BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

VÀ ĐÀO TẠO BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ PTNT VIỆN KHOA HỌC THUỶ LỢI VIỆT NAM

TÔ VĨNH CƯỜNG

NGHIÊN CỨU TÁC ĐỘNG CỦA BỐ TRÍ KHÔNG GIAN HỆ THỐNG MỎ HÀN ĐẾN ĐOẠN SÔNG VÙNG ẢNH HƯỞNG TRIỀU

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

Hà Nội – Năm 2022

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO VIỆN KHOA HỌC THUỶ LỢI VIỆT NAM

TÔ VĨNH CƯỜNG

NGHIÊN CỨU TÁC ĐỘNG CỦA BỐ TRÍ KHÔNG GIAN HỆ THỐNG MỎ HÀN ĐẾN ĐOẠN SÔNG VÙNG ẢNH HƯỞNG TRIỀU

Chuyên ngành: Kỹ thuật xây dựng công trình thủy

Mã số chuyên ngành: 9 58-02-02

LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT

NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:

1. PGS. TS. NGUYỄN THANH HÙNG

2. GS. TS. VŨ THANH TE

Hà Nội – Năm 2022

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 và chưa được ai công bố trong bất kỳ công trình khoa học nào.

Hà nội, ngày 12 tháng 12 năm 2022 Tác giả luận án

Tô Vĩnh Cường

LỜI CẢM ƠN

Tác giả xin chân thành cảm ơn Phòng Thí nghiệm trọng điểm Quốc Gia về Động lực học Sông Biển, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam đã hỗ trợ, tạo điều kiện thuận lợi cho tác giả trong quá trình học tập và thực hiện luận án.

Tác giả xin gửi lời cảm ơn sâu sắc đến sự hướng dẫn, giúp đỡ của thầy PGS.TS. Nguyễn Thanh Hùng và GS.TS. Vũ Thanh Te. Các thầy đã tận tình hướng dẫn, truyền đạt cho tác giả những kiến thức quí báu cùng với những lời động viên, khích lệ và những giúp đỡ cụ thể trong suốt quá trình nghiên cứu và thực hiện luận án này.

Tác giả xin gửi lời cảm ơn đến các thầy ở cơ sở đào tạo đã có những góp ý một cách rất chi tiết, cụ thể để tác giả hoàn thiện luận án này.

Tác giả xin bày tỏ lòng biết ơn đến Cơ sở đào tạo đã tạo mọi điều kiện thuận lợi cho tác giả trong quá trình nghiên cứu.

Cuối cùng, tác giả xin chân thành cảm ơn gia đình, đồng nghiệp và bạn bè luôn động viên, khích lệ để tác giả hoàn thành luận án.

Tô Vĩnh Cường

MỤC LỤC

• •	
MỞ ĐẦU	1
1. TÍNH CẤP THIẾT CỦA ĐỀ TÀI	1
2. MỤC TIÊU CỦA LUẬN ÁN	3
3. ĐỔI TƯỢNG VÀ PHẠM VI NGHIÊN CỨU	3
3.1. Đối tượng nghiên cứu	3
3.2. Phạm vi nghiên cứu	3
4. CÁCH TIẾP CÂN VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU	4
4.1. Cách tiếp cận	4
4.2. Các phương pháp sử dụng trong luận án	4
5. Ý NGHĨA KHOA HỌC VÀ THỤC TIẾN CỦA LUÂN ÁN	4
5.1. Ý nghĩa khoa học	4
5.2. Ý nghĩa thực tiễn	5
6. NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN	5
7. CÂU TRÚC VÀ NỘI DUNG CỦA LUẬN ÁN	5
CHƯƠNG 1. TÔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CƯU VỀ BÔ TRÌ KI	HÔŊG
GIAN HỆ THÔNG MO HÀN – ĐỊNH HƯƠNG CÁC VÂN ĐỀ NGHIÊN	I CƯU
CUA LUAN AN	7
1.1. GIOI THIỆU CHUNG	7
1.1.1. Khái niệm vùng sông ảnh hưởng triêu	7
1.1.2. Dòng chảy, diên biên lòng sông vùng ảnh hưởng triệu	7
1.1.3. Phân loại công trình mỏ hàn	10
1.1.4. Các tham sô bô trí không gian hệ thông mỏ hàn	
1.2. TONG QUAN CAC NGHIEN CUU TREN THE GIOI VE CONG T	RINH
	14
1.2.1. Các nghiên cứu về mỏ hàn trên sông, dòng đơn hưởng	14
1.2.2. Cac nghien cưu ve mô han trên sông vùng anh hưởng triệu, dông	g chay
	18
1.3. IONG QUAN CAC NGHIEN CUU O VIỆT NAM VE CONG I	RINH
MO HAN	21
1.3.1. Cac nghiên cứu về mô năn trên sông, dong dơn nương	······∠1
1.3.2. Cac nghien cưu về mô năn trên sông vùng ann nưỡng triều, dông	g chay
1.4 NUUTNC TUÀNU TUÙU VÈ DUUCONC DUÁD NCUUÊN CUÙU	23
1.4. NHUNG IHANH IUU VE PHUONG PHAP NGHIEN CUU	27
1.4.1. Phương pháp nghiên cứu trên mô hình vật lý	28
1.4.2. Phương pháp nghiên cửu trên mô ninh toàn	
1.5. INTIUNG VAN DE TON TẠI VÀ CÁC ĐỊNH HƯƠNG NGHIÊN CU 1.5.1. Những vấn đà còn tần tại	22 U י 22
1.5.1. Initulig Vall de coll toll tại	
1.5.2. Dinn huong cac van de ngmen cuu cua luạn an	

CHƯƠNG 2. CƠ SỞ KHOA HỌC VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨ	ĴŪ
CHỈNH TRỊ ĐOẠN SÔNG ẢNH HƯỞNG TRIỀU BẰNG CÔNG TRÌN	١H
MỔ HÀN	36
2.1. CƠ SỞ KHOA HỌC ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CHỈNH TRỊ ĐOẠN SÔN	١G
VÙNG ẢNH HƯỞNG TRIỀU	36
2.1.1. Phương trình truyền triều	36
2.1.2. Sự khởi động của bùn cát - vận tốc khởi động	38
2.1.3. Ảnh hưởng của đường kính bùn cát đến chiều sâu xói	39
2.1.4. Các quá trình vật lý ảnh hưởng tới hiệu quả chỉnh trị của mỏ hàn	42
2.2. PHƯƠNG PHÁP MÔ HÌNH TOÁN PHỤC VỤ NGHIÊN CỨU	44
2.2.1. Lựa chọn mô hình toán	44
2.2.2. Giới thiệu mô hình Flow 3D	46
2.2.3. Ưu điểm và hạn chế của mô hình	47
2.2.4. Cơ sở toán học và phương pháp giải	48
2.3. THIẾT LẬP BÀI TOÁN NGHIÊN CỨU	50
2.3.1. Nghiên cứu thí nghiệm trên mô hình vật lý của Karami và nnk [81]	50
2.3.2. Xây dựng và hiệu chỉnh, kiểm định mô hình Flow 3D với số liệu thí nghiê	êm
mô hình vật lý của Karami và nnk	54
2.3.3. Thiết lập các bài toán mô phỏng trên máng dòng chảy số	65
2.3.3.1. Thiết lập bài toán trên máng dòng chảy số lòng cứng	65
2.3.3.2. Thiết lập bài toán trên máng dòng chảy số lòng động	69
2.4. KÊT LUÂN CHƯƠNG 2	74
CHƯƠNG 3. KẾT QUẢ NGHIỆN CỨU VỀ ĐẶC TÍNH THỦY LỰC V	/À
HIỆU QUẢ CỦA HỆ THÔNG MÓ HÀN TRONG CHÍNH TRỊ ĐOẠN SÔN	١G
VÙNG ÁNH HƯỞNG TRIÊU	75
3.1. NGHIÊN CỨU ĐẶC TÍNH THỦY LỰC KHU VỤC CÔNG TRÌNH M	1Ó
HÀN TRONG ĐOẠN SÔNG THĂNG CHỊU ÁNH HƯỞNG TRIÊU CÓ DÒN	١G
CHÁY THUẬN NGHỊCH	75
3.1.1. Đặt vấn đề	75
3.1.2. Nghiên cứu đặc tính thủy lực khu vực mỏ hàn trong sông có dòng chảy đ	on
hướng qua mô phỏng của luận án	75
3.1.3. Nghiên cứu đặc tính thủy lực khu vực mỏ hàn trong sông ảnh hưởng tri	lêu
có dòng chảy thuận nghịch	78
3.2. NGHIEN CUU TAC ĐỌNG CUA BO TRI KHONG GIAN HỆ THON	١G
MO HAN ĐEN CAU TRUC DONG CHAY VA HIỆU QUA XOI SAU LON	١G
DAN TREN ĐOẠN SONG THANG CHỊU ANH HUÔNG TRIEU CÓ DON	١G
CHAY THUẠN NGHỊCH	86
3.2.1. Các trường hợp nghiên cứu	86
3.2.2. Nghiên cứu tác động của hướng góc mỏ hàn đến xói sâu lòng dân	91
3.2.3. Nghiên cứu giải pháp bố trí hệ thống mó hàn với chiếu dài mỏ hàn khô	ng
bằng nhau đên câu trúc dòng chảy và chiếu sâu xói lòng dân	9 4
3.2.4. Nghiên cứu ảnh hưởng mức độ thu hẹp chiêu rộng lòng sông c	:ůa
mó hàn1	11

3.2.5. Nghiên cứu tính toán tác động của hệ thống mỏ hàn đến xói	sâu
lòng dẫn	.117
3.3. KÊT LUÂN CHƯƠNG 3	.119
CHƯƠNG 4. ÚNG DỤNG CÁC KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀO BỐ TRÍ	ΗÊ
THỐNG MỎ HÀN TRÊN ĐOẠN SÔNG CẤM, ĐỂ ỔN ĐỊNH TUYẾN LỜ	NG
DẪN VÀO CẢNG HẢI PHÒNG	.122
4.1. GIỚI THIỆU VỀ ĐOẠN SÔNG CÂM	.122
4.1.1. Vị trí đoạn sông Cấm	.122
4.1.2. Hiện trạng công trình chỉnh trị	.126
4.2. THIẾT LẬP MÔ HÌNH VÀ CÁC GIẢI PHÁP BỐ TRÍ HỆ THỐNG	Mථ
HÀNG TRÊN ĐOẠN SÔNG CÂM	.127
4.2.1. Thiết lập mô hình Flow 3D cho đoạn sông nghiên cứu	.127
4.2.2. Các giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn	.129
4.3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG MỘT SỐ GIẢI PHÁP BỐ TRÍ HỆ THỐNG	Mථ
HÀN TRÊN ĐOẠN SÔNG CẨM	.131
4.3.1. Kết quả mô phỏng trường dòng chảy xung quanh các giải pháp bố trí	.131
4.3.2. Đánh giá hiệu quả tương đối giữa các giải pháp bố trí	.135
4.4. KÉT LUÂN CHƯƠNG 4	.137
KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ	.138
CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN	.140
TÀI LIỆU THAM KHẢO	141

РНŲ LŲC	146
Phụ lục 1: Kết quả tính toán hình dạng dòng triều	147
Phụ lục 2: Lý thuyết vận chuyển bùn cát của mô hình Flow 3D và các	tham số hiệu
chỉnh	
Phụ lục 3: Các phương pháp mô phỏng dòng rối	157
Phụ lục 4: Kết quả mô phỏng về trường vận tốc và biến động lòng dẫn	160
Phụ lục 5: Trích xuất số liệu chiều sâu xói xung quanh hệ thống MH	177
Phụ lục 6: Điều kiện biên Q và H trên đoạn sông Cấm	

DANH MỤC HÌNH VẼ

Hình 1.1: Đường quá trình mực nước – vận tốc dòng triều [8]	8
Hình 1.2: Quá trình thay đổi mực nước và lưu tốc ở 4 giai đoạn dòng triều [8]	8
Hình 1.3: Phân loại mỏ hàn (Zhang and Nakagawa [69])	10
Hình 1.4: Sơ họa bố trí hệ thống mỏ hàn, USACE [63].	11
Hình 1.5: Mỏ hàn với các hướng góc α khác nhau	11
Hình 1.6: Tác động của khoảng cách giữa các mỏ hàn đối với khu nước vật	12
Hình 1.7: Sơ họa khoảng cách giữa các mỏ hàn	13
Hình 1.8: Công trình chỉnh trị ổn định lòng dẫn giao thông thủy	14
Hình 1.9: Nghiên cứu kết hợp mỏ hàn cọc và mỏ hàn đặc [76]	16
Hình 1.10: Khoảng cách giữa nhóm cọc và mỏ hàn của Hashmat 2015[43]	16
Hình 1.11: Thiết kế hệ thống mỏ hàn cho đoạn sông vùng triều Munbal IC cách c	ửa
sông khoảng 30km, Hàn Quốc [45].	18
Hình 1.12: Hình dạng hố xói mỏ hàn N ₁ , dự án chỉnh trị cửa sông Trường Giang	19
Hình 1.13: Nghiên cứu mô hình lòng động xói trụ cầu trong sông vùng triều	20
Hình 1.14: Xói trụ cầu dưới tác dụng dòng triều sử dụng Flow-3D[44]	20
Hình 1.15: Công trình thực tế chỉnh trị ổn định lòng dẫn giao thông thủy	21
Hình 1.16: Nghiên cứu bố trí mỏ hàn (ĐCHL) trên mô hình vật lý	23
Hình 1.17: Kết quả mô phỏng 3D trường vận tốc lân cận mỏ hàn	23
Hình 1.18: Mô hình lòng động nghiên cứu bố trí không gian mỏ hàn có chiều dài	
mỏ hàn bằng nhau	23
Hình 1.19: Úng dụng phần mền XOLUTA-01	23
Hình 1.20: Nghiên cứu bố trí công trình mỏ hàn có CHD trên mô hình vật lý	25
Hình 1.21: Trường vận tốc khu vực mỏ hàn có CHD	25
Hình 1.22: Sơ đồ bố trí công trình chỉnh trị sông Cấm (gồm 16 mỏ hàn bố trí hai	
bên) do các chuyện gia Pháp đề xuất và đã được sử dụng	26
Hình 1.23: Hệ thống mỏ hàn ổn định lòng dẫn trên sông Cấm	26
Hình 1.24: Cấu trúc dòng chảy 3D giữa hai mỏ hàn [30]	32
Hình 2.1: Sơ họa các thông số của sóng triều	36
Hình 2.2: Biểu đồ Shieds	38
Hình 2.3: Ảnh hưởng bùn cát không đồng nhất đến chiều sâu xói [51]	40
Hình 2.4: Quan hệ chiều sâu xói d_s với đường kính hạt bùn cát đồng nhất d_{50} . [38]	40
Hình 2.5: Ảnh hưởng đường kính bùn cát đồng nhất đến chiều sâu xói cân bằng	
trong điều kiện dòng triều thuận nghịch [38]	41
Hình 2.6: Phân vùng dòng chảy [26].	42
Hình 2.7: Máng dòng chảy số - thiết lập bằng Flow-3D	46
Hình 2.8: Mặt bằng máng dòng chảy thí nghiệm của Karami [81]	51
Hình 2.9: Các mặt cắt so sánh giữa kết quả thí nghiệm và mô hình toán	52
Hình 2.10: Sơ họa mô hình vật lý và các điều kiện biên của mô hình toán	55
Hình 2.11: Kích thước mô hình	56
Hình 2.12: Tạo lưới tính toán trên Flow-3D của luận án	56
Hình 2.13: Tạo 02 lưới trên *Flow-3D của Hanif Pourshahbaz và nnk, 2017 [42].	57

Hình 2.15: Vận tốc đáy tại các mặt cắt ngang X_1 , X_2 , X_3 và X_4 ($Q_1=0.035$ m³/s).....59 Hình 2.16: Hình dang xói xung quanh khu vực mỏ hàn $(Q_1=0.035 \text{ m}^3/\text{s})$60 Hình 2.17: Xói cục bộ tại các mỏ hàn thứ 1, mỏ hàn thứ 2 và mỏ hàn thứ 360 Hình 2.18: Biến động lòng dẫn giữa kết quả thí nghiệm ($Q_1=0.035m^3/s$) với Flow-3D (LA) của luân án và *Flow-3D của Hanif Pourshahbaz và nnk, 2017 [42]......61 Hình 2.19: Hình dang xói xung quanh khu vực mỏ hàn $(Q_2=0.046m^3/s)$63 Hình 2.20: Kiểm định chiều sâu xói giữa kết quả thí nghiệm ($Q_2=0.046m^3/s$) của Krami và nnk với Flow-3D (LA) của luân án.....64 Hình 2.21: Các nghiên cứu trên máng dòng chảy số.65 Hình 2.22: Cấu trúc dòng chảy 3D xung quanh mỏ hàn đơn......66 Hình 2.23: Cấu trúc dòng chảy 3D xung quanh hệ thống mỏ hàn......66 Hình 2.24: Vận tốc khống chế biên máng dòng chảy số trong Flow-3D......67 Hình 2.25: Mưc nước khống chế biên máng dòng chảy số trong Flow-3D......67 Hình 2.26: Kích thước mô hình máng dòng chảy số (lòng cứng) của mỏ hàn đơn.68 Hình 2.29: Biến động lòng dẫn theo các phương án bố trí không gian hệ thống mỏ hàn khác nhau......69 Hình 2.30: Sơ hoa phát triển hố xói trong khoảng ¼ chu kỳ của triều hình sin.71 Hình 2.31: Biến động thời gian chiều sâu xói trên khoảng ¼ chu kỳ triều của hệ thông mỏ hàn bố trí theo S/L=1.0~3.0.....72 Hình 2.32: Hình dang dòng triều nghiên cứu.....72 Hình 2.33: Kích thước mô hình bố trí hệ thống mỏ hàn trong Flow-3D......73 Hình 2.34: Sơ đồ mặt cắt ngang lấy số liệu (hệ thống mỏ hàn).....74 Hình 3.1: Chiều dài khu nước vật sau mỏ hàn76 Hình 3.2: Đường mặt nước theo phương dọc gần mỏ hàn......77 Hình 3.3: Độ dốc ngang mặt nước ở thượng hạ lưu mỏ hàn......78 Hình 3.4: Cấu trúc dòng chảy 3D của khu nước vật (KNV) tạo ra bởi mỏ hàn đơn Hình 3.5: Quá trình thay đổi lưu tốc khu vực mỏ hàn trong điều kiên dòng triều...79 Hình 3.6: Câu trúc dòng chảy 3D của khu nước vật (KNV) tạo ra bởi mỏ hàn đơn Hình 3.7: Đô dốc mặt nước phương ngang tại Mặt cắt A-A và A'-A' ở......80 Hình 3.9: Trường lưu tốc khu vực mỏ hàn trong điều kiên dòng triều (m/s)83 Hình 3.10: Biến đổi ứng suất tiếp đáy lòng dẫn trong điều kiên dòng triều thuân Hình 3.11: Cường đô rối r (m/s)85

Hình 3.16: Phân bố vận tốc: (1) p/án G45, (3) p/án-G90, (5) p/án-G135......92 Hình 3.19: Cấu trúc khu nước vật (KNV) khác biệt giữa các hệ thống mỏ hàn......95 Hình 3.21: Khu nước vật tạo ra bởi hệ thống mỏ hàn lồi LOI với S/L=1.0~3.098 Hình 3.22: Khu nước vật tạo ra bởi hệ thống mỏ hàn lõm LOM với S/L=1.0~3.0..98 Hình 3.23: Bể rộng khu nước vật và dòng chủ lưu khu vực hệ thống mỏ hàn......100 Hình 3.24: Quan hệ giữa bề rộng khu nước vật (KNV) và bề rộng dòng chủ lưu của hê thống mỏ hàn lõm LOM.....101 Hình 3.25: Chiếu sâu xói cục bộ lớn nhất của mỏ hàn bố trí 2 bên bờ (2B)......102 Hình 3.26: Chiều sâu xói cục bộ lớn nhất của mỏ hàn bố trí 1 bên bờ (1B)......102 Hình 3.27: Biến động lòng dẫn xung quanh mỏ hàn, bố trí 2 bên bờ (2B).....104 Hình 3.28: Biến đông lòng dẫn xung quanh hệ thống mỏ hàn, bố trí ở 1 bên (1B)105 Hình 3.29: Chiều sâu xói trung bình lòng dẫn của hệ thống mỏ hàn lõm LOM bô trí cả 2 bên bờ (2B)109 Hình 3.30: Chiều sâu xói trung bình lòng dẫn của hê thống lõm LOM bố trí ở 1 bên bờ (1B)......109 Hình 3.31: Biến động lòng dẫn khu vực bố trí hệ thống mỏ hàn đối xứng, với mức Hình 3.32: Biến động lòng dẫn khu vực bố trí hệ thống mỏ hàn đối xứng, với mức độ thu hẹp dòng chảy L/B=20%.114 Hình 3.33: Biến động lòng dẫn khu vực bố trí hệ thống mỏ hàn đối xứng, với mức độ thu hẹp dòng chảy L/B=25%.115 Hình 3.34: Biến động lòng dẫn khu vực bố trí hệ thống mỏ hàn đối xứng, với mức độ thu hẹp dòng chảy L/B=30%. [.....116 Hình 3.35: Quan hệ xác định hệ số điều chỉnh độ sâu tính toán ($\Psi_{\%L} \sim K_{\lambda}$) với các phương án bố trí không gian hệ thống mỏ hàn khác nhau (tỷ lệ L/B=20%).119 Hình 4.1: Bố trí chung tuyến luồng vào cảng Hải Phòng122 Hình 4.2: Vị trí khu vực nghiên cứu trên sông Cấm (nguồn Google Earth)......124 Hình 4.3: Phạm vi nghiên cứu từ KM 34+000 đến KM 35+200......124 Hình 4.4: Vị trí các mỏ hàn K5, K6, K7, K8 trên sông Cấm126 Hình 4.6: Tạo khôi lưới tính toán đoạn sông nghiên cứu128 Hình 4.7: Mặt bằng hiện trạng gồm 04 mỏ hàn trên đoạn sông Cấm......130 Hình 4.8: Mặt bằng hệ thống mỏ hàn thắng (THA1.5).....130 Hình 4.9: Mặt bằng bố trí hệ thống mỏ hàn lõm (LOM1.5).130 Hình 4.11: Trường dòng chảy khu vực bố trí hệ thống mỏ hàn......133 Hình 4.13: Phân bố vân tốc theo mặt cắt doc.....134 Hình 4.14: Chiều sâu xói lòng dẫn tại mặt cắt ngang A-A......136 Hình 4.15: Biến động lòng dẫn khu vực hệ thống mỏ hàn137

DANH MỤC BẢNG BIỂU

Bảng 1-1: Các nghiên cứu về mỏ hàn đơn [48]15
Bảng 1-2: Các nghiên cứu về hệ thống mỏ hàn [48]17
Bảng 1- 3: Tổng quát các thông tin mô hình 3D32
Bảng 2-1: Chiều sâu xói cục bộ lớn nhất mũi mỏ hàn của thí nghiệm Karami [81] 51
Bảng 2-2: Phân bố vận tốc đáy khu vực mỏ hàn của thí nghiệm Karami [81]52
Bảng 2-3: So sánh vận tốc khởi động U _{cr} (m/s)53
Bảng 2-4: Vận tốc không xói cho phép (m/s) theo tiêu chuẩn TCVN 4118:198553
Bảng 2-5: Phân tích mật độ lưới57
Bång 2-6: Kích thước lưới lựa chọn57
Bảng 2-7: Phân tích sai số kết quả vận tốc giữa Flow-3D (LA) của luận án với
*Flow-3D của Hanif Pourshahbaz và dữ liệu thí nghiệm59
Bảng 2-8: Phân tích sai số kết quả chiều sâu xói cục bộ của Flow-3d trong luận án
với *Flow-3D của Hanif Pourshahbaz và nnk, 2017[42] và dữ liệu thí nghiệm60
Bảng 2-9: Phân tích sai số kết quả chiều sâu xói61
Bảng 2-10: Kết quả thí nghiệm Karami [81], về chiều sâu xói Q ₂ =0.046m ³ /s)62
.Bảng 2-11: Kiểm định chiều sâu xói cục bộ Flow-3D (LA) và dữ liệu thí nghiệm63
Bảng 2-12: Kết quả kiểm định chiều sâu xói trên Flow-3D (LA) với63
Bảng 2-13: Các thông số lựa chọn tính toán72
Bång 2-14: Kích thước lưới73
Bång 3-1: Trình tự nghiên cứu86
Bảng 3-2: Các phương án bố trí không gian87
Bảng 3-3: Tóm tắt các phương án bố trí theo chiều dài mỏ hàn, ứng với S=1.0L89
Bảng 3-4: Các phương án bố trí công trình (hướng góc 90°)90
Bảng 3-5: Các phương án mô phỏng theo hướng góc mỏ hàn91
Bảng 3-6: Bề rộng khu nước vật và dòng chủ lưu của hệ thống lõm LOM100
Bảng 3-7: Tổng hợp kết quả chiếu sâu xói, bối của các hệ thống mỏ hàn bố trí đối
xứng 2 bên bờ (2B)
Bảng 3-8: Tông hợp kết quả chiếu sâu xói, bối của các hệ thông mỏ hàn bố trí 1
bên bờ (1B)
Bảng 3-9: Chiêu sâu xói trung bình lòng dân theo các mức độ thu hẹp L/B111
Bảng 3-10: So sánh chiêu sâu trung bình xói lòng dân của hệ thông mỏ hàn lõm và
thăng với các mức độ thu hẹp dòng chảy khác nhau112
Bảng 3-11: So sánh chiêu sâu trung bình xói lòng dân của hệ thông mỏ hàn
thăng THA112
Bảng 3-12: Hệ sô điêu chỉnh độ sâu xói và hệ sô biên đôi chiêu dài mỏ hàn
$(\Psi_{\lambda} \sim K_{\lambda})$
Bảng 4-1: Quy mô tuyên luông hàng hải ra/vào cảng khu vực Hải Phòng123
Bảng 4-2: Mực nước ứng với tân suất tại Hòn Dấu125
Bảng 4-3: Mực nước ứng với các tân suất tại trạm Bach Đăng (m)125
Bảng 4-4: Giá trị vận tốc lớn nhật (m/s)135
Bảng 4-5: Biên động đáy lòng dẫn giữa các phương án bổ trí (m)135

CÁC KÝ HIỆU CÔNG THỨC

Ký hiệu	Đơn vị	Mô tả		
С	$[m^{1/2}/s]$	Hệ số Chezy		
d ₅₀	[mm]	Đường kính hạt bùn cát 50% lọt sàng		
γ	[kg/m ³]	Trọng lượng riêng của nước		
γ_{s}	$[kg/m^3]$	Trọng lượng riêng của bùn cát		
S	[m]	Khoảng cách giữa 2 mỏ hàn		
L	[m]	Chiều dài mỏ hàn		
B ₁	[m]	Bề rộng mặt nước đoạn sông tự nhiên		
B ₂	[m]	Bề rộng mặt nước đoạn thu hẹp		
H_1	[m]	Độ sâu dòng chảy đoạn sông tự nhiên		
H_2	[m]	Độ sâu dòng chảy đoạn thu hẹp		
τ_{c}	$[N/m^2]$	Ứng suất tiếp khởi động của bùn cát		
τ_{bo}	$[N/m^2]$	Ứng suất tiếp lòng sông đoạn chưa thu hẹp		
ν	$[cm^2/s]$	Hệ số nhớt động học của chất lỏng		
R	[-]	Bán kính thủy lực		
λ	[-]	Hệ số bố trí không gian		
n	[-]	Hệ số nhám		
g	$[m/s^2]$	Gia tốc trọng trường		
η_{θ}	[-]	Hệ số bố trí theo hướng góc		
$\Psi_{\%L}$	[-]	Hệ số điều chỉnh độ sâu		
K_{λ}	[-]	Hệ số biến đổi chiều dài mỏ hàn		

DANH MỤC CÁC KÝ HIỆU VIẾT TẮT VÀ THUẬT NGỮ

1. Danh mục các ký hiệu viết tắt

ÐBBB	Đồng bằng Bắc Bộ				
ÐBNB	Đồng bằng Nam Bộ				
ÐCHL	Đảo chiều hoàn lưu				
ÐLHDS	Động lực học dòng sông				
KH-CN	Khoa học công nghệ				
NCS	Nghiên cứu sinh				
MHT	Mô hình toán				
MHVL	Mô hình vật lý				
1D	One - Dimensional				
2D	Two - Dimensional				
3D	Three - Dimensional				
RANS - <u>R</u> eynold <u>A</u> varaged <u>N</u> avier <u>S</u> tokes: Mô hình họ RANS					
SW - <u>S</u> hallow <u>W</u> ater: Mô hình họ SW					
RNG	Renormalized Group				
FAVOR	Fractional Region - Volume Obstacle Representation				

2. Giải thích các thuật ngữ

"Khu nước vật" là dòng xoáy trục đứng được hình thành do tác dụng lái dòng của mỏ hàn.

"Hệ thống mỏ hàn lõm LOM" là hệ thống bố trí với các mỏ hàn có chiều dài không bằng nhau, sắp xếp giảm dần lõm vào giữa hệ thống.

"Hệ thống mỏ hàn lồi LOI" là hệ thống bố trí với các mỏ hàn có chiều dài không bằng nhau, sắp xếp tăng dần lồi vào giữa hệ thống.

"Hệ thống mỏ hàn thẳng THA" là hệ thống bố trí với các mỏ hàn có chiều dài bằng nhau, sắp xếp thẳng nhau trong hệ thống.

MỞ ĐẦU

1. TÍNH CẤP THIẾT CỦA ĐỀ TÀI

Vùng cửa sông ven biển là vùng đất bằng phẳng, màu mỡ, dân cư đông đúc, công – nông nghiệp phát triển, giao thông thủy – bộ tấp nập, là cửa ngõ giao lưu đối ngoại quan trọng. Vì vậy, chỉnh trị và khai thác vùng cửa sông có ý nghĩa quan trọng trong chiến lược phát triển bền vững kinh tế – xã hội và môi trường của mỗi Quốc gia, được quan tâm ngày càng lớn trong hoạt động khoa học và công nghệ.

Theo tài liệu của Cục Hàng Hải Việt Nam [1], hiện nay cả nước ta có 46 tuyến luồng hàng hải, 33 luồng hàng hải chuyên dùng vào các cảng biển. Bến cảng biển phân bố dọc bờ biển từ Bắc xuống Nam, trong đó phần lớn các cảng biển để tránh tác động trực tiếp của sóng biển nên đã được xây dựng trong các cửa sông, thậm chí vào khá sâu trong nội địa (như cảng Hải Phòng có tuyến luồng dài 81,6 km; luồng vào cảng Soài Rạp dài 54km; luồng vào cảng Cần Thơ dài 103,1km...). Vì vậy, nhiều tàu biển lớn vào các cảng gặp khó khăn do tuyến luồng lạch thường xuyên bị bồi lắng. Để duy trì chiều sâu các tuyến luồng lạch, hàng năm phải nạo vét duy tu với kinh phí lớn. Tuy nhiên, mỗi năm chỉ có thể nạo vét khoảng 15-20 tuyến luồng quan trọng với kinh phí lên đến gần 1000 tỷ đồng.

Để phục vụ chạy tàu và thoát lũ, ngoài giải pháp nạo vét, trên thế giới từ thế kỷ XIX cho đến nay đã và đang áp dụng nhiều giải pháp đảm bảo ổn định luồng lạch trong đó sử dụng rộng rãi hệ thống mỏ hàn chỉnh trị luồng lạch đường thủy cho tàu có trọng tải hàng chục ngàn tấn, như luồng tàu trên 30km ở sông Mississippi (Mỹ), luồng tàu dài hàng trăm cây số trên sông Rhine (Tây Âu), luồng tàu dài hơn 50km trên cửa sông Dương Tử (Trung Quốc)...

Ở Việt Nam, hệ thống mỏ hàn được sử dụng trong công trình chỉnh trị sông vùng không ảnh hưởng triều từ đầu thế kỷ 20 ở nhiều hệ thống sông trên cả nước trong đó phổ biến trên các con sông đồng bằng Bắc Bộ, đặc biệt là trên hệ thống sông Hồng. Các thành tựu được đúc rút qua nghiên cứu và thực tiễn về bố trí không gian hệ thống mỏ hàn trên sông, đã xác định được các tham số bố trí về chiều dài

1

mỏ hàn được thiết kế phù hợp tuyến chỉnh trị, về khoảng cách giữa các mỏ hàn đều có công thức xác định phụ thuộc theo bề rộng lòng sông, bán kính cong của đoạn sông cần chỉnh trị, thể hiện ở tiêu chuẩn thiết kế hiện hành TCVN 8419÷2010 (thiết kế công trình bảo vệ bờ sông để chống lũ) [24]. Những kết quả khoa học công nghệ này giúp cho các nhà thiết kế dễ dàng áp dụng hệ thống mỏ hàn vào thực tế. Tuy nhiên, trên sông ảnh hưởng triều việc ứng dụng hệ thống mỏ hàn vẫn còn khá khiêm tốn, nguyên nhân chủ yếu do thiếu cơ sở lý luận, thiếu các tiêu chuẩn, hướng dẫn kỹ thuật công trình chỉnh trị dạng mỏ hàn, dẫn đến khi quy hoạch hay thiết kế công trình mỏ hàn ở sông vùng ảnh hưởng triều gặp rất nhiều khó khăn. Hầu như chúng ta phải suy dẫn từ tiêu chuẩn thiết kế công trình chỉnh trị trên sông không ảnh hưởng triều một cách gượng ép, thậm chí bỏ qua các yếu tố dòng triều. Từ đó hiệu quả công trình mỏ hàn rất bị hạn chế, trong khi nhu cầu chỉnh trị chống sa bồi cho giao thông thủy trên sông vùng ảnh hưởng triều ở nước ta là vô cùng cần thiết đến phát triển kinh tế xã hội [1].

Một ví dụ điển hình về khó khăn khi áp dụng thực tiễn hệ thống mỏ hàn trên sông vùng ảnh hưởng triều, có thể nhắc đến dự án "Xây dựng công trình chỉnh trị luồng sông Cấm" mặc dù quy mô và khối lượng công trình của dự án không lớn, nhưng do thiếu cơ sở khoa học và kinh nghiệm chỉnh trị trên sông ảnh hưởng triều nên Chủ đầu tư (Bộ GTVT) đã phải quyết định triển khai xây dựng theo 03 bước trong thời gian 06 năm (1991-1996). Hiệu quả thu được từ việc xây dựng hệ thống mỏ hàn là có ý nghĩa lớn trên cả phương diện nghiên cứu chỉnh trị cũng như khía cạnh kinh tế - kỹ thuật. Nhưng từ thiết kế áp dụng vào thực tiễn phải xây dựng triển khai thành nhiều bước trong khoảng thời gian dài mới đạt mục tiêu chỉnh trị. Điều này nói lên, công trình mỏ hàn còn gặp nhiều khó khăn khi áp dụng thực tiễn trên

Thực tế cho thấy, nếu hệ thống mỏ hàn được bố trí hợp lý sẽ có tác dụng dẫn hướng dòng chảy, gia tăng hiệu quả xói sâu lòng dẫn thuận lợi cho giao thông thủy, ngược lại nếu bố trí hệ thống mỏ hàn không đúng quy cách, bố trí không tuân theo quy luật dòng chảy thì không thể đạt được những tác dụng cần thiết, có thể còn gây ra sự cố [9]. Hiện nay, trên thế giới và Việt Nam các nghiên cứu chủ yếu tập trung về bố trí không gian hệ thống mỏ hàn trên sông có dòng đơn hướng, mà hầu như chưa có nghiên cứu cụ thể nào về bố trí không gian hệ thống mỏ hàn trên sông vùng ảnh hưởng triều có dòng chảy thuận nghịch. Vì vậy, việc nghiên cứu tác động bố trí không gian hệ thống mỏ hàn đến cấu trúc dòng chảy và hiệu quả xói sâu lòng dẫn trên sông ảnh hưởng triều tạo thuận lợi cho giao thông thủy, nhằm tiết kiệm chi phí nạo vét là một vấn đề mang tính cấp thiết. Kết quả nghiên cứu sẽ là cơ sở khoa học quan trọng cho việc áp dụng một cách hiệu quả dạng công trình này trên sông vùng ảnh hưởng triều ở nước ta.

Đó chính là lý do nghiên cứu sinh (NCS) lựa chọn đề tài luận án: "Nghiên cứu tác động của bố trí không gian hệ thống mỏ hàn đến đoạn sông vùng ảnh hưởng triều".

2. MỤC TIÊU CỦA LUẬN ÁN

 Làm rõ được cấu trúc dòng chảy và biến động lòng dẫn khi bố trí mỏ hàn chỉnh trị trong điều kiện có sự tương tác của dòng chảy thuận nghịch ở đoạn sông vùng ảnh hưởng triều.

- Đề xuất được bố trí không gian hệ thống mỏ hàn chỉnh trị phù hợp cho đoạn sông vùng ảnh hưởng triều, nhằm hạn chế bồi lấp và gia tăng hiệu quả xói sâu lòng dẫn, phục vụ giao thông thủy.

3. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHẠM VI NGHIÊN CỨU

3.1. Đối tượng nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu của luận án là cấu trúc dòng chảy và biến động lòng dẫn khu vực lân cận hệ thống mỏ hàn chỉnh trị ở đoạn sông vùng ảnh hưởng triều.

3.2. Phạm vi nghiên cứu

Trong thực tế, công trình mỏ hàn không chỉ được xây dựng tại cửa sông mà còn được xây dựng phía bên trong cửa sông (đoạn sông vùng ảnh hưởng triều). Do đó, luận án lựa chọn phạm vi nghiên cứu, như sau:

- Luận án nghiên cứu ảnh hưởng của hệ thống mỏ hàn chỉnh trị ở đoạn sông vùng ảnh hưởng triều, chế độ nhật triều với hình dạng triều đều, không đề cấp đến tác động của hình dạng triều ngẫu nhiên.

- Luận án không xét đến ảnh hưởng của sóng mà chỉ đề cập đến dòng chảy ảnh hưởng triều có hướng thuận nghịch.

- Hệ thống mỏ hàn nghiên cứu bao gồm 05 mỏ hàn, được bố trí ở đoạn sông có lòng

dẫn thẳng phía trong cửa sông. Các mỏ hàn có kết cấu đặc, hoạt động ở trạng thái chảy không ngập với mục đích hạn chế bồi lấp và gia tăng xói sâu lòng dẫn.

4. CÁCH TIẾP CẬN VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

4.1. Cách tiếp cận

Luận án đã tổng hợp, phân tích các kết quả nghiên cứu trong nước và thế giới về cấu trúc dòng chảy và biến động lòng dẫn xung quanh công trình mỏ hàn chỉnh trị sông nói chung và chỉnh trị sông vùng ảnh hưởng triều. Cách tiếp cận này mang tính kế thừa và phát triển các kết quả nghiên cứu mới về ảnh hưởng của bố trí không gian hệ thống mỏ hàn chỉnh trị sông cho đoạn sông vùng ảnh hưởng triều ở khu vực Bắc Bộ, Việt Nam.

4.2. Các phương pháp sử dụng trong luận án

- Phương pháp phân tích, tổng hợp, thống kê: kế thừa có chọn lọc các tài liệu, các công trình nghiên cứu có liên quan mật thiết với luận án, sử dụng các số liệu thí nghiệm đã được công bố trên thế giới về cấu trúc dòng chảy và biến động lòng dẫn xung quanh công trình mỏ hàn để hiệu chỉnh và kiểm định cho mô hình toán... Từ đó chỉ ra những điểm còn tồn tại, hạn chế trong các nghiên cứu hiện nay;

- Phương pháp mô hình toán: kiểm định và hiệu chỉnh mô hình toán với một số kết quả thí nghiệm mô hình vật lý. Sử dụng mô hình đã kiểm định để tính toán cho các kịch bản mở rộng nhằm nghiên cứu làm rõ tương tác dòng chảy với công trình mỏ hàn và bố trí không gian hệ thống mỏ hàn đến hiệu quả xói sâu lòng dẫn;

- Phương pháp chuyên gia: tổ chức hội thảo, tiếp thu ý kiến các nhà khoa học ở các chuyên ngành liên quan để hoàn thiện nội dung nghiên cứu đề ra trong luận án.

5. Ý NGHĨA KHOA HỌC VÀ THỰC TIỄN CỦA LUẬN ÁN

5.1. Ý nghĩa khoa học

Nghiên cứu chỉnh trị sông ở vùng sông ảnh hưởng triều là một lĩnh vực nghiên cứu khoa học phức tạp do phải xét đến: dòng chuyển động rối 3 chiều (3D), 3 pha hỗn hợp mặn, ngọt, rắn, dòng chảy 2 chiều thuận nghịch... đây môi trường tương tác phức tạp của các yếu tố thủy động lực, biến động theo không gian và thời gian.

Một vấn đề mà các nhà nghiên cứu cũng như các chuyên gia tư vấn gặp khó khăn là cấu trúc dòng chảy và cơ chế tương tác giữa dòng chảy và công trình... Trước đây, cách làm thông thường là sử dụng đại lượng lưu lượng tạo lòng (Q_{tl}) thay thế cho dòng chảy thực tế để đơn giản hóa tính toán khi thiết kế các công trình chỉnh trị cửa sông. Cho đến nay các nhà khoa học trên thế giới thường trực tiếp nghiên cứu cấu trúc dòng chảy (V, H) khi nghiên cứu về diễn biến lòng dẫn. Đây là vấn đề khó mà các nghiên cứu vẫn đang tập trung làm sáng tỏ. Tuỳ vào mục tiêu chỉnh trị mà đặt ra các vấn đề nghiên cứu theo nhiều hướng khác nhau. Từ việc hiểu rõ chế độ thủy động lực sông vùng ảnh hưởng triều, người nghiên cứu mới có thể đề ra các giải pháp chỉnh trị có tính khoa học và thực tiễn.

Ý nghĩa khoa học của luận án là đã làm sáng tỏ cấu trúc dòng chảy lận cận mỏ hàn và hệ thống mỏ hàn trên sông vùng ảnh hưởng triều, từ đó đưa ra các đề xuất mang tính khoa học về bố trí không gian hệ thống mỏ hàn phù hợp, tăng hiệu quả chỉnh trị của hệ thống mỏ hàn.

5.2. Ý nghĩa thực tiễn

Việc khai thác các luồng lạch hiện nay đang gặp rất nhiều khó khăn do hiện tượng bồi lắng. Hiện tại, giải pháp chủ yếu là nạo vét luồng, tuy nhiên việc chỉ thực hiện nạo vét trong việc tạo ra tuyến luồng có độ sâu ổn định là rất hạn chế. Vì vậy, nghiên cứu lựa chọn giải pháp chỉnh trị, ổn định luồng lạch bằng hệ thống mỏ hàn, qua đó hạn chế bồi lắng, duy trì chiều sâu lòng dẫn, tiết kiệm chi phí nạo vét duy tu hàng năm. Giải pháp được nghiên cứu có tính khả thi, phù hợp với điều kiện kinh tế hiện nay của nước ta. Kết quả nghiên cứu của luận án có thể được áp dụng, tham khảo khi thiết kế hệ thống mỏ hàn chỉnh trị sông, phục vụ giao thông thủy đối với các đoạn sông vùng ảnh hưởng triều.

6. NHỮNG ĐÓNG GÓP MỚI CỦA LUẬN ÁN

(1) Mô tả chi tiết được cấu trúc dòng chảy (đường mặt nước, vận tốc dòng chảy, ứng suất tiếp đáy và cường độ rối) và cơ chế tương tác giữa dòng chảy với công trình mỏ hàn đơn trong đoạn sông vùng ảnh hưởng triều có dòng chảy thuận nghịch.

(2) Luận án đã đề xuất được giải pháp bố trí không gian hệ thống mỏ hàn lõm LOM với các mỏ hàn có chiều dài không bằng nhau đã tạo ra tác dụng xói sâu lòng dẫn, duy trì giao thông thủy.

7. CÂU TRÚC VÀ NỘI DUNG CỦA LUẬN ÁN

Ngoài phần mở đầu và kết luận, tài liệu tham khảo, nội dung chính của luận

án được trình bày theo bốn chương như sau:

Chương 1: Tổng quan tình hình nghiên cứu về công trình mỏ hàn. Nội dung của chương là tổng quan tình hình nghiên cứu công trình mỏ hàn trên thế giới và trong nước, đánh giá được những thành tựu cũng như các tồn tại trong các nghiên cứu có liên quan đến bố trí không gian hệ thống mỏ hàn, từ đó định hướng các vấn đề nghiên cứu của luận án.

Chương 2: Cơ sở khoa học và phương pháp nghiên cứu.

Nội dung của chương thể hiện gồm: (i) về cơ sở khoa học, đề cập chi tiết phương trình truyền triều và các quá trình vật lý ảnh hưởng đến hiệu quả chỉnh trị của công trình mỏ hàn; (ii) về phương pháp MHT, luận án lựa chọn sử dụng máng dòng chảy số họ RANS bằng mô hình Flow-3D được hiệu chỉnh, kiểm định với các số liệu thí nghiệm MHVL của tác giả Karami, từ đó thiết lập máng dòng chảy số lòng cứng và máng dòng chảy số lòng động nhằm thực hiện các phân tích cấu trúc dòng chảy và chiều sâu xói lòng dẫn theo các giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn.

Chương 3: Kết quả nghiên cứu về đặc tính thủy lực và hiệu quả của hệ thống mỏ hàn trong chỉnh trị đoạn sông vùng ảnh hưởng triều.

Nội dung chương 3 thể hiện các kết quả nghiên cứu gồm: (i) kết quả nghiên cứu đặc tính thủy lực dòng chảy xung quanh khu vực mỏ hàn đơn; (ii) kết quả nghiên cứu tác động của hướng góc mỏ hàn đến khả năng xói sâu lòng dẫn; (ii) kết quả nghiên cứu giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn với chiều dài mỏ hàn không bằng nhau đến cấu trúc dòng chảy và chiều sâu xói lòng dẫn; (iii) kết quả nghiên cứu ảnh hưởng mức độ thu hẹp chiều rộng dòng chảy do bố trí mỏ hàn đến khả năng xói sâu lòng dẫn; (iv) kết quả nghiên cứu tính toán tác động của hệ thống mỏ hàn đến khả năng xói sâu lòng dẫn.

Chương 4: Ứng dụng kết quả nghiên cứu vào công trình thực tế.

Nội dung chương 4 thể hiện các kết quả nghiên cứu gồm: (i) áp dụng các giải pháp bố trí không gian hệ thống mỏ hàn của luận án đề xuất vào đoạn sông Cấm; (ii) Phân tích cấu trúc dòng chảy xung quanh các giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn; (iii) Đánh giá hiệu quả tương đối giữa các giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn trên đoạn sông Cấm.

CHƯỜNG 1. TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU VỀ BỐ TRÍ KHÔNG GIAN HỆ THỐNG MỎ HÀN – ĐỊNH HƯỚNG CÁC VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU CỦA LUẬN ÁN

1.1. GIỚI THIỆU CHUNG

Nghiên cứu chỉnh trị sông ở vùng sông ảnh hưởng triều luôn được đông đảo các nhà khoa học quan tâm nghiên cứu. Cho đến nay khu vực này còn nhiều vấn đề phức tạp chưa được làm rõ, đặt biệt là cấu trúc dòng chảy thuận nghịch và vận chuyển bùn cát xung quanh công trình mỏ hàn [3, 17]. Chương này trình bày tổng quan các nghiên cứu đã thực hiện về bố trí không gian hệ thống mỏ hàn, từ đó đưa ra những vấn đề nghiên cứu tiếp của luận án. Trước khi trình bày tổng quan thì những khái niệm, cơ chế tương tác dòng chảy và công trình mỏ hàn chỉnh trị cho đoạn sông ảnh hưởng triều được đề cập trong các mục 1.1.1 đến 1.1.4.

1.1.1. Khái niệm vùng sông ảnh hưởng triều

Vùng sông ảnh hưởng triều là đoạn sông có cửa thông ra biển chịu ảnh hưởng mạnh của thủy triều, xuất hiện dòng chảy ra vào theo 2 hướng thuận nghịch một cách có chu kỳ: lúc triều dâng, dòng chảy đi ngược về thượng lưu sông; lúc triều hạ, dòng chảy từ sông đổ ra biển.

1.1.2. Dòng chảy, diễn biến lòng sông vùng ảnh hưởng triều

Dòng chảy trong sông vùng ảnh hưởng triều thuộc loại dòng chảy thuận nghịch, có tính chu kỳ [8].

Sau khi đi vào cửa sông, dòng triều chịu sự hạn chế của bờ sông, gặp phải sức cản của dòng chảy sông, biến thành dòng chảy thuận nghịch, vào đất liền, ra biển, mỗi ngày 2 lần hoặc 1 lần. Loại dòng chảy này có mực nước và lưu tốc biến đổi theo thời gian, thuộc dòng chảy không ổn định, đường cong quá trình mực nước và lưu tốc được thể hiện trên Hình 1.1.



Hình 1.1: Đường quá trình mực nước – vận tốc dòng triều [8].

Dòng chảy trong sông vùng ảnh hưởng triều chịu ảnh hưởng của sóng triều biển nông, hàng ngày lên xuống một cách có chu kỳ: lúc triều dâng, dòng chảy đi ngược về thượng lưu sông: lúc triều hạ, dòng chảy từ sông đổ ra biển. Trong quá trình triều dâng, hạ, dòng chảy đổi hướng thuận nghịch, mực nước và lưu tốc đều biến đổi theo thời gian.



Hình 1.2: Quá trình thay đổi mực nước và lưu tốc ở 4 giai đoạn dòng triều [8].

Trong tình hình chung, quá trình biến đổi của mực nước và lưu tốc trong một chu kỳ triều diễn ra như Hình 1.2 thể hiện:

a) Dòng nước chảy xuôi lúc triều dâng:

Triều bắt đầu dâng, mực nước biển tăng lên làm cho mặt nước cửa sông đang dốc ra biển sẽ thoải dần, thậm chí gần bằng không, nhưng dòng nước trong cửa sông vẫn tiếp tục chảy hướng ra biển theo tác dụng của lực quán tính. Tất nhiên, lưu tốc còn lại đã rất nhỏ. Trạng thái này gọi là dòng nước chảy xuôi lúc triều dâng.

Trong trạng thái đó, trên trục đứng có thể xuất hiện dòng chảy phân lớp với 2 hướng ngược nhau: Lớp trên, dòng chảy đi xuôi ra biển; lớp dưới, dòng chảy đi ngược vào sông (xem Hình 1.2a).

Xét trên mặt cắt ngang, ở vùng sát bờ và đáy do lưu tốc nhỏ, tác dụng của lực quán tính yếu hơn nên nước dâng sớm hơn. Còn ở vùng chủ lưu, vận tốc lớn, tác dụng của lực quán tính mạnh hơn nên nước sẽ dâng muộn hơn.

b) Dòng nước chảy ngược lúc triều dâng:

Theo sự dâng lên không ngừng của thủy triều, độ dốc mặt nước nghiêng dần vào sông. Đến lúc dòng chảy xuôi vượt qua điểm dừng, nước trên toàn bộ mặt cắt sẽ chuyển động ngược về thượng lưu sông. Trạng thái này gọi là dòng nước ngược lúc triều dâng (xem Hình 1.2b).

c) Dòng nước chảy ngược lúc triều rút:

Sau khi dòng chảy ngược tiến sâu vào cửa sông được một khoảng cách nhất định, mực nước trong sông bị kéo xuống từ phía biển. Lúc này, độ dốc ngược của mặt nước sông thoải dần, lưu tốc dòng chảy ngược cũng giảm dần, nhưng dưới tác dụng của lực quán tính, dòng chảy ngược vẫn tiếp tục được duy trì. Trạng thái này gọi là dòng nước chảy ngược lúc triệu rút (xem Hình 1.2c).

