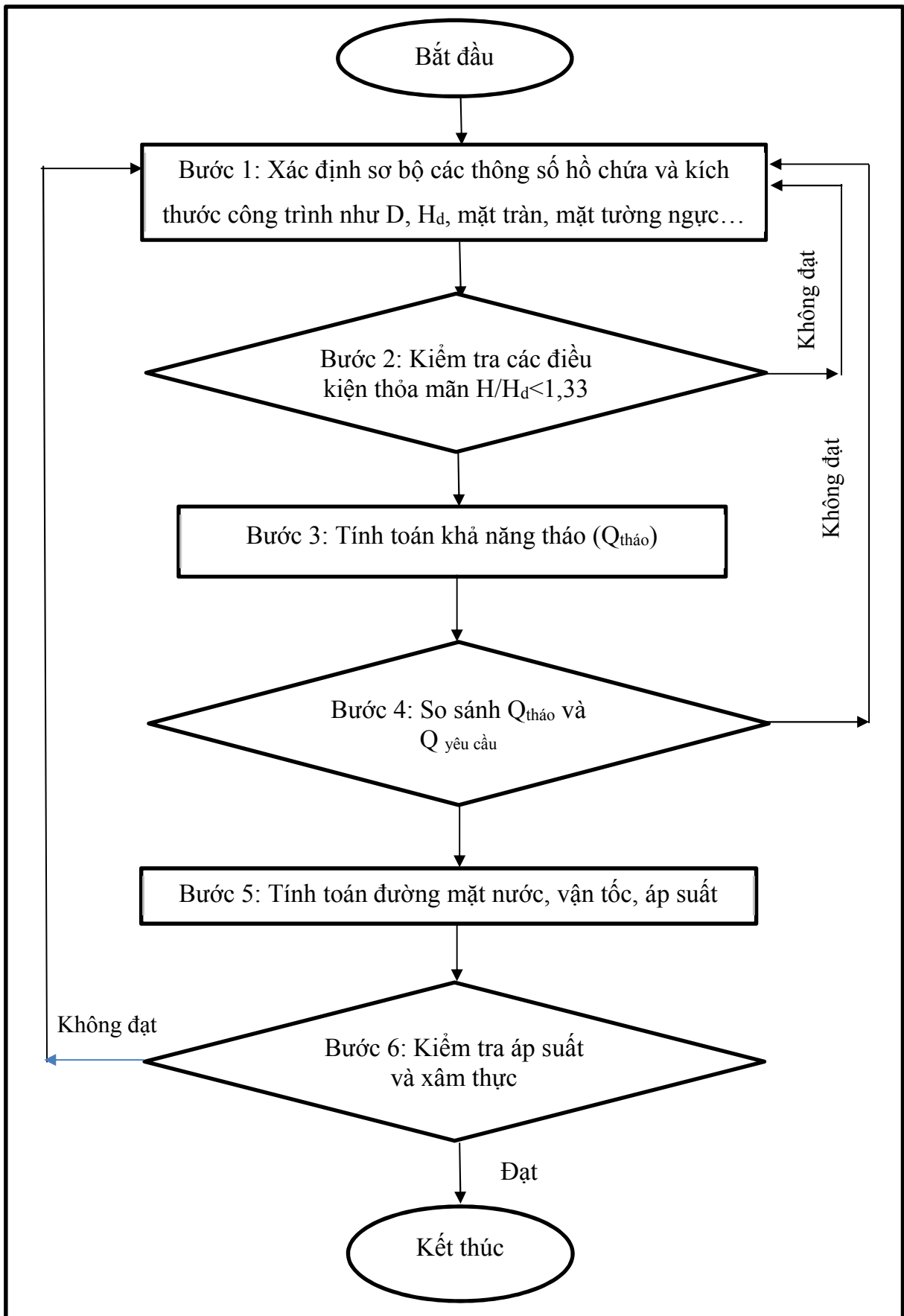
Độ lồi k_r được xác định theo độ lồi của cửa vào theo tỉ số h_v/D ;

Từ k_e, k_r tra hình (1.30) xác định được C_{pmax} ;

Thay C_{pmax} vào công thức (1.27) tính được áp suất dư lớn nhất lên tường ngược.

4.1.5 Sơ đồ khối

Quy trình tính toán thủy lực đập tràn có tường ngược nhằm xác định các đặc trưng thủy lực như khả năng xả, đường mặt nước, vận tốc, áp suất. Quy trình tính toán được thể hiện trên sơ đồ Hình 4.1



Hình 4.1 Sơ đồ tính toán thủy lực đập tràn có tường ngực

4.2 Ví dụ áp dụng tính toán

Luận án nghiên cứu sử dụng số liệu mực nước, lưu lượng của tràn xả lũ Bản Lải để đề xuất tính toán phương án ứng dụng tràn thực dụng có tường ngực biên cong.

4.2.1 Nhiệm vụ thiết kế

Công trình đầu mối Hồ chứa nước Bản Lải được xây dựng trên sông Kỳ Cùng thuộc địa phận xã Khuất Xá, huyện Lộc Bình, tỉnh Lạng Sơn.

Theo Quyết định số 5804/QĐ-BNN-XD ngày 31/12/2014 của Bộ trưởng Bộ NN&PTNT, nhiệm vụ của dự án như sau:

1/ Chống lũ tiêu mãn và lũ sớm; giảm lũ chính vụ cho thành phố Lạng Sơn và vùng phụ cận với tần suất $P=1\%$ (tương đương trận lũ năm 1986), mực nước tại trạm thủy văn Lạng Sơn giảm khoảng 1,80m.

2/ Cấp nước tưới cho 2.045 ha đất canh tác (tưới 1.041 ha lúa, tạo nguồn cho 1.004 ha màu và cây công nghiệp).

3/ Tạo nguồn cấp nước sinh hoạt cho 122.000 người (14.640 m³/ngày.đêm), cho công nghiệp 35.470 m³/ngày.đêm.

4/ Xả nước đảm bảo môi trường sinh thái hạ du trong mùa khô, kết hợp nuôi trồng thủy sản và phát điện.

Như vậy giải pháp thiết kế đập tràn phải tạo ra dung tích để đáp ứng nhiệm vụ số 1 của công trình ngoài ra còn có dung tích để đảm nhiệm các nhiệm vụ 2, 3, 4 nêu trên.

Theo Quyết định này công trình đầu mối gồm đập đất được bố trí riêng, đập tràn xả mặt và tràn xả sâu bằng hầm.

