

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**

**BỘ QUỐC PHÒNG**

**HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ**

-----\*\*\*-----

**NGUYỄN TIẾN TĨNH**

**NGHIÊN CỨU LỰA CHỌN PHƯƠNG ÁN THI CÔNG  
KHOAN NỔ ĐƯỜNG HÀM BẰNG MÔ PHỎNG**

**NGÀNH: KỸ THUẬT XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH ĐẶC BIỆT  
MÃ SỐ: 9.58.02.06**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

**HÀ NỘI, THÁNG 9 NĂM 2022**

**BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO**

**BỘ QUỐC PHÒNG**

**HỌC VIỆN KỸ THUẬT QUÂN SỰ**

-----\*\*\*-----

**NGUYỄN TIẾN TĨNH**

**NGHIÊN CỨU LỰA CHỌN PHƯƠNG ÁN THI CÔNG  
KHOAN NỔ ĐƯỜNG HÀM BẰNG MÔ PHỎNG**

**NGÀNH: KỸ THUẬT XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH ĐẶC BIỆT**

**MÃ SỐ: 9.58.02.06**

**LUẬN ÁN TIẾN SĨ KỸ THUẬT**

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC:**

**1. PGS. TS. BÙI ĐỨC NĂNG**

**2. GS. TS. ĐỖ NHƯ TRÁNG**

**HÀ NỘI, THÁNG 9 NĂM 2022**

## **LỜI CAM ĐOAN**

Tôi cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi. Các số liệu, kết quả nêu trong luận án là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ một công trình nào khác.

Tác giả

**Nguyễn Tiến Tĩnh**

## LỜI CẢM ƠN

Tác giả luận án xin bày tỏ lòng biết ơn chân thành đối với các thầy giáo hướng dẫn là PGS.TS Bùi Đức Năng và GS.TS Đỗ Như Tráng đã tận tình hướng dẫn, giúp đỡ tác giả trong quá trình thực hiện luận án này. Tác giả xin trân trọng cảm ơn sự động viên khuyến khích và những sự chia sẻ về mặt kiến thức khoa học của các thầy trong nhiều năm qua, giúp cho tác giả nâng cao năng lực khoa học và khả năng hoàn thành các vấn đề nghiên cứu.

Tác giả xin chân thành cảm ơn các thầy giáo, các nhà khoa học đã dành thời gian đọc và góp ý, giúp tác giả có thể hoàn thành bản luận án của mình.

Tác giả xin trân trọng cảm ơn Bộ môn Xây dựng công trình Quốc phòng, Bộ môn XD nhà và CTCN - Viện Kỹ thuật Công trình đặc biệt và Phòng Sau Đại học, Học viện Kỹ thuật Quân sự đã tạo mọi điều kiện và giúp đỡ tác giả trong quá trình thực hiện luận án.

Cuối cùng, tác giả xin bày tỏ lòng biết ơn đối với những người thân trong gia đình, bạn bè, đồng nghiệp đã thông cảm, động viên và chia sẻ khó khăn với tác giả trong suốt thời gian làm luận án.

Tác giả

**Nguyễn Tiến Tĩnh**

## MỤC LỤC

LỜI CAM ĐOAN .....	i
LỜI CẢM ƠN .....	ii
MỤC LỤC .....	iii
DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT VÀ KÝ HIỆU .....	vii
DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ, BẢNG BIỂU .....	ix
MỞ ĐẦU .....	1
<b>Chương 1 TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU .....</b>	<b>5</b>
<b>1.1. Khái niệm chung về đường hầm.....</b>	<b>5</b>
<b>1.2. Các phương pháp thi công đường hầm .....</b>	<b>6</b>
1.2.1. <i>Sơ lược lịch sử ngành xây dựng hầm trên thế giới.....</i>	<i>6</i>
1.2.2. <i>Các phương pháp thi công đường hầm phổ biến hiện nay .....</i>	<i>9</i>
<b>1.3. Tóm tắt lịch sử ngành xây dựng hầm ở Việt Nam và xu thế phát triển 13</b>	
1.3.1. <i>Lịch sử ngành xây dựng hầm ở Việt Nam .....</i>	<i>13</i>
1.3.2. <i>Những tiến bộ của ngành xây dựng hầm Việt Nam.....</i>	<i>16</i>
1.3.3. <i>Xu thế phát triển và vấn đề công nghệ thi công .....</i>	<i>18</i>
<b>1.4. Vấn đề lập và lựa chọn phương án thi công trong thi công công trình ngầm.....</b>	<b>20</b>
1.4.1. <i>Những vấn đề chung .....</i>	<i>20</i>
1.4.2. <i>Các phương pháp lập phương án thi công hầm hiện có .....</i>	<i>24</i>
1.4.3. <i>Bài toán lựa chọn phương án thi công hợp lý với các trang, thiết bị hiện có của các nhà thầu xây dựng hầm Việt Nam .....</i>	<i>31</i>
<b>1.5. Kết luận chương 1.....</b>	<b>34</b>
<b>Chương 2 THI CÔNG ĐƯỜNG HẦM BẰNG PHƯƠNG PHÁP KHOAN NỔ MÌN VÀ MÔ HÌNH TIỀN ĐỊNH CỦA QUÁ TRÌNH THI CÔNG.....</b>	<b>36</b>
<b>2.1. Khái quát về thi công đường hầm phương pháp bằng khoan nổ mìn... 36</b>	

<b>2.2. Công tác khoan nổ mìn.....</b>	<b>37</b>
2.2.1. Sơ đồ đào .....	37
2.2.2. Thiết bị khoan .....	43
2.2.3. Thuốc nổ và công tác nạp thuốc.....	43
2.2.4. Thông gió.....	45
<b>2.3. Quá trình thu dọn và xúc bốc, vận chuyển đất đá thải .....</b>	<b>45</b>
2.3.1. Máy xúc.....	46
2.3.2. Vận chuyển và phương tiện vận chuyển .....	47
<b>2.4. Công tác chống tạt .....</b>	<b>48</b>
2.4.1. Các loại neo và thiết bị thi công neo .....	48
2.4.2. Công nghệ phun bê tông và thiết bị phun bê tông.....	49
<b>2.5. Mô hình tiên định của quá trình thi công hầm .....</b>	<b>49</b>
2.5.1. Những vấn đề chung .....	49
2.5.2. Các phương trình thời gian chu kỳ và năng suất .....	52
<b>2.6. Áp dụng mô hình xác định, phân tích tốc độ đào hầm của dự án hầm Đèo Cả.....</b>	<b>56</b>
2.6.1. Giới thiệu dự án đường hầm Đèo Cả .....	56
2.6.2. Phương án thi công khoan nổ trong đoạn hầm được phân tích và các tham số đầu vào được sử dụng trong mô hình tiên định .....	59
2.6.3. Tính toán thời gian, chu kỳ và tốc độ đào hầm .....	61
2.6.4. Đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố đầu vào .....	62
<b>2.7. Kết luận chương 2 .....</b>	<b>64</b>
<b>Chương 3 CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ THỰC TIỄN CỦA MÔ PHỎNG TRONG PHÂN TÍCH THỜI GIAN KHAI ĐÀO ĐƯỜNG HẦM.....</b>	<b>66</b>
<b>3.1. Vấn đề bất định về thời gian công việc và ước lượng thời gian công việc trong thi công xây dựng hầm .....</b>	<b>66</b>
3.1.1. Vấn đề bất định về thời gian công việc .....	66

3.1.2. Ước lượng thời gian hoàn thành công việc .....	67
<b>3.2. Cơ sở lý thuyết chung về mô phỏng .....</b>	<b>70</b>
3.2.1. Một số định nghĩa cơ bản .....	70
3.2.2. Các loại mô hình .....	70
3.2.3. Phương pháp mô phỏng .....	71
3.2.4. Các bước nghiên cứu mô phỏng.....	72
3.2.5. Ưu nhược điểm của phương pháp mô phỏng .....	75
<b>3.3. Giới thiệu về ngôn ngữ mô phỏng Stroboscope .....</b>	<b>76</b>
3.3.1. Khái niệm ngôn ngữ mô phỏng và thiết bị mô phỏng [12] .....	76
3.3.2. Ngôn ngữ mô phỏng Stroboscope.....	77
<b>3.4. Chương trình mô phỏng EZStrobe .....</b>	<b>78</b>
3.4.1. Mô tả về EZStrobe .....	78
3.4.2. Mô hình quét công việc AS và sơ đồ chu trình mô phỏng ACD.....	79
3.4.3. Các ACD của EZStrobe.....	81
3.4.4. Mô hình hóa logic phức tạp.....	87
3.4.5. Mô hình hóa và tham số hóa các hoạt động quy mô lớn.....	91
<b>3.5. Kết luận chương 3 .....</b>	<b>94</b>
<b>Chương 4 THỬ NGHIỆM SỐ SỬ DỤNG CHƯƠNG TRÌNH MÔ PHỎNG EZStrobe PHÂN TÍCH CÁC PHƯƠNG ÁN ĐÀO HẦM .....</b>	<b>96</b>
<b>4.1. Giới thiệu về trường hợp nghiên cứu và các phương án thi công.....</b>	<b>96</b>
4.1.1. Trường hợp nghiên cứu .....	96
4.1.2. Xây dựng các phương án đào hầm của trường hợp nghiên cứu .....	96
<b>4.2. Xây dựng mô hình mô phỏng cơ bản .....</b>	<b>100</b>
4.2.1. Các bước xây dựng mô hình mô phỏng .....	100
4.2.2. Phân tích công nghệ và xây dựng sơ đồ nguyên lý .....	102

4.2.3. Chuyển sơ đồ nguyên lý sang ACD theo các tiêu chuẩn của EZStrobe .....	103
<b>4.3. Một số kết quả mô phỏng ban đầu trên mô hình mô phỏng cơ bản .....</b>	<b>108</b>
<b>4.4. Phát triển mô hình mô phỏng cho các phương án thi công hầm.....</b>	<b>110</b>
4.4.1. Chuẩn bị dữ liệu cho mô hình .....	110
4.4.2. Mô hình mô phỏng trong EZStrobe .....	110
4.4.3. Kết quả mô phỏng về tốc độ đào hầm của các phương án thi công ....	116
4.4.4. Phân tích ảnh hưởng và dự báo tốc độ đào hầm khi có sự cố phương tiện, thiết bị thi công .....	119
<b>4.5. Kết luận chương 4.....</b>	<b>124</b>
<b>KẾT LUẬN – KIẾN NGHỊ .....</b>	<b>126</b>
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO .....</b>	<b>128</b>
<b>DANH MỤC CÔNG TRÌNH CỦA TÁC GIẢ .....</b>	<b>137</b>
<b>PHỤ LỤC .....</b>	<b>138</b>



## DANH MỤC CÁC CHỮ VIẾT TẮT VÀ KÝ HIỆU

### 1. Chữ viết tắt:

ACD	Sơ đồ chu trình mô phỏng
AS	Mô hình quét công việc
DES	Mô phỏng sự kiện rời rạc
NATM	Phương pháp xây dựng hầm mới của Áo
PA1	Phương án đào toàn gương
PA2	Phương án chia đôi gương
PA3	Phương án chia 3 gương
PA4	Phương án chia 4 gương
SD	Mô phỏng động lực hệ thống
TBM	Công nghệ thi công hầm bằng máy khoan hầm toàn gương

### 2. Ký hiệu:

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
$CT_{exc}$	phút	Thời gian chu trình đào
$CT_{ps}$	phút	Thời gian chu trình chống đỡ ban đầu
$CT_{truck}$	phút	Thời gian chu trình bốc xúc đất đá và vận chuyển vật liệu chống tạm
$CT_{min}$	phút	Thời gian chu trình của các yếu tố nhỏ
$f_{kp}$		Độ kiên cố đất đá theo thang Protodiakonov
$f_{1-7}$		Các yếu tố ảnh hưởng đến năng suất xây dựng hầm
$P_l$	phút	Thời gian vận chuyển hết đất đá khỏi gương đào

<b>Ký hiệu</b>	<b>Đơn vị</b>	<b>Ý nghĩa</b>
$P_{loader}$	m <sup>3</sup> /h	Công suất máy xúc
$P_m$	phút	Thời gian vận chuyển đủ vật liệu chống tạm
$T_{bv}$	phút	Thời gian nổ và thông gió
$T_{dp}$	phút	Thời gian để thay thế khoan
$T_{dr}$	phút	Thời gian khoan
$T_l$	phút	Thời gian vận chuyển vật liệu đến gương đào
$T_{lb}$	phút	Thời gian xe tải chở vật liệu quay ra
$T_{le}$	phút	Thời gian nạp thuốc
$T_{lm}$	phút	Thời gian xúc đất vào xe tải
$T_{ll}$	phút	Thời gian bốc vật liệu chống tạm lên xe
$T_{mt}$	phút	Thời gian đưa xe tải vào vị trí gương đào
$T_{pl}$	phút	Thời gian để di chuyển khoan đến gương đào
$T_s$	phút	Thời gian vận chuyển đất đá đến bãi thải
$T_{sb}$	phút	Thời gian xe tải rỗng quay vào gương đào
$T_{sc}$	phút	Thời gian nạo vét bằng máy và thủ công
$T_{sv}$	phút	Thời gian khảo sát
$T_{ul}$	phút	Thời gian dỡ vật liệu chống tạm
$T_{um}$	phút	Thời gian đổ đất đá từ xe tải xuống
$u_{1-4}$		Các hệ số hiệu quả
$V_{exc,j}$	m/h	Tốc độ đào hàm
$V_{truck}$	m <sup>3</sup>	Dung tích xe tải

**DANH MỤC CÁC HÌNH VẼ, ĐỒ THỊ, BẢNG BIỂU**

<b>STT</b>	<b>Tên hình vẽ, đồ thị, bảng biểu</b>	<b>Trang</b>
<b>I</b>	<b>Hình vẽ, đồ thị</b>	
1	<i>Hình 2.1.</i> Phương pháp đào toàn gương (toàn gương)	37
2	<i>Hình 2.2.</i> Đào toàn gương, chia bậc ngăn, chống tạm sau khi đào xong các mảng	38
3	<i>Hình 2.3.</i> Phương pháp đào theo bậc thang và bộ phận bậc thang	40
4	<i>Hình 2.4.</i> Phương pháp đào từng bộ phận (không vẽ neo)	42
5	<i>Hình 2.5.</i> Chia chiều dài đường hầm L thành các đoạn l	50
6	<i>Hình 2.6.</i> Bình đồ khu vực bố trí dự án hầm Đèo Cả	57
7	<i>Hình 2.7.</i> Mặt cắt ngang sau khi gia cố của hầm Đèo Cả	59
8	<i>Hình 2.8.</i> Trình tự thi công trong kết cấu chống đỡ loại B (đào toàn gương)	60
9	<i>Hình 2.9.</i> Tốc độ đào hầm trên toàn đoạn tuyến tính theo mô hình tiền định	61
10	<i>Hình 2.10.</i> Ảnh hưởng của các yếu tố hiệu quả đến tốc độ đào hầm	63
11	<i>Hình 2.11.</i> Ảnh hưởng của sự thay đổi của công suất máy xúc, vận tốc xe tải, sức chứa của xe tải và hệ số nở rời của đất đá đến tốc độ đào hầm	63
12	<i>Hình 3.1.</i> Các bước nghiên cứu mô phỏng	73
13	<i>Hình 3.2.</i> Sơ đồ ACD thông thường cho công đoạn vận chuyển đất	80
14	<i>Hình 3.3.</i> ACD mở rộng cho quá trình vận chuyển đất	81
15	<i>Hình 3.4.</i> Thông báo kết quả mô phỏng của EZStrobe	85
16	<i>Hình 3.5.</i> Thống kê chi tiết về lịch sử lượng tài nguyên của hàng đợi	86

<b>STT</b>	<b>Tên hình vẽ, đồ thị, bảng biểu</b>	<b>Trang</b>
17	<i>Hình 3.6.</i> ACD cho quá trình vận chuyển đất với sự cố và sửa chữa xe tải	86
18	<i>Hình 3.7.</i> ACD cho hoạt động vận chuyển đất với phân đoạn hẹp đơn hướng	87
19	<i>Hình 3.8.</i> Ảnh chụp nhanh hoạt hình EZStrobe	93
20	<i>Hình 4.1.</i> Các kích thước cơ bản của mặt cắt ngang hầm Đèo Cả	96
21	<i>Hình 4.2.</i> Phương án thi công chia đôi gương đào (bậc trên - bậc dưới)	97
22	<i>Hình 4.3.</i> Mô tả sự phối hợp các công tác khi thi công khai đào 2 bậc	98
23	<i>Hình 4.4.</i> Phương án gương chia 3 (bậc trên - bậc dưới; bậc dưới chia đôi)	99
24	<i>Hình 4.5.</i> Phương án gương chia 4 (bậc trên - bậc dưới; bậc dưới chia 3)	100
25	<i>Hình 4.6.</i> Sơ đồ nguyên lý hoạt động của quá trình đào hầm bằng khoan nổ	103
26	<i>Hình 4.7.</i> Mô hình mô phỏng quá trình đào hầm bằng khoan nổ trên EZStrobe	107
27	<i>Hình 4.8.</i> Khảo sát lựa chọn số lượng xe tải hợp lý trong dây chuyền bốc xúc đất đá	109
28	<i>Hình 4.9.</i> Các thông tin về hàng đợi máy xúc (Loader) sau khi chạy mô phỏng	110
29	<i>Hình 4.10a.</i> PA2: Mô hình mô phỏng chu kỳ đào hầm bậc trên	111
30	<i>Hình 4.10b.</i> PA2: Mô hình mô phỏng chu kỳ đào hầm bậc dưới	111
31	<i>Hình 4.11a.</i> PA3: Mô hình mô phỏng chu kỳ 1 đào hầm bậc trên	112
32	<i>Hình 4.11b.</i> PA3: Mô hình mô phỏng chu kỳ đào hầm bậc dưới - phần II	112

<b>STT</b>	<b>Tên hình vẽ, đồ thị, bảng biểu</b>	<b>Trang</b>
33	<i>Hình 4.11c.</i> PA3: Mô hình mô phỏng chu kỳ 2 đào hầm bậc trên	113
34	<i>Hình 4.11d.</i> PA3: Mô hình mô phỏng chu kỳ 2 đào hầm bậc dưới - phần III	113
35	<i>Hình 4.12a.</i> PA4: Mô hình mô phỏng chu kỳ 1 đào hầm bậc trên	114
36	<i>Hình 4.12b.</i> PA4: Mô hình mô phỏng chu kỳ đào hầm bậc dưới - phần II (ở giữa)	114
37	<i>Hình 4.12c.</i> PA4: Mô hình mô phỏng chu kỳ 2 đào hầm bậc trên	115
38	<i>Hình 4.12d.</i> PA4: Mô hình mô phỏng chu kỳ đào hầm bậc dưới - phần III+IV (hai bên)	115
39	<i>Hình 4.13.</i> Mật độ phân phối xác suất của tốc độ đào hầm 4 phương án thi công	116
40	<i>Hình 4.14.</i> Biểu đồ tiến độ một chu kỳ đào hầm (3m) theo phương án toàn gương	117
41	<i>Hình 4.15.</i> Biểu đồ tiến độ một chu kỳ đào hầm (3m) theo phương án gương chia 2	117
42	<i>Hình 4.16.</i> Biểu đồ tiến độ một chu kỳ đào hầm (4m) theo phương án gương chia 3	117
43	<i>Hình 4.17.</i> Biểu đồ tiến độ một chu kỳ đào hầm (4m) theo phương án gương chia 4	118
44	<i>Hình 4.18.</i> Mô hình mô phỏng đã mô hình hóa quá trình vận hành các xe máy thi công chủ yếu có xét đến khả năng sự cố thông thường	120
45	<i>Hình 4.19.</i> Biểu đồ ảnh hưởng của mức sự cố từng loại xe máy thi công đến tốc độ đào hầm theo phương án toàn gương	122
46	<i>Hình 4.20.</i> Biểu đồ ảnh hưởng của mức sự cố tổ hợp xe máy thi công đến tốc độ đào hầm theo phương án toàn gương	123

<b>STT</b>	<b>Tên hình vẽ, đồ thị, bảng biểu</b>	<b>Trang</b>
47	<i>Hình 4.21.</i> Kết quả khảo sát bằng mô phỏng ảnh hưởng của mức sự cố tổ hợp phương tiện đến tốc độ đào hầm của các phương án thi công	124
<b>II</b>	<b>Bảng biểu</b>	
1	<i>Bảng 2.1.</i> Các yếu tố ảnh hưởng đến năng suất xây dựng hầm	51
2	<i>Bảng 2.2.</i> Các tham số đầu vào được sử dụng trong tính toán tốc độ đào hầm của dự án Đèo Cả	60
3	<i>Bảng 2.3.</i> Tính thời gian chu kỳ của các công đoạn	61
4	<i>Bảng 3.1.</i> Công việc, điều kiện, kết quả của công đoạn vận chuyển đất và ký hiệu biểu diễn	80
5	<i>Bảng 3.2.</i> Các phân tử cơ bản của mô hình EZStrobe	82
6	<i>Bảng 4.1.</i> Các biến về tài nguyên sử dụng trong mô hình	105
7	<i>Bảng 4.2.</i> Phân phối xác suất thời lượng của các công việc sử dụng trong mô hình	105
8	<i>Bảng 4.3.</i> Thời gian chu kỳ và tốc độ đào xác định bằng mô phỏng	108
9	<i>Bảng 4.4.</i> Tốc độ đào của các phương án thi công xác định bằng mô phỏng (m/24h)	116
10	<i>Bảng 4.5.</i> Kết quả mô phỏng tốc độ đào hầm khi có sự cố từng loại xe máy thi công trong phương án đào toàn gương	121

## MỞ ĐẦU

### 1. Lý do chọn đề tài

Tại Việt Nam, thời gian qua đã xây dựng được các công trình ngầm có vai trò quan trọng góp phần phát triển kinh tế, xã hội, như hầm Thủ Thiêm (TP Hồ Chí Minh), hầm đường bộ qua đèo Hải Vân, dự án đường cao tốc Bắc Nam (đường sắt và đường bộ), hầm Đèo Cả... Các công trình thủy điện cũng được xây dựng nhiều để đáp ứng nhu cầu điện năng cho nền kinh tế quốc dân, trong đó có nhiều công trình thủy điện lớn như Sơn La, Sê San, Nậm Chiến, Đại Ninh... Các công trình ngầm trong nhiều lĩnh vực khác cũng đang và sẽ cần được xây dựng ở nước ta.