Trong trạng thái này, trên mặt cắt ngang dòng chảy ở vùng gần bờ và đáy có lưu tốc nhỏ, lực quán tính yếu, nên rút về xuôi trước. Ở vùng chủ lưu, lưu tốc lớn, tác dụng của lực quán tính mạnh, nên nước rút về xuôi chậm hơn.

d) Dòng nước chảy xuôi lúc triều rút:

Mực nước triều tiếp tục hạ thấp, độ dốc mặt nước nghiêng dần ra biển. Dòng

chảy ngược sau khi vượt qua điểm dừng, nước trên toàn bộ mặt cắt ngang đều chảy xuôi về biển. Trạng thái này gọi là dòng chảy xuôi lúc, triều hạ, (xem Hình 1.2d).

Trong bốn tình huống nói trên, do tác dụng tăng tốc và giảm tốc, phương của dòng chảy có lúc không trùng với độ dốc mặt nước. Như trong giai đoạn triều hạ, nước chảy ngược, độ dốc mặt nước đã gần bằng 0 mà dòng chảy vẫn hướng ngược về thượng lưu, giai đoạn triều dâng, nước chảy xuôi cũng có hiện tượng tương tự.

Nhưng từ biên giới dòng triều trở lên, không tồn tại dòng chảy ngược. Vùng biển ngoài cửa sông, từ dòng chảy thuận nghịch chuyển sang dòng xoay chiều. Những vùng đó, không tồn tại 4 giai đoạn dòng chảy kể trên.

1.1.3. Phân loại công trình mỏ hàn

Công trình mỏ hàn có kết cấu đơn giản, gốc nối với bờ, mũi nhô ra trong dòng chảy, có tính năng thu hẹp lòng sông, điều chỉnh hướng dòng chảy có thể sử dụng với mục đích bảo vệ bờ, duy trì giao thông thủy hay tạo ra tuyến sông mới. Công trình mỏ hàn có thể phân loại như sau:

 (a) Theo tính thấm: có thể chia ra gồm mỏ hàn đặc và mỏ hàn cho nước xuyên qua, như Hình 1.3(a).

(b) Theo mức độ ngập nước: có mỏ hàn ngập và không ngập, Hình 1.3(b).

(c) Theo góc lệch so với phương dòng chảy: gồm có mỏ hàn hướng xuôi, mỏ hàn hướng ngược và mỏ hàn hướng vuông góc, Hình 1.3(c).

(d) Theo hình dạng công trình: có thể chia mỏ hàn ra các loại đường thẳng, hình chữ L, hình chữ T và hình khúc côn cầu, Hình 1.3(d).



10

1.1.4. Các tham số bố trí không gian hệ thống mỏ hàn

Bố trí hệ thống mỏ hàn có liên quan đến các tham số bố trí chủ yếu như: hướng góc (góc xiên giữa mỏ hàn và phương dòng chảy), chiều dài mỏ hàn, khoảng cách giữa các mỏ hàn và cao trình đỉnh mỏ hàn (Richardson và nnk [56]; Alvareg [78]; Przedwojski và nnk [54]; USACE [63]) thể hiện Hình 1.4.



Hình 1.4: Sơ họa bố trí hệ thống mỏ hàn, USACE [63].

1.1.4.1. Tham số hướng góc mỏ hàn

Hướng góc của mỏ hàn có tác động nhất định đến xói bồi lòng dẫn. Mỏ hàn có thể được đặt vuông góc, hoặc hướng ngược hoặc hướng xuôi về thượng lưu hay hạ lưu.



Hình 1.5: Mỏ hàn với các hướng góc α khác nhau

Các mỏ hàn hướng ngược còn được gọi là mỏ hàn nắn dòng do tác dụng đẩy hướng dòng chảy ra xa khỏi công trình (Hình 1.5a). Ngược lại, mỏ hàn hướng xuôi còn được gọi là mỏ hàn đón, thu hút dòng chảy tập trung về phía công trình (Hình 1.5c). Để đạt được hiệu quả chỉnh trị cao thì cần phải bố trí một số mỏ hàn lập thành một hệ thống công trình chỉnh trị.

Theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 8419:2010 [24] công trình thủy lợi – thiết kế công trình bảo vệ bờ sông để chống lũ, hướng góc mỏ hàn trên sông có dòng chảy đơn hướng nên bố trí trong khoảng từ 65° đến 80°.

1.1.4.2. Tham số chiều dài mỏ hàn

Chiều dài mỏ hàn phụ thuộc vào vị trí bố trí công trình, mục đích xây dựng, khoảng cách mỏ hàn và chỉ tiêu hiệu quả kinh tế, độ rộng sông, điều kiện địa hình, địa chất lòng sông và đặc trưng thủy văn.

Mỏ hàn bảo vệ bờ tương đối ngắn, đoạn bờ sông được mỗi mỏ hàn bảo vệ ít nhất là bằng 3~4 lần độ dài hình chiếu mỏ hàn lên trục vuông góc với dòng chảy.

Trong chỉnh trị sông phục vụ giao thông thủy, trước hết cần xác định độ rộng và hướng đi tuyến chỉnh trị mới có thể xác định được độ dài mỏ hàn.

1.1.4.3. Tham số khoảng cách giữa các mỏ hàn

Khi bố trí các mỏ hàn theo các cách khác nhau, trạng thái chảy trong mỗi cách cũng có sự khác biệt. Nếu các mỏ hàn đặt rất xa nhau, mỏ hàn hạ lưu bố trí ngoài phạm vi ảnh hưởng có hiệu quả mỏ hàn thượng lưu thì khu nước vật nhỏ hơn khoảng cách giữa hai mỏ hàn lúc này tác động giữa hai mỏ hàn không liên quan đến nhau, tác dụng của mỏ hàn đối với dòng chảy cũng tương tự như trường hợp mỏ hàn đơn lẻ (Hình 1.6a). Khi khoảng cách giữa hai mỏ hàn giảm dần đến bằng chiều dài khu nước vật, đường phân chia ranh giới giữa dòng chủ lưu và khu nước vật dường như là đường mép đầu mũi mỏ hàn và song song với đường bờ (Hình 1.6b).



Hình 1.6: Tác động của khoảng cách giữa các mỏ hàn đối với khu nước vật Theo tiêu chuẩn Việt Nam TCVN 8419:2010 khuyến cáo nên chọn khoảng cách giữa hai mỏ hàn có thể xác định như sau:

Khi $R \ge (5 \sim 6)B$; chọn $S=(3 \div 4).L.sin\alpha$; (1-1)

Khi R <
$$(5 \sim 6)$$
B; chọn S= $(2 \div 3)$.L.sin α ; (1-2)

Khi bên bờ lồi: chọn S= $(5 \div 8)$.L.sin α . (1-3)

Trong đó: S – là khoảng cách giữa hai mỏ hàn (m); L – chiều dài mỏ hàn ở thượng lưu (m); α - góc của mỏ hàn với dòng chảy; R - là bán kính cong bờ lõm





Hình 1.7: Sơ họa khoảng cách giữa các mỏ hàn

Theo Fenwick [41] đề nghị S= $(2\div2,5)L$ cho điều chỉnh dòng chảy và S= 3L cho bảo vệ bờ, ở đây L là chiều dài mỏ hàn, S là khoảng cách giữa hai mỏ hàn. Tác giả Richard-son và Simons [62] đề nghị S= $(4,0\div6,0)L$ đoạn sông thẳng, S= $(3\div4,0)L$ đoạn sông cong. Tác giả Copeland [80] lấy S=3,0L để bảo vệ bờ. USACE [63], Watson và nnk.1999 [66], Yossef 2002 [67] đề nghị lấy S= $(2,0\div6,0)L$.

Theo tài liệu [11] chỉ dẫn của Anh thường lấy S= $(1\div1,5)L$, ở Mỹ dùng S=1,5L, Nhật Bản áp dụng S= $(1,7\div2,3)L$ cho đoạn sông thẳng; S= $(1,4\div1,8)L$ ở bờ lõm; S= $(2,8\div3,6)L$ ở bờ lồi. Các học giả Liên Xô cũ cho rằng, trên đoạn sông thẳng S= $(2\div3)L$; trên bờ lõm S= $(1\div2)L$; trên bờ lồi S= $(3\div4)L$. Khoảng cách này có thể tối ru trên mô hình vật lý. Sơ họa khoảng cách giữa các mỏ hàn xem Hình 1.7.

Từ các nghiên cứu trên cho thấy, bố trí khoảng cách giữa các mỏ hàn cho kết quả cách xa nhau nằm trong khoảng $S=(1\div6)L$.

1.1.4.4. Cao trình đỉnh mỏ hàn

Đối với mỏ hàn bảo vệ bờ, độ dốc cao trình đỉnh mỏ hàn được đề xuất bởi Alvarez [78] với độ dốc từ 1:10 đến 1:4 do ưu điểm của chúng là giảm xói cục bộ đầu mỏ hàn, tiết kiệm vật liệu cần cho xây dựng, lắng đọng bùn cát nhanh hơn trong khu vực giữa các mỏ hàn. Đối với mục tiêu giao thông thủy, mỏ hàn có cao trình đỉnh bằng nhau hoạt động tốt nhất với hướng góc nghiêng về phía hạ lưu. Trong khi đó, mỏ hàn có cao trình đỉnh có độ dốc làm việc tốt nhất ở hướng góc nghiêng phía thượng lưu, Richardson [56].

1.2. TÔNG QUAN CÁC NGHIÊN CỨU TRÊN THẾ GIỚI VỀ CÔNG TRÌNH Mỏ HÀN

Trong công trình chỉnh trị để ổn định lòng dẫn giao thông thủy, mỏ hàn là một trong những công trình được dùng rộng rãi. Trên các sông như Elbe, Dunai, Rhine, Mississippi... là những sông vận tải thủy nổi tiếng thế giới, đã sử dụng hệ thống mỏ hàn rất hiệu quả để ổn định lòng dẫn. Trên Hình 1.8 là ví dụ minh họa trực quan một số công trình mỏ hàn chỉnh trị các sông ở châu Âu.







1.2.1. Các nghiên cứu về mỏ hàn trên sông, dòng đơn hướng

1.2.1.1. Các nghiên cứu về mỏ hàn đơn

Nghiên cứu sớm nhất về mỏ hàn đơn có thể nhắc đến Ahmad (1953) với các nghiên cứu về xói gây ra do mỏ hàn trong lòng dẫn là cát, từ đó đưa ra một số kết luận quan trọng liên quan đến ảnh hưởng các thông số đến chiều sâu xói cục bộ lớn nhất. Trong những năm qua với phát triển công nghệ số và trang thiết bị thí nghiệm, một số lượng lớn các nghiên cứu có chất lượng tốt đã tập trung làm rõ vận chuyển bùn cát và trường dòng chảy xung quanh mỏ hàn đơn và các công trình tương tự mỏ hàn như trụ cầu... có thể tìm thấy trong các nghiên cứu của Zhang và Nakagawa [69]; Vaghefi và nnk [75]; Elsaiad[37].

Tác dụng của mỏ hàn đơn lẻ chỉ ảnh hưởng cục bộ đến chế độ dòng chảy và lòng dẫn sông nên ít được sử dụng trong thực tế. Theo Bảng 1-1 thể hiện tổng quan các công trình nghiên cứu cho loại mỏ hàn đơn. Trong bảng này, đối với từng điều kiện nghiên cứu thí nghiệm, thiết bị đo đạc và các kết quả chính của nghiên cứu đã được giới thiệu.

Các nghiên cứu mỏ hàn đơn						
Năm	Tác giả	Loại mỏ hàn		Điều kiện lòng dẫn	Các thông số nghiên cứu	Kết quả nghiên cứu
1983	(Rajaratnam và Nwachukwu)	Mỏ hàn đơn, kết cấu đặc	Cả ngập nước và không ngập	Đáy bằng, lòng cứng	Vận tốc, ứng suất cắt, đường mặt nước	Nghiên cứu dòng chảy và ứng suất cắt xung quanh mỏ hàn đơn
1992	(Muneta, Shimizu et al.)	Mỏ hàn đơn	Không ngập	Đáy bằng, lòng cứng	Vận tốc	Nghiên cứu dòng chảy xung quanh mỏ hàn
2002	(Kuhnle, Alonso et al.)	Mỏ hàn đơn, góc $40^{\circ}, 90^{\circ}, 135^{\circ}$	Ngập	Lòng động (D ₅₀ =0.3mm)	Vận tốc, mực nước, ứng suất	Nghiên cứu phạm vi hố xói
2008	(Kuhnle, Jia et al.)	Mỏ hàn đơn, mô phỏng số CCHE3D	Ngập	Lòng động	Vận tốc	Biến động lòng dẫn, cấu trúc dòng chảy xung quanh mỏ hàn
2009	(Koken and Constantinescu)	Mỏ hàn đơn, mô phỏng số DES	Không ngập	Lòng cứng	Vận tốc	Nghiên cứu cấu trúc dòng chảy xung quanh mỏ hàn
2010	(Baba, Camenen et al.)	Mỏ hàn đơn, cả thấm và không thấm	Không ngập	Lòng cứng	Vận tốc	Nghiên cứu cấu trúc dòng chảy xung quanh mỏ hàn
2011	(Mizutani, Nakagawa et al.)	Mỏ hàn đơn	Cả ngập và không ngập	Lòng động	Vận tốc, biến dạng đáy lòng dẫn	Nghiên cứu dòng chảy, kích thước xung quanh hố xói
2012	(Masjedi et al)	Mỏ hàn đơn chữ T	Không ngập	Lòng động	Vận tốc, biến dạng đáy lòng dẫn	Nghiên cứu giảm xói cục bộ xung quanh mỏ hàn đơn chữ T
2016	(Elsaiad A.A và Elnikhely E.A)	Mỏ hàn đơn, góc 90º,40º,25º	Không ngập	Lòng động	Vận tốc, biến dạng đáy lòng dẫn	Nghiên cứu đặc trưng xói xung quanh mỏ hàn đơn trong đoạn sông thẳng

Bảng 1-1: Các nghiên cứu về mỏ hàn đơn [48]

1.2.1.2. Các nghiên cứu về hệ thống mỏ hàn

Trên thế giới đã có rất nhiều nghiên cứu về hiệu quả chỉnh trị của hệ thống mỏ hàn, xu hướng gần đây chuyển sang mục tiêu chỉnh trị tổng hợp nhằm phát huy công năng của dạng công trình này. Sau đây, nghiên cứu của luận án sẽ tổng quan một số nghiên cứu điển hình nhất, với sự tập trung chủ yếu đến các nghiên cứu tối ưu về bố trí hệ thống mỏ hàn.

Tác giả Zhang và nnk [70] đã kết hợp mỏ hàn cọc và mỏ hàn đặc trong một hệ thống mỏ hàn. Các nghiên cứu tiếp theo về hệ thống mỏ hàn kết hợp của Mohammed Alauddin và nnk [76] trong phòng thí nghiệm để quan sát chế độ thủy động lực dòng chảy. Kết quả cho thấy mỏ hàn kết hợp có tác dụng làm giảm dòng nước vật, giảm xói cục bộ và gây bồi gần bờ tốt hơn so với mỏ hàn đặc truyền thống.



Hình 1.9: Nghiên cứu kết hợp mỏ hàn cọc và mỏ hàn đặc [76]

Gần đây hơn, các tác giả cũng tiến hành nhiều nghiên cứu về ảnh hưởng nhóm cọc phía trên đến chế độ thủy động lực dòng chảy mỏ hàn phía dưới (Sadat [58], Sadat và Tominaga [60], Sadat và Tominaga [59], Sadat Sayed Hashmat [43]). Kết quả đã tìm được khoảng cách tối ưu 4L giữa nhóm cọc và mỏ hàn nhằm giảm chiều sâu xói cục bộ tại đầu mũi mỏ hàn (Hình 1.10).



Hình 1.10: Khoảng cách giữa nhóm cọc và mỏ hàn của Hashmat 2015[43]. Trên Bảng 1-2 đã tổng quát các nghiên cứu đáng chú ý về hệ thống mỏ hàn theo trình tự thời gian đã được các tác giả công bố.

Các nghiên cứu hệ thống mỏ hàn						
Năm	Tác giả	Loại mỏ hàn		Điều kiện	Các thông số	Kết quả nghiên cứu
Inain		Loại Illo		lòng dẫn	nghiên cứu	Ket qua inginen euu
	Vossef và de	Hê thống gồm	Cả ngân và	Lòng động	Vận tốc, bùn cát	Nghiên cứu vận chuyển bùn
2010	Vriend	(08 mỏ hàn)	không ngân	$(D_{50}=0.16mm)$	lơ lửng, biến dạng	cát giữa khu vực mỏ hàn và
	Viiend		kilong ngạp	BxLxH=2.0x10x1.0	đáy	lòng dẫn chính
		Hệ thống mỏ hàn		Làng động	, ,	Nghiên cứu tôi ưu vê
2011	Alauddin	(mỏ hàn đặc, mỏ	Không ngận	$(D_{co}=0.43 \text{mm})$	Vận tốc, biến dạng đáy lòng dẫn	hướng, liên kết phân đặc và
2011	1 Huuuuuiii	hàn cọc, mỏ hàn	Throng usep	BxLxH=0.5x20x0.3		phân cho nước xuyên qua
		kêt hợp)				cho các sông vùng đất thấp
	Anu Acharva và	Hê thống gồm		Lòng động	Vân tốc, vân	Mô phỏng trên mô hình 3D
2013	nnk.	(03 mỏ hàn)	Không ngập	$(D_{50}=0.85mm)$	chuyển bùn cát	vê câu trúc dòng chảy xung
		(***)		BxLxH=0.6x12x1.2		quanh hệ thông mó hàn
0014	KI. Son, SK.	Hê thống gồm	171.0		Dong triệu (vận	Nghiên cứu hệ thống mó
2014	Hong	(06 mỏ hàn)	Không ngập	Lòng động cục bộ	tốc, hướng dòng	hản bảo vệ bở sông
	8			T) 10	chay)	vùng triều
0.15	Sadat Saved	Hệ thông gôm		Lòng động	Vận tốc, ứng suất	Nghiên cứu khoảng cách tối
2015	Hashmat	(nhôm cọc và 01	Không ngập	$(D_{50}=1.54mm)$	cát, vận chuyển	ưu giữa nhôm cọc và mô
		mô hân đặc)		BxLxH=0.6x13x0.5	bùn cát	hân, nhâm giam xôi cục bộ
2016	Krishna Prasad.	Hê thống gồm		Lòng động	Vân tốc, mưc	Nghiên cứu tối ưu về hướng
2016	S, Indulekha K.	(03 mỏ hàn đặc)	Không ngập	$(D_{50}=0.75\text{mm})$	nước	góc cho muc tiêu bảo vê bờ
	P	• • •		BxLxH=1.2x10x1.0		
2017	Hanif	Hê thống gồm	171.0	Lòng động		Nghiên cứu độ chính xác
2017	Pourshahbaz va	(03 mỏ hàn đặc)	Không ngập	$(D_{50}=0.91\text{mm})$	Hệ số Fr, U/U _{cr}	mo hinh toan Flow-3D va
	nnk.	. ,		BxLxH=1.0x14x1.0		SSIIM so với thực nghiệm
2017	Abolfazl Nazari Gigloua	rl Nazari Hệ thống gồm Ioua (02 mỏ hàn đặc) K	771.0	Lòng cứng	Vân tốc, vân	Nghiên cứu trên MHT ảnh
			Knong ngạp		chuyển bùn cát	hương của hệ thống mó hàn
		0151000	(02 1110 11411 440)			

Bảng 1-2: Các nghiên cứu về hệ thống mỏ hàn [48]

Nhận xét: các kết quả nghiên cứu trên thế giới về hệ thống mỏ hàn trên sông dòng chảy đơn hướng đã đạt được nhiều thành tựu đáng kể. Các nghiên cứu chủ yếu được thực hiện trên MHVL máng dòng chảy và MHT 3D máng dòng chảy số, với kích thước máng dòng chảy bề rộng từ B=0.5m~2.0m, đường kính hạt bùn cát có phạm vi từ d_{50} =0.16mm~1.54mm, trong đó phổ biến các nghiên cứu sử dụng bùn cát đồng nhất hạt rời với d_{50} ≥0.75mm. Đây là cơ sở tham khảo để luận án định hướng sử dụng phương pháp MHVL và MHT 3D, cũng như kính thước máng dòng chảy, phạm vi đường kính hạt bùn cát đồng nhất d₅₀ mà các nghiên cứu trên thế giới hiện nay đang sử dụng.

1.2.2. Các nghiên cứu về mỏ hàn trên sông vùng ảnh hưởng triều, dòng chảy thuận nghịch

Có thể nói, các nghiên cứu trước đây trên thế giới chủ yếu tập trung nghiên cứu về hệ thống mỏ hàn trên sông có dòng đơn hướng, nhưng còn rất hạn chế các nghiên cứu về hệ thống mỏ hàn trên sông vùng ảnh hưởng triều có dòng chảy thuận nghịch. Mặc dù một vài nghiên cứu đáng chú ý về chiều sâu xói xung quanh hệ thống mỏ hàn trong vùng cửa sông đã xuất hiện, như: Nghiên cứu của K.-I. Son, S.-K. Hong [45] cho dự án đoạn sông vùng triều Munbal IC của Hàn Quốc, ở vị trí cách cửa sông khoảng 30km, xảy ra xói lở nghiêm trọng gây nguy hiểm cho tuyến đê, do đó đã thiết kế hệ thống mỏ hàn chống xói lở đê gây ra bởi dòng chảy lũ và dòng triều, được nghiên cứu trên mô hình vật lý lòng cứng tỷ lệ 1:400 và 1:100 sau đó áp dụng thực tế đã đẩy được cả dòng chảy thuận và nghịch ra xa và đảm bảo an toàn cho công trình đê. (Hình 1.11)



Hình 1.11: Thiết kế hệ thống mỏ hàn cho đoạn sông vùng triều Munbal IC cách cửa sông khoảng 30km, Hàn Quốc [45].

Trong những năm gần đây, cùng với sự phát triển mạnh mô hình toán, một số nghiên cứu về cấu trúc dòng chảy và vận chuyển bùn cát xung quanh mỏ hàn đã được mô phỏng trong nghiên cứu của Wanghui-min [65], kết quả đã phân tích so sánh tác động dòng chảy hướng thuận nghịch tạo ra hố xói cục bộ vùng mũi mỏ hàn có phạm vị lớn hơn so với hố xói do dòng đơn hướng. Theo nghiên cứu của Zhangxin-zhou [71] đã xây dựng MHT dòng chảy bùn cát 2D và 3D lấy ten xơ vận tốc nghịch biến dưới hệ tọa độ cong chung là biến chính, sử dụng lý thuyết dòng rối ngẫu nhiên xây dựng mô hình dòng rối, tiến hành mô phỏng số đã phân tích ảnh hưởng của thay đổi dòng chảy gần mũi mỏ hàn và xói cục bộ trong điều kiện dòng triều. Nghiên cứu của Xiaodong Zhao [72] về hình dạng hố xói cục bộ mũi mỏ hàn N₁ phía bờ Bắc thuộc dự án chính trị cửa sông Trường Giang bằng thực nghiệm. Kết quả cho thấy, thời gian cân bằng xói và hình dạng hố xói mũi mỏ hàn của dòng triều lớn hơn thời gian do dòng đơn hướng, thể hiện Hình 1.12.





Ngoài ra, còn phải kể đến một số nghiên cứu về chiều sâu xói của các công trình tương tự dạng công trình mỏ hàn như trụ cầu..., có thể kể đến các công bố thực nghiệm của (Escarameia [38]; May và Escarameia; Margheritini) đã thực hiện nghiên cứu về xói cục bộ, đánh giá ảnh hưởng của hướng dòng chảy thuận nghịch, chu kỳ triều và xem xét ảnh hưởng kích thước hạt bùn cát (hạt mịn $d_{50}=0.44$ mm và hạt thô $d_{50}=0.75$ mm) đến xói cục bộ cho cọc đơn hình vuông và hình chữ nhật (Hình 1.13).





Hình 1.13: Nghiên cứu mô hình lòng động xói trụ cầu trong sông vùng triều

Nghiên cứu Vasquez và nnk [44] mô phỏng xói cục bộ xung quanh trụ cầu với đường kính hạt d_{50} =0.75mm, điều kiện dòng chảy thuận nghịch bằng phần mềm Flow-3D. Mô hình được áp dụng tính toán trạng thái ban đầu của quá trình phát triển xói trụ cầu phức tạp, cụ thể ứng dụng mô phỏng xói trong nhóm 03 cọc dưới tác dụng dòng chảy thuận nghịch. Kết quả mô phỏng phù hợp với kết quả đo đạc (Hình 1.14).



Hình 1.14: Xói trụ cầu dưới tác dụng dòng triều sử dụng Flow-3D[44]

Porter và nnk [53] đã thực hiện các thí nghiệm về sự phát triển xói cho 01 chu kỳ bán nhật triều. Các thí nghiệm được thực hiện trong điều kiện nước trong và chu kỳ triều mô phỏng dựa trên các số liệu đo đạc tại hiện trường. Kết quả cho thấy, thời gian phát triển xói của dòng triều chậm hơn so với dòng đơn hướng.

Alexander Schendel và nnk [77] nghiên cứu trên MHVL máng dòng chảy về quá trình xói xung quanh trụ cầu của dòng đơn hướng và dòng triều trong điều kiện xói nước trong. Dòng triều dựa trên số liệu đo đạc tại hiện trường và được mô phỏng theo phương pháp gần như liên tục. Ngoài ra, các kết quả đo xói tại nhiều vị trí xung quanh cọc về vận chuyển bùn cát và thời gian của quá trình xói của dòng chảy đơn hướng và dòng triều được phân tích. Dựa trên sự dịch chuyển và lắng đọng bùn cát, phát triển chiều sâu xói lớn nhất theo thời gian dưới dòng triều được đặc trưng bởi các giai đoạn ứ đọng, dẫn đến sự tiến triển chậm hơn về chiều sâu xói so với dòng đơn hướng.

Như vậy qua phân tích tài liệu cho thấy: các kết quả nghiên cứu trên thế giới về hệ thống mỏ hàn trên sông vùng ảnh hưởng triều còn rất hạn chế, các nghiên cứu bước đầu đề cập đến tác động dòng triều thuận nghịch có sự khác biệt với dòng đơn hướng về vấn đề xói cục bộ đầu mũi mỏ hàn đơn mà hầu như chưa có các nghiên cứu đề cập đến cấu trúc dòng chảy thuận nghịch và chiều sâu xói lòng dẫn xung quanh hệ thống mỏ hàn. Hầu hết các nghiên cứu được thực hiện trên MHVL máng dòng chảy và trên MHT 3D máng dòng chảy số (Escarameia [38], Alexander Schendel [77], J. A. Vasquez và nnk [44], Zhangxin-zhou [71]). Đây chính là cơ sở khoa học để luận án có thể tham khảo để định hướng sử dụng phương pháp bằng MHT 3D máng dòng chảy số (Flow 3D), hay có thể tham khảo đường kính bùn cát rời d_{50} =0.75mm mà nghiên cứu [38] dùng để thí nghiệm vấn đề xói cho đoạn sông vùng ảnh hưởng triều.

1.3. TÔNG QUAN CÁC NGHIÊN CỨU Ở VIỆT NAM VỀ CÔNG TRÌNH MỎ HÀN

1.3.1. Các nghiên cứu về mỏ hàn trên sông, dòng đơn hướng

Hệ thống mỏ hàn được ứng dụng trên các sông Việt Nam khá sớm, từ những năm đầu thập kỷ 70 của thế kỷ 20. Bắt đầu là các cụm mỏ hàn trên vùng ngã ba Việt Trì, cuối là các cụm mỏ hàn trên vùng cửa sông ven biển. Riêng về công trình chỉnh trị sông phục vụ giao thông thủy, các công trình mỏ hàn ở nước ta đã có những thành tựu đáng tự hào. Đáng kể nhất là công trình chống bồi lấp cảng Hà Nội trên sông Hồng; các công trình chỉnh trị đoạn cạn trên sông Đuống, mà đặc biệt là công trình chỉnh trị trên sông Kinh Thầy, sông Luộc, sông Đà và sông Cấm đã xây dựng, mang lại hiệu quả tổng hợp tích cực cải tạo luồng lạch giao thông thủy (Hình 1.15).





a. Mỏ hàn Yên Ninh - trên sông Hồng
b. Mỏ hàn Trung Hà - trên sông Đà
Hình 1.15: Công trình thực tế chỉnh trị ổn định lòng dẫn giao thông thủy

Những nghiên cứu trong lĩnh vực này có thể kể đến các công trình nghiên cứu của Hoàng Hữu Văn [28], Nguyễn Ngọc Cẩn [2], Lương Phương Hậu [9], Trần Xuân Thái [27], Nguyễn Ngọc Quỳnh [21], Nguyễn Bá Quỳ [18], Trần Văn Sung [23], Nguyễn Đăng Giáp [3], Nguyễn Kiên Quyết [20], Phạm Thành Nam [17], Nguyễn Thanh Hùng[13-15, 57],v.v... Trong phạm vi nghiên cứu này tác giả chỉ giới thiệu các nghiên cứu trong nước liên quan mật thiết đến mục tiêu luận án.

- Nghiên cứu của Lương Phương Hậu ([5], [6], [10]):

Các công trình nghiên cứu chuyên sâu của Lương Phương Hậu ([5], [6], [10]) về chế độ thủy động lực học dòng chảy vùng sông có mỏ hàn, cho kết quả: dâng nước lớn nhất ở thượng lưu mỏ hàn; xây dựng được mô hình số trị 2 chiều, nghiên cứu chế độ thủy lực vùng sông có mỏ hàn. Ngoài ra, tác giả đã đề xuất công thức tính chiều dài khu nước vật sau mỏ hàn là:

$$\frac{s}{L} = 5.7C_0^{0.3} - 6.3 \tag{1-4}$$

Trong đó, S là chiều dài khu nước vật hạ lưu mỏ hàn, L là chiều dài mỏ hàn, $C_0 = \frac{H^{1/6}}{na^{1/2}}$; n là hệ số nhám, g là gia tốc trọng trường, H là chiều sâu trung bình.

Đặc biệt tác giả Lương Phương Hậu ([7], [9]) ứng dụng hệ thống công trình đảo chiều hoàn lưu (ĐCHL) xây dựng tại bờ tả sông Dinh (Phan Rang) được đánh giá là một sáng tạo đột phá, công trình được bố trí bên bờ bị sạt lở có cánh hướng dòng mặt ra xa bờ, dòng đáy mang nhiều bùn cát được dẫn vào bờ lở qua khe hở dưới chân kè. Cho đến nay, đây là một trong những trường hợp được sự quan tâm và đánh giá cao của các nhà khoa học trong và ngoài nước, như một sáng tạo của Việt Nam.

- Nghiên cứu của Nguyễn Đăng Giáp ([3]):

Tác giả Nguyễn Đăng Giáp, trong luận án tiến sĩ (LATS) [3] nghiên cứu diễn biến lòng sông dưới tác dụng của công trình chỉnh trị, luận án đã đề xuất những cải tiến để sử dụng mô hình toán MOHAN-3D của Hosoda tính toán hố xói cục bộ khu vực mỏ hàn, tuy nhiên mô hình mới được luận án phát triển ở những bước đi đầu tiên về nghiên cứu lý thuyết và đạt được một số kết quả ban đầu, vì vậy cần phải tiếp tục hoàn thiện mô hình để sử dụng rộng rãi trong điều kiện sông ngòi Việt Nam.

Tác giả đã phân tích số liệu thực đo, đề xuất công thức tính khoảng cách giữa các công trình và dự báo khối lượng gây bồi cao nhất đạt được của công trình đảo chiều hoàn lưu:

$$A = \frac{b + (a + b + 2a)}{2} \cdot H = H/2 (2b + 3a)$$
(1-5)

$$V = A \times T_{tb}$$
(1-6)

Trong đó: A là diện tích khối bồi (m²), V là thể tích khối bồi (m³).





Hình 1.16: Nghiên cứu bố trí mỏ hàn (ĐCHL) trên mô hình vật lý



Ngoài ra, luận án đã tiến hành nghiên cứu trên mô hình vật lý tổng quát, xác lập cơ sở khoa học cho việc đánh giá hiệu quả gây bồi của công trình đảo chiều hoàn lưu; luận án đã thiết lập được họ đường cong quan hệ giữa $K_v \sim a \sim \phi$ và $K_v \sim a \sim R$ để xác định các tham số bố trí công trình đảo chiều hoàn lưu, nhưng chưa đề cập đến hiệu quả gây bồi của công trình đảo chiều hoàn lưu trên đoạn sông vùng ảnh hưởng triều.

- Nghiên cứu của Phạm Thành Nam ([17]):



Hình 1.18: Mô hình lòng động nghiên

cứu bổ trí không gian mỏ hàn có chiều

dài mỏ hàn bằng nhau.



Hình 1.19: Ứng dụng phần mền XOLUTA-01; 02 tính toán đoạn cạn Lão Hoàng trên sông Lô

Tác giả Phạm Thành Nam[17] trong luận án tiến sĩ (LATS), nghiên cứu tác
dụng của các giải pháp chỉnh trị sông phục vụ giao thông thủy trên MHVL (Hình 1.18), đã xây dựng được phần mềm XOLUTA-01; 02 nhằm tự động hóa tính độ sâu xói lòng dẫn, tính độ dâng cao mực nước do tác động hệ thống mỏ hàn đối với đê điều chống lũ.

Tác giả đề xuất công thức cải tiến để tính toán độ sâu xói lòng dẫn giao thông thủy do tác động hệ thống mỏ hàn với các phương án bố trí không gian.

$$\frac{H_2}{H_1} = \Phi(\lambda) * \left(\frac{B_1}{B_2}\right)^{\frac{6}{7}} \left[\left(\frac{B_1}{B_2}\right)^{\frac{2}{3}} \left(1 - \frac{\tau_c}{\tau_{bo}}\right) + \frac{\tau_c}{\tau_{bo}}\right]^{\frac{-3}{7}}$$
(1-7)

Trong đó:

Hệ số xói Φ phụ thuộc vào $\lambda = \frac{s}{L}$, $\Phi(\lambda)$ được xác định theo đồ thị.

H₁- Độ sâu dòng chảy chưa thu hẹp; H₂- Độ sâu dòng chảy đã thu hẹp; B1-Bề rộng mặt nước trước thu hẹp; B2- Bề rộng mặt nước đoạn đã thu hẹp; τ_c - Ứng suất tiếp khởi động của bùn cát; τ_{bo} - Ứng suất tiếp lòng sông đoạn chưa thu hẹp.

Công thức của Phạm Thành Nam được sử dụng thuận lợi khi tính toán xói luồng tàu cho hệ thống mỏ hàn trên đoạn sông không ảnh hưởng triều, khi áp dụng cho đoạn sông ảnh hưởng triều thì không phù hợp.

- Nghiên cứu của Nguyễn Kiên Quyết ([20]):

Tác giả Nguyễn Kiên Quyết [20] trong luận án tiến sĩ (LATS), nghiên cứu một số giải pháp phòng chống sạt lở bờ sông, đã xây dựng được các đường cong về quan hệ giữa các yếu tố hình thái lòng dẫn, yếu tố dòng chảy và các yếu tố bố trí công trình tại các đoạn sông cong, có dòng chảy ngập sâu trên bãi rộng làm cơ sở cho đề xuất các giải pháp công trình mỏ hàn có cánh hướng dòng (CHD), góc hợp lý giữa cách hướng dòng cho đoạn sông nghiên cứu. Tác giả đề xuất công thức tính lưu lượng tràn trên đỉnh mỏ hàn cho sông Hồng:

$$\frac{Q_0}{Q} = 0.06 \left(\frac{H-D}{H}\right)^{0.536} \tag{1-8}$$

Trong đó:

 Q_0 là lưu lượng qua đỉnh mỏ hàn, (H-D) là độ sâu đỉnh mỏ hàn.





Hình 1.20: Nghiên cứu bố trí công trìnhHình 1.21: Trường vận tốc khu vực mỏmỏ hàn có CHD trên mô hình vật lýhàn có CHD

Kết quả nghiên cứu đã làm cơ sở thiết kế bố trí giải pháp công trình mỏ hàn có cánh hướng dòng chống sạt lở cho đoạn sông không ảnh hưởng triều ở Việt Nam, tuy nhiên kết quả nghiên cứu cũng chưa đánh giá được hiệu quả giải pháp công trình mỏ hàn cho đoạn sông vùng ảnh hưởng triều.

Nhận xét: các nghiên cứu trong nước đạt những thành tựu nổi bật, thể hiện qua các nghiên cứu chuyên sâu về công trình mỏ hàn của luận án tiến sĩ. Các nghiên cứu đều thực hiện trên sông không ảnh hưởng triều với dòng đơn hướng, bố trí hệ thống mỏ hàn có tham số chiều dài mỏ hàn bằng nhau mà chưa đề cập đến tham số chiều dài mỏ hàn không bằng nhau, ngoài ra các luận án đều chỉ ra tồn tại và đi đến định hướng "cần tiếp tục nghiên cứu công trình mỏ hàn trên sông vùng ảnh hưởng triều".

1.3.2. Các nghiên cứu về mỏ hàn trên sông vùng ảnh hưởng triều, dòng chảy thuận nghịch

Nghiên cứu ứng dụng công trình chỉnh trị dạng mỏ hàn trên sông vùng ảnh hưởng triều ở nước ta cũng giống xu hướng nghiên cứu trên thế giới còn nhiều hạn chế và hầu hết được thực hiện trong những năm gần đây thông qua các đề tài, dự án nghiên cứu các cấp.

Ở đây, trong phạm vi nghiên cứu của luận án tác giả chỉ đề cập đến các nghiên cứu công trình chỉnh trị trên sông vùng ảnh hưởng triều đoạn bên trong cửa sông vùng đồng bằng Bắc Bộ có chế độ thủy triều là nhật triều thuần nhất, mà không làm mất đi tính tổng quát của vấn đề của nghiên cứu.

- Nghiên cứu của các chuyên gia Pháp:

Các chuyên gia Pháp đã thực hiện việc cải tạo sông Cấm trên tuyến luồng vào cảng Hải Phòng bằng hệ thống công trình chỉnh trị với mục tiêu điều chỉnh và

thu hẹp lòng dẫn nhằm duy trì chiều sâu chạy tàu, giảm khối lượng nạo vét hàng năm. Hệ thống công trình được xây dựng trong 02 năm 1923-1924 gồm 02 đê dọc dài hơn 5km và 16 mỏ hàn bố trí hai bên (Hình 1.22). Trong thời gian 13 năm (1923÷1936) công trình đã phát huy tác dụng tốt. Từ năm 1936 trở đi các công trình bị hư hỏng, không được duy tu sửa chữa nên dần mất đi tác dụng đối với dòng chảy.



Hình 1.22: Sơ đồ bố trí công trình chỉnh trị sông Cấm (gồm 16 mỏ hàn bố trí hai bên) do các chuyên gia Pháp đề xuất và đã được sử dụng

- Nghiên cứu của TEDI:



Hình 1.23: Hệ thống mỏ hàn ổn định lòng dẫn trên sông Cấm

Các kết quả nghiên cứu của TEDI, giai đoạn từ 1991-1996: Dự án "Xây dựng công trình chỉnh trị luồng sông Cấm" cho thấy, sau khi dự án hoàn thành đi vào khai thác đã phát huy hiệu quả duy trì tuyến luồng được ở cao độ chạy tàu – 4,5 mà không cần nạo vét duy tu (theo bình đồ khảo sát năm 2002). Trên mặt cắt dọc

tim lòng dẫn giờ đây cao độ đỉnh ghềnh cạn đã sâu hơn – 5,5m (trước khi chỉnh trị thường chỉ đạt – 4,1m). Khả năng duy trì chiều sâu chạy tàu trên đoạn luồng này ở mức – 5,5m đã trở thành hiện thực. Nhưng từ thiết kế áp dụng và thực tiễn phải xây dựng triển khai thành nhiều bước trong khoảng thời gian dài 06 năm (1991-1996) có nguyên nhân chủ yếu là các luận chứng khoa học không đầy đủ.

- Nghiên cứu của Lương Phương Hậu [9]:

Nghiên cứu giải pháp cho hệ thống công trình chỉnh trị sông trên các đoạn trọng điểm vùng ĐBBB và ĐBNB thuộc đề tài KH-CN cấp nhà nước, 2008-2010[9]. Tác giả phân tích đánh giá các hệ thống mỏ hàn đã xây dựng, tổng kết đúc rút lại các kinh nghiệm từ các hệ thống mỏ hàn đã phát huy hiệu quả tốt và không đạt hiệu quả mong muốn, trong đó có đánh giá hiệu quả của hệ thống mỏ hàn trên sông Cấm trước và sau khi xây dựng.

Tác giả Lương Phương Hậu (2006) trong cuốn "Động lực học và công trình cửa sông" đã phân tích diễn biến bồi xói, giải pháp chỉnh trị, thay đổi luồng ra, vào các cửa sông, lạch triều điển hình ở Việt Nam gồm Cửa Ba Lạt (sông Hồng); cửa Nam Triệu (sông Cấm).

Qua những tài liệu thu thập được cho thấy: các nghiên cứu về công trình mỏ hàn trên sông vùng ảnh hưởng triều ở nước ta cũng giống xu thế của thế giới với số lượng các nghiên cứu còn rất hạn chế và kết quả vẫn còn khá khiêm tốn. Hầu hết các nghiên cứu đều thông qua các đề tài, dự án gắn với một điều kiện thiết kế cụ thể của một khu vực dự án mà thiếu đi tính khái quát. Cho đến nay vẫn chưa có một nghiên cứu chuyên sâu nào đưa ra được giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn làm gia tăng hiệu quả xói sâu lòng dẫn cho đoạn sông ảnh hưởng triều của nước ta.

1.4. NHỮNG THÀNH TỰU VỀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Trong nghiên cứu chỉnh trị sông, sử dụng phương pháp cần linh hoạt, tùy điều kiện để ứng dụng một hoặc kết hợp các phương pháp. Hiện tại, các nghiên cứu chuyên sâu về công trình chỉnh trị thường sử dụng 2 phương pháp cơ bản, đó là:

- Phương pháp thực nghiệm trên mô hình vật lý;
- Phương pháp mô phỏng số trị (mô hình toán).

1.4.1. Phương pháp nghiên cứu trên mô hình vật lý

Những tiến bộ về mặt lý thuyết cũng như các thiết bị đo đạc các hiện tượng tự nhiên bằng mô hình vật lý thu nhỏ trong phòng thí nghiệm, cho phép theo dõi quá trình diễn biến hiện tượng tự nhiên đã, đang và sẽ xảy ra sau khi công trình hoàn thành, ở các mốc thời gian xác định với độ chính xác cao. Những mô hình vật lý nghiên cứu chi tiết về cấu trúc dòng chảy, vận chuyển bùn cát xung quanh công trình đang được tiến hành tại phòng thí nghiệm của các tập đoàn nghiên cứu lớn như: HR Wallingford (Anh), Công ty SOGREAH (Pháp), DELTARES (Hà Lan), DHI (Đan Mạch)... các trường đại học của Mỹ, Nhật Bản và Trung Quốc.

Ở Việt Nam, Phòng thí nghiệm thủy công Phú An (Sài Gòn) được xây dựng từ năm 1930. Đến nay, nghiên cứu công trình chỉnh trị sông trên mô hình vật lý ở Việt Nam đã được ứng dụng khá nhiều. Viện Khoa học thủy lợi Việt Nam với các phòng thí nghiệm được xây dựng từ 1960, năm 2008 Thủ tướng Chính phủ Quyết định thành lập Phòng thí nghiệm trọng điểm quốc gia về động lực học sông biển.

Để có thể tiến hành thí nghiệm mô hình chỉnh trị sông, ngoài cơ sở thí nghiệm, cần có trang thiết bị hiện đại, nhất là thiết bị đo tự động hóa với độ chính xác cao. Đội ngũ cán bộ nghiên cứu có trình độ cao và nhiều kinh nghiệm là điều kiện quyết định nhất cho chất lượng kết quả thí nghiệm.

Các nghiên cứu trên MHVL về biến hình lòng dẫn dưới tác động của công trình chỉnh trị sông đã nêu ra hai vấn đề quan trọng là:

- Thứ nhất là xác định hệ số biến thái: Hệ số biến thái của mô hình là yếu tố ảnh hưởng đến kích thước khu nước vật sau mỏ hàn, vị trí và quy mô bồi xói lòng dẫn khu vực mỏ hàn.

- Thứ hai là lựa chọn vật liệu mô hình hóa: Vấn đề chế tạo vật liệu có ý nghĩa quyết định cho độ tin cậy của kết quả thí nghiệm mô hình lòng động. Vật liệu một mặt cần thỏa mãn tương tự độ nhám bề mặt lòng dẫn trong yêu cầu tương tự chuyển động của dòng chảy, mặt khác lại phải thỏa mãn điều kiện tương tự khởi động.

Trên thế giới cũng như ở Việt Nam, chế tạo chính xác vật liệu bùn cát còn là vấn đề nan giải, hầu hết vẫn sử dụng cát tự nhiên, để thu được kết quả định tính về xu thế. Viện Khoa học thủy lợi Việt Nam đã từng nghiên cứu sử dụng vật liệu

Kezamzit, là loại vật liệu dùng để chế tạo bê tông nhẹ, gần đây có đưa vào loại cát mô hình chế tạo từ mùn cưa, nhưng cũng chưa xác định được chính xác các chỉ tiêu cơ học và thủy lực của nó.

1.4.1.1. Thí nghiệm trong máng dòng chảy

Thí nghiệm trên MHVL máng dòng chảy chủ yếu dùng cho các nghiên cứu chuyên sâu, từ đó đưa ra công thức thực nghiệm và bán thực nghiệm, phát hiện ra các trạng thái chảy, vấn đề xói và bồi lắng khu vực mỏ hàn.v.v... cho đến nay vẫn thường được sử dụng.

Một trong các công thức nổi tiếng nhất hoàn toàn xác định bằng các nghiên cứu trên MHVL máng dòng chảy là công thức tính lưu lượng bùn cát đáy của E. Meyer - Peter và Muller công bố năm 1948 trên cơ sở rất nhiều số liệu tiến hành trong các phòng thí nghiệm ở Đức và Thụy Sĩ.

Công thức tính toán vận tốc khởi động của bùn cát có tính dính của Đậu Quốc Nhân (Trung Quốc) cũng được nghiên cứu trên MHVL máng dòng chảy khi ông làm luận án tiến sĩ ở Liên Xô cũ (năm 1962).

Các công thức tính toán về trường động lực của dòng chảy quanh mỏ hàn đã được Lương Phương Hậu đề xuất khi tiến hành các thí nghiệm trên MHVL máng dòng chảy ở Viện nghiên cứu Thủy lực Bucarest tại Rumani.

Nghiên cứu của Duan và nnk [29] đã sử dụng phương pháp thí nghiệm trong máng dòng chảy để nghiên cứu cấu trúc rối 3 chiều ở thượng và hạ lưu mỏ hàn, đồng thời tính toán ứng suất tiếp đáy ở các vị trí quan trọng xung quanh mỏ hàn.

Nghiên cứu của Yossef [68] sử dụng phương pháp thí nghiệm lòng động trong máng dòng chảy nghiên cứu vấn đề trao đổi bùn cát giữa khu vực chủ lưu và khu vực sau mỏ hàn.

1.4.1.2. Thí nghiệm mô hình tổng thể

Thí nghiệm trên mô hình tổng thể chủ yếu dùng cho các nghiên cứu chỉnh trị đoạn sông cụ thể. Căn cứ vào các tiêu chuẩn tương tự, thu nhỏ theo tỷ lệ đối với dòng chảy nguyên hình trong thực tế vào mô hình để nghiên cứu tác dụng tương hỗ giữa mỏ hàn và dòng chảy bùn cát thể hiện trên nghiên cứu của L.J. Fargue đã ứng dụng mô hình vật lý lần đầu tiên để mô phỏng những biến dạng lòng dẫn tại các công trình chỉnh trị cải thiện vận tải thủy trong sông Garone, tác giả Vecbon đã tiến hành làm thí nghiệm mô hình cửa sông Xênnoe, tác giả Lương Phương Hậu đề cập lý thuyết thí nghiệm công trình thủy [12], tác giả Nguyễn Ngọc Quỳnh (Phòng TNTĐ) nghiên cứu trên mô hình vật lý công trình chỉnh trị đoạn sông Hồng qua Hà Nội năm 2020 [22], mô hình vật lý chỉnh trị đoạn sông cong Quảng Huế được Nguyễn Bá Quỳ (trường ĐHTL) tiến hành thí nghiệm năm 2010 [18], mô hình vật lý nạo vét và chỉnh trị luồng vào cảng neo đậu tránh, trú bão Cửa Sót được Nguyễn Ngọc Nam (Phòng TNTĐ) tiến hành nghiên cứu thí nghiệm năm 2013[16].

1.4.2. Phương pháp nghiên cứu trên mô hình toán

1.4.2.1. Khái quát về mô hình toán

Cùng với sự phát triển nhanh chóng công nghệ số, các mô hình toán ngày càng được phát triển không ngừng, đã và đang được áp dụng thành công trong nghiên cứu về thuỷ động lực vùng cửa sông ven biển.

Theo tiêu chí về sự phụ thuộc của các yếu tố mô phỏng vào không gian, các mô hình toán có thể phân chia thành ba loại sau: (i) mô hình một chiều (1D) thường được biết đến là các mô hình trung bình mặt cắt, (ii) mô hình hai chiều (2D) bao gồm các mô hình hai chiều trung bình độ sâu và hai chiều trung bình chiều ngang sông, và (iii) mô hình ba chiều (3D).

Trong lĩnh vực Thủy lực môi trường, các mô hình một chiều (1D) dựa trên một trong hai hình thức tích phân hoặc vi phân của phương trình St.Venant. Mặc dù sự phổ biến và hữu ích của mô hình 1D không thể bỏ qua, nhưng một thực tế là mô hình 1D đang gặp phải là đơn giản hóa các giả định và do đó thường áp dụng đối với bài toán thủy lực mạng sông. Cải tiến chính xác hơn dựa trên mô hình số là sử dụng mô hình hai chiều (2D). Mô hình 2D dựa trên hình thức trung bình theo chiều sâu của phương trình ba chiều Navier-Stokes. Dựa trên các phương pháp sai phân hữu hạn, thể tích hữu hạn hoặc phần tử hữu hạn cho các lời giải số.

Mặc dù mô hình 2D đã được áp dụng thành công cho rất nhiều vấn đề kỹ thuật sông, nhưng còn hạn chế đối với dòng chảy ba chiều 3D, hoặc công trình có

kết cấu phức tạp cho kết quả có độ tin cậy không cao. Điều này có thể giải thích bởi thực tế rằng sự tương tác giữa trường dòng chảy và kết cấu công trình phức tạp thường xuất hiện dòng chảy 3D như dòng rối, các xoáy trục đứng... mà không thể mô phỏng được một cách chính xác do các hạn chế nội tại bởi các phương trình nước nông (SW-shallow water) của mô hình 2D.

Để mô phỏng được tính chất vật lý của dòng chảy 3D như dòng rối, các xoáy trục đứng... thì mô hình 3D họ RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes) có khả năng mô phỏng cho kết quả đủ độ tin cậy. Do đó, luận án sẽ tập trung tổng quan các thành tựu trên thế giới và trong nước đã thực hiện bằng các mô hình 3D trong mô phỏng cấu trúc dòng chảy và bồi xói xung quanh các công trình.

1.4.2.2. Tổng quan các mô hình toán 3D trong mô phỏng cấu trúc dòng chảy và bồi xói xung quanh các công trình

Các mô hình toán 3D hiện nay đã được phát triển cho phép nghiên cứu chi tiết các trường động lực, điều chỉnh và thay đổi phương án linh hoạt phục vụ cho việc lựa chọn tối ưu các phương án thiết kế mà các phương pháp giải tích hay đồ giải không thể thực hiện được, hoặc nhằm giảm bớt khối lượng thí nghiệm mô hình vật lý. Các kết quả được trình diễn đa dạng, hiệu quả. Trong bối cảnh hiện nay, việc thực hiện nghiên cứu tương tác giữa dòng chảy với kết cấu công trình chỉnh trị sông, cửa sông và ven biển thường thực hiện bằng mô hình toán. Khi cần thiết mới áp dụng mô hình vật lý để kiểm chứng.