Trong giai đoạn TKKT tư vấn thiết kế đã kiến nghị điều chỉnh phương án thiết kế cơ sở. Các điều chỉnh bao gồm dịch tim tuyến đập về thượng lưu từ 20 đến 40 m, dùng đập bê tông thay thế cho đập đất, bố trí đập tràn và không tràn trên cùng một tuyến, dùng xả sâu thay cho hầm xả. Theo đó các thông số công trình theo phương án điều chỉnh thiết kế cơ sở như sau:

Bảng 4.1 Thông số kỹ thuật Dự án Hồ chứa nước Bản Lải theo điều chỉnh TKCS

TT	Các hạng mục chính	Đơn vị	Thông số
I	Các thông số thủy văn		
1	Diện tích lưu vực đến tuyến đập	km ²	457,00
2	Lưu lượng bình quân năm	m ³ /s	7,22
3	Lưu lượng đỉnh lũ P = 1,0%	m ³ /s	2.654
4	Lưu lượng đỉnh lũ P = 0,2%	m ³ /s	3.465
II	Thông số hồ chứa Bản Lải		
1	Mực nước chết - MNC	m	+294,50
2	Mực nước dâng bình thường MNDBT	m	+302,45
3	Mực nước lũ thiết kế (P=1%)	m	+312,48
4	Mực nước lũ kiểm tra (P=0,2%)	m	+315,53
5	Dung tích hồ tại MNC	10 ⁶ m ³	25,34
6	Dung tích hữu ích - W _{hi}	10 ⁶ m ³	61,71
7	Dung tích hồ ứng với mực nước lũ:		
	- P = 1,0%	10 ⁶ m ³	145,52
	- P= 0,2%	10 ⁶ m ³	180,25
III	Đập chính hồ Bản Lải		
1	Kết cấu đập		Đập bê tông
2	Cao trình đỉnh đập	m	+316,50
3	Chiều rộng đỉnh đập	m	8,00
4	Chiều dài đập	m	373
5	Chiều cao đập lớn nhất	m	54,26
V	Tràn xả lũ hồ Bản Lải		
V.1	Tràn xả mặt		
1	Hình thức tràn		Chảy tự do
2	Cao trình ngưỡng tràn	m	+312,48
3	Chiều dài đường tràn	m	2 x 25 = 50
4	Số khoang tràn	khoang	2
5	Lưu lượng xả tần suất P=1%	m ³ /s	0

TT	Các hạng mục chính	Đơn vị	Thông số
6	Lưu lượng xả tần suất P=0,2%	m ³ /s	527,00
V.2	Xả sâu		
1	Chiều dài	m	270,00
2	Cao trình ngưỡng tràn	m	+294,00
3	Kích thước tràn	m	5 x (4 x 3,2)
4	Lưu lượng xả tần suất P = 1,0%	m ³ /s	873,00
5	Lưu lượng xả tần suất P = 0,2%	m ³ /s	949,00

Nguyên tắc xả lũ:

Khi có lũ về, mực nước hồ ở cao trình MNDBT=+302.45, mở hoàn toàn cửa van.

Với lũ $P \geq 1\%$, chỉ mở công xả sâu để xả lũ về hạ lưu. Lưu lượng xả về hạ lưu lớn nhất xấp xỉ bằng lưu lượng không chế ngập ở hạ lưu $Q_{\max}=845\text{m}^3/\text{s}$.

Khi lũ về hồ có $P < 1\%$, lũ xả về hạ lưu qua công xả sâu và tràn xả mặt.

Điều tiết lũ lớn nhất kiểm tra an toàn công trình đầu mối là lũ $P=0,2\%$ để xác định mực nước thiết kế cao nhất trong hồ và dùng để tính toán kiểm tra ổn định công trình.

4.2.2 Lựa chọn kích thước công trình

Căn cứ vào phạm vi làm việc của đập tràn với $H_{\max}=21,35$ m, chọn $H_d=0,75H_{\max}=16$ m. Sơ bộ chọn $D=0,45H_d=7$ m.

Theo yêu cầu không chế ngập ở hạ lưu với $Q_{\text{xả max}}=845$ m³/s tiến hành tính toán xác định chiều rộng tràn B. Chiều rộng B được xác định theo công thức (1.10) với hệ số lưu lượng μ được tính theo công thức (3.7), $B = Q/\mu D\sqrt{2gH_e}$.

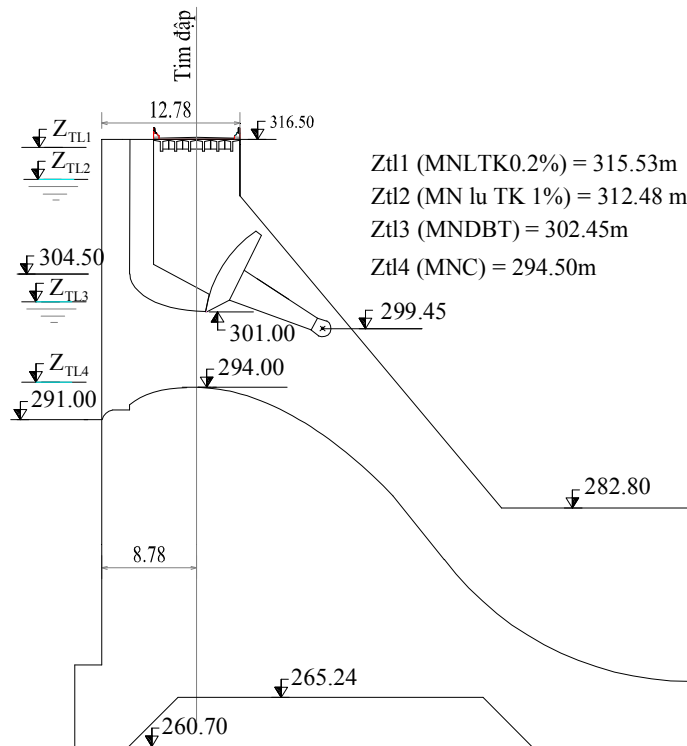
Tính được $B = 8,16$ m. Chọn $B=8,4$ m.

Đường cong mặt hạ lưu tràn chọn mặt cắt dạng WES có phương trình $X^{1,85}=21,11Y$

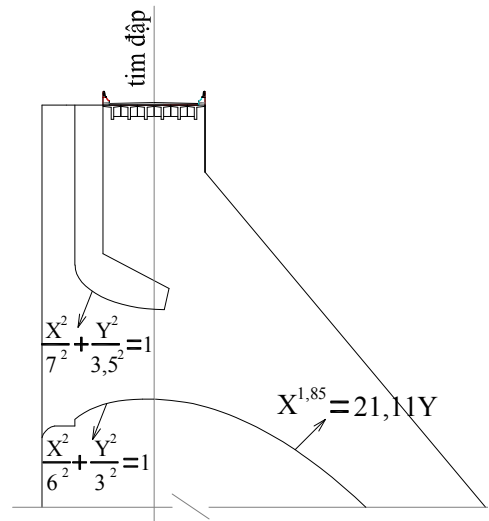
Đường cong mặt thượng lưu tràn chọn dạng elip có phương trình $\frac{X^2}{6^2} + \frac{Y^2}{3^2} = 1$