Quá trình xây dựng các công trình ngầm cũng là quá trình từng bước làm chủ công nghệ, trưởng thành và lớn mạnh của các doanh nghiệp xây dựng Việt Nam như Công ty cổ phần Sông Đà 10, Tổng công ty xây dựng Lũng Lô, Tổng công ty cổ phần Vinavico, Công ty cổ phần Cavico xây dựng cầu hầm... Tuy nhiên, so với các nhà thầu quốc tế thì các nhà thầu Việt Nam vẫn còn hạn chế về năng lực tài chính và trang, thiết bị thi công, do đó, làm giảm khả năng cạnh tranh khi đấu thầu quốc tế.

Trong thi công xây dựng các công trình ngầm nói chung, thi công bằng phương pháp khoan nổ mìn được áp dụng từ rất sớm và đến nay vẫn còn rất phổ biến do có nhiều ưu điểm so với các phương pháp khác. Mặt khác, trong quá trình thực hiện các dự án xây dựng đường hầm, một thực tế đặt ra là các nhà quản lý luôn mong muốn phải sớm hoàn thành đưa được công trình vào vận hành sử dụng. Tuy nhiên, với các nhà thầu, để đáp ứng được yêu cầu tiến độ trong khi năng lực tài chính, trang, thiết bị có hạn thì việc đáp ứng tiến độ thường bị xung đột với yêu cầu về tiết giảm chi phí và sử dụng hiệu quả tài nguyên mà các nhà thầu có trong tay. Công tác lập kế hoạch thi công hiện phổ biến theo các phương pháp truyền thống. Các phương pháp đó còn hạn chế về khả năng phân tích các kịch bản thay thế trong lập kế hoạch xây dựng vì tính chất tĩnh của mô hình hay buộc phải đơn giản hóa điều kiện đầu vào do khả năng của công cụ sử dụng. Vì vậy, thời hạn thi công do chủ đầu tư đưa ra và tiến độ thi công do nhà thầu lập khi lựa chọn nhà thầu thường chỉ là ước đoán, mang tính kinh nghiệm, đôi khi là thỏa hiệp mà chưa thực sự có cơ sở khoa học.

Từ thực tiễn nêu trên, vấn đề đặt ra là phải tìm ra phương pháp phù hợp trong lập kế hoạch xây dựng sao cho lựa chọn được phương án thi công đạt được yêu cầu nhanh nhất về tiến độ và các mục tiêu khác cho cả chủ đầu tư và các doanh nghiệp, trong điều kiện hạn hẹp về kinh phí và với khả năng của các trang, thiết bị hiện có. Làm được điều đó tức là góp phần nâng cao năng lực cạnh tranh của các nhà thầu xây dựng hầm Việt Nam trước yêu cầu của xu thế phát triển các công trình ngầm ở nước ta trong thời gian tới.

Từ lý do trên, đề tài của luận án được chọn là: *Nghiên cứu lựa chọn phương án thi công khoan nổ đường hầm bằng mô phỏng.*

## **2. Mục tiêu nghiên cứu**

Luận án nhằm hướng tới khám phá sức mạnh của kỹ thuật mô phỏng trong lập kế hoạch xây dựng, lựa chọn được công cụ có khả năng cao, hỗ trợ tốt cho quá trình ra quyết định, đồng thời phải là công cụ thân thiện, dễ sử dụng để giải quyết bài toán lựa chọn phương án thi công hợp lý khi đào đường hầm. Từ đó có thể ứng dụng kết quả vào thực tiễn, giúp cho các chủ đầu tư có cơ sở đề ra thời hạn thi công phù hợp cho quá trình lựa chọn nhà thầu; còn các nhà thầu trên cơ sở năng lực vật chất - kỹ thuật của mình sẽ đề xuất được phương án thi công có tính cạnh tranh cao nhất.

## **3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu**

- Đối tượng nghiên cứu: Quá trình lập kế hoạch và ra quyết định trong thi công đào hầm sử dụng phương pháp mô phỏng.

- Phạm vi nghiên cứu: Các loại công trình ngầm khẩu độ vừa và lớn thi công bằng phương pháp khoan nổ mìn, với năng lực hiện có về trang, thiết bị của các doanh nghiệp thi công hầm Việt Nam.

## **4. Phương pháp nghiên cứu**

Các phương pháp nghiên cứu sau đây được sử dụng trong luận án:

+ Phương pháp phân tích và tổng hợp lý thuyết: Các nghiên cứu về công nghệ và tổ chức thi công, các lý thuyết về phương pháp lập kế hoạch tiến độ thi công để lựa chọn phương pháp và công cụ thích hợp cho việc lập kế hoạch tiến độ thi công hầm bằng phương pháp khoan nổ mìn.



+ Phương pháp thu thập số liệu: Thu thập các số liệu liên quan đến các nhà thầu Việt Nam trong lĩnh vực thi công hầm; các dữ liệu về phương án thi công và quá trình thi công các đường hầm tiêu biểu ở Việt Nam.

+ Phương pháp thử nghiệm số: Dùng thử nghiệm số tiến hành khảo sát, đánh giá khả năng của công cụ được sử dụng, phân tích kết quả số nhận được để đưa ra những đánh giá định tính và định lượng.

## **5. Ý nghĩa khoa học và thực tiễn của đề tài**

- Ý nghĩa khoa học: Nghiên cứu đưa các yếu tố ngẫu nhiên vào quá trình lập kế hoạch thi công công trình ngầm, từ đó đưa ra phương pháp và công cụ lựa chọn phương án thi công đường hầm phù hợp, có tốc độ cao, năng suất tiên tiến, đạt hiệu quả với trang, thiết bị hiện có.

- Ý nghĩa thực tiễn: Kết quả nghiên cứu có thể là tài liệu tốt cho các đơn vị quản lý và thi công hầm tại Việt Nam trong việc ra quyết định lựa chọn phương án thi công hầm bằng khoan nổ mìn đạt hiệu quả cao.

## **6. Bố cục của luận án**

*Mở đầu:* Trình bày sự cần thiết, mục đích nghiên cứu, phương pháp nghiên cứu, đối tượng và phạm vi nghiên cứu, ý nghĩa của luận án, đóng góp của luận án và bố cục của luận án.

*Chương 1:* Tổng quan về vấn đề nghiên cứu.

Trong chương trình bày tổng quan về các phương pháp thi công đường hầm theo lịch sử phát triển của ngành xây dựng hầm trên thế giới và ở Việt Nam. Các phương pháp lập phương án thi công hầm hiện có được giới thiệu khái quát, trong đó nêu bật các ưu, nhược điểm của các phương pháp.

*Chương 2:* Thi công đường hầm bằng phương pháp khoan nổ mìn và mô hình tiền định của quá trình thi công.

Các công đoạn trong quá trình đào hầm bằng phương pháp khoan nổ mìn được tóm tắt, làm cơ sở cho việc xây dựng mô hình tiền định tốc độ đào hầm (tiền định và ngẫu nhiên). Một mô hình tiền định của quá trình thi công đào hầm được xây dựng và một trường hợp nghiên cứu điển hình được đưa vào để vận hành mô hình. Các kết

quả từ mô hình tiên định sẽ được sử dụng trong kiểm chứng mô hình mô phỏng và phân tích kết quả của mô hình mô phỏng.

*Chương 3: Cơ sở lý thuyết và thực tiễn của mô phỏng trong phân tích thời gian khai đào đường hầm.*

Đầu tiên, vấn đề bất định về thời gian công việc và ước lượng thời gian công việc trong thi công xây dựng hầm được trình bày. Đây là cơ sở để khẳng định sự cần thiết phải sử dụng công cụ mô phỏng trong phân tích thời gian hoàn thành quá trình xây dựng công trình. Cơ sở khoa học và thực tiễn về mô phỏng được giới thiệu tóm tắt. Phần chủ yếu của chương giới thiệu về ngôn ngữ mô phỏng STROBOSCOPE và chương trình mô phỏng EZStrobe. Chương trình sẽ được sử dụng để xây dựng và phát triển mô hình mô phỏng quá trình thi công đào hầm bằng phương pháp khoan nổ mìn nhằm giải quyết bài toán lựa chọn phương án thi công.

*Chương 4: Thử nghiệm số sử dụng chương trình mô phỏng EZStrobe phân tích các phương án đào hầm.*

Trên cơ sở lý thuyết về mô phỏng và chương trình mô phỏng EZStrobe được trình bày trong chương 3, chương này thực hiện xây dựng một mô hình mô phỏng quá trình đào hầm bằng phương pháp khoan nổ mìn cơ bản dựa trên phương pháp đào toàn gương, từ đó phát triển mô hình theo các kịch bản thi công chia gương. Thực hiện các thử nghiệm số cho trường hợp điển hình đã áp dụng đối với mô hình tiên định và đưa ra những nhận định, đánh giá cần thiết.

*Kết luận và kiến nghị:* Các vấn đề đã đạt được của luận án và các kiến nghị.

Danh mục các tài liệu tham khảo.

## Chương 1

### TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU

#### 1.1. Khái niệm chung về đường hầm

Hiện nay chưa có một định nghĩa chính thức về đường hầm. Theo Tiêu chuẩn an toàn và vệ sinh lao động của bang Queensland (Úc) [84], thì đường hầm (tunnel) là “một lối đi ngầm hoặc mở gần như nằm ngang và được bắt đầu tại bề mặt đất hoặc tại một hố đào”. Cũng theo tiêu chuẩn này, khu vực khai đào liên quan đến đường hầm bao gồm các giếng thẳng đứng và nghiêng cho phép đi vào các đường hầm hay tới cửa hầm, nơi các đường hầm nổi lên trên bề mặt hoặc tại một giếng, gian ngầm và các hầm trạm. Nhìn chung, đường hầm là loại công trình dưới mặt đất có chiều dài ít nhất gấp đôi chiều rộng, kín ở hai bên sườn và mở an toàn ở hai đầu [17]. Tùy theo chức năng, đường hầm có thể được phân thành các loại chính là: đường hầm giao thông, đường hầm thủy lợi, đường hầm công nghiệp - dân dụng và quân sự.

Đường hầm giao thông gồm đường dành cho người đi bộ và đường hầm trên các tuyến giao thông để vượt các chướng ngại vật như rừng núi, sông hồ, các khu dân cư, khu công nghiệp và các công trình đặc biệt khác. Một loại hình độc đáo của đường hầm giao thông là đường tàu điện ngầm, được xây dựng tại hầu hết các thành phố lớn trên thế giới như London, Paris, Berlin, Moskva... Đây là một loại hình vận tải công cộng có rất nhiều ưu điểm như: không tốn diện tích trên mặt đất, ít gây ô nhiễm cả về khí thải và tiếng ồn, hiệu quả và an toàn.

Đường hầm thủy lợi được xây dựng trên các tuyến kênh dẫn có tác dụng hạ thấp độ cao ở phía thượng lưu để cải thiện chế độ cấp nước cho các tuyến kênh. Một ví dụ là đường hầm dẫn nước ở các nhà máy thủy điện, có chiều dài từ vài trăm mét tới hàng chục cây số, với kích thước từ vài mét đến hàng chục mét, là một hạng mục rất quan trọng.

Đường hầm dân dụng và công nghiệp được xây dựng ở vùng núi hoặc trong các thành phố để khai thác khoáng sản, làm kho chứa vật liệu, vũ khí. Trong các thành phố lớn, đường hầm được xây dựng để đặt các hệ thống cáp điện lực hoặc cáp thông

tin, tạo thuận lợi cho việc quản lý, khai thác và bảo dưỡng; ngoài ra, còn được làm hệ thống thoát nước ngầm cho các thành phố.

## **1.2. Các phương pháp thi công đường hầm**

### ***1.2.1. Sơ lược lịch sử ngành xây dựng hầm trên thế giới***

Trước Công nguyên, ở Babilon, Ai Cập, Hy Lạp, La Mã các công trình ngầm đã được khai đào với mục đích khai khoáng, xây lăng mộ, nhà thờ, cấp nước, giao thông. Công trình ngầm được coi là lâu đời nhất trên thế giới là đường hầm xuyên qua sông Euphrates ở thành phố Babilon được xây dựng vào khoảng năm 2150 trước Công nguyên. Vào những năm 700 trước Công nguyên, một đường hầm dẫn nước đã được xây dựng ở đảo Samos, Hy Lạp. Hầu hết các hầm cổ xưa được xây dựng trong nền đá cứng, có dạng vòm giống như các hang động tự nhiên, không cần vỏ chống. Thi công hầm bằng công cụ thô sơ như chèo, xà beng và phương pháp nhiệt đơn giản: đốt nóng gương hầm, sau đó làm lạnh bằng nước [11, 72, 26].

Khi đế chế La Mã sụp đổ, một thời kỳ đình trệ tương đối trong việc xây dựng đường hầm xảy ra sau đó, và các đường hầm được xây dựng chủ yếu cho mục đích quân sự.

Ở giai đoạn tiếp theo, một số đường hầm đánh dấu sự phát triển chính cho đường hầm “hiện đại” (từ năm 1666) như sau [40]:

- Thuốc nổ (thuốc nổ đen) được ghi nhận lần đầu tiên được sử dụng trong xây dựng đường hầm là cho một đường hầm mở đầu của thời đại kênh đào. Công trình này được xây dựng trên kênh đào Canal du Midi - một kênh đào được xây dựng xuyên nước Pháp vào những năm 1666-1681 nối Đại Tây Dương với biển Địa Trung Hải. Đường hầm chính trên tuyến kênh này dài 157m với tiết diện hình chữ nhật là (6,5x8) m, và được xây dựng trong những năm 1679-1681.

- Ở Anh, sự phát triển của hệ thống kênh đào đã góp phần lớn thúc đẩy sự phát triển kỹ thuật xây dựng, và nó là một phần của cuộc cách mạng công nghiệp trong thế kỷ XVIII. Hai đường hầm quan trọng của thời kỳ này bao gồm đường hầm Harecastle dài 2.090m và đường hầm Standedge dài 5.000m. Đường hầm Harecastle là một phần của kênh Grand Trunk, được đào bằng thuốc nổ trong những năm 1770. Đường hầm

Standedge được xây dựng trong đá sa thạch cứng (millstone grit), do đó phải mất tới 17 năm để hoàn thành và nó được mở cửa vào năm 1811.

- Đường hầm đầu tiên bên dưới một tuyến đường thủy có tàu bè đi qua là một đường hầm dưới sông Thames ở London, giữa Rotherhithe và Wapping. Khi xây dựng, người ta sử dụng một khiên đào đường hầm được gọi là “khiên Brunel”, được thiết kế bởi Marc Brunel. Chức năng chính của tấm khiên này là hỗ trợ gương đào và cung cấp sự an toàn cho các thợ mỏ. Tấm khiên được làm từ gang (khoảng 80 tấn), rộng 11,6m, cao 6,8m và được tạo thành từ 12 khung song song, mỗi khung rộng 0,9m. Việc xây dựng đường hầm này bắt đầu năm 1825 và được hoàn thành vào năm 1842.

- Do sự xuất hiện của đường sắt, bắt đầu từ việc mở đường sắt Liverpool đến Manchester vào năm 1830, số lượng đường hầm đáng kể đã được xây dựng ở Anh. Từ năm 1830 đến 1890, hơn 50 đường hầm đường sắt dài hơn một dặm (1,61km) đã được hoàn thành. Có thể kể đến đường hầm Box có chiều dài 2937 m là đường hầm chính trên tuyến đường từ Bristol đến London. Nước ngầm là một vấn đề lớn khi thi công trên một số phần của đường hầm này, nhưng nó đã mở thành công vào năm 1841.

- Năm 1857 chứng kiến sự khởi đầu xây dựng đường hầm lớn đầu tiên ở khu vực núi cao của châu Âu. Đường hầm Fréjus dài 12.221m giữa Italia và Pháp, với một cửa hầm tại Bardonnèche (Italia) ở độ cao 1344 m so với mực nước biển và cửa kia tại Fourneaux (Pháp) ở độ cao 1202 m. Máy khoan đá được sử dụng rộng rãi trong dự án, trong đó máy khoan gắn bốn đến tám mũi khoan được cung cấp vào năm 1863 và được sử dụng cho đến khi hoàn thành dự án vào năm 1870.

- Gần như cùng lúc với các đường hầm Alps đầu tiên được xây dựng, dự án đường hầm Hoosac ở Massachusetts, Hoa Kỳ đã được triển khai (1855-1876). Nó còn được gọi là "lỗ khoan lớn (the Great Bore)". Đường hầm dài 7,44km (4,62 dặm) và được xây dựng chủ yếu là thông qua đá phiến và đá Gneis. Thời điểm năm 1865 tốc độ xây dựng rất chậm, chỉ đạt 0,32m mỗi ngày, nhưng sau đó đã được cải thiện với sự ra đời của máy khoan đá khí nén và đạt đến khoảng 1,65m mỗi ngày vào năm 1873.

- Năm 1869 là một năm quan trọng đối với việc xây dựng ngầm vì nó đánh dấu sự kết thúc thành công của tuyến tàu điện ngầm Tower ở London bằng cách sử

dụng một tấm khiên (được thiết kế bởi J. H. Greathead) và vỏ hầm bằng gang. Chiếc khiên được sử dụng là cơ sở của hầu hết tất cả các tấm khiên đường hầm sau này (nó có hình tròn so với khiên hình chữ nhật Brunel, được sử dụng trên Đường hầm Thames trước đó). Ở đây người ta còn kết hợp chèn vữa phía sau lớp lót gang để lấp đầy khoảng trống. Hệ thống này rất hiệu quả và cho phép đạt tiến độ 3m mỗi ngày. Đường hầm có đường kính 2,18m và dài 402m.

- Greathead đã thực hiện một số phát triển hơn nữa trong công nghệ khiên, bao gồm khiên mặt kín và dùng các tia nước phá vỡ kết cấu đất, tạo ra đất thải dưới dạng bùn, tức là tiền thân của khiên bùn. Một khiên bùn được sử dụng lần đầu tiên vào năm 1971 tại New Cross ở London, Vương quốc Anh.

- Năm 1869, Beach thiết kế và sử dụng lần đầu tiên kích thủy lực để đẩy khiên về phía trước tại Broadway (New York, Hoa Kỳ).

- Vào những năm 1880, một số phát triển trong các máy đào hầm kiểu xoay được ghi nhận như là một phần của những nỗ lực khác nhau tại Đường hầm Channel, Vương quốc Anh.

- Khí nén được sử dụng như một phương tiện ngăn nước chảy vào đường hầm trong quá trình xây dựng đường hầm sông Hudson ở New York và hầm được hoàn thành vào năm 1910. Gần như cùng lúc đó, Elbtunnel (cũ) đầu tiên dưới sông Elbe ở Hamburg cũng sử dụng khí nén trong quá trình xây dựng từ năm 1907 đến 1911. Đã có một vụ nổ khí nén vào năm 1909 với cột nước quan sát được cao tới 8m. Năm 1830, Lord Cochrane ở Anh đã đăng ký bằng sáng chế về làm việc trong khí nén.

- Việc sử dụng đầu tiên kết hợp giữa khiên và khí nén (cùng với lớp lót bằng gang đúc) là trên tuyến đường sắt thành phố và Nam London. Tuyến này được hoàn thành vào năm 1890 (hiện là một phần của tuyến phía Bắc trên hệ thống tàu điện ngầm London). Các đường hầm là các ống đôi có đường kính 3,1-3,13m. Hầu hết các đường ống London ban đầu được xây dựng bằng kỹ thuật đào mở.