Hiện nay, có rất nhiều mô hình 3D tính toán quá trình thuỷ động lực được xây dựng trên thế giới. Mỗi mô hình đều có đặc thù riêng do mối quan tâm cụ thể khác nhau. Vì vậy, nó cũng có những ưu điểm và hạn chế riêng nên việc lựa chọn một mô hình phù hợp để áp dụng trong nghiên cứu, thiết kế công trình chỉnh trị cần được dựa trên hiệu quả của mô hình đối tùy từng yêu cầu về mức độ chi tiết khác nhau cũng như tùy vào đối tượng tính toán, các quá trình vật lý xuất hiện tại khu vực quan tâm. Có thể kể đến một số mô hình tiên tiến, giải quyết được khá đầy đủ các mối quan tâm về đặc trưng thủy động lực và vận chuyển bùn cát vùng cửa sông, ven biển được áp dụng rộng rãi trên thế giới và ở Việt Nam, thể hiện qua Bảng 1-3.

Mô hình	Phiên bản	Dòng chảy	Công thức sử dụng	Bùn cát dính kết	Mã nguồn	Ngôn ngữ lập trình
TELEMAC	V7p1r0, 2016	Không ổn định	Reynolds	Có	Mở	Fortran90
Delft3D	V4, 2016	Không ổn định	Navier- Stokes	Có	Mở	Fortran90
MIKE 3	2022	Không ổn định	Navier- Stokes	Có	Đóng	Fortran90
SSIIM 2	v.186, 2016	Ôn định	Navier- Stokes	Không	Mở	C++
CH3DSED 3D	-	Không ổn định	Khuyếch tán	Có	Mở	Fortran90
SHETRAN	V4, 2016	Không ổn định	Phương trình vi phân riêng	Có	Đóng	Fortran77
EFDC3D	V1.01, 2017	Không ổn định	Khuyếch tán	Có	Mở	Fortran77
HOSODA	-	Không ổn định	Nakagawa	-	-	-
FLOW-3D	V12, 2019	Không ổn định	Navier- Stokes	Không	Đóng	Fortran90

Bảng 1- 3: Tổng quát các thông tin mô hình 3D

Một số nghiên cứu điển hình sử dụng CFD (Computational Fluid Dynamics) để mô phỏng cấu trúc dòng chảy 3D xung quanh mỏ hàn của các tác giả Bing-Dong [47] và tác giả Abad và nnk [30].



0.00 0.10 0.20 0.30 0.40 0.50 0.60 0.70 0.80 0.90 1.00 Hình 1.24: Cấu trúc dòng chảy 3D giữa hai mỏ hàn [30]

Có thể thấy rằng có rất nhiều phần mềm 3D nước ngoài khác nhau đã được phát triển, áp dụng và trở thành một công cụ hữu hiệu trong nhiều nghiên cứu đánh giá trường dòng chảy và bồi xói quanh các công trình. Tuy nhiên, các phần mềm từ nước ngoài được du nhập vào Việt Nam theo con đường các dự án hoặc bằng con đường của du học sinh hoặc hợp tác song phương. Việc tiếp cận đến các phần mềm tiên tiến như vậy đã hỗ trợ giải quyết được một số bài toán trong thực tế (như kiểm soát lũ, thiết kế công trình chỉnh trị, quản lý nguồn thải...), đồng thời nâng cao năng lực của các chuyên gia phần mềm trong nước. Các phần mềm thương mại trên thế giới liệt kê ở trên đã được chuyển giao cho một số cơ quan khác nhau ở Việt Nam và được áp dụng cho một số vùng, như:

Phần mềm HOSODA được GS. Hosoda của trường đại học Kyoto chuyển giao cho đề tài KC.08.14/06-10 và được nhóm áp dụng trong một số nghiên cứu chuyên sâu như: Nghiên cứu tính toán diễn biến lòng sông dưới tác dụng công trình chỉnh trị (Luận án tiến sĩ của Nguyễn Đăng Giáp, 2012).

Phần mềm Mike 3D đã được chuyển giao cho các cơ quan Việt Nam như: Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, Trường Đại học thủy lợi, Viện Quy hoạch Thuỷ lợi, Viện Thiết kế Giao thông và Công trình Đường thuỷ, Viện Công nghệ Môi trường, Viện Biển và Hải Đảo...

Nhìn chung, ở Việt Nam hiện nay đã có những nghiên cứu bước đầu về tính toán thủy động học. Cho dù trong các nghiên cứu này, những lý thuyết hay cải tiến mới ít được xuất hiện, nhưng các tác giả đã rất nhanh nhạy trong việc ứng dụng CFD (Computational Fluid Dynamics) để giải quyết các bài toán thủy động lực cụ thể. Tuy nhiên, vẫn còn ít các nghiên cứu sử dụng các loại mô hình ba chiều (3D), đặc biệt là mô hình 3D họ RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes) mô phỏng cấu trúc dòng chảy và bồi xói quanh các công trình chỉnh trị.

1.5. NHỮNG VÂN ĐỀ TỒN TẠI VÀ CÁC ĐỊNH HƯỚNG NGHIÊN CỨU

1.5.1. Những vấn đề còn tồn tại

Dưới đây là một số vấn đề còn tồi tại được rút ra từ những nghiên cứu tổng quan tài liệu thu thập được:

- Các nghiên cứu về công trình mỏ hàn trên thế giới và ở Việt Nam chủ yếu tập trung nghiên cứu hệ thống mỏ hàn trên sông (dòng chảy đơn hướng), nhưng vẫn còn rất hạn chế các nghiên cứu về bố trí hệ thống mỏ hàn trong đoạn sông vùng ảnh hưởng triều (dòng chảy thuận nghịch). - Đối với cách bố trí không gian hệ thống mỏ hàn theo tham số chiều dài mỏ hàn không bằng nhau, sẽ làm thay đổi cấu trúc dòng chảy và vận tốc dòng chủ lưu có thể tăng, dẫn đến sự thay đổi như thế nào đến vận chuyển bùn cát và thay đổi chiều sâu xói lòng dẫn khu vực bố trí hệ thống mỏ hàn cũng là vấn đề cần làm sáng tỏ.

 Hiện nay vẫn chưa có những tiêu chuẩn, qui phạm, tài liệu hướng dẫn thiết kế nào cho công trình mỏ hàn chỉnh trị trong sông vùng ảnh hưởng triều có dòng chảy thuận nghịch.

- Ở nước ta, vẫn còn hạn chế các điều kiện để có thể tiến hành nghiên cứu trên đoạn sông vùng triều như số liệu thực đo, thiết bị tạo triều, các loại vật liệu cho mô hình lòng động v.v... Vì vậy, khi thiết kế bố trí không gian hệ thống mỏ hàn trên sông vùng ảnh hưởng triều chủ yếu vẫn dựa vào kinh nghiệm thực tế và chủ trương đầu tư của các cơ quan chức năng.

1.5.2. Định hướng các vấn đề nghiên cứu của luận án

Qua phân tích ở trên đã cho thấy, vấn đề thực tế khai thác các luồng lạch giao thông thủy hiện nay đang gặp nhiều hạn chế về độ sâu do hiện tượng bồi lắng lòng dẫn. Điều này nói lên rằng việc nghiên cứu bố trí không gian hệ thống mỏ hàn nhằm gia tăng hiệu quả xói sâu lòng dẫn vẫn luôn là vấn đề thời sự. Trong phạm vi thời gian, điều kiện của một luận án Tiến sĩ kỹ thuật, tác giả đi sâu vào nghiên cứu và giải quyết:

- Làm rõ cơ sở lý thuyết về cấu trúc dòng chảy xung quanh công trình mỏ hàn trên sông vùng ảnh hưởng triều.

 Đề xuất và lựa chọn được giải pháp bố trí không gian hệ thống mỏ hàn (với chiều dài mỏ hàn không bằng nhau) có tác dụng xói sâu lòng dẫn, duy trì giao thông thủy trên sông vùng ảnh hưởng triều.

1.6. KÊT LUẬN CHƯƠNG I

Trong chương này luận án đã tổng quan tài liệu và làm rõ được:

Các nghiên cứu trên thế giới,về tác động bố trí không gian hệ thống mỏ hàn đến cấu trúc dòng chảy và hiệu quả xói sâu lòng dẫn đã có một bề dày lịch sử lâu dài và đã đạt được nhiều thành tựu. Phần lớn các nghiên cứu chuyên sâu đều được thực hiện thông qua các thí nghiệm trên máng dòng chảy của MHVL và máng dòng chảy số của MHT. Các nghiên cứu về bố trí không gian hệ thống mỏ hàn đã nhận dạng một cách khá đầy đủ các tham số bố trí ảnh hưởng cơ bản đến cấu trúc dòng chảy và hiệu quả xói sâu lòng dẫn (chiều dài mỏ hàn và khoảng cách giữa các mỏ hàn). Tuy nhiên, các nghiên cứu về bố trí không gian hệ thống mỏ hàn hầu hết thực hiện trong điều kiện dòng chảy đơn hướng trên sông, nhưng còn rất hạn chế các nghiên cứu về bố trí không gian hệ thống mỏ hàn trong điều kiện dòng chảy thuận nghịch trên sông vùng ảnh hưởng triều.

Còn đối với các nghiên cứu trong nước, về tác động bố trí không gian hệ thống mỏ hàn đến cấu trúc dòng chảy và hiệu quả xói sâu lòng dẫn cũng giống xu thế của thế giới, đạt được những thành tựu lớn trên sông, nhưng còn rất hạn chế và kết quả còn khá khiêm tốn của các nghiên cứu trên sông ảnh hưởng triều. Hầu hết các nghiên cứu đều thông qua các đề tài, dự án gắn với một điều kiện thiết kế cụ thể của một khu vực dự án mà thiếu đi tính khái quát. Các tham số bố trí ảnh hưởng cơ bản đến cấu trúc dòng chảy và hiệu quả xói sâu lòng dẫn (chiều dài mỏ hàn và khoảng cách giữa các mỏ hàn) chưa được xét đến một cách đầy đủ trong điều kiện dòng triều thuận nghịch.

Như vậy phân tích tổng quan ở Chương 1 cho thấy, hiện tại trên thế giới và Việt Nam thì các nghiên cứu chủ yếu tập trung về nghiên cứu bố trí hệ thống mỏ hàn trên sông có dòng chảy đơn hướng mà hầu như chưa có một nghiên cứu cụ thể nào đưa ra được phương pháp xác định các tham số bố trí hệ thống mỏ hàn trên sông vùng ảnh hưởng triều có dòng chảy thuận nghịch. Chính vì vậy, việc nghiên cứu bố trí không gian hệ thống mỏ hàn có chiều dài mỏ hàn không bằng nhau là cần thiết. Vì tính phức tạp của vấn đề nghiên cứu nên luận án này giới hạn phạm vi nghiên cứu chỉ đối với đoạn sông ở vùng sông ảnh hưởng triều khu vực Bắc Bộ, nơi đang tồn tại những điểm nóng về sa bồi ảnh hưởng đến giao thông thủy, còn về chế độ chảy và kết cấu mỏ hàn nghiên cứu chỉ giới hạn ở ở trạng thái chảy không ngập, kết cấu mỏ hàn đặc không thấm nước.

CHƯƠNG 2. CƠ SỞ KHOA HỌC VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU CHỈNH TRỊ ĐOẠN SÔNG ẢNH HƯỞNG TRIỀU BẰNG CÔNG TRÌNH MỎ HÀN

2.1. CƠ SỞ KHOA HỌC ĐÁNH GIÁ HIỆU QUẢ CHỈNH TRỊ ĐOẠN SÔNG VÙNG ẢNH HƯỞNG TRIỀU

2.1.1. Phương trình truyền triều

Nếu coi quá trình truyền triều vào cửa sông như một chuyển động sóng (Hình 2.1) thì phương trình này được mô tả bằng hàm của sóng tuần hoàn (hàm sin hoặc cosin, thể hiện phương trình 2-10).



Hình 2.1: Sơ họa các thông số của sóng triều

Tác giả Van Rijn [64] đã thiết lập phương trình truyền triều tại cửa sông với việc giải đơn giản hóa phương trình Saint - Venant. Đối với cửa sông không có dòng nhập lưu (q), lòng dẫn rộng ($B_c \gg H$), mặt cắt ngang hình chữ nhật có bề rộng không đổi, xuất phát từ hệ phương trình Saint - Venant có thể viết:

$$B\frac{\partial uH}{\partial x} + B\frac{\partial H}{\partial t} = 0$$
(2-1)

$$\frac{A\partial u}{\partial t} + \frac{u\partial u}{A\partial x} + gA\frac{\partial H}{\partial x} - gA(i_x - j_x) = 0$$
(2-2)

Nếu bỏ qua số hạng gia tốc đối lưu $\frac{u\partial u}{\partial x}$ và đáy sông nằm ngang thì hệ phương trình (2-1), (2-2) có thể viết thành:

$$\frac{\partial uH}{\partial x} + \frac{\partial H}{\partial t} = 0 \tag{2-3}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + g \frac{\partial H}{\partial x} = 0 \tag{2-4}$$

Với H= Ho + η thay vào các phương trình (2-3) và (2-4) dẫn đến:

$$\frac{\partial u Ho}{\partial x} + \frac{\partial u \eta}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0$$
(2-5)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \tag{2-6}$$

Khi coi biên độ sóng nhỏ hơn nhiều so với độ sâu ($\eta \ll H$) thì hệ phương trình (2-5), (2-6) có thể viết:

$$Ho\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial \eta}{\partial t} = 0 \tag{2-7}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + g \frac{\partial \eta}{\partial x} = 0 \tag{2-8}$$

Đạo hàm phương trình (2-7) theo t và phương trình (2-8) theo x và trừ đi ta được:

$$\frac{\partial^2 \eta}{\partial t^2} + gHo \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} = 0$$
 (2-9)

Nghiệm tổng quát của phương trình (2-9) là:

$$\eta = \hat{\eta} \cos\left(\omega \left(t - \frac{x}{c}\right)\right) = \hat{\eta} \cos(\omega t - kx)$$
(2-10)

Trong đó:

 $\hat{\eta}$: Biên độ sóng

- ω : tần số góc (2 π /T)
- c: Vận tốc truyền sóng (c=L/T= ω/k)
- k: số sóng (k= $2\pi/L$)
- T: chu kỳ sóng
- L: chiều dài sóng

Phương trình (2-10) thể hiện quá trình truyền triều tại cửa sông, luận án sẽ sử dụng làm cơ sở để mô tả quá trình đường mực nước và vận tốc triều biến đổi theo thời gian.

2.1.2. Sự khởi động của bùn cát - vận tốc khởi động

Để xác định khởi động của bùn cát, các tác giả trường phái Âu-Mỹ đều sử dụng khái niệm ứng suất tiếp đáy khởi động, các trường phái thuộc Liên Xô cũ thường sử dụng khái niệm vận tốc khởi động.

Úng suất tiếp đáy khởi động:



Vận chuyển bùn cát đáy xẩy ra khi ứng suất tiếp τ đáy vượt quá giá trị tới hạn τ_c . Điều kiện khởi động bùn cát được mô tả bởi đường cong Shields và xác định theo quan hệ giữa các thông số Shields:

Thông số Shields giới hạn:

$$\theta_{\rm cr} = \frac{\tau_{\rm cr}}{(\rho_{\rm s} - \rho)gd} \tag{2-11}$$

Trong đó: τ_{cr} là ứng suất tiếp đáy tới hạn; d là đường kính hạt Số Reynolds hạt R_e

$$\operatorname{Re} = \frac{U_{*d}}{v} \tag{2-12}$$

Ở đây, vận tốc ma sát tính bằng

$$U_* = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}} \tag{2-13}$$

Đối với dòng chảy rối được phát triển đầy đủ, vận tốc tiếp đáy tương quan với chiều sâu dòng chảy y_o và vận tốc trung bình U. Xác định bằng công thức của Karman-Prandtl.

$$\frac{U}{U_{*}} = 5.75 \log_{10} \left(\frac{y_{o}}{\beta d_{n}} \right) + 6$$
(2-14)

ổ đây, hệ số β =2 tương ứng đường kính hạt bùn cát d₅₀.

Vận tốc khởi động:

Công thức Hanco (1971), công thức đã được chứng minh độ chính xác trong các nghiên cứu thực nghiệm bởi Escarameia:

$$U_c = a[g\Delta d]^{0.5} \left(\frac{y_o}{d}\right)^{0.2}$$
(2-15)

Trong đó: a là hệ số (a=1.0 với d₅₀>0.7mm và a=1.2 đến 1.4 với d₅₀<0.7mm); Δ là khối lượng riêng tương đối của bùn cát xác định $\Delta = (\rho_s - \rho)/\rho$; y_o là chiều sâu; U_c là vận tốc khởi động.

2.1.3. Ảnh hưởng của đường kính bùn cát đến chiều sâu xói.

Các đặc trưng của bùn cát đáy thường được xác định từ đường cong phân bố đường kính hạt. Có 02 thông số phổ biến được sử dụng là độ lệch chuẩn hình học $\sigma_g = (d_{84}/d_{16})^{0.5}$ của phân bố kích thước hạt và đường kính bùn cát d_{50} là thước đo độ không đồng nhất và đồng nhất về kích thước bùn cát đáy.

Bùn cát không đồng nhất thường phân bố phổ biến ở tự nhiên.

Bùn cát đồng nhất (cỡ hạt đồng đều) thường sử dụng trong thí nghiệm mô hình vật lý, được chế tạo bằng cấp phối hạt vật liệu đồng đều.

1) Các nghiên cứu bùn cát không đồng nhất:

Theo các nghiên cứu Laursen & Toch [46], Ahmad [31];Chiew [35]; and Baker [33] về ảnh hưởng bùn cát không đồng nhất cho thấy, với cùng điều kiện thủy lực độ sâu hố xói giảm đi theo sự tăng lên của đường kính hạt bùn cát. Ngoài ra, cấp phối bùn cát cũng có ảnh hưởng đến độ sâu xói lớn nhất, vì trong quá trình xói, phần bùn cát có đường kính tương đối nhỏ của bùn cát không đồng nhất sẽ bị cuốn đi trước, làm cho mặt hố xói bị thô hóa, làm tăng cường độ chống xói của bùn cát, nên giảm độ sâu hố xói. Tác giả Melville and Coleman [51] đã thực hiện nghiên cứu về ảnh hưởng bùn cát không đồng nhất kết luận rằng, tốc độ xói và chiều sâu xói cân bằng giảm khi giá trị của σ_g tăng.



Hình 2.3: Ảnh hưởng bùn cát không đồng nhất đến chiều sâu xói [51].

2) Các nghiên cứu bùn cát đồng nhất:

Các nghiên cứu của Chabert và Engeldinger [34]; Ettima [39] cho thấy, ảnh hưởng đường kính hạt bùn cát cũng không đáng kể đến chiều sâu xói cân bằng, ngoài ra lượng bùn cát được vận chuyển bởi dòng chảy vào hố xói và lượng bùn cát được đưa lên khỏi hố xói tại công trình mỏ hàn, trụ cầu là giống nhau ở điều kiện cân bằng, lý do vì đường kính hạt bùn cát hầu như ít có ảnh hưởng đến tính cân bằng và liên tục của bùn cát (Hình 2.4).



Hình 2.4: Quan hệ chiều sâu xói d_s với đường kính hạt bùn cát đồng nhất d_{50} . [38]

Tác giả May & Willouhby[49], đánh giá khả năng xuất hiện sóng cát đối với bùn cát đồng nhất, không có sóng cát ($d_{50}>0.5\sim0.7$ mm) có thể xuất hiện sóng cát với ($d_{50}<0.5\sim0.7$ mm) và có xu hướng bắt đầu hình thành sóng cát trước khi đạt đến vận tốc tới hạn. Khi xuất hiện sóng cát, chiều sâu xói có thể chỉ đạt 70% so với không có sóng cát.

Đối với các nghiên cứu trên dòng triều thuận nghịch, tác giả Escarameia đánh giá ảnh hưởng bùn cát đồng nhất với 02 loại đường kính bùn cát, hạt mịn $(d_{50}=0.44 \text{mm} \text{ ứng với } U_{cr}=0.253 \text{m/s})$ và hạt thô $(d_{50}=0.75 \text{mm} \text{ ứng với } U_{cr}=0.283 \text{m/s})$. Kết quả nghiên cứu cơ chế xói của dòng triều thuận nghịch cũng cho kết quả tương tự như dòng đơn hướng, về chiều sâu xói hầu như ít chịu ảnh hưởng bởi đường kính bùn cát, qua đó chọn đường kính bùn cát hạt thô $d_{50}=0.75 \text{mm}$ để nghiên cứu chiều sâu xói xung quanh công trình với dòng triều thuận nghịch, thể hiện Hình 2.5.



Hình 2.5: Ảnh hưởng đường kính bùn cát đồng nhất đến chiều sâu xói cân bằng trong điều kiện dòng triều thuận nghịch [38].

Như vậy, các nghiên cứu trước đây đều khẳng định mức độ ảnh hưởng của tham số đường kính bùn cát đồng nhất d_{50} là không đáng kể đến kết quả nghiên cứu

chiều sâu xói cho cả dòng đơn hướng và dòng triều thuận nghịch, đặc biệt nghiên cứu Escarameia [38] lựa chọn đường kính bùn cát đồng nhất hạt thô (d_{50} =0.75mm) sử dụng nghiên cứu chiều sâu xói xung quanh công trình trên sông ảnh hưởng triều có dòng chảy thuận nghịch. Kết luận này là cơ sở khoa học để luận án tham khảo từ kết quả nghiên cứu đoạn sông vùng ảnh hưởng triều [38] đã sử dụng đường kính bùn cát đồng nhất hạt thô (d_{50} =0.75mm) để nghiên cứu thí nghiệm xác định chiều sâu xói xung quanh công trình.

2.1.4. Các quá trình vật lý ảnh hưởng tới hiệu quả chỉnh trị của mỏ hàn

Dưới tác dụng của công trình mỏ hàn, trạng thái dòng chảy và quá trình xói xung quanh công trình mỏ hàn đều là những vấn đề 3D, nổi bật như: dòng chảy tăng tốc/ giảm tốc là nguyên nhân gây ra dòng rối, dòng xoáy trục đứng (dòng xoáy trục đứng còn gọi là khu nước vật - khu nước vật).

Căn cứ vào hình thái chuyển động của dòng chảy sau khi chịu tác động của công trình mỏ hàn, có thể chia thành 04 vùng, như sau: (xem Hình 2.6).



Hình 2.6: Phân vùng dòng chảy [26].

(1) Dòng chảy đều (Vùng I): là phần thượng lưu kênh dẫn ngoài vùng ảnh hưởng của mỏ hàn, khi dòng chảy ổn định và đều thì lưu tốc đến gần và độ sâu đến gần sẽ bằng với lưu tốc và độ sâu trung bình mặt cắt.

(2) Dòng chảy tăng tốc (Vùng II): vùng chủ lưu thuộc khu dòng chảy tăng tốc. Tại khu dòng chảy tăng tốc, có sự gia tăng về ứng suất tiếp nhưng cường độ rối lại giảm. Ở đó, vận tốc dòng chảy đạt giá trị lớn nhất nhưng độ sâu nước và sức kháng lại là nhỏ nhất. Sự tăng lên của lưu tốc đáy và sự nhiễu động của các xoáy rối trên lòng sông là nguyên nhân gây xói sâu, bao gồm xói cục bộ đầu mũi mỏ hàn và xói phổ biến phần lòng dẫn.

Theo kết quả nghiên cứu [26] về ổn định của viên đá trong trường hợp dòng chảy tăng tốc nêu trên, có thể thấy rằng: sự ổn định của viên đá ở dòng chảy tăng tốc cũng tương tự như với trường hợp dòng đều, miễn là lưu tốc sử dụng cho công thức Shields phải là lưu tốc cục bộ. Điều này có nghĩa là hệ số điều chỉnh lưu tốc K_v trong trường hợp dòng chảy tăng tốc (sử dụng lưu tốc cục bộ) sẽ cho giá trị bằng 1 (K_v=1). Hệ số Kv được định nghĩa như sau:

$$K_{v} = \frac{u_{c} \operatorname{dong} \operatorname{ch}_{dy} \operatorname{d}_{du}}{u_{c} \operatorname{dong} \operatorname{ch}_{dy} \operatorname{t}_{di} \operatorname{trong} \operatorname{gia} \operatorname{t}_{dng}} = \frac{\overline{u}_{cu}}{\overline{u}_{cs}}$$
(2-16)

Với $\overline{u_{cu}}$ là lưu tốc trung bình (theo độ sâu) tới hạn ở trường hợp dòng chảy đều, $\overline{u_{cs}}$ là vận tốc trung bình tới hạn khi có mỏ hàn, có thể là vận tốc trung bình độ sâu tại một số vị trí nào đó hoặc trung bình mặt cắt.

(3) Dòng chảy giảm tốc (Vùng III): Khu nước vật (khu nước vật) thuộc vùng dòng giảm tốc, trạng thái của dòng chảy giảm tốc là hoàn toàn khác so với dòng đều hay dòng chảy tăng tốc. Ở dòng giảm tốc có tính 3D mạnh, thường xuất hiện sự tách dòng và một lớp xáo trộn, các xoáy trục đứng hay gọi là khu nước vật, trong mọi trường hợp mức độ rối sẽ rất cao do sự tổn thất động năng của dòng chảy. Lúc này hệ số điều chỉnh lưu tốc K_v, tính theo vận tốc cục bộ, sẽ có trị số lớn hơn 1.

Lưu ý vận tốc tới hạn ở mẫu số của phương trình (2-16) nhỏ hơn vận tốc tới hạn trong trường hợp dòng đều (tử số). Tức là khi có vật cản, các viên đá bắt đầu chuyển động với một vận tốc nhỏ hơn. Điều này không có nghĩa là sức kháng của lòng dẫn kém đi mà do tải trọng dòng chảy tác động lên viên đá tăng lên.

Chỉ khi sử dụng lưu tốc cục bộ (lớn nhất) của dòng chảy thì K_v mới cho thấy ảnh hưởng của rối. Nếu sử dụng vận tốc trung bình ở thượng lưu v (=Q/A) thì K_v sẽ không mang tính đại diện tốt do sự biến đổi mạnh của trường lưu tốc ở đây.

Chúng ta có thể cho rằng các vận tốc cực đại trong trường lưu tốc là nguyên nhân gây ra sự khởi động của vật liệu. Giá trị cực trị này có thể được biểu diễn dưới dạng $\bar{u}+3\sigma=(1+3r)\bar{u}$ (σ là độ lệch của lưu tốc và r là cường độ rối), từ đó mối

liên hệ giữa K_v theo (2-16) và mức độ rối có thể được xác lập:

$$(1+3r_{cu})\,\bar{u}_{cu} = (1+3r_{cu})\,\bar{u}_{cs} \to K_v = \frac{\bar{u}_{cu}}{\bar{u}_{cs}} = \frac{1+3r_{cs}}{1+3r_{cu}}$$
(2-17)

Trong đó: r_{cs} là cường độ rối trung bình độ sâu tại vị trí xem xét và r_{cu} là cường độ rối của dòng đều.

(4) Dòng đều (Vùng IV): gọi là vùng phục hồi, dòng chảy bắt đầu phục hồi lại đặc tính dòng chảy khi chưa có công trình.

Như vậy, có thể tóm lại rằng hiệu quả xói lòng dẫn của hệ thống mỏ hàn được đánh giá thông qua mối liên hệ với các tham số bố trí, như: chiều dài mỏ hàn, khoảng cách giữa các mỏ hàn và tính chất tương tác tác giữa dòng giảm tốc của khu nước vật và dòng tăng tốc của vùng chủ lưu. Do tác động qua lại giữa khu nước vật với dòng chủ lưu, ảnh hưởng sẽ xẩy ra mạnh mẽ khi khu nước vật lớn làm thu hẹp bề rộng dòng chủ lưu, làm tăng vận tốc dòng chảy, dẫn đến xói sâu lòng dẫn. Vì vậy, có thể cho rằng khu nước vật là quá trình vật lý chi phối quan trọng khi xem xét hiệu quả gia tăng xói lòng dẫn của hệ thống mỏ hàn.

2.2. PHƯƠNG PHÁP MÔ HÌNH TOÁN PHỤC VỤ NGHIÊN CỨU

2.2.1. Lựa chọn mô hình toán

Tương tác dòng chảy với công trình mỏ hàn trong bài toán nghiên cứu của luận án chịu sự chi phối bởi quá trình vật lý dòng chảy tăng tốc và dòng giảm tốc, trong đó nổi bật là dòng chảy có cấu trúc 3D như dòng rối, khu nước vật (KNV) hay gọi là dòng xoáy trục đứng. Quá trình vật lý của dòng tăng tốc/ giảm tốc đã được trình bày tại mục 2.1.4.

Mô hình toán được lựa chọn do vậy cần có khả năng mô phỏng tốt các quá trình vật lý này. Các mô hình toán 2D dựa trên phương trình nước nông SW (Shallow Water) và mô hình toán 3D dựa trên phương trình RANS (Reynolds Averaged Navier Stokes) được sử dụng phổ biến nhất trong việc mô phỏng dòng chảy và vận chuyển bùn cát xung quanh công trình mỏ hàn.

Mô hình họ SW được tích hợp các phương trình Navier-Stokes đối với chiều sâu dòng chảy với các giả thuyết rằng: phân bố vận tốc là đều theo phương thẳng đứng; áp lực dòng chảy là thủy tĩnh và đáy lòng dẫn có độ dốc thoải. Do đó, các mô hình họ SW ít phức tạp hơn và hiệu quả hơn rất nhiều trong tính toán. Kết quả là mô hình họ SW chỉ cung cấp được tham số trung bình độ sâu dòng chảy. Phân bố áp lực thủy tĩnh và mô hình không tính được quá trình phân tán, dòng chảy rối, các xoáy trục đứng là các mặt hạn chế nội tại của phương trình nước nông SW khi ứng dụng tính toán. Tuy nhiên, dòng chảy tương tác với công trình mỏ hàn hình thành dòng tăng tốc và dòng giảm tốc với một hệ thống các xoáy trục đứng xuất hiện gần bề mặt đáy do vậy giả thiết về điều kiện áp lực thủy tĩnh của dòng chảy trong SW là không phù hợp ở các khu vực xung quanh mỏ hàn, dẫn đến khả năng dự báo của mô hình họ SW còn hạn chế đối với cấu trúc dòng chảy ba chiều 3D, hoặc công trình có kết cấu phức tạp cho kết quả có độ tin cậy không cao.

Các mô hình họ RANS có khả năng áp dụng mô phỏng vấn đề tương tác giữa dòng chảy và bùn cát xung quanh mỏ hàn với dòng chảy cấu trúc 3D (dòng rối, dòng xoáy trục đứng), các dạng kết cấu phức tạp khác nhau (mỏ hàn đặc, mỏ hàn cọc, kết cấu thấm nước, không thấm nước). Trong vài thập niên gần đây, khả năng mô phỏng của mô hình này đã đạt được những bước tiến rõ rệt như: có thể ứng dụng mô phỏng tương tác dòng chảy với các dạng công trình có kết cấu hình học phức tạp khác nhau, các điều kiện tính toán sát với thực tế, từ tương tác dòng chảy với các kết cấu đơn giản không thấm nước đến các tương tác sóng, dòng chảy cho các kết cấu phức tạp, từ việc tạo biên triều với dòng chảy thuận nghịch tương tự như máng triều vật lý. Tuy nhiên, nhược điểm chính của các mô hình loại này là hiệu quả tính toán còn thấp tại thời điểm hiện nay, thường mất nhiều giờ trên máy tính thông thường để mô phỏng một số giây của dòng chảy trong thời gian thực.

Vì vậy có thể thấy rằng, với mục đích bài toán là xác định chi tiết cấu trúc dòng chảy và vận chuyển bùn cát xung quanh công trình mỏ hàn nơi cấu trúc dòng chảy ba chiều 3D rõ rệt (dòng chảy rối, dòng xoáy trục đứng hay còn gọi là khu nước vật) thì sử dụng mô hình RANS tỏ ra ưu việt hơn.

Trong số các mô hình họ RANS hiện nay sử dụng rộng rãi trên thế giới như: FLOW 3D, DELFT 3D, MIKE 3 (xem Bảng 1- 3), thì FLOW 3D đã có một bề dày lịch sử nhiều năm phát triển bởi kỹ sư của Flow Science, Inc, USA mô hình được kiểm định và hiệu chỉnh với nhiều bộ số liệu thí nghiệm mô hình tỷ lệ lớn và nhỏ về dòng chảy và vận chuyển bùn cát xung quanh công trình với các tính năng tương tự như trong MHVL máng dòng chảy thủy lực. Chính vì lý do này tác giả đã lựa chọn mô hình FLOW 3D cho bài toán nghiên cứu.

2.2.2. Giới thiệu mô hình Flow 3D

Flow-3D ứng dụng mô phỏng máng dòng chảy số họ RANS, cung cấp người sử dụng một cái nhìn sâu sắc về chi tiết cấu trúc dòng chảy 3D. Máng dòng chảy số có khả năng mô phỏng dòng chảy và vận chuyển bùn cát xung quanh công trình tương tự như máng dòng chảy vật lý. Đối với mô hình bùn cát, hiện tại các phiên bản mới cho phép mô phỏng được sự phân bố không gian về đặc trưng của bùn cát theo các lớp địa chất. Để mô phỏng bài toán tương tác giữa dòng chảy, bùn cát và công trình mỏ hàn, luận án sử dụng máy tính trạm có cấu hình cao T7600.

Máng dòng chảy số tạo bởi Flow 3D đã được các tác giả trên thế giới sử dụng trong các nghiên cứu chiều sâu xói xung quanh hệ thống mỏ hàn như trong một số nghiên cứu đã công bố của Abolfazl Nazari Gigloua và nnk [73]; Hanif Pourshahbaz và nnk [42]; Acharya và nnk [74]; Shamohamadi và nnk [79]. Các nghiên cứu trên cho kết quả mô phỏng phù hợp với số liệu đo đạc trên MHVL về vận tốc và chiều sâu hố xói xung quanh hệ thống mỏ hàn. Trong luận án này, máng dòng chảy số tạo bởi Flow-3D dùng để mô phỏng diễn biến theo thời gian của mực nước triều và nấc triều tương tự như trong MHVL máng dòng chảy thủy lực. (Hình 2.7)



Hình 2.7: Máng dòng chảy số - thiết lập bằng Flow-3D

2.2.3. Ưu điểm và hạn chế của mô hình

2.2.3.1. Ưu điểm của mô hình Flow 3D:

Flow 3D có các ưu điểm sau: Lưới tính toán hoàn toàn độc lập khối hình học, vì vậy quá trình thiết lập các nghiên cứu có hình dạng công trình phức tạp như: mỏ hàn, trụ cầu, đập tràn, cửa van... sẽ đơn giản và nhanh hơn.

Tạo được nhiều khối lưới (khối lưới liên kết, khối lưới chồng chập, khối lưới phù hợp) để tạo ra các mắt lưới hiệu quả hơn tại các khu vực quan trọng.

Có 04 tùy chọn có sẵn về mô hình rối trong FLOW3D, đặc biệt Mô hình RNG (Renormalized Group) là một phiên bản mạnh hơn của mô hình k-ε hai phương trình, và được đề xuất áp dụng cho bài toán thủy lực phức tạp. Nó mở rộng khả năng của các mô hình k-ε cơ bản để cung cấp độ chính xác tốt hơn đối với dòng chảy rối và vận chuyển bùn cát.

Sử dụng phương pháp số dư cực tiểu tổng quát (Generalized Minimal Residual method - GMRES). Trong GMRES, một tùy chọn thuật toán gradient liên hợp tổng quát (GCG - Generalized Conjugate Gradient) cũng được đưa vào để giải các bài toán về độ nhớt. Phương pháp giải mới này là một phương pháp rất chính xác và hiệu quả đối với một loạt các vấn đề về thời gian hội tụ và tốc độ tính toán. Đã khắc phục những hạn chế của phương pháp giảm dư SOR (successive over relaxation) hoặc phương pháp hướng ẩn Sadi (special alternating direction, line implicit) có thể rất chậm để hội tụ. Do đó, FLOW 3D có khả năng mô phỏng độ chính xác tại từng vị trí.

Cho phép đưa nhiều đường kính hạt phân bố theo các lớp địa chất.

FLOW 3D tiếp nhận dữ liệu hình học đầu vào từ nhiều định dạng (.STL) từ các phần mềm dựng 3D thông dụng Autocad, 3dmax, Solidworks... Do đó, dễ dàng tạo hình dạng công trình.

2.2.3.2. Các giới hạn của mô hình Flow 3D:

Cần thời gian tính toán lớn để đạt được kết quả xói, bồi (mất hàng giờ chạy máy tính để mô phỏng một giây dòng chảy thực).

Mô hình vận chuyển bùn cát Flow 3D có khả năng mô phỏng với bùn cát rời

nhưng hiện tại chưa tích hợp được với bùn cát dính.

2.2.4. Cơ sở toán học và phương pháp giải

2.2.4.1. Các hệ phương trình

(1) Mô hình thủy động lực học

Flow-3D sử dụng phương trình Navier-Stoke làm phương trình chủ đạo. Đây là phương trình chỉ có thể giải được bằng giải tích trong một số bài toàn dòng chảy có điều kiện đơn giản. Phương trình này là sự kết hợp của phương trình liên tục và các phương trình động lượng, từ phương trình 2-18 đến 2-21:

$$V_F \frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\rho u A_x) + R \frac{\partial}{\partial y}(\rho v A_y) + \frac{\partial}{\partial z}(\rho w A_z) = R_{SOR}$$
(2-18)

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) - \xi \frac{A_y v^2}{xV_F}$$

$$= -\frac{1}{2} \frac{\partial \rho}{\partial x} + G_x + f_x \qquad (2-19)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) - \xi \frac{A_y u v}{xV_F}$$

$$R \partial \rho \qquad (2-20)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y R \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z} \right)$$

$$= -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \rho}{\partial z} + G_z + f_z$$
(2-21)

Trong các công thức này: V_F là hệ số thể tích; p là tỷ trọng; (u, v, w) thành phần vận tốc theo trục (x, y, z); R_{SOR} hàm nguồn; (A_x , A_y , A_z) diện tích theo 3 hướng; (G_x , G_y , G_z) lực hấp dẫn; (f_x , f_y , f_z) gia tốc nhớt; (b_x , b_y , b_z) tổn thất cột nước. Trong Flow-3D, có 02 phương pháp được sử dụng mô phỏng được gọi là phương pháp thể tích chất lỏng (VOF- Hirt and Nichols 1981) được sử dụng để bắt được bề mặt tiếp xúc chất lỏng - khí hoặc chất lỏng - lỏng. Thể tích chất lỏng trong mỗi ô được ghi và so sánh thể tích các ô lưới xung quanh để xác định độ dốc và đường cong của chất lỏng với ô lưới. Phương pháp mô hình hóa vật cản tỉ số diện tích/thể tích (FAVOR-Flow Science 2010), chương trình sử dụng cho mô phỏng bề mặt và các khối vật rắn là đường biên hình học, cho phép các lưới hình chữ nhật được thiết lập mà không gây biến dạng đặc tính của vật cản.

(2) Mô hình vận chuyển bùn cát

Bùn cát lơ lửng và bùn cát đáy được tính độc lập trong tính toán bùn cát. Vận chuyển bùn cát lơ lửng được xác định theo phương trình phân tán đối lưu.

$$\frac{\partial c}{\partial t} + U_i \frac{\partial c}{\partial x_i} + W \frac{\partial c}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(\Gamma \frac{\partial c}{\partial x_i} \right)$$
(2-22)

Ở đây: U là vận tốc, W là vận tốc chìm lắng, Γ là hệ số khuếch tán; C là nồng độ bùn cát. Hệ số khuếch tán được tính toán bởi mô hình k-ε.

Để xác định lưu lượng vận chuyển bùn cát đáy, mô hình flow 3D sử dụng 03 công thức tính toán gồm: Van Rijn, Meyer-Peter & Muller và Nielsen.

$$\Phi_{i} = \beta_{VR,i} d_{*,i}^{-0.3} \left(\frac{\theta_{i}}{\theta_{cr,i}} - 1 \right)^{2.1} c_{b,i}$$
(2-23)

$$\Phi_{i} = \beta_{MPM,i} \left(\theta_{i} - \theta_{cr,i}^{\prime} \right)^{1.5} c_{b,i}$$

$$(2-24)$$

$$\Phi_{i} = \beta_{Nie,i} \theta_{i}^{0.5} \left(\theta_{i} - \theta_{cr,i}^{'} \right) c_{b,i}$$
(2-25)

$$q_{b,i} = \Phi_i \left[\|g\| \left(\frac{\rho_i - \rho_f}{\rho_f} \right) d_i^3 \right]_{.}^{1/2}$$
(2-26)

Trong đó: $\beta_{VR, i}$ và $\beta_{MPM, i}$ - $\beta_{Nie, i}$ là các hệ số có giá trị bằng 0.053 (van Rijn) và 8.0 – 12.0 (Meyer - Nielsen); c_{b,n} là nồng độ chuyển tải bùn cát đáy của loại hạt n; q_b là lưu lượng vận chuyển bùn cát đáy.

Ngoài ra, lý thuyết vận chuyển bùn cát Flow 3D trình bày chi tiết Phụ lục 2

2.2.4.2. Các phương pháp mô phỏng dòng rối

Để giải gần đúng được hệ phương trình Navier Stoke một số phương pháp mô phỏng dòng rối thường được dùng như sau: (chi tiết Phụ lục 3).

- Phương pháp mô phỏng dòng rối bằng cách tính toán trực tiếp, Direct Numerical Simulation (DNS).
- Phương pháp mô phỏng dòng xoáy, Large Eddy Simulation (LES).
- Phương pháp trung bình hóa Reynolds (RANs).
- Mô hình một phương trình (*K equation*)
- Mô hình hai phương trình (*K epsilon equations*)
- Mô hình RNG (*Renormalization-Group*)

2.3. THIẾT LẬP BÀI TOÁN NGHIÊN CỨU

Luận án thiết lập một máng dòng chảy số bằng Flow 3D nhằm thực hiện mục tiêu nghiên cứu về cấu trúc dòng chảy và hiệu quả xói sâu lòng dẫn giữa các phương án bố trí không gian hệ thống mỏ hàn. Máng dòng chảy số được hiệu chỉnh và kiểm định với số liệu đo đạc thí nghiệm của Karami và nnk [81]. Ở đây, luận án không có điều kiện tiến hành thí nghiệm trên mô hình vật lý (MHVL) do những hạn chế về chế tạo chính xác vật liệu bùn cát tương tự giữa mô hình và nguyên hình. Luận án sử dụng số liệu đo đạc thí nghiệm của Karami và nnk [81] đã được công bố ở tạp trí uy tín trên thế giới (water and environment journal thuộc danh mục ISI) dùng để hiệu chỉnh, kiểm định cho mô hình Flow 3D, ngoài ra bộ số liệu thí nghiệm của Karami cũng được các nghiên cứu [42] và [81] dùng để hiệu chỉnh, kiểm định cho các mô hình toán 3D khác nhau (SSIIM 2 và Flow 3D).

2.3.1. Nghiên cứu thí nghiệm trên mô hình vật lý của Karami và nnk [81]

Mục tiêu của thí nghiệm Karami và nnk [81] nghiên cứu cấu trúc dòng chảy và chiều sâu xói xung quanh khu vực hệ thống mỏ hàn. Thí nghiệm đã được thực hiện trên máng dòng chảy hình chữ nhật có chiều dài 14m, chiều rộng 1m và chiều sâu 1m, với 03 mỏ hàn đặc có chiều dài 0,25m và khoảng cách bằng 2 lần chiều dài mỏ hàn là 0.5m (S=2L), mỏ hàn ở trạng thái chảy không ngập. Độ sâu dòng chảy được duy trì ở 0,15m. Chiều dày lớp bùn cát 0,35m với đường kính bùn cát đồng nhất d₅₀=0.91mm, trọng lượng riêng S= 2,65 (Hình 2.8). Phân bố vận tốc và biến động đáy sông xung quanh khu vực mỏ hàn được đo bằng acoustic doppler velocimeter (ADV) và Laser Profiler (LBP) tương ứng. LBP có độ chính xác là \pm 1mm chiều rộng và \pm 0,1mm chiều sâu. Giá trị vận tốc được lấy tại z = 2cm so với đáy lòng dẫn, các mặt cắt đo tại X₁, X₂, X₃, X₄ và Y₁, Y₂ (Hình 2.9).

Xác định U_{cr} của thí nghiệm: dẫn nước vào khu lặng nước cuối mô hình để nước dần dần dâng lên trong máng, điều chỉnh cửa cuối để dâng dần mực nước cho cát thí nghiệm được bão hòa nước. Khi mực nước trong máng cao hơn mặt cát lòng máng khoảng 6~7cm thì mở van máng lường khống chế cho dòng chảy vào đầu máng, tăng lưu lượng từ từ để độ sâu trong máng đạt giá trị ~0.15m. Lúc đó, dòng chảy trong máng là dòng chảy ổn định đều, đặt giá đo lưu tốc vào vị trí gần giữa máng (vi trí xác định U_{cr}). Tăng thêm lưu lượng cấp nước, đồng thời quan sát hiện tượng dòng chảy ở mặt cắt đo U_{cr} . Khi lưu lượng tăng đến mức cát thí nghiệm ở mặt cắt đo đạc bắt đầu có hiện tượng chuyển động trượt và nhảy lên, lập tức tiến hành xác định lưu tốc dòng chảy. Do là dòng chảy đều, có thể lấy lưu tốc trung bình mặt cắt tại thời điểm bùn cát bắt đầu khởi động làm lưu tốc khởi động. Kết quả thí nghiệm đối với loại vật liệu đã lựa chọn có vận tốc khởi động U_{cr}=0.358m/s.

Kết quả thí nghiệm được thể hiện trong (Bảng 2-1 và Bảng 2-2), theo đó Q là lưu lượng dòng chảy (m^3/s), Y là độ sâu dòng chảy (m), U là tốc độ dòng chảy (m/s), U/U_{cr} là tỷ lệ của vận tốc dòng chảy đến và vận tốc tới hạn, Fr là số Froude, d_{S1}, d_{S2} và d_{S3} là chiều sâu xói cục bộ lớn nhất xung quanh đầu mũi các mỏ hàn thứ 1, 2 và 3 (m), và V thể tích bùn cát bị xói mòn (m^3).



Hình 2.8: Mặt bằng máng dòng chảy thí nghiệm của Karami, Basser,

Ardeshir và Hosseini [81]

Bảng 2-1: Chiều sâu xói cục bộ lớn nhất mũi mỏ hàn của thí nghiệm Karami [81]

TT	Q (m ³ /s)	Y (m)	U _{tb} (m/s)	U _{cr} (m/s)	U/U _{cr}	d _{s1} (m)	d _{s2} (m)	d _{s3} (m)
Q1	0.035	0.150	0.233	0.358	0.650	0.156	0.000	0.026
Q ₂	0.046	0.150	0.307	0.358	0.850	0.225	0.029	0.072



Hình 2.9: Các mặt cắt so sánh giữa kết quả thí nghiệm và mô hình toán Bảng 2-2: Phân bố vận tốc đáy khu vực mỏ hàn của thí nghiệm Karami và nnk [81]

	Thủy Vận tốc đáy Vđ (m/s), ứng với lưu					ượng Q ₁
TT	Điểm đo đáy (Đ)	trực đo (B=1.0m)	Mặt cắt X ₁	Mặt cắt X ₂ (Mỏ hàn)	Mặt cắt X ₃	Mặt cắt X ₄ (Mỏ hàn)
1	Đ	0.00				
2	Đ	0.05	0.036		0.053	
3	Đ	0.10	0.090		0.061	
4	Đ	0.15	0.121		0.057	
5	Ð	0.20	0.162		0.042	
6	Đ	0.25	0.200	0.380	0.060	0.150
7	Đ	0.30	0.236	0.388	0.087	0.280
8	Ð	0.40	0.276	0.405	0.260	0.289
9	Đ	0.50	0.316	0.398	0.371	0.363
10	Ð	0.60	0.326	0.390	0.378	0.381
11	Đ	0.70	0.341	0.378	0.372	0.390
12	Ð	0.80	0.333	0.370	0.364	0.410
13	Đ	0.90	0.233	0.336	0.269	0.273
14	Đ	0.95	0.056	0.054	0.058	0.029

(a). So sánh kết quả thí nghiệm của Karami và nnk [81] với một số kết quả đã được công bố.

Luận án đã so sánh giá trị vận tốc khởi động U_{cr} giữa thí nghiệm và số liệu đo đạc thực tế trong tiêu chuẩn TCVN 4118 : 1985 hệ thống kênh tưới – tiêu chuẩn thiết kế và sổ tay tính toán thủy lực P.G. Kixêlep, ngoài ra còn tính toán theo công thức (2-5). Kết quả so sánh được thể hiện Bảng 2-3 và Bảng 2-4.

TT	Phương pháp	Vận tốc khởi động U _{cr} (m/s)	Kích thước hạt d (mm)	Chiều sâu nước (m)
1	Thí nghiệm Karami [81]	0.358	0.91	0.15
2	TCVN 4118 : 1985 và số tay P.G. Kixêlep (thực đo)	0.27÷0.47	0.25÷1.00	0.40
3	Công thức Hanco (1971)	0.336	0.91	0.15

Bảng 2-3: So sánh vận tốc khởi động U_{cr} (m/s)

Bảng 2-4: Vận tốc không xói cho phép (m/s) theo tiêu chuẩn TCVN 4118:1985

Looi đất	Kích thước hạt	U_{kx} ứng với	U_{kx} ứng với chiều sâu nước trung bình trong kênh (m/s)					
Loại dai	(mm)	$h_{tb} = 0.4$	$h_{tb} = 1.0$	$h_{tb} = 2.0$	$h_{tb} \ge 3$			
Bụi và bùn	0.005 đến 0.05	0.12 đến 0.17	0.15 đến 0.21	0.17 đến 0.24	0.19 đến 0.26			
Cát nhỏ	0.05 đến 0.25	0.17 đến 0.27	0.21 đến 0.32	0.24 đến 0.37	0.26 đến 0.4			
Cát vừa	0.25 đến 1.00	0.27 đến 0.47	0.32 đến 0.57	0.37đến 0.65	0.4 đến 0.7			
Cát thô	1 đến 2.5	0.47 đến 0.53	0.57 đến 0.65	0.65 đến 0.75	0.7 đến 0.8			

Từ kết quả thể hiện trên Bảng 2-3 và Bảng 2-4 cho thấy, giá trị vận tốc khởi động bùn cát $U_{cr} = 0.358$ m/s (d₅₀=0.91mm) có sự tương đồng với các số liệu của tiêu chuẩn TCVN 4118 : 1985, sổ tay P.G. Kixêlep.

(b). Đánh giá mức độ ảnh hưởng của đường kính hạt bùn cát đồng nhất $d_{50}=0.91$ mm trong thí nghiệm mô hình lòng động của Karami [81]

Như đã đề cập trong mục 2.1.3, các nghiên cứu trước đây AJ Raudkivi [55], Melville [50] và May & Willoughby [49] về dòng chảy đơn hướng cho thấy, ảnh hưởng đường kính hạt bùn cát đồng nhất (hạt đồng đều) đến chiều sâu xói là đủ nhỏ để có thể không xét đến.

Trong điều kiện dòng triều thuận nghịch, nghiên cứu Escarameia [38] cũng khẳng định bản chất cơ chế xói dòng triều thuận nghịch giống như dòng đơn hướng, và đường kính hạt bùn cát đồng nhất d_{50} hầu như không ảnh hưởng đến chiều sâu xói. Nghiên cứu đã lựa chọn bùn cát đồng nhất hạt thô ($d_{50}=0.75$ mm) sử dụng thí nghiệm chiều sâu xói xung quanh công trình trên sông vùng ảnh hưởng triều có dòng chảy thuận nghịch. Đây là cơ sở khoa học để luận án tham khảo sử dụng bùn cát cho bài toán nghiên cứu.