Đường cong mép dưới tường ngực đập tràn chọn dạng elip có phương trình

$$\frac{X^2}{7^2} + \frac{Y^2}{3,5^2} = 1.$$



Hình 4.2 Sơ đồ tính toán



Hình 4.3 Chi tiết đầu tràn Bản Lãi

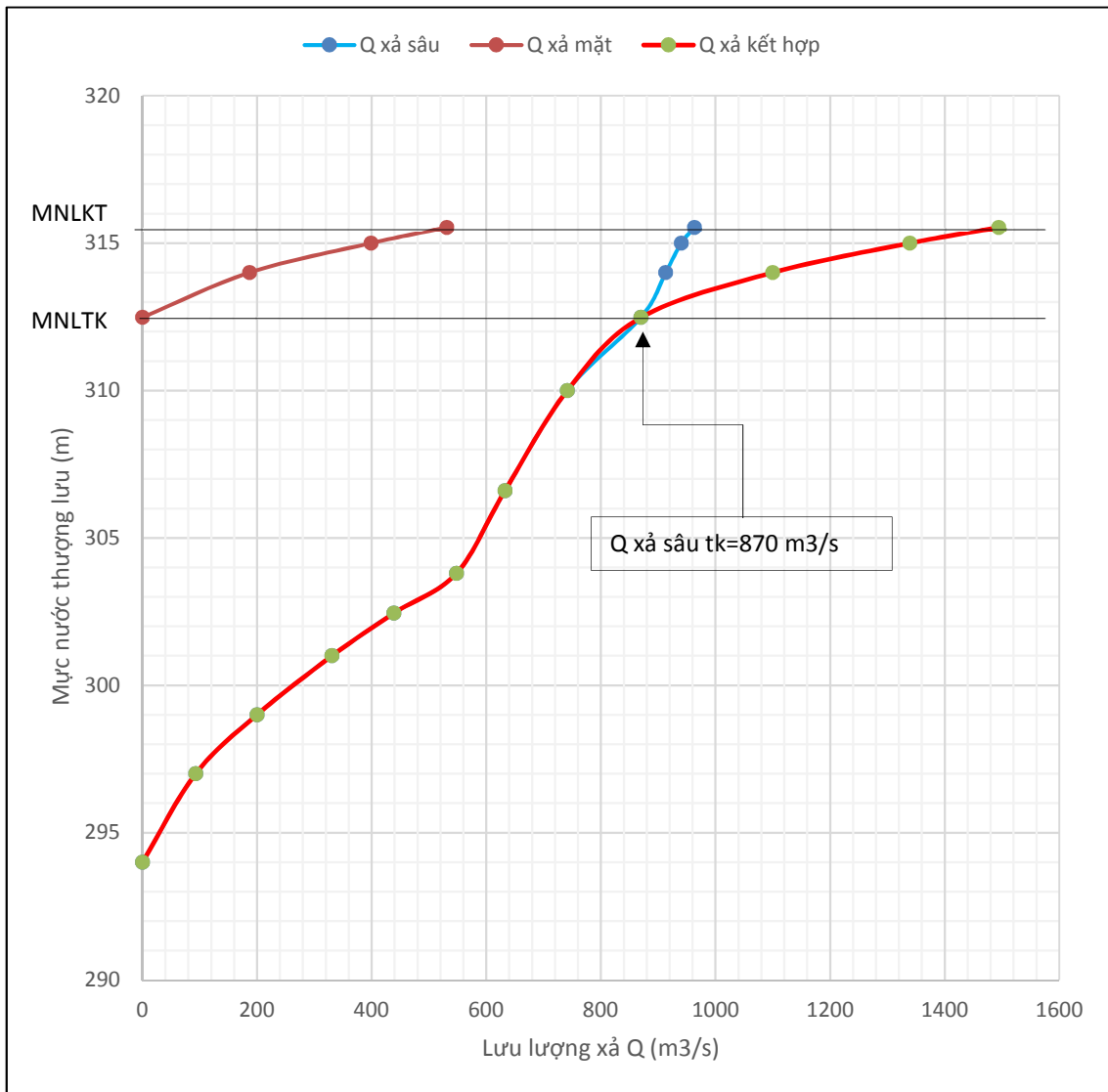
4.2.3 Tính kiểm tra khả năng xả và xác định chế độ chảy

Với các kích thước đã chọn, căn cứ vào các mực nước yêu cầu thiết kế tính toán kiểm tra lưu lượng và xác định chế độ chảy cho các trường hợp mực nước thượng lưu là mực nước dâng bình thường, mực nước lũ thiết kế, mực nước lũ kiểm tra tại bảng 4.2. Xây dựng được đường quá trình xả lũ qua đập tràn có tường ngược như hình 4.4.

Bảng 4.2 Kết quả tính toán lưu lượng xả qua tràn hồ chứa Bản Lãi

Mực nước thượng lưu	H	Xả qua tràn có tường ngược						Xả mặt trên đỉnh		Xả kết hợp	Ghi chú
		H _e	H/D	Chế độ chảy	B	Cao trình ngưỡng	Q	Cao trình ngưỡng	Q	Q	
m	m	m			m	m	m ³ /s	m	m ³ /s	m ³ /s	
294	0		0		8,4	294	0	312,48	0	0	
297	3		0,43	Tự do	8,4	294	93	312,48	0	93	
299	5		0,71	Tự do	8,4	294	200	312,48	0	200	
301	7		1,00	Tự do	8,4	294	331	312,48	0	331	
302,45	8,45		1,21	Tự do	8,4	294	439	312,48	0	439	MNDBT
303,8	9,80		1,40	Tự do	8,4	294	548	312,48	0	548	

306,6	12,6	9,1	1,80	Có áp	8,4	294	632	312,48	0	632	
310	16	12,5	2,29	Có áp	8,4	294	741	312,48	0	741	
312,48	18,48	14,98	2,64	Có áp	8,4	294	870	312,48	0	870	MNLTK
314	20	16,5	2,86	Có áp	8,4	294	913	312,48	187	1100	
315	21	17,5	3,00	Có áp	8,4	294	940	312,48	399	1339	
315,53	21,53	18,03	3,08	Có áp	8,4	294	963	312,48	531	1494	MNLKT