- Đường hầm Posey ở California, Hoa Kỳ được xem đường hầm đường cao tốc đầu tiên sử dụng phương pháp xây dựng ống chìm, được mở vào năm 1928. Người

ta đã sử dụng ống thép dài 62m được bọc trong bê tông và hạ xuống một đường hào dưới lòng sông.

- Hàm dưới sông Mersey nối Liverpool tới Birkenhead, Vương quốc Anh, được xây dựng từ năm 1925 đến năm 1933, là đường hầm dưới nước lớn nhất từng được xây dựng tới thời điểm đó, với chiều dài 3,49 km và rộng đủ cho bốn làn xe lưu thông.

Trước chiến tranh thế giới lần thứ nhất, người ta đã xây dựng được 26 đường hầm giao thông có chiều dài lớn hơn 5km, trong đó có hầm dài nhất thế giới là hầm Simplon, dài 19780m. Vật liệu vỏ hầm chủ yếu là đá hộc vữa vôi hoặc vữa xi măng. Mãi đến những năm 70 của thế kỷ XX bê tông mới trở thành vật liệu chủ yếu trong xây dựng công trình ngầm. Sau chiến tranh thế giới lần thứ nhất, nhịp độ xây dựng hầm giảm đi vì hệ thống đường sắt đã tương đối hoàn chỉnh ở các nước châu Âu.

Cùng với hầm xuyên núi, hầm dưới nước cũng được xây dựng với mục đích giao thông đường sắt và đường bộ. Hầm dưới nước được xây dựng bằng phương pháp khiên đào kết hợp với khí nén có vỏ hầm là các tấm lắp ghép bằng gang đúc sẵn (vì chống chu-bin). Chỉ riêng ở New York đã có 19 hầm lớn dưới nước. Hầm dưới nước trên tuyến đường sắt đi dưới vịnh Simonoseki, Nhật Bản (1936-1941) dài 6.330m. Những năm gần đây, người ta đã xây dựng những đường hầm dưới nước xuyên biển dài kỷ lục, như hầm Seikan tại Nhật Bản, với 23,3km nằm dưới biển và chiều dài toàn tuyến là 53,85km, hầm qua eo biển Manche nối Anh và Pháp dài hơn 50km.

Tuyến đường tàu điện ngầm ở London, Anh vận hành năm 1853 là tuyến tàu điện ngầm đầu tiên trên thế giới, mở đầu thời kỳ xây dựng các hệ thống tàu điện ngầm trên các thành phố lớn của thế giới. Đến nay đã có trên 100 hệ thống tàu điện ngầm ở trên 30 nước [11].

### ***1.2.2. Các phương pháp thi công đường hầm phổ biến hiện nay***

Thi công đường hầm là thuật ngữ gọi chung phương pháp thi công xây dựng, kỹ thuật thi công và quản lý thi công các đường hầm và công trình ngầm.

Việc thi công các đường hầm bao gồm hai giai đoạn chính: đào đường hầm (bao gồm xây dựng đường hầm phụ trợ nếu cần thiết), thi công vỏ hầm và lắp đặt

thiết bị của đường hầm (hệ thống thông hơi, hệ thống chiếu sáng và an toàn, v.v.). Trong luận án này chỉ nghiên cứu ở giai đoạn thứ nhất.

Dựa vào tình hình tầng đất đá mà đường hầm xuyên qua và sự phát triển phương pháp thi công hầm hiện nay, phương pháp thi công hầm có thể được phân ra 2 nhóm: phương pháp đào mở (đào và lấp) và phương pháp đào kín. Trong luận án chỉ tóm tắt về nhóm đào kín với các phương pháp sau đây:

#### *1.2.2.1. Phương pháp mở truyền thống (khoan và nổ mìn truyền thống)*

Xây dựng hầm bao gồm hai quá trình chính: đào, tức là đào hầm có kèm theo việc dựng vì chống tạm trong trường hợp cần thiết và xây vỏ hầm: xây tường, xây vòm. Tùy thuộc vào đặc điểm của công trình và các điều kiện địa kỹ thuật, các quá trình này được thực hiện theo những trình tự khác nhau và mở các diện thi công dọc theo hầm khác nhau. Nội dung này xác định phương pháp thi công hầm [22].

Tên gọi "Phương pháp mở" có quan hệ tương hỗ với công nghiệp khai khoáng, ở đây thường sử dụng phương pháp đào hang truyền thống bằng khoan nổ mìn trong đá cứng cùng với các vì chống tạm rồi xây vỏ hầm vĩnh cửu [26, 22].

Khoan nổ mìn để xây dựng đường hầm có thể được sử dụng trong nhiều điều kiện địa chất, từ đá với cường độ thấp, ví dụ: Marl, Loam, Đất sét, Thạch cao, Phấn, đến các loại đá cứng nhất, chẳng hạn như đá Granit, Gneiss, đá Bazan hoặc Thạch anh. Do phạm vi có thể sử dụng lớn này, khoan nổ có thể thuận lợi cho các điều kiện nền đất rất thay đổi. Công việc khoan nổ và phạm vi chống đỡ của đường hầm có thể được điều chỉnh với mỗi gương đào nếu được yêu cầu.

Ngoài ra, việc đào đường hầm bằng phương pháp khoan nổ mìn thường được ưu tiên hơn so với sử dụng TBM hoặc máy đào lò trong một số trường hợp, ví dụ, đường hầm tương đối ngắn khiến cho việc chi phí đầu tư cao cho máy đào hầm là không kinh tế, hoặc khi độ cứng của đất đá rất cao cao đến mức các dụng cụ cắt gọt sẽ bị mòn rất nhanh dẫn đến sử dụng máy không hiệu quả. Khoan nổ còn được sử dụng cho thi công hầm trong trường hợp yêu cầu mặt cắt ngang khác với hình tròn, hoặc khi kích thước đường hầm yêu cầu rất lớn không cho phép áp dụng máy đào hầm vì lý do kinh tế hoặc kỹ thuật. Như với tất cả các phương pháp đào hầm khác,



phương pháp đào hầm sử dụng khoan nổ sẽ là kinh tế khi sử dụng các quy trình làm việc tương tự và liên tục. Do đó, khi lập kế hoạch cho một đường hầm, cách làm có lợi là chia đường hầm thành các phần có thể sử dụng cùng một lượt đồ tiến độ và cùng nhịp độ chống đỡ đường hầm. Nhược điểm của phương pháp này là trong quá trình khoan và nổ mìn, các quy trình công việc riêng lẻ chủ yếu được tiến hành tuần tự, điều này dẫn đến tốc độ đào hầm chậm hơn so với đào hầm sử dụng TBM [11].

#### *1.2.2.2. Phương pháp đào hầm mới của Áo*

Phương pháp đào hầm mới của Áo (New Austrian Tunnelling Method - NATM) được phát triển bởi các kỹ sư người Áo là Ladislaus von Rabcewicz, Leopold Müller và Franz Pacher trong những năm 1950. Tên của phương pháp được giới thiệu vào năm 1962 để phân biệt với “Austrian Tunnelling Method”, ngày nay được gọi là “Phương pháp đào hầm cũ của Áo”, một phương pháp khai đào sử dụng gỗ chống tạm tương tự như các phương pháp đường hầm Bỉ, Đức và Anh [40].

Trong phương pháp NATM, việc khai đào đường hầm vẫn thực hiện bằng phương pháp khoan nổ mìn, nhưng kết cấu chống tạm bằng gỗ, thép... được thay bằng kết cấu neo và bê tông phun, hình thành liên kết toàn phần giữa khối đá và kết cấu chống tạm, đồng thời giám sát đo đạc không chế biến dạng của khối đất đá. Ảnh hưởng của yếu tố thời gian, liên quan với sự phát triển của áp lực và thời gian tồn tại ổn định không chống của khối đá, được hạn chế một cách cơ bản. Cũng nhờ đó ngay cả trong trường hợp gặp khối đá xấu vẫn có thể thi công đào toàn gương và so với phương pháp truyền thống, đây thực sự là một tiến bộ lớn. Phương pháp NATM đã được áp dụng rộng rãi trong thi công hầm trên thế giới.

#### *1.2.2.3. Phương pháp dùng các loại máy đào hầm*

Hiện nay có khá nhiều công nghệ trong kỹ thuật đào kín. Theo đó, kỹ thuật đào kín được phân thành 3 nhóm công nghệ chính: (1) khoan đào ngang; (2) kích đẩy; (3) sử dụng các TBM [2].

Nhóm công nghệ khoan đào ngang bao gồm các công nghệ trong đó việc đào hầm được thực hiện nhờ các thiết bị máy móc, không cho công nhân vào bên trong hầm. Nhóm này được chia thành:

- Công nghệ khoan guồng xoắn (Auger Boring-AB);
- Công nghệ khoan định hướng ngang (Horizontal Directional Drilling-HDD);
- Công nghệ đào hầm nhỏ (MicroTunneling-MT);
- Công nghệ đóng ống (Pipe Ramming-PR).

Cả hai công nghệ kích đẩy (Pipe Jacking-PJ) và sử dụng máy đào hầm TBM (Tunnelling Boring Machine) đều yêu cầu công nhân vào bên trong hầm trong quá trình đào đất và quá trình thi công. Tuy nhiên, công nghệ kích đẩy khác với công nghệ TBM ở kết cấu chống đỡ thành hầm. Công nghệ kích đẩy sử dụng những đoạn vỏ hầm được chế tạo sẵn, các đoạn vỏ hầm mới được nối tiếp và đẩy vào trong đất nhờ hệ thống kích đẩy đặt tại giếng điều khiển kết hợp với đào đất. Trong khi đó công nghệ TBM sử dụng các thiết bị máy đào để đào đất, kết cấu chống đỡ được thi công ngay tại bên trong công trình ngầm [2].

Ngoài cách phân loại các phương pháp thi công nêu trên, người ta còn dùng cách phân loại khác đối với nhóm đào kín, đó là chia thành phương pháp đào hầm thông thường và đào hầm bằng máy đào hầm [55]:

- Theo định nghĩa của Hiệp hội xây dựng hầm quốc tế (ITA), công nghệ đào hầm thông thường là xây dựng các đường hầm dưới mọi hình dạng với quy trình xây dựng theo chu kỳ:

+ Đào đất bằng cách sử dụng phương pháp khoan nổ mìn hoặc dùng máy đào (máy cắt gọt, máy đào gầu xúc, máy cắt thủy lực...);

+ Dọn dẹp đất đá thải;

+ Lắp đặt các thành phần kết cấu chống đỡ chính như: khung thép, neo, bê tông phun không hoặc có gia cố lưới thép.

- Cũng theo ITA, đào hầm bằng máy là kỹ thuật đào hầm bằng thiết bị có lưỡi cắt cào hoặc đĩa cắt (xoay hoặc không xoay).

Kỹ thuật thi công đường hầm chủ yếu nghiên cứu giải quyết các phương án và biện pháp kỹ thuật cần thiết cho các loại phương pháp thi công đường hầm nói trên (như phương án và biện pháp thi công đào, tiến gương, chống giữ tạm và gia cố, xây vỏ); biện pháp thi công khi đường hầm đi qua các vùng địa chất đặc biệt (như đất trương

nở, hang động karst, đất sụt, cát chảy, tầng đất có khí mêtan...); phương pháp và các phương thức thông gió, chống bụi, phòng khí độc, chiếu sáng, cung cấp điện nước và các phương pháp đo đạc, giám sát, khống chế đối với các thay đổi địa chất của hầm.

Quản lý, thi công đường hầm chủ yếu giải quyết thiết kế tổ chức thi công (như lựa chọn phương án thi công, biện pháp kỹ thuật thi công, bố trí hiện trường, khống chế tiến độ, cung ứng vật liệu, lao động, máy móc...) và một số vấn đề khác như quản lý kỹ thuật, kế hoạch, chất lượng, kinh tế...

### **1.3. Tóm tắt lịch sử ngành xây dựng hầm ở Việt Nam và xu thế phát triển**

#### ***1.3.1. Lịch sử ngành xây dựng hầm ở Việt Nam***

Lịch sử xây dựng công trình ngầm ở Việt Nam xuất hiện tương đối muộn so với thế giới. Các đường hầm được biết đến trong giai đoạn người Pháp tiến hành khai thác thuộc địa cuối thế kỷ XIX, đầu thế kỷ XX. Khi đó, các tuyến giao thông đường bộ và đường sắt được xây dựng trên khắp Việt Nam. Tuy nhiên, hầm giao thông chỉ được xây dựng trên các tuyến đường sắt, cụ thể là:

- Tuyến đường sắt Bắc - Nam từ Hà Nội vào Sài Gòn được xây dựng từ năm 1888 đến năm 1936 với tổng chiều dài 1.726km. Tổng số hầm trên tuyến là 27 hầm với tổng chiều dài 8.335 m, đánh số thứ tự từ Bắc vào Nam. Hầm số 1 nằm tại khu gian Ngọc Lâm - Lạc Sơn (tỉnh Quảng Bình) và hầm số 27 (cuối cùng) nằm tại khu gian Lương Sơn - Nha Trang (tỉnh Khánh Hòa). Hầm dài nhất là hầm số 18 có tên gọi hầm Babonneau (còn gọi là hầm Đèo Cả) dài 1.197 m. Hầm Liên Chiểu (hầm đầu nam đầu tiên của Hải Vân) dài thứ hai ở Việt Nam (khoảng 945 m) [28].

- Ở phía Bắc tuyến Hà Nội - Lạng Sơn có 8 hầm với tổng chiều dài là 3.133,4m.

- Tuyến đường sắt Phan Rang - Đà Lạt được người Pháp nghiên cứu từ năm 1898 và khởi công xây dựng năm 1908 theo lệnh của toàn quyền Paul Doumer. Đến năm 1932 chính thức hoàn thành toàn tuyến với chiều dài 89 km. Trên tuyến có 5 đường hầm với tổng chiều dài 1.090 m, dài nhất là hầm số 3 (630 m) trên đoạn Trạm Hành - Cầu Đất. Tuyến này đã bị ngưng hoạt động từ năm 1972 [24].

Trước Cách mạng Tháng Tám còn ghi nhận năm 1930 có xây dựng hầm giao thông thủy Rú Cóc (ở xã Nam Sơn, huyện Anh Sơn, tỉnh Nghệ An), hầm ngầm xuyên

qua núi giúp cho thuyền bè đi lại từ phía thượng lưu xuống hạ lưu sông Lam để tránh đi qua đập nước Đô Lương [11, 26].

Trong thời gian chống Pháp và chống Mỹ, đã có nhiều công trình ngầm được xây dựng phục vụ quốc phòng nhưng không được công bố, ngoài ra còn có một số hầm cũng được xây dựng để khai thác than và khoáng sản [11, 26].

Sau năm 1975, kỹ thuật thi công hầm bắt đầu một chương mới với việc xây dựng thủy điện Sông Đà - nhà máy thủy điện ngầm lớn nhất Đông Nam Á (1979-1994). Tổ hợp công trình ngầm thủy điện Hòa Bình được bố trí tập trung thành một hệ thống liên hoàn thuận tiện theo địa hình của tuyến đập Hòa Bình, phù hợp với tình hình địa chất, đảm bảo ổn định cho công trình và đặc biệt thuận lợi cho việc vận hành, chuyển tải điện lên hệ thống phân phối, các trạm biến thế 110 kV, 220 kV và 500 kV trong cùng một khu vực tại bờ trái sông Đà. Toàn bộ hệ thống công trình ngầm được đặt dưới núi nhô ra sông có nền đá liên tục gọi là đồi 206. Việc bố trí toàn bộ công trình năng lượng ở bờ trái đã có nhiều ưu điểm như sử dụng được công trình ngầm thoát lũ trong giai đoạn thi công để làm ống xả tổ máy 1 và 2 trong thời gian đầu vận hành, khi mà toàn bộ tuyến năng lượng chưa thể hoàn chỉnh được. Tổ hợp công trình ngầm bao gồm 83 hạng mục công nghệ và vận hành lâu dài và 32 hạng mục công trình để thi công. Một số thông tin chính về hệ thống này được tác giả Phan Đình Đại ghi lại như sau [8]:

- Gian máy nhà máy thủy điện gồm 8 tổ máy, công suất mỗi tổ là 240 MW, có kích thước đào khá lớn với chiều cao từ đáy ống hút đến đỉnh vòm gian máy là 53m, chiều rộng 22m và chiều dài 280m.

- Hầm trạm biến thế là hầm lớn thứ 2 có kích thước cao 20m, rộng 15m đặt 8 máy biến thế điện, chạy dọc song song với gian máy.

- 8 hầm dẫn nước vào có đường kính 8m dốc 45<sup>0</sup>.

- 3 hầm xả gọi là hầm dẫn nước ra của nhà máy có kích thước lớn hình loe cao 19m, rộng 17m, mỗi hầm dùng để thoát nước cho 2 tổ máy. Riêng tổ máy 1 và 2 dùng đường hầm xả lũ thi công làm hầm xả.

- Hệ thống công trình ngầm có tổng chiều dài theo thiết kế là 14.200m và khối lượng đá phải đào là 1.177.000m<sup>3</sup>.

Lần đầu tiên ngành thi công hầm Việt Nam thực hiện công tác đào ngầm và đổ bê tông ngầm trong điều kiện vô cùng khó khăn sau thời kỳ chiến tranh ác liệt ở nước ta. Nhờ sự giúp đỡ của Liên Xô (trước đây), tập thể kỹ sư và công nhân Việt Nam vừa học, vừa làm, đã sáng tạo cách làm phù hợp để hoàn thành xây lắp một nhà máy thủy điện ngầm chất lượng tốt, đảm bảo vận hành an toàn và có kỹ, mỹ thuật cao. Tập thể đó đã nhanh chóng trưởng thành, sau khi xây dựng xong công trình thủy điện Hòa Bình đã trở thành lực lượng chủ yếu để xây dựng các công trình quan trọng khác của đất nước như công trình thủy điện Yaly, Đa Mi, Hàm Thuận v.v...

Về đường hầm giao thông, năm 1995-1997, chúng ta cũng xây dựng hầm đường bộ Dốc Xây dài khoảng 100m khi nâng cấp quốc lộ 1A, tại khu vực giáp ranh tỉnh Ninh Bình và Thanh Hóa [11, 26].

Quá trình xây dựng hầm ở Việt Nam chỉ thực sự được phát triển từ đầu những năm 2000 trở lại đây với một loạt các công trình hầm phục vụ cho giao thông, thủy điện - thủy lợi. Trong hai năm 2001-2002, hầm A Roàng 1 nằm trên đường Hồ Chí Minh với chiều dài 453 m, tiếp đó là A Roàng 2 với chiều dài 150m được hoàn thành, cả hai hầm có chiều rộng 10 m, chiều cao 7 m. Tháng 6 năm 2005, hầm đường bộ Hải Vân với chiều dài 6.280 m, chiều rộng 10m, chiều cao 7,5 m cũng được đưa vào sử dụng. Hầm đường bộ Đèo Ngang dài 495 m có chiều rộng 11,9 m, cao 7,5 m với 6 làn xe, mỗi làn rộng 3,5 m hoàn thành vào tháng 8 năm 2004. Cùng với đó là rất nhiều đường hầm thủy điện cũng được thi công và đưa vào sử dụng như: đường hầm thủy điện Đại Ninh có chiều dài 11.254 m, đường kính 4,5 m; đường hầm thủy điện Buôn Kuốp trên sông Sêrêpôk có chiều dài gần 9km...

Trong một vài năm gần đây với nhu cầu đầu tư về hạ tầng giao thông ngày càng tăng, chúng ta đã thi công một số hầm phục vụ giao thông như hầm Thủ Thiêm vượt sông Sài Gòn thông xe năm 2011, hầm Đèo Cả dài 4,1km được đưa vào sử dụng tháng 8 năm 2017, hầm Cổ Mã, hầm Cù Mông... và đặc biệt là thi công mở rộng đường hầm Hải Vân.

Đường sắt đô thị cũng bắt đầu được quan tâm quy hoạch và triển khai xây dựng. Có 2 tuyến hầm đường sắt đô thị đang xây dựng là Bến Thành - Suối Tiên (thành phố Hồ Chí Minh) và Nhôn - Ga Hà Nội (Hà Nội).

### ***1.3.2. Những tiến bộ của ngành xây dựng hầm Việt Nam***

Cùng với sự phát triển chung của đất nước, ngành xây dựng hầm ở Việt Nam cũng có sự phát triển vượt bậc trong những năm qua. Từ chỗ hầu hết các công trình xây dựng hầm ở nước ta chủ yếu thi công theo các phương pháp thi công khoan nổ truyền thống thì cho đến nay những người xây dựng hầm Việt Nam đã và đang làm chủ những công nghệ thi công hầm hiện đại như công nghệ thi công hầm theo phương pháp NATM, công nghệ TBM, công nghệ hầm chìm...