Như vậy, các nghiên cứu trong điều kiện dòng chảy đơn hướng và dòng chảy

thuận nghịch đều cho thấy, kích thước bùn cát đồng nhất d_{50} hầu như không ảnh hưởng đến chiều sâu xói. Từ đó dẫn đến lựa chọn sử dụng kết quả thí nghiệm của Karami với đường kính bùn cát đồng nhất hạt thô $d_{50}=0.91$ mm trên dòng đơn hướng để áp dụng cho bài toán của luận án nghiên cứu chiều sâu xói trong điều kiện dòng triều thuận nghịch. Cách lựa chọn $d_{50}=0.91$ mm đã phải chấp nhận hạn chế rằng bùn cát chưa phản ánh đúng hoàn toàn tính chất bùn cát hạt mịn vùng cửa sông, tuy nhiên nghiên cứu tập trung đi sâu so sánh hiệu quả tương đối giữa các phương án bố trí không gian mỏ hàn với cùng điều kiện thủy lực, điều này khắc phục phần nào hạn chế ở trên cũng như cho phép đảm bảo độ tin cậy của kết quả nghiên cứu.

2.3.2. Xây dựng và hiệu chỉnh, kiếm định mô hình Flow 3D với số liệu thí nghiệm mô hình vật lý của Karami và nnk.

(1) Xây dựng mô hình toán FLOW 3D sử dụng số liệu thí nghiệm của Karami

Luận án xây dựng một máng dòng chảy số trên MHT bằng phần mềm Flow-3D thiết lập tương tự như trong MHVL máng dòng chảy của Karami, Basser, Ardeshir và Hosseini [14] (xem Hình 2.10). Các thông số lựa chọn như: đơn vị lựa chọn là SI, nhiệt độ Celsius và nước được giả thiết là chất lỏng không nén được. Hệ số Shields của chuyển động bùn cát được xem xét cho bùn cát có đường kính d_{50} =0.91mm, gia tốc trọng trường 9.807m/s², khối lượng riêng hạt bùn cát 2650 kg/m³ và độ nhớt 10^-6. Mô hình rối (Renormalized group - RNG) đã được sử dụng.

- Điều kiện biên:

Các thông số điều kiện biên được lấy theo thí nghiệm mô hình vật lý của Karami như đã trình bày ở phần trên (Bảng 2-1).

Không gian tính toán của mô hình tương tự như trong máng dòng chảy vật lý bao gồm nguồn cấp lưu lượng tại biên đầu vào có tính năng cấp nước, ở hạ lưu là biên hấp thụ nước (xem Hình 2.10), cụ thể: biên thượng lưu (X_{min}) được gán là điều kiện biên lưu lượng Q= 0,035 m³/s: $X_{min} \equiv Q$ (Volume Flow rate), biên hạ lưu (X_{max}) là biên của dòng chảy ra sẽ được gán biên liên tục C: $X_{max} \equiv C$ (continuative), biên thấp nhất trên trục Z (đáy máng) sẽ được gán điều kiện biên như một tường cứng: $Z_{min} \equiv W$ (Wall), biên cao nhất trên trục Z và các biên trong giữa các khối lưới sẽ

được gán như một biên đối xứng: Z_{max} ≡ S, biên theo phương Y gồm tường bên trái với Y_{min}≡ W (Wall) và tường bên phải Y_{max}≡ W (Wall). Trong đó: X theo chiều dòng chảy từ trái đến phải; Y là phương vuông góc với dòng chảy; Z là phương thẳng đứng theo độ sâu dòng chảy.





Hình 2.10: Sơ họa mô hình vật lý và các điều kiện biên của mô hình toán.

- Kích thước mô hình:

Để thuận tiện trong quá trình lựa chọn kích thước, mô hình chia thành 02 đoạn: khu vực giữa là đoạn lòng dẫn bố trí mỏ hàn (L_1 – đoạn lòng dẫn gán vật liệu bùn cát); đoạn lòng dẫn còn lại là khu vực thượng, hạ lưu (gán vật liệu cứng).

Các mô phỏng tiến hành xem xét hiệu chỉnh kích thước hợp lý đoạn lòng dẫn khu vực mỏ hàn (L_1), như chiều dài không nên quá ngắn và cũng không nên quá dài để giảm dung lượng máy tính, một vài mô phỏng với chiều dài L_1 khác nhau đã được kiểm tra 5.00m; 4.00m; 3.00m; 2.50m và 2.00m. Những mô phỏng chỉ ra rằng, tại vùng tiếp giáp đoạn lòng dẫn mềm L_1 và lòng dẫn cứng thượng hạ lưu, không xuất hiện vấn đề xói khi đoạn lòng dẫn L_1 ở chiều dài 2.50m hoặc lớn hơn. Qua đó, kích thước đoạn lòng động xung quanh mỏ hàn lựa chọn là L_1 =3.00m. Ngoài ra, chiều dài mô hình được kiểm tra từ 6m, 8m, 10m, 12m và 14m. Các mô phỏng cho thấy, với chiều dài 8m hoặc lớn hơn đảm bảo yêu cầu lòng dẫn phát triển rối đầy đủ, qua đó để giảm thời gian và dung lượng máy tính chọn kích thước toàn bộ lòng dẫn là L=10.00m. Như vậy, kích thước lựa chọn (LxBxH=10m x 1.0m x 0.5m), chiều dài đoạn lòng động xung quanh mỏ hàn lựa chọn là L_1 =3.00m xem Hình 2.11.



Khu vực gần công trình được đặc trưng bởi thay đổi đột ngột của chuyển động dòng chảy (đặc biệt là dòng chảy khu vực hệ thống mỏ hàn) và hình học mỏng (mỏ hàn chỉ dày 0.03m), điều này đòi hỏi một lưới rất mịn để giải quyết. Mặt khác, đoạn kênh dẫn là đoạn kênh thẳng, dòng chảy ổn định, và có thể cho phép một lưới thô để giảm số ô lưới. Theo nghiên cứu [40] việc tạo các lưới lồng nhau sẽ dẫn đến kết quả mô phỏng tốt các xoáy và cũng cho kết quả phù hợp với dữ liệu thí nghiệm. Cần chú ý rằng khi tạo các lưới lồng nhau, lưới bên ngoài và lưới bên trong không nên có sự khác biệt lớn về kích thước, để giảm các lỗi đề nghị tỷ lệ thiết lập hai lưới là bội số của 2. Ở nghiên cứu này, sẽ tạo 03 khối lưới để giải quyết dòng chảy và phù hợp giữa các khối lưới với mỏ hàn. Khối lưới 1 (vùng kênh dẫn) lồng lên khối lưới 2 (khu vực hệ thống mỏ hàn), khối lưới phù hợp thứ 3 (xung quanh mỏ hàn) được tạo sau, đây là một khả năng mạnh được tính hợp trong Flow-3D v.11.2. Theo quy tắc kinh nghiệm tỷ lệ kích thước ô lưới lân cận lớn nhất (X, Y, Z): phải nhỏ hơn < 1.25; tỷ lệ ô lưới cạnh lớn nhất (ZY, YZ và ZX) nhỏ hơn < 3.1, xem Bảng 2-5.



Hình 2.12: Tạo lưới tính toán trên Flow-3D của luận án.



Hình 2.13: Tạo 02 lưới trên *Flow-3D của Hanif Pourshahbaz và nnk, 2017 [42]

Mô hình Flow-3D Mô hình vật lý Lưới Lưới Lưới Tổng số Ghi ΤT 3 d_{s1} d_{s1} d_{s3} 1 2 d_{s2} d_{s3} d_{s2} ô lưới chú (cm)(cm)(cm) (m) (m) (m) (m) (m) (m) 2 602802 0.099 1 3 Theo [42] 2 2.5 1.2 2219500 0.133 0.156 0.000 0.026 3 2 1 0.139 0.002 0.025 0.156 0.000 4 1910000 0.026

Bảng 2-5: Phân tích mật độ lưới

Từ phân tích độ chính xác đã được thực hiện với các kích thước lưới (Bảng 2-5). Với d_{s1} , d_{s2} và d_{s3} , là chiều sâu xói cục bộ lớn nhất tại các mỏ hàn thứ nhất, thứ hai và thứ ba. Lựa chọn được kích thước lưới, thể hiện tại Bảng 2-6.

Bảng 2-6: Kích thước lưới lựa chọn

тт	Khối lưới	Khối lưới	Khối lưới 3	Tổng số ô	Tỷ lệ ô	Tỷ lệ ô lưới
11	1 (cm)	2 (cm)	(cm)	lưới	cạnh Max	lân cận Max
1	4	2	1	1910000	1.04	1.00

(1) Hiệu chỉnh mô hình:

Quá trình hiệu chỉnh với mục đích kết quả mô phỏng sát hơn với kết quả thí nghiệm. Do đó, luận án sử dụng kết quả thí nghiệm Karami và nnk [81] với cấp lưu lượng $Q_1=0.035m^3/s$ (Bảng 2-1) để hiệu chỉnh. Mô hình FLOW 3D được hiệu chỉnh thông qua việc lựa chọn mô hình rối, mô hình vận chuyển bùn cát và điều chỉnh hệ số nhám tuyệt đối. Chi tiết của việc hiệu chỉnh thể hiện tại Phụ lục 2 và 3.

- Kết quả mô phỏng thời gian xói đạt trạng thái cân bằng:

Thời gian xói là thông số quan trọng trong các nghiên cứu. Trong quá trình nghiên cứu thí nghiệm của Karami và nnk [81], thời gian đạt đến trạng thái cân bằng là 3000 phút. Với mô hình toán, sử dụng tiêu chí biến đổi độ cao lòng dẫn rất nhỏ dưới 1% ứng với 15% thời gian mô phỏng thì coi như đạt trạng thái cân bằng. Dựa trên biểu đồ thời gian xói của mô phỏng số Hình 2.14, xác định được thời gian

Trong nghiên cứu này, cách chia 03 khối lưới (Hình 2.12) giúp nhỏ gọn và



mô hình Flow-3D đạt tới xói cân bằng là 1350s.

- So sánh vận tốc dòng chảy:

Vận tốc dòng chảy được đo đạc theo mặt cắt ngang cách đáy lòng dẫn khoảng Z= 2cm, tại các vị trí X_1 , X_2 , X_3 và X_4 (số liệu thể hiện trong phần Phụ lục 2, sơ đồ Hình 2.9 và Hình 2.15) tính từ đầu kênh dẫn. Trong Bảng 2-7 và Hình 2.15, là kết quả so sánh giữa Flow-3D (LA) của luận án, *Flow-3D của Hanif Pourshahbaz và nnk [42] và các kết quả thí nghiệm mô hình vật lý của Krami và nnk.

Dựa trên các tham số mô hình và phương pháp đánh giá, luận án dùng sai số trung bình quân phương RMSE, trung bình của sai số tuyệt đối MAE và bình phương hệ số tương quan R^2 để đánh giá tính hiệu quả của mô hình toán. Mô hình cho kết quả tốt là mô hình đạt được sai số RMSE và MAE nhỏ. Giá trị R^2 càng cao cho thấy mô hình sử dụng để phân tích cho kết quả đáng tin cậy.

$$R^{2} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (E_{i} - N_{i})^{2}}{\sum_{i=1}^{n} (E_{i} - \overline{E_{i}})^{2}}$$
(2-27)

$$MAE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} |E_i - N_i|$$
(2-28)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} (E_i - N_i)^2}$$
(2-29)

Bảng 2-7: Phân tích sai số kết quả vận tốc giữa Flow-3D (LA) của luận án với *Flow-3D của Hanif Pourshahbaz và dữ liệu thí nghiệm

Mặt cắt	*Flow-3D của	Pourshahbaz	Flow-3D (LA) của luận án		
	*RMSE	R^{2}	RMSE	\mathbb{R}^2	
X_1	0.040	0.855	0.016	0.975	
X_2	0.059	0.828	0.038	0.928	
X_3	0.063	0.810	0.036	0.937	
X_4	0.041	0.897	0.019	0.978	
Trung bình	0.051	0.848	0.027	0.955	



Hình 2.15: Vận tốc đáy tại các mặt cắt ngang X₁, X₂, X₃ và X₄ (Q₁=0.035m³/s)
So sánh chiều sâu xói cục bộ lớn nhất:

Sau trạng thái cân bằng, giá trị chiều sâu xói cục bộ lớn nhất Flow-3D là 0.14m thấp hơn 10% so với kết quả thí nghiệm là 0.156m. Hình dạng xói có thể thấy trong Hình 2.16.


a) Mô hình vật lý Hình 2.16: Hình dạng xói xung quanh khu vực mỏ hàn $(Q_1=0.035m^3/s)$

Từ Hình 2.17 cho thấy, chiều sâu xói tối đa khu vực mỏ hàn thứ nhất, thứ hai và thứ ba lần lượt là 0.14 m, 0.005 m và 0.025 m.



Hình 2.17: Xói cục bộ tại các mỏ hàn thứ 1, mỏ hàn thứ 2 và mỏ hàn thứ 3

Bảng 2-8: Phân tích sai số kết quả chiều sâu xói cục bộ của Flow-3d trong luận án với *Flow-3D của Hanif Pourshahbaz và nnk, 2017[42] và dữ liệu thí nghiệm

TT	Mô hình	$d_{s1}(m)$	$d_{s2}(m)$	$d_{s3}(m)$	MAE	RMSE	R^2
1	Experimental	0.156	0	0.026	-	-	-
2	*Flow-3D (Hanif)	0.13	0.005	0.023	0.0090	0.0134	0.8807
3	Flow-3D (luận án)	0.14	0.005	0.025	0.0063	0.0098	0.9088

So sánh chiều sâu xói lòng dẫn:

Để theo dõi sự thay đổi độ cao lòng dẫn, 4 mặt cắt ngang và dọc ở trước và sau khi thu hẹp bởi công trình mỏ hàn được chọn là X_2 , X_3 và Y_1 và Y_2 (thể hiện sơ đồ Hình 2.9).



Hình 2.18: Biến động lòng dẫn giữa kết quả thí nghiệm (Q₁=0.035m³/s) với Flow-3D (LA) của luận án và *Flow-3D của Hanif Pourshahbaz và nnk, 2017 [42] Bảng 2-9: Phân tích sai số kết quả chiều sâu xói

Măt aất	*Flow-3D của	Hanif Pourshah	Flow-3D (LA) của luận án		
Mật Cất	*RMSE	R^{2}	RMSE	R^2	
X_2	0.018	0.823	0.009	0.958	
X_3	0.011	0.818	0.007	0.931	
Y_1	0.007	0.820	0.005	0.893	
Y ₂	0.019	0.811	0.013	0.901	
Trung bình	0.014	0.818	0.009	0.921	

Từ đồ thị Hình 2.18 cho thấy, kết quả mô hình Flow 3D (LA) của luận án có sự phù hợp tốt hơn với số liệu đo đạc thí nghiệm so với kết quả mô hình *Flow 3D của Hanif Pourshah. Điều này có thể giải thích, với cách chia lưới phù hợp thành 03 khối lưới nhỏ gọn, gồm lưới rất mịn cho khu vực mỏ hàn (bề dày nhỏ) và sử dụng lưới thô cho đoạn kênh dẫn vào đã mô phỏng được chính xác hình dạng công trình mỏ hàn và miền tính toán quan tâm, dẫn đến kết quả mô phỏng tốt hơn so với cách chia thành 02 khối lưới của tác giả Hanif Pourshah.

(2) Kiểm định mô hình:

Việc kiểm định nhằm mục đích xác nhận tính phù hợp của mô hình, được mô phỏng với cấp lưu lượng $Q_2=0.046m^3$ /s của thí nghiệm Krami và nnk.



Bảng 2-10: Kết quả thí nghiệm Karami và nnk [81], về chiều sâu xói Q₂=0.046m³/s)

	Ν	Mặt cắt dọc (Y)	Mặt cắt ngang (X)			
TT	Điểm đo	Mặt cắt Y ₁ =0.15m	Mặt cắt $Y_2=0.35m$	Điểm đo	Mặt cắt X_2 =4.50m (Mỏ hàn)	Mặt cắt X ₃ =4.75m	
1	4.00	0.000	0.000	0.0		0	
2	4.20	-0.083	-0.042	0.50		-0.036	
3	4.30	-0.145	-0.085	0.10		-0.05	
4	4.35	-0.167	-0.118	0.15		-0.075	
5	4.45	-0.176	-0.156	0.20		-0.1	
6	4.60	-0.159	-0.191	0.25	-0.176	-0.125	
7	4.70	-0.129	-0.224	0.30	-0.2	-0.157	
8	4.80	-0.090	-0.231	0.35	-0.222	-0.18	
9	4.85	-0.055	-0.217	0.40	-0.208	-0.21	
10	4.95	-0.030	-0.193	0.45	-0.167	-0.208	
11	5.00	-0.026	-0.175	0.5	-0.15	-0.18	
12	5.10	-0.028	-0.160	0.55	-0.121	-0.15	
13	5.20	-0.025	-0.144	0.6	-0.092	-0.108	
14	5.40	-0.011	-0.127	0.65	-0.074	-0.08	
15				0.7	-0.052	-0.06	
16				0.75	-0.034	-0.05	
17				0.8	0	-0.044	
18				0.9	0	0	

- So sánh chiều sâu xói cục bộ lớn nhất:

Kiểm định kết quả chiều sâu xói cục bộ lớn nhất của Flow-3D là 0.216m thấp hơn 4% so với kết quả thí nghiệm là 0.225m. Hình dạng xói có thể thấy trong Hình 2.19 và Bảng 2-11.

thi nginyin							
TT	Mô hình	d _{s1}	d_{s2}	d_{s3}	MAE	RMSE	R ²
1	Experimental	0.225	0.029	0.072	-	-	-
2	Flow-3D (luận án)	0.216	0.017	0.035	0.0213	0.0241	0.92

Bảng 2-11: Kiểm định chiều sâu xói cục bộ Flow-3D (LA) và dữ liệu thí nghiêm



c) Mô hình vật lý d) Mô hình toán Flow-3D Hình 2.19: Hình dạng xói xung quanh khu vực mỏ hàn $(Q_2=0.046m^3/s)$

- So sánh chiều sâu xói lòng dẫn:

Kết quả kiểm định của Flow 3D và dữ liệu thí nghiệm Krami thể hiện trên Hình 2.20 và Bảng 2-12.

Mět oźt	Sai số						
Iviật Cât	R^2	RMSE	MAE				
X2	0.908	0.023	0.022				
X_3	0.922	0.018	0.016				
Y ₁	0.846	0.024	0.022				
Y ₂	0.886	0.022	0.018				
Trung bình	0.891	0.022	0.020				

Bảng 2-12: Kết quả kiểm định chiều sâu xói trên Flow-3D (LA) với dữ liệu thí nghiệm Krami và nnk

Để theo dõi sự thay đổi độ cao lòng dẫn, bốn mặt cắt ngang và dọc ở trước và sau khi thu hẹp được chọn là X_2 , X_3 và Y_1 và Y_2 (số liệu thể hiện trong Phụ lục 2, sơ đồ Hình 2.9). Kết quả cho thấy, biến động lòng dẫn xung quanh mỏ hàn ở khu vực dòng chảy ít bị co hẹp, cường độ rối nhỏ có sự phù hợp tốt hơn với số liệu thí

nghiệm so với khu vực dòng chảy bị co hẹp lớn, cường độ xoáy rối cao. Sự khác biệt này có thể là do sự phức tạp dòng chảy 3D như: các xoáy nước cường rối độ cao có thể làm giảm độ chính xác của mô hình số, hoặc các yếu tố khác chưa được xem xét trong các công thức vận chuyển bùn cát.



Hình 2.20: Kiểm định chiều sâu xói giữa kết quả thí nghiệm (Q₂=0.046m³/s) của Krami và nnk với Flow-3D (LA) của luận án.

Nhận xét, mô hình Flow 3D thể thể hiện dự báo khá tin cậy về chiều sâu xói xung quanh hệ thống mỏ hàn so với các số liệu thí nghiệm của Krami, với độ hồi quy $R^2 = 0.891$, sai số tuyệt đối trung bình MAE chỉ là 0.002, độ lệch chuẩn RMSE là 0.022. Như vậy, máng dòng chảy số thiết lập bằng Flow 3D đảm bảo độ tin cậy để sử dụng trong bài toán luận án nghiên cứu về bố trí không gian hệ thống mỏ hàn đến cấu trúc dòng chảy và hiệu quả xói sâu lòng dẫn.

2.3.3. Thiết lập các bài toán mô phỏng trên máng dòng chảy số

Để thực hiện mục tiêu phục vụ nghiên cứu cấu trúc dòng chảy và hiệu quả xói sâu lòng dẫn xung quanh công trình mỏ hàn dưới tác động dòng triều, luận án thiết lập máng dòng chảy số lòng cứng mô phỏng cấu trúc dòng chảy, phân tốc vận tốc và thiết lập máng dòng chảy số lòng động mô phỏng chiều sâu xói lòng dẫn (Hình 2.21).



Hình 2.21: Các nghiên cứu trên máng dòng chảy số.

2.3.3.1. Thiết lập bài toán trên máng dòng chảy số lòng cứng

Máng dòng chảy số lòng cứng (*vật liệu đáy toàn bộ lòng dẫn thiết lập không xói*) sử dụng nghiên cứu cấu trúc dòng chảy, phân bố vận tốc và cơ chế tương tác giữa dòng chảy thuận nghịch với công trình mỏ hàn.

(1) Các trường hợp nghiên cứu:

- Trường hợp nghiên cứu với mỏ hàn đơn: nhằm phân tích cấu trúc dòng chảy, phân bố vận tốc và cơ chế tương tác giữa dòng chảy chảy và công trình mỏ hàn đơn, từ đó làm cơ sở cho việc đề xuất tham số bố trí không gian hệ thống mỏ hàn phù hợp với mục tiêu chỉnh trị.



Hình 2.22: Cấu trúc dòng chảy 3D xung quanh mỏ hàn đơn.

- Trường hợp nghiên cứu với hệ thống mỏ hàn có chiều dài không bằng nhau: nhằm phân tích cấu trúc dòng chảy và cơ chế hình thành khu nước vật (KNV) bao trùm toàn bộ hệ thống mỏ hàn và chứng minh được tính ưu việt của khu nước vật bao trùm so với khu nước vật cục bộ giữa hai mỏ hàn thông qua việc đi sâu phân tích ảnh hưởng các tham số bố trí (hướng góc, chiều dài mỏ hàn không bằng nhau, khoảng cách giữa các mỏ hàn).



Hình 2.23: Cấu trúc dòng chảy 3D xung quanh hệ thống mỏ hàn.

(2) Điều kiện biên:

Các biên lưu tốc và mực nước được khống chế như thể hiện Hình 2.24 và Hình 2.25. Biên lưu tốc và mực nước trường hợp dòng chảy đơn hướng lấy trị số trung bình của biên lưu tốc và mực nước của trường hợp dòng chảy thuận nghịch.



Hình 2.24: Vận tốc khống chế biên máng dòng chảy số trong Flow-3D





Ghi chú: Cách xây dựng hình dạng dòng triều nghiên cứu trên đồ thị Hình 2.24 và Hình 2.25 có liên quan đến khoảng thời gian phát triển xói đạt trạng thái cân bằng, vấn đề này được xác định chi tiết trong bài toán máng dòng chảy số lòng động ở mục tiếp theo.

Không gian tính toán của mô hình tương tự như trong máng dòng chảy vật lý, cách gán các điều kiện biên như sau: biên thượng lưu ($X_{min} \equiv V$) được gán là vận tốc triều theo thời gian (u~t) như Hình 2.24; biên hạ lưu ($X_{max} \equiv P$) được được gán là điều kiện biên áp suất với chiều cao cụ thể của mực nước triều theo thời gian (η ~t) như Hình 2.25; biên thấp nhất trên trục Z (đáy kênh) sẽ được gán điều kiện biên như một tường cứng: $Z_{min} \equiv W$ (Wall), biên cao nhất trên trục Z sẽ được gán như một biên đối xứng: $Z_{max} \equiv S$ (Symmetry), biên theo phương Y gồm tường bên trái với $Y_{min} \equiv W$ (Wall) và tường bên phải $Y_{max} \equiv W$ (Wall) thể hiện ở Hình 2.26a.

(3) Kích thước mô hình

Kích thước mô hình đã lựa chọn tại mục 2.3.2, kênh thẳng có mặt cắt hình chữ nhật (LxBxH= 10.0mx1.0mx0.50m).

- Trường hợp bố trí mỏ hàn đơn dài 0,1m thể hiện Hình 2.26.



Hình 2.26: Kích thước mô hình máng dòng chảy số (lòng cứng) của mỏ hàn đơn





Hình 2.28: Mô hình máng dòng chảy số lòng cứng (hệ thống mỏ hàn).

2.3.3.2. Thiết lập bài toán trên máng dòng chảy số lòng động

Máng dòng chảy số lòng động (*vật liệu đáy lòng dẫn thiết lập là xói*) sử dụng nghiên cứu hiệu quả gia tăng chiều sâu xói lòng dẫn giữa các phương án bố trí hệ thống mỏ hàn khác nhau. Do chỉ so sánh hiệu quả tương đối giữa các phương án bố trí hệ thống mỏ hàn, nên luận án lấy chiều sâu xói bùn cát trung bình lòng dẫn của một phương án làm chuẩn (cơ sở) để đánh giá chiều sâu xói bùn cát do các phương án bố trí khác tạo ra.



a) Hệ thống mỏ hàn
 b) Hệ thống mỏ hàn
 c) Hệ thống mỏ hàn
 lồi LOI
 thẳng THA
 lõm LOM
 Hình 2.29: Biến động lòng dẫn theo các phương án bố trí không gian hệ thống
 mỏ hàn khác nhau.

Cách xây dựng hình dạng triều nghiên cứu được xác định như sau:

Theo phạm vi nghiên cứu của luận án là khu vực cửa sông ĐBBB thuộc chế độ nhật triều đều. Vì vậy luận án thực hiện nghiên cứu kiểu dòng triều cơ bản là nhật triều đều, với dao động của một chu kỳ triều gồm một lần triều lên và một lần triều xuống (một đỉnh triều và một chân triều).

Từ kết quả của nghiên cứu [38] cho thấy, tác động quyết định đến vấn đề xói do dòng triều là quá trình thay đổi vận tốc dòng chảy, vì vậy việc khái quát các điều kiện dòng chảy chỉ cần tập trung nghiên cứu cho một chu kỳ để xem xét tác động của giá trị vận tốc lớn nhất V_{max} khi tăng dần khoảng thời gian chu kỳ triều mà không nghiên cứu lặp lại nhiều chu kỳ nhưng vẫn đảm bảo tính tổng quát của dòng triều cơ bản, điều này thỏa mãn theo các nguyên tắc sau:

 + Đường quá trình vận tốc và mực nước triều của dòng triều cơ bản được tổng quát dưới dạng đường cong hình sin.

+ Vận tốc lớn nhất của dòng triều đóng vai trò quyết định đến chiều sâu xói, qua đó cho thấy ảnh hưởng vận tốc dòng chảy tác động càng lâu thì phát triển xói sẽ càng lớn.

- Hình dạng dòng triều:

Dựa vào phương trình truyền triều đã được thể hiện chi tiết tại mục 2.1.1 được biểu thị bằng hàm sin hoặc cosin. Vì vậy, mô phỏng số cũng tạo ra mực nước và vận tốc biến đổi hình Sin theo thời gian để mô tả các điều kiện giống thực tế. Trong bài toán này lựa chọn vận tốc và mực nước triều đều (điều kiện lý tưởng), tính tổng quát được biểu thị như sau:

$$u = U_{\max} \sin(2\pi t/T) \tag{2-30}$$

$$H=H_0 + \frac{A}{2}\sin(2\pi t/T + \pi/2)$$
(2-31)

 ${O}$ đây: U_{max} vận tốc lớn nhất (m/s); H_o là mực nước triều trung bình (m);

A là độ lớn con triều = H_{max} - H_{min} ; T là chu kỳ triều;

Để khẳng định mô phỏng trên MHT máng dòng chảy số phù hợp với kết quả thí nghiệm trên MHVL máng dòng chảy của Krami, luận án đã sử dụng các thông số của thí nghiệm cho bài toán nghiên cứu, cụ thể như sau: - Xác định kích thước đường kính hạt bùn cát d₅₀:

Đường kính hạt bùn cát trong bài toán của luận án lấy theo thí nghiệm Karami và nnk [81] với $d_{50}=0.91$ mm. Trong nghiên cứu này, do ảnh hưởng của bùn cát lơ lửng đến chiều sâu xói xung quanh hệ thống mỏ hàn là nhỏ hơn nhiều so với bùn cát đáy, nên nghiên cứu chỉ xem xét bùn cát đáy với $d_{50}=0.91$ mm.

Xác định vận tốc lớn nhất U_{max} trong chu kỳ hình Sin:

Trong bài toán của luận án sử dụng kết quả thí nghiệm Karami và nnk [81] với d₅₀=0.91 có giá trị vận tốc khởi động U_{cr} = 0.358m/s lựa chọn là vận tốc lớn nhất U_{max} trong chu kỳ triều hình Sin (U_{max}=U_{cr}=0.358m/s).

Xác định mực nước triều trung bình H_o:

Mực nước triều trung bình H_o= ∇_{bc} +h=0.20 + 0.15= 0.35m (tương ứng độ sâu dòng chảy lấy theo thí nghiệm Krami với h = 0.15m, ∇_{bc} : chiều dày lớp cát đáy là 0.20m; ở đây cao trình đáy kênh ∇_{d} =0).

- Xác định khoảng thời gian chu kỳ triều:



Hình 2.30: Sơ họa phát triển hố xói trong khoảng ¼ chu kỳ của triều hình sin.

Theo Hình 2.30 thể hiện tốc độ phát triển chiều sâu xói tăng mạnh thời gian đầu, tức là biểu đồ có độ dốc lớn trong khoảng thời gian một phần tư chu kỳ triều, $D_{T(25)}$, và hầu như thay đổi khá nhỏ trong các khoảng thời gian còn lại. Điều này có thể giải thích là do vận tốc biến thiên tăng đến giá trị lớn nhất V_{max} trong khoảng thời gian một phần tư chu kỳ triều. Trong mô phỏng này, vị trí xác định chiều sâu xói cân bằng ở giữa lòng chính của khu vực bố trí hệ thống mỏ hàn tại X=5.00m và

Y=0.50m. Với các khoảng thời gian khác nhau của phần tư chu kỳ triều $D_{T(25)}$ =3600s; 4800s; 5400s and 6500s đã được lựa chọn mô phỏng quá trình xói cho đến khi chiều sâu xói cân bằng đạt được.



Hình 2.31: Biến động thời gian chiều sâu xói trên khoảng ¼ chu kỳ triều của hệ thống mỏ hàn bố trí theo S/L=1.0~3.0.

Từ Hình 2.31 cho thấy, chiếu sâu xói được tăng nhanh trong khoảng thời gian này. Quan sát các trường hợp cho thấy, chiều sâu xói cân bằng đạt được sau khoảng thời gian $D_{T(25)}=5400$ s, thì chu kỳ T=4* $D_{T(25)}=4*5400=21600$ s là thời gian cân bằng cho tất cả các kịch bản.

Tổng hợp các thông số lựa chọn tính toán trình bày ở Bảng 2-13 dưới đây.



Bảng 2-13: Các thông số lựa chọn tính toán

Tính toán theo công thức 2-18 và 2-19 được thể hiện trong Hình 2.32 và số liệu trong phần Phụ lục 1.

(1) Điều kiện biên:

Xác định gán các điều kiện biên tương tự như thực hiện với máng dòng chảy số lòng cứng: biên thượng lưu (Xmin=V) được gán là vận tốc triều theo thời gian (u~t) như Hình 2.32a; biên hạ lưu (Xmax=P) được được gán là điều kiện biên áp suất với chiều cao cụ thể của mực nước triều theo thời gian (η ~t) như Hình 2.32b. Các biên được thiết lập thể hiện trên Hình 2.33.

(2) Kích thước mô hình

Kích thước mô hình lựa chọn theo mục 2.3.2, kích thước mô hình (LxBxH= $10m \times 1m \times 0.5m$), với L₁=3m là đoạn lòng động, mô tả trên Hình 2.33.



Hình 2.33: Kích thước mô hình bố trí hệ thống mỏ hàn trong Flow-3D

(3) Kích thước lưới

Kích thước lưới xác định theo mục 2.3.2, thể hiện Hình 2.33 và Bảng 2-14.

TT	Khối lưới	Khối lưới	Khối lưới 3	Tổng số ô	Tỷ lệ ô cạnh	Tỷ lệ ô lưới
	1 (cm)	2 (cm)	(cm)	lưới	Max	lân cận Max
1	4	2	1	1910000	1.04	1.00

Bång 2-14: Kích thước lưới



Hình 2.34: Sơ đồ mặt cắt ngang lấy số liệu (hệ thống mỏ hàn)

Như vậy, luận án đã thiết lập được máng dòng chảy số lòng cứng (cố định) để thực hiện mục tiêu nghiên cứu cấu trúc dòng chảy và máng dòng chảy số lòng động (biến dạng) để nghiên cứu chiều sâu xói lòng dẫn của các giải pháp bố trí không gian hệ thống mỏ hàn dưới tác động dòng triều có dòng chảy thuận nghịch.

2.4. KẾT LUẬN CHƯƠNG 2

1) Về cơ sở khoa học: luận án đề cập chi tiết về phương trình truyền triều và các quá trình vật lý ảnh hưởng đến hiệu quả chỉnh trị của công trình mỏ hàn. Về điều kiện khởi động bùn cát xác định theo đồ thị Shields và tính toán theo công thức Hanco. Từ kết quả các nghiên cứu trước đây với điều kiện dòng chảy đơn hướng và dòng chảy thuận nghịch đều cho thấy, về mức độ ảnh hưởng của đường kính hạt bùn cát đồng nhất d_{50} đến chiều sâu xói là không đáng kể. Đây chính là cơ sở khoa học để luận án tham khảo lựa chọn đường kính bùn cát hạt thô (d_{50} =0.91mm) của thí nghiệm Krami sử dụng cho bài toán của luận án nghiên cứu chiều sâu xói xung quanh hệ thống mỏ hàn trên đoạn sông vùng ảnh hưởng triều.

2) Về phương pháp nghiên cứu: luận án đã đi vào nghiên cứu các quá trình vật lý cơ bản ảnh hưởng đến hiệu quả chỉnh trị của hệ thống mỏ hàn, từ đó làm cơ sở lựa chọn sử dụng máng dòng chảy số họ RANS bằng mô hình Flow-3D được hiệu chỉnh, kiểm định với các số liệu thí nghiệm mô hình vật lý của Karami. Máng dòng chảy số lòng cứng sẽ được sử dụng để mô phỏng cấu trúc dòng chảy và máng dòng chảy số lòng động sẽ được sử dụng để mô phỏng chiều sâu xói lòng dẫn theo các giải pháp bố trí không gian hệ thống mỏ hàn.

CHƯỜNG 3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VỀ ĐẶC TÍNH THỦY LỰC VÀ HIỆU QUẢ CỦA HỆ THỐNG MỎ HÀN TRONG CHỈNH TRỊ ĐOẠN SÔNG VÙNG ẢNH HƯỞNG TRIỀU

3.1. NGHIÊN CỨU ĐẶC TÍNH THỦY LỰC KHU VỰC CÔNG TRÌNH MỎ HÀN TRONG ĐOẠN SÔNG THẮNG CHỊU ẢNH HƯỞNG TRIỀU CÓ DÒNG CHẢY THUẬN NGHỊCH

3.1.1. Đặt vấn đề

Các nghiên cứu trước đây về thủy lực mỏ hàn phần lớn đều tiến hành trong điều kiên dòng chảy đơn hướng. Nếu công trình mỏ hàn được xây dựng trong vùng cửa sông ảnh hưởng triều thì dòng chảy có 2 hướng thuân nghịch. Trong điều kiện đó, cấu trúc dòng chảy và diễn biến lòng dẫn xung quanh mỏ hàn sẽ như thế nào, kết quả nghiện cứu hiện còn rất ít. Tác giả Xiping Dou [36] cho rằng, khi bố trí hệ thống mỏ hàn trong vùng sông ảnh hưởng triều, hố xói cục bộ vùng mũi mỏ hàn có phạm vi lớn hơn, nhưng bồi lắng trong phạm vi ảnh hưởng của mỏ hàn lại ít hơn, thời gian để lòng dẫn đạt đến cân bằng bồi xói lớn hơn so với trường hợp đoạn sông có dòng chảy đơn hướng. Tác giả Zhangxin-zhou [71] xây dựng mô hình toán về dòng chảy rối mang bùn cát nhận thấy rằng, dưới tác động của dòng chảy thuận nghịch, xói cục bộ ở vùng xung quanh mỏ hàn có sự khác biệt rõ rêt về quá trình xói và hình thái xói, bồi so với trường hợp dòng chảy đơn hướng, công trình bảo vê hố xói cục bộ đầu mũi mỏ hàn trong thực tế không thể thiết kế theo các chỉ dẫn trong trường hợp dòng chảy đơn hướng. Luận án này đã tham khảo các kết quả nghiên cứu đã có, tiến hành nghiên cứu đặc tính thủy lực xung quanh một mỏ hàn (mỏ hàn đơn) dưới tác dụng của dòng chảy hai chiều thuân nghịch nhằm bổ sung các kết quả nghiên cứu về lý thuyết thủy lực học công trình mỏ hàn, từ đó làm cơ sở cho việc đề xuất bố trí không gian hệ thống mỏ hàn phù hợp với mục tiêu chỉnh trị.

3.1.2. Nghiên cứu đặc tính thủy lực khu vực mỏ hàn trong sông có dòng chảy đơn hướng qua mô phỏng của luận án

Trước hết, luận án thảo luận phân tích cấu trúc dòng chảy xung quanh công

trình mỏ hàn đơn trong điều kiện dòng chảy đơn hướng thông qua tính toán mô phỏng trên máng dòng chảy số lòng cứng đã giới thiệu ở mục 2.3.3 trong Chương 2. Ngoài ra kết quả nghiên cứu này cũng so sánh mức độ tin cậy với kết quả của những nghiên cứu trước đây.



Hình 3.1: Chiều dài khu nước vật sau mỏ hàn

Như Hình 3.1 thể hiện mô phỏng trên mô hình toán xác định chiều dài khu nước vật sau mỏ hàn là 8,2 lần chiều dài mỏ hàn. Kết quả tính theo công thức kinh nghiệm (1-4) của tác giả Lương Phương Hậu, tính ra chiều dài khu nước vật sau mỏ hàn trong nghiên cứu này là 7 lần chiều dài mỏ hàn. Điều này có thể giải thích, công thức của Lương Phương Hậu có thể chưa xét các thành phần lực quán tính phát sinh do sự tương tác giữa dòng chủ lưu và khu nước vật, trong khi nghiên cứu của luận án trên MHT đã thể hiện đầy đủ các thành phần lực và đúng bản chất hơn theo các yếu tố chi phối đến hình thành khu nước vật nên giá trị thiên cao hơn là hoàn toàn hợp lý.

Mô tả cấu trúc dòng chảy: kết quả mô phỏng của luận án cho thấy, khi chịu tác dụng ngăn chặn của mỏ hàn, dòng chảy trong máng sẽ xuất hiện độ dốc dọc, độ dốc ngang của mặt nước, như các Hình 3.2 và Hình 3.3 thể hiện, số liệu trích xuất



theo sơ đồ bố trí mặt cắt Hình 2.27.

Hình 3.2: Đường mặt nước theo phương dọc gần mỏ hàn



a) Thượng lưu



0) 11<u>4</u> 1uu

Hình 3.3: Độ dốc ngang mặt nước ở thượng, hạ lưu mỏ hàn

Trên phương dọc, nước dâng thượng lưu mỏ hàn chủ yếu xuất hiện ở xung quanh mỏ hàn. Hạ lưu mỏ hàn xuất hiện hạ thấp mực nước rõ rệt. Về phía bờ đối diện với mỏ hàn, mức độ hạ thấp mực nước giảm dần. Theo phương ngang, ở thượng lưu mỏ hàn, phía bờ có mỏ hàn mực nước cao hơn phía đối diện, ở hạ lưu mỏ hàn thì ngược lại.

Như vậy, nghiên cứu này phù hợp với kết quả nghiên cứu về đặc tính dòng chảy xung quanh mỏ hàn dưới tác động của dòng chảy đơn hướng trong nghiên cứu của Lương Phương Hậu [4].

3.1.3. Nghiên cứu đặc tính thủy lực khu vực mỏ hàn trong sông ảnh hưởng triều có dòng chảy thuận nghịch

Trong điều kiện dòng chảy đơn hướng, cấu trúc dòng chảy tại vùng phụ cận mỏ hàn có thể được duy trì và phát triển ổn định, còn trong điều kiện dòng chảy thuận nghịch, cấu trúc dòng chảy ở một hướng nào đó phát triển đến một mức độ nào đó thì sẽ bị dòng chảy ngược chiều khống chế và thay thế. Hai cấu trúc dòng chảy liên quan đến nhau, khống chế lẫn nhau tạo ra, cấu trúc dòng chảy rất phức tạp. Sau đây là kết quả mô phỏng của luận án về cấu trúc dòng chảy xung quanh mỏ hàn cho dòng chảy thuận nghịch.



Hình 3.4: Cấu trúc dòng chảy 3D của khu nước vật (KNV) tạo ra bởi mỏ hàn đơn (triều rút).



Hình 3.5: Quá trình thay đổi lưu tốc khu vực mỏ hàn trong điều kiện dòng triều



Hình 3.6: Cấu trúc dòng chảy 3D của khu nước vật (KNV) tạo ra bởi mỏ hàn đơn (triều dâng).

3.1.3.1. Độ dốc mặt nước phương ngang.

Trong đoạn sông ảnh hưởng triều, sau khi xây dựng mỏ hàn, khi triều rút, mực nước thượng lưu phía bờ có mỏ hàn do bị mỏ hàn chặn lại sẽ cao hơn mực nước phía bờ đối diện. Sau khi dòng chảy đi qua mỏ hàn, hạ lưu mỏ hàn hình thành tổn thất cột nước rõ rệt, mực nước phía bờ có mỏ hàn thấp hơn phía bờ đối diện, tương tự như trường hợp dòng đơn hướng, số liệu trích xuất theo sơ đồ bố trí mặt cắt Hình 2.27.



Hình 3.7: Độ dốc mặt nước phương ngang tại Mặt cắt A-A và A'-A' ở khu vực mỏ hàn

Như Hình 3.7 thể hiện, khi bắt đầu triều rút chuyển sang triều dâng, khu nước vật hạ lưu mỏ hàn biến động tăng lên của mực nước tương đối nhanh, mực

nước cao hơn mực nước phía bờ đối diện. Phía thượng lưu, mực nước phía bờ có mỏ hàn biến đổi chậm và thấp hơn mực nước phía bờ đối diện. Khi triều dâng mạnh, xu thế đường mặt nước trên phương ngang máng ngược với khi triều rút mạnh. Khi bắt đầu triều dâng chuyển sang triều rút, đường mặt nước phương ngang Máng dòng chảy tương đối ổn định. Hình 3.7 thể hiện độ dốc mặt nước phương ngang tại mặt cắt A-A và A'-A' ở thượng và hạ lưu mỏ hàn.

Phân tích quá trình biến đổi đường mặt nước phương ngang trong quá trình triều dâng và rút ta thấy: phía thượng lưu mỏ hàn, chênh lệch triều phía bờ có mỏ hàn nhỏ hơn phía bờ đối diện, còn ở hạ lưu mỏ hàn, chênh lệch triều phía mỏ hàn lớn hơn phía bờ đối diện. Phía bờ có mỏ hàn, sự thay đổi mực nước ở hạ lưu mỏ hàn có biên độ nhỏ hơn so với thượng lưu. Chênh lệch triều khu nước vật (15.51cm) lớn hơn so với khu vực nước dâng ở thượng lưu (12.56cm). Phía bờ đối diện với mỏ hàn, chênh lệch triều (14.14cm) thiên lớn hơn so với thượng lưu (13.83cm).

3.1.3.2. Độ dốc mặt nước phương dọc.

Do sức cản dòng chảy của mỏ hàn, thượng hạ lưu mỏ hàn sẽ xuất hiện khu vực nước dâng và khu vực nước hạ, như Hình 3.8 thể hiện. Khi mực nước hạ gấp, do độ sâu máng dòng chảy nông, phạm vi nước dâng và nước hạ ở thượng hạ lưu tương đối lớn. Phạm vi vùng nước dâng khoảng 3m, phạm vi nước hạ ở hạ lưu dài khoảng 4m. Khu vực nước hạ tương đối dài, biên độ hạ thấp mực nước ở hạ lưu mỏ hàn lớn hơn biên độ dâng nước ở thượng lưu.

Khi mực nước dâng mạnh, độ sâu trong máng dòng chảy tương đối lớn, phạm vi dâng hạ mực nước ở thượng hạ lưu mỏ hàn tương đối nhỏ. Phạm vị hạ thấp mực nước thượng lưu mỏ hàn dài khoảng 3,6m phạm vi nước dâng ở hạ lưu mỏ hàn dài khoảng 2,6m. Sự biến đổi mực nước ở thượng hạ lưu mỏ hàn chỉ hạn chế ở phụ cận mỏ hàn. Khi cách chiều rộng máng dòng chảy y=0.5m, sự thay đổi mực nước đã rất nhỏ và gần như không chịu tác động của mỏ hàn (số liệu trích xuất theo sơ đồ bố trí mặt cắt Hình 2.27).



Hình 3.8: Độ dốc mặt nước phương dọc khu vực mỏ hàn

3.1.3.3. Trường lưu tốc

Trường hợp triều rút mạnh, sau khi dòng chảy đi qua mỏ hàn, dưới tác động của mỏ hàn, từ mũi mỏ hàn về hạ lưu, dòng chảy hình thành khu vực dòng tăng tốc rõ rệt. Phía thượng lưu mỏ hàn, do bị thân mỏ hàn chắn ngang, lưu tốc giảm nhỏ. Phía hạ lưu mỏ hàn dòng chảy giảm tốc hình thành khu nước vật lớn, chiều dài khu nước vật bằng 7,5L (L là chiều dài mỏ hàn), ngắn hơn chiều dài khu nước vật trong trường hợp dòng đơn hướng, như Hình 3.4 và Hình 3.9a thể hiện.

Khi mực nước bắt đầu dâng lên, khu nước vật hạ lưu mỏ hàn dòng chảy ngược từ hạ lưu đi lên theo sát thành máng được tăng cường, dòng đi về hạ lưu của kỳ triều rút giảm xuống nhanh chóng. Do ảnh hưởng đó, khu nước vật hạ lưu mỏ hàn dần thu ngắn lại, tăng thêm chiều rộng và chuyển động về phía bờ đối diện. Hạ lưu và đầu mũi mỏ hàn xuất hiện dòng nước ngược tương đối mạnh, như Hình 3.5b và Hình 3.9b. Khi dòng triều dâng mạnh, tương tự như khi triều rút mạnh, khu vực lưu tốc tăng, thượng lưu mỏ hàn xuất hiện khu nước vật có chiều dài bằng 7 lần chiều dài mỏ hàn, như Hình 3.6 và Hình 3.9c thể hiện.

Theo sự thay đổi của mực nước, thời gian đầu của kỳ triều rút, khu nước vật thượng lưu mỏ hàn nhanh chóng giảm nhỏ, đồng thời di chuyển về phía bờ đối diện. Thượng lưu mỏ hàn và đầu mũi mỏ hàn xuất hiện dòng triều hạ tương đối mạnh, như Hình 3.9d thể hiện. So với dòng đơn hướng, khu nước vật dòng chảy thuận nghịch có chiều dài nhỏ hơn, chứng tỏ khu nước vật không được phát triển đầy đủ.



Hình 3.9: Trường lưu tốc khu vực mỏ hàn trong điều kiện dòng triều (m/s) 3.1.3.4. Biến đổi của ứng suất tiếp đáy

Ứng suất tiếp đáy lòng dẫn là căn cứ quan trọng để phán đoán xu thế xói bồi của lòng sông. Trên Hình 3.10 biểu thị ứng suất tiếp đáy trên máng dòng chảy.

Khi triều rút mạnh, trước mũi mỏ hàn xuất hiện khu vực tăng ứng suất tiếp rõ rệt, độ chênh tăng cực đại là $0,1\div0,15$ kg/(m.s²). Khu vực chảy êm của thượng hạ lưu mỏ hàn, ứng suất tiếp đáy giảm nhỏ, hơn nữa phạm vi giảm nhỏ ở thượng lưu nhỏ hơn nhiều so với ở hạ lưu, chứng tỏ khu vực đầu mũi mỏ hàn hình thành vùng xói, còn thượng hạ lưu mỏ hàn hình thành khu bồi lắng. Ở thời điểm bắt đầu triều dâng, hạ lưu mỏ hàn và đầu mũi mỏ hàn ứng suất tiếp tăng lên rõ rệt, đó chủ yếu là vì ở thời điểm chuyển hướng dòng chảy, lưu tốc dòng chảy tại khu nước vật hạ lưu mỏ hàn phát sinh biến đổi. Điều này, chứng tỏ khi triều rút chuyển sang triều dâng, mũi mỏ hàn phát sinh xói ở mức độ nhất định. Khi triều dâng mạnh, ứng suất tiếp đáy lòng dẫn ở thượng lưu sẽ tăng, trị số lớn nhất đạt 0,1÷0,15kg/(m.s²), ngược lại ứng suất tiếp lòng dẫn hạ lưu mỏ hàn giảm.

So với trường hợp khi triều rút mạnh, thì phạm vi biến đổi của ứng suất tiếp đáy lòng dẫn khi triều dâng mạnh tương đối nhỏ. Ở thời điểm bắt đầu triều rút, hạ lưu mỏ hàn và đầu mũi mỏ hàn, ứng suất tiếp đáy tăng lên, biên độ tăng nhỏ hơn với thời điểm bắt đầu triều dâng.



C) Trieu dang lớn Hình 3.10: Biến đổi ứng suất tiếp đáy lòng dẫn trong điều kiện dòng triều thuận nghịch τ (kg/m.s²)

Một cách tổng quát, do chịu ảnh hưởng của dòng triều trong máng dòng chảy, biến đổi của ứng suất tiếp đáy mỏ hàn có giá trị cực đại vào thời kỳ triều dâng mạnh hoặc rút mạnh. Vào thời điểm chuyển hướng, vùng mũi mỏ hàn và vùng phía đón dòng, ứng suất tiếp tăng lên rõ rệt.

3.1.3.5. Kết quả cường độ rối

Cường độ rối thể hiện sự rối loạn giữa các lớp của dòng chảy. Hình 3.10 thể hiện cường độ rối dòng đều khi chưa bố trí mỏ hàn (điểm R) và cường độ rối của dòng giảm tốc sau khi bố trí công trình mỏ hàn thể hiện tại khu nước vật (điểm R).



a) Chưa bố trí mỏ hàn
b) Bố trí mỏ hàn
Hình 3.11: Cường độ rối r (m/s)

Tương ứng với mô phỏng Hình 3.11b, cường độ rối bắt đầu thay đổi đáng kể tại mũi mỏ hàn và mức độ rối tăng lên ở khu nước vật theo hướng dòng chảy, giá trị cường độ rối lớn nhất là 0.082m/s. Theo lý thuyết dòng tăng tốc, dòng giảm tốc ở Chương 2 mục 2.1.4 thì ảnh hưởng rối khi có công trình biểu thị thông qua hệ số điều chỉnh lưu tốc K_v , sẽ có giá trị lớn hơn 1. Trong mô phỏng máng dòng chảy số khi chưa bố trí mỏ hàn, cường độ rối trung bình độ sâu của dòng đều r_{cu} =0,005 (điểm R), tương ứng 1+3 r_{cu} =1.015; sau khi bố trí công trình mỏ hàn thì cường độ rối trung bình độ sâu tại vị trí khu nước vật là r_{cs} =0,082 (điểm R), tương ứng 1+3 r_{cu} =1.246. Xác định K_v theo công thức (2-7) co kết quả:

$$K_{v} = \frac{\overline{u}_{cu}}{\overline{u}_{cs}} = \frac{1 + 3r_{cs}}{1 + 3r_{cu}} = \frac{1.246}{1.015} = 1,23$$

Với giá trị $K_v > 1$ đã khẳng định ảnh hưởng dòng rối do bố trí công trình mỏ hàn, tạo ra dòng giảm tốc có tính 3D mạnh, xuất hiện sự tách dòng, lớp xáo trộn và các xoáy trục đứng hay gọi là khu nước vật, trong mọi trường hợp mức độ rối sẽ rất cao do sự tổn thất động năng của dòng chảy. Lúc này hệ số điều chỉnh lưu tốc K_v , tính theo cường độ rối, sẽ có trị số lớn hơn 1.