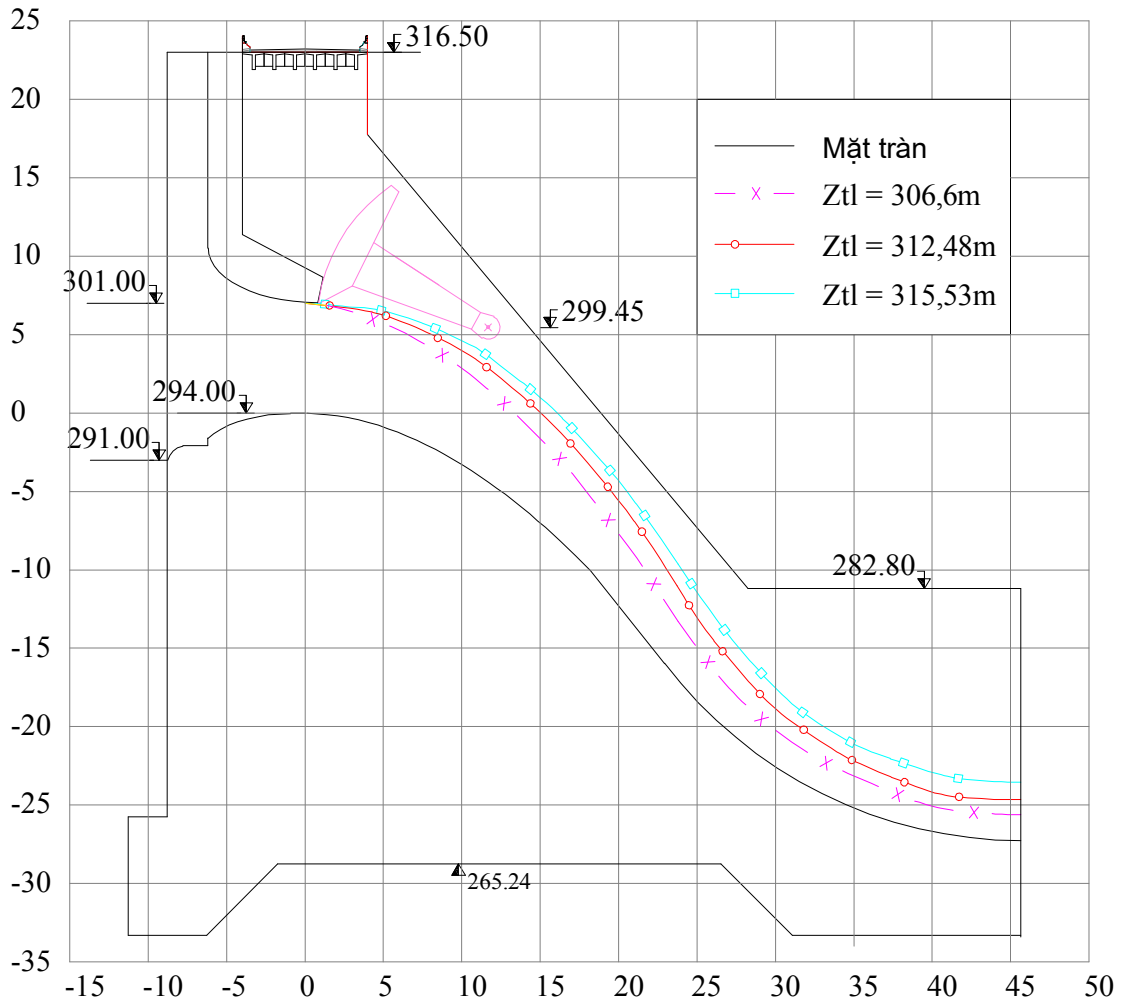
Hình 4.4 Đường quá trình xả lũ qua đập tràn hồ chứa Bản Lài

Khả năng xả của đập tràn đã chọn hoàn toàn đáp ứng yêu cầu đặt ra. Khi cần khống chế lưu lượng xả về hạ lưu chỉ cần điều chỉnh cửa van cho phù hợp.

4.2.4 Tính đường mặt nước, vận tốc

Sử dụng bảng (3.7) hoặc hình (3.34) để tính đường mặt nước cho trường hợp chảy có áp với các mực nước thượng lưu đã cho là 312,48; 315,53. Biểu diễn các đường mặt

nước tính toán được trên cùng một đồ thị gắn với mặt cắt đập tràn có tường ngực trên hình 4.5. Vận tốc trung bình tại các mặt cắt có khoảng cách theo trục X được thể hiện ở bảng 4.2.



Hình 4.5 Đường mặt nước trên mặt tràn ứng với các trường hợp chảy có áp

Bảng 4.3 Bảng tính vận tốc trên mặt tràn ứng với các trường hợp chảy có áp

Ztl (m)	Thông số	Mặt cắt					
		1	2	3	4	5	6
	X (m)	X=0	X=4,20	X=8,40	X=12,60	X=16,80	X=21
	θ (độ)	0	15	28	39	45	47
312,48	h_i (m)	7,00	6,88	6,42	5,64	4,93	4,32
	V (m/s)	14,80	15,06	16,13	18,35	20,99	23,98
315,53	h_i (m)	7,00	6,98	6,87	6,26	5,67	5,18
	V (m/s)	16,38	16,19	16,68	18,32	20,20	22,12

4.2.5 Xác định áp suất trên mặt tràn, tường ngực

4.2.5.1 Xác định áp suất lên mặt tràn

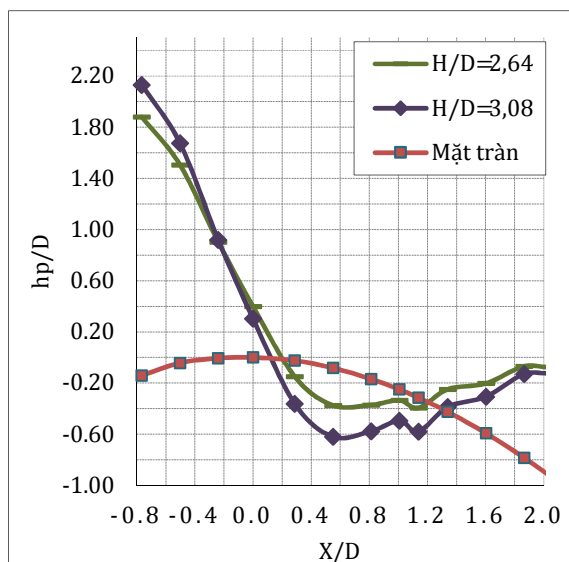
Nội suy từ hình (3.39) với các tỉ lệ H/D của hồ chứa Bản Lải để xác định được áp suất lên mặt tràn theo $h_p/D=f(X/D, H/D)$ trong trường hợp chảy có áp tại Bảng 4.4, Hình 4.6 tiếp đó chuyển về giá trị áp suất thực bằng cách nhân cả 2 vế với D được kết quả tại Bảng 4.5, Hình 4.7 và biểu diễn lên mặt tràn.

Bảng 4.4 Áp suất trên mặt tràn Bản Lải theo quan hệ $h_p/D=f(X/D, H/D)$

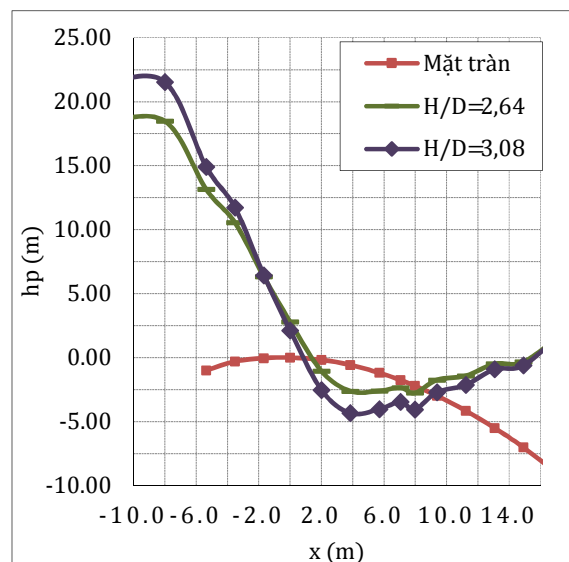
X/D=	-0,77	-0,50	0,00	0,55	0,81	1,01	1,34	1,60	1,87	2,13	2,52
H/D=1,6	1,29	1,11	0,63	0,21	0,11	0,04	0,08	0,04	0,07	0,04	0,26
H/D=1,8	1,40	1,18	0,58	0,09	0,02	-0,03	0,01	-0,01	0,05	0,03	0,27
H/D=2,0	1,52	1,26	0,54	-0,02	-0,07	-0,10	-0,05	-0,05	0,02	0,01	0,28
H/D=2,2	1,63	1,34	0,50	-0,13	-0,17	-0,18	-0,11	-0,10	-0,01	-0,01	0,28
H/D=2,4	1,74	1,41	0,45	-0,24	-0,26	-0,25	-0,17	-0,15	-0,04	-0,03	0,29
H/D=2,6	1,86	1,49	0,41	-0,35	-0,35	-0,32	-0,24	-0,19	-0,06	-0,04	0,30
H/D=2,64	1,88	1,51	0,40	-0,37	-0,37	-0,33	-0,25	-0,20	-0,07	-0,05	0,30
H/D=2,8	1,97	1,57	0,36	-0,46	-0,45	-0,39	-0,30	-0,24	-0,09	-0,06	0,31
H/D=3,08	2,13	1,68	0,30	-0,62	-0,58	-0,49	-0,39	-0,31	-0,13	-0,09	0,32