Với công nghệ thi công hầm theo phương pháp NATM, phương pháp làm hầm mới của Áo này rất tiên tiến và phổ quát trong nhiều loại địa hình, địa chất. Các công nhân, kỹ sư người Việt lần đầu tiếp cận phương pháp này vào năm 2000 ở hầm Hải Vân. Phương pháp NATM lấy phun bê tông và neo làm biện pháp gia cố, chống giữ chủ yếu, thông qua giám sát đo đạc khống chế biến dạng giới hạn, tiện cho việc phát huy phương pháp thi công tận dụng khả năng tự mang tải của khối đá xung quanh... Khi triển khai dự án hầm Hải Vân, toàn bộ các khâu từ thiết kế, thi công, giám sát đều do người Nhật đảm nhận. Người Việt chỉ tham gia với tư cách nhà thầu phụ. Thế nhưng, chúng ta đã học rất nhanh. Đến khi thực hiện hầm đèo Ngang, hơn một nửa công việc do người Việt đảm nhận. Đến dự án hầm đèo Cả, người Việt đã vươn lên làm chủ công nghệ khoan hầm này. Chỉ một số ít chuyên gia Nhật Bản giúp sức trong khâu tư vấn thiết kế và tư vấn giám sát, còn lại toàn bộ đều do các chuyên gia, kỹ sư người Việt đảm nhận. Đến công trình hầm Cù Mông và hầm Hải Vân 2 thì đảm nhiệm toàn bộ là công nhân, kỹ sư người Việt [29].

Ở Việt Nam công nghệ thi công hầm bằng máy khoan hầm toàn gương TBM (Tunnel Boring Machine) được áp dụng lần đầu tiên vào năm 2004, ở thủy điện Đại Ninh. Đó là hệ thống thiết bị TBM do Ý sản xuất theo công nghệ hiện đại nhất thế giới có giá trị trên 8 triệu bảng Anh. Theo các chuyên gia, hệ thống TBM được gắn 37 mũi khoan đặc biệt ở phần đầu và một hệ thống băng chuyền dài 190m nên có khả

năng thi công hoàn chỉnh 1,3m chiều dài đường hầm có đường kính rộng 5,8m chỉ trong 20 phút, trong khi đó nếu theo phương pháp truyền thống phải mất 24 giờ mới hoàn thành được 7m đường hầm. Tuy nhiên khi đó những người điều hành là Nhật (Nhà thầu Cty KUMAGAI Nhật), người vận hành TBM và các công tác phụ trợ đến từ các nước khác, người Việt Nam chỉ hỗ trợ.

Sau này một Công ty của Việt Nam là Công ty cổ phần xây dựng 47 (Bộ Nông nghiệp và phát triển nông thôn), thực hiện việc khoan hầm bằng TBM cho dự án thủy điện Đa Nhim mở rộng tại Lâm Đồng và thủy điện Thượng KonTum. Người của công ty được hướng dẫn và vận hành dưới sự chỉ đạo của bên cung cấp máy TBM là hãng Robbins.

Một công ty khác là FECON, cũng có đội ngũ được đưa đi nước ngoài đào tạo và hướng dẫn bài bản. Và vào tháng 5/2017, FECON đã gây ấn tượng mạnh với giới chuyên môn khi trở thành nhà thầu Việt Nam đầu tiên tham gia vận hành robot đào hầm TBM tại dự án đường sắt đô thị thành phố Hồ Chí Minh tuyến số 1 đoạn Bến Thành - Suối Tiên dưới sự hướng dẫn và chuyển giao công nghệ của các chuyên gia Nhật Bản [15].

Với công nghệ hầm chìm, đây là một phương pháp thi công nhanh và hiệu quả, được nhiều nước trên thế giới áp dụng, đặc biệt là ở Nhật Bản, đất nước có nhiều đảo và họ đã làm rất thành công. Ở Úc, Hồng Kông cũng đã làm hầm chìm. Ở Việt Nam và Đông Nam Á thì hầm Thủ Thiêm là hầm chìm đầu tiên. Obayashi (Nhật Bản) là một tập đoàn lớn có kinh nghiệm về thi công hầm chìm, đây cũng là đơn vị thầu xây dựng công trình này. Tuy là do nhà thầu nước ngoài thi công nhưng thông qua quá trình này, những kiến thức, kinh nghiệm thực tiễn vô cùng quý giá về kỹ thuật, công nghệ lai đất, thi công lắp đặt hầm chìm... đã được tích lũy, đúc kết và một đội ngũ chuyên gia, cán bộ, công nhân kỹ thuật trong lĩnh vực thi công hầm chìm đã được hình thành, tạo tiền đề cho sự phát triển ngành xây dựng cầu, hầm và giao thông vận tải của thành phố Hồ Chí Minh nói riêng, cả nước nói chung.

Ngoài ra hiện nay ngành xây dựng hầm ở nước ta cũng đã và đang tiếp cận với công nghệ thi công hầm hiện đại khác như phương pháp kích đẩy (Pipe jacking/ Microtunnelling).

### ***1.3.3. Xu thế phát triển và vấn đề công nghệ thi công***

#### ***1.3.3.1. Về công trình ngầm đô thị***

Trên thế giới, việc phát triển công trình ngầm đô thị đã có từ rất lâu. Việc phát triển công trình ngầm trong đô thị không chỉ là giao thông ngầm mà nó còn bao gồm rất nhiều hạng mục công trình khác như: hệ thống nhà ga và đường tải điện ngầm, gara ô tô và bãi đỗ xe ngầm, hầm giao thông đường bộ, tầng hầm nhà cao tầng, các trung tâm văn hoá thương mại, dịch vụ ngầm, hệ thống kỹ thuật đa năng, hệ thống thoát nước lớn, các công trình phòng vệ dân sự... Nhiều đô thị có công trình ngầm không xây dựng hệ thống đường dây, đường ống, các tuyến đường tàu điện ngầm, bãi đỗ xe, hầm đường ô tô, đường bộ hiện đại mà đang cho ra đời những “đô thị ngầm”, thành phố phát triển hướng về phía dưới mặt đất trả lại một phần bề mặt Trái Đất tự nhiên ban đầu [10].

Tại Việt Nam, trong những năm gần đây, tốc độ đô thị hoá của nước ta ngày càng nhanh, hệ thống đô thị phát triển cả về số lượng, chất lượng và quy mô. Đặc biệt là ở các đô thị lớn như thành phố Hồ Chí Minh và Hà Nội, tốc độ phát triển nóng tạo ra các áp lực về hạ tầng đô thị, về nhà ở, văn phòng, giao thông đô thị và không gian công cộng trong đô thị... Quỹ đất bề mặt của các đô thị lớn đã ở tình trạng gần như cạn kiệt, các không gian xanh, không gian công cộng ngày càng bị thu hẹp, khiến người dân đô thị cảm thấy bức bối... Những điều này cộng với nhu cầu về tính văn minh, hiện đại và mỹ quan đô thị đã và đang đòi hỏi việc phát triển phải hướng đến khả năng tận dụng, phát triển song song cả về chiều cao lẫn chiều sâu của đô thị. Trong đó, vấn đề về chiều cao đô thị đã được chú ý phát triển trong những năm gần đây nhưng vấn đề chiều sâu, vấn đề không gian ngầm thì dường như chưa được chú ý đến. Những điều này dẫn đến một thực trạng hết sức bất cập trong việc phát triển không gian ngầm đô thị - một xu thế tất yếu mà chúng ta phải tính toán đến.

Theo Quy hoạch chung xây dựng Thủ đô đến năm 2030 và tầm nhìn đến năm 2050 [4], mạng lưới đường sắt đô thị gồm 8 tuyến với tổng chiều dài khoảng 318 km, trong đó các tuyến 2, 3, 4 và 5 có đường ngầm. Còn theo Quy hoạch chung xây dựng thành phố Hồ Chí Minh đến năm 2025 [5], 6 tuyến đường ngầm cũng được quy hoạch



xây dựng. Các thành phố lớn khác như Hải Phòng, Đà Nẵng... cũng dự kiến xây dựng tàu điện ngầm. Bên cạnh đó, nhu cầu về hệ thống đường hầm kỹ thuật, hạ tầng cơ sở (thoát nước, đặt đường dây...) cũng rất lớn. Để xây dựng các không gian ngầm trong thành phố trong điều kiện thi công chật hẹp, rất hạn chế việc sử dụng phương pháp đào mở. Do đó, các biện pháp kỹ thuật thi công chủ yếu là sử dụng TBM và công nghệ kích đẩy ống Pipe Jacking.

#### *1.3.3.2. Về hệ thống hầm giao thông trên quốc lộ, cao tốc, đường sắt và hầm thủy điện*

Theo Quy hoạch phát triển giao thông vận tải đường bộ đến năm 2020 và định hướng đến 2030 được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt [6], quy hoạch xác lập mạng đường bộ cao tốc Việt Nam gồm 21 tuyến với tổng chiều dài 6.411 km, trong đó có rất nhiều công trình hầm được dự kiến xây dựng trên các tuyến cao tốc trong quy hoạch như: Tuyến cao tốc Bắc - Nam gồm 02 tuyến với tổng chiều dài khoảng 3.083 km với dự kiến số hầm được xây dựng trên tuyến là 27 hầm. Các tuyến cao tốc dự kiến xây dựng như cao tốc Đông Đăng (Lạng Sơn) - Trà Lĩnh (Cao Bằng), cao tốc Quy Nhơn (Bình Định) - Pleiku (Gia Lai), cao tốc Dầu Giây (Đồng Nai) - Đà Lạt (Lâm Đồng)... khi xây dựng cũng sẽ có một số hầm giao thông trên tuyến.

Về đường sắt, theo báo cáo Nghiên cứu lập dự án cho các dự án đường sắt cao tốc đoạn Hà Nội - Vinh và thành phố Hồ Chí Minh - Nha Trang thì trên đoạn Hà Nội - Vinh sẽ có 8 vị trí xây dựng hầm với tổng chiều dài trên tuyến hầm là 15,4km, còn trên đoạn tuyến từ thành phố Hồ Chí Minh - Nha Trang dự kiến có 9 vị trí xây dựng hầm với tổng chiều dài trên tuyến hầm là 34,279km [3].

Về hầm thủy điện, theo thống kê quy hoạch các dự án thủy điện trên bậc thang các sông lớn, đến nay, các cấp có thẩm quyền đã phê duyệt quy hoạch tổng số 110 dự án thủy điện bậc thang có tổng công suất 17.540 MW. Trong đó, đã đưa vào vận hành khai thác 68 dự án, đang thi công xây dựng 25 dự án, đang nghiên cứu đầu tư 14 dự án, chưa nghiên cứu đầu tư 3 dự án [27].

Quy hoạch thủy điện nhỏ: Tính đến hết tháng 6 năm 2017, công tác rà soát thủy điện nhỏ về cơ bản đã tương đối đầy đủ, chi tiết trên phạm vi cả nước, đảm bảo các yêu cầu Nghị quyết 62 của Quốc hội. Tổng thể quy hoạch thủy điện nhỏ trên địa

bàn toàn quốc sau rà soát là 713 dự án với tổng công suất 7.217,64 MW. Trong đó, đã đưa vào vận hành khai thác 264 dự án, đang thi công xây dựng 146 dự án, đang nghiên cứu đầu tư 250 dự án, chưa nghiên cứu đầu tư 53 dự án [27].

Như vậy với gần 300 dự án đang nghiên cứu đầu tư xây dựng thì số hầm thủy điện sẽ trong thời gian tới là rất lớn. Ngoài ra, trong khai thác mỏ hàng năm Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam duy trì đào từ 230.000-250.000 m hầm lò. Với các dự án hầm giao thông, hầm thủy điện và hầm lò khai thác mỏ, phương pháp thi công bằng khoan nổ (bao gồm khoan nổ truyền thống và phương pháp Áo mới) vẫn sẽ là lựa chọn hàng đầu do đặc điểm kỹ thuật và tính kinh tế của phương pháp. Bên cạnh đó, máy đào cũng dần được đưa vào sử dụng làm đa dạng hơn các phương án thi công nhưng cũng sẽ là một thách thức đối với các nhà thầu Việt Nam cả về trình độ kỹ thuật lẫn về vốn đầu tư.

#### **1.4. Vấn đề lập và lựa chọn phương án thi công trong thi công công trình ngầm**

##### **1.4.1. Những vấn đề chung**

###### *1.4.1.1. Khái niệm*

- *Phương án*: Trong “Từ điển tiếng Việt” của Viện ngôn ngữ học do giáo sư Hoàng Phê chủ biên [21] định nghĩa là “Dự kiến về cách thức, trình tự tiến hành công việc trong hoàn cảnh, điều kiện nhất định nào đó”. Trong Từ điển Bách khoa Việt Nam [16] định nghĩa là “Một trong nhiều giải pháp (về quy hoạch, kiến trúc, công nghệ, kết cấu...) được đưa ra giúp cho việc lựa chọn và tìm đến một giải pháp tối ưu”. Ở đây, *giải pháp* được hiểu là “phương pháp giải quyết một vấn đề cụ thể nào đó” [21] (tài liệu [16] không có mục từ giải pháp).

- *Phương pháp*: Cũng trong tài liệu [21] định nghĩa là “1. Cách thức nhận thức, nghiên cứu hiện tượng của tự nhiên và đời sống xã hội; 2. Hệ thống các cách sử dụng để tiến hành một hoạt động nào đó”.

- *Kế hoạch*: là “Toàn bộ những điều vạch ra một cách có hệ thống về những công việc dự định làm trong một thời gian nhất định, với mục tiêu, cách thức, trình tự, thời gian tiến hành” [21].

Từ các khái niệm kể trên, có thể rút ra:

- Thứ nhất, khái niệm “phương án” bao hàm cả khái niệm “phương pháp” và có nội hàm tương đối rộng. Trong luận án này chỉ sử dụng khái niệm phương án thi công đào kín với phương pháp đào hầm bằng khoan nổ mìn mà không so sánh, lựa chọn các phương án thi công với các phương pháp đào khác nhau trong nhóm đào kín như đã trình bày ở trên.

- Thứ hai, việc lập một phương án thi công, thực chất là lập một kế hoạch thi công với những ràng buộc định trước (hoàn cảnh, điều kiện nhất định). Do vậy, hai khái niệm này trong phạm vi hẹp có thể dùng tương đương/thay thế nhau.

#### *1.4.1.2. Nội dung của lập phương án thi công [51, 71]*

Lập phương án thi công là công tác trong giai đoạn chuẩn bị, là một nội dung quan trọng trong quản lý dự án cũng như tổ chức quá trình sản xuất xây dựng, còn gọi là lập kế hoạch xây dựng. Lập kế hoạch xây dựng/phương án thi công là một hoạt động cơ bản và đầy thách thức trong việc quản lý và thực hiện các dự án xây dựng. Nó liên quan đến việc lựa chọn công nghệ, định nghĩa về các nhiệm vụ công việc, ước tính các nguồn lực và thời lượng cần thiết cho các nhiệm vụ riêng lẻ và xác định bất kỳ tương tác nào giữa các nhiệm vụ công việc khác nhau. Một kế hoạch xây dựng tốt là cơ sở để phát triển ngân sách và tiến độ cho công việc. Phát triển kế hoạch xây dựng là một nhiệm vụ quan trọng trong quản lý xây dựng, ngay cả khi kế hoạch không được viết hoặc ghi lại chính thức. Ngoài các khía cạnh kỹ thuật của kế hoạch xây dựng, cũng có thể cần đưa ra quyết định của tổ chức về mối quan hệ giữa những người tham gia dự án và thậm chí cả tổ chức nào sẽ đưa vào dự án. Ví dụ, mức độ mà các nhà thầu phụ sẽ được sử dụng trong một dự án thường được xác định trong quá trình lập kế hoạch xây dựng.

Các khía cạnh thiết yếu của lập kế hoạch xây dựng bao gồm việc xác định các hoạt động cần thiết, phân tích ý nghĩa của các hoạt động này và lựa chọn sự thay thế các phương tiện khác nhau để thực hiện các hoạt động. Ở đây, người lập kế hoạch xây dựng cũng phải đối mặt với vấn đề quy tắc là chọn ra phương án tốt nhất trong số nhiều phương án thay thế. Điều khó khăn là người lập kế hoạch phải tưởng tượng ra công trình cuối cùng như được mô tả trong các bản vẽ và thông số kỹ thuật.

Khi phát triển một kế hoạch xây dựng, người ta thường nhấn mạnh sự quan tâm chính vào kiểm soát chi phí hoặc kiểm soát tiến độ. Một số dự án chủ yếu được chia thành các hạng mục kinh phí với chi phí liên quan. Trong những trường hợp đó, lập kế hoạch xây dựng là định hướng kinh phí hoặc định hướng chi phí. Đối với các dự án khác, việc lên lịch cho các hoạt động công việc theo thời gian là rất quan trọng và được nhấn mạnh trong quy trình lập kế hoạch. Trong trường hợp này, người lập kế hoạch đảm bảo rằng các ưu tiên thích hợp trong các hoạt động được duy trì và việc lập lịch trình sử dụng hiệu quả các tài nguyên có sẵn chiếm ưu thế. Các cách thức lập lịch truyền thống nhấn mạnh đến việc duy trì các ưu tiên của nhiệm vụ (dẫn đến phương pháp lập tiến độ đường găng) hoặc sử dụng hiệu quả các nguồn lực theo thời gian (dẫn đến phương pháp lập lịch thực hiện công việc). Trường hợp chung, hầu hết các dự án phức tạp đòi hỏi phải xem xét cả chi phí và lập kế hoạch theo thời gian, do đó việc lập kế hoạch, giám sát và lưu trữ hồ sơ phải xem xét cả hai chiều. Trong những trường hợp này, việc tích hợp lịch trình và thông tin ngân sách là mối quan tâm chính.

Khi lựa chọn giữa các phương pháp và công nghệ thay thế, có thể và cần phải xây dựng một số kế hoạch/phương án xây dựng dựa trên các phương pháp hoặc giả định thay thế. Sau khi có kế hoạch đầy đủ, các tác động về chi phí, thời gian và độ tin cậy của các phương án thay thế có thể được xem xét. Việc đòi hỏi phải có một số lựa chọn thay thế có thể được đặt ngay trong các hồ sơ mời thầu, trong đó một số thiết kế thay thế có thể được đề xuất hoặc kỹ thuật giá trị (value engineering) cho các phương pháp xây dựng thay thế có thể được cho phép. Trong trường hợp này, các nhà thầu tiềm năng có thể muốn chuẩn bị kế hoạch cho từng thiết kế thay thế bằng phương pháp xây dựng được đề xuất cũng như chuẩn bị kế hoạch cho các phương pháp xây dựng thay thế sẽ được đề xuất như một phần của quy trình kỹ thuật giá trị.

Trong việc hình thành một kế hoạch xây dựng, một cách tiếp cận hữu ích là mô phỏng quá trình xây dựng theo trí tưởng tượng của người lập kế hoạch hoặc với một kỹ thuật mô phỏng dựa trên máy tính. Bằng cách quan sát kết quả, có thể xác định so sánh giữa các kế hoạch hoặc vấn đề khác nhau với kế hoạch hiện tại. Ví dụ, quyết định sử dụng một thiết bị cụ thể cho hoạt động ngay lập tức dẫn đến câu hỏi

liệu có đủ không gian để vận hành thiết bị hay không. Các mô hình hình học ba chiều trong hệ thống thiết kế hỗ trợ máy tính (CAD) có thể hữu ích trong việc mô phỏng các yêu cầu không gian cho các hoạt động và để xác định bất kỳ sự can thiệp nào. Tương tự, các vấn đề về tính sẵn có của tài nguyên được xác định trong quá trình mô phỏng quá trình xây dựng có thể được giải quyết một cách hiệu quả bằng cách cung cấp các tài nguyên bổ sung như một phần của kế hoạch xây dựng.

#### *1.4.1.3. Vấn đề lựa chọn phương án thi công hợp lý trong tổ chức thi công xây dựng*

Về khái niệm “phương án thi công hợp lý”, theo các tài liệu về tổ chức thi công xây dựng như [20] có nêu, phương án thi công được coi là hợp lý khi đáp ứng yêu cầu về chất lượng và thời hạn của chủ đầu tư, phù hợp với điều kiện mặt bằng thi công và điều kiện, khả năng của đơn vị thi công với giá thành xây lắp hạ, hiệu quả kinh tế cao (trang 22). Hay như trong tài liệu [23] có cụ thể hơn, xin trích nguyên văn: “Phương án khả thi là phương án về phương diện kỹ thuật có thể thực hiện được. Phương án hợp lý là phương án khả thi nhưng phải phù hợp với điều kiện thi công. Điều kiện thi công là khả năng của đơn vị xây lắp, vị trí xây dựng công trình và những điều kiện khác mà nó bị ràng buộc (theo hợp đồng, quy ước...). Phương án tối ưu là phương án hợp lý có các chỉ tiêu cao nhất theo những tiêu chí mà người xây dựng đề ra (thời gian, giá thành, tài nguyên...)” (trang 4, tài liệu [23]).