Nhận xét: kết quả nghiên cứu về đặc tính thủy lực khu vực công trình mỏ hàn đơn đã mô tả chi tiết được cấu trúc dòng chảy, cơ chế tương tác giữa dòng chảy và công trình mỏ hàn đơn trong đoạn sông vùng triều có dòng chảy thuận nghịch.

3.2. NGHIÊN CỨU TÁC ĐỘNG CỦA BỐ TRÍ KHÔNG GIAN HỆ THỐNG MỎ HÀN ĐẾN CÂU TRÚC DÒNG CHẢY VÀ HIỆU QUẢ XÓI SÂU LÒNG DÃN TRÊN ĐOẠN SÔNG THẮNG CHỊU ẢNH HƯỞNG TRIỀU CÓ DÒNG CHẢY THUẬN NGHỊCH

Mỏ hàn đơn đã có tác động đến dòng chảy, lòng dẫn với những đặc tính thủy lực mô tả ở trên: đường mặt nước, vận tốc, ứng suất tiếp đáy và cường độ rối, làm cơ sở cho việc bố trí không gian hệ thống mỏ hàn trên đoạn sông vùng ảnh hưởng triều. Mục này tiếp tục xem xét tác động dòng chảy đến biến đổi lòng dẫn của hệ thống mỏ hàn bố trí theo: hướng góc, chiều dài mỏ hàn không bằng nhau và khoảng cách giữa các mỏ hàn nhằm tạo ra tác động xói sâu lòng dẫn có lợi cho chỉnh trị sông phục vụ giao thông thủy.

3.2.1. Các trường hợp nghiên cứu

3.2.1.1. Trình tự nghiên cứu:

Các mức độ thu hẹp của mỏ hàn đối với dòng sông được biểu thị thông qua tỷ lệ L/B (L chiều dài mỏ hàn, B là chiều rộng máng) phản ánh trực tiếp bởi sự tăng giảm chiều dài mỏ hàn, tác động đến cấu trúc dòng chảy xung quanh công trình mỏ hàn, dẫn đến chiều sâu xói lòng dẫn khác nhau. Trong nghiên cứu này, luận án đánh giá tác động của các mức độ thu hẹp dòng chảy đến chiều sâu xói lòng dẫn thông qua 04 tỷ lệ L/B= 15%; 20%; 25% và 30%, đây là những tỷ lệ đã được các nghiên cứu trước đây lựa chọn ở các tài liệu [17],[52]. Ở đây, nghiên cứu không xét đến mức độ L/B>30% vì khi chiều dài mỏ hàn lớn thường gây mất ổn định bản thân công trình. Tuy nhiên, nếu nghiên cứu đầy đủ 04 tỷ lệ (L/B) thì khối lượng rất lớn, do đó nhằm giảm khối lượng tính toán nhưng vẫn đảm bảo tính tổng quát của kết quả nghiên cứu, luận án đã lựa chọn tỷ lệ thu hẹp (L/B=20%) để nghiên cứu chi tiết (70 phương án), tiếp theo chọn những kết quả đại diện để nghiên cứu cho các tỷ lệ L/B=15%; 25%; 30%, trình tự thể hiện ở Bảng 3-1.

(1) Nghiên cứu tỷ lệ thu hẹp dòng chảy	(2) Nghiên cứu tỷ lệ thu hẹp dòng chảy
L/B= 20%	L/B= 15%; 25% và 30%
Nghiên cứu chi tiết các phương án bố trí hệ thống mỏ hàn (70 phương án).	Chỉ thực hiện nghiên cứu với hệ thống mỏ hàn được lựa chọn từ kết quả (L/B= 20%) nhằm giảm khối lượng tính toán.

3.2.1.2. Các phương án bố trí

a). Các phương án bố trí: thể hiện ở Bảng 3-2.

Từ kết quả nghiên cứu đặc tính thủy lực dòng triều cho mỏ hàn đơn ở phần trên mục 3.1 cho thấy, chiều dài ảnh hưởng lớn nhất của khu nước vật có phạm vi (7,5L) tương ứng theo cả hai hướng thuận nghịch là (15L). Dựa vào cơ sở này, luận án đề xuất hệ thống mỏ hàn có cấu tạo như sau: số lượng gồm 05 mỏ hàn, bố trí theo khoảng cách từ S=(1~3)L với S là khoảng cách giữa hai mỏ hàn và L là chiều dài mỏ hàn, tương ứng phạm vi hệ thống mỏ hàn từ (5~15)L, như vậy hệ thống mỏ hàn đề xuất của luận án đáp ứng được tiêu chí đối xứng trên mặt bằng khi bố trí số lượng 05 mỏ hàn và đảm bảo nằm trong phạm vi ảnh hưởng lớn nhất của khu nước vật đối với dòng chảy thuận nghịch là (15L), thể hiện trên Hình 3.12 đến Hình 3.14. Ngoài ra việc lựa chọn số lượng 05 mỏ hàn cũng phù hợp với tổng kết thực tế các hệ thống mỏ hàn đã xây dựng để chỉnh trị các đoạn cạn ở nước ta (thường có số lượng từ 03 mỏ hàn đến 05 mỏ hàn). Tiếp theo, luận án tiến hành bố trí không gian hệ thống mỏ hàn (gồm 05 mỏ hàn) với các tham số bố trí sau:

- Bố trí theo hướng góc mỏ hàn;
- Bố trí theo chiều dài mỏ hàn không bằng nhau;
- Bố trí theo tỷ lệ thu hẹp chiều rộng dòng chảy.

Bảng 3-2: Các phương án bố trí không gian

Phương án	Mô tả
Phương án 1	Bố trí theo 05 hướng góc là $(45^{\circ}, 75^{\circ}, 90^{\circ}, 120^{\circ} \text{ và } 135^{\circ})$, nghiên cứu trong cùng một điều kiện thủy lực.
Phương án 2	Bố trí theo chiều dài mỏ hàn khác nhau ở các mức (25%L, 50%L, 75%L và 100%L), sắp xếp lồi và lõm vào giữa hệ thống, ứng với 05 tỷ số (S/L=1.0; 1.5; 2.0; 2.5; 3.0) nghiên cứu trong cùng một điều kiện thủy lực.
Phương án 3	Bố trí theo tỷ lệ thu hẹp chiều rộng dòng chảy, theo 04 tỷ số (L/B= 15%; 20%; 25% và 30%).

b). Định nghĩa cách bố trí hệ thống mỏ hàn có chiều dài không bằng nhau

- Hệ thống mỏ hàn lồi ký hiệu LOI, thể hiện Hình 3.12.

Cách bố trí: Trên mặt bằng sắp xếp tăng dần chiều dài mỏ hàn bố trí lồi mở

rộng vào giữa hệ thống, để thấy rõ ảnh hưởng của hệ thống mỏ hàn lồi đến cấu trúc dòng chảy và chiều sâu xói lòng dẫn, luận án xem xét bố trí tham số chiều dài mỏ hàn như sau:

Mức độ lồi lớn nhất ứng với chiều dài mỏ hàn đầu tiên ở mức 25%L (LOI-1). Mức độ lồi trung bình ứng với chiều dài mỏ hàn đầu tiên ở mức 50%L (LOI-2). Mức độ lồi nhỏ nhất ứng với chiều dài mỏ hàn đầu tiên ở mức 75%L (LOI-3).



Hình 3.12: Mô tả cách bố trí hệ thống mỏ hàn lồi LOI.

- Hệ thống mỏ hàn thẳng ký hiệu THA, thể hiện Hình 3.13.

Trên mặt bằng bố trí các mỏ hàn có chiều dài bằng nhau, đây là cách bố trí phổ biến trong thực tiễn và chỉ tồn tại duy nhất một phương án bố trí, do vậy luận án lựa chọn hệ thống mỏ hàn thẳng THA làm chuẩn (cơ sở) để so sánh với các hệ thống mỏ hàn lồi LOI và lõm LOM.

Chiều dài mỏ hàn bằng nhau ở mức 100%L (THA-4).



Hình 3.13: Mô tả cách bố trí hệ thống mỏ hàn thẳng THA.

- Hệ thống mỏ hàn lõm ký hiệu LOM, thể hiện Hình 3.14.

Trên mặt bằng sắp xếp giảm dần chiều dài mỏ hàn bố trí lõm thu hẹp vào giữa hệ thống và ngược lại với hệ thống mỏ hàn lồi, để thấy rõ ảnh hưởng của hệ thống mỏ hàn lõm đến cấu trúc dòng chảy và chiều sâu xói lòng dẫn, luận án xem xét tham số bố trí chiều dài mỏ hàn như sau:

Mức độ lõm nhỏ nhất ứng với chiều dài mỏ hàn ở giữa tại mức 75%L (LOM-5).

Mức độ lõm trung bình ứng với chiều dài mỏ hàn ở giữa tại mức 50%L (LOM-6). Mức độ lõm lớn nhất ứng với chiều dài mỏ hàn ở giữa tại mức 25%L (LOM-7).



Hình 3.14: Mô tả cách bố trí hệ thống mỏ hàn lõm LOM.

Như vậy, với một giá trị khoảng cách S=1.0L có 07 phương án bố trí từ (LOI1.0-1) đến (LOM1.0-7), tóm tắt các phương án tại Bảng 3-3 và toàn bộ các phương án nghiên cứu thể hiện Bảng 3-4.

Bảng 3-3: Tóm tắt các phương án bố trí theo chiều dài mỏ hàn, ứng với S=1.0L

т		Ký hi	iệu	Tổng số	Trì cấ		
і Т	Hệ thống mỏ hàn	Bố trí 1 phía	Bố trí cả 2	phương án	I y so		
1		bờ	phía bờ		5/L		
	IIâ thấng mả hàn	1LOI1.0-1	2LOI1.0-1				
1	lồi LOI	1LOI1.0-2	2LOI1.0-2	3	S/L=1.0		
		1LOI1.0-3	2LOI1.0-3		(S là khoảng		
2	Hệ thống mỏ hàn thẳng THA	1THA1.0-4	2THA1.0-4	1	cách giữa hai mỏ hàn, L là		
		1LOM1.0-5	2LOM1.0-5		chiều dài mỏ		
3	lõm LOM	1LOM1.0-6	2LOM1.0-6	3	hàn)		
		1LOM1.0-7	2LOM1.0-7				
11(1 O 1 0 1 1 1 $\frac{1}{2}$						

<u>1</u>LOI1.0-1 là ký hiệu hệ thống mỏ hàn bố trí một phía bờ; 1<u>LOI</u>1.0-1 là hệ thống mỏ hàn lồi; 1LOI<u>1.0</u>-1 là tỷ số S/L; 1LOI1.0-<u>1</u> là ký hiệu mức độ lồi của hệ thống.

3.2.1.3. Các trường hợp bố trí hệ thống mỏ hàn:





Hình 3.15: Các trường hợp bố trí hệ thống mỏ hàn.

- Trường hợp 1: Bố trí ở 1 bờ (1B):

Để nghiên cứu tác động hệ thống mỏ hàn bố trí ở 1 phía bờ, các mô phỏng thực hiện với 05 tỷ số S/L= 1.0; 1.5; 2.0; 2.5 và 3.0, tương ứng vứi 35 kịch bản bố trí từ (1LOI1.0-1 đến 1LOM3.0-7, thể hiện chi tiết tại Bảng 3-4, Hình 3.15a).

- Trường hợp 2: Bố trí cả 2 bờ (2B):

Số kịch bản tương tự như bố trí ở 1 bờ, gồm 35 kịch bản từ (2LOI1.0-1 đến 2LOM3.0-7, thể hiện chi tiết tại Bảng 3-4, Hình 3.15b).

Hệ thống mỏ hàn (MH) với chiều dài khác nhau							_	
		Τỷ	Chiầu dài	Chiều	Chiều	MH thứ	MH thứ 5 đấi	Bố trí mỏ hàn
TT	Ký hiệu	số	MH 1	dài	dài	4 doi xứng	5 doi xứng	cả 2 bên bờ (2B) và
		S/L	(L1)	MH 2 (1.2)	MH 3 (13)	MH 2	MH 1	chi I phia bo (IB)
				(L2)	(L3)	(L4)	(L5)	
1	LOI1.0-1		25%L	62.5%L	100%L	62.5%L	25%L	
2	LOI1.0-2		50%L	75%L	100%L	75%L	50%L	
3	LOI1.0-3		75%L	87.5%L	100%L	87.5%L	75%L	
4	THA1.0-4	1.0	100%L	100%L	100%L	100%L	100%L	
5	LOM1.0-5		100%L	87.5%L	75%L	87.5%L	100%L	1 1 1 1 1
6	LOM1.0-6		100%L	75%L	50%L	75%L	100%L	1 1 1 1 1
7	LOM1.0-7		100%L	62.5%L	25%L	62.5%L	100%L	1 1
8	LOI1.5-1		25%L	62.5%L	100%L	62.5%L	25%L	
9	LOI1.5-2		50%L	75%L	100%L	75%L	50%L	
10	LOI1.5-3		75%L	87.5%L	100%L	87.5%L	75%L	
11	THA1.5-4	1.5	100%L	100%L	100%L	100%L	100%L	
12	LOM1.5-5		100%L	87.5%L	75%L	87.5%L	100%L	
13	LOM1.5-6		100%L	75%L	50%L	75%L	100%L	
14	LOM1.5-7		100%L	62.5%	25%L	62.5%	100%L	
15	LOI2.0-1		25%L	62.5%L	100%L	62.5%L	25%L	
16	LOI2.0-2		50%L	75%L	100%L	75%L	50%L	
17	LOI2.0-3		75%L	87.5%L	100%L	87.5%L	75%L	
18	THA2.0-4	2.0	100%L	100%L	100%L	100%L	100%L	
19	LOM2.0-5		100%L	87.5%L	75%L	87.5%L	100%L	
20	LOM2.0-6		100%L	75%L	50%L	75%L	100%L	
21	LOM2.0-7		100%L	62.5%L	25%L	62.5%L	100%L	
22	LOI2.5-1		25%L	62.5%L	100%L	62.5%L	25%L	
23	LOI2.5-2		50%L	75%L	100%L	75%L	50%L	
24	LOI2.5-3		75%L	87.5%L	100%L	87.5%L	75%L	
25	THA2.5-4	2.5	100%L	100%L	100%L	100%L	100%L	
26	LOM2.5-5		100%L	87.5%L	75%L	87.5%L	100%L	
27	LOM2.5-6		100%L	75%L	50%L	75%L	100%L	
28	LOM2.5-7		100%L	62.5%	25%L	62.5%	100%L	
29	LOI3.0-1		25%L	62.5%L	100%L	62.5%L	25%L	
30	LOI3.0-2		50%L	75%L	100%L	75%L	50%L	
31	LOI3.0-3		75%L	87.5%L	100%L	87.5%L	75%L	
32	THA3.0-4	3.0	100%L	100%L	100%L	100%L	100%L	
33	LOM3.0-5		100%L	87.5%L	75%L	87.5%L	100%L	
34	LOM3.0-6		100%L	75%L	50%L	75%L	100%L	
35	LOM3.0-7		100%L	62.5%L	25%L	62.5%L	100%L	

Bảng 3-4: Các phương án bố trí công trình (hướng góc 90°)

3.2.2. Nghiên cứu tác động của hướng góc mỏ hàn đến xói sâu lòng dẫn

Một trong những mục tiêu chính của luận án là phân tích tác động của hướng góc mỏ hàn đến cấu trúc dòng chảy và mức độ xói xung quanh hệ thống mỏ hàn, từ đó lựa chọn một hướng góc phù hợp có tác dụng gia tăng chiều sâu xói lòng dẫn trong sông vùng ảnh hưởng triều. Do đó, luận án lựa chọn thực hiện nghiên cứu với 05 hướng góc so với phương dòng chảy $(45^0, 75^0, 90^0, 120^0 \text{ và } 135^0)$ mô phỏng trong cùng một điều kiện thủy lực.

Các phương án nghiên cứu theo hướng góc mỏ hàn thể hiện theo Bảng 3-5.

TT	Trường hợp	Hướng góc	Vị trí góc	Tỷ lệ thu hẹp L/B
1	G45	45	Hướng xuôi	
2	G75	75	Hướng xuôi	
3	G90	90	Vuông góc	20%
4	G120	120	Hướng ngược	
5	G135	135	Hướng ngược	

Bảng 3-5: Các phương án mô phỏng theo hướng góc mỏ hàn

3.2.2.1. Kết quả mô phỏng cấu trúc dòng chảy

Trong điều kiện dòng triều, có sự khác biệt về cấu trúc dòng chảy thể hiện qua bề rộng mặt cắt ngang thu hẹp dòng chủ lưu do hướng góc mỏ hàn tạo ra và có xu hướng thay đổi theo hướng góc khác nhau.

Từ Hình 3.16 thể hiện mô phỏng các hướng góc (G45~G135) cho thấy, bề rộng mặt cắt ngang thu hẹp do hướng góc mỏ hàn biến đổi theo hướng dòng chảy thuận nghịch. Điều này thể hiện với dòng chảy thuận thì bề rộng mặt cắt thu hẹp do hướng góc xuôi (G45~G75) tạo ra nhỏ hơn so với hướng góc ngược (G120~G135). Ngược lại, với dòng chảy nghịch thì bề rộng mặt cắt thu hẹp do hướng góc xuôi (G45~G75) tạo ra lớn hơn so với hướng góc ngược (G120~G135). Qua đó cho thấy, cùng một hướng góc mỏ hàn tạo ra vận tốc dòng chảy lớn theo hướng thuận nhưng lại nhỏ theo hướng nghịch và ngược lại.

Với hướng vuông góc (G90) góc mỏ hàn α =90⁰ tạo ra bề rộng mặt cắt thu hẹp dòng chảy ổn định tương tự nhau theo cả 2 hướng thuận và nghịch, tức là vận tốc lớn nhất V_{max} xuất hiện tại mặt cắt thu hẹp cũng tương đương nhau theo cả 2 hướng dòng chảy thuận nghịch (Hình 3.16).



Hình 3.16: Phân bố vận tốc: (1) p/án G45, (3) p/án-G90, (5) p/án-G135.





 a. Dòng chảy từ trái sang phải
 b. Dòng chảy từ phải sang trái Hình 3.17: Biến động lòng dẫn khu vực bố trí hệ thống mỏ hàn
 (các mô phỏng hướng góc từ G45~G135 thể hiện chi tiết tại Phụ lục số 4)

3.2.2.2. Kết quả mô phỏng biến động lòng dẫn

Tác động dòng triều thuận nghịch tạo ra hình dạng đáy lòng dẫn phát triển xói theo cả hai phía, điều này khác biệt so với dòng chảy đơn hướng chỉ phát triển xói về một phía. Tương ứng với nửa chu kỳ triều đầu dòng chảy có hướng thuận làm bùn cát đáy dịch chuyển từ trái sang phải, ứng với nửa chu kỳ tiếp theo dòng chảy có hướng nghịch làm bùn cát dịch chuyển ngược lại.

Quan sát biểu đồ Hình 3.17 cho thấy, với hệ thống mỏ hàn hướng góc xuôi (G45~G75) tạo ra chiều sâu xói lòng dẫn ở nửa chu kỳ đầu nhỏ hơn so với nửa chu kỳ sau. Ngược lại, hệ thống mỏ hàn hướng góc ngược (G120~G135) chiều sâu xói lòng dẫn ở nửa chu kỳ đầu lớn hơn so với nửa chu kỳ sau. Điều này hoàn toàn phù hợp với mô tả cấu trúc dòng chảy, là do tác động hướng góc mỏ hàn tạo ra vận tốc dòng chảy lớn theo hướng thuận nhưng lại nhỏ ở hướng nghịch và ngược lại.



Hình 3.18: So sánh chiều sâu xói trung bình lòng dẫn giữa các hướng góc Theo biểu đồ Hình 3.18 thể hiện, chiều sâu trung bình trong lòng dẫn tăng theo hướng góc từ (0⁰~90⁰) nhưng giảm xuống khi hướng góc tiếp tục tăng từ (90⁰~135⁰), tức là hướng góc 90⁰ tạo ra chiều sâu xói trung bình lòng dẫn lớn nhất ứng với giá trị là 6.96cm.

3.2.2.3. Nhận xét về hướng góc mỏ hàn

Như vậy với phương án bố trí hướng góc 90^{0} (G90) đã làm gia tăng khả năng xói sâu lòng dẫn có lợi cho chỉnh trị sông phục vụ giao thông thủy. Sau đây, luận án lựa chọn tiếp tục nghiên cứu bố trí không gian hệ thống mỏ hàn theo chiều dài mỏ hàn không bằng nhau với điều kiện giữ cố định hướng góc là 90^{0} .

3.2.3. Nghiên cứu giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn với chiều dài mỏ hàn không bằng nhau đến cấu trúc dòng chảy và chiều sâu xói lòng dẫn

Đế nghiên cứu tác động của bố trí không gian hệ thống mỏ hàn theo chiếu dài mỏ hàn không bằng nhau đến cấu trúc dòng chảy và chiều sâu xói xung quanh hệ thống mỏ hàn. Luận án đề xuất 03 cách bố trí hệ thống mỏ hàn (hệ thống mỏ hàn lồi LOI, hệ thống mỏ hàn thẳng THA và hệ thống mỏ hàn lõm LOM) nhằm xem xét mức độ tác động của các của các tham số bố trí (chiều dài mỏ hàn không bằng nhau, khoảng cách giữa các mỏ hàn). Khi xem xét ảnh hưởng của một tham số bố trí thì các yếu tố còn lại được giữ cố định.

3.2.3.1. Kết quả mô phỏng cấu trúc dòng chảy

So với hệ thống mỏ hàn thẳng thì cách bố trí hệ thống mỏ hàn lồi và hệ thống mỏ hàn lõm có sự khác biệt lớn về cấu trúc dòng chảy, thể hiện qua khu nước vật hình thành độc đáo. Có thể nói, khu nước vật là một trong những khu vực quan trọng nhất của hệ thống mỏ hàn. Tác động của khu nước vật làm thay đổi phân bố vận tốc dòng chủ lưu và ảnh hưởng lớn tới khả năng xói sâu lòng dẫn. Sau đây, luận án sẽ phân tích chi tiết cấu trúc khu nước vật để đánh giá ảnh hưởng của các tham số bố trí gồm (chiều dài mỏ hàn không bằng nhau, khoảng cách giữa các mỏ hàn) đến gia tăng hiệu quả xói sâu lòng dẫn.

Kết quả tính toán, phân tích mức độ ảnh hưởng của các tham số bố trí đến cấu trúc dòng chảy được mô phỏng trên máng dòng chảy số lòng cứng đã giới thiệu ở mục 2.3.3 trong Chương 2 sẽ trình bày lần lượt ở các mục tiếp theo, trong đó hiệu quả xói sâu lòng dẫn được đánh giá dựa trên kết quả phân bố vận tốc dòng chủ lưu, thể hiện Hình 3.19 và Hình 3.20.

(1) <u>Ånh hưởng của chiều dài mỏ hàn.</u>

Để đánh giá ảnh hưởng của chiều dài mỏ hàn đến hình thành cấu trúc khu nước vật bao trùm có sự khác biệt so với các nghiên cứu trước. Luận án bố trí tham số chiều dài mỏ hàn không bằng nhau, được sắp xếp thay đổi theo (hệ thống mỏ hàn lồi, hệ thống mỏ hàn thẳng và hệ thống mỏ hàn lõm, được mô tả chi tiết tại Hình 3.12 đến Hình 3.14). Ở đây, để làm rõ cấu trúc khu nước vật, tác giả tiến hành phân tích đại diện cho 1 phương án bố trí hệ thống mỏ hàn với S=1.0L, mà không mất tính tổng quát của vấn đề nghiên cứu.



c) Hệ thống mỏ hàn lồi LOI

Hình 3.19: Cấu trúc khu nước vật (KNV) khác biệt giữa các hệ thống mỏ hàn.

Có thể nhận thấy rằng trong cùng một điều kiện thủy lực thì cách bố trí theo chiều dài mỏ hàn không bằng nhau của hệ thống mỏ hàn lõm tạo ra khu nước vật lớn nhất. Từ quan sát Hình 3.19 cho thấy, hệ thống mỏ hàn lõm tạo ra khu nước vật bao trùm toàn bộ hệ thống với độ rộng lớn nhất (bv_{max}) đã ép và thu hẹp độ rộng dòng chủ lưu về nhỏ nhất (Bc_{min}) do đó làm tăng vận tốc dòng chủ lưu đạt V_{max} . Điều này thể hiện trên biểu đồ phân bố vận tốc ngang (m/c A-A, Hình 3.20a), giá trị vận tốc ứng với bố trí hệ thống mỏ hàn lõm lớn hơn giá trị vận tốc của hệ thống mỏ hàn thẳng và hệ thống mỏ hàn lồi. Trên mặt cắt dọc điểm 1 và điểm 2 biểu đồ vận
tốc của hệ thống mỏ hàn lõm ngược lại với hệ thống mỏ hàn thẳng và hệ thống mỏ hàn lồi, tương ứng phân bố vận tốc khu nước vật ngược hướng vận tốc dòng chủ lưu. Đây chính là cơ sở chứng minh ở vị trí điểm 1 và 3 (Hình 3.19 và Hình 3.20b và d), khu nước vật đã chiếm chỗ đồng nghĩa với dòng chảy chủ lưu bị thu hẹp, làm tăng vận tốc dòng chủ lưu, đây là ưu điểm mà cách bố trí hệ thống mỏ hàn lõm tạo được. Điều này cũng được thể hiện tại mặt cắt giữa dòng chủ lưu (m/c điểm 2, Hình 3.20c) biểu đồ phân bố vận tốc của hệ thống mỏ hàn lõm là lớn nhất. Như vậy, cách bố trí hệ thống mỏ hàn lõm đã làm tăng vận tốc dòng chủ lưu, làm gia tăng hiệu quả xói sâu lòng dẫn so với cách bố trí hệ thống mỏ hàn thẳng và hệ thống mỏ hàn lồi.



Với cách bố trí chiều dài mở hàn không bằng nhau của hệ thống mở hàn lồi, tạo ra khu nước vật ở một nửa phía sau của hệ thống và hầu như ít ảnh hưởng đến dòng chủ lưu, nên vận tốc dòng chính giảm, hiệu quả xói sâu lòng dẫn của hệ thống mỏ hàn lồi cũng giảm so với hệ thống mỏ hàn lõm (Hình 3.19a và Hình 3.20).

Theo cách bố trí chiều dài mỏ hàn bằng nhau của hệ thống mỏ hàn thẳng, thì

khu nước vật chỉ hình thành độc lập giữa hai mỏ hàn, điều này cũng làm giảm kích thước khu nước vật, giảm tác động vào dòng chủ lưu, vận tốc dòng chính giảm, làm giảm hiệu quả xói sâu lòng dẫn của hệ thống mỏ hàn thẳng so với hệ thống mỏ hàn lõm (Hình 3.19a và Hình 3.20).

Như vậy, có thể kết luận rằng tham số bố trí chiều dài mỏ hàn không bằng nhau tạo ra cấu trúc khu nước vật bao trùm, làm tăng vận tốc dòng chủ lưu, có ảnh hưởng quan trọng đến hiệu quả xói sâu lòng dẫn.

(2) <u>Ånh hưởng của khoảng cách giữa các mỏ hàn.</u>

Để thấy rõ mức độ ảnh hưởng của khoảng cách giữa các mỏ hàn đến cấu trúc khu nước vật, các tham số chiều dài mỏ hàn không bằng nhau và điều kiện thủy lực được giữ cố định, chỉ khoảng cách giữa các mỏ hàn lần lượt được thay đổi với S=1.0L; 1.5L; 2.0L; 2.5L và 3.0L. Kết quả phân tích mức độ ảnh hưởng tham số khoảng cách giữa các mỏ hàn S của hệ thống mỏ hàn lồi và hệ thống mỏ hàn lõm được trình bày cụ thể dưới đây.

Theo cách bố trí hệ thống lồi LOI với chiều dài mỏ hàn sắp xếp tăng dần vào giữa, thì chức năng của mỏ hàn phía trước đóng vai trò như mỏ hàn bảo vệ cho các mỏ hàn phía sau. Quan sát Hình 3.21 cho thấy, hệ thống mỏ hàn lồi (LOI-1) có tác động làm chuyển hướng dòng chảy nhỏ nhất, trong khi hệ thống mỏ hàn lồi (LOI-3) có tác động làm chuyển hướng dòng chảy lớn nhất. Điều này nói lên vai trò quan trọng của mỏ hàn đầu tiên có chiều dài càng lớn thì có tác động chuyển hướng dòng chảy càng lớn.

Từ Hình 3.21 cũng cho thấy, khi bố trí khoảng cách $S \le 2.0L$ của hệ thống mỏ hàn lồi LOI thì mỏ hàn phía trước ảnh hưởng lớn đến mỏ hàn phía sau, có tác dụng làm giảm xói cục bộ tại đầu mũi mỏ hàn và hình thành được khu nước vật phát triển khá đầy đủ giữa các mỏ hàn, nhưng khi tăng khoảng cách lên $S \ge 2.5L$ thì mỏ hàn phía trước giảm mức độ ảnh hưởng đến mỏ hàn phía sau, các mỏ hàn làm việc gần như độc lập nên ít tác dụng làm giảm xói cục bộ đến MH phía sau và chỉ tạo ra được khu nước vật nhỏ có xu hướng phát triển không đầy đủ.



Hình 3.22: Khu nước vật (KNV) tạo ra bởi hệ thống mỏ hàn lõm LOM với S/L=1.0~3.0

Quan sát Hình 3.22 cho thấy, với hệ thống mỏ hàn lõm LOM về cấu trúc dòng chảy có đặc điểm tương tự so với hệ thống mỏ hàn thắng THA thể hiện qua dòng chảy chuyển hướng mạnh và tạo ra khu nước vật sau mỏ hàn đầu tiên (mỏ hàn số 1 và số 5 tương ứng với dòng chảy thuận nghịch). Tuy nhiên, hệ thống mỏ hàn lõm LOM sắp xếp rút ngắn dần theo chiều dài mỏ hàn vào giữa đã tao ra khu nước vật rộng hơn bao phủ toàn bộ khu vực mỏ hàn khác biệt với khu nước vật chỉ hình thành giữa các mỏ hàn liên tiếp của hệ thống mỏ hàn thắng THA, trong đó hệ thống mỏ hàn lõm (LOM-7) tạo ra khu nước vật rộng hơn so với các hệ thống khác. Khi bố trí khoảng cách S \leq 2.0L của hệ thống mỏ hàn lõm LOM thì tạo ra khu nước vật lớn bao trùm toàn bộ khu vực mỏ hàn và xuất hiện lớn nhất ở trường hợp S=1.5L (LOM1.5-7), khu nước vật này có tác dụng thu hẹp và tăng vận tốc dòng chủ lưu, làm gia tăng hiệu quả xói sâu lòng dẫn (xem Hình 3.22a,b,c). Nhưng khi tăng khoảng cách S \geq 2.5L thì chỉ hình thành được khu nước vật nhỏ không phát triển đầy đủ dạng chữ S kèm theo dòng chảy vào ra giữa các mỏ hàn, lúc này vai trò khu nước vật hầu như không còn tác động làm thu hẹp và tăng vận tốc dòng chủ lưu. (xem Hình 3.22d,e).

Tóm lại, có thể kết luận tham số khoảng cách giữa các mỏ hàn S, khi bố trí gần nhau thì tạo ra cấu trúc khu nước vật lớn. Điều này khẳng định, có sự khác biệt khá rõ về khu nước vật lớn bao trùm được phát triển đầy đủ khi khoảng cách gần nhau ($S \le 2.0L$ và xuất hiện lớn nhất ở khoảng cách bố trí S=1.5L) so với khu nước vật nhỏ không được phát triển đầy đủ khi khoảng cách xa nhau ($S \ge 2.5L$). Như vậy, tham số khoảng cách giữa các mỏ hàn S, có ảnh hưởng đến cấu trúc khu nước vật, làm thay đổi vận tốc dòng chủ lưu, tác động đến hiệu quả xói sâu lòng dẫn.

(3) <u>Quan hệ giữa bề rộng khu nước vật và bề rộng dòng chủ lưu.</u>

Để thấy rõ tác động giữa khu nước vật và dòng chủ lưu là quan hệ phụ thuộc lẫn nhau khi cùng xuất hiện, luận án tiến hành phân tích ảnh hưởng của tham số chiều dài mỏ hàn qua cách bố trí (hệ thống mỏ hàn thẳng, hệ thống mỏ hàn lõm) và tham số khoảng cách giữa các mỏ hàn với ($S \le 2.0L$). Đây là những tham số đã được phân tích ở trên là có ảnh hưởng quan trọng đến quan hệ bề rộng khu nước vật



và dòng chủ lưu, là yếu tố chính tác động đến hiệu quả xói sâu lòng dẫn.

Hình 3.23: Bề rộng khu nước vật và dòng chủ lưu khu vực hệ thống mỏ hàn.

Như thể hiện Hình 3.23, L là chiều dài mỏ hàn, b_v là bề rộng lớn nhất khu nước vật, B_c là bề rộng co hẹp dòng chủ lưu. Ở đây, bề rộng lớn nhất khu nước vật và bề rộng co hẹp dòng chủ lưu được xem xét một cách tương đối so với chiều dài mỏ hàn L, còn gọi là bề rộng khu nước vật tương đối b_v/L và bề rộng co hẹp dòng chủ lưu tương đối B_c/L . Kết quả tính toán thể hiện tại Bảng 3-6.

TT	P/án	Tỷ số	Bề rộng lớn nhất khu nước vật (m)	Bề rộng co hẹp nhất dòng chủ lưu (m)	Ghi chú
		S/L	$b_{\rm v}$	$B_c = B - 2b_v$	
1	THA1.0-4		1.12L	7.76L	
2	LOM1.0-5	1.0	1.26L	7.48L	
3	LOM1.0-6	1.0	1.30L	7.40L	
4	LOM1.0-7		1.43L	7.14L	
5	THA1.5-4		1.16L	7.68L	
6	LOM1.5-5		1.31L	7.38L	
7	LOM1.5-6	1.5	1.38L	7.24L	
8	LOM1.5-7		1.51L	6.98L	
9	THA2.0-4		1.20L	7.60L	
10	LOM2.0-5	20	1.23L	7.54L	
11	LOM2.0-6	2.0	1.27L	7.46L	
12	LOM2.0-7		1.40L	7.20L	

Bảng 3-6: Bề rộng khu nước vật và dòng chủ lưu của hệ thống mỏ hàn lõm LOM





Từ Hình 3.24 mối quan hệ giữa bề rộng khu nước vật tương đối và bề rộng dòng chủ lưu tương đối (bv/L~Bc/L) là quan hệ nghịch biến, phản ánh sự tăng lên bề rộng khu nước vật làm thu hẹp lại bề rộng dòng chủ lưu và ngược lại.

Qua đường quan hệ cho thấy, khi bố trí S=1.5L thì bề rộng khu nước vật là lớn nhất, giá trị bề rộng khu nước vật đạt lớn nhất là bv_{max} =1.51L, ứng với bề rộng dòng chủ lưu nhỏ nhất Bc_{min}=6.98L của hệ thống mỏ hàn lõm (LOM1.5-7).

3.2.3.2. Kết quả mô phỏng biến động lòng dẫn

So với cách bố trí hệ thống mỏ hàn thẳng thì cách bố trí hệ thống mỏ hàn lồi và hệ thống mỏ hàn lõm có sự khác biệt về biến động lòng dẫn. Qua phân tích chiều sâu xói cục bộ và chiều sâu xói trung bình lòng dẫn sẽ làm nổi bật ưu điểm của cách bố trí hệ thống mỏ hàn mà luận án đề xuất. Kết quả tính toán, phân tích đánh giá tác động của bố trí không gian hệ thống mỏ hàn đến chiều sâu xói lòng dẫn được mô phỏng thông qua máng dòng chảy số lòng động (xem mục 2.3.3 trong Chương 2).



(1) Chiều sâu xói cục bộ:

Hình 3.26: Chiều sâu xói cục bộ lớn nhất của hệ thống mỏ hàn bố trí 1 bên bờ (1B)

Ghi chú: LOI_{λ}-1, ký hiệu λ là tỷ số bố trí không gian λ =S/L, S là khoảng cách giữa các mỏ hàn, L là chiều dài mỏ hàn.

Theo biểu đồ Hình 3.25 và Hình 3.26, chiều sâu xói cục bộ lớn nhất của hệ thống mỏ hàn lồi nhỏ hơn so với hệ thống mỏ hàn thẳng và hệ thống mỏ hàn lõm. Điều này phù hợp với mô tả thủy lực, là do các mỏ hàn phía trước tác động đến mỏ hàn phía sau làm giảm chiều sâu xói cục bộ trong hệ thống mỏ hàn lồi. Theo cách bố trí ngược lại, chiều sâu xói cục bộ của hệ thống mỏ hàn lõm lớn hơn so với hệ thống mỏ hàn thẳng và hệ thống mỏ hàn lồi.

Khi tăng khoảng cách giữa các mỏ hàn từ S=1.0L đến S=3.0L thì chiều sâu xói cục bộ cũng tăng lên tương ứng. Từ đồ thị Hình 3.25 và Hình 3.26, chiều sâu xói cục bộ nhỏ nhất xuất hiện tại cách bố trí gần nhau S=1.0L ứng với hệ thống mỏ hàn lồi, bố trí cả 2 bên bờ (2LOI1.0-2) có giá trị min là 9.03cm và bố trí ở 1 bên bờ (1LOI1.0-2) giá trị min là 5.65cm. Chiều sâu xói cục bộ lớn nhất xuất hiện tại cách bố trí xa nhau S=3.0L ứng với hệ thống mỏ hàn lõm, bố trí cả 2 bên bờ (2LOM3.0-7) có giá trị max là 13.00cm và bố trí ở 1 bên bờ (1LOM3.0-7) giá trị max là 9.30cm. Như vậy, chiều sâu xói cục bộ nhỏ hơn xuất hiện theo cách bố trí hệ thống mỏ hàn lồi, ngược lại chiều sâu xói cục bộ lớn hơn với cách bố trí hệ thống mỏ hàn lõm.

Chiều sâu xói cục bộ của hệ thống mỏ hàn lồi cũng khá khác biệt so với chiều sâu xói khi bố trí hệ thống mỏ hàn thẳng và hệ thống mỏ hàn lõm, thể hiện qua vị trí xói cục bộ lớn nhất đầu mũi mỏ hàn giữa (mỏ hàn số 3) của hệ thống mỏ hàn lồi, trong khi hệ thống mỏ hàn lõm xuất hiện ở mũi mỏ hàn đầu tiên (mỏ hàn số 1 và số 5, tương ứng với dòng chảy thuận nghịch). Điều này là do hệ thống mỏ hàn lồi làm chuyển hướng dòng chảy mạnh khi qua mỏ hàn số 1.

Quan sát từ Hình 3.27 và Hình 3.28 cho thấy, do tính chất đối xứng về mặt bằng bố trí, nên hình dạng xói tạo ra xung quanh hệ thống mỏ hàn theo cách bố trí ở 1 bên bờ (1B) cũng tương tự như khi bố trí đối xứng cả 2 bên bờ (2B). Điều này thể hiện qua vị trí chiều sâu xói cục bộ lớn nhất của hệ thống mỏ hàn lồi hình thành đầu mũi mỏ hàn số 3.



(các mô phỏng từ S=1L~3L thể hiện chi tiết tại Phụ lục số 4)





	Các phương án		Chiều	sâu xói, bồi (c	m)
\mathbf{TT}	bố trí hệ thống	Tỷ lệ bố	Xói cục bộ	Xói sâu	Bồi khu vực
11	mỏ hàn, bố trí cả	trí S/L	đầu mũi mỏ hàn	lòng dẫn	mỏ hàn
	2 bên bờ (2B)		(lớn nhất)	(trung bình)	(trung bình)
1	2LOI1.0-1		9.28	4.84	0.57
2	2LOI1.0-2		9.03	5.72	0.78
3	2LOI1.0-3		9.12	6.02	0.83
4	2THA1.0-4	S/L=1	10.29	6.58	0.90
5	2LOM1.0-5		10.41	6.91	1.01
6	2LOM1.0-6		10.54	7.57	1.16
7	2LOM1.0-7		10.62	7.76	1.42
8	2LOI1.5-1		9.45	4.92	0.56
9	2LOI1.5-2		9.10	5.81	0.68
10	2LOI1.5-3		9.26	6.12	0.75
11	2THA1.5-4	S/L=1.5	10.43	6.52	0.82
12	2LOM1.5-5		10.55	7.03	0.88
13	2LOM1.5-6		10.9	7.71	0.95
14	2LOM1.5-7		11.5	7.92	1.04
15	2LOI2.0-1		9.60	5.16	0.62
16	2LOI2.0-2		9.25	6.13	0.71
17	2LOI2.0-3		9.46	6.25	0.78
18	2THA2.0-4	S/L=2.0	10.95	6.41	0.85
19	2LOM2.0-5		11.22	6.87	0.91
20	2LOM2.0-6		11.58	7.45	1.00
21	2LOM2.0-7		12.29	7.65	1.05
22	2LOI2.5-1		9.90	5.31	0.77
23	2LOI2.5-2		9.51	5.95	0.82
24	2LOI2.5-3		9.72	6.20	0.87
25	2THA2.5-4	S/L=2.5	11.44	6.27	0.88
26	2LOM2.5-5		11.98	6.44	0.83
27	2LOM2.5-6		12.73	6.35	0.77
28	2LOM2.5-7		12.87	6.27	0.71
29	2LOI3.0-1		10.29	5.35	0.81
30	2LOI3.0-2		10.01	6.08	0.88
31	2LOI3.0-3		10.11	6.16	0.90
32	2THA3.0-4	S/L=3.0	11.62	6.25	0.91
33	2LOM3.0-5		12.08	6.14	0.78
34	2LOM3.0-6		12.89	6.08	0.72
35	2LOM3.0-7		13.00	6.00	0.66
Chọn	2LOM1.5-7	S/L=1.5	11.5	7.92	1.04
Ghi chi	ú: Số liệu chi tiết thể	ề hiện tại Phụ	lục 5.		

Bảng 3-7: Tổng hợp kết quả chiều sâu xói, bồi của các hệ thống mỏ hàn bố trí đối xứng 2 bên bờ (2B).

	Các phương án	,	Chiêu	sâu xói, bối (c	<u>m)</u>
ТТ	hệ thống mỏ	Tỷ lệ bố trí	Xói cục bộ	Xói sâu	Bồi khu vực
	hàn, bô trí 1	S/L	đầu mũi mỏ hàn	lòng dẫn	mỏ hàn
	bên bờ (1B)		(lớn nhất)	(trung bình)	(trung bình)
1	1LOI1.0-1		5.92	2.26	0.61
2	1LOI1.0-2		5.65	3.15	0.72
3	1LOI1.0-3		5.81	3.51	0.8
4	1THA1.0-4	S/L=1	6.87	4.26	0.87
5	1LOM1.0-5		6.95	4.61	0.95
6	1LOM1.0-6		7.12	4.92	1.04
7	1LOM1.0-7		7.20	5.25	1.28
8	1LOI1.5-1		6.21	2.54	0.50
9	1LOI1.5-2		5.83	3.36	0.62
10	1LOI1.5-3		6.01	3.71	0.72
11	1THA1.5-4	S/L=1.5	6.95	4.18	0.77
12	1LOM1.5-5		7.25	4.60	0.83
13	1LOM1.5-6		7.71	5.25	0.91
14	1LOM1.5-7		8.10	5.51	0.98
15	1LOI2.0-1		6.45	2.64	0.56
16	1LOI2.0-2		5.98	3.55	0.60
17	1LOI2.0-3		6.16	3.75	0.66
18	1THA2.0-4	S/L=2.0	7.41	3.91	0.77
19	1LOM2.0-5		7.75	4.46	0.88
20	1LOM2.0-6		8.08	4.95	0.93
21	1LOM2.0-7		8.60	5.03	1.00
22	1LOI2.5-1		6.80	2.71	0.71
23	1LOI2.5-2		6.21	3.28	0.77
24	1LOI2.5-3		6.42	3.61	0.80
25	1THA2.5-4	S/L=2.5	7.94	3.75	0.81
26	1LOM2.5-5		8.47	3.94	0.75
27	1LOM2.5-6		8.85	3.8	0.71
28	1LOM2.5-7		9.01	3.67	0.66
29	1LOI3.0-1		6.90	2.76	0.73
30	1LOI3.0-2		6.45	3.21	0.78
31	1LOI3.0-3		6.71	3.32	0.82
32	1THA3.0-4	S/L=3.0	8.12	3.45	0.85
33	1LOM3.0-5		8.88	3.37	0.73
34	1LOM3.0-6		9.11	3.11	0.62
35	1LOM3.0-7		9.30	3.01	0.58
Chọn	1LOM1.5-7	S/L=1.5	8.10	5.51	0.98
Ghi ch	ú: Số liệu chi tiết	thể hiện tại Phụ	lục 5.	•	•

Bảng 3-8: Tổng hợp kết quả chiều sâu xói, bồi của các hệ thống mỏ hàn bố trí 1 bên bờ (1B).

(2) <u>Chiều sâu xói trung bình lòng dẫn:</u>

Chiều sâu xói trung bình lòng dẫn được tính bằng giá trị trung bình của các mặt cắt đo đạc (chi tiết số liệu trích xuất theo sơ đồ Hình 2.34, thể hiện Phụ lục 5).

Từ biểu đồ Hình 3.29 và Hình 3.30 cho thấy, chiều sâu xói trung bình lòng dẫn của hệ thống mỏ hàn lõm lớn hơn so với các hệ thống mỏ hàn lồi và hệ thống mỏ hàn thẳng. Điều này phù hợp với mô tả cấu trúc dòng chảy, là do cách bố trí chiều dài mỏ hàn lõm vào giữa hệ thống đã tạo ra khu nước vật bao trùm lớn, làm tăng vận tốc dòng chủ lưu, làm gia tăng hiệu quả xói sâu lòng dẫn. Theo cách bố trí ngược lại, chiều sâu xói trung bình lòng dẫn của hệ thống mỏ hàn lồi nhỏ hơn so với chiều sâu xói trung bình của hệ thống mỏ hàn thẳng và hệ thống mỏ hàn lõm.

Từ số liệu biểu đồ Hình 3.29 và Hình 3.30 cho thấy, khi khoảng cách giữa các mỏ hàn S \leq 2.0L, thì hệ thống mỏ hàn lõm cho hiệu quả tăng chiều sâu xói trung bình lòng dẫn tốt hơn, đạt lớn nhất tại S=1.5L ứng với hệ thống bố trí cả 2 bên bờ (2LOM1.5-7) có giá trị max là 7.92cm và bố trí ở 1 bên bờ (1LOM1.5-7) là 5.51cm (chi tiết Bảng 3-7 và Bảng 3-8). Nhưng khi bố trí cách xa S \geq 2.5L thì hệ thống mỏ hàn lõm không còn phát huy hiệu quả tăng chiều sâu xói lòng dẫn. Điều này có thể giải thích rằng, với khoảng cách bố trí gần nhau S \leq 2.0L thì hệ thống mỏ hàn lõm tạo ra khu nước vật bao trùm lớn, làm tăng vận tốc dòng chủ lưu nên thúc đẩy khả năng gây xói sâu lòng dẫn, nhưng khi khoảng cách bố trí xa nhau S \geq 2.5L thì hệ thống mỏ hàn lõm chỉ tạo ra khu nước vật nhỏ dạng chữ S, nên không còn phát huy hiệu quả tăng chiều gia tăng khả năng xói lòng dẫn, duy trì giao thông thủy thì hệ thống mỏ hàn lõm (LOM1.5-7) cho hiệu quả tốt nhất.

Biến động xói lòng dẫn của các hệ thống mỏ hàn cũng khá khác biệt thể hiện: với hệ thống mỏ hàn lồi lòng dẫn biến động mạnh ở giữa hệ thống khu vực giữa mỏ hàn số 3, trong khi hệ thống mỏ hàn lõm lòng dẫn biến đổi toàn bộ khu vực hệ thống mỏ hàn và lớn hơn so với hệ thống mỏ hàn lồi. Điều này là do hệ thống mỏ hàn lồi làm dòng chảy thu hẹp và tăng vận tốc dòng chủ lưu khi qua mỏ hàn số 3, trong khi hệ thống mỏ hàn lõm làm tăng vận tốc dòng chủ lưu khi qua mỏ hàn số 1.



bố trí ở 1 bên bờ (1B)

Ghi chú: LOI_{λ}-1, ký hiệu λ là tỷ số bố trí không gian λ =S/L, S là khoảng cách giữa các mỏ hàn, L là chiều dài mỏ hàn.

Từ Hình 3.27 và Hình 3.28 cho thấy, do tính chất đối xứng về mặt bằng bố trí, nên hình dạng xói lòng dẫn tạo ra bởi hệ thống mỏ hàn lõm theo cách bố trí ở 1 bên bờ (1B) cũng tương tự như khi bố trí đối xứng cả 2 bên bờ (2B). Điều này thể hiện qua biến động lòng dẫn chủ yếu ở khu vực giữa của hệ thống mỏ hàn lồi và biến động toàn bộ lòng dẫn với hệ thống mỏ hàn lõm.

Nhận xét, giá trị chiều sâu xói trung bình lòng dẫn giảm theo cách bố trí hệ thống mỏ hàn lồi LOI, nhưng lại tăng lên với hệ thống mỏ hàn lõm LOM tương ứng với khoảng cách bố trí giữa các mỏ hàn gần nhau $S \le 2.0L$ đạt lớn nhất ở trường hợp S=1.5L (LOM1.5-7).

3.2.3.3. Một số kết luận về tác động bố trí hệ thống mỏ hàn đối với chỉnh trị lòng dẫn

Các thông số được xem xét để lựa chọn giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn phù hợp theo các tham số bố trí: (1) Chiều dài mỏ hàn không bằng nhau; (2) Khoảng cách giữa các mỏ hàn. Từ kết quả tổng hợp tại Bảng 3-7 và Bảng 3-8 cho thấy:

- Để giảm hiện tượng xói cục bộ đầu mũi mỏ hàn, đề xuất sử dụng hệ thống mỏ hàn lồi (LOI). Cách bố trí trên mặt bằng sắp xếp tăng dần theo chiều dài mỏ hàn lồi vào giữa, nên mỏ hàn phía trước đóng vai trò như mỏ hàn bảo vệ làm giảm xói cục bộ đầu mũi mỏ hàn phía sau, chiều sâu xói cục bộ nhỏ nhất xuất hiện tại cách bố trí khoảng cách gần nhau S=1.0L (LOI1.0-2). Như vậy có thể thấy, chi phí gia cố bảo vệ xói đầu mũi mỏ hàn giảm nhỏ hơn ở cách bố trí hệ thống mỏ hàn lồi.