Bảng 4.5 Áp suất thực trên mặt tràn

X	-5,36	-3,52	-1,68	0,00	2,01	3,85	5,69	7,96	9,38	13,06	14,90
H/D=1,6	9,03	7,74	6,05	4,38	2,44	1,44	0,79	0,28	0,54	0,51	0,30
H/D=1,8	9,82	8,28	6,10	4,08	1,77	0,66	0,14	-0,30	0,10	0,32	0,18
H/D=2,0	10,62	8,82	6,15	3,77	1,10	-0,12	-0,51	-0,89	-0,34	0,13	0,06
H/D=2,2	11,42	9,36	6,21	3,47	0,43	-0,90	-1,16	-1,48	-0,78	-0,06	-0,07
H/D=2,4	12,21	9,90	6,26	3,16	-0,24	-1,68	-1,82	-2,06	-1,22	-0,25	-0,19
H/D=2,6	13,01	10,44	6,31	2,86	-0,92	-2,46	-2,47	-2,65	-1,65	-0,45	-0,31
H/D=2,64	13,17	10,54	6,32	2,80	-1,05	-2,62	-2,60	-2,77	-1,74	-0,48	-0,34
H/D=2,8	13,81	10,98	6,37	2,55	-1,59	-3,24	-3,12	-3,24	-2,09	-0,64	-0,44
H/D=3,08	14,92	11,73	6,44	2,12	-2,53	-4,34	-4,03	-4,06	-2,71	-0,90	-0,61



Hình 4.6 Phân bố áp suất trên mặt tràn Bản Lãi ứng với các mực nước thượng lưu theo quan hệ $h_p/D=f(X/D, H/D)$



Hình 4.7 Phân bố áp suất thực trên mặt tràn Bản Lãi ứng với các mực nước thượng lưu

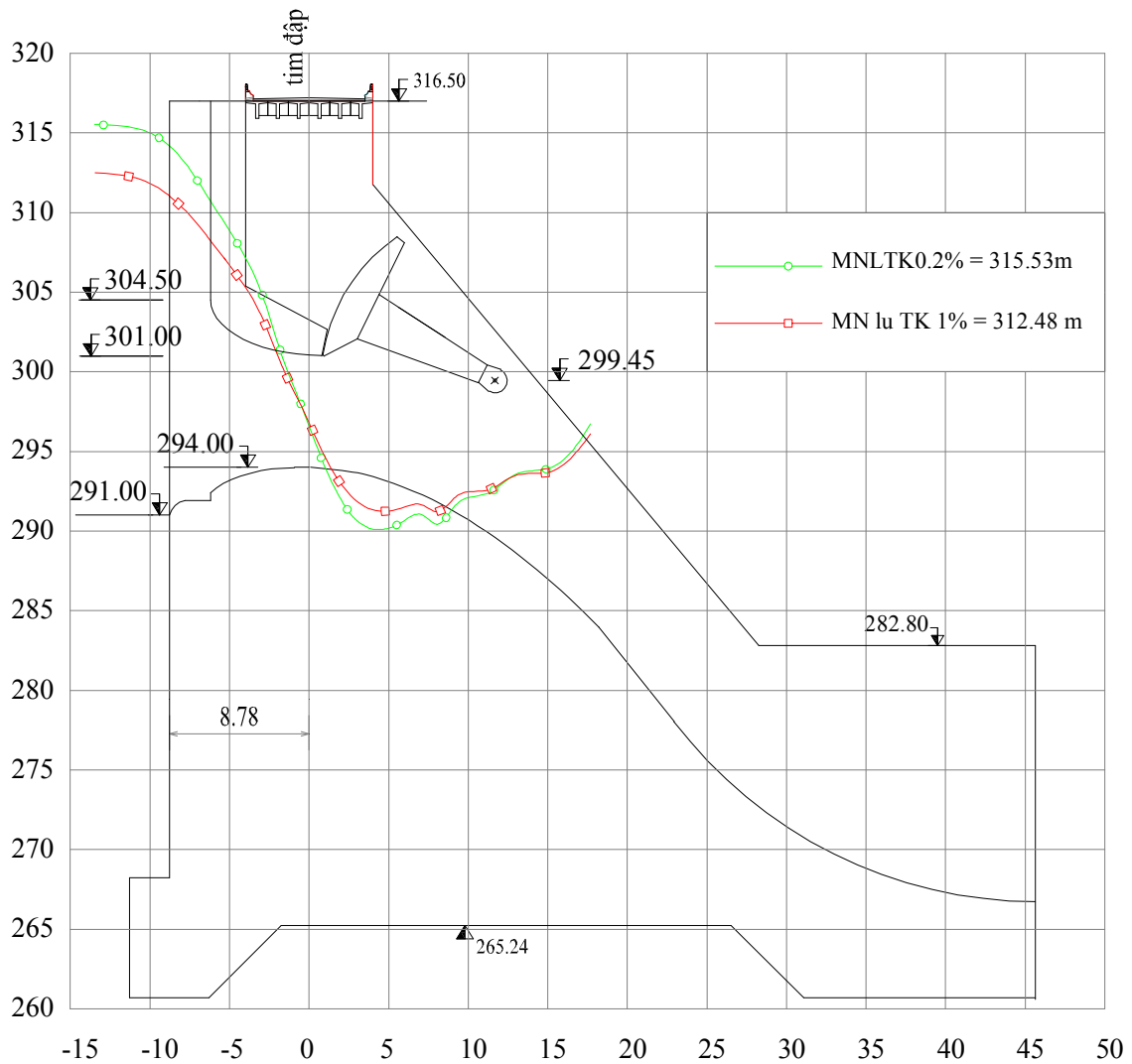
Theo biểu đồ, ứng với hai trường hợp xả lũ thiết kế và lũ kiểm tra thì đều xuất hiện áp suất dư nhỏ nhất trên mặt tràn ở vị trí cách tim đập $0,6X/D$ về phía hạ lưu, tức là khoảng 4,2 m. Giá trị áp suất dư nhỏ nhất trong trường hợp xả lũ thiết kế là -3,5 m, trường hợp xả lũ kiểm tra là -4,34 m.