Như vậy có thể thấy, tính hợp lý của một phương án thi công trước hết nó phải khả thi. Căn cứ của tính khả thi là sự có thể thực hiện được về phương diện kỹ thuật của phương án và rõ ràng, nó mang tính lý thuyết, định tính cao. Vì thế, số lượng các phương án thi công đề xuất có thể rất nhiều (ví dụ, đào hầm trong đá có thể dùng phương pháp khoan nổ hay đào cơ giới, trong khoan nổ lại có thể toàn gương hay chia gương...). Tuy nhiên, khi xét đến điều kiện của sự hợp lý đó là phương án đó phải phù hợp với điều kiện thi công thì số các phương án thi công lại bị hạn chế đi rất nhiều. Trong điều kiện thi công, khả năng của đơn vị thi công là một điều kiện quan trọng để đơn vị đó đề xuất các phương án để lựa chọn (ví dụ: nếu không có máy khoan hầm thì không thể đề xuất phương án thi công cơ giới) và như thế, số lượng và nội dung các phương án lựa chọn của các nhà thầu khác nhau có thể có sự khác nhau.

Còn điều kiện ràng buộc đầu tiên và quan trọng nhất mà dù lựa chọn phương án thi công nào cũng phải tuân thủ, đó là thời hạn thi công của hợp đồng. Với ràng buộc này, cho phép người lập kế hoạch quyết định được phương án chọn để triển khai thi công trong thực tế, trong đó, khả năng của đơn vị thi công sẽ là một trong các yếu tố quyết định xem phương án đề trình có hợp lý hay không.

#### **1.4.2. Các phương pháp lập phương án thi công hàm hiện có**

##### **1.4.2.1. Phương pháp truyền thống**

Thông thường, trong quá trình chuẩn bị thầu, nhà thầu đưa ra các quyết định sơ bộ liên quan đến phương án (kế hoạch) xây dựng dựa trên những thông tin sẵn có. Nếu nhà thầu thành công trong việc đấu thầu, các quyết định trước đó sẽ được xem xét và một bản kế hoạch thi công mới được đưa ra dưới dạng thông tin đầy đủ hơn.

Tuy nhiên, các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, phần lớn các nhà thầu lập kế hoạch thi công là dựa trên kinh nghiệm [46, 50]. Người ta thường giả định và ước tính về khối lượng, công suất hoặc thời gian để xác định việc lựa chọn thiết bị, số lượng nhân công, bố trí logic vận hành... Những thông tin để lập kế hoạch thường là thông tin có tính chất nội bộ và do đó, chất lượng của bản kế hoạch có thể rất khác nhau, tùy thuộc vào kiến thức và kinh nghiệm của người lập. Trên cơ sở đó, người ta sử dụng các phương pháp lập tiến độ thi công phổ biến như biểu đồ Gantt, phương pháp sơ đồ mạng gãy CPM, sơ đồ mạng PERT... để xác định thời gian thi công của dự án. Cách lập kế hoạch như vậy có nhiều nhược điểm, do:

- Lập kế hoạch không dựa trên thời lượng quy trình thực tế mà dựa trên ước tính bị sai lệch do thiên về lạc quan trong ước tính thời lượng công việc.
- Các tương tác quá trình và các xung đột thường bị bỏ qua, từ đó gây ra độ trễ thời gian mà không được lường trước và không dự kiến cách thức giải quyết.
- Bỏ qua những quá trình bị xem là nhỏ, mặc dù chúng có ảnh hưởng đáng kể.
- Bỏ qua những thay đổi trong điều kiện công việc hoặc tiến độ dự án dẫn đến bản kế hoạch lập ra không thích ứng với điều kiện thay đổi.

Mặt khác, việc so sánh các phương án thay thế thường bị bỏ qua hoặc ở mức ít nhất do hạn chế về thời gian, công cụ, tiền bạc... Vì thế, các quá trình xây dựng

thường không được khảo sát chi tiết trước khi tiến hành và hậu quả là tình trạng chậm tiến độ hay chi phí bị đội lên không dự tính trước được dẫn đến hiệu quả của dự án không đạt được theo mục tiêu đã định.

#### 1.4.2.2. Phương pháp mô phỏng

Shannon (1975) đã định nghĩa mô phỏng là: “Quá trình thiết kế một mô hình của một hệ thống thực và tiến hành các thử nghiệm với mô hình này nhằm mục đích tìm hiểu hành vi của hệ thống hoặc để đánh giá các chiến lược khác nhau (trong giới hạn được áp đặt bởi một tiêu chí hoặc bộ tiêu chí) cho hoạt động của hệ thống” (được trích dẫn bởi Thanh Dang, T. [87]).

Mô phỏng là một công cụ mạnh mẽ để xem xét các hệ thống phức tạp và hỗ trợ lập kế hoạch cho các dự án xây dựng. Mô phỏng cung cấp khả năng phân tích minh bạch các hệ thống phức tạp và cung cấp các phương pháp dễ dàng cũng như tinh vi để xem xét tính không chắc chắn.

Mô phỏng sự kiện rời rạc đã được ngành công nghiệp sản xuất sử dụng như một công cụ lập kế hoạch để phân tích các hệ thống sản xuất phức tạp. Trong một mô phỏng, một mô hình được xây dựng để thể hiện một tình huống trong thế giới thực, sau đó sử dụng máy tính để đánh giá mô hình số trong một khoảng thời gian nhất định và dữ liệu được thu thập để ước tính diễn biến thực sự của mô hình. Các mô hình được tạo bằng ngôn ngữ lập trình đa năng có thể đại diện cho hầu hết mọi quá trình thực tế. Một số ngôn ngữ mô phỏng đa năng được sử dụng trong mô hình hóa các quá trình sản xuất có thể kể đến là GPSS, SIMSCRIPT, SLAM-II và SIMAN.

Theo nghiên cứu của AbouRizk [30], trước những năm 1970, việc sử dụng mô phỏng không phổ biến do công nghệ máy tính chưa được phổ biến. Sau đó, tiến trình áp dụng phương pháp mô phỏng quá trình đã phát triển rất nhanh và có thể chia ra làm ba giai đoạn:

- Giai đoạn đầu tiên do Halpin [48] đi tiên phong với việc giới thiệu hệ thống CYCLONE (dựa trên phương pháp mô phỏng sự kiện rời rạc). Hệ thống CYCLONE là phương pháp lâu đời nhất và giúp phổ biến phương pháp mô phỏng quá trình. Đây là một kỹ thuật mô hình hóa cho phép các yếu tố đồ họa (ví dụ: queue, normal, và các

nút kết hợp trong CYCLONE) biểu diễn và mô phỏng các hệ thống rời rạc liên quan đến các biến xác định hoặc ngẫu nhiên. Kể từ khi phát triển CYCLONE, phương pháp mô phỏng đã được chứng minh là một công cụ phân tích cực kỳ hữu ích và cải thiện hiệu suất của các quy trình xây dựng với nhiều ứng dụng thành công. Ưu điểm của mô hình CYCLONE là nó được thiết lập tốt, sử dụng rộng rãi và dễ dàng cũng như khả năng mô hình hiệu quả đối với nhiều hoạt động xây dựng đơn giản. Nhưng do tính đơn giản của hệ thống và CYCLONE không có khả năng mô hình hóa tài nguyên một cách rõ ràng, nó tạo ra những hạn chế đối với các nhà phát triển để xây dựng mô hình mô phỏng phức tạp. Vì vậy, CYCLONE đã được nghiên cứu cải tiến để khắc phục được các hạn chế và nhờ đó cung cấp cho nhà tạo mô hình nhiều khả năng hơn. Các hệ thống mô phỏng khác nhau trên cơ sở cải tiến, phát triển CYCLONE có thể kể đến là INSIGHT [74], RESQUE [39], UM-CYCLONE [54], MicroCYCLONE [49], ABC [82], DISCO [52], HSM [81] và HKCONSIM [59]. Bên cạnh hệ thống được mô tả ở trên, có ba hệ thống khác là DES, SD và ABM (mô hình tác nhân) cũng là những hệ thống mô phỏng phổ biến hiện nay.

- Giai đoạn thứ hai là sự phát triển trong ngôn ngữ lập trình. Đặc trưng của giai đoạn phát triển thứ hai là sự nhấn mạnh vào khả năng mô hình hóa và mô phỏng nhiều hơn so với các công cụ trước đây. Để đạt được điều này, từ đầu những năm 1990 cho đến năm 2000, một số hệ thống mô phỏng và ứng dụng mô phỏng đã được giới thiệu. Liu và Ioannou [58] đã phát triển một hệ thống hướng đối tượng mới, giúp nâng cao hệ thống CYCLONE, được gọi là COOPS. Các mô hình COOPS được xác định thông qua giao diện người dùng đồ họa cho phép chương trình mô phỏng có thể nắm bắt các tài nguyên, định nghĩa các tài nguyên khác nhau và có thể liên kết với các lịch trình có thể được sử dụng để quản lý các hoạt động trong lúc nghỉ. Một hệ thống hướng đối tượng khác có tên gọi là CIPROS [73, 88] thực hiện mô hình hóa các quy trình xây dựng bằng cách kết hợp các thuộc tính tài nguyên với các thành phần thiết kế. CIPROS cho phép người dùng liên kết các kế hoạch xây dựng và các thông số kỹ thuật thành một kế hoạch chung. Nó cũng tích hợp cấp quá trình và kế hoạch cấp dự án bằng cách thể hiện các hoạt động thông qua các mạng quá trình, tất



cả đều có thể sử dụng nhóm tài nguyên chung. STEPS [69] được phát triển dưới dạng một hệ thống đa năng với một thư viện bao gồm các mô hình tiêu chuẩn cho các quy trình xây dựng thông thường. STEPS đã được mở rộng cho Hải quân Hoa Kỳ và hỗ trợ khái niệm các kích cỡ tài nguyên khác nhau trong cùng một hàng đợi (queue). Một ngôn ngữ lập trình mô phỏng đa năng đáng chú ý khác là STROBOSCOPE [61, 64]. Để áp dụng STROBOSCOPE cho hoạt động xây dựng, người lập mô hình cần phải viết một loạt các câu lệnh lập trình định nghĩa các thành phần mô hình mạng. STROBOSCOPE được sử dụng trong phân tích hoạt động xây dựng. Nó được thiết kế để mô hình hóa các hoạt động xây dựng phức tạp một cách chi tiết và để phát triển các công cụ mô phỏng mục đích đặc biệt. Bên cạnh đó còn có Symphony [31] được phát triển dưới dạng hệ thống mô phỏng đa năng, nhưng nó cũng rất hữu ích để tạo ra các công cụ mô phỏng mục đích đặc biệt cho ngành công nghiệp.

- Giai đoạn thứ ba là một bước tiến tập trung vào việc tích hợp mô phỏng với các công cụ khác, đặc biệt là trực quan hóa. Từ năm 1990, nhiều ứng dụng đã được phát triển, ví dụ: Xu và AbouRizk [91] đã giới thiệu cách các mô hình 3D AutoCAD có thể được tích hợp với mô phỏng máy tính để tạo điều kiện cho việc ra quyết định tốt hơn trong quá trình xây dựng. Kamat và Martinez [57] đã giới thiệu ngôn ngữ Vitascope, một hệ thống mô phỏng sự kiện rời rạc được thiết kế để tích hợp với khả năng hiển thị 3D và được phát triển để mô phỏng các ứng dụng xây dựng như một nền tảng tích hợp.

Góc nhìn về sự phát triển của phương pháp mô phỏng quá trình đã được tóm tắt ở trên. Nó cho thấy phương pháp mô phỏng quá trình đã phát triển kể từ khi ra đời vào những năm 1970 và những thành tựu được ghi nhận chủ yếu trong các lĩnh vực học thuật và nghiên cứu hơn là trong công nghiệp.

Tóm lại, đã có những nỗ lực nhất định để áp dụng mô phỏng trong xây dựng, thể hiện ở một số khía cạnh sau đây [87]:

- Phát triển ngôn ngữ mô phỏng, ví dụ: CYCLONE, COOPS, CIPROS, STROBOSCOPE, STEPS;

- Ứng dụng các ngôn ngữ mô phỏng để giải quyết các vấn đề trong hoạt động xây dựng;

- Tổng hợp các ngôn ngữ mô phỏng với một phần mềm khác.

Đối với xây dựng hầm, các tác giả khác nhau đã sử dụng mô phỏng quá trình để phân tích và đánh giá việc xây dựng đường hầm bằng TBM. Salazar và Einstein [47] đã sử dụng các kỹ thuật mô phỏng sự kiện riêng biệt và ngôn ngữ lập trình FORTRAN để phát triển một chương trình mô phỏng, được đặt tên là SIMSUPER5 (Simulation SUPERvisor). Chương trình mô phỏng mô tả quá trình xây dựng đường hầm trong điều kiện không chắc chắn. SIMSUPER5 giúp các kỹ sư ước tính tổng thời gian và chi phí cần thiết để xây dựng một đường hầm. Touran và Asai [89] dự đoán tốc độ tiến bộ của đường hầm trong việc xây dựng một đường hầm dài vài km, đường kính nhỏ (3-3,5m) trong đá mềm. Với mục đích này, hệ thống mô hình CYCLONE được sử dụng. Một số mô hình mô phỏng được phát triển để nghiên cứu ảnh hưởng của các biến số khác nhau đến tốc độ tiến của đường hầm. Tác động của từng biến chính đến tốc độ tiến của đường hầm được nghiên cứu bằng phân tích độ nhạy. Các biến này bao gồm tốc độ thâm nhập của máy khoan hầm, thời gian di chuyển của tàu, số lượng xe chở đất đá, loại đá và thời gian đứng của đá. Al-Jalil [33] đã phát triển một hệ thống hỗ trợ quyết định trong việc đào hầm để dự đoán hiệu suất của các hệ thống đào máy khoan hầm trong điều kiện địa chất đá cứng. AbouRizk và cộng sự [32] đã mô tả mẫu mô phỏng đường hầm có mục đích đặc biệt được phát triển dựa trên các hoạt động đào hầm được thực hiện tại Sở Công trình Công cộng Thành phố Edmonton sử dụng TBM. Các kết quả được tạo từ mẫu sử dụng dữ liệu lịch sử để kiểm tra mẫu và để phân tích các quy trình xây dựng tiềm năng được trình bày. Donghai và cộng sự [44] ước tính tốc độ thâm nhập của việc đào đường hầm bằng TBM dựa trên phân loại khối đá...

Gần đây, nhiều nghiên cứu [45, 75, 80] đã cố gắng phân tích máy đào đường hầm có lá chắn cân bằng áp suất Trái Đất (EPB) bằng cách phát triển một công cụ mô hình mô phỏng bằng cách sử dụng cùng quy trình mô phỏng kỹ thuật. Để phân tích các vấn đề của đường hầm với máy đào đường hầm lá chắn EPB, các tác giả đã tích hợp phần mềm mô phỏng SysML và AnyLogic để phát triển công cụ mô phỏng. Hai hệ thống, được gọi là mô phỏng sự kiện rời rạc (DES), động lực hệ thống (SD) được

áp dụng bên trong phần mềm mô phỏng AnyLogic để phát triển công cụ mô phỏng. Họ sử dụng các kỹ thuật mô phỏng giống nhau nhưng trọng tâm của mỗi nghiên cứu là khác nhau. Rahm và cộng sự [76] đã phát triển công cụ mô phỏng để phân tích mối quan hệ giữa năng suất và chuỗi cung ứng khi xem xét các xáo trộn điển hình của việc xây dựng đường hầm với EPB. Công cụ mô phỏng cũng có thể điều tra tốc độ tiến bộ của TBM. Bằng cách sử dụng cùng một phương pháp, Sadri và cộng sự [80] đã trình bày mô phỏng chuỗi cung ứng TBM. Nhiệm vụ của nghiên cứu là phát triển công cụ mô phỏng để đánh giá ảnh hưởng của nhiễu loạn, ví dụ: tàu bị hư hỏng, phân khúc vận chuyển đến nơi làm việc, về năng suất của chuỗi cung ứng TBM. Duhme và cộng sự [45] đã phát triển một mô hình chức năng tổng quát dựa trên phân tích chức năng của các dự án khác nhau. Mô hình có thể phân tích các quy trình hậu cần, phụ thuộc lẫn thời gian chết của toàn bộ hoạt động xây dựng với TBM. Công cụ mô phỏng có thể hình dung các gián đoạn quá trình và xáo trộn trong hệ thống và kiểm tra các biện pháp đối phó có thể có hầu như về hiệu quả của chúng.

Một số nghiên cứu về ứng dụng mô phỏng quá trình trong xây dựng đường hầm với micro tunnel boring machines cũng đã được công bố. Có thể tìm thấy liệt kê và tóm tắt các nghiên cứu này trong tài liệu [87].

Phương pháp mô phỏng trong hoạt động xây dựng đã được sử dụng cho các mục tiêu khác nhau và có những đóng góp khác nhau. Ví dụ, trong quản lý xây dựng, các mô hình toán học thường được sử dụng để ước tính các vấn đề về lập kế hoạch và kiểm soát, chẳng hạn như lập kế hoạch dự án, quản lý nợ tiền mặt và quản lý tài nguyên. Ngày nay, việc sử dụng phương pháp mô phỏng quá trình trong xây dựng được coi là một trong những phương pháp hiệu quả nhất để mô hình hóa, phân tích và nắm bắt các quá trình liên quan đến phân tích, lập kế hoạch và tiến độ dự án xây dựng. Sử dụng mô phỏng quá trình, các hoạt động thực tế có thể được mô hình hóa một cách hợp lý và toàn bộ quá trình xây dựng có thể được phân tích sâu, do đó các vấn đề tiềm ẩn có thể được xác định. Hơn nữa, có thể phân tích một loạt các khía cạnh của xây dựng, chẳng hạn như: chi phí của toàn bộ dự án, năng suất, số lượng tài nguyên cần thiết để nâng cao một mức năng suất nhất định (phân bổ tài nguyên) và lập kế hoạch sử dụng mặt

bằng thi công. Thông tin này có thể hữu ích và có giá trị cho các nhà quản lý xây dựng trên công trường, do đó nếu cần thiết, các quá trình có thể được thiết kế lại và các nguồn lực được phân bổ lại để cải thiện năng suất của hoạt động xây dựng.

Trong lĩnh vực xây dựng hầm, vai trò của mô phỏng quá trình đối với các hoạt động xây dựng đường hầm được đánh giá như sau [36, 79]:

- Lập kế hoạch dự án: Sử dụng mô phỏng máy tính tạo điều kiện thuận lợi cho việc lập kế hoạch chuỗi các hoạt động công việc, khai báo phương thức hoạt động, chọn tài nguyên phù hợp và phân tích năng suất.

- Phân tích các tắc nghẽn để xác định yếu tố gây ra sự chậm trễ của hệ thống.

- Dự đoán hiệu suất hệ thống trong các điều kiện khác nhau.

- Kiểm tra cải tiến năng suất và tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên: Mô phỏng cho phép các nhà quy hoạch hoặc kỹ sư quan sát năng suất, tốc độ tiến triển đường hầm và sử dụng tài nguyên của dự án.

- Đưa ra so sánh các kịch bản xây dựng hầm thay thế: Mô phỏng cho phép các nhà hoạch định dự đoán kết quả thực tế và cũng để so sánh kết quả bằng các kịch bản khác nhau.

- Việc sử dụng phân tích độ nhạy để xác định các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu suất của hệ thống.

Ngoài ra, đối với mẫu mô phỏng mục đích đặc biệt, phương pháp mô phỏng quá trình rất hữu ích để đánh giá các tùy chọn đường hầm khác nhau và cho phép kiểm tra tính hợp lệ của các chiến lược quy hoạch xây dựng khác nhau. Nó cũng hữu ích để dự đoán năng suất của đường hầm và đánh giá chi phí và thời gian của các kịch bản xây dựng khác nhau. Bằng cách sử dụng mô phỏng quá trình, có thể giúp người quản lý xem và hiểu tất cả các hoạt động, hành vi hoặc xáo trộn có thể xảy ra trong hệ thống. Qua đó, những sai lầm đắt giá có thể tránh được trong thực tế.

Rất tiếc là ở Việt Nam, việc nghiên cứu áp dụng mô phỏng trong lĩnh vực xây dựng nói chung, xây dựng công trình ngầm nói riêng chưa được quan tâm đúng mức nên chưa có công trình nghiên cứu cũng như chưa có dự án đáng kể nào. Đây là một hướng nghiên cứu có nhiều triển vọng rất cần được đầu tư phát triển.