- Để gia tăng hiệu quả xói sâu lòng dẫn, đề xuất sử dụng hệ thống mỏ hàn lõm LOM (khi khoảng cách bố trí giữa các mỏ hàn gần nhau S \leq 2.0L). Cách bố trí trên mặt bằng sắp xếp giảm dần theo chiều dài mỏ hàn lõm vào giữa, tạo ra khu nước vật lớn bao trùm toàn bộ khu vực mỏ hàn, làm thu hẹp và tăng vận tốc dòng chủ lưu nên thúc đẩy khả năng xói sâu lòng dẫn, chiều sâu xói trung bình lòng dẫn lớn nhất xuất hiện tại cách bố trí khoảng cách S=1.5L (LOM1.5-7). Như vậy, giải pháp gia tăng chiều sâu xói trung bình lòng dẫn nên sử dụng hệ thống mỏ hàn lõm sẽ cho hiệu quả tốt hơn.

3.2.4. Nghiên cứu ảnh hưởng mức độ thu hẹp chiều rộng lòng sông của mỏ hàn

3.2.4.1. Đặt vấn đề

Bằng cách thay đổi mức độ thu hẹp chiều rộng dòng chảy, điều này dẫn đến sự biến động lớn về chiều sâu xói lòng dẫn. Trong nghiên cứu này, tác động của các mức độ thu hẹp dòng chảy đến chiều sâu xói lòng dẫn, được đánh giá ở 04 tỷ lệ L/B= 15%; 20%; 25% và 30% (L chiều dài mỏ hàn, B là chiều rộng máng). Ở đây, nghiên cứu không xét đến mức độ L/B>30%, vì khi chiều dài mỏ hàn lớn thường gây mất ổn định bản thân công trình cũng như tránh can thiệp quá mức vào lòng sông tự nhiên.

Theo trình tự nghiên cứu, luận án đã mô phỏng chi tiết với 70 phương án bố trí hệ thống mỏ hàn ở mức độ thu hẹp L/B= 20% tại mục 3.2.3 cho kết quả, với 03 cách bố trí (S=1.0L; S=1.5L và S=2.0L) thì hệ thống mỏ hàn lõm cho hiệu quả gia tăng chiều sâu xói lòng dẫn lớn hơn so với hệ thống mỏ hàn thẳng và hệ thống mỏ hàn lồi. Vì vậy, khi nghiên cứu với các mức độ thu hẹp dòng chảy L/B=15%; 25% và 30%, luận án chỉ thực hiện nghiên cứu theo 03 cách bố trí (S=1.0L; S=1.5L và S=2.0L) ứng với hệ thống mỏ hàn lõm (2LOM1.0-7; 2LOM1.5-7; 2LOM2.0-7) và hệ thống mỏ hàn thẳng (2THA1.0-4; 2THA1.5-4; 2THA2.0-4). Qua đó so sánh hiệu quả xói sâu lòng dẫn do tác động bố trí hệ thống mỏ hàn theo 04 mức độ thu hẹp 15%; 20%; 25% và 30%.

3.2.4.2. Ảnh hưởng mức độ thu hẹp dòng chảy của mỏ hàn

Từ số liệu Bảng 3-9, với các mức độ thu hẹp dòng chảy 15%; 20%; 25% và 30%, thì chiều sâu xói trung bình lòng dẫn của hệ thống mỏ hàn lõm (2LOM1.0-7; 2LOM1.5-7; 2LOM2.0-7) đều cho giá trị chiều sâu xói lớn hơn hệ thống mỏ hàn thẳng (2THA1.0-4; 2THA1.5-4; 2THA2.0-4). Như vậy, hệ thống mỏ hàn lõm có hiệu quả gia tăng chiều sâu xói lòng dẫn tốt nhất.

Chiầu	Tỷ 16	Bố trí s	S/L=1.0	Bố trí S	S/L=1.5	Bố trí S/L=2.0		
cineu	I y lệ I /D	2THA1.5	2LOM1.0	2THA1.5	2LOM1.5	2THA2.0	2LOM2.0	
sau	L/D	-4	-7	-4	-7	-4	-7	
Xói	15%	5.71	6.58	5.52	6.71	5.46	6.51	
lòng	20%	6.58	7.76	6.52	7.92	6.41	7.65	
dẫn	25%	7.43	8.87	7.28	8.45	7.11	8.14	
	30%	8.83	9.95	8.52	9.63	8.30	9.12	

Bảng 3-9: Chiều sâu xói trung bình lòng dẫn theo các mức độ thu hẹp L/B

So với mức độ thu hẹp $\leq 20\%$ khi tăng mức độ thu hẹp tăng lên 25% và 30%, thì chiều sâu xói trung bình lòng dẫn có sư thay đổi ở hê thống mỏ hàn lõm (2LOM1.0-7; 2LOM1.5-7; 2LOM2.0-7). Cụ thể, tại mức độ 15% và 20%, phương án bố trí S=1.5L (2LOM1.5-7) cho giá trị chiều sâu xói lòng dẫn tương ứng (15% là 6.71cm) và (20% là 7.92cm) lớn hơn các phương án bố trí khác (Bảng 3-10). Khi tăng mức độ lên 25% và 30%, chiều sâu xói lòng dẫn lớn nhất xuất hiện tại phương án bố trí mỏ hàn gần nhau hơn S=1.0L (2LOM1.0-7) cho giá tri chiều sâu xói lòng dẫn tương ứng (25% là 8.87cm) và (30% là 9.95cm). Điều đó khẳng định rằng, với mức độ thu hẹp dòng chảy $L/B \le 20\%$ thì phương án bố trí S=1.5L (2LOM1.5-7) cho kết quả chiều sâu xói lòng dẫn tốt hơn. Nhưng khi tăng mức đô thu hẹp dòng chảy $L/B \ge 25\%$, thì có sự chuyển dịch sang phương án bố trí mỏ hàn gần nhau hơn S=1.0L (2LOM1.0-7) cho chiều sâu xói lòng dẫn tốt hơn. Điều này có thể lý giải như sau, khu nước vật lớn bao trùm phát triển đầy đủ khi bố trí hệ thống mỏ hàn với tỷ số S/L nhỏ, tạo ra trao đổi bùn cát trên phương ngang, làm tăng chuyển động bùn cát trong lòng dẫn. Khi S/L lớn, khu nước vật có xu hướng hình thành dạng chữ S không phát triển đầy đủ, làm giảm hiệu quả hệ thống mỏ hàn.

Bảng 3-10: So sánh chiều sâu trung bình xói lòng dẫn của hệ thống mỏ hàn lõm và thẳng với các mức độ thu hẹp dòng chảy khác nhau

Chiều sâu xói	Hệ thống mỏ		Mức độ thu hẹp dòng chảy L/B (%)						
	hàn lõm LOM	15%	20%	25%	30%				
Vái làng dẫn	2LOM1.0-7	6.58	7.76	8.87	9.95				
(trung hinh)	2LOM1.5-7	6.71	7.92	8.45	9.63				
(trung binh)	2LOM2.0-7	6.51	7.65	8.14	9.12				

Theo cách bố trí hệ thống mỏ hàn thẳng (2THA1.0-4; 2THA1.5-4 và 2THA2.0-4) ứng với các mức độ thu hẹp dòng chảy 15%; 20%; 25% và 30% thì chiều sâu trung bình xói lòng dẫn lớn nhất đều xuất hiện với phương án bố trí S=1L (2THA1.0-4). Từ kết quả trong Bảng 3-11 cho thấy, đối với hệ thống mỏ hàn thẳng thì cách bố trí các mỏ hàn gần nhau hơn S=1L sẽ có tác dụng làm tăng chiều sâu xói lòng dẫn tốt nhất.

Bảng 3-11: So sánh chiều sâu xói trung bình của hệ thống mỏ hàn thẳng THA.

Chiều sâu với	Hệ thống mỏ	Mú	Mức độ thu hẹp dòng chảy L/B (%)						
	hàn thắng THA	15%	20%	25%	30%				
X/:1) 12	2THA1.0-4	5.71	6.58	7.43	8.83				
(trung bình)	2THA1.5-4	5.52	6.52	7.28	8.52				
(trung onni)	2THA2.0-4	5.46	6.41	7.11	8.30				



Hình 3.31: Biến động lòng dẫn khu vực bố trí hệ thống mỏ hàn đối xứng, với mức độ thu hẹp dòng chảy L/B=15%.



Hình 3.32: Biến động lòng dẫn khu vực bố trí hệ thống mỏ hàn đối xứng, với mức độ thu hẹp dòng chảy L/B=20%.



- a) Hệ thống mỏ hàn thẳng THA
- b) Hệ thống mỏ hàn lõm LOM

Hình 3.33: Biến động lòng dẫn khu vực bố trí hệ thống mỏ hàn đối xứng, với mức độ thu hẹp dòng chảy L/B=25%.



a) Hệ thống mỏ hàn thẳng THA
b) Hệ thống mỏ hàn lõm LOM
Hình 3.34: Biến động lòng dẫn khu vực bố trí hệ thống mỏ hàn đối xứng,
với mức độ thu hẹp dòng chảy L/B=30%.

3.2.5. Nghiên cứu tính toán tác động của hệ thống mỏ hàn đến xói sâu lòng dẫn 3.2.5.1. Chỉ tiêu về hiệu quả gây xói

Hiệu quả gây xói của mỗi giải pháp công trình được đánh giá bằng hệ số $\Psi_{\%L}$ là hệ số điều chỉnh độ sâu sau khi bố trí hệ thống mỏ hàn. Nếu lấy độ sâu xói từ giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn thẳng THA là Δh_1 , còn độ sâu từ giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn lồi LOI hoặc hệ thống mỏ hàn lõm LOM là Δh_2 .

$$\Psi_{\%L} = \Delta h_2 / \Delta h_1. \tag{3-1}$$

Với $\Psi_{\%L}$ là hệ số điều chỉnh độ sâu.

Nếu $\Psi_{\%L}=1$ thì độ sâu xói lòng dẫn của của hệ thống mỏ hàn lồi và hệ thống mỏ hàn lõm đương với độ sâu xói do hệ thống mỏ hàn thẳng;

Nếu $\Psi_{\%L}$ <1 thì độ sâu xói lòng dẫn của của hệ thống mỏ hàn lồi và hệ thống mỏ hàn lõm nhỏ hơn với độ sâu xói do hệ thống mỏ hàn thẳng

Nếu $\Psi_{\%L}>1$ thì độ sâu xói lòng dẫn của của hệ thống mỏ hàn lồi và hệ thống mỏ hàn lõm lớn hơn với độ sâu xói do hệ thống mỏ hàn thẳng. Điều đó hoàn toàn có thể giải thích, khi bố trí hệ thống mỏ hàn lồi và hệ thống mỏ hàn lõm đã tạo ra cấu trúc dòng chảy và khu nước vật khác biệt, do đó tác động đến chiều sâu xói lòng dẫn của các hệ thống mỏ hàn cũng khác nhau.

Ngoài ra, mức độ thay đổi chiều dài mỏ hàn khác nhau dẫn đến hiệu quả xói sâu lòng dẫn của các hệ thống mỏ hàn cũng khác nhau. Nếu gọi chiều dài mỏ hàn là L, thì các mức độ thay đổi chiều dài mỏ hàn tương ứng là 25%L; 50%L và 75%L được phản ánh qua hệ số K_{λ} theo các phương án bố trí khác nhau:

$$K_{\lambda} = \frac{L_{d}}{Lg}$$
(3-2)

 K_{λ} - là hệ số biến đổi chiều dài mỏ hàn

L_d- là chiều dài mỏ hàn đầu tiên của hệ thống;

L_g- là chiều dài mỏ hàn ở giữa của hệ thống.

3.2.5.2. Hiệu quả gây xói sâu lòng dẫn của hệ thống mỏ hàn

Từ số liệu Bảng 3-7 ở phần trên, nếu lấy hệ thống mỏ hàn thẳng làm cơ sở, có hệ số ($K_{\lambda} = \frac{L_d}{L_a} = 1$) ứng với chiều sâu xói trung bình lòng dẫn là Δh_1 , còn chiều

sâu xói của các hệ thống mỏ hàn lồi và hệ thống mỏ hàn lõm là Δh_2 , kết quả tính toán hệ số điều chỉnh độ sâu thể hiện Bảng 3-12.

Bảng 3-12: Hệ số điều chỉnh độ sâu xói và hệ số biến đổi chiều dài mỏ hàn ($\Psi_{\lambda} \sim$

Hệ số điều chỉnh độ		Hệ số biến đổi chiều dài mỏ hàn $K_{\lambda} = \frac{L_{d}}{L_{g}}$									
	Hệ thố	ng mỏ hàn	lồi LOI	(THA)	Hệ thống mỏ hàn lõm LOM						
sau $\Psi_{\%L}$	0.25	0.50	0.75	1	1.33	2.00	4.00				
S/L=1.0	0.7356	0.8693	0.9149	1.0000	1.0502	1.1505	1.1793				
S/L=1.5	0.7546	0.8911	0.9387	1.0000	1.0782	1.1825	1.2147				
S/L=2.0	0.8050	0.9563	0.9750	1.0000	1.0718	1.1622	1.1934				
S/L=2.5	0.8469	0.9490	0.9888	1.0000	1.0271	1.0128	1.0000				
S/L=3.0	0.8560	0.9728	0.9856	1.0000	0.9824	0.9728	0.9696				

K_{λ})

• Đồ thị quan hệ $\Psi_{\%L} \sim K_{\lambda}$

Tính chất tương tác giữa dòng chủ lưu và khu nước vật ảnh hưởng đến hiệu quả xói sâu lòng dẫn của hệ thống mỏ hàn được phản ánh thông qua hệ số điều chỉnh độ sâu $\Psi_{\%L}$. Quan hệ ($\Psi_{\%L} \sim K_{\lambda}$) ứng với 05 tỷ lệ S/L= 1.0; 1.5; 2.0; 2.5 và 3.0 thể hiện qua đồ thị Hình 3.35.

Từ Hình 3.35 cho thấy, với khoảng cách bố trí gần nhau (S/L≤2,0), chiều dài tương đối $\left(\frac{L_{d}}{Lg}\right)$ càng lớn thì hiệu quả xói sâu của hệ thống mỏ hàn càng lớn và ngược lại, đạt hiệu quả xói sâu lớn nhất với (S/L=1.5) và $\left(\frac{L_{d}}{Lg}=4\right)$. Tuy nhiên, khi khoảng cách bố trí xa nhau (S/L ≥ 2,5), chiều dài tương đối $\left(\frac{L_{d}}{Lg}\right)$ càng lớn thì hiệu quả xói sâu của hệ thống mỏ hàn càng nhỏ. Còn khi chiều dài tương đối $\left(\frac{L_{d}}{Lg}\right)$ nhỏ, thì hiệu quả xói sâu của hệ thống mỏ hàn nhỏ. Lúc này hệ thống mỏ hàn tạo ra khu nước vật nhỏ, nên giảm tác động vào dòng chủ lưu, dẫn đến hiệu quả xói sâu lòng dẫn giảm.



Hình 3.35: Quan hệ xác định hệ số điều chỉnh độ sâu tính toán $(\Psi_{\%L} \sim K_{\lambda})$ với các phương án bố trí không gian hệ thống mỏ hàn khác nhau (tỷ lệ L/B=20%).

Nhìn chung quan hệ ($\Psi_{\%L} \sim K_{\lambda}$) có xu hướng phi tuyến, đồng biến với trường hợp khoảng cách bố trí gần nhau (S/L $\leq 2,0$) và xu hướng phi tuyến, nghịch biến với trường hợp khoảng cách bố trí xa nhau (S/L $\geq 2,5$), quan hệ nghịch biến rõ nét nhất khi chiều dài tương đối ($\frac{L_d}{La} \geq 1.33$).

3.3. KÉT LUÂN CHƯƠNG 3

Như vậy, nội dung Chương 3 đã đi sâu vào nghiên cứu và thực hiện được những kết quả nghiên cứu chính của luận án. Các kết luận được đưa ra như sau:

(1) Kết quả nghiên cứu mỏ hàn đơn:

Luận án đã mô tả chi tiết được cấu trúc dòng chảy, cơ chế tương tác giữa dòng chảy và công trình mỏ hàn đơn trong đoạn sông vùng triều có dòng chảy thuận nghịch, thể hiện qua các kết quả sau:

- Mực nước và độ dốc mặt nước theo phương ngang: Ở thượng lưu mỏ hàn, mực nước phía bờ có mỏ hàn nhỏ hơn mực nước phía bờ đối diện, độ dốc mặt

nước nghiêng về phía bờ có mỏ hàn; Ở hạ lưu mỏ hàn, ngược lại mực nước phía bờ có mỏ hàn lại lớn hơn mực nước phía bờ đối diện, độ dốc mặt nước nghiêng về phía bờ đối diện. Như vậy, độ dốc mặt nước theo phương ngang ở thượng và hạ lưu mỏ hàn trên đoạn sông vùng ảnh hưởng triều có xu thế ngược nhau.

- Mực nước và độ dốc theo phương dọc: Chênh lệch mực nước ở thượng và hạ lưu mỏ hàn chỉ thấy ở vị trí lân cận mỏ hàn và gần như không thay đổi ở khu vực giữa lòng dẫn đến bờ đối diện hay nói cách khác là khu vực này không chịu tác động của mỏ hàn trong đoạn sông vùng ảnh hưởng triều.

- Trường dòng chảy: Với trường hợp triều rút, ở hạ lưu mỏ hàn vận tốc dòng chảy giảm đã hình thành khu nước vật lớn với chiều dài bằng 7,5L (L là chiều dài mỏ hàn) và ngắn hơn chiều dài khu nước vật trong điều kiện dòng chảy vùng sông không ảnh hưởng triều bằng 8,2L. Còn trường hợp triều dâng, ở thượng lưu mỏ hàn xuất hiện khu nước vật với chiều dài bằng 7L. Như vậy, phạm vi khu nước vật do ảnh hưởng của mỏ hàn đơn trong điều kiện dòng chảy sông vùng ảnh hưởng triều (dòng chảy thuận nghịch) luôn nhỏ hơn so với điều kiện dòng chảy sông chảy sông vùng không ảnh hưởng triều (dòng đơn hướng).

Biến đổi của ứng suất tiếp đáy: Biến đổi của ứng suất tiếp đáy khá lớn lân cận khu vực mỏ hàn, có giá trị cực đại vào thời kỳ triều dâng mạnh hoặc rút mạnh, độ chênh tăng cực đại là 0,1÷0,15 kg/(m.s²). Vào thời điểm chuyển hướng dòng chảy, khu vực đầu mỏ hàn và khu vực đón dòng, ứng suất tiếp đáy đã tăng lên rõ rệt.

- Cường độ dòng rối: Xác định được hệ số điều chỉnh lưu tốc dòng rối K_v gia tăng sau khi bố trí mỏ hàn, tính theo công thức Kv= $\frac{\overline{u}_{cu}}{\overline{u}_{cs}} = \frac{1+3r_{cs}}{1+3r_{cu}} = 1,23 > 1.0$

(2) Kết quả nghiên cứu hệ thống mỏ hàn:

a) Xác định được các tham số bố không gian hệ thống mỏ hàn

 Hướng góc: xác định được hướng góc bằng 90⁰ đã làm gia tăng hiệu quả xói sâu lòng dẫn có lợi cho chỉnh trị sông phục vụ giao thông thủy.

- Chiều dài mỏ hàn không bằng nhau: xác định được cách bố trí chiều dài

mỏ hàn không bằng nhau của hệ thống mỏ hàn lõm LOM tạo ra tuyến chỉnh trị có hình dạng đường cong lõm có tác dụng xói sâu lòng dẫn.

- Khoảng cách giữa các mỏ hàn: xác định được khoảng cách bố trí của hệ thống mỏ hàn lõm LOM khi đặt gần nhau (S \leq 2.0L) đã tạo ra cấu trúc khu nước vật bao trùm toàn bộ hệ thống mỏ hàn (khác biệt với khu nước vật cục bộ giữa các mỏ hàn bằng nhau) làm thay đổi vận tốc dòng chủ lưu, tác động gia tăng hiệu quả xói sâu lòng dẫn phục vụ giao thông thủy.

Với tỷ lệ thu hẹp L/B≤20% thì cách bố trí khoảng cách (S=1.5L) có tác dụng xói sâu lòng dẫn tốt nhất.

Với trường hợp L/B≥25%, thì cần cách bố trí khoảng cách gần hơn (S=1L) cho hiệu quả xói sâu lòng dẫn tốt nhất.

b) Chỉ tiêu hiệu quả gây xói:

Xây dựng được chỉ tiêu về hiệu quả gây xói thông qua mức độ thay đổi chiều dài mỏ hàn khác nhau dẫn đến hiệu quả xói sâu lòng dẫn của các hệ thống mỏ hàn cũng khác nhau. Nếu gọi chiều dài mỏ hàn là L, thì các mức độ thay đổi chiều dài mỏ hàn tương ứng là 25%L; 50%L và 75%L được phản ánh qua hệ số K_{λ} theo các phương án bố trí khác nhau, thể hiện qua công thức (3-2):

$$\mathbf{K}_{\lambda} = \frac{\mathbf{L}_{\mathbf{d}}}{\mathbf{L}\mathbf{g}}$$

Trong đó: K_{λ}- là hệ số biến đổi chiều dài MH; L_d- là chiều dài MH đầu tiên của hệ thống; L_g- là chiều dài MH ở giữa của hệ thống.

c) Hiệu quả gây xói:

Thiết lập được đường quan hệ ($\Psi_{\%L} \sim K_{\lambda}$) cho thấy, hệ thống mỏ hàn lõm sẽ cho hiệu quả xói lòng dẫn tốt nhất khi hệ số biến đổi chiều dài mỏ hàn ($K_{\lambda} = \frac{L_d}{Lg} = 4$). Có thể áp dụng kết quả nghiên cứu này khi thiết kế hệ thống MH có chiều dài không bằng nhau ở khu vực lòng dẫn thẳng trên sông vùng ảnh hưởng triều có dòng chảy thuận nghịch.

CHƯỜNG 4. ỨNG DỤNG CÁC KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀO BỐ TRÍ HỆ THỐNG MỎ HÀN TRÊN ĐOẠN SÔNG CÁM, ĐỂ ỔN ĐỊNH TUYẾN LÒNG DÃN VÀO CẢNG HẢI PHÒNG

Ứng dụng các kết quả nghiên cứu của luận án đưa ra giải pháp bố trí không gian hệ thống mỏ hàn cho một đoạn sông thực tế để chứng minh tính hiệu quả của các giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn mà luận án đề xuất là nội dung của Chương này. Luận án đã sử dụng các số liệu của đoạn sông Cấm từ (KM 34+000 đến KM 35+200) dài 1200m trên tuyến luồng hàng hải Hải Phòng để làm đối tượng áp dụng kết quả. Đoạn sông này là đoạn sông thẳng, tương đối ổn định, hiện trạng đã xây dựng hệ thống gồm 04 mỏ hàn. Luận án áp dụng những kết quả nghiên cứu để phân tích hiệu quả giữa hệ thống mỏ hàn hiện trạng với các giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn của luận án trong điều kiện địa hình, dòng triều và bùn cát của đoạn sông Cấm.

4.1. GIỚI THIỆU VỀ ĐOẠN SÔNG CẤM

4.1.1. Vị trí đoạn sông Cấm



Hình 4.1: Bố trí chung tuyến luồng vào cảng Hải Phòng

Tuyến luồng vào cảng Hải Phòng nằm trong địa phận do thành phố Hải Phòng quản lý, dài 42,8 km tính từ phao số "0" đến hết bến 11 của khu bến Hoàng Diệu (Hình 4.1). Từ ngoài biển vào bao gồm các đoạn luồng Lạch Huyện, kênh Hà Nam, đoạn Bạch Đằng và đoạn luồng sông Cấm [1].

TT	Đoạn tuyến	Đơn vị	Thông số
1	Đoạn Lạch Huyện		
-	Chiều dài	Km	16,8
-	Chiều rộng đáy chạy tàu	m	100
-	Cao trình đáy chạy tàu	m(HĐ)	-7,2
-	Mái dốc		15
2	Đoạn kênh Hà Nam		
-	Chiều dài	Km	7,2
-	Chiều rộng đáy chạy tàu	m	80
-	Cao trình đáy (TK/điều chỉnh)	m(HĐ)	-7
-	Mái dốc		7
3	Đoạn Bạch Đằng		
-	Chiều dài	Km	8,2
-	Chiều rộng đáy chạy tàu	m	80
-	Vũng quay tàu	số lượng/D(m)	1/260
-	Cao trình đáy (TK/điều chỉnh)	m(HĐ)	-7
-	Mái dốc		10
4	Đoạn Sông Cấm		
-	Chiều dài	Km	10,6
-	Chiều rộng đáy chạy tàu	m	80
-	Vũng quay tàu	số lượng/D(m)	3/220-240
-	Cao trình đáy	m(HĐ)	-5,5
-	Mái dốc		5, 7, 10

Bảng 4-1: Quy mô tuyến luồng hàng hải ra/vào cảng khu vực Hải Phòng

Trong nội dung luận án chỉ nghiên cứu đối với đoạn luồng sông Cấm từ KM 34+000 đến KM 35+200 dài 1200m. Đây là đoạn sông thẳng tương đối ổn định. Hiện trạng lòng dẫn là một trong những đoạn cạn thường xuất hiện trên tuyến luồng sông Cấm. Nhiệm vụ chỉnh trị là điều chỉnh và thu hẹp lòng dẫn nhằm tăng tốc độ dòng chảy, chống sa bồi duy trì chiều sâu chạy tàu, giảm khối lượng nạo vét duy tu tuyến luồng hàng năm. Địa hình đáy sông khu vực nghiên cứu được khảo sát và đo đạc bởi Xí nghiệp Khảo sát BĐATHH miền Bắc (Hình 4.2 và Hình 4.3).



Hình 4.2: Vị trí khu vực nghiên cứu trên sông Cấm (nguồn Google Earth)



Hình 4.3: Phạm vi nghiên cứu từ KM 34+000 đến KM 35+200

- Đặc điểm địa hình khu vực sông Cấm:

Đoạn từ phao P52 đến thượng lưu Cảng Nam Hải khoảng 100m cao độ đáy luồng đạt -6.6m (hệ Hải Đồ), đoạn luồng từ thượng lưu Cảng Nam Hải đến Cảng Hải Phòng cao độ đáy luồng đạt -5.8m. Xuất hiện thường xuyên một vài điểm cạn như đoạn luồng và vũng quay tàu trước cảng Thủy Sản cao độ phổ biến từ -5.0m ÷ -5.5m (HĐ) và mái taluy biên phải khu quay chuyển hướng khu vực phao P58, P60, khu vực Vũng Quay tàu trước Cảng Hải Phòng có cao độ từ -5.0m đến -5.5m (HĐ). Những năm gần đây, đoạn luồng sông Cấm thường bị sa bồi trở lại khá trầm trọng. Hàng năm phải tiến hành nạo vét 5 đến 6 lần mới đảm bảo duy trì độ sâu thiết kế của luồng và tiêu tốn lớn kinh phí đầu tư vào công tác nạo vét duy tu.

Đặc điểm thủy triều:

Khu vực Hải Phòng chịu ảnh hưởng rất mạnh của thuỷ triều. Thuỷ triều ở đây thuộc chế độ nhật triều thuần nhất, trong tháng có khoảng 25 ngày có 1 lần nước lớn và 1 lần nước ròng, độ lớn triều ở đây thuộc loại lớn, khoảng 3m đến 4m vào thời kỳ triều cường.

Một số đặc trưng thủy triều (trạm Hòn Dấu - hệ cao độ Hải đồ):

Mực nước trung bình nhiều năm : 1,9m.

:	+ 4,21m (22/10/1985)
:	- 0,03m (02/01/1991)
:	3,94m (23/12/1968)
	: : :

Chênh lệch giữa hệ cao độ quốc gia và hệ cao độ hải đồ: $Z_1 - Z_2 = +1,89$ m.

Số liệu mực nước tại trạm Hòn Dấu và Bạch Đằng xem trên Bảng 4-2 và Bảng 4-3.

P% (cm)	1	3	5	10	20	50	70	90	95	97	99
H đỉnh	3,8	3,7	3,6	3,5	3,4	3,1	2,8	2,4	2,2	2,2	2
H chân	1,9	1,8	1,7	1,6	1,4	0,9	0,7	0,5	0,4	0,4	0,3
H giờ	3,6	3,4	3,3	3,1	2,8	2	1,5	0,9	0,7	0,6	0,5
H t.bình	2,4	2,3	2,2	2,2	2,1	2	1,9	1,8	1,8	1,8	1,7

Bảng 4-2: Mực nước ứng với tần suất tại Hòn Dấu

Tại trạm Bạch Đằng, mực nước ứng với các tần suất như sau:

Bảng 4-3: Mực nước ứng với các tần suất tại trạm Bach Đằng (m)

Р%	1	3	5	10	20	50	70	90	95	97	99
H_{dinh}	4,02	3,91	3,84	3,72	3,59	3,28	2,99	2,61	2,48	2,42	2,31
H _{chân}	2,22	2,09	2,00	1,92	1,68	1,24	1,06	0,87	0,76	0,71	0,62
H _{giờ}	3,75	3,56	3,47	3,28	2,99	2,25	1,79	1,23	1,05	0,98	0,82
H_{TB}	2,61	2,53	2,49	2,44	2,37	2,25	2,17	2,10	2,06	2,04	1,96

- Điều kiện địa chất:

Tham khảo các tài liệu khảo sát địa chất trong các dự án:

- Dự án "Cải tạo, nâng cấp cảng Hải Phòng giai đoạn II" TEDI lập năm 1998;
- Thiết kế kỹ thuật tuyến luồng ra vào cảng Hải Phòng thuộc dự án "Cải tạo, nâng cấp cảng Hải Phòng giai đoạn II" do Nipon Koei lập năm 2001;

Qua các tài liệu trên cho thấy, địa chất mặt lòng dẫn đoạn sông Cấm khu vực nghiên cứu chủ yếu là cát bùn, hàm lượng hạt d<0.063mm dao động từ 38% đến 46%, đường kính hạt bùn cát d₅₀ là 0.065mm.

4.1.2. Hiện trạng công trình chỉnh trị

Mục tiêu đối với dự án là cải thiện độ sâu chạy tàu trên luồng sông Cấm nhằm tăng cường khả năng vận chuyển hàng hóa vào cảng Hải Phòng. Để đạt được mục tiêu nêu trên, hệ thống công trình chỉnh trị được thiết kế như sau: (Hình 4.4)

Mực nước chỉnh trị: +2.0m (ngang với mực nước V_{max} khi triều xuống)

Chiều sâu chỉnh trị: H=7.0m

Bề rộng đáy luồng nạo vét sẽ hạn chế ở mức 80m.

Kích thước công trình mỏ hàn: Đỉnh +2.0m, mái dốc m=1.5, có kết cấu dạng đá hộc lát khan D \geq 30cm, khoảng cách bố trí giữa các mỏ hàn là S=3L (S=168m là khoảng cách giữa các mỏ hàn, L=55m là chiều dài mỏ hàn).



Hình 4.4: Vị trí các mỏ hàn K5, K6, K7, K8 trên sông Cấm từ KM 34+000 đến KM 35+400

Hệ thống mỏ hàn gồm các mỏ hàn K5 đến K8 được xây dựng năm 1992. Đối tượng tác động của hệ thống mỏ hàn này là yếu tố lòng dẫn. Các mỏ hàn xây dựng được dựa trên nguyên lý thu hẹp mặt cắt ngang lòng dẫn đoạn gềnh cạn để thu được kết quả tăng lưu tốc dòng chảy khi triều lên, xuống nhằm tăng khả năng vận chuyển bùn cát nhờ đó giảm được mức độ tái bồi lấp luồng nạo vét.

Từ tình hình khai thác thực tế luồng tàu sông Cấm từ 1996 lại đây, có thể khẳng định hiệu quả thu được từ việc xây dựng hệ thống công trình chỉnh trị trong các năm 1991 – 1996 có ý nghĩa trên cả phương diện nghiên cứu chỉnh trị cũng như khía cạnh kinh tế - kỹ thuật. Hiện tại trên mặt cắt dọc tim luồng tàu cao độ đỉnh gềnh cạn đã sâu hơn – 5,5m (trước khi chỉnh trị thường chỉ đạt – 4,1m).

4.2. THIẾT LẬP MÔ HÌNH VÀ CÁC GIẢI PHÁP BỐ TRÍ HỆ THỐNG MỎ HÀNG TRÊN ĐOẠN SÔNG CẨM

4.2.1. Thiết lập mô hình Flow 3D cho đoạn sông nghiên cứu

(1) Điều kiện biên:

Dòng chảy trong miền tính toán được đặt trong hệ tọa độ Đề các 6 mặt, với thứ tự lần lượt là: biên thượng lưu (Xmin) được gán là điều kiện biên lưu lượng Q: Xmin \equiv Q (Volume flow rate). Biên hạ lưu (Xmax) là biên mực nước sẽ được gán: Xmax \equiv P (Specified pressure), số liệu quá trình thời gian của lưu lượng và mực nước triều đưa vào biên được trích từ mô hình mạng sông 1 chiều toàn hệ thống trong khuôn khổ đề tài KC.08.14/16-20[22], thể hiện phụ lục 6. Biên thấp nhất trên trục Z (đáy lòng dẫn) sẽ được gán điều kiện biên như một tường cứng: Zmin \equiv W (Wall), biên cao nhất trên trục Z sẽ được gán như một biên đối xứng: Zmax \equiv S, biên theo phương Y gồm bờ sông bên trái với Ymin \equiv W (Wall).

(2) Kích thước mô hình:

Để tránh nguy cơ xói tại đầu vào 02 phía lòng dẫn, mô hình đã gán vật liệu cứng tại đầu vào lòng dẫn như một giải pháp để giảm chiều dài mô hình. Xem xét hiệu chỉnh kích thước đoạn sông hợp lý, như chiều dài không nên quá dài và cũng không được quá ngắn để giảm dung lượng tính toán, một số mô phỏng với chiều dài đoạn sông khác nhau đã được kiểm tra 3000m; 2000m; 1500m; 1000m. Những mô phỏng chỉ ra rằng trạng thái dòng chảy phát triển ổn định ở chiều dài 1000m hoặc lớn hơn. Từ kết quả mô phỏng, kích thước lòng dẫn được lựa chọn là 1200m (LxBxH= 1200m x 320m x 10m). Qua mô phỏng cho thấy, đoạn từ đầu vào lòng



dẫn đến mỏ hàn đầu tiên, dòng chảy phát triển rối đầy đủ (Hình 4.5).

Hình 4.5: Kích thước mô hình đoạn sông nghiên cứu.

(3) Kích thước ô lưới:

Với đoạn sông nghiên cứu, được tạo 03 khối lưới nhằm đảm bảo tính phù hợp giữa các khối lưới với công trình mỏ hàn. Khối lưới 1 (toàn bộ lòng dẫn) lồng lên khối lưới 2 (khu vực hệ thống mỏ hàn), khối lưới phù hợp thứ 3 (xung quanh mỏ hàn) được tạo sau cùng, đây là một khả năng mạnh được tính hợp trong Flow-3Dv.11.

Từ phân tích độc lập khối lưới 1 (toàn bộ lòng dẫn) với các kích thước ô lưới đánh giá là 100, 50, 30, 20, 10 và 5m. Qua mô phỏng chỉ ra rằng, trạng thái dòng chảy phát triển ổn định ở kích thước lưới 20m hoặc nhỏ hơn. Do đó, kích thước lưới 10m được lựa chọn cho nghiên cứu này.

Như vậy, khối lưới 1 (10m x 10m x 2.0m); khối lưới 2 (5m x 5m x 1.0m); khối lưới 3 (1m x 5m x 0.5m), thể hiện Hình 4.6.



Hình 4.6: Tạo khối lưới tính toán đoạn sông nghiên cứu

(4) Đường kính hạt bùn cát đoạn sông Cấm:

Theo tài liệu [25] cho thấy, số liệu địa chất mặt lòng dẫn đoạn sông Cấm khu

vực nghiên cứu chủ yếu là cát bùn, có hàm lượng hạt d<0.063mm dao động từ 38% đến 46%, đường kính hạt bùn cát d_{50} là 0.065mm. Điều này thể hiện tỷ lệ lượng bùn (d<0.063mm) có tính kết dính < 46% và lượng cát mịn (0.063<d<0.2mm) không kết dính, hạt rời > 54%. Từ phân tích phân bố địa chất, luận án sử dụng đường kính hạt bùn cát (d_{50}) là 0.065mm và chấp nhận coi bùn cát là loại hạt rời không kết dính do hạn chế của phương pháp mô hình Flow 3D chỉ có khả năng tính toán với bùn cát hạt rời không kết dính, điều này chưa hoàn toàn phù hợp với thực tế, tuy nhiên có thể chấp nhận được vì thông số đường kính hạt bùn cát (d_{50}) được giữ cố định để đánh giá hiệu quả của các giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn.

(5) Lựa chọn độ nhám lòng sông Cấm cho mô hình Flow 3D:

Như đã nói ở trên đoạn sông nghiên cứu không có số liệu thực đo về thủy văn nên đã dùng kết quả tính toán từ mô hình 1 chiều để làm biên trên và biên dưới cho mô hình flow3D. Tuy vậy, ở đây cần phải lựa chọn thêm độ nhám lòng sông để đưa vào mô hình. Mô hình flow3D đã được hiệu chỉnh và kiểm định với số liệu thí nghiệm trên MHVL ở phần trên, với đường kính hạt bùn cát đáy hạt thô dùng trong thí nghiệm vật lý mà không phải là bùn cát ở vùng cửa sông nên không dùng hệ số nhám đã được hiệu chỉnh và kiểm định ở trên để tính toán cho sông Cấm. Vì vậy, luận án chọn độ nhám lòng sông Cấm dựa theo quan hệ giữa kích thước đường kính hạt bùn cát đáy và hệ số nhám đã được công bố theo các tài liệu ([32],[61]), là n= 0.020 cho sông Cấm.

4.2.2. Các giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn

Để ứng dụng hệ thống lõm và hệ thống lồi cho đoạn sông nghiên cứu, luận án lựa chọn khoảng cách bố trí giữa các mỏ hàn là (S=1.5L), kết quả này đã được chứng minh ở Chương 3 là hợp lý theo tỷ lệ (L/B≤20%) để áp dụng vào đoạn sông Cấm. Các giải pháp bố trí cụ thể như sau:

(1) Hiện trạng hệ thống mỏ hàn trên sông Cấm (GP0)

Đoạn sông Cấm từ (KM 34+000 đến KM 35+200) đã xây dựng hệ thống gồm 04 mỏ hàn (K5, K6, K7, K8) được bố trí bên bờ trái, khoảng cách giữa các mỏ hàn cách xa nhau S=3L (L=55m, S=168m), mức độ thu hẹp L/B=17%. Mặt bằng

hiện trạng công trình xem Hình 4.7.



Hình 4.7: Mặt bằng hiện trạng gồm 04 mỏ hàn trên đoạn sông Cấm từ KM 34+000 đến KM 35+200.

(2) Giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn thẳng THA:

Để đánh giá hiệu quả của giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn trên cùng một điều kiện thủy lực đoạn sông Cấm, luận án bố trí khoảng cách giữa các mỏ hàn với (S=1.5L) theo kết quả đề xuất ở Chương 3.



Hình 4.8: Mặt bằng hệ thống mỏ hàn thẳng (THA1.5).

(3) Giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn lõm LOM:

Cách bố trí hệ thống mỏ hàn lõm như sau: theo cách bố trí hệ thống thẳng giảm chiều dài các mỏ hàn vào giữa ở mức 25%L, giữ nguyên chiều dài mỏ hàn đầu và cuối. Mặt bằng bố trí công trình thể hiện trên Hình 4.9.



Hình 4.9: Mặt bằng bố trí hệ thống mỏ hàn lõm (LOM1.5).

(4) Giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn lồi LOI

Cách bố trí hệ thống mỏ hàn lồi ngược lại với hệ thống mỏ hàn lõm. Mặt bằng bố trí công trình thể hiện trên Hình 4.10.



Hình 4.10: Mặt bằng bố trí hệ thống mỏ hàn lồi (LOI1.5).

4.3. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG MỘT SỐ GIẢI PHÁP BỐ TRÍ HỆ THỐNG MỎ HÀN TRÊN ĐOẠN SÔNG CÂM

Để phân tích hiệu quả các giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn trên đoạn sông thực tế, luận án tập trung đánh giá hiệu quả tương đối giữa các phương án bố trí trên cùng điều kiện thủy lực của đoạn sông Cấm, bằng cách lấy khối lượng bùn cát xói của giải pháp hệ thống mỏ hàn hiện trạng và hệ thống mỏ hàn thẳng làm chuẩn (cơ sở) để đánh giá so sánh khối lượng bùn cát xói do các giải pháp bố trí khác tạo ra, từ đó chứng minh hiệu quả bố trí hệ thống mỏ hàn vào đoạn sông thực tế.

Với những lý do nêu trên, luận án nghiên cứu giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn vào đoạn sông Cấm theo trình tự sau:

(1) Phân tích trường dòng chảy xung quanh các giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn trên mô hình lòng cứng đoạn sông Cấm.

(2) Đánh giá hiệu quả tương đối giữa các giải pháp bố trí trên mô hình lòng động đoạn sông Cấm.

4.3.1. Kết quả mô phỏng trường dòng chảy xung quanh các giải pháp bố trí *4.3.1.1. Cấu trúc dòng chảy*

Theo thực tế hiện trạng xây dựng hệ thống mỏ hàn trên sông Cấm có khoảng cách bố trí xa nhau S=3L (GP0). Từ kết quả mô phỏng cho thấy, khu nước vật giữa các mỏ hàn xuất hiện nhỏ và không phát triển đầy đủ, nên khu nước vật hầu như ít có tác dụng làm thu hẹp mặt cắt ngang dòng chảy và chưa góp phần làm tăng tốc
dòng chủ lưu lòng dẫn, vì vậy hiệu quả chống sa bồi của hệ thống mỏ hàn hiện trạng chưa được như mong muốn, hàng năm vẫn phải kết phải nạo vét để duy trì tuyến luồng hàng hải (Hình 4.11a).



 a) Hiện trạng hệ thống gồm 04 mỏ hàn xây dựng trên sông Cấm từ KM 34+000 đến KM 35+200 (GP0)



b) Hệ thống mỏ hàn thẳng THA



c) Hệ thống mỏ hàn lõm LOM



d) Hệ thống mỏ hàn lồi LOI

Hình 4.11: Trường dòng chảy khu vực bố trí hệ thống mỏ hàn

Từ Hình 4.11b,c,d là 03 giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn được đề xuất vào đoạn sông Cấm quan sát thấy, hệ thống mỏ hàn lõm và hệ thống mỏ hàn lồi có khác biệt với hệ thống mỏ hàn thẳng thể hiện qua khu nước vật, cụ thể:

- Theo cách bố trí hệ thống mỏ hàn lõm đã hình thành khu nước vật bao trùm toàn bộ khu vực mỏ hàn rộng hơn so với kiểu bố trí hệ thống mỏ hàn thẳng (Hình 4.11b và Hình 4.11c). Khi độ rộng khu nước vật bao trùm lớn, đã tác động làm thu hẹp bề rộng mặt cắt ngang dòng chủ lưu dẫn đến tăng vận tốc trong lòng dẫn tốt hơn so với các giải pháp khác. Do đó, dự đoán tốc độ xói lòng dẫn lớn nhất xuất hiện tại hệ thống mỏ hàn lõm.

- Với hệ thống mỏ hàn lồi, dòng chảy ảnh hưởng trực tiếp nửa phía trước hệ thống gồm các mỏ hàn số 1, 2 và 3 gây ra xáo trộn và khu nước vật hình thành không đầy đủ tại khu vực này (Hình 4.11d). Vì vậy, hệ thống mỏ hàn lồi chỉ hình thành khu nước vật ở phía nửa sau hệ thống gồm mỏ hàn 4 và 5 nên cũng ít có tác dụng làm thay đổi cấu trúc dòng chủ lưu so với các cách bố trí hệ thống mỏ hàn lõm. 4.3.1.2. Vân tốc dòng chảy

Trong luận án, tác giả chọn thời điểm đỉnh triều 06:00 ngày 25/12/2014 (phụ lục 6) để tiến hành phân tích, đây là thời điểm mực nước, vận tốc có tác động lớn đến các giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn.

Từ Hình 4.11a cho thấy, cấu trúc khu nước vật bao trùm của hệ thống mỏ hàn lõm có độ rộng lớn nhất. Điều này đã tác động đến phân bố vận tốc trong lòng dẫn, cụ thể như sau:

Phân bố vận tốc trên mặt cắt ngang (A-A) cho thấy, giải pháp hệ thống mỏ hàn lõm là lớn hơn các giải pháp khác (Hình 4.12). Trong đó, phân bố vận tốc âm của khu nước vật đã làm biểu đồ quan hệ vận tốc dòng chủ lưu tăng lên và có xu thế ép vào giữa, điềy này phản ánh khác biệt của giải pháp hệ thống mỏ hàn lõm so với các giải pháp khác.



Hình 4.12: Phân bố vận tốc theo mặt cắt ngang A-A.



Hình 4.13: Phân bố vận tốc theo mặt cắt dọc.

Từ Hình 4.13 cho thấy phân bố vận tốc trên mặt cắt dọc (điểm 1) biểu đồ phân bố vận tốc của hệ thống mỏ hàn lõm ngược lại với các giải pháp khác, tương ứng vận tốc khu nước vật và khu dòng chủ lưu. Đây chính là cơ sở chứng minh ở vị trí điểm 1, khu nước vật đã chiếm chỗ đồng nghĩa với dòng chảy chủ lưu thu hẹp, làm tăng vận tốc lòng dẫn, đây là ưu điểm mà cách bố trí hệ thống mỏ hàn lõm tạo được. Điều này được minh chứng tại mặt cắt dòng chủ lưu (m/c điểm 2) biểu đồ phân bố vận tốc của hệ thống mỏ hàn lõm là lớn nhất.

Trị số vận tốc lớn nhất của các giải pháp thể hiện Bảng 4-4.

Bång 4-4:	Giá trị v	ận tốc lớn	nhât (m/s)	

	,	Giải pháp của luận án			
Giải pháp bố trí	Hệ thông mỏ hàn hiện trạng	Hệ thống	Hệ thống mỏ	Hệ thống	
		mỏ hàn	hàn thẳng	mỏ hàn	
		lõm LOM	THA	lồi LOI	
Chiều sâu xói trung bình lòng dẫn (m)	0.83	0.98	0.88	0.85	

Như vậy, ứng dụng khu nước vật bao trùm của giải pháp hệ thống lõm mà luận án đề xuất áp dụng thực tế vào đoạn sông Cấm đã làm tăng vận tốc lớn nhất lên 15% so với hệ thống mỏ hàn hiện trạng.

4.3.2. Đánh giá hiệu quả tương đối giữa các giải pháp bố trí

Để đánh giá hiệu quả tương đối giữa các giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn đến chiều xói sâu lòng dẫn với cùng một điều kiện thủy lực đoạn sông Cấm, luận án chỉ xem xét hiệu quả tương đối giữa các giải pháp bố trí, tức là lấy giải pháp hệ thống mỏ hàn hiện trạng (làm cơ sở) để so sánh với các giải pháp khác.

Kết quả so sánh thể hiện ở Bảng 4-5

Bảng 4-5: Biến động đáy lòng dẫn giữa các phương án bố trí (m)

Giải pháp bố trí	Hệ thống mỏ hàn hiện trạng (làm cơ sở)	Giải pháp của luận án			
		Hệ thống mỏ hàn lõm LOM	Hệ thống mỏ hàn thẳng THA	Hệ thống mỏ hàn lồi LOI	
Cao trình đáy lòng dẫn (m)	-5.23	-5.87	-5.61	-5.45	

Từ Bảng 4-5 cho thấy, theo phương án đề xuất của kết quả nghiên cứu thì

độ sâu xói lòng dẫn của hệ thống mỏ hàn lõm lớn hơn 64cm so với hệ thống mỏ hàn hiện trạng (Hình 4.14 và Hình 4.15).



Hình 4.14: Chiều sâu xói lòng dẫn tại mặt cắt ngang A-A.



a) Hiện trạng hệ thống mỏ hàn trên sông Cấm từ KM 34+00 đến KM 35+200 (GP0)



b) Hệ thống mỏ hàn thẳng THA



d) Hệ thống mỏ hàn lồi LOI

Hình 4.15: Biến động lòng dẫn khu vực hệ thống mỏ hàn

Như vậy, từ kết quả so sánh trường vận tốc, biến động lòng dẫn theo các giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn ứng dụng vào sông Cấm, luận án chứng minh được hệ thống mỏ hàn lõm LOM cho hiệu quả tăng khả năng xói lòng dẫn chống sa bồi lòng dẫn tốt hơn so với giải pháp khác.

4.4. KÊT LUÂN CHƯƠNG 4

Trong Chương 4, luận án trình bày việc áp dụng các kết quả nghiên cứu của luận án trong Chương 3 vào đoạn sông thực tế. Bài toán thực tế lấy đoạn sông thẳng trên đoạn sông Cấm thuộc tuyến luồng hàng hải Hải Phòng, để sử dụng số liệu địa hình, thủy hải văn và kích thước công trình mỏ hàn hiện trạng. Dựa trên cơ sở hệ thống mỏ hàn hiện trạng để phân tích cấu trúc dòng chảy và đánh giá hiệu quả xói sâu lòng dẫn so với các giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn của luận án đề xuất.

Luận án đã so sánh các giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn trên đoạn sông Cấm, từ đó xác định được hệ thống mỏ hàn lõm LOM cho hiệu quả chống sa bồi lòng dẫn tốt nhất. Điều này có thể giải thích, hệ thống mỏ hàn lõm LOM tạo ra được khu nước vật lớn bao trùm toàn bộ khu vực mỏ hàn có tác dụng làm thu hẹp mặt cắt ngang và tăng tốc độ dòng chủ lưu, làm thúc đẩy khả năng gây xói chống sa bồi lòng dẫn, duy trì được tuyến luồng qua đoạn sông Cấm.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

A/. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU CỦA LUẬN ÁN

(1) Luận án đã tổng quan và lựa chọn được phương pháp tiếp cận nghiên cứu sử dụng mô hình toán 3D (Flow 3D) và thí nghiệm mô hình vật lý của Krami để xây dựng được máng dòng chảy số họ RANS bằng mô hình Flow-3D làm công cụ nghiên cứu cấu trúc dòng chảy, biến đổi lòng dẫn xung quanh công trình mỏ hàn.

(2) Trên cơ sở mô phỏng số bằng mô hình toán 3D. Luận án đã phát hiện và mô tả chi tiết được cấu trúc dòng chảy, cơ chế tương tác giữa dòng chảy và công trình mỏ hàn đơn trong đoạn sông vùng ảnh hưởng triều có dòng chảy thuận nghịch, từ đó làm cơ sở cho việc đề xuất tham số bố trí không gian hệ thống mỏ hàn phù hợp với mục tiêu chống sa bồi và ổn định lòng dẫn trên sông vùng ảnh hưởng triều có dòng chảy thuận nghịch.

(3) Với mục tiêu chỉnh trị sông phục vụ giao thông thủy thì phương án bố trí hướng góc 90^{0} (G90) cho hiệu quả gia tăng chiều sâu xói lòng dẫn tốt nhất. Việc bố trí mỏ hàn theo các hướng góc từ 45^{0} đến 135^{0} (G45~G135) tạo ra biến động lòng dẫn khác nhau dưới tác động của dòng chảy thuận nghịch, trong đó chiều sâu xói trung bình lòng dẫn lớn nhất xuất hiện khi bố trí hệ thống mỏ hàn với hướng góc 90^{0} so với phương dòng chảy (khi bố trí góc mỏ hàn 90^{0} đã tạo ra mặt cắt dòng chảy thu hẹp nhất dẫn đến vận tốc lớn hơn so với các góc khác).