Kiểm tra điều kiện xâm thực theo công thức (4.1) tại [31]

$$\sigma = \frac{h_o + h_d - h_{bh}}{\frac{v^2}{2g}} \quad (4.1)$$

Trong đó: σ - số xâm thực, không thứ nguyên; h_o – áp suất dư tại điểm tính toán (m); h_d – áp suất khí trời tính theo cao độ tuyệt đối của điểm tính toán ($h_d=10.33-\nabla/900$); h_{bh} - áp suất bảo hoà hơi. Để phòng tránh xâm thực thì $\sigma > [\sigma]=0,3$.

Với 2 trường trường hợp mực nước lũ thiết kế và kiểm tra, kết quả tính toán σ lần lượt là 0,53 và 0,40 đều $>[\sigma]=0,3$. Vì vậy điều kiện không xâm thực trên mặt tràn được đảm bảo.



Hình 4.8 Đường đo áp trên mặt cắt đập tràn

4.2.5.2 Xác định áp suất lên tường ngực

Tường ngực của đập tràn sử dụng elip có $k_e=2$, đoạn tường ngực có độ lồi $k_r=h_v/D=2,0$, tra hình (1.30) được $C_{pmax}=1,15$. Sử dụng công thức (1.27) xác định áp suất dư nhỏ nhất lên tường ngực tại điểm sát gần cuối, tại vị trí trùng với tim đập tràn trên tường ngực, là vị trí thường xuất hiện áp suất âm lớn nhất cho hai trường hợp mực nước ứng với lũ thiết kế và lũ kiểm tra tại bảng 4.6. Cụ thể như sau:

Bảng 4.6 Kết quả tính áp suất dư lên tường ngực đập tràn Bản Lãi

Mực nước thượng lưu	306,6	312,48	315,53
Cột nước H (m)	12,6	18,48	21,53
Độ ngập sâu H_i (m)	5,6	11,48	14,53
V_k (m/s)	10,76	14,80	16,38

C_{pmax}	1,15	1,15	1,15
h_{pmin} (m)	-1,18	-1,35	-1,20
Số xâm thực σ	1,43	0,74	0,62

Kiểm tra xâm thực theo công thức (4.1) cho thấy chỉ số xâm thực σ trong các trường hợp đều $>0,3$ đảm bảo điều kiện không xâm thực.

Nhận xét: Với hình dạng và kích thước mặt tràn, tường ngực đã chọn thỏa mãn các yêu cầu về lưu lượng tháo, điều kiện áp suất trong phạm vi làm việc của công trình.

Bảng 4.7 Bảng so sánh kết quả tính toán của luận án và phương án dự kiến điều chỉnh

STT	Thông số	Đơn vị	Kết quả tính toán các phương án		
			Dự án đầu tư	Dự kiến điều chỉnh	Luận án
1	Cấp công trình		1	2	2
2	Tuyến đập dâng và tràn		Hai tuyến	Cùng tuyến	Cùng tuyến
3	Cao trình đỉnh đập khô	m	319,00	316,50	316,50
4	MNDBT	m	314,50	302,45	302,45
5	MNC	m	294,50	294,50	294,50
6	MNLTK	m	315,63	312,48	312,48
7	MNLKT	m	317,16	315,53	315,53
8	B tràn mặt	m	215,00	50	50
8	Kích thước xả sâu	B x H	D=8 m	(4 x 3,2) m	(4,2 x 7,0)m
9	Số cửa xả sâu	Cửa	1	5	2
10	Cao trình ngưỡng xả sâu	m	296,50	294,00	294,00
11	Q xả 1%	m ³ /s	918,00	873,00	870,00
12	Q xả 0,2%	m ³ /s		949,00	1494,00
13	Thuận lợi				
-	Vận tốc		Không tính	Không tính	Có tính
-	Áp suất		Không tính	Không tính	Có tính
14	Khó khăn				
-	Vận hành		Phức tạp	Phức tạp	Đơn giản
-	Kích thước cửa		Lớn	Nhỏ	Lớn

Kết quả tính toán theo phương án sử dụng đập tràn có tường ngực của luận án tương đương với phương án dự kiến điều chỉnh thiết kế cơ sở và đảm bảo các yêu cầu khống chế mực nước cũng như đáp ứng các nhiệm vụ của dự án. Phương án sử dụng đập tràn có tường ngực có số cửa van ít hơn, vận hành thuận lợi hơn do đặt trên đỉnh ngưỡng. Với phương án này có thể sơ bộ xác định được vận tốc, áp suất trên mặt tràn mà chưa cần phải thí nghiệm mô hình vật lý, giảm được khối lượng tính toán thiết kế.

4.3 Kết luận chương 4

Quy trình tính toán được xây dựng trên cơ sở các kết quả nghiên cứu của luận án đưa ra trình tự tính toán xác định các đặc trưng thủy lực dòng chảy qua đập tràn có tường ngực, từ đó rút ngắn được thời gian tính toán, giảm bớt được một phần khối lượng các phương án thí nghiệm mô hình vật lý góp phần nâng cao hiệu quả công tác thiết kế công trình.

Hồ chứa Bán Lãi có thể ứng dụng kết cấu tràn có tường ngực giảm bớt khối lượng tính toán mà vẫn đảm bảo nhiệm vụ phòng lũ cho công trình.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận chung của luận án

Đập tràn thực dụng hình cong với 2 dạng mặt cắt Creager-Ophixerop và WES là 2 dạng mặt cắt được ứng dụng phổ biến nhất. Các tính toán đặc trưng thủy lực của chúng được hướng dẫn tương đối đầy đủ qua các tài liệu tham khảo hiện có. Nghiên cứu về dòng chảy dưới cửa van trên đỉnh đập, công trình tháo sâu cũng đã có các công bố về tính toán các đặc trưng thủy lực của chúng.

Đập tràn thực dụng hình cong với 2 dạng mặt cắt Creager-Ophixerop và WES với bố trí tường ngực biên cong đã có những ứng dụng trong thực tế, việc nghiên cứu tính các đặc trưng thủy lực với các loại đập này còn rất hạn chế. Thực tế gặp khó khăn khi tìm các tài liệu hướng dẫn tính toán, tham khảo.

Luận án đã sử dụng phương pháp thực nghiệm mô hình vật lý, xử lý số liệu theo phương pháp quy hoạch thực nghiệm với hàm hồi quy tuyến tính, phương pháp thống kê thực nghiệm để nghiên cứu xác định các đặc trưng thủy lực ở đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong.

Luận án đã nghiên cứu thực nghiệm cho 2` loại mặt cắt Creager-Ophixerop và WES. Mặt cắt Creager-Ophixerop được nghiên cứu trên 01 mô hình tỉ lệ 1/64 với 4 trường hợp chiều cao lỗ $D=5\div 8m$ tại Phòng thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về Động lực học sông biển; đã thu thập, phân tích, đánh giá kết quả thí nghiệm mô hình vật lý ở đập tràn mặt tràn WES ở mô hình 2, 3 tỉ lệ 1/48, mô hình 4 tỉ lệ 1/100.

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm được phân tích dưới dạng không thứ nguyên, so sánh đánh giá sự sai lệch giữa các mô hình do chính tác giả tham gia thực hiện và so với các tài liệu đã được công bố trong và ngoài nước. Sự kiểm định này cho phép đánh giá kết quả nghiên cứu là đủ tin cậy.