### ***1.4.3. Bài toán lựa chọn phương án thi công hợp lý với các trang, thiết bị hiện có của các nhà thầu xây dựng hầm Việt Nam***

Việc lựa chọn phương án thi công là một vấn đề phức tạp khi kỹ sư thiết kế bắt tay vào thiết kế phương án thi công công trình ngầm. Có rất nhiều phương án thi công có thể được nghiên cứu đề xuất để thi công một đường hầm nhất định. Trong số đó, để lựa chọn một phương án thi công công trình ngầm, người thiết kế căn cứ vào các yếu tố sau [13]:

- Quy mô công trình, bao gồm chiều dài đường hầm, tiết diện gương đào, vv... Quy mô công trình là yếu tố quan trọng then chốt để người thiết kế lựa chọn phương án thi công. Chiều dài đường hầm quyết định khả năng thi công bằng phương pháp khoan nổ mìn hay thi công bằng máy đào. Đối với những đường hầm có chiều dài lớn hơn 2km thì thi công bằng máy đào có lợi thế, đường hầm càng dài thì áp dụng máy đào toàn gương càng mang lại hiệu quả kinh tế cao. Tiết diện gương đào và điều kiện đất đá khu vực đường hầm cho phép sử dụng sơ đồ đào nối tiếp, hoặc song song, các loại trang, thiết bị sử dụng đi cùng để thi công đường hầm. Đối với những đường hầm tiết diện quá lớn, bắt buộc phải sử dụng phương pháp thi công chia gương để thi công đường hầm, quá trình tổ chức thi công có thể tiến hành song song giữa các gương khai đào.

- Điều kiện địa chất, địa chất thủy văn đường hầm bao gồm độ kiên cố đất đá, khả năng ổn định không chổng sau khi khai đào, điều kiện nước ngầm... Độ kiên cố đất đá là yếu tố quan trọng hàng đầu khi lựa chọn trang, thiết bị thi công bao gồm trang, thiết bị khoan nổ mìn, trang, thiết bị xúc bốc, vận tải, trang, thiết bị chống tạm, thời gian chống tạm... Đối với những đường hầm có độ kiên cố đất đá lớn, thi công bằng phương pháp khoan nổ mìn mang lại hiệu quả phá đá cao hơn. Những đường hầm đất đá có độ kiên cố nhỏ có thể sử dụng máy đào để thi công trực tiếp. Khi đất đá xung quanh đường hầm có độ kiên cố nhỏ, thi công bằng máy đào sẽ ít tác động hơn tới biên công trình, làm tăng sự ổn định cho đường hầm. Các đường hầm có độ kiên cố đất đá khác nhau cũng được lựa chọn trang, thiết bị khoan nổ mìn khác nhau.

- Điều kiện cung cấp vật tư, vật liệu và trang, thiết bị thi công: Khi thiết kế phương án thi công, người kỹ sư thiết kế phải nắm rõ các loại vật tư, vật liệu, trang,

thiết bị đang có trên thị trường để đánh giá khả năng cung cấp cho công tác thi công đường hầm. Có nhiều loại thiết bị tiên tiến, rất tốt nếu áp dụng trong điều kiện thiết kế, tuy nhiên tại Việt Nam chưa có, chưa được áp dụng thì việc lựa chọn loại thiết bị đó là rất khó khả thi, mà cần thay thế bằng thiết bị khác. Thông thường người thiết kế thi công luôn sử dụng những trang, thiết bị sẵn có, phù hợp với điều kiện cung ứng của thị trường Việt Nam.

- Khả năng đầu tư tài chính của chủ đầu tư: Trong thực tế thi công xây dựng đường hầm, chủ đầu tư là người quyết định phương án đầu tư cuối cùng dựa trên sự tư vấn của công ty, tổ chức tư vấn. Căn cứ vào khả năng tài chính của mình, chủ đầu tư sẽ lựa chọn phương án thi công phù hợp nhất. Ví dụ như khi thi công những đường hầm dài, chủ đầu tư có thể sử dụng phương pháp khoan nổ mìn hoặc phương pháp sử dụng máy đào hầm toàn gương. Căn cứ vào mức độ đầu tư ban đầu, chủ đầu tư có thể đầu tư máy đào hầm toàn gương hoặc thiết bị sử dụng cho phương pháp khoan nổ mìn. Nếu đầu tư ban đầu bằng máy đào toàn gương, cần một khoản tiền lớn ngay đầu tiên, sau đó chi phí thi công sẽ không lớn. Trường hợp sử dụng phương pháp khoan nổ mìn, ta chỉ cần đầu tư một phần kinh phí vừa phải để mua thiết bị, nhưng chi phí thi công trong quá trình thi công lớn, bao gồm cả chi phí trực tiếp (chi phí đầu tư vào công trình) và chi phí gián tiếp (lợi nhuận thu được do tiến độ thi công nhanh hay chậm hơn so với phương pháp dùng máy đào hầm toàn gương. Thông thường tốc độ đào lò của máy đào hầm toàn gương lớn hơn tốc độ đào lò bằng phương pháp khoan nổ mìn.

Như vậy, chọn phương án thi công phải dựa vào nhiều yếu tố liên quan đòi hỏi người thiết kế phương án thi công phải có kiến thức tổng quát về nhiều lĩnh vực xây dựng công trình ngầm cũng như đánh giá về khả năng sử dụng trang, thiết bị của chủ đầu tư. Thông thường, lựa chọn phương án thi công nào còn phụ thuộc vào yếu tố chủ quan của người thiết kế và người thi công. Việc lựa chọn phương án tối ưu là rất khó khăn bởi những hạn chế về kiến thức, thời gian và tiền bạc.

Hiện nay, số lượng nhà thầu Việt Nam có đủ năng lực tham gia vào các gói thầu thi công đường hầm cũng không nhiều, Tại phụ lục 1 cho biết tóm lược về lịch

sử cũng như trang, thiết bị hiện có của một số nhà thầu một số nhà thầu Việt Nam trong lĩnh vực xây dựng hầm. Các thông tin này được lấy từ trang web của các đơn vị và một phần bổ sung từ hồ sơ năng lực khi tham gia đấu thầu. Theo kết quả khảo sát này thì rõ ràng các doanh nghiệp xây dựng hầm Việt Nam còn có sự thua kém nhất định về chủng loại, mức hiện đại, số lượng các trang, thiết bị hiện có so với các nhà thầu cùng lĩnh vực tại các nước có trình độ phát triển. Đây là mối so sánh về thiết bị dùng trong phương pháp đào hầm bằng khoan nổ. Nhìn rộng ra, doanh nghiệp Việt Nam còn thiếu nhiều thiết bị xây dựng hầm khác (ví dụ như thiết bị TBM hiện không phải nhà thầu nào cũng có). Bên cạnh đó, khả năng về tài chính cũng hạn hẹp, do đó để mua sắm trang, thiết bị mới là không đơn giản. Chính vì vậy, doanh nghiệp Việt Nam phải tìm ra khả năng cạnh tranh của mình trong điều kiện hiện có mà vẫn đáp ứng tốt yêu cầu của chủ đầu tư (ví dụ: có thời gian thi công nhanh hơn các phương án thi công của các nhà thầu khác).

Như đã trình bày ở trên, lập phương án thi công công trình là đề xuất phương pháp tổ chức thi công công trình một cách tổng thể, các quyết định về công nghệ thi công, biện pháp tổ chức và kỹ thuật thi công cho từng công tác xây lắp cụ thể, dự trù và phân bổ một cách hợp lý nguồn lực cho quá trình thi công công trình. Lập phương án/kế hoạch thi công là một công việc khó khăn do những đặc thù của công việc xây dựng chi phối. Thi công hầm càng đặc biệt khó khăn và tiềm ẩn nhiều yếu tố rủi ro, vì vậy công tác kế hoạch phải chu đáo, cụ thể, tỉ mỉ và khoa học để chủ động trong quản lý và triển khai.

Lựa chọn phương án thi công đường hầm phải dựa vào các nhân tố tổng hợp như: vị trí địa lý của đường hầm, tài liệu về địa chất công trình và địa chất thủy văn, mặt cắt ngang hầm lớn hay nhỏ, loại vỏ hầm, chiều dài đường hầm, yêu cầu về thời hạn xây dựng, lực lượng kỹ thuật thi công, khả năng thiết bị và máy móc thi công, khả năng cung ứng nguyên vật liệu và sức lao động trong thi công, hiệu quả kinh tế và xã hội sau đầu tư và vận hành công trình, an toàn trong thi công, các yêu cầu về giới hạn lún mặt đất và ô nhiễm môi trường cùng một số nhân tố khác để nghiên cứu phân tích toàn diện và ra quyết định.

Thi công công trình ngầm theo phương pháp khoan nổ mìn có liên quan đến nhiều yếu tố với nhiều phương án thi công khác nhau. Lựa chọn phương án thi công là phải dựa vào tình hình thực tế mà dùng phương pháp đào hợp lý, xác định phương pháp đào đúng đắn và dùng các biện pháp che chống đáng tin cậy cũng như thiết bị, cơ giới, sức lao động, vật liệu, v.v... để hoàn thành nhiệm vụ đào đường hầm đúng thiết kế, bảo đảm chất lượng, an toàn, đúng kỳ hạn và bảo vệ được môi trường. Trong thực tế thi công hiện nay ở Việt Nam, với điều kiện trang, thiết bị thi công như hiện có, việc đánh giá lựa chọn phương án thi công nào tối ưu (về tiến độ và kinh tế) trong từng điều kiện thi công cụ thể còn chưa có lời giải đủ sức thuyết phục.

Trong quá trình thực hiện các dự án xây dựng đường hầm, một thực tế đặt ra là các nhà quản lý luôn mong muốn phải sớm hoàn thành đưa được công trình vào vận hành sử dụng. Tuy nhiên, với các nhà thầu, để đáp ứng được yêu cầu tiến độ trong khi năng lực tài chính, trang, thiết bị có hạn thì đáp ứng tiến độ thường bị xung đột với yêu cầu về tiết giảm chi phí và sử dụng hiệu quả tài nguyên mà các nhà thầu có trong tay. Từ đó, thời hạn thi công do chủ đầu tư đưa ra và tiến độ thi công do nhà thầu lập khi lựa chọn nhà thầu thường chỉ là ước đoán, mang tính kinh nghiệm, đôi khi là thỏa hiệp mà chưa thực sự có cơ sở khoa học.

Bài toán giải quyết phương án thi công sao cho đạt được yêu cầu nhanh nhất về tiến độ, đáp ứng được hiệu quả kinh tế và kỹ thuật cho cả chủ đầu tư và các doanh nghiệp, trong điều kiện hạn hẹp về kinh phí phải tận dụng hết khả năng của các trang, thiết bị hiện có là cần thiết để có thể áp dụng vào quá trình xây dựng các công trình ngầm sau này.

### **1.5. Kết luận chương 1**

Từ những vấn đề tổng quan trên, có thể rút ra một số kết luận sau:

- Công trình hầm ngày càng có vai trò to lớn trong việc phát triển kinh tế - xã hội của đất nước. Trong các công nghệ xây dựng công trình ngầm, phương pháp khoan nổ mìn đang được áp dụng nhiều và vẫn sẽ là chủ đạo trong thời gian tới. Quá trình xây dựng các công trình ngầm cũng là quá trình từng bước làm chủ công nghệ, trưởng thành và lớn mạnh của các doanh nghiệp xây dựng Việt Nam. Tuy nhiên, khó



khả lớn nhất đối với các doanh nghiệp xây dựng hầm Việt Nam là năng lực về trang, thiết bị và tiền vốn làm ảnh hưởng đến khả năng cạnh tranh trên thị trường. Vì vậy để nâng cao năng lực cạnh tranh thì các nhà thầu cần chú trọng đến công tác lập kế hoạch xây dựng để lựa chọn được phương án thi công hợp lý, phù hợp với điều kiện hiện có của doanh nghiệp, đáp ứng các yêu cầu của chủ đầu tư.

- Việc lập phương án thi công đóng vai trò quan trọng, đảm bảo cho dự án xây dựng thành công, bởi vì nó tạo ra một đầu mối liên kết trung tâm để điều phối công việc của nhiều bên khác nhau tham gia dự án. Việc lập phương án thi công cũng là một công tác phức tạp, bao gồm nhiều quá trình khác nhau, nhiều giai đoạn khác nhau. Nếu lập được phương án hợp lý, khoa học thì sẽ tạo được cơ sở để thi công, kiểm soát và điều khiển, nhằm hoàn thành dự án thỏa mãn tốt nhất các mục tiêu đề ra về thời gian, chất lượng, chi phí... Nó sẽ càng có ý nghĩa nếu được giải quyết trong điều kiện hạn chế về tài nguyên thi công.

- Một công cụ quan trọng và hữu hiệu để thiết lập và lựa chọn phương án thi công hiện nay là sử dụng mô phỏng. Công cụ này giúp lập kế hoạch dự án, cho phép đưa ra nhiều kịch bản thay thế cũng như giúp người quản lý dự đoán kết quả với các điều kiện thay đổi khác nhau... Đây là hướng nghiên cứu đã được phát triển trên thế giới nhưng ở Việt Nam hiện còn bỏ ngỏ. Luận án sẽ tập trung khai thác phương pháp mô phỏng để giải bài toán lựa chọn phương án thi công hợp lý khi đào đường hầm trong điều kiện các trang, thiết bị thi công hiện có. Cụ thể sẽ sử dụng phần mềm mô phỏng đa năng mã nguồn mở EZStrobe/Stroboscope.

## Chương 2

### THI CÔNG ĐƯỜNG HÀM BẰNG PHƯƠNG PHÁP KHOAN NỔ MÌN VÀ MÔ HÌNH TIỀN ĐỊNH CỦA QUÁ TRÌNH THI CÔNG

#### 2.1. Khái quát về thi công đường hầm bằng phương pháp khoan nổ mìn

Thi công đào hầm bằng phương pháp khoan nổ là phương pháp thi công được áp dụng rộng rãi, phổ biến nhất để xây dựng các công trình ngầm trong quân đội cũng như trong nền kinh tế quốc dân, ở trong nước cũng như trên thế giới. Có thể xem đây là một trong những phương pháp cơ bản và kinh điển nhất. Phương pháp khoan nổ thường được áp dụng trong điều kiện đất đá có độ kiên cố  $f_{kp} > 3$ .

Công nghệ thi công nói chung và công nghệ thi công hầm bằng khoan nổ nói riêng thường được mô tả theo hai yếu tố cơ bản là [25, 26]:

- Sơ đồ đào: Thể hiện trình tự khai đào trên gương đào (hay trên mặt cắt ngang của công trình);

- Sơ đồ thi công: Thể hiện trình tự phối hợp các công tác, kỹ thuật được thực hiện dọc theo trục thi công của công trình ngầm (hay trên mặt cắt dọc của công trình).

Các công tác chính trong quá trình khai đào đường hầm bằng phương pháp khoan nổ mìn là:

- + Đánh dấu các lỗ khoan trên gương đào.
- + Đưa máy khoan vào và tiến hành khoan các lỗ khoan.
- + Nạp thuốc nổ vào các lỗ khoan và nổ mìn.
- + Thông gió và kiểm tra an toàn gương đào.
- + Bóc dỡ vận chuyển đất đá ra ngoài công trình
- + Nạo vét bằng máy và thủ công (chọc om, cào dọn mặt và chân gương).
- + Chống tạt (nếu cần thiết).
- + Mở rộng hệ thống thông gió, điện...

Tất cả những công việc trên đây được tiến hành theo một trình tự nhất định gọi là chu kỳ khoan nổ mìn, biểu đồ khoan nổ mìn biểu diễn trình tự thực hiện các công tác trên đây gọi là biểu đồ tổ chức chu kỳ khai đào và chống giữ đường hầm. Sau khi tiến hành khoan nổ mìn và tạo được gương đào theo thiết kế thi công sẽ tiến

hành thi công phần vỏ hầm và lắp đặt thiết bị của đường hầm (trong luận án không xét tới hai công đoạn này).

Để tiến hành khai đào đường hầm theo phương pháp khoan nổ mìn, trước hết người ta cần xem xét lựa chọn sơ đồ đào (đào toàn gương hay đào chia gương...), rồi tiến hành lựa chọn các trang, thiết bị thi công, sau đó tính toán cụ thể chính xác các tham số thi công khoan nổ, lập thành hộ chiếu khoan nổ mìn và tiến hành thi công khoan nổ theo hộ chiếu khoan nổ mìn, tiếp theo là thông gió, bốc dỡ, vận chuyển đất đá, nạo vét, chống tạm và mở rộng hệ thống thông gió, điện... Quá trình tiến hành từng công đoạn luôn có liên hệ chặt chẽ với nhau, bất kỳ sự phối hợp không ăn ý giữa các công đoạn thi công sẽ luôn ảnh hưởng tới hiệu quả thi công chung của cả công trình. Do đó quá trình khai đào đường hầm theo phương pháp khoan nổ mìn ngoài việc tính toán lựa chọn các thông số khoan nổ mìn thì việc nghiên cứu mô phỏng quá trình thi công từng công đoạn để đưa ra các giải pháp thi công hợp lý là hết sức cần thiết.

## 2.2. Công tác khoan nổ mìn

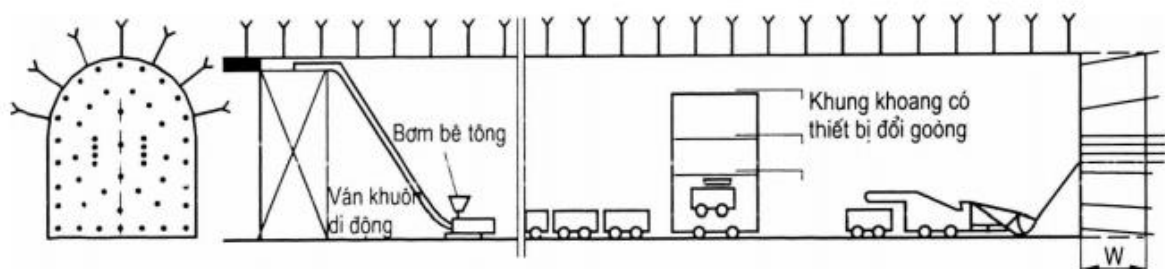
### 2.2.1. Sơ đồ đào

Công tác khoan nổ mìn gắn liền với sơ đồ khai đào. Theo sơ đồ khai đào trên gương có thể phân ra hai nhóm chính là phương pháp đào toàn gương và phương pháp đào chia gương. Sau đây tóm tắt một số điểm chính liên quan đến hai sơ đồ khai đào được rút ra từ tổng hợp các tài liệu tham khảo.

#### 2.2.1.1. Đào toàn gương [11, 19, 22, 26, 35, 77]

Nếu như trước đây, đào toàn gương được hiểu là đào đồng thời toàn bộ mặt cắt gương trên cùng một mặt phẳng, thì ngày nay được hiểu theo nghĩa rộng hơn, cụ thể là:

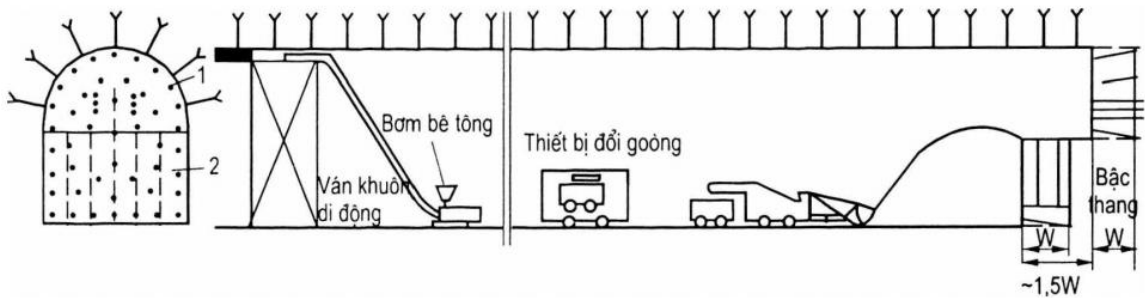
- Đào đồng thời toàn bộ gương trên cùng một mặt phẳng (hình 2.1);



Hình 2.1. Phương pháp đào toàn gương [22]

- Đào toàn bộ gương phân bậc ngắn, sau đó chống tạm toàn bộ vùng được đào đồng thời (hình 2.2);

Trường hợp sau thường được áp dụng, khi điều kiện khối đá cho phép đào toàn gương, nhưng khả năng trang, thiết bị thi công hạn chế.



Hình 2.2. Đào toàn gương theo nghĩa rộng [22]

Đào toàn gương hay toàn gương của công trình ngầm bằng các phương pháp thông thường (khoan - nổ mìn, máy đào lò, máy đào xúc) được quyết định bởi ba yếu tố:

(1) Thời gian tồn tại ổn định không chống của khối đá, trong mối liên quan với kích thước và hình dạng của công trình, phải đủ lớn.

(2) Nhu cầu về thời gian lắp dựng kết cấu bảo vệ phải phù hợp với thời gian ổn định không chống, theo những nguyên tắc của phương pháp thi công hiện đại. Nếu khối đá có thời gian tồn tại ổn định không chống đủ lớn, hay khối đá là rất ổn định, có thể không cần thiết lắp dựng kết cấu chống tạm. Tuy nhiên trong mọi trường hợp cần thiết phải chú ý đảm bảo an toàn cho con người.