(4) Trên cơ sở phân tích về cấu trúc dòng chảy và sự biến hình lòng dẫn của 03 cách bố trí hệ thống mỏ hàn (hệ thống mỏ hàn lồi LOI, hệ thống mỏ hàn thẳng THA và hệ thống mỏ hàn lõm LOM), luận án đã xác định được cách bố trí hệ thống mỏ hàn lõm LOM), luận án đã xác định được cách bố trí hệ thống mỏ hàn lõm LOM với khoảng cách giữa các mỏ hàn S \leq 2.0L làm gia tăng chiều sâu xói lòng dẫn lớn hơn so với các cách bố trí khác (hệ thống mỏ hàn lồi và thẳng). Như vậy, cách bố trí hệ thống mỏ hàn lõm LOM là cách được luận án đề xuất do tính hiệu quả của việc chống sa bồi lòng dẫn, duy trì giao thông thủy.

(5) Khi lựa chọn giải pháp hệ thống mỏ hàn lõm với các mức độ thu hẹp lòng sông L/B = 15%, 20%, 25% và 30% thì cách bố trí không gian hợp lý giữa các mỏ hàn có ảnh hưởng đến hiệu quả gia tăng chiều sâu xói lòng dẫn. Trường hợp (L/B \leq

20%) thì khoảng cách bố trí S=1.5L là hợp lý, còn khi (L/B \ge 25%) thì khoảng cách bố trí S= 1.0L là hợp lý.

(6) Luận án đã thiết lập được đường quan hệ ($\Psi_{\%L} \sim K_{\lambda}$) để xác định các tham số bố trí hệ thống mỏ hàn có chiều dài mỏ hàn không bằng nhau trong điều kiện mặt cắt đoạn sông thu hẹp (L/B = 20%).

(7) Luận án đã áp dụng cách bố trí hệ thống mỏ hàn đề xuất từ kết quả nghiên cứu vào đoạn sông Cấm – TP Hải Phòng với mục đích cải thiện độ sâu lòng dẫn, duy trì giao thông hàng hải. Kết quả cho thấy, giải pháp bố trí hệ thống mỏ hàn lõm LOM từ kết quả nghiên cứu của luận án đã làm gia tăng khả năng xói sâu lòng dẫn đoạn sông Cấm tốt hơn so với hệ thống mỏ hàn hiện trạng.

B/. HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP

Do giới hạn nghiên cứu với một số giả thiết, do vậy hướng nghiên cứu tiếp cần:

 Tiếp tục nghiên cứu hệ thống mỏ hàn ở trạng thái chảy ngập, chịu tác động của sóng đối với vùng cửa sông.

 Tiếp tục nghiên cứu hình dạng đầu mũi mỏ hàn, hệ thống mỏ hàn cho nước xuyên qua (mỏ hàn cọc)... trên đoạn sông vùng triều.

3) Tiếp tục nghiên cứu hệ thống mỏ hàn bằng MHVL có hệ thống tạo triều.

4) Tiến hành ứng dụng thử nghiệm các giải pháp đã được đề xuất của tác giả luận án vào đoạn sông thực tế, nhằm tăng hiệu quả xói sâu lòng dẫn trên các tuyến luồng Hàng hải thuộc vùng cửa sông ĐBBB.

C/. HẠN CHẾ VÀ TỒN TẠI

 Mô hình Flow 3D bị hạn chế mô phỏng thời gian lớn với điều kiện máy tính hiện tại nên được nghiên cứu trên máy tính có cấu hình cao.

2) Do điều kiện xây dựng mô hình còn hạn chế về chế tạo chính xác vật liệu bùn cát cho mô hình lòng động, nên cần có các nghiên cứu thí nghiệm trên MHVL.

3) Bài toán của luận án chỉ dừng lại ở nghiên cứu tác động hình dạng triều đều mà chưa xét đến tác động của hình dạng triều ngẫu nhiên nên kết quả tính toán trong nghiên cứu có thể sai khác so với thực tế.

CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ LIÊN QUAN ĐẾN LUẬN ÁN

- Tô Vĩnh Cường, (2021). Nghiên cứu đặc tính thủy lực khu vực công trình mỏ hàn trong đoạn cửa sông có dòng chảy thuận nghịch. Tạp chí Khoa học và Công nghệ Thủy lợi số 66 năm 2021.
- T. Vinh Cuong, N. T. Hung., V. Thanh Te, P. Anh Tuan (2019). Analysis of spur dikes sBtial layout to river bed degradation under reversing tidal flow. International Conference on Asian and Bcific Coasts Hanoi, Vietnam, September 25-28, 2019 (APAC 2019).
- T. Vinh Cuong, N. T. Hung., V. Thanh Te, P. Anh Tuan (2018). Effects of spur dikes sBtial layout to river bed evolution in tidal river. International Symposium on Lowland Technology Sept. 26 – 28, 2018, Hanoi, Vietnam (ISLT 2018).
- Nguyen Ngoc Quynh, B.H. Hieu, N.N. Dang, N.H. Quang, To Vinh Cuong, (2020). Variation in morphology of the Red river and Duong river near Hanoi from 2000 to 2018. Vietnam Journal of Science, Technology Engineering.
- Nguyen Thanh Hung, Vu Dinh Cuong, Yoshimitsu Tajima, To Vinh Cuong (2014). Numerical modeling of Hydrodynamics and sediment transport processes in Ma river estuary, Vietnam, Proceedings of the 19th IAHR-APD Congress 2014, Hanoi, Vietnam.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

<u>TÀI LIỆU TIẾNG VIỆT</u>

- [1] Công ty Cổ phần tư vấn XDCT Hàng Hải (2014), Báo cáo cuối kỳ phương án thí điểm lựa chọn nhà thầu thực hiện dự án nạo vét duy tu tuyến luồng hàng hải Hải Phòng và Vũng Tàu-Sài Gòn theo cơ chế đấu thầu rộng rãi với hợp đồng trọn gói, Cục hàng Hải Việt Nam.
- [2] Nguyễn Ngọc Cẩn (1984), "Nghiên cứu công trình chỉnh trị đoạn sông Hồng cửa Đuống cảng Hà Nội để chống bồi lấp cảng", *Tuyển tập các công trình nghiên cứu thủy lực bùn cát và lòng dẫn sông Hồng, Viện KHTL*.
- [3] Nguyễn Đăng Giáp (2012), Nghiên cứu tính toán diễn biến lòng sông dưới tác động của công trình chỉnh trị, Viện KHTL Việt Nam.
- [4] Lương Phương Hậu (1981), *Contributii la hidralica lucrărilor de regularizarea albillor*, Bucuresti.
- [5] Lương Phương Hậu (1982), "Một số vấn đề thủy lực vùng sông có kè mỏ hàn", *Tạp trí KHCN Thủy lợi*.
- [6] Lương Phương Hậu (1987), "Mô phỏng số chuyển động của dòng chảy trong đoạn sông có kè mỏ hàn", *Tuyển tập công trình Khoa học Trường ĐHXD*.
- [7] Lương Phương Hậu (2001), "Nghiên cứu tạo kết cấu hoàn lưu trong công trình bảo vệ bờ", *Tạp trí Tài nguyên nước*.
- [8] Lương Phương Hậu (2005), Động lực học và công trình cửa sông, NXB. Xây dựng.
- [9] Lương Phương Hậu (2010), "Nghiên cứu các giải pháp khoa học, công nghệ cho hệ thống công trình chỉnh trị sông trên các đoạn trọng điểm vùng đồng bằng bắc bộ và nam bộ".
- [10] Lê Ngọc Bích Lương, Phương Hậu (1998), "Ứng dụng kết cấu kè hoàn lưu chống sạt lợt, bảo vệ bờ sông Cái Phan Rang", Tuyển tập kết quả KHCN phòng chống thiên tai, chỉnh trị sông, bảo vệ bờ biển
- [11] Nguyễn Thanh Hoàn, Lương Phương Hậu, Nguyễn Thị Hải Lý, (2011), *Chỉ dẫn kỹ thuật công trình chỉnh trị sông*, NXB. Xây Dựng.
- [12] Trần Đình Hợi Lương Phương Hậu (2004), "Lý thuyết thí nghiệm mô hình công trình thủy", *Nxb Xây dựng, Hà Nội*.
- [13] Nguyễn Quang Minh, Nguyễn Thanh Hùng, Vũ Đình Cương, (2016), "Nghiên cứu sự biến động theo mùa của chế độ thủy động lực khu vực cửa sông ven biển lưu vực sông Mã ", *Tạp chí Khoa học & Công nghệ Việt Nam*, *Tập 4, số 2, tháng 2/2016. Tr. 32-39.*
- [14] Vũ Đình Cương, Nguyễn Thanh Hùng, Nguyễn Thu Huyền, (2016), "Nghiên cứu dự báo biến động lòng dẫn hạ du sông Mã do ảnh hưởng của các thủy điện thượng nguồn", *Khoa học và công nghệ Thủy lợi, số 30, Tr. 98-110.*
- [15] Vũ Đình Cương, Nguyễn Thanh Hùng, Nguyễn Văn Hùng, Nguyễn Quang Minh, (2018), "Nghiên cứu biến động theo mùa của chế độ thủy động lực khu vực cửa sông Nhật Lệ tỉnh Quảng Bình", *Tạp chí Khoa học và công nghệ Thủy lợi số 48, Tháng 10/2018.*

- [16] Nguyễn Ngọc Nam (2013), "Thí nghiệm mô hình thủy lực, hải văn thuộc Dự án ĐTXDCT: Nạo vét và chỉnh trị luồng vào cảng neo đậu tránh, trú bão Cửa Sót, huyện Lộc Hà", Phòng thí nghiệm trọng điểm Quốc gia về động lực học sông biển.
- [17] Phạm Thành Nam (2012), Nghiên cứu tính toán biến hình lòng dẫn dưới tác dụng của các giải pháp chỉnh trị sông phục vụ giao thông thủy, Trường Đại học Xây dựng.
- [18] Nguyễn Bá Quỳ (2010), Dự án chỉnh trị đoạn cong gấp Vu Gia Quảng Huế, Công ty Tư vấn và chuyển giao công nghệ - Đại học Thủy lợi.
- [19] Lương Phương Hợp Đào Nguyên Quý (2005), *Chỉnh trị đoạn sông cấm trên luồng tàu và cảng Hải Phòng*, Tổng Công ty Tư vấn Thiết kế GTVT (tedi).
- [20] Nguyễn Kiên Quyết (2012), Nghiên cứu một số giải pháp phòng chống sạt lở bờ sông, Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam.
- [21] Trần Xuân Thái, Nguyễn Ngọc Quỳnh, Nguyễn Thành Trung, (2016), Công trình bảo vệ bờ sông khu vực Bắc Bộ và Trung Bộ, Nhà xuất bản Nông Nghiệp.
- [22] Nguyễn Ngọc Quỳnh (2020), Nghiên cứu quy hoạch tổng thể chỉnh trị hệ thống sông đồng bằng Bắc Bộ, đề xuất các giải pháp đảm bảo đáp ứng yêu cầu ổn định lòng sông, thoát lũ và các mục tiêu tổng hợp, Đề tài KH-CN cấp nhà nước, KC08/16-20.
- [23] Trần Văn Sung (2013), Nghiên cứu xây dựng mô hình tự động hóa phân tích hiệu quả xói luồng tàu của hệ thống mỏ hàn, Trường ĐHXD.
- [24] Tiêu chuẩn quốc gia (2010), TCVN 8419-2010 Công trình thủy lợi Thiết kế công trình bảo vệ bờ sông để chống lũ, chủ biên.
- [25] Tổng công ty Tư vấn thiết kế giao thông vận tải (1998), *Báo cáo NCKT dự án cải tạo nâng cấp cảng Hải Phòng giai đoạn II*, Tedi-1998.
- [26] Thiều Quang Tuấn (2013), Công trình bảo vệ bờ, Trường Đại học Thủy lợi, Hà Nội.
- [27] Trần Xuân Thái (1999), "Kết quả nghiên cứu mô hình vật lý công trình bảo vệ bờ chống xói Rạch Giông đoạn Phước Lý - Đại Phước, huyện Nhơn Trạch, tỉnh Đồng Nai", Tạp trí KHCN Thủy lợi.
- [28] Hoàng Hữu Văn (1984), "Kết quả nghiên cứu thí nghiệm công trình bằng mỏ hàn cành cây", *Tuyển tập các công trình nghiên cứu thủy lực bùn cát và lòng dẫn sông Hồng, Viện KHTL*.

<u>TÀI LIỆU TIẾNG ANH</u>

- [29] Jennifer G Duan, Li He, Xudong Fu, Wang (2009), "Mean flow and turbulence around experimental spur dike", *Advances in Water Resources*. 32(12), tr. 1717-1725.
- [30] Jorge D Abad, Bruce L Rhoads (2008), "Flow structure at different stages in a meander-bend with bendway weirs", *Journal of Hydraulic Engineering*. 134(8), tr. 1052-1063.

- [31] Mushtaq Ahmad (1953), Experiments on design and behavior of spurdikes, *Proceedings of IAHR Conference*, tr. 145-159.
- [32] George J Arcement, Verne R Schneider (1989), Guide for selecting Manning's roughness coefficients for natural channels and flood plains, chủ biên, US Government Printing Office Washington, DC.
- [33] Christopher Baker (1981), "New design equations for scour around bridge piers", *Journal of the Hydraulics Division*. 107(4), tr. 507-511.
- [34] Chabert (1956), "Etude des affouillements autour des piles de ponts", *Rep. Natl. Hydraul Lab.*
- [35] Yee Meng Chiew (1984), *Local scour at bridge piers*, ResearchSpace@ Auckland.
- [36] Xiping Dou, Xinzhou Zhang, Xiao-dong Zhao (2010), "Local scour characteristics of groins at tidal waterways and their simulation", *Coastal Engineering Proceedings*(32), tr. 66-66.
- [37] Elsaiad A.A. and Elnikhely E.A. (2016), "Exploration of Scour Characteristics Around Spur Dike In A Straight Wide Channel", *International Water Technology Journal.*
- [38] M Escarameia (1999), Scour around structures in tidal flows.
- [39] Robert Ettema (1980), "Scour at bridge piers".
- [40] "Exercises-water & environment training on flow-3d v11" (2017).
- [41] G. B. Fenwick (1969), "State of Knowledge of Channel Stabilization in Major Alluvial River", US Department of Transportation, Washington DC.
- [42] Saeed Abbasi Hanif Pourshahbaz, Poorya Taghvaei (2017), "Numerical scour modeling around parallel spur dikes in FLOW-3D ", *Drinking Water Engineering and Science*
- [43] Sadat Sayed Hashmat (2015), *Modification of spur-dike with footing or pilegroup to stabilize river morphology and reduce local scour*, Nagoya Institute of Technology, Nagoya, Japan, Degree of Doctor.
- [44] B. W. Walsh, J. A. Vasquez (2009), "CFD simulation of local scour in complex piers under tidal flow", *Water Engineering for a Sustainable Environment*.
- [45] S.-K. Hong K.-I. Son (2014), "Design of River Training Structures in a Tidal Channel", ICHE 2014, Hamburg - Lehfeldt & Kopmann (eds) - © 2014 Bundesanstalt für Wasserbau ISBN 978-3-939230-32-8, South Korea.
- [46] Emmett M Laursen, Arthur Toch (1956), *Scour around bridge piers and abutments*, Vol. 4, Iowa Highway Research Board Ames, IA.
- [47] Bing-dong LI, Jia LI (2013), "Flume experiment and numerical simulation on flow around a spur dike [J]", *Chinese Journal of Hydrodynamics*. 2.
- [48] Amir Reza Mansoori (2017), *Study on Flow and Sediment Transport around Series of Spur Dikes with Different Head Shape*, Kyoto University.
- [49] R May, I Willoughby (1990), "Local scour around large obstructions".
- [50] Bruce W Melville (1984), "Live-bed scour at bridge piers", Journal of Hydraulic Engineering. 110(9), tr. 1234-1247.

- [51] Bruce W Melville, Stephen E Coleman (2000), *Bridge scour*, Water Resources Publication.
- [52] Akash Pashar (2014), *Experimental study of spur dykes*, National Institute of Technology, Kurukshetra.
- [53] KE Porter, RR Simons, JM Harris (2014), Laboratory investigation of scour development through a spring-neap tidal cycle, *Proceedings Seventh International Conference on Scour and Erosion*.
- [54] B. Przedwojski, Blazejewski, R., and Pilarczyk, K.W. (1995), "River training techniques-fundamentals, design and applicatio".
- [55] Arved J Raudkivi, Robert Ettema (1983), "Clear-water scour at cylindrical piers", *Journal of hydraulic engineering*. 109(3), tr. 338-350.
- [56] E. V. Richardson, Stevens, M. A., and Simons, D. B. (1975), "The design of spurs for river training", *Proc. 16th, IAHR Congress, São Paulo, Brazil.*
- [57] Yoshimitsu TAJIMA Ryota HIGASHI, Kavinda GUNASEKARA, Nguyen Thanh Hung (2015), "Investigation of sediment transport characteristics a long the coast of Ma river mouth adjacent to the Red river mouth", *Journal* of Japan Society of Civil Engineers, Ser. B2 (Coastal Engineering) Vol. 71 (2015) No. 2 p. I 715 - I 720.
- [58] Tominaga Sadat (2013), " Protective pile group for scour mitigation of existing spur dike group", *Proceedings of IAHR World Congress, Chengdu, China*.
- [59] Tominaga Sadat (2014), "Effects of upstream pile-group on mitigation of local scour around spur dike", *Proceedings of the 19th IAHR-APD Congress* 2014, Hanoi, Vietnam.
- [60] Tominaga Sadat (2014), "Influence of pile group density on minimizing local scour of a double spur dike group", *Ann. J. Hydr. Eng., JSCE*.
- [61] Daryl B Simons, Fuat Şentürk (1992), Sediment transport technology: water and sediment dynamics, Water Resources Publication.
- [62] E. V. Richardson and D. B. Simons (1974), "Spurs and Guide Banks", Colorado State University Engineering Research Center, Fort Collins, Colorado.
- [63] USACE (1980), Engineering and design Layout and design of shallowdraft waterways, Department of the Army Corps of Engineers.
- [64] Leo C Van Rijn (1990), *Principles of fluid flow and surface waves in rivers, estuaries, seas and oceans*, Vol. 12, Aqua Publications Amsterdam, The Netherlands.
- [65] Xin-Zhou, Wang hui-min, Xi-Ping Dou, Xiang-Ming Wang, Hui-Min Wang, Xiao-Dong Zhao, Xue-Song Xu (2012), "3 D numerical modeling of local scour processes around spur dikes in tidal rivers", *Advances in Water Science*. 23(2), tr. 222-228.
- [66] C. C. Watson, Biedenharn, D. S., and Throne, C. R (1999), "Demonstration erosion control design manual", U.S. Army Corps of Engineers.

- [67] M. F. M Yossef (2002), "The effects of groynes on rivers", *Delft University*.
- [68] Mohamed FM Yossef, Huib J de Vriend (2004), Mobile-bed experiments on the exchange of sediment between main channel and groyne fields, *River Flow*, tr. 127-133.
- [69] Nakagawa Zhang (2008), "Scour around spur dike: Recent advances and future researches", Annuals of Disaster Prevention Institute, Kyoto University.
- [70] Nakagawa Zhang, Ishigaki, Muto and Khaleduzzaman (2005), "Flow & bed deformation around a series of impermeable & permeable spur dikes", *Proc. Int. Conf. on Monitoring, Prediction and Mitigation of Water-related Disasters, Kyoto.*
- [71] Zhangxin-zhou (2009), study on characteristics of local scour around spur dikes in tidal rivers and numerical simulations, Hohai University, Doctor Degree Dissertation.
- [72] Xiaodong Zhao, Jinrong Ma, Zhichang Chen (2003), "Model studies on local scour in the regulation project of the deep channel in the changjiang estuary", *International Conference on Estuaries and Coasts November 9-11, 2003, Hangzhou, China*
- [73] John Alex Mccorquodaleb, Abolfazl Nazari Gigloua, Luca Solaric (2017), "Numerical study on the effect of the spur dikes on sedimentation pattern ", *Ain Shams Engineering Journal*
- [74] Anu Acharya (2011), Experimental study and numerical simulation of flow and sediment transport around a series of spur dikes The University of Arizona
- [75] Vaghefi et al (2012), "Experimental Study on Scour around a T-Shaped Spur Dike in a Channel Bend", J. Hydraul. Eng., ASCE.
- [76] Alauddin (2011), Morphological Stabilization of lowland rivers by Using a Series of Groynes, Nagoya University Japan.
- [77] Arndt Hilderandt Alexander Schendel, Torsten Schlurmann (2016), "Experimental study on the progression of scour around a monopile in unidirectional and tidal currents".
- [78] Alvarez (1989), "Design of groins and spur dikes", National Conf. on Hydraulic Engineering, ASCE, New York.
- [79] Ali Mehboudi, Behnam Shamohamadi (2016), "Analyzing Parameters Influencing Scour Bed in Confluence Channels Using Flow3D Numerical Model", *Civil Engineering Journal*.
- [80] R. R Copeland (1983), "Bank Protection Techniques Using Spur Dikes", US Army Engineer Waterways Experiment Station.
- [81] Hojat Karami, Hossein Basser, Abdollah Ardeshir, Seyyed Hadi Hosseini (2014), "Verification of numerical study of scour around spur dikes using experimental data", *Water and environment journal*. 28(1), tr. 124-134.

PHŲ LŲC

Phụ lục 1: Kết quả tính toán hình dạng dòng triều	147
Phụ lục 2: Lý thuyết vận chuyển bùn cát của mô hình Flow 3D và các t	ham số
hiệu chỉnh	148
Phụ lục 3: Các phương pháp mô phỏng dòng rối	157
Phụ lục 4: Kết quả mô phỏng về trường vận tốc và biến động lòng dẫn	160
Phụ lục 5: Trích xuất số liệu chiều sâu xói xung quanh hệ thống MH	177
Phụ lục 6: Điều kiện biên Q và H trên đoạn sông Cấm	186

d=	0.91					
Umax=	0.358					
Ho=	0.35		$u = U_{max} si$	$n(2\pi t/T)$	(2-30)	
A=	0.15		$\mathbf{U}_{-}\mathbf{U}_{+} \perp \stackrel{A}{=} \operatorname{sin}(\mathcal{C})$	$D_{\pi^{+}/T} = \pi/2$	(2, 21)	
T=	21600		$\Pi = \Pi_0 + \frac{-SIII}{2}$	2.001+0.2)	(2-51)	
		6			4	
	Thời gian	Vận tốc	Mực nước	Thời gian	Vận tốc	Mực nước
	Т	U(m/s)	H(m)	Т	U(m/s)	H(m)
	0	0.000	0.425	14400	-0.310	0.312
	450	0.047	0.424	14850	-0.330	0.321
	900	0.093	0.422	15300	-0.346	0.330
	1350	0.137	0.419	15750	-0.355	0.340
	1800	0.179	0.415	16200	-0.358	0.350
	2250	0.218	0.410	16650	-0.355	0.360
	2700	0.253	0.403	17100	-0.346	0.369
	3150	0.284	0.396	17550	-0.331	0.378
	3600	0.310	0.388	18000	-0.311	0.387
	4050	0.331	0.379	18450	-0.285	0.395
	4500	0.346	0.370	18900	-0.254	0.403
	4950	0.355	0.360	19350	-0.219	0.409
	5400	0.358	0.350	19800	-0.180	0.415
	5850	0.355	0.340	20250	-0.138	0.419
	6300	0.346	0.331	20700	-0.094	0.422
	6750	0.331	0.321	21150	-0.048	0.424
	7200	0.310	0.313	21600	-0.001	0.425
	7650	0.284	0.304			
	8100	0.253	0.297			
	8550	0.218	0.291			
	9000	0.179	0.285			
	9450	0.137	0.281			
	9900	0.093	0.278			
	10350	0.047	0.276			
	10800	0.001	0.275			
	11250	-0.046	0.276			
	11700	-0.092	0.278			
	12150	-0.136	0.281			
	12600	-0.178	0.285			
	13050	-0.217	0.290			
	13500	-0.253	0.297			
	13950	-0.284	0.304			

Phụ lục 1: Kết quả tính toán hình dạng dòng triều

Phụ lục 2: Lý thuyết vận chuyển bùn cát của mô hình Flow 3D và các tham số hiệu chỉnh.

(1) Giới thiệu về mô hình vận chuyển bùn cát

Mô hình vận chuyển bùn cát ba chiều không gian, cho đất không kết dính lần đầu tiên được giới thiệu trong FLOW-3D phiên bản 8.0 để mô phỏng hiện tượng xói và lắng đọng bùn cát (Brethour, 2003). Mô hình có sự kết hợp giữa chế độ thủy động lực với các hiện tượng khởi động, xói lở và lắng đọng của các hạt bùn cát. Trong phiên bản 9.4, mô hình xói đã được cải thiện cho phép đưa nhiều loại hạt bùn cát khác nhau (Brethour và Burnham, 2010).

Hiện tại, mô hình xói đã cho phép nhiều loại hạt không dính kết và xem xét đồng thời các hiện tượng khởi động, lắng đọng, vận chuyển bùn cát đáy và lơ lửng. Với kỹ thuật FAVORTM tại mỗi bước thời gian, các phân số diện tích và thể tích mô tả bùn cát được tính trên toàn miền. Trong các ô lưới ở mặt tiếp xúc đáy, vị trí, hướng và diện tích của mặt tiếp xúc được tính toán xác định ứng suất tiếp đáy, tham số Shields tới hạn... Ứng suất tiếp đáy được đánh giá bằng cách sử dụng hàm biên có xem xét độ nhám của bề mặt đáy liên quan đến đường kính hạt bùn cát d₅₀.

Cavitation		0	Granular Flow		Ø	Sediment Scour	
🔇 Sediment	Definition						×
 Activate sediment scour model Critical Shields Number definition Prescribed value Calculate value using Soulsby-Whitehouse equation Meyer-Peter & Müller equation Nielsen equation Nielsen equation Van Rijn equation Turbulent diffusion multiplier 1 							
	Number of sediment species	•	Maximum packing fraction:	0.1400 🜲	Bed roughness / d50 r	atio 1	
	Name	Diameter	Density	Critical Shields Number	Entrainment Coefficient	Bed Load Coefficient	Angle of Repose (Degrees)
Sediment 1	Sand	0.00091	2650	0.05	0.018	0.036	30
< Cancel Help							

Hình PL-1: Mô hình vận chuyển bùn cát

Ngoài ra, một mô hình xói bùn cát cho vùng nước nông (Shallow Water) được phát triển trong mô phỏng này. Với sự kết hợp vùng nước nông 2D để tính toán trung bình sâu cho cả bùn cát lơ lửng và bùn cát đáy. Sự khác biệt chính từ mô hình 3D là ứng suất tiếp đáy được tính toán bằng cách sử dụng hàm bậc hai cho kết quả tốt hơn hàm biên (wall function). Hệ số kéo của ứng suất tiếp đáy được đánh giá bằng cách sử dụng độ sâu và độ nhám đáy tỷ lệ với d_{50} . Với mô hình này, người dùng chỉ sử dụng một thành phần hình học để xác định vùng bùn cát và thành phần có thể bao gồm nhiều kích thước của các loại bùn cát khác nhau.

(2) Lý thuyết bùn cát:

Mô hình vận chuyển bùn cát, giả định nhiều loại hạt bùn cát với các tính chất khác nhau bao gồm kích thước hạt, mật độ khối lượng, ứng suất tiếp tới hạn, góc nghỉ và các tham số vận chuyển và khởi động hạt.

- Úng suất tiếp đáy:

Ứng suất tiếp đáy là ứng suất theo phương dòng chảy trên bề mặt lòng dẫn hình thành do chất lỏng trên bề mặt đáy. Được tính toán bằng cách sử dụng hàm biên cho dòng chảy rối 3D:

$$u = u_{\tau} \left[\frac{1}{k} ln \left(\frac{Y}{\frac{v}{u_{\tau}} + k_s} \right) \right]$$
(2-32)

Trong đó u_τ là vận tốc, $u_{\tau} = \sqrt{\frac{\tau}{\rho}}$, τ là ứng suất tiếp đáy, ρ là mật độ của hỗn hợp bùn cát-chất lỏng, Y là khoảng cách từ biên, v là độ nhớt động học của dòng chảy, $\kappa = 0,4$ là hằng số Von Karman, k_s là độ nhám Nikuradse. Trong mô hình này, k_s có liên quan đến kích thước hạt như:

$$k_s = c_s d_{50} \tag{2-33}$$

Trong đó: d₅₀ là đường kính hạt bùn cát có tỷ lệ lọt sàng 50% của vật liệu đáy và c_s là hệ số người sử dụng lựa chọn. Giá trị đề nghị của c_s là 2,5.

Trong vùng nước nông (Shallow Water), nguyên lý hàm bậc hai được sử dụng để đánh giá ứng suất tiếp đáy:

$$\tau = \rho_f C_D \overline{v} |\overline{v}| \tag{2-34}$$

Trong đó $\bar{\vartheta}$ là tốc độ dòng chảy trung bình, ρ_f là mật độ chất lỏng và C_D là hệ số kéo có thể được quy định bởi người dùng (giá trị mặc định là 0,0026) hoặc được xác định theo độ nhám (Soulsby, 1997):

$$C_D = \left[\frac{K}{B + \ln(z_0/h)}\right]^2$$
(2-35)
Với h là chiều sâu, B=0.71, và z_0=k_s/30

Thông số Shields tới hạn:

Tham số Shields là một dạng ứng suất tiếp đáy không thứ nguyên được xác định theo:

$$\theta_n = \frac{\tau}{gd_n(\rho_n - \rho_f)} \tag{2-36}$$

Trong đó *g* là trọng lực, ρ_n là mật độ khối lượng của các hạt bùn cát và d_n là đường kính hạt. Các chỉ số n biểu thị cho loại bùn cát thứ n.

Tham số Shields tới hạn $\theta_{cr,n}$ được sử dụng để xác định ứng suất tiếp đáy tới hạn $\tau_{cr,n}$, tại đó bùn cát bắt đầu chuyển động gồm cả bùn cát đáy và lơ lửng:

$$\theta_{cr,n} = \frac{\tau_{cr,n}}{gd_n(\rho_n - \rho_f)} \tag{2-37}$$

Giá trị cơ sở của $\theta_{cr, n}$ là cho một đáy phẳng và nằm ngang của các hạt có kích thước giống nhau. Có thể được chỉ định bởi người dùng (0,05 theo mặc định) hoặc được xác định từ phương trình (Soulsby và Whitehouse, 1997):

$$\theta_{cr,n} = \frac{0.3}{1 + 1.2d_{*,n}} + 0.055(1 - e^{-0.02d_{*,n}})$$
(2-38)

Với d_{*,n} là đường kính hạt xác định bởi:

$$d_{*,n} = d_n \left[\frac{g(s_n - 1)}{v_f^2} \right]^{1/3}$$
(2-39)

Ở đây $s_n = \rho_n \rho_f$ và v_f là độ nhớt động học của chất lỏng.

Theo hướng độ dốc mặt tiếp xúc đáy, trọng lực như một thành phần tiếp tuyến của lực để làm cho đáy ổn định hoặc bất ổn định hơn tùy thuộc vào hướng dòng chảy. Kết quả là, ứng suất tiếp tới hạn tăng nếu dòng chảy đi lên dốc và giảm nếu dòng chảy xuống. Một tùy chọn cho người dùng $\theta_{cr,n}$, có thể được sửa đổi ảnh hưởng độ dốc theo Soulsby-Whitehouse (1997):

$$\theta_{cr,n}' = \theta_{cr,n} \frac{\cos\psi\sin\beta + \sqrt{\cos^2\beta\tan^2\phi_n - \sin^2\psi\sin^2\beta}}{\tan\phi_n}$$
(2-40)

Trong đó β là góc dốc của đáy, ϕ_n là góc nghỉ được xác định là góc dốc nhất trước khi các hạt tự trượt (giá trị mặc định là 32°) và ψ là góc giữa hướng dốc và

dòng chảy tiếp giáp với mặt dốc, ψ nằm trong khoảng từ 0° đến 180°, với 0° tương ứng với dòng chảy lên dốc và dòng chảy xuống dốc là 180°.

- Hiện tượng khởi động và bồi tụ:

Trong mô hình này, hiện tượng khởi động và bồi tụ được coi là hai quá trình đối lập diễn ra cùng một thời điểm. Chúng được kết hợp để xác định tốc độ thực giữa trao đổi bùn cát đáy và lơ lửng. Trong quá trình khởi động, vận tốc mà các hạt rời khỏi bề mặt đáy là vận tốc nâng và được tính dựa trên công thức của Winterwerp và nnk (1992):

$$u_{lift,n} = n_b \alpha_n d_{*,n}^{0.3} (\theta_n - \theta_{cr,n})^{1.5} \sqrt{g d_n (s_n - 1)}$$
(2-41)

Trong đó α_n là hệ số khởi động của loại hạt n (giá trị mặc định là 0,018) và n_b là vecto pháp tuyến đáy. Khi lắng đọng, tốc độ lắng của Soulsby (1997) được sử dụng:

$$\boldsymbol{u}_{settle,n} = \frac{\boldsymbol{g}}{g} \Big[\big(10.36^2 + 1.049 d_{*,n}^3 \big)^{1/2} - 10.36 \Big] \frac{\nu_f}{d_n}$$
(2-42)

Với g là gia tốc trọng trường, u_{settle,n} được giả thiết theo hướng giống g.

- Vận chuyển bùn cát đáy:

Dạng không thứ nguyên của tốc độ vận chuyển bùn cát đáy đối với hạt thứ n được xác định:

$$\Phi_{i} = \beta_{VR,i} d_{*,i}^{-0.3} \left(\frac{\theta_{i}}{\theta_{cr,i}} - 1 \right)^{2.1} c_{b,i}$$
(2-43)

$$\Phi_{i} = \beta_{MPM,i} \left(\theta_{i} - \theta_{cr,i} \right)^{1.5} c_{b,i}$$
(2-44)

$$\Phi_{i} = \beta_{Nie,i} \theta_{i}^{0.5} \left(\theta_{i} - \theta_{cr,i} \right) c_{b,i}$$
(2-45)

$$q_{b,i} = \Phi_i \left[\|g\| \left(\frac{\rho_i - \rho_f}{\rho_f} \right) d_i^3 \right]^{1/2}$$
(2-46)

Trong đó, Φn được tính theo công thức 2-24 (van Rijn [38]), 2-25 (Meyer và nnk [39]) và 2-26 (Nielsen). $\beta_{VR, i}$ và $\beta_{MPM, i}$ - $\beta_{Nie, i}$ là các hệ số tương ứng, thường bằng 0.053 và 8.0 – 12.0. Tốc độ vận chuyển thể tích bùn cát đáy trên mỗi đơn vị chiều rộng đáy là q_b.

Với c_{b, n} là nồng độ chuyển tải bùn cát đáy của loại hạt n:

$$\sum_{n=1}^{N} c_{b,n} = 1.0 \tag{2-47}$$

Trong đó N là tổng số loại bùn cát. Lưu ý c_{b, n} không tồn tại trong phương trình MeyerPeter và Muller ban đầu. Mà được thêm vào trong phương trình (2-24, 2-25, 2-26) để tính đến tác dụng của nhiều loại hạt.

- Vận chuyển bùn cát lơ lửng:

Đối với mỗi loại, nồng độ bùn cát lơ lửng được tính bằng cách giải phương trình vận chuyển riêng của nó:

$$\frac{\partial C_{s,n}}{\partial_{t_s}} + \nabla . \left(C_{s,n} u_{s,n} \right) = \nabla . \nabla \left(D C_{s,n} \right)$$
(2-48)

Ở đây $C_{s,n}$ là nồng độ khối bùn cát lơ lửng, được định nghĩa là khối lượng bùn cát trên một thể tích hỗn hợp chất lỏng-bùn cát; D là độ khuếch tán; $u_{s,}$ là vận tốc của loại bùn cát thứ n.

Nồng độ thể tích bùn cát lơ lửng $C_{s,n}$ được xác định:

C

$$f_{s,n} = \frac{C_{s,n}}{\rho_n} \tag{2-49}$$

Mật độ khối lượng của hỗn hợp chất lòng – bùn cát xác định:

$$\overline{\rho} = \sum_{m=1}^{N} c_{s,m} \rho_{s,m} + (1 - c_{s,tot}) \rho_f$$
(2-50)

Với $c_{s,tot}$ là tổng nồng độ theo thể tích bùn cát lơ lửng:

$$c_{s,tot} = \sum_{m=1}^{N} c_{s,m}$$
(2-51)

Để giải phương trình (2-34) thì $C_{s,n}$, $u_{s,n}$ phải được tính trước. Người ta cho rằng: 1) các hạt trong trạng thái ngưng lại không có tương tác mạnh với nhau; 2) sự khác biệt vận tốc giữa bùn cát lơ lửng và hỗn hợp chất lỏng-bùn cát chủ yếu là tốc độ lắng của hạt, u_{settle} . Do đó, u_s , được đánh giá bằng cách sử dụng:

$$u_{s,n} = \overline{u} + u_{settle,n} c_{s,n}$$
(2-52)

$$\overline{u} = \sum_{m=1}^{\infty} c_{s,m} u_{s,m} + (1 - cf_{s,tot})$$
(2-53)

Trong flow-3D, \bar{u} thu được bằng các giải phương trình Navier-Stokes và phương trình liên tục kết hợp với mô hình rối.

Như vậy, từ lý thuyết vận chuyển bùn cát trong mô hình vận chuyển bùn cát-Flow 3D (Sedimentation Scour Model) có thể rút ra các tham số hiệu chỉnh cơ bản là hệ số khởi động α_n , độ nhám tuyệt đối k_s và công thức tính toán vận chuyển bùn cát. Với các mô phỏng xem xét hiệu chỉnh của luận án thì sự phù hợp chung tốt nhất với số liệu thí nghiệm Krami thể hiện ở Bảng PL-1 và Hình PL-2.

Bảng PL-1: Kết quả lựa chọn các tham số trong mô hình vận chuyển bùn cát của

Các tham số hiệu chỉnh	Giá trị hiệu chỉnh	Lựa chọn	Ghi chú
Hệ số khởi động α _n	0.018; 0.027;	0.036	
(Entrainment Coefficient)	0.036; 0.045	0.030	Kết quả mô
$T y s \delta k_{s/d_{50}}$	1. 5. 6. 9	6	phỏng phù hợp
(Bed roughress/ d_{50})	4, 3, 0, 8	0	với kết quả thí
Câna thức	Meyer-Peter;	Von Diin	nghiệm.
	Nielsen; Van Rijn	v an Kijn	

Flow 3D (Sedimentation Scour Model)

O Prescribed value Richardson-Zaki coefficient multiplier 1 Image: Calculate value using Soulsby-Whitehouse equation Nielsen equation Molecular diffusion coefficient 0 Local adjustments of Critical Shields Number Image: Calcular diffusion multiplier 0 0 Image: Calculate value using Soulsby-Whitehouse equation Image: Calcular diffusion coefficient 0 0 Image: Calculate value using Soulsby-Whitehouse equation Image: Calcular diffusion multiplier 0 0 Image: Calculate value using Soulsby-Whitehouse equation Image: Calcular diffusion multiplier 0 0	kg/m/s	
Local adjustments of Critical Shields Number Image: Description of Critical Shields Number Image: Description of Cri		
Number of sediment species 1 🗧 Maximum packing fraction: 0.1400 🛊 Bed roughness / d50 ratio 6		
Name Diameter Density Critical Shields Number Entrainment Coefficient	Bed Load Coefficient	Re
Sediment 1 Sand 0.00091 2650 0.05 0.036 0.05	3	30

Hình PL-2: Các tham số hiệu chỉnh cơ bản trong mô hình vận chuyển bùn cát.

TT	Điểm đo	Thủy trực	Vận tốc đáy V _đ (m/s)			
11	đáy (Đ)	đo (B=1.0m)	Thí nghiệm	Flow-3D (LA)	*Flow-3D	
1	Ð	0.00				
2	Đ	0.05	0.036	0.041	0.099	
3	Đ	0.10	0.090	0.100	0.141	
4	Đ	0.15	0.121	0.145	0.167	
5	Đ	0.20	0.162	0.181	0.207	
6	Ð	0.25	0.200	0.210	0.227	
7	Đ	0.30	0.236	0.235	0.245	
8	Đ	0.40	0.276	0.290	0.284	
9	Đ	0.50	0.316	0.306	0.300	
10	Đ	0.60	0.326	0.310	0.310	
11	Đ	0.70	0.341	0.320	0.321	
12	Đ	0.80	0.333	0.327	0.322	
13	Đ	0.90	0.233	0.254	0.280	
14	Đ	0.95	0.056	0.085	0.131	

Bảng PL-2: Phân bố vận tốc đáy tại mặt cắt ngang $X_1 \, (Q_1\!\!=\!\!0.035 m^3\!/\!s)$

Bảng PL-3: Phân bố vận tốc đáy tại mặt cắt ngang X_2 (Q₁=0.035m³/s)

	Điểm	Thủy	Vân tốc đáy V ₄ (m/s)			
тт	đo	trực				
11	đáy	đo	Thí nghiêm	Flow 3D(IA)	*Flow 3D	
	(Đ)	(B=1.0m)	1 în îigințin	110w-3D (LA)	110w-3D	
1	Đ	0.00				
2	Đ	0.05				
3	Đ	0.10				
4	Đ	0.15				
5	Đ	0.20				
6	Đ	0.25	0.380	0.340	0.277	
7	Đ	0.30	0.388	0.362	0.303	
8	Đ	0.40	0.405	0.388	0.360	
9	Đ	0.50	0.398	0.371	0.327	
10	Đ	0.60	0.390	0.365	0.324	
11	Đ	0.70	0.378	0.361	0.337	
12	Đ	0.80	0.370	0.353	0.341	
13	Đ	0.90	0.336	0.327	0.336	
14	Đ	0.95	0.054	0.154	0.212	

TT	Điểm đo	Thủy trực	Vận tốc đáy V _đ (m/s)		
11	đáy (Đ)	đo (B=1.0m)	Thí nghiệm	Flow-3D (LA)	*Flow-3D
1	Đ	0.00	0.000	0.000	0.000
2	Đ	0.05	0.053	0.030	0.021
3	Đ	0.10	0.061	0.044	0.038
4	Đ	0.15	0.057	0.029	0.052
5	Đ	0.20	0.042	0.025	0.057
6	Đ	0.25	0.060	0.045	0.100
7	Đ	0.30	0.087	0.091	0.232
8	Đ	0.40	0.260	0.352	0.387
9	Đ	0.50	0.371	0.363	0.351
10	Đ	0.60	0.378	0.366	0.359
11	Đ	0.70	0.372	0.368	0.364
12	Ð	0.80	0.364	0.348	0.354
13	Đ	0.90	0.269	0.211	0.331
14	Đ	0.95	0.058	0.100	0.161

Bảng PL-4: Phân bố vận tốc đáy tại mặt cắt ngang $X_3~(Q_1\!\!=\!\!0.035m^3\!/\!s)$

Bảng PL-5: Phân bố vận tốc đáy tại mặt cắt ngang X_4 (Q₁=0.035m³/s)

	Điểm	Thủy	Vân tốc đáy V₄ (m/s)			
ТТ	đo	trực				
11	đáy	đo	Thí nghiêm	$Flow_3D(IA)$	*Flow_3D	
	(Đ)	(B=1.0m)	1 III ligiliçili	TIOW-5D (LA)	110-51	
1	Đ	0.00				
2	Đ	0.05				
3	Đ	0.10				
4	Đ	0.15				
5	Ð	0.20				
6	Đ	0.25				
7	Đ	0.30	0.150	0.131	0.113	
8	Đ	0.40	0.280	0.246	0.228	
9	Đ	0.50	0.328	0.358	0.372	
10	Đ	0.60	0.363	0.357	0.341	
11	Đ	0.70	0.381	0.390	0.364	
12	Đ	0.80	0.390	0.406	0.385	
13	Đ	0.90	0.410	0.406	0.387	
14	Đ	0.95	0.058	0.100	0.161	

TT	Thủy	Mặt cắt	ngang X ₂	Mặt cắt ngang X ₃	
	đo (B=1.0m)	Thí nghiệm	Flow-3D (LA)	Thí nghiệm	Flow-3D (LA)
1	0.0			-0.001	-0.002
2	0.50			-0.036	-0.020
3	0.10			-0.050	-0.035
4	0.15			-0.075	-0.060
5	0.20			-0.100	-0.080
6	0.25	-0.176	-0.155	-0.125	-0.110
7	0.30	-0.200	-0.175	-0.157	-0.140
8	0.35	-0.222	-0.190	-0.180	-0.161
9	0.40	-0.208	-0.180	-0.210	-0.180
10	0.45	-0.167	-0.178	-0.208	-0.183
11	0.5	-0.150	-0.131	-0.180	-0.160
12	0.55	-0.121	-0.106	-0.150	-0.124
13	0.6	-0.092	-0.065	-0.108	-0.100
14	0.65	-0.074	-0.041	-0.080	-0.062
15	0.7	-0.052	-0.035	-0.060	-0.050
16	0.75	-0.034	-0.018	-0.050	-0.038
17	0.8	0	-0.020	-0.044	-0.040
18	0.9	0	-0.010	0	0

Bảng PL-6: Chiều sâu xói tại mặt cắt ngang X_2 và X_3 ($Q_2=0.046m^3/s$)

Bảng PL-7: Chiều sâu xói tại mặt cắt dọc Y_1 và Y_2 ($Q_2=0.046m^3/s$)

TT	Thủy	Mặt cắt dọc Y ₂		Mặt cắt dọc Y3	
	đo (B=1.0m)	Thí nghiệm	Flow-3D (LA)	Thí nghiệm	Flow-3D (LA)
1	4.00	0.000	-0.001	0.000	-0.002
2	4.20	-0.083	-0.060	-0.042	-0.028
3	4.30	-0.145	-0.098	-0.085	-0.063
4	4.35	-0.167	-0.133	-0.118	-0.087
5	4.45	-0.176	-0.158	-0.156	-0.139
6	4.60	-0.159	-0.128	-0.191	-0.178
7	4.70	-0.129	-0.100	-0.224	-0.211
8	4.80	-0.090	-0.070	-0.231	-0.218
9	4.85	-0.055	-0.032	-0.217	-0.206
10	4.95	-0.030	-0.021	-0.193	-0.178
11	5.00	-0.026	-0.010	-0.175	-0.156
12	5.10	-0.028	-0.010	-0.160	-0.123
13	5.20	-0.025	-0.010	-0.144	-0.106
14	5.40	-0.011	0.008	-0.127	-0.100

Phụ lục 3: Các phương pháp mô phỏng dòng rối

Các phương trình (2-8) đến (2-11) chỉ có thể giải được bằng toán học trong một số bài toán dòng chảy có điều kiện đơn giản. Trong thực tế, dòng chảy trong các công trình thủy lợi hầu hết là dòng chảy rối. Để giải được hệ phương trình Navier Stoke trong trường hợp dòng rối người ta phải sử dụng một số phương pháp phổ biến sau:

(1) Phương pháp mô phỏng dòng rối bằng cách tính toán trực tiếp, Direct Numerical Simulation (DNS):

Đây là phương pháp đưa ra lời giải chính xác nhất cho phương trình Navier-Stoke bởi nó xét đến mọi cấp độ rối của dòng chảy mà không cần sự trợ giúp của bất kì một giả thiết nào. Tuy nhiên, DNS gặp nhiều khó khăn trong việc hiện thực hóa lời giải vì nó đòi hỏi một hệ thống máy tính đủ mạnh và sơ đồ giải đủ chính xác để giảm bớt sai số

(2) Phương pháp mô phỏng dòng chảy, Large Eddy Simulation (LES):

Phương pháp này coi dòng rối là dòng chảy của những xoáy nước lớn. Nguyên lý chủ đạo của phương pháp LES là dựa trên sự đơn giản hóa phương pháp DNS.

(3) Phương pháp trung bình hóa Reynolds (RANs):

Phương pháp này chỉ tập trung vào giá trị thống kê của dòng chảy mà không quan tâm đến giá trị tức thời của chúng. Do đó, trong RANs tất cả các cấp độ rối của dòng chảy sẽ được trung bình hóa. Trước tiên ta sẽ thiết lập phương trình Reynold cho các giá trị trung bình, phương trình này sẽ có những thành phần chưa xác định. Những thành phần này sẽ được tính dựa trên những giá trị trung bình đã biết thông qua những giả thiết (closure assumptions).

Trong các phương pháp trên thì phương pháp RANs được sử dụng phổ biến nhất. Để phát triển hệ phương trình RANs, các tham số đặc trưng của dòng chảy gồm vận tốc, áp suất tại một điểm phụ thuộc thời gian được chia làm 2 phần: thành phần trung bình và các đại lượng mạch động, cụ thể như sau:

$$u_i(x_i, t) = \bar{u}(x_i, t) + u'(x_i, t)$$
(2-54)

$$p_i(x_i,t) = \overline{p}(x_i,t) + p'(x_i,t)$$
 (2-55)

Trong đó: \bar{u} và \bar{p} là các thành phần vận tốc và áp suất trung bình theo thời gian. u', p' là các thành phần vận tốc và áp suất mạch động xung quanh giá trị trung bình. Với hai phương trình trên, hệ phương trình RANs sẽ có dạng trung bình như sau:

$$\frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_i} = 0 \tag{2-56}$$

$$\frac{\partial \overline{u}_i}{\partial t} + \overline{u}_j \frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial \overline{p}}{\partial x_i} + \nu \frac{\partial^2 \overline{u}_i}{\partial x_j \partial x_j} - \frac{\partial \overline{u}_i' \overline{u}_j'}{\partial x_j} + g_i$$
(2-57)

Trong đó: $\overline{u'_l u'_j}$ là đại lượng khác không và là đại lượng quan trọng nhất trong mô phỏng dòng chảy rối, nó được gọi là ứng suất Reynolds (Reynolds stress) và có quan hệ với ứng suất tiếp rối như sau:

$$\tau_{ij} = \overline{u'_i u'_j} - \frac{2}{3} k \delta_{ij}$$
(2-58)

Phương trình Navier Stoke trung bình (RANs) sẽ được chuyển thành dạng sau đây.

$$\frac{\partial \overline{u}_i}{\partial t} + \overline{u}_j \frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_j} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial x_i} (\overline{p} + \frac{2}{3}\rho k \delta_{ij}) + \nu \frac{\partial^2 \overline{u}_i}{\partial x_j \partial x_j} - \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + g_i$$
(2-59)

Để đóng kín (giải) được RANs, chúng ta cần phải xác định được $\partial \tau_{ij}$ thông qua một vài giả thuyết, như giả thuyết về tuyến tính hay không tuyến tính độ nhớt rối (linear or non linear eddy viscosity), hay giả thuyết về mô hình ứng suất Reynolds (Reynolds stress model, RSM). Từ những giả thuyết này các nhà khoa học sẽ thiết lập ra rất nhiều mô hình tính toán dòng rối, có thể kể đến dưới đây:

- Mô hình một phương trình (*K equation*):

Giải quyết một phương trình đối lưu chảy rối (turbulent transport equation) thường là động năng chảy rối. Nguồn gốc mô hình một phương trình chảy rối là mô hình một phương trình của Prandtl:

$$v_t = k^{\frac{1}{2}} l = C_D \frac{k^2}{\varepsilon}$$
(2-60)

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial \overline{u}k}{\partial x_j} = -\overline{u'_i u'_j} \frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_j} - C_D \frac{k^{\frac{3}{2}}}{l} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(\nu + \frac{\nu_T}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right]$$
(2-61)

Trong đó: V₁ là xoáy nhớt (eddy viscosity) hay độ nhớt rối (turbulent

viscosity). Hệ số khép kín và quan hệ bổ trợ $\varepsilon = C_D \frac{k^{\frac{3}{2}}}{l}, C_D = 0.08, \sigma_k = 1.$

- Mô hình hai phương trình (*K*-*Epsilon equation*):

Mô hình hai phương trình là một trong những mô hình phố biến nhất của các mô hình chảy rối. Theo định nghĩa, mô hình chảy rối hai phương trình bao gồm thêm hai phương trình đối lưu để mô tả cho tính chảy rối của dòng chảy. Thông thường một trong các biến đối lưu là động năng chảy rối (turbulent kinetic energy) k, biến đối lưu thứ hai khác nhau phụ thuộc vào kiểu của mô hình hai phương trình. Lựa chọn phổ biến là hệ số tiêu tán rối ϵ (turbulent dissipation):

$$v_t = C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon} \tag{2-62}$$

Phương trình k:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{\partial \overline{u}_i k}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[\left(v + \frac{v_i}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] - \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} - \varepsilon$$
(2-63)

Phương trình ε :

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + \frac{\partial \overline{u}_i \varepsilon}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i} \left[(\nu + \frac{\nu_i}{\sigma_{\varepsilon}}) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_i} \right] - C_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} \overline{u'_i u'_j} \frac{\partial \overline{u}_i}{\partial x_j} - C_{2\varepsilon} \frac{\varepsilon^2}{k}$$
(2-64)

Trong đó: $C_{\mu} = 0.09; \delta_k = 1.0; \sigma_{\varepsilon} = 1.3; C_{1\varepsilon} = 1.44; C_{2\varepsilon} = 1.92$.