Nghiên cứu tính toán, phân tích lý thuyết và thực nghiệm về chế độ dòng chảy cũng đã xác định được giới hạn định lượng chế độ chảy từ không áp sang có áp phù hợp với các công bố về dòng chảy tương tự như ở cửa vào tuynel.

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm của luận án với các biến đổi không thứ nguyên, xử lý số liệu theo phương pháp bình phương tối thiểu đề xuất công thức mới để tính hệ số lưu lượng theo tỉ số H/D phản ánh trực tiếp đến chế độ chảy có áp, có tương quan tốt

nhất và sai số phù hợp. Từ kết quả thực nghiệm, luận án cũng đã đưa ra biểu đồ xác định đường mặt nước, vận tốc, áp suất trên mặt tràn, tường ngực.

Luận án đã đưa ra quy trình tính toán đặc trưng thủy lực cho đập tràn thực dụng có tường ngực và áp dụng thành công cho một công trình.

2. Những đóng góp mới của luận án

Luận án đã sử dụng các phương pháp nghiên cứu tổng quan, phân tích kế thừa kinh nghiệm; phương pháp thực nghiệm mô hình vật lý để nghiên cứu xác định các đặc trưng thủy lực ở đập tràn có tường ngực biên cong. Với việc kiểm chứng với những kết quả trong và ngoài nước đã được công bố, luận án đã đạt được những kết quả chính về khoa học và các đóng góp mới sau đây:

1. Xây dựng và đề xuất mới công thức (3.7): $\mu = 0,4695 + 0,2637 \left(\frac{H}{D}\right) - 0,0432 \left(\frac{H}{D}\right)^2$ và đồ thị Hình (3.32) tính hệ số lưu lượng cho đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong chảy có áp; phạm vi cột nước làm việc $H/D=1,6\div 3,0$.

2. Xác định được hệ số lưu tốc $\varphi \approx 0,94\div 0,99$ theo Hình 3.33 để tính độ sâu mực nước theo công thức (1.16) trong trường hợp chảy có áp. Xây dựng và kiến nghị ứng dụng bảng tọa độ không thứ nguyên Bảng 3.7, Hình 3.34 với mặt tràn dạng WES; Bảng 3.8, Hình 3.35 với mặt tràn dạng Creager-Ophixerop để tính đường mặt nước và vận tốc trên mặt tràn.

3. Đề xuất phương pháp xác định hệ số giảm áp C_{pmax} để xác định áp suất nhỏ nhất theo công thức (1.25): $C_{pi} = \frac{2g(H_i - p_i/\gamma)}{v_k^2}$, (1.27): $\frac{p_{i\min}}{\gamma} = H_i - C_{p\max} \frac{V_k^2}{2g}$ ở phần chảy có áp trên đập tràn. Xây dựng các biểu đồ không thứ nguyên Hình 3.36÷ Hình 3.37 đối với mặt tràn dạng Creager-Ophixerop và Hình 3.38÷ Hình 3.39 đối với mặt tràn dạng WES để tính áp suất trên mặt tràn ở đoạn chảy tự do.

3. Kiến nghị

1. Áp dụng hình thức đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong vào thiết kế cho các công trình tháo ở các hồ chứa có nhiệm vụ phòng lũ, nâng cao khả năng tháo, tối ưu hóa cửa van và thiết bị cơ khí trong thiết kế mới và sửa chữa nâng cao an toàn.

2. Áp dụng số liệu, công thức, biểu đồ được thiết lập của luận án vào tính toán thiết kế công trình tháo dạng đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong với hai loại mặt cắt dạng WES và Creager-Ophixerop khi chưa đủ tài liệu tham khảo cho nghiên cứu, tính toán.

4. Hướng nghiên cứu tiếp

1. Tiếp tục nghiên cứu hoàn thiện tính toán một số đặc trưng thủy lực với phạm vi cột nước làm việc lớn hơn, các vấn đề về mạch động vận tốc, áp suất, phễu xoáy và xâm thực, các loại đường cong mặt tràn khác.

2. Nghiên cứu, xem xét điều kiện làm việc với bài toán không gian để xét đến các ảnh hưởng về hình dạng, kích thước.

3. Nghiên cứu mô hình toán để ứng dụng nhằm tối ưu hóa các phương án thiết kế; giảm khối lượng, chi phí cho công tác nghiên cứu mô hình thực nghiệm.

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

1. **Đỗ Ngọc Ánh.** Nghiên cứu ứng dụng mặt cắt đập tràn thực dụng hình cong dạng Creager-Ophixerop và WES ở các công trình tháo lũ cột nước cao, Tạp chí khoa học và công nghệ thủy lợi, tr 108÷112, số 23/2009.
2. **Đỗ Ngọc Ánh, Nguyễn Danh Oanh.** Nghiên cứu thực nghiệm xác định chế độ dòng chảy và tính lưu lượng tháo qua đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong, Tạp chí khoa học và công nghệ thủy lợi, tr 58÷64, số 35/2016.
3. **Đỗ Ngọc Ánh, Nguyễn Danh Oanh.** Nghiên cứu tính đường mực nước và vận tốc dòng chảy qua đập tràn thực dụng có tường ngực biên cong, Tạp chí khoa học và công nghệ thủy lợi, tr 117÷124, số 35/2016.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

Tiếng Việt

- [1] Nguyễn Cảnh Cầm, Vũ Văn Tào (2006). Thủy lực tập I, II, III NXB Nông nghiệp.
- [2] Nguyễn Văn Cung, Nguyễn Xuân Đăng, Ngô Trí Viêng (2010). Công trình tháo lũ trong đầu mối hệ thống thủy lợi, NXB Xây dựng.
- [3] Vũ Hữu Hải (1997). Chế độ thủy lực dòng xiết hai chiều bình diện có thành biên thay đổi, luận án PTS-KHKT.
- [4] Vũ Hữu Hải và Nguyễn Hải Bắc (2007). Một mô hình bài toán hai chiều cho dòng chảy trên các lòng dẫn hở bề mặt tự do, www.vncold.vn/Web/Content.aspx?distid=1019.
- [5] Phạm Nguyên Hùng (2008). Nghiên cứu chế độ thủy lực dòng xiết ba chiều trên mũi phun có xét đến hàm khí, luận án tiến sĩ kỹ thuật.
- [6] Nguyễn Văn Mạo (1987). Các đặc trưng thủy động lực học ở cửa vào công trình tháo nước có cột nước áp lực, luận án PTS- KHKT.
- [7] Nguyễn Danh Oanh, 2003. Nghiên cứu lựa chọn hợp lý chế độ thủy lực ở cửa vào tuynel dẫn dòng thi công trong xây dựng công trình thủy lợi, thủy điện, luận án tiến sĩ kỹ thuật.
- [8] Nguyễn Danh Oanh & nnk, 2008. Nghiên cứu, tổng kết, đánh giá các kết quả thí nghiệm mô hình thủy lực công trình xả lũ cột nước cao và kiểm nghiệm ở công trình thủy điện Sơn La, đề tài cấp Bộ Công thương.
- [9] Phạm Ngọc Quý (2005). Nghiên cứu lựa chọn tiêu chuẩn lũ tính toán tràn sự cố - Tạp chí Thủy lợi và Môi trường.
- [10] Hoàng Văn Tần (1999). Nghiên cứu chế độ thủy lực thượng lưu công trình tháo lũ kết hợp, luận án Tiến sĩ.
- [11] Lê Đình Thành & nnk (2012). Nghiên cứu đánh giá tác động của biến đổi khí hậu đến chế độ thủy văn sông Hương, Tạp chí Thủy lợi và Môi trường
- [12] Trần Quốc Thương, Vũ Thanh Te (2007). Đập tràn thực dụng. NXB Xây dựng.
- [13] Thiết kế kỹ thuật công trình thủy điện: Hoà Bình, Sê San 3, Sơn La, Tuyên Quang,...

- [14] Viện năng lượng - Báo cáo kết quả thí nghiệm MHTL công trình Thủy điện Hòa Bình, Tuyên Quang, Sơn La, Huội Quảng, Bình Điền...
- [15] Viện Khoa học Thủy lợi, Báo cáo kết quả thí nghiệm mô hình thủy lực công trình Thủy điện Sông Tranh, Cửa Đạt, Pleikrông.
- [16] Viện Khoa học Khí tượng Thủy văn và Môi trường (2010), Biến đổi khí hậu và tác động ở Việt Nam
- [17] P.G. Kixêlep, Sổ tay tính toán thủy lực (2012), NXB Xây dựng (Bản dịch).
- [18] Quy phạm thiết kế tràn xả lũ SDJ 341 – 89 Quyển I- Quy phạm, phụ lục (Trung Quốc), Bộ nông nghiệp và phát triển nông thôn, 1999 (Võ công Quang - dịch)

Tiếng Anh

- [19] Anders G. Andersson, Kristoffer Lundström, Patrik Andreasson and T. Staffan (2010). Simulation of free surface flow in a spillway with the rigid lid and volume of fluid methods and validation in a scale model. European Conference on Computational Fluid Dynamics 2010. Lisbon, Portugal, 14–17 June 2010
- [20] Bruce M. Savage and Michael C. Johnson (2001) Flow over ogee spillway: Physical and numerical model case study. Members, ASCE
- [21] Carlos E. F. Mello and José P. S. Azevedo. Bem numeric simulation of spillway flows with discontinuous linear elements - Department of Civil Engineering – School of Mines Federal University of Ouro Preto Brazil
- [22] Christopher B. Cook¹, Marshall C. Richmond, John A. Serkowski and Laurie L. Ebner (2001). Free-Surface Computational Fluid Dynamics Modeling of a Spillway and Tailrace: Case Study of The Dalles Project. Pacific Northwest National Laboratory, Portland District, US Army Corps of Engineers
- [23] Daneshfaraz. R and Zogi.N (2013) Investigation of Cavitation in Stepped Spillway of Siah-Bishe Dam by Using Flow-3d Model. International Research Journal of Applied and Basic Sciences © 2013 Available online at www.irjabs.com
- [24] Dan Gessle P.E, PhD (2013) CFD Applications in Spillway Modeling. Aldel Research Laboratory
- [25] Design of Gravity Dams (1976)- United States Department of the Interior.

- [26] Fernando Salazar (2012). Analysis of the discharge capacity of radial-gated spillways using CFD and ANN — Oliana Dam case study (IAHR Member),
- [27] Francis H. Harlow and J. Eddie Welch (1965). Numerical calculation of time-dependent viscous incompressible flow of fluid with free surface. *Physics of Fluids*, 8(12):2182–2189, 1965.
- [28] General spillway investigation - Hydraulic Model Investigation (1985). US Army Corps of Engineers
- [29] Guidelines for selection of spillway and energy dissipators (2012). First Revision IS 10137 - Indian Standard
- [30] Guidelines for preliminary design of spillway aerators (2010) Indian Standard, (First Revision IS 12804) December 2010
- [31] Hydraulic Design of Spillways (1995). US Army corps of engineers
- [32] Hydraulic of aerator for orifice spillway (2012), *ISH Journal of hydraulic engineering*
- [33] Hubert Chanson (1999). Physical modelling of hydraulics- *The Hydraulics of Open Channel Flow* by Published in 1999 by Arnold, 338 Euston Road, London
- [34] Hydraulic design of high ogee overflow spillways recommendations (1998) - Indian Standard
- [35] Hydraulic design of high ogee overflow and orifice spillways - recommendations (2010) - Indian Standard
- [36] J. M. Sicilian (1995). *FLOW-3D multiple tank model*. 1995.
- [37] Jiazheng Pan, Jing He (2000) - *Large Dams in China*, Chine Water Power Press Beijing
- [38] Jamec E. Lindell (2000). *Hydraulic Design of Spillways*
- [39] Mohammad Rafi, Akhtar Ali, Ghulam Qadir and Rifaquat Ali (2012). Modeling the Mangla Dam Spillway for Cavitation and Aerators Optimization. *Journal of Water Resource and Protection*, 2012, 4, 1051-1060. Published Online December 2012
- [40] Nirav Acharya and H. M. Gandhi (2013). Comparative Study of Hydraulic Design of Orifice Spillway between IS 6934:1973 & IS 6934 International

- [41] P. Novak, A.I.B. Moffat and C. Nalluri (2007) Hydraulic Structures (Fourth Edition), School of Civil Engineering and Geosciences, University of Newcastle upon Tyne, UK
- [42] Paul Guy Chanel (2008). Evaluation of Computational Fluid Dynamics for Spillway Modeling. Master of Science Department of Civil Engineering University of Manitoba Winnipeg, Manitoba, Canada
- [43] Salahddin A. Ahmad and Susan Sh. Ahmad (2008). Hydraulic Performance for Al-Dhuloyia Spillway Using Physical Model. Journal of Kirkuk University – Scientific Studies, vol.3, No.2, 2008
- [44] Stephen T. Maynord (1985) – Genaral spillway investigation - Hydraulic Model Investigation - Hydraulics Laboratory – Department of the army - Final Report
- [45] The Standards Compilation of Water Power in China (2000)-China Electric Power Press.
- [46] Some charactrristics of pressure fluctuations on low-ogee crest spillways relevant to flow-induced structural vibration (1971). US Army corps of engineers.
- [47] Thana Plaun Hydropower Project (2014) Himachal Pradesh Power Corporation Ltd. (HPPCL), Shimla, India.
- [48] Ven Te Chow.Ph.D (1959) Open Channel Hydraulic

Tiếng Nga

- [49] Высоцкий Л. И., (1990), Управление бурными потоками на водосбросах, М. Энергия. 1990.
- [50] Д. В. Стеренлист. (1984). Гидравлика. Стройиздат. М. Энергия.
- [51] С. М. Слиский (1986). Гидротехнические расчеты водосбросных гидротехнических сооружений при больших напорах. Стройиздат. М. Энергия.
- [52] Справочник по гидравлика пропускных гидротехнических сооружений (1988) Стройиздат. М. Энергия.