(3) Các trang, thiết bị như xe khoan hoặc sàn công tác, máy đào lò, máy phá đá cũng như các máy bốc xúc, vận chuyển phải có công suất cũng như khả năng tiếp cận đủ lớn, để đảm bảo trình tự và tốc độ thi công trong các điều kiện đã cho. Hiện nay với các thiết bị hiện đại, kích thước tiết diện đào không nên nhỏ hơn  $5\text{m}^2$ . Kích thước nhỏ hơn sẽ cản trở con người và thiết bị và vẫn có thể làm cho chi phí cao, mặc dù khối lượng đào và chống bảo vệ có thể nhỏ.

Các ưu điểm cơ bản của sơ đồ đào toàn gương là:

+ Toàn bộ công tác thi công đào cho toàn gương được thực hiện trong một chu kỳ, do đó không gây nên những biến đổi cơ học nhiều lần. Như vậy khối đá được “bảo dưỡng” tốt hơn;

+ Tại gương đào có khoảng không gian trống, cho phép có thể sử dụng các biện pháp có mức độ cơ giới hóa cao cho quá trình nổ mìn.

+ Mức độ cơ giới hóa cao có thể tạo ra chu trình thi công liên tục, làm giảm thời gian thi công, cũng như bảo vệ khối đá thông qua khả năng hạn chế ảnh hưởng của yếu tố thời gian đến công tác chống tạm.

+ Thi công toàn gương không gây ra các tác động ảnh hưởng hay chi phối lẫn nhau của các công đoạn, do vậy có thể theo dõi bao quát và dễ có thể tổ chức tốt công tác thi công.

Những nhược điểm của sơ đồ đào toàn gương:

+ Do mở ra khoảng trống có tiết diện tương đối lớn, thường chưa chống tạm, bảo vệ ngay được, nên sẽ có thể hình thành mối nguy hiểm lớn, trong điều kiện có những biến động đáng kể về điều kiện địa chất, địa cơ học.

+ Thi công toàn gương với mức độ cơ giới hóa cao cũng có thể làm hạn chế tính linh hoạt của công tác thi công, cụ thể là sẽ rất khó khăn khi phải chuyển sang đào chia gương ngay, trong trường hợp cần thiết.

#### 2.2.1.2. Đào chia gương

Đào chia gương là chia mặt cắt thiết kế thành nhiều phần nhỏ và dùng nhiều lần đào tương ứng để hình thành.

Ba nguyên nhân cơ bản dẫn đến phải đào chia gương là:

(1) Thời gian tồn tại ổn định không chống của khối đá không đủ lớn để đào toàn gương.

(2) Nhu cầu về thời gian để lắp dựng kết cấu bảo vệ khi đào toàn gương không tương xứng với thời gian ổn định của khối đá (mối quan hệ với thời gian tồn tại, khẩu độ thi công).

(3) Các trang, thiết bị không bao quát được toàn bộ tiết diện (tiết diện đào lớn so với năng lực của thiết bị thi công); máy bóc xúc không có công suất hợp lý cho toàn bộ chu kỳ đào, do vậy phải chia gương.

Việc chia gương cũng thường bị chi phối bởi các điều kiện địa chất, địa chất thủy văn và địa cơ học.

Như vậy việc chia gương đào, khi gặp các tiết diện lớn, trước kia chủ yếu là do khả năng điều khiển khối đá còn bị hạn chế. Với các loại vật liệu chống tạm thời đó, chủ yếu là khung gỗ hộp hay khung ván khuôn, chỉ cho phép đào với tiết diện nhỏ. Ngày nay, việc áp dụng các phương pháp đào chia gương, ngoài yếu tố kỹ thuật là giảm tải cho kết cấu chống giữ, còn được lựa chọn trên cơ sở các tiêu chí về hiệu quả kinh tế, tiến độ thi công và điều kiện trang bị thi công.

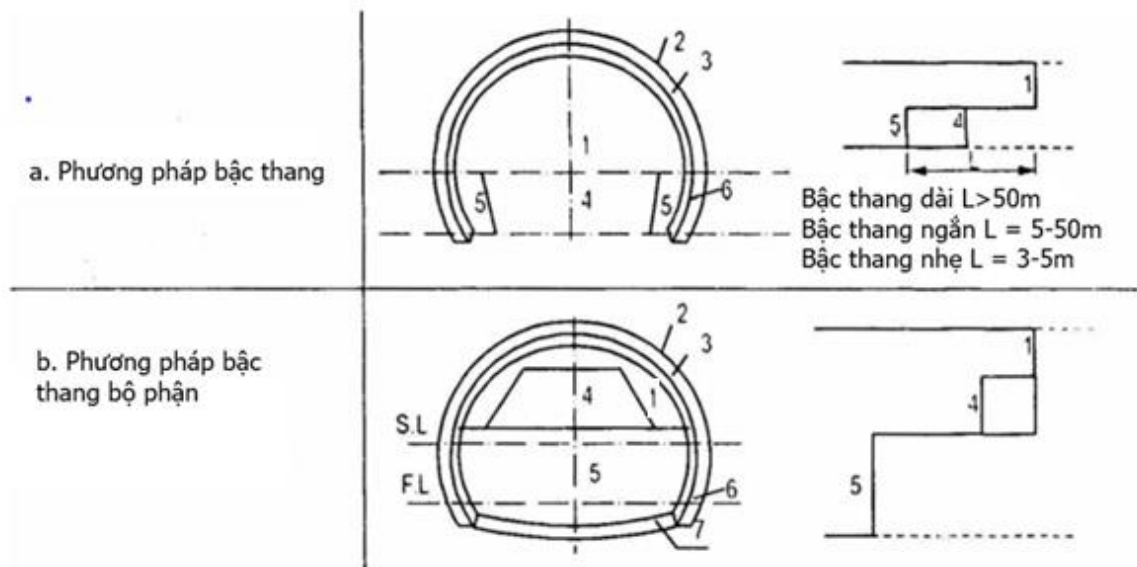
Các phương pháp đào chia gương phổ biến là:

- *Phương pháp đào theo bậc thang [11, 19, 22, 26, 35, 77]*

Phương pháp đào theo bậc thang là phương pháp đem chia mặt cắt thiết kế ra làm hai nửa: nửa trên, nửa dưới và dùng hai lần đào để hình thành (hình 2.3).

Ưu khuyết điểm của phương pháp đào bậc thang:

+ Phương pháp đào theo bậc thang có không gian công tác đầy đủ và có tốc độ thi công khá tốt. Nhưng khi thi công bộ phận trên thì bộ phận dưới có phần cản trở.



Hình 2.3. Phương pháp đào theo bậc thang và bậc thang bộ phận [26]

+ Đào theo bậc thang tuy tăng thêm số lần tác động đối với đất đá vây quanh, nhưng bậc thang có lợi về ổn định mặt đào, nhất là khi bộ phận trên được che chống sau khi đào xong thi công ở bộ phận dưới sẽ tương đối an toàn, nhưng cần chú ý khi đào ở bộ phận dưới tránh làm ảnh hưởng đến tính ổn định của bộ phận trên.

Khi đào theo bậc thang cần chú ý các việc sau:

+ Chiều dài bậc thang cần thích đáng. Theo chiều dài bậc thang chia ra 3 loại: bậc dài, bậc ngắn, bậc nhẹ (bậc mini). Lựa chọn loại bậc thang nào, cần căn cứ vào hai điều kiện sau để xác định: điều kiện thứ nhất - yêu cầu thời gian hình thành hệ thống che chống thời kì đầu, đất đá càng ổn định kém, yêu cầu thời gian khép kín càng ngắn; điều kiện thứ hai - khi thi công nửa mặt cắt trên, yêu cầu không gian lớn hay nhỏ cần cho máy móc thiết bị đào, chống đỡ đất đá.

+ Giải quyết tốt vấn đề cản trở lẫn nhau giữa nửa trên và nửa dưới. Bậc thang nhỏ căn bản hợp với một mặt đào sâu được tiến hành đồng bộ; bậc thang dài về cơ bản thi công kéo rộng ra, vướng nhau ít; nhưng bậc thang ngắn cản trở nhau tương đối lớn, cần chú ý tổ chức lao động. Đối với các loại đường hầm ngắn có thể đào thông nửa mặt cắt trên xong, mới tiến hành thi công nửa mặt cắt dưới.

+ Khi đào ở bộ phận dưới, cần chú ý ổn định cho bộ phận trên. Nếu đất đá có tính ổn định tốt, thì có thể phân đoạn đào theo thứ tự; nếu đất đá có tính ổn định xấu thì cần rút ngắn số thước đào sâu theo tuần hoàn ở bộ phận dưới; nếu tính ổn định càng kém, thì đào xen kẽ bên trái và bên phải, hoặc trước tiên đào rãnh giữa, tiếp sau đào hai bên cánh.

*- Phương pháp đào từng bộ phận [11, 26, 77]*

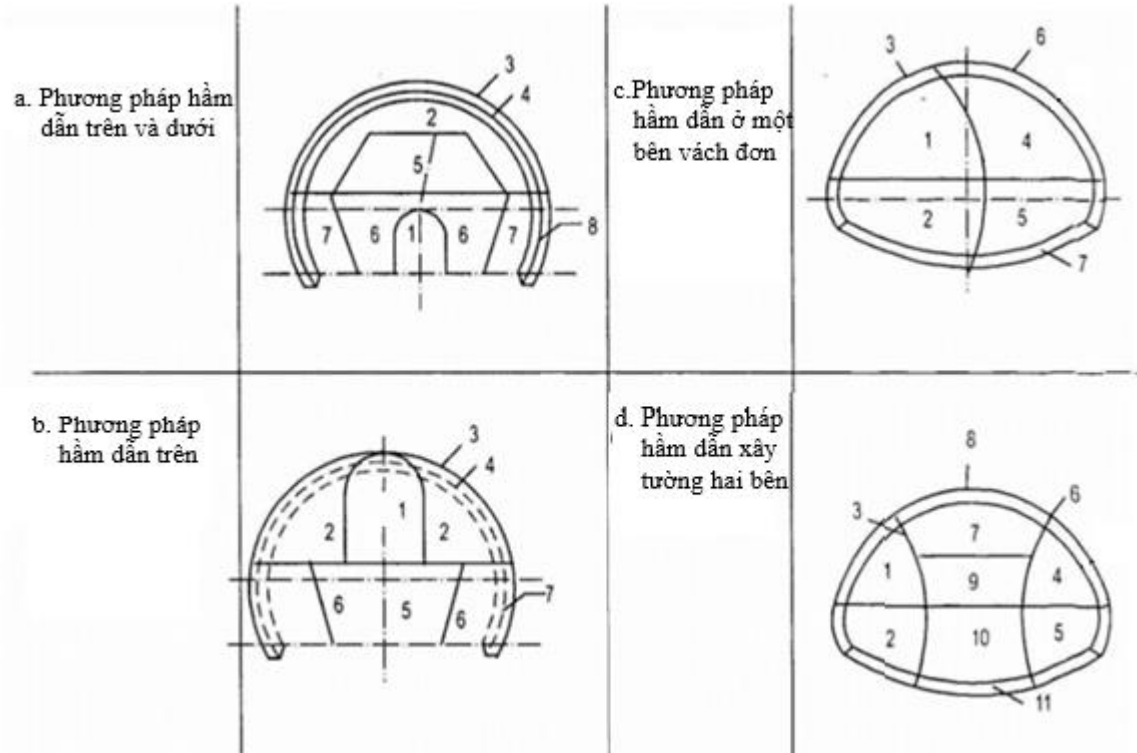
Phương pháp đào từng bộ phận là phương pháp chia mặt cắt ra từng bộ phận và dần dần tạo thành đường hầm, và đào trước một bộ phận nào đó cho nên cũng còn gọi là phương pháp đào trước một hầm dẫn. Các phương pháp thường dùng là phương pháp đào hầm dẫn trên và hầm dẫn dưới; phương pháp đào trước hầm dẫn trên; phương pháp đào trước hầm dẫn bên vách đơn hoặc đôi (hình 2.4).

Ưu khuyết điểm của phương pháp đào từng bộ phận:

+ Đào từng bộ phận, do việc giảm nhỏ khẩu độ chiều rộng của một hầm dẫn, có thể làm tăng rõ rệt tính ổn định tương đối của đất đá vây quanh hầm dẫn và dễ tiến hành che chống cục bộ, vì vậy phương pháp này chủ yếu thích hợp với đường hầm có đất đá mềm yếu, vụn nát hoặc đường hầm có mặt cắt thiết kế tương đối lớn. Đào từng bộ phận do mặt công tác tương đối nhiều, các dây chuyền cản trở nhau khá lớn và làm tăng số lần xáo động đất đá, nếu dùng phương pháp đào sâu bằng

khoan nổ thì càng bất lợi cho tính ổn định của đất đá, khó khăn về tổ chức quản lý thi công càng nhiều.

+ Hàm dẫn được đào vượt lên trước, có lợi cho việc thăm dò tình hình địa chất để xử lý kịp thời. Nhưng, nếu dùng mặt cắt hàm dẫn quá nhỏ thì tốc độ thi công sẽ khá chậm.



Hình 2.4. Phương pháp đào từng bộ phận (không vẽ neo) [26].

Khi dùng phương pháp đào từng bộ phận cần chú ý các việc sau:

+ Do nhiều gương công tác, dễ dẫn tới cản trở lẫn nhau, cần chú ý tổ chức phối hợp, thực hiện thống nhất chỉ huy để đảm bảo hiệu quả tiến độ thi công tốt nhất.

+ Do đào nhiều lần làm chấn động đất đá mạnh không lợi cho tính ổn định của đất đá, cần đặc biệt chú ý tăng cường kiểm soát khi đào bằng khoan nổ.

+ Cần hết sức tìm tòi điều kiện giảm thiểu số lần chia nhỏ, tận dụng khả năng dùng đào theo mặt cắt lớn. Cần xem xét số lần chia và khoảng cách giữa các gương.

+ Khi đào phần dưới, đều phải chú ý độ ổn định các kết cấu chống hoặc vỏ chống phần trên, giảm thiểu chấn động và phá hoại đối với vỏ, nhất là khi khai đào phần đất đá bên hông đường hầm.



### **2.2.2. Thiết bị khoan**

Máy khoan đá thường dùng trong công trình đường hầm gồm các máy khoan chạy bằng khí nén và các máy khoan chạy bằng thủy lực. Ngoài ra, còn có máy khoan chạy điện và máy khoan chạy diesel nhưng tương đối ít sử dụng. Nguyên lý làm việc của chúng đều là sử dụng lưỡi khoan gắn vào đầu mũi khoan quay và xung kích lặp đi lặp lại phá nát vụn nham thạch tạo thành lỗ. Các loại máy có thể điều chỉnh lực xung kích to hay nhỏ và tốc độ chuyển động thích hợp với độ cứng của đất đá, để đạt được hiệu quả khoan tốt nhất [26].

Hiện nay trên thế giới, máy khoan thủy lực điều khiển bằng máy tính với mức độ tự động hóa khác nhau được sử dụng rộng rãi trong khoan hầm. Thế hệ hiện tại của máy khoan được thiết kế để đạt năng suất cao, chất lượng và điều kiện làm việc thoải mái cho thợ điều khiển. Thậm chí đối với một số máy khoan, kế hoạch khoan được lưu trữ trong máy tính và do đó không cần phải đánh dấu lỗ khoan; việc điều hướng được thực hiện bằng tia laser rất chính xác trong việc quyết định vị trí của lỗ khoan. Các biến dạng của đường hầm đã đào có thể được quét bằng các thiết bị điện tử, nhờ đó có thể được ghi lại tình trạng nứt vỡ để sử dụng cho việc tối ưu hóa quá trình khoan trong các chu kỳ tiếp theo [83].

Tại Việt Nam, công nghệ thi công hầm bằng khoan nổ mìn đã phát triển hơn trong những năm gần đây. Các doanh nghiệp xây dựng hầm của Việt Nam cũng đã nhập và làm chủ một số thiết bị khoan hầm như Tamrock Axera T08S-209C, Tamrock H205, Boomer 322, Boomer 352, Boomer L2D, Boomer H175... Tuy nhiên, nhìn chung thế hệ máy khoan của các doanh nghiệp Việt Nam vẫn còn nghèo về chủng loại và lạc hậu về công nghệ so với mặt bằng chung của ngành xây dựng hầm thế giới (như đã được đề cập trong chương 1 và phụ lục 1).

### **2.2.3. Thuốc nổ và công tác nạp thuốc**

Thuốc nổ thường dùng trong công trình hầm có một số loại mà thành phần chủ yếu là thuốc nổ đơn chất, ngoài ra thêm một số chất mà thành. Hiện nay, trong thi công hầm sử dụng tương đối rộng là thuốc nổ loại nitrat amôn, thành phần chủ yếu là nitrat amôn chiếm trên 60%, sau đến TNT hoặc nitrat natri (hoặc kali) chiếm 10%

÷15% [26]. Nhìn chung, thuốc nổ phổ biến ở 3 dạng: dạng bột, dạng nhũ tương (keo nước) và dạng sữa. Thuốc nổ dùng trong thi công đường hầm nói chung đều được chế tạo trong xí nghiệp hoặc ở hiện trường gia công thành hình các thỏi thuốc, đường kính thỏi thuốc có  $\phi 22$  mm,  $\phi 25$  mm,  $\phi 32$  mm,  $\phi 35$  mm,  $\phi 40$  mm... Chiều dài là 165 mm ÷ 500 mm, có thể dựa theo phương pháp nạp thuốc nổ theo thiết kế nổ mìn và lượng thuốc nổ cần dùng để lựa chọn sử dụng. Ở nước ta, việc nạp thuốc nổ vào lỗ mìn chủ yếu làm thủ công với sự trợ giúp của các xe nâng hoặc sử dụng luôn sản phẩm của máy khoan.

Theo nghiên cứu của tác giả Shokrollah Zare [83], hiện nay, người ta quan tâm và phát triển nhiều loại thuốc nổ nhũ tương. Các thuốc nổ nhũ tương hiện đại được cân bằng oxy, tạo ra ít khói hơn với lượng độc hại ở mức tối thiểu, cung cấp điều kiện làm việc tốt hơn cũng như giảm thời gian thông gió. Thuốc nổ nhũ tương SSE (Site Sensitised Explosives) an toàn trong vận chuyển và xử lý, do đó có thể dùng máy để nạp thuốc vào lỗ mìn. Thuốc nổ nhũ tương kết hợp với hệ thống gây nổ phi điện như NONEL đã làm tăng sự an toàn của các hoạt động nạp thuốc và gây nổ và trở nên hiệu quả hơn. Ngoài ra, việc nạp thuốc nổ nhũ tương vào các lỗ mìn được thực hiện nhờ hệ thống điều khiển bằng máy tính và do đó, có thể đo lường được lượng thuốc nổ trong mỗi lỗ mìn và tổng lượng tiêu thụ thuốc nổ, nhờ thế ta có thể kiểm soát lượng thuốc nổ trong các lỗ khác nhau trên gương, đặc biệt là trong các lỗ khoan biên và các lỗ mìn cần thiết cho nổ tạo mặt nhẵn. Hệ thống đo cũng có thể giúp kiểm soát chiều dài không nạp thuốc của các lỗ mìn để cho kết quả nổ tối ưu. Đầu những năm 2000, một mẫu máy tự động nạp thuốc nổ nhũ tương đã được nghiên cứu chế tạo và thử nghiệm thành công ở Na Uy. Nghiên cứu này giúp giảm 20% thời gian cho công tác khoan và nạp thuốc nổ, đồng thời cải thiện công tác an toàn. Hệ thống nạp thuốc nổ được gắn trên máy khoan như một cần khoan riêng và việc nạp thuốc nổ được thực hiện tự động trong quá trình khoan mà không có sự hiện diện của con người tại gương đào, tuân thủ các quy định cấm nạp thuốc thủ công đồng thời với công tác khoan lỗ mìn. Mới đây, ở Nhật Bản đã nghiên cứu sản xuất ra một loại thuốc nổ nhũ tương dạng hạt. Thuốc nổ nhũ tương dạng hạt có dạng

hình trụ với đường kính 4 mm và chiều dài 4 mm, có thể nạp vào trong các lỗ mìn bằng máy nạp sử dụng khí nén.

#### **2.2.4. Thông gió**

Thông gió là thuật ngữ được sử dụng cho hệ thống thông gió nhân tạo của đường hầm trong quá trình xây dựng. Không khí được dẫn xuống đường hầm bằng các ống dẫn. Mục đích của thông gió trong thi công đường hầm là cung cấp trong hầm đầy đủ không khí trong lành (trong đó hàm lượng ôxy tính theo thể tích không được thấp hơn 20% [26, 37]), làm loãng hoặc thoát hết khí độc và giảm thấp nồng độ bụi theo các tiêu chuẩn vệ sinh lao động để cải thiện điều kiện làm việc, giữ sức khỏe cho công nhân làm việc.

Sau khi nổ mìn, phải sử dụng hệ thống thông gió để loại bỏ các hạt khí và bụi độc hại trên mức độ cho phép. Thời gian thông gió cần thiết phụ thuộc vào hiệu quả của hệ thống thông gió, chất nổ được sử dụng và quy chuẩn, tiêu chuẩn quốc gia. Theo nguyên tắc chung, cần thông gió nhân tạo tối thiểu 15 phút trước khi cho công nhân vào hoạt động trở lại ở khu vực gương hầm [43].

Việc lựa chọn phương thức thông gió thi công cần dựa vào chiều dài đường hầm, diện tích gương hầm lớn hay nhỏ, phương pháp thi công với điều kiện thiết bị và nhiều nhân tố khác để xác định. Trên cơ sở của phương thức thông gió đã lựa chọn, người thiết kế thi công sẽ tính toán lựa chọn quạt thông gió thích hợp, nhằm để bố trí ống thông gió hợp lý, thỏa mãn yêu cầu môi trường thi công.

Hiện nay, hệ thống thông gió thông minh đã được nghiên cứu phát triển ở một số quốc gia. Hệ thống này sử dụng vật liệu mới cho ống dẫn và hệ thống hỗ trợ ống dẫn. Hệ thống có thiết bị liên tục ghi lại chất lượng không khí và kiểm soát tự động các quạt thông gió. Nhờ những cải tiến như vậy mà tiết kiệm được chi phí và cải thiện môi trường làm việc [83].

### **2.3. Quá trình thu dọn và xúc bốc, vận chuyển đất đá văng**

Quá trình thu dọn và xúc bốc, vận chuyển đất đá văng ra ngoài do nổ mìn có thể được chia thành hai hoạt động, xúc bốc lên phương tiện và vận chuyển. Trong đào hầm bằng khoan nổ mìn, việc giải phóng mặt bằng nằm trên đường găng, có nghĩa là

mỗi phút tiết kiệm được ở đây sẽ làm rút ngắn chu kỳ đào và do đó, rút ngắn thời gian xây dựng tổng thể, dẫn đến tiết kiệm được chi phí. Điều này làm cho việc lập kế hoạch cho hoạt động xử lý đất đá thải một cách kỹ lưỡng và phù hợp với điều kiện cụ thể của công trình là rất quan trọng vì cả lý do kinh tế và kỹ thuật. Đặc biệt, sự phù hợp của năng suất xe máy, thiết bị bốc xúc và vận chuyển đóng vai trò quyết định. Cần phải lựa chọn tổ hợp xe máy phù hợp cho từng dự án. Các chỉ tiêu kỹ thuật chủ yếu để lựa chọn xe máy, thiết bị là [35]:

- Tình không cho phép thi công theo mặt cắt ngang và mặt cắt dọc, trong đó đã xét tới sự hạn chế của nó do việc lắp đặt các hệ thống kỹ thuật (thông gió, cấp điện...).
- Khoảng cách vận chuyển.
- Các độ dốc.
- Khối lượng đào trên mặt cắt đào.
- Các đặc điểm của đất đá thải (kích thước và hình dạng hạt, đường cong cấp phối của đất đá thải).

Bên cạnh đó, một yếu tố quan trọng cần phải được xem xét tới khi lựa chọn thiết bị bốc xúc vận chuyển, nhất là trong điều kiện cụ thể của Việt Nam, đó là tình hình trang, thiết bị hiện có của đơn vị thi công.

Thực tế thì việc lựa chọn thiết bị bốc xúc vận chuyển phải được tiến hành trước khi khoan nổ và các kết quả lựa chọn này được dùng trong tính toán các tham số chu kỳ khoan nổ.

### **2.3.1. Máy bốc xúc**

Hiện nay, công tác bốc xúc bằng máy được sử dụng rộng rãi với nhiều loại máy được sử dụng. Máy xúc sử dụng thay cho bốc xúc bằng thủ công trong hầu hết các trường hợp nhằm mục đích nâng cao hiệu quả xúc bốc, giảm cường độ lao động cho công nhân. Máy bốc xúc đất đá được lựa chọn phụ thuộc vào nhiều yếu tố như tiết diện đường hầm, chiều cao đường hầm, phương tiện vận chuyển, khả năng đầu tư, v.v...

Loại hình máy bốc xúc đất đá khá đa dạng. Theo hình thức cơ cấu bốc có thể chia làm: kiểu gầu xúc, kiểu cào cua, kiểu vuốt đứng, kiểu gầu đào. Máy bốc đá kiểu gầu xúc là loại máy bốc đá không liên tục, có 3 loại: thùng lật đổ sau, đổ trước và đổ

bên. Máy bốc đất đá kiểu cào cua, kiểu vuốt đứng (hai loại này còn gọi chung là máy cào vơ) và kiểu gầu đào là các loại máy bốc đất đá liên tục, thường kết hợp với băng tải [26,35].

Phương thức đi lại của các máy bốc đất đá có hai loại: loại đi lại trên ray và đi lại bằng bánh lốp. Cũng có khi có bố trí cả hai kiểu cơ cấu đi lại trên ray và bánh xích.

Máy bốc đất đá chạy ray cần phải đặt đường ray, vì thế phạm vi công tác bị hạn chế. Nhưng cũng có loại cơ cấu bốc đất đá của máy có thể chuyển động một góc nhất định để tăng thêm phạm vi công tác của máy. Khi cần thiết có thể đặt thêm đường ray để thỏa mãn yêu cầu bề rộng công tác lớn hơn [26].

Máy bốc đất đá bánh lốp hoạt động rất linh hoạt, phạm vi công tác ít bị hạn chế. Nhưng trong đường hầm đất có nước, có khả năng bị trượt và sa lầy.

Năng suất máy xúc phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: Loại máy xúc sử dụng, tính chất cơ lý của đất đá, cỡ hạt đất đá sau khi nổ mìn, công tác trao đổi goòng có tải và goòng không tải, thời gian chờ phương tiện vận chuyển (nếu là vận tải bằng ô tô), khả năng chuyên môn điều khiển máy xúc. Đối với từng dự án đường hầm cụ thể, ta sử dụng từng loại máy xúc có năng suất bốc xúc cho phù hợp.

### **2.3.2. Vận chuyển và phương tiện vận chuyển**

Vận chuyển (xuất đất đá ra và đưa vật liệu vào) trong hầm khi thi công có thể chia ra làm hai phương thức: vận chuyển bằng ray hay vận chuyển không dùng ray. Thường dùng loại ray bé do đầu máy và thùng xe xuất đất đá ra và đưa vật liệu vào. Đầu máy lai dất là loại chạy bằng bình ắc qui hoặc diesel, toa xe là loại thùng thường dùng trong các mỏ. Loại xe goòng này thích hợp với đường hầm tiết diện nhỏ, với đường hầm tương đối dài (3 km trở lên), và đây là một phương thức vận chuyển có tính thích nghi rất cao và cũng rất kinh tế [26].

Xe vận chuyển không dùng đường ray có ưu điểm cơ động, linh hoạt, không cần đặt ray, có thể thích nghi với việc đổ đất đá ở các bãi cách xa cửa hầm và trường hợp độ dốc đường đi tương đối lớn. Khuyết điểm là phần lớn các loại máy này chạy bằng diesel gây ô nhiễm không khí trong hầm, cho nên chỉ nên dùng trong loại đường hầm có mặt cắt lớn và chiều dài trung bình và cần chú ý tăng cường thông gió [26].

Trong thực tế thi công các đường hầm giao thông, thủy điện ở Việt Nam, hầu hết đều sử dụng phương thức vận chuyển không ray, trong đó dùng xe tải tự đổ do các ưu điểm của nó như đã nêu trên.

Việc lựa chọn phương thức vận chuyển cần cân nhắc đầy đủ việc phối hợp với máy bóc đất đá và tổ chức vận chuyển, lại còn cần phối hợp cân nhắc tốc độ đào và lượng vận chuyển để hết sức rút ngắn thời gian vận chuyển và đổ đất đá, khi cần thiết phải tiến hành phân tích kinh tế kỹ thuật, tìm phương án tốt nhất.

#### **2.4. Công tác chống tụt**

Sau khi đào đường hầm xong, trừ khi đất đá hoàn toàn tự ổn định không cần chống giữ ra thì ở chỗ đất đá không đủ năng lực ổn định cần phải chống giữ mới có thể làm cho đất đá ở trạng thái ổn định, như vậy được gọi là chống lần đầu hay quen gọi là chống tụt. Như vậy chống lần đầu/chống tụt là biện pháp bảo đảm ổn định và an toàn cho đường hầm trong thời gian thi công. Chống tụt chủ yếu dùng neo và phun bê tông để chống giữ đất đá, đó là hình thức và phương pháp chống giữ cơ bản nhất và thường thấy nhất trong công trình đường hầm hiện đại [26].

##### **2.4.1. Các loại neo và thiết bị thi công neo**

Neo là một loại cấu kiện dạng thanh hoặc dây, được chế tạo bằng kim loại hoặc vật liệu khác có khả năng chịu kéo cao. Người ta sử dụng một loại thiết bị cơ giới để lắp đặt neo vào trong đất đá của công trình ngầm hoặc vào trong lòng các kết cấu công trình khác.

Neo có tính ưu việt về kinh tế kỹ thuật và có thể thích nghi với tính chất và điều kiện địa chất khác nhau, làm cho neo được ứng dụng rộng rãi và nhanh chóng phát triển trong lĩnh vực xây dựng, nhất là trong hầm và công trình ngầm.

Việc tạo lỗ neo và cắm neo được thực hiện bằng các thiết bị cơ giới. Máy khoan lỗ cắm neo và cắm neo có thể sử dụng ngay máy khoan gương hầm. Đối với máy khoan Tamrock và máy khoan hầm Boomer, người ta đã thiết kế được hệ thống cần khoan có khả năng sử dụng cho việc lắp đặt neo ống chẻ là một loại neo được dùng tương đối phổ biến. Quá trình sử dụng máy khoan cắm neo ống chẻ được thể hiện theo quy trình sau:

Dùng máy khoan tự hành hai cần để tiến hành khoan lỗ cắm neo, một cần khoan lắp cần khoan, một cần khoan còn lại sẽ được gá lắp hệ thống gá đỡ sàn thao tác và cắm neo. Sau khi một cần khoan xong lỗ neo, cần còn lại sẽ dịch chuyển tới và đóng neo vào trong lỗ. Thông thường neo ống chẻ được sử dụng rất linh hoạt, chiều dài, khoảng cách giữa các neo được lựa chọn cho từng trường hợp địa chất cụ thể trên biên đường hầm.

Máy khoan cắm neo Boltec của hãng Atlas Copco là loại đang được sử dụng rộng rãi nhất hiện nay để khoan và cắm neo trong hầm. Có rất nhiều loại máy khoan Boltec như: Cabletec LC, Boltec SL. Trong máy khoan cắm neo Boltec, máy có cả ba chức năng, khoan lỗ neo, cắm neo và bơm vữa.

#### **2.4.2. Công nghệ phun bê tông và thiết bị phun bê tông**

Phun bê tông là một loại kết cấu chống đỡ thông dụng trong thi công đường hầm bằng khoan nổ mìn. Người ta sử dụng máy phun bê tông để phun hỗn hợp bê tông vào bề mặt vách đá. Hỗn hợp bê tông được sử dụng là loại bê tông đá nhỏ có phụ gia ninh kết nhanh sẽ giúp nhanh chóng cố kết thành một tầng kết cấu chống giữ, do đó mà phát huy tác dụng bảo vệ đối với đất đá.

Dây chuyền công nghệ phun bê tông có bốn loại: phun khô, phun ẩm, phun ướt và phun hỗn hợp. Khác nhau chủ yếu là trình tự trộn theo cách khác nhau, nhất là thời cơ thêm nước và chất ninh kết nhanh khác nhau.

Hiện nay, có rất nhiều thiết bị phun bê tông, tuy nhiên những máy phun bê tông nổi tiếng thế giới là Aliva của Hãng Sika. Ở Việt Nam hiện tại chủ yếu vẫn sử dụng máy phun bê tông Aliva.

### **2.5. Mô hình tiên định của quá trình thi công hầm**

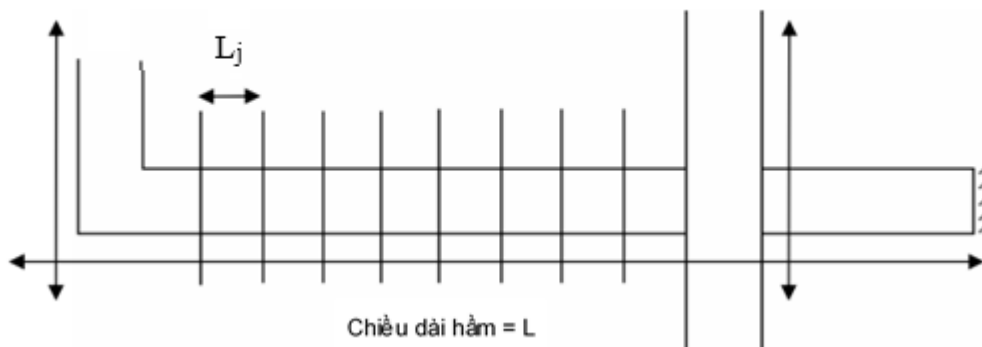
#### **2.5.1. Những vấn đề chung**

##### *2.5.1.1. Khái niệm về mô hình tiên định*

Theo tài liệu [34], một mô hình mô phỏng được gọi là tiên định/tất định khi nó không chứa bất kỳ thành phần xác suất (tức là ngẫu nhiên) nào. Trong các mô hình tiên định, đầu ra là “tiên định” sau khi tập hợp các đại lượng đầu vào và các mối quan hệ trong mô hình đã được xác định; hay nói cách khác, mô hình tiên định có một tập

hợp các đầu vào đã biết, điều này sẽ dẫn đến một tập hợp các đầu ra duy nhất. Ngược lại, một mô hình mô phỏng là ngẫu nhiên khi có một hoặc nhiều biến ngẫu nhiên làm đầu vào. Đầu vào ngẫu nhiên dẫn đến đầu ra ngẫu nhiên.

Mô hình tiên định được phát triển để tính toán năng suất dạng tuyến tính m/h cho phương pháp đào hầm bằng khoan nổ mìn theo sơ đồ khai đào toàn gương và sử dụng xe vận tải bánh hơi. Chiều dài  $L$  của đường hầm được chia thành nhiều đoạn  $L_j$  (thường bằng nhau) để tạo điều kiện tính toán thời gian chu kỳ (xem hình 2.5). Thời gian chu kỳ của mỗi đoạn sẽ khác nhau. Thời gian chu trình của quá trình xử lý vật liệu sẽ tăng lên với mỗi phần tiếp theo  $j$  của đường hầm được đào, do khoảng cách ngày càng tăng giữa gương đào và cửa đường hầm khi tiến hành đào. Điều này dẫn đến thời gian vận chuyển dài hơn liên quan đến quá trình xúc bốc, vận chuyển đất đá, chuyên chở vật liệu... dọc theo đường hầm.



Hình 2.5. Chia chiều dài đường hầm  $L$  thành các đoạn  $L_j$ .

#### 2.5.1.2. Các biến đầu vào của mô hình tiên định

Từ nội dung đã trình bày ở các phần trên về quá trình thi công đường hầm bằng khoan nổ mìn, các quy trình chính và các biến được sử dụng trong các dự án xây dựng đường hầm được xác định. Tổng quan về tất cả các biến đầu vào (tài nguyên và hoạt động) được sử dụng để phát triển phương trình thời gian và năng suất. Các biến đầu vào của quá trình thi công hầm bằng phương pháp khoan nổ mìn được phân loại trong các nhóm “Biến chung” và “Hệ thống vận chuyển bánh lốp” (bảng P.1 và bảng P.2 - Phụ lục 4). Trong nghiên cứu này chỉ xét đến hầm giao thông ngoài thành phố nên không kể đến quá trình vận chuyển trong các giếng đứng.



### 2.5.1.3. Các yếu tố ảnh hưởng đến năng suất xây dựng hầm

Trong tính toán năng suất, cần xem xét các yếu tố quan trọng liên quan đến xây dựng đường hầm. Dựa trên kết quả nghiên cứu của các chuyên gia trong lĩnh vực xây dựng hầm, các yếu tố sẽ được đánh giá thông qua các hệ số  $f_1 \div f_7$  như trình bày trong bảng 2.1 [70].

Bảng 2.1. Các yếu tố ảnh hưởng đến năng suất xây dựng hầm

Hệ số năng suất	Nội dung	Ký hiệu
Kinh nghiệm của nhà điều hành	Đường cong học tập: số năm kinh nghiệm, năng lực kỹ thuật của nhân viên	$f_1$
Điều kiện đất đá/địa chất	Loại đất đá, độ dẻo và độ ẩm	$f_2$
Điều kiện công việc và quản lý	Ví dụ: hệ thống thông tin tốt, có tính tổ chức, nguồn lực sẵn có, lao động có tay nghề cao, v.v.	$f_3$
Điều kiện công trường	Khả năng tiếp cận (gần hay xa đô thị)	$f_4$
Tuyến hầm	Hình dạng tuyến hầm	$f_5$
Tình trạng thiết bị	Số lượng mét hầm mà thiết bị đã thực hiện	$f_6$
Thời gian thi công	Ngày hoặc đêm	$f_7$

### 2.5.1.4. Các hệ số hiệu quả

Bên cạnh các hệ số để đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến năng suất, các hệ số hiệu quả cũng được xét đến trong phương trình năng suất để tính toán tốc độ thi công của đường hầm. Các hệ số hiệu quả cho thấy lượng thời gian dừng các hoạt động liên quan đến quá trình thi công, do các tình huống không lường trước được. Ví dụ hiệu quả 50% cho thấy rằng thời gian để thực hiện các hoạt động nhất định phải tăng gấp đôi như dự kiến. Các yếu tố hiệu quả này bao gồm sự thay thế đối với các biến đầu vào nhất định, chẳng hạn như “thời gian ngừng hệ thống”, “sự chậm trễ của máy”, “thời gian bảo trì” và “thời gian sửa chữa”. Để tránh nhận định chủ quan thông qua các dữ liệu, cần thực hiện đánh giá tổng hợp bằng phương pháp phỏng vấn các chuyên gia. Các hệ số hiệu quả được áp dụng liên quan đến quá trình nổ phá ( $u_1$ ), quá trình chống đỡ ban đầu ( $u_2$ ), quá trình xúc bốc vận chuyển đất đá và vật liệu gia cố ( $u_3$ ) và các quá trình nhỏ ( $u_4$ ) với  $u_i \leq 1$ .

### 2.5.2. Các phương trình thời gian chu kỳ và năng suất

#### 2.5.2.1. Thời gian chu kỳ quá trình nổ phá

Quá trình đào theo phương pháp khoan nổ mìn bao gồm ba hoạt động chính:

- Khoan lỗ mìn trong đó sẽ đặt vật liệu nổ ( $T_{dr}$ ).

- Nạp thuốc nổ vào lỗ khoan trên gương hầm ( $T_{le}$ ).

- Tiến hành nổ và thông gió ( $T_{bv}$ ). Sau khi thuốc nổ được kích nổ, đường hầm được thông gió để thoát khỏi bụi và khí gây ra bởi vụ nổ.

- Chu kỳ thời gian của quá trình đào:

$$CT_{exc} = T_{dr} + T_{le} + T_{bv} \text{ (phút)} \quad (2.1)$$

Sau khi các hoạt động này được thực hiện, vị trí gương hầm bị nổ tung và được thông gió làm sạch không khí, một lượng đất đá nhất định đã sẵn sàng để vận chuyển ra ngoài đường hầm tới khu vực xử lý đất đá.

#### 2.5.2.2. Thời gian chu kỳ của quá trình chống đỡ ban đầu

Chống tạm ban đầu có thể bao gồm lắp đặt các neo và lưới thép trên bề mặt biên đường hầm, tùy thuộc vào điều kiện biên hầm tại hiện trường. Thời gian chu kỳ của quá trình chống tạm ban đầu  $CT_{ps}$  được tính theo phương trình (2.2), bằng cách chia chiều dài phần đường hầm được đào (mô hình hóa bởi  $L_j$ ) cho tốc độ chống đỡ ban đầu ( $B$ ).

$$CT_{ps} = \left( \frac{L_j \times 60}{B} \right) \text{ (phút)} \quad (2.2)$$

Ở đây:  $B$  là tốc độ thi công của quá trình chống đỡ ban đầu (m/h);  $L_j$  là chu kỳ tiến gương của đoạn đường hầm  $j$  (m).

#### 2.5.2.3. Thời gian chu kỳ quá trình xúc bốc vận chuyển đất đá và vật liệu chống giữ

Thời gian chu kỳ ( $CT_{truck}$ ) bao gồm hai thành phần, đó là thời gian để chuyển hết đất đá khỏi vị trí gương hầm ( $P_m$ ) và thời gian để vận chuyển đủ vật liệu gia cố vào vị trí gương hầm ( $P_l$ ). Với hệ thống vận chuyển bằng xe bánh lốp, việc xử lý đất đá bao gồm 5 quy trình chính: đưa