- Mô hình RNG (*Renormalization-Group*):

Mô hình này dùng chung 2 phương trình với mô hình *K-epsilon*, tuy nhiên những giá trị hằng số thực nghiệm trong phương trình *K-epsilon* sẽ được thể hiện dưới dạng hàm hiện (explicit). Trong mô hình Flow 3D, mô hình RNG được khuyến khích sử dụng cho các bài toán phức tạp.

Tóm tại, mô hình rối RNG được luận án lựa chọn sử dụng mô phỏng cho kết quả chính xác hơn so với các mô hình dòng rối khác, điều này cũng được khẳng định trong nghiên cứu của Kermani và nnk 2014, Đỗ Xuân Khánh và nnk 2018.



Phụ lục 4: Kết quả mô phỏng về trường vận tốc và biến động lòng dẫn

(3) p/án-G90, (4) p/án-G105, (5) p/án-G120; (6) p/án-G135.



e. Dòng chảy từ trái sang phải f. Dòng chảy từ phải sang trái Hình PL-4: Biến động lòng dẫn khu vực hệ thống mỏ hàn (MH) với G45~G135.



Hình PL-5: Phân bố vận tốc xung quanh hệ thống MH đối xứng 2 bên bờ (2B1.0)



Hình PL-6: Biến động lòng dẫn khu vực hệ thống MH đối xứng (2B1.0)



Hình PL-7: Phân bố vận tốc xung quanh hệ thống MH bố trí ở 1 bên bờ (1B1.0)



Dòng chảy từ trái sang phải (t=10800s) Dòng chảy từ phải sang trái (t=21600s) Hình PL-8: Phân bố vận tốc xung quanh hệ thống MH bố trí ở 1 bên bờ (1B1.0).



a. Dòng chảy từ trái sang phải (t=5400s) b. Dc từ phải sang trái (t=16200s) Hình PL-9: Phân bố vận tốc của hệ thống MH đối xứng (2B1.5) Packed sediment Net Height Change Selected (m)



Hình PL-10: Biến động lòng dẫn khu vực bố trí hệ thống MH đối xứng (2B1.5).



Hình PL-11: Phân bố vận tốc xung quanh hệ thống MH bố trí ở 1 bên bờ (1B1.5)



Dòng chảy từ trái sang phải (t=10800s) Dòng chảy từ phải sang trái (t=21600s) Hình PL-12: Phân bố vận tốc xung quanh hệ thống MH bố trí ở 1 bên bờ (1B1.5)




Hình PL-14: Biến động lòng dẫn khu vực hệ thống MH đối xứng (2B2.0).



Hình PL-15: Phân bố vận tốc tại hệ thống MH ở 1 bên bờ (1B2.0)



Dòng chảy từ trái sang phải (t=10800s) Dòng chảy từ phải sang trái (t=21600s) Hình PL-16: Biến động lòng dẫn khu vực hệ thống MH bố trí ở 1 bên bờ (1B2.0)



Hình PL-17: Phân bố vận tốc của hệ thống MH đối xứng ở cả 2 bên bờ (2B2.5)



Hình PL-18: Biến động lòng dẫn khu vực bố trí hệ thống MH đối xứng (2B2.5).



Dòng chảy từ trái sang phải (t=10800s) Dòng chảy từ phải sang trái (t=21600s) Hình PL-20: Phân bố vận tốc của hệ thống MH ở 1 bên bờ (1B2.5)







Dòng chảy từ trái sang phải (t=10800s) Dòng chảy từ phải sang trái (t=21600s) Hình PL-24: Biến động lòng dẫn tại hệ thống MH ở 1 bên bờ (1B3.0)



Hình PL-25: Cấu trúc dòng chảy 3D của khu nước vật tạo ra bởi hệ thống THA



Hình PL-26: Cấu trúc dòng chảy 3D tạo ra bởi hệ thống mỏ hàn lồi LOI



Hình PL-27: Cấu trúc dòng chảy 3D tạo ra bởi hệ thống mỏ hàn lõm LOM



Phụ lục 5: Trích xuất số liệu chiều sâu xói xung quanh hệ thống MH

Hình PL-28: Sơ đồ mặt cắt mặt cắt ngang lấy số liệu

Bảng PL-8: Kết quả chiều sâu xói, bồi của các hệ thống MH, bố trí S/L=1.

		_	Chiều sâu xói, bồi (cm)					
TT	Phương án bố trí	Tỷ lệ bố trí S/L và L/B	Xói cục bộ đầu mũi MH	Xói lòng dẫn	Bồi khu vực MH			
			(lớn nhất)	(trung onni)	(trung bình)			
1	2LOI1.0-1		9.28	4.84	0.57			
2	2LOI1.0-2		9.03	5.72	0.78			
3	2LOI1.0-3		9.12	6.02	0.83			
4	2THA1.0-4	S/L=1	10.29	6.58	0.90			
5	2LOM1.0-5		10.41	6.91	1.01			
6	2LOM1.0-6		10.54	7.57	1.16			
7	2LOM1.0-7		10.62	7.76	1.42			

Bảng PL-9: Kết quả chiều sâu xói cục bộ của hệ thống MH, bố trí S/L=1.

Măt			Chiề	u sâu xói cụ	c bộ (cm)		
cắt	2LOI1.0	2LOI1.0	2LOI1.0	2THA1.0	2LOM1.0	2LOM1.0	2LOM1.0
Cut	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7
X2	-0.0641	-0.0721	-0.0729	-0.0858	-0.0926	-0.0907	-0.0906
X3	-0.0590	-0.0779	-0.0815	-0.0887	-0.0976	-0.0991	-0.0997
X4	-0.0620	-0.0835	-0.0901	-0.0905	-0.0946	-0.1019	-0.1061
X5	-0.0698	-0.0838	-0.0912	-0.0976	-0.1003	-0.1035	-0.1062
X6	-0.0813	-0.0903	-0.0872	-0.0922	-0.0903	-0.1038	-0.1062
X7	-0.0831	-0.0903	-0.0861	-0.0954	-0.1041	-0.1054	-0.1054
X8	-0.0928	-0.0899	-0.0835	-0.1029	-0.0992	-0.1003	-0.1062
X9	-0.0781	-0.0901	-0.0791	-0.0904	-0.0956	-0.0993	-0.1061
X10	-0.0694	-0.0759	-0.0759	-0.0846	-0.0919	-0.0992	-0.0991
Max	-9.28	-9.03	-9.12	-10.29	-10.41	-10.54	-10.62

Mặt			Chiều	sâu xói lòng	g dẫn (cm)		
cắt	2LOI1.0	2LOI1.0	2LOI1.0	2THA1.0	2LOM1.0	2LOM1.0	2LOM1.0
	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7
X2	-0.0382	-0.0484	-0.0604	-0.0658	-0.0657	-0.0747	-0.0691
X3	-0.0415	-0.0529	-0.0631	-0.0668	-0.0691	-0.0801	-0.0772
X4	-0.0444	-0.0594	-0.0635	-0.0680	-0.0682	-0.0808	-0.0802
X5	-0.0494	-0.0617	-0.0641	-0.0714	-0.0699	-0.0771	-0.0812
X6	-0.0551	-0.0630	-0.0613	-0.0672	-0.0699	-0.0762	-0.0826
X7	-0.0543	-0.0640	-0.0591	-0.0668	-0.0724	-0.0750	-0.0797
X8	-0.0521	-0.0591	-0.0561	-0.0669	-0.0709	-0.0743	-0.0787
X9	-0.0520	-0.0552	-0.0569	-0.0611	-0.0688	-0.0743	-0.0790
X10	-0.0484	-0.0508	-0.0570	-0.0584	-0.0671	-0.0691	-0.0709
Trun g bình	-4.84	-5.72	-6.02	-6.58	-6.91	-7.57	-7.76

Bảng PL-10: Kết quả chiều sâu xói lòng dẫn của hệ thống MH, bố trí S/L=1.

Bảng PL-11: Kết quả chiều cao bồi tụ của hệ thống MH, bố trí S/L=1.

Măt		Chiề	tu cao bồi tụ	ı xung quanl	n hệ thống M	H (cm)	
cắt	2LOI1.0	2LOI1.0	2LOI1.0	2THA1.0	2LOM1.0	2LOM1.0	2LOM1.0
	-1	-2	-3	-4	-5	-6	-7
X2							
X3							
X4	0.0090	0.0055	0.0080	0.0117	0.0124	0.0096	0.0133
X5							
X6	0.0059	0.0092	0.0071	0.0077	0.0075	0.0098	0.0122
X7							
X8	0.0055	0.0092	0.0089	0.0080	0.0084	0.0124	0.0144
X9							
X10							
Trung bình	0.57	0.78	0.83	0.90	1.01	1.16	1.42

TT	Điểm	Mặt cắt đo lấy số liệu								
	đo	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
1	0.010		0.001		0.005		0.005		0.005	
2	0.030		0.006		0.007		0.007		0.008	
3	0.050		0.009		0.010		0.008		0.006	
4	0.070		-0.008		0.007		0.004		-0.004	
5	0.090		-0.005		-0.006		-0.003		-0.006	
6	0.110	-0.027	-0.037	-0.042	-0.042	-0.074	-0.042	-0.030	-0.032	-0.022
7	0.130	-0.039	-0.041	-0.049	-0.048	-0.078	-0.058	-0.044	-0.050	-0.037
8	0.150	-0.040	-0.046	-0.058	-0.063	-0.074	-0.054	-0.059	-0.051	-0.052
9	0.170	-0.045	-0.054	-0.057	-0.069	-0.075	-0.077	-0.065	-0.063	-0.060
10	0.190	-0.045	-0.058	-0.062	-0.069	-0.081	-0.082	-0.073	-0.070	-0.063
11	0.210	-0.043	-0.054	-0.062	-0.070	-0.080	-0.083	-0.081	-0.078	-0.066
12	0.230	-0.043	-0.055	-0.061	-0.067	-0.081	-0.083	-0.079	-0.072	-0.069
13	0.250	-0.041	-0.057	-0.060	-0.065	-0.072	-0.080	-0.093	-0.074	-0.069
14	0.270	-0.040	-0.041	-0.053	-0.063	-0.068	-0.071	-0.072	-0.072	-0.067
15	0.290	-0.038	-0.045	-0.056	-0.061	-0.064	-0.067	-0.070	-0.070	-0.067
16	0.310	-0.038	-0.042	-0.043	-0.059	-0.062	-0.064	-0.069	-0.070	-0.067
17	0.330	-0.037	-0.037	-0.037	-0.043	-0.059	-0.060	-0.061	-0.063	-0.059
18	0.350	-0.038	-0.037	-0.035	-0.043	-0.055	-0.060	-0.042	-0.044	-0.041
19	0.370	-0.042	-0.042	-0.040	-0.037	-0.039	-0.041	-0.048	-0.043	-0.043
20	0.390	-0.057	-0.054	-0.052	-0.048	-0.049	-0.049	-0.044	-0.045	-0.043
21	0.410	-0.064	-0.059	-0.055	-0.050	-0.050	-0.048	-0.042	-0.044	-0.043
22	0.430	-0.058	-0.047	-0.051	-0.052	-0.050	-0.042	-0.043	-0.045	-0.044
23	0.450	-0.043	-0.043	-0.040	-0.049	-0.048	-0.042	-0.046	-0.045	-0.045
24	0.470	-0.041	-0.040	-0.038	-0.042	-0.042	-0.046	-0.042	-0.045	-0.044
25	0.490	-0.035	-0.034	-0.032	-0.040	-0.040	-0.041	-0.038	-0.040	-0.040
26	0.510	-0.028	-0.027	-0.025	-0.034	-0.035	-0.036	-0.033	-0.036	-0.037
27	0.530	-0.023	-0.022	-0.019	-0.027	-0.028	-0.030	-0.025	-0.028	-0.030
28	0.550	-0.028	-0.026	-0.023	-0.021	-0.021	-0.023	-0.025	-0.027	-0.027
29	0.570	-0.030	-0.028	-0.025	-0.024	-0.024	-0.024	-0.027	-0.029	-0.029
30	0.590	-0.030	-0.027	-0.025	-0.025	-0.025	-0.026	-0.030	-0.033	-0.032
31	0.610	-0.031	-0.030	-0.029	-0.026	-0.027	-0.029	-0.035	-0.03/	-0.03/
32	0.630	-0.031	-0.033	-0.033	-0.032	-0.033	-0.034	-0.039	-0.040	-0.038
24	0.030	-0.037	-0.037	-0.033	-0.030	-0.030	-0.038	-0.040	-0.040	-0.039
34	0.670	-0.037	-0.040	-0.038	-0.038	-0.040	-0.041	-0.001	-0.002	-0.037
35	0.090	-0.039	-0.042	-0.042	-0.044	-0.030	-0.000	-0.003	-0.007	-0.004
30	0.710	-0.039	-0.039	-0.030	-0.044	-0.000	-0.000	-0.003	-0.007	-0.004
38	0.750	-0.037	-0.042	-0.055	-0.059	-0.061	-0.065	-0.069	-0.067	-0.004
30	0.750	-0.042	-0.046	-0.059	-0.058	-0.067	-0.068	-0.069	-0.067	-0.064
40	0.770	-0.043	-0.046	-0.059	-0.064	-0.068	-0.000	-0.065	-0.067	-0.064
41	0.810	-0.039	-0.045	-0.056	-0.064	-0.069	-0.071	-0.065	-0.067	-0.054
42	0.830	-0.036	-0.041	-0.054	-0.064	-0.069	-0.070	-0.056	-0.049	-0.053
43	0.850	-0.033	-0.039	-0.045	-0.064	-0.067	-0.066	-0.048	-0.056	-0.037
44	0.870	-0.027	-0.030	-0.029	-0.060	-0.065	-0.058	-0.035	-0.029	-0.030
45	0.890	-0.019	-0.029	-0.026	-0.049	-0.053	-0.049	-0.019	-0.027	-0.011
46	0.910		-0.004		-0.006		-0.005		-0.006	
47	0.930		-0.005		0.005		0.003		-0.004	
48	0.950		0.005		0.011		0.012		0.005	
49	0.970		0.080		0.013		0.010		0.007	
50	0.990		0.011		0.012		0.014		0.012	
Xói là	òng dẫn	-0.038	-0.041	-0.044	-0.049	-0.055	-0.054	-0.052	-0.052	-0.048
B	ồi tụ		0.009		0.006		0.006		0.002	
Xói	cuc bô	-0.064	-0.059	-0.062	-0.070	-0.081	-0.083	-0.093	-0.078	-0.069

Bảng PL-12: Chiều sâu xói, bồi của hệ thống mỏ hàn lồi (2LOI1.0-1)

	đo	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
1	0.010		0.018		0.017		0.014		0.018	
2	0.030		0.011		0.010		0.015		0.017	
3	0.050		0.006		0.016		0.010		0.010	
4	0.070		-0.008		0.011		0.014		-0.007	
5	0.090		-0.006		-0.007		-0.005		-0.006	
6	0.110	-0.046	-0.043	-0.041	-0.046	-0.073	-0.059	-0.051	-0.036	-0.035
7	0.130	-0.053	-0.048	-0.071	-0.069	-0.087	-0.059	-0.057	-0.046	-0.043
8	0.150	-0.056	-0.064	-0.064	-0.065	-0.073	-0.074	-0.064	-0.064	-0.066
9	0.170	-0.063	-0.069	-0.076	-0.077	-0.083	-0.078	-0.072	-0.070	-0.061
10	0.190	-0.054	-0.069	-0.079	-0.083	-0.088	-0.090	-0.080	-0.071	-0.070
11	0.210	-0.051	-0.069	-0.079	-0.084	-0.090	-0.090	-0.090	-0.090	-0.073
12	0.230	-0.065	-0.068	-0.079	-0.082	-0.090	-0.090	-0.081	-0.080	-0.075
13	0.250	-0.065	-0.069	-0.078	-0.082	-0.081	-0.090	-0.089	-0.079	-0.076
14	0.270	-0.072	-0.070	-0.076	-0.079	-0.079	-0.084	-0.081	-0.078	-0.075
15	0.290	-0.054	-0.077	-0.079	-0.081	-0.081	-0.084	-0.079	-0.076	-0.073
16	0.310	-0.054	-0.071	-0.076	-0.079	-0.077	-0.081	-0.076	-0.075	-0.073
17	0.330	-0.048	-0.051	-0.066	-0.073	-0.073	-0.075	-0.0/1	-0.069	-0.045
18	0.350	-0.046	-0.044	-0.000	-0.073	-0.0/1	-0.075	-0.0/1	-0.048	-0.043
20	0.370	-0.041	-0.044	-0.048	-0.031	-0.049	-0.032	-0.049	-0.043	-0.037
20	0.390	-0.037	-0.037	-0.047	-0.048	-0.043	-0.047	-0.043	-0.038	-0.034
21	0.430	-0.030	-0.035	-0.040	-0.042	-0.039	-0.042	-0.037	-0.030	-0.034
22	0.450	-0.037	-0.032	-0.039	-0.039	-0.037	-0.038	-0.037	-0.033	-0.033
23	0.470	-0.032	-0.031	-0.035	-0.037	-0.034	-0.037	-0.034	-0.032	-0.029
25	0.490	-0.032	-0.028	-0.035	-0.035	-0.033	-0.035	-0.032	-0.029	-0.029
26	0.510	-0.033	-0.029	-0.031	-0.031	-0.028	-0.032	-0.029	-0.029	-0.032
27	0.530	-0.033	-0.031	-0.032	-0.032	-0.029	-0.032	-0.029	-0.033	-0.032
28	0.550	-0.034	-0.032	-0.035	-0.036	-0.032	-0.035	-0.033	-0.033	-0.032
29	0.570	-0.034	-0.031	-0.035	-0.036	-0.033	-0.036	-0.033	-0.033	-0.035
30	0.590	-0.034	-0.033	-0.034	-0.035	-0.032	-0.036	-0.033	-0.036	-0.037
31	0.610	-0.037	-0.037	-0.036	-0.038	-0.036	-0.040	-0.036	-0.038	-0.042
32	0.630	-0.041	-0.042	-0.041	-0.042	-0.040	-0.043	-0.039	-0.043	-0.043
33	0.650	-0.045	-0.044	-0.046	-0.047	-0.045	-0.046	-0.043	-0.044	-0.050
34	0.670	-0.048	-0.052	-0.047	-0.050	-0.047	-0.050	-0.045	-0.066	-0.070
35	0.690	-0.054	-0.073	-0.067	-0.072	-0.071	-0.074	-0.068	-0.073	-0.070
36	0.710	-0.054	-0.078	-0.067	-0.072	-0.073	-0.074	-0.068	-0.073	-0.071
37	0.730	-0.052	-0.063	-0.076	-0.078	-0.077	-0.078	-0.073	-0.075	-0.071
38	0.750	-0.052	-0.063	-0.084	-0.084	-0.081	-0.084	-0.077	-0.077	-0.071
39	0.770	-0.050	-0.066	-0.072	-0.076	-0.076	-0.080	-0.077	-0.078	-0.069
40	0.790	-0.065	-0.073	-0.074	-0.079	-0.079	-0.084	-0.080	-0.075	-0.068
41	0.810	-0.064	-0.073	-0.077	-0.081	-0.089	-0.090	-0.085	-0.073	-0.063
42	0.830	-0.065	-0.072	-0.079	-0.082	-0.089	-0.090	-0.078	-0.065	-0.048
43	0.850	-0.066	-0.064	-0.079	-0.081	-0.089	-0.087	-0.075	-0.064	-0.041
44	0.870	-0.034	-0.003	-0.070	-0.070	-0.081	-0.080	-0.072	-0.043	-0.031
46	0.890	-0.040	-0.043	-0.072	-0.073	-0.075	-0.000	-0.001	-0.030	-0.018
40	0.930		-0.005		0.010		0.011		-0.005	
48	0.950		0.016		0.010		0.011		0.017	
49	0.970		0.014		0.015		0.016		0.018	
50	0.990		0.017		0.018		0.014		0.019	
Xói là	òng dẫn	-0.048	-0.053	-0.059	-0.062	-0.063	-0.064	-0.059	-0.055	-0.051
В	ồi tụ		0.005		0.009		0.009		0.007	
Xói	cục bộ	-0.072	-0.078	-0.084	-0.084	-0.090	-0.090	-0.090	-0.090	-0.076

Bảng PL-13: Chiều sâu xói, bồi của hệ thống mỏ hàn lồi (2LOI1.0-2)

TT	Điểm				Mặt c	ắt đo lấy si	ố liệu			
	đo	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
1	0.010		0.017		0.010		0.013		0.013	
2	0.030		0.010		0.010		0.010		0.018	
3	0.050		0.011		0.009		0.010		0.010	
4	0.070		0.002		0.006		0.005		0.007	
5	0.090		-0.005		-0.008		-0.006		-0.005	
6	0.110	-0.047	-0.048	-0.066	-0.045	-0.041	-0.037	-0.042	-0.042	-0.057
7	0.130	-0.069	-0.071	-0.058	-0.063	-0.056	-0.060	-0.053	-0.062	-0.054
8	0.150	-0.070	-0.069	-0.070	-0.070	-0.060	-0.060	-0.065	-0.064	-0.067
9	0.170	-0.073	-0.077	-0.076	-0.075	-0.073	-0.069	-0.066	-0.070	-0.069
10	0.190	-0.073	-0.078	-0.078	-0.079	-0.083	-0.080	-0.065	-0.072	-0.070
11	0.210	-0.071	-0.077	-0.079	-0.080	-0.083	-0.080	-0.079	-0.075	-0.071
12	0.230	-0.067	-0.076	-0.077	-0.078	-0.082	-0.081	-0.073	-0.076	-0.072
13	0.250	-0.066	-0.072	-0.074	-0.076	-0.073	-0.073	-0.072	-0.074	-0.071
14	0.270	-0.071	-0.073	-0.073	-0.075	-0.070	-0.071	-0.071	-0.076	-0.070
15	0.290	-0.064	-0.071	-0.070	-0.070	-0.067	-0.065	-0.065	-0.070	-0.064
16	0.310	-0.064	-0.071	-0.070	-0.070	-0.065	-0.065	-0.065	-0.046	-0.064
17	0.330	-0.049	-0.051	-0.061	-0.064	-0.059	-0.057	-0.053	-0.040	-0.049
18	0.350	-0.043	-0.046	-0.045	-0.046	-0.040	-0.040	-0.038	-0.043	-0.040
19	0.370	-0.040	-0.042	-0.041	-0.041	-0.035	-0.037	-0.038	-0.048	-0.043
20	0.390	-0.045	-0.046	-0.044	-0.053	-0.050	-0.050	-0.044	-0.045	-0.046
21	0.410	-0.063	-0.061	-0.059	-0.057	-0.052	-0.050	-0.048	-0.043	-0.046
22	0.430	-0.070	-0.068	-0.064	-0.058	-0.050	-0.040	-0.039	-0.041	-0.041
23	0.450	-0.072	-0.070	-0.067	-0.064	-0.055	-0.040	-0.035	-0.043	-0.040
24	0.470	-0.073	-0.071	-0.069	-0.067	-0.061	-0.061	-0.054	-0.062	-0.041
25	0.490	-0.068	-0.069	-0.068	-0.067	-0.061	-0.061	-0.060	-0.040	-0.048
26	0.510	-0.064	-0.062	-0.060	-0.061	-0.056	-0.054	-0.047	-0.048	-0.040
27	0.530	-0.043	-0.044	-0.042	-0.044	-0.039	-0.041	-0.043	-0.044	-0.045
28	0.550	-0.041	-0.042	-0.040	-0.042	-0.037	-0.038	-0.039	-0.041	-0.043
29	0.570	-0.038	-0.042	-0.040	-0.040	-0.035	-0.035	-0.036	-0.040	-0.040
30	0.590	-0.043	-0.043	-0.041	-0.043	-0.039	-0.039	-0.035	-0.043	-0.038
31	0.610	-0.043	-0.044	-0.044	-0.047	-0.044	-0.043	-0.040	-0.044	-0.040
32	0.630	-0.047	-0.048	-0.048	-0.049	-0.049	-0.044	-0.041	-0.068	-0.044
33	0.650	-0.051	-0.065	-0.067	-0.069	-0.064	-0.065	-0.065	-0.072	-0.062
34	0.670	-0.051	-0.065	-0.067	-0.069	-0.065	-0.065	-0.065	-0.073	-0.062
35	0.690	-0.066	-0.070	-0.070	-0.071	-0.066	-0.067	-0.066	-0.077	-0.069
36	0.710	-0.065	-0.070	-0.073	-0.076	-0.074	-0.073	-0.0/1	-0.077	-0.071
3/	0.750	-0.06/	-0.075	-0.078	-0.088	-0.086	-0.086	-0.082	-0.079	-0.075
38	0.750	-0.070	-0.079	-0.089	-0.091	-0.087	-0.086	-0.084	-0.077	-0.075
39	0.770	-0.073	-0.081	-0.090	-0.091	-0.087	-0.084	-0.074	-0.072	-0.076
40	0.790	-0.073	-0.079	-0.089	-0.088	-0.083	-0.083	-0.072	-0.070	-0.073
41	0.810	-0.073	-0.077	-0.077	-0.087	-0.074	-0.073	-0.070	-0.038	-0.072
42	0.850	-0.071	-0.072	-0.070	-0.000	-0.003	-0.003	-0.002	-0.030	-0.070
43	0.830	-0.003	-0.002	-0.037	-0.038	-0.031	-0.033	-0.032	-0.033	-0.004
44	0.870	-0.030	-0.033	-0.030	-0.048	-0.079	-0.033	-0.038	-0.031	-0.000
43	0.890	-0.034	-0.042	-0.032	-0.038	-0.049	-0.034	-0.038	-0.027	-0.030
40	0.910		-0.003		-0.003		-0.004		-0.000	
4/	0.930		0.010		0.010		0.010		0.005	
40	0.930		0.010		0.013		0.014		0.010	
50	0.970		0.014		0.014		0.013		0.017	
Xái là	ng dẫn	-0.060	-0.013	_0.064	-0.012	_0.061	-0 050	_0 056	-0.017	_0.057
D	hi tu	-0.000	0.003	-0.004	0.004	-0.001	0.037	-0.030	0.037	-0.037
- Di Xái	ene bô	-0 073	_0 081	-0 090	_0.007	-0.087	-0.009	-0 084	_0 079	-0.076
4101	~~~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~ ~	0.010	0.001	0.070	0.0/1	0.007	0.000	U .UUT	0.017	0.0/0

Bảng PL-14: Chiều sâu xói, bồi của hệ thống mỏ hàn lồi (2LOI1.0-3)

TT	Điểm		Mặt cắt đo lấy số liệu								
	đo	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	
1	0.010		0.020		0.003	-	0.002	-	0.001	-	
2	0.030		0.003		0.001		0.001		0.006		
3	0.050		0.013		0.012		0.015		0.012		
4	0.070		0.016		0.013		0.017		0.013		
5	0.090		0.008		0.005		0.004		0.005		
6	0.110	-0.066	-0.058	-0.051	-0.057	-0.055	-0.051	-0.058	-0.042	-0.062	
7	0.130	-0.078	-0.058	-0.059	-0.064	-0.047	-0.053	-0.058	-0.059	-0.058	
8	0.150	-0.079	-0.080	-0.074	-0.067	-0.071	-0.062	-0.066	-0.057	-0.063	
9	0.170	-0.081	-0.082	-0.081	-0.087	-0.071	-0.077	-0.081	-0.087	-0.066	
10	0.190	-0.081	-0.087	-0.089	-0.092	-0.076	-0.085	-0.085	-0.082	-0.085	
11	0.210	-0.079	-0.089	-0.089	-0.098	-0.079	-0.092	-0.092	-0.090	-0.083	
12	0.230	-0.080	-0.088	-0.090	-0.096	-0.082	-0.095	-0.099	-0.089	-0.081	
13	0.250	-0.067	-0.086	-0.089	-0.096	-0.092	-0.095	-0.103	-0.089	-0.081	
14	0.270	-0.068	-0.083	-0.088	-0.095	-0.092	-0.095	-0.092	-0.082	-0.066	
15	0.290	-0.078	-0.084	-0.088	-0.095	-0.091	-0.094	-0.091	-0.085	-0.068	
16	0.310	-0.066	-0.081	-0.086	-0.092	-0.087	-0.086	-0.082	-0.068	-0.058	
17	0.330	-0.066	-0.081	-0.086	-0.092	-0.087	-0.086	-0.082	-0.068	-0.058	
18	0.350	-0.068	-0.080	-0.078	-0.084	-0.068	-0.067	-0.068	-0.061	-0.055	
19	0.370	-0.065	-0.065	-0.064	-0.068	-0.061	-0.062	-0.062	-0.057	-0.051	
20	0.390	-0.065	-0.063	-0.061	-0.064	-0.057	-0.058	-0.053	-0.031	-0.033	
21	0.410	-0.065	-0.062	-0.059	-0.059	-0.052	-0.032	-0.040	-0.037	-0.034	
22	0.430	-0.061	-0.059	-0.056	-0.059	-0.054	-0.037	-0.050	-0.032	-0.033	
23	0.450	-0.057	-0.054	-0.054	-0.044	-0.050	-0.034	-0.040	-0.037	-0.036	
24	0.470	-0.035	-0.036	-0.046	-0.046	-0.047	-0.045	-0.040	-0.040	-0.031	
25	0.490	-0.035	-0.046	-0.047	-0.048	-0.046	-0.047	-0.034	-0.035	-0.033	
26	0.510	-0.029	-0.047	-0.048	-0.050	-0.047	-0.048	-0.035	-0.037	-0.034	
27	0.530	-0.034	-0.048	-0.050	-0.052	-0.048	-0.049	-0.036	-0.040	-0.036	
28	0.550	-0.052	-0.049	-0.051	-0.054	-0.049	-0.050	-0.037	-0.043	-0.038	
29	0.570	-0.052	-0.050	-0.052	-0.056	-0.050	-0.052	-0.038	-0.045	-0.039	
30	0.590	-0.054	-0.051	-0.053	-0.053	-0.051	-0.053	-0.039	-0.048	-0.041	
31	0.610	-0.056	-0.052	-0.054	-0.050	-0.052	-0.054	-0.050	-0.046	-0.042	
32	0.630	-0.058	-0.054	-0.056	-0.063	-0.058	-0.062	-0.061	-0.060	-0.055	
33	0.650	-0.059	-0.061	-0.064	-0.072	-0.068	-0.071	-0.071	-0.067	-0.059	
34	0.670	-0.056	-0.061	-0.064	-0.072	-0.068	-0.071	-0.071	-0.067	-0.059	
35	0.690	-0.061	-0.064	-0.076	-0.086	-0.084	-0.087	-0.086	-0.083	-0.076	
36	0.710	-0.067	-0.080	-0.081	-0.090	-0.086	-0.089	-0.087	-0.084	-0.076	
20	0.750	-0.082	-0.085	-0.089	-0.094	-0.090	-0.093	-0.091	-0.088	-0.083	
38	0.730	-0.0//	-0.089	-0.090	-0.090	-0.090	-0.092	-0.091	-0.089	-0.084	
39	0.770	-0.079	-0.089	-0.089	-0.094	-0.089	-0.092	-0.091	-0.089	-0.084	
40	0.790	-0.062	-0.007	-0.069	-0.009	-0.003	-0.003	-0.060	-0.001	-0.001	
41	0.810	-0.081	-0.079	-0.007	-0.082	-0.071	-0.080	-0.008	-0.077	-0.073	
43	0.850	-0.073	-0.054	-0.032	-0.057	-0.073	-0.057	-0.072	-0.056	-0.054	
44	0.850	-0.073	-0.034	-0.043	-0.001	-0.047	-0.037	-0.055	-0.030	-0.034	
45	0.890	-0.080	-0.040	-0.040	-0.034	-0.057	-0.032	-0.065	-0.018	-0.062	
46	0.070	0.000	0.008	0.040	0.004	0.057	0.007	0.005	0.010	0.002	
47	0.930		0.013		0.010		0.007		0.015		
48	0.950		0.013		0.010		0.009		0.004		
49	0.970		0.011		0.004		0.005		0.004		
50	0.990		0.011		0.012		0.014		0.015		
Xói là	òng dẫn	-0.066	-0.067	-0.068	-0.071	-0.067	-0.067	-0.067	-0.061	-0.058	
B	ồi tụ		0.012		0.008		0.008		0.009		
Xói	cục bộ	-0.086	-0.089	-0.090	-0.098	-0.092	-0.095	-0.103	-0.090	-0.085	

Bảng PL-15: Chiều sâu xói, bồi của hệ thống mỏ hàn thẳng (2THA1.0-4)

TT	Điểm		Mặt cắt đo lấy số liệu								
	đo	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10	
1	0.010		0.010		0.010		0.013		0.011		
2	0.030		0.013		0.010		0.010		0.012		
3	0.050		0.014		0.011		0.010		0.010		
4	0.070		0.011		0.011		0.012		0.013		
5	0.090		0.014		-0.004		-0.003		0.012		
6	0.110	-0.089	-0.063	-0.047	-0.064	-0.047	-0.043	-0.043	-0.030	-0.043	
7	0.130	-0.070	-0.063	-0.064	-0.060	-0.060	-0.059	-0.051	-0.044	-0.043	
8	0.150	-0.093	-0.073	-0.071	-0.073	-0.059	-0.065	-0.055	-0.060	-0.066	
9	0.170	-0.075	-0.076	-0.082	-0.071	-0.075	-0.074	-0.072	-0.068	-0.060	
10	0.190	-0.073	-0.083	-0.087	-0.080	-0.076	-0.086	-0.085	-0.080	-0.075	
11	0.210	-0.085	-0.094	-0.091	-0.085	-0.084	-0.092	-0.090	-0.088	-0.090	
12	0.230	-0.081	-0.093	-0.092	-0.088	-0.088	-0.097	-0.096	-0.094	-0.091	
13	0.250	-0.074	-0.093	-0.092	-0.090	-0.090	-0.104	-0.097	-0.094	-0.089	
14	0.270	-0.076	-0.098	-0.085	-0.090	-0.090	-0.098	-0.099	-0.093	-0.079	
15	0.290	-0.071	-0.080	-0.077	-0.077	-0.087	-0.093	-0.079	-0.078	-0.088	
16	0.310	-0.073	-0.080	-0.087	-0.076	-0.087	-0.075	-0.079	-0.078	-0.074	
17	0.330	-0.069	-0.072	-0.069	-0.071	-0.076	-0.071	-0.073	-0.072	-0.070	
18	0.350	-0.062	-0.069	-0.065	-0.069	-0.071	-0.069	-0.070	-0.070	-0.068	
19	0.370	-0.046	-0.062	-0.060	-0.061	-0.069	-0.063	-0.068	-0.067	-0.063	
20	0.390	-0.043	-0.048	-0.044	-0.047	-0.064	-0.056	-0.059	-0.060	-0.057	
21	0.410	-0.042	-0.045	-0.041	-0.043	-0.049	-0.045	-0.055	-0.054	-0.043	
22	0.430	-0.035	-0.038	-0.035	-0.040	-0.044	-0.043	-0.046	-0.046	-0.046	
23	0.450	-0.037	-0.038	-0.034	-0.059	-0.040	-0.061	-0.043	-0.043	-0.044	
24	0.470	-0.048	-0.049	-0.050	-0.061	-0.059	-0.063	-0.062	-0.062	-0.060	
25	0.490	-0.057	-0.059	-0.055	-0.059	-0.062	-0.058	-0.062	-0.062	-0.059	
26	0.510	-0.049	-0.056	-0.053	-0.055	-0.059	-0.057	-0.056	-0.048	-0.048	
27	0.530	-0.048	-0.058	-0.043	-0.044	-0.055	-0.052	-0.058	-0.059	-0.055	
28	0.550	-0.041	-0.053	-0.039	-0.047	-0.046	-0.047	-0.051	-0.053	-0.052	
29	0.570	-0.042	-0.053	-0.039	-0.069	-0.048	-0.066	-0.056	-0.047	-0.053	
30	0.590	-0.045	-0.052	-0.059	-0.070	-0.069	-0.070	-0.050	-0.063	-0.058	
31	0.610	-0.063	-0.059	-0.064	-0.074	-0.071	-0.073	-0.070	-0.067	-0.061	
32	0.630	-0.069	-0.063	-0.068	-0.084	-0.074	-0.091	-0.072	-0.070	-0.068	
33	0.650	-0.070	-0.067	-0.084	-0.081	-0.084	-0.098	-0.077	-0.075	-0.069	
34	0.670	-0.070	-0.067	-0.084	-0.100	-0.084	-0.100	-0.077	-0.075	-0.073	
35	0.690	-0.072	-0.084	-0.094	-0.090	-0.090	-0.099	-0.096	-0.087	-0.076	
36	0.710	-0.075	-0.086	-0.094	-0.078	-0.080	-0.096	-0.097	-0.096	-0.091	
3/	0.750	-0.079	-0.086	-0.095	-0.083	-0.080	-0.091	-0.098	-0.095	-0.088	
38	0.750	-0.079	-0.086	-0.093	-0.081	-0.087	-0.078	-0.095	-0.093	-0.092	
39	0.770	-0.082	-0.084	-0.089	-0.081	-0.080	-0.008	-0.091	-0.091	-0.089	
40	0.790	-0.081	-0.081	-0.064	-0.003	-0.064	-0.001	-0.078	-0.073	-0.081	
41	0.810	-0.084	-0.071	-0.009	-0.049	-0.009	-0.040	-0.070	-0.009	-0.074	
42	0.850	-0.078	-0.077	-0.004	-0.039	-0.056	-0.033	-0.037	-0.000	-0.007	
44	0.850	-0.071	-0.067	-0.047	-0.038	-0.034	-0.037	-0.037	-0.043	-0.040	
45	0.870	-0.030	-0.038	-0.047	-0.010	-0.030	-0.000	-0.057	-0.032	-0.004	
46	0.070	-0.010	0.010	-0.050	-0.010	-0.030	-0.007	-0.050	0.008	-0.004	
40	0.930		0.010		0.002		0.003		0.008		
48	0.950		0.011		0.002		0.010		0.010		
49	0.970		0.017		0.012		0.014		0.013		
50	0.990		0.011		0.012		0.018		0.017		
Xói là	òng dẫn	-0.066	-0.069	-0.068	-0.070	-0.070	-0.072	-0.071	-0.069	-0.067	
B	òi tu		0.012		0.007		0.008		0.012		
Xói	cục bộ	-0.093	-0.098	-0.095	-0.100	-0.090	-0.104	-0.099	-0.096	-0.092	

Bảng PL-16: Chiều sâu xói, bồi của hệ thống mỏ hàn lõm (2LOM1.0-5)

TT	Điểm		Măt cắt đo lấv số liêu							
	đo	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
1	0.010		0.019		0.020		0.026		0.031	
2	0.030		0.016		0.017		0.019		0.027	
3	0.050		0.015		0.012		0.017		0.020	
4	0.070		0.012		0.011		0.012		0.026	
5	0.090		-0.014		-0.016		-0.013		-0.015	
6	0.110	-0.082	-0.065	-0.047	-0.049	-0.043	-0.060	-0.054	-0.044	-0.048
7	0.130	-0.088	-0.070	-0.070	-0.070	-0.070	-0.063	-0.059	-0.066	-0.066
8	0.150	-0.088	-0.092	-0.083	-0.077	-0.078	-0.063	-0.070	-0.064	-0.072
9	0.170	-0.090	-0.089	-0.088	-0.089	-0.085	-0.094	-0.092	-0.095	-0.086
10	0.190	-0.088	-0.098	-0.099	-0.098	-0.097	-0.093	-0.092	-0.090	-0.091
11	0.210	-0.087	-0.098	-0.100	-0.100	-0.100	-0.100	-0.099	-0.096	-0.078
12	0.230	-0.089	-0.098	-0.100	-0.101	-0.101	-0.100	-0.098	-0.095	-0.091
13	0.250	-0.084	-0.096	-0.100	-0.100	-0.100	-0.099	-0.096	-0.094	-0.076
14	0.270	-0.072	-0.093	-0.097	-0.100	-0.100	-0.098	-0.093	-0.075	-0.074
15	0.290	-0.072	-0.079	-0.091	-0.094	-0.094	-0.089	-0.076	-0.074	-0.072
16	0.310	-0.073	-0.079	-0.091	-0.074	-0.073	-0.075	-0.076	-0.074	-0.071
17	0.330	-0.068	-0.071	-0.072	-0.070	-0.071	-0.071	-0.072	-0.071	-0.070
18	0.350	-0.063	-0.069	-0.070	-0.075	-0.067	-0.069	-0.071	-0.070	-0.066
19	0.370	-0.042	-0.076	-0.070	-0.073	-0.064	-0.066	-0.068	-0.067	-0.066
20	0.390	-0.060	-0.070	-0.071	-0.071	-0.071	-0.070	-0.066	-0.065	-0.061
21	0.410	-0.073	-0.073	-0.073	-0.078	-0.077	-0.071	-0.068	-0.064	-0.058
22	0.430	-0.077	-0.078	-0.079	-0.076	-0.074	-0.070	-0.062	-0.059	-0.057
23	0.450	-0.075	-0.076	-0.077	-0.070	-0.067	-0.066	-0.066	-0.064	-0.055
24	0.470	-0.071	-0.070	-0.070	-0.064	-0.063	-0.064	-0.060	-0.068	-0.054
25	0.490	-0.079	-0.080	-0.072	-0.061	-0.061	-0.061	-0.066	-0.061	-0.056
26	0.510	-0.071	-0.071	-0.071	-0.063	-0.064	-0.066	-0.053	-0.065	-0.055
27	0.530	-0.078	-0.070	-0.071	-0.067	-0.068	-0.067	-0.055	-0.064	-0.054
28	0.550	-0.072	-0.073	-0.075	-0.061	-0.062	-0.062	-0.053	-0.065	-0.056
29	0.570	-0.075	-0.078	-0.070	-0.070	-0.070	-0.070	-0.059	-0.058	-0.057
30	0.590	-0.078	-0.074	-0.078	-0.072	-0.073	-0.072	-0.068	-0.068	-0.063
31	0.610	-0.076	-0.070	-0.070	-0.077	-0.078	-0.076	-0.070	-0.070	-0.069
32	0.630	-0.070	-0.073	-0.075	-0.099	-0.099	-0.097	-0.074	-0.073	-0.072
33	0.650	-0.076	-0.092	-0.094	-0.101	-0.101	-0.100	-0.092	-0.091	-0.077
34	0.670	-0.073	-0.092	-0.094	-0.102	-0.101	-0.101	-0.092	-0.091	-0.079
35	0.690	-0.074	-0.094	-0.099	-0.104	-0.104	-0.105	-0.097	-0.095	-0.078
36	0.710	-0.079	-0.098	-0.100	-0.103	-0.102	-0.100	-0.100	-0.096	-0.095
37	0.730	-0.091	-0.099	-0.102	-0.100	-0.100	-0.099	-0.100	-0.099	-0.096
38	0.750	-0.089	-0.099	-0.102	-0.095	-0.097	-0.088	-0.099	-0.097	-0.099
39	0.770	-0.088	-0.098	-0.100	-0.091	-0.075	-0.076	-0.098	-0.099	-0.080
40	0.790	-0.080	-0.093	-0.095	-0.070	-0.090	-0.085	-0.089	-0.088	-0.092
41	0.810	-0.080	-0.086	-0.083	-0.068	-0.063	-0.052	-0.085	-0.080	-0.072
42	0.830	-0.070	-0.070	-0.075	-0.053	-0.058	-0.048	-0.070	-0.066	-0.071
43	0.850	-0.074	-0.057	-0.060	-0.040	-0.040	-0.040	-0.044	-0.062	-0.059
44	0.870	-0.076	-0.057	-0.053	-0.027	-0.023	-0.027	-0.040	-0.054	-0.071
45	0.890	-0.001	-0.040	-0.042	-0.030	-0.025	-0.025	-0.030	-0.037	-0.002
46	0.910		-0.012		-0.007		-0.010		-0.013	
47	0.930		0.013		0.008		0.012		0.007	
48	0.950		0.013		0.012		0.018		0.018	
49	0.970		0.012		0.018		0.016		0.019	
50	0.990	0.0==	0.021	0.001	0.022	0.0=/	0.026	0.0=/	0.025	0.070
Xói là	ong dân	-0.075	-0.080	-0.081	-0.077	-0.076	-0.075	-0.074	-0.074	-0.069
B	01 tụ	0.001	0.010	0 100	0.010	0 10 1	0.012	0 100	0.015	0.000
Xôi	cục bộ	-0.091	-0.099	-0.102	-0.104	-0.104	-0.105	-0.100	-0.099	-0.099

Bảng PL-17: Chiều sâu xói, bồi của hệ thống mỏ hàn lõm (2LOM1.0-6)

TT	Điểm	Măt cắt đo lấy số liêu								
	đo	X2	X3	X4	X5	X6	X7	X8	X9	X10
1	0.010		0.026		0.023		0.023		0.021	
2	0.030		0.021		0.033		0.036		0.030	
3	0.050	-	0.023		0.029		0.033		0.023	
4	0.070		0.010		-0.004		-0.003		0.012	
5	0.090	-	-0.013		-0.013		-0.013		-0.012	
6	0.110	-0.063	-0.060	-0.059	-0.067	-0.052	-0.055	-0.047	-0.063	-0.057
7	0.130	-0.070	-0.088	-0.082	-0.078	-0.076	-0.074	-0.071	-0.068	-0.066
8	0.150	-0.081	-0.076	-0.086	-0.092	-0.097	-0.094	-0.085	-0.085	-0.063
9	0.170	-0.080	-0.098	-0.101	-0.097	-0.098	-0.094	-0.097	-0.089	-0.078
10	0.190	-0.090	-0.099	-0.105	-0.104	-0.106	-0.103	-0.101	-0.099	-0.093
11	0.210	-0.091	-0.100	-0.106	-0.106	-0.106	-0.104	-0.105	-0.100	-0.090
12	0.230	-0.086	-0.099	-0.106	-0.106	-0.106	-0.105	-0.104	-0.106	-0.081
13	0.250	-0.075	-0.095	-0.104	-0.104	-0.106	-0.104	-0.105	-0.106	-0.094
14	0.270	-0.076	-0.093	-0.102	-0.104	-0.106	-0.104	-0.103	-0.081	-0.079
15	0.290	-0.074	-0.095	-0.103	-0.104	-0.106	-0.103	-0.100	-0.096	-0.096
16	0.310	-0.077	-0.095	-0.094	-0.103	-0.105	-0.101	-0.098	-0.096	-0.076
17	0.330	-0.073	-0.088	-0.077	-0.080	-0.083	-0.081	-0.081	-0.083	-0.078
18	0.350	-0.070	-0.073	-0.074	-0.074	-0.076	-0.075	-0.076	-0.077	-0.072
19	0.370	-0.064	-0.068	-0.066	-0.068	-0.073	-0.072	-0.072	-0.074	-0.071
20	0.390	-0.049	-0.060	-0.060	-0.061	-0.063	-0.061	-0.062	-0.070	-0.064
21	0.410	-0.049	-0.049	-0.067	-0.065	-0.067	-0.064	-0.069	-0.060	-0.057
22	0.430	-0.064	-0.063	-0.074	-0.070	-0.075	-0.072	-0.066	-0.064	-0.057
23	0.450	-0.071	-0.065	-0.076	-0.074	-0.072	-0.061	-0.051	-0.049	-0.048
24	0.470	-0.075	-0.075	-0.078	-0.076	-0.075	-0.072	-0.065	-0.052	-0.052
25	0.490	-0.075	-0.075	-0.074	-0.074	-0.076	-0.074	-0.074	-0.050	-0.049
26	0.510	-0.070	-0.070	-0.067	-0.066	-0.068	-0.066	-0.068	-0.067	-0.042
27	0.530	-0.061	-0.063	-0.046	-0.059	-0.064	-0.061	-0.053	-0.064	-0.047
28	0.550	-0.039	-0.041	-0.063	-0.070	-0.075	-0.072	-0.071	-0.052	-0.047
29	0.570	-0.042	-0.047	-0.073	-0.074	-0.076	-0.076	-0.077	-0.068	-0.061
30	0.590	-0.048	-0.063	-0.074	-0.077	-0.081	-0.079	-0.082	-0.076	-0.072
31	0.610	-0.064	-0.064	-0.082	-0.094	-0.095	-0.091	-0.084	-0.080	-0.075
32	0.630	-0.070	-0.074	-0.103	-0.104	-0.106	-0.103	-0.100	-0.081	-0.077
33	0.650	-0.076	-0.094	-0.102	-0.105	-0.106	-0.105	-0.104	-0.097	-0.080
34	0.670	-0.076	-0.094	-0.104	-0.105	-0.106	-0.105	-0.106	-0.097	-0.091
35	0.690	-0.078	-0.093	-0.104	-0.105	-0.106	-0.105	-0.106	-0.101	-0.079
36	0.710	-0.078	-0.094	-0.104	-0.105	-0.106	-0.105	-0.106	-0.102	-0.099
3/	0.730	-0.081	-0.095	-0.104	-0.104	-0.106	-0.103	-0.103	-0.102	-0.097
38	0.750	-0.081	-0.097	-0.097	-0.101	-0.102	-0.099	-0.096	-0.103	-0.099
39	0.770	-0.081	-0.097	-0.092	-0.084	-0.084	-0.079	-0.089	-0.100	-0.093
40	0.790	-0.080	-0.090	-0.074	-0.081	-0.085	-0.071	-0.070	-0.080	-0.099
41	0.810	-0.080	-0.089	-0.003	-0.001	-0.007	-0.039	-0.037	-0.088	-0.072
42	0.850	-0.070	-0.070	-0.033	-0.000	-0.033	-0.038	-0.030	-0.009	-0.007
43	0.830	-0.002	-0.048	-0.044	-0.030	-0.040	-0.043	-0.040	-0.001	-0.055
45	0.870	-0.073	-0.002	-0.030	-0.040	-0.021	-0.004	-0.032	-0.039	-0.007
46	0.090	-0.001	-0.023	-0.050	-0.000	-0.027	-0.001	-0.002	-0.039	-0.004
40	0.930		0.014		-0.010		-0.002		0.012	
48	0.950		0.020		0.019		0.018		0.029	
49	0.970		0.028		0.023		0.032		0.031	
50	0.990		0.022		0.029		0.028		0.030	
Xói là	òng dẫn	-0.069	-0.077	-0.080	-0.081	-0.083	-0.080	-0.079	-0.079	-0.071
B	ồi tu		0.013		0.012		0.014		0.017	
Xói	cục bộ	-0.091	-0.100	-0.106	-0.106	-0.106	-0.105	-0.1062	-0.1061	-0.099

Bảng PL-18: Chiều sâu xói, bồi của hệ thống mỏ hàn lõm (2LOM1.0-7)



Phụ lục 6: Điều kiện biên Q và H trên đoạn sông Cấm

Đường quá trình lưu lượng tại biên thượng lưu



Đường quá trình mực nước tại biên hạ lưu



So sánh đường quá trình lưu lượng, mực nước tại các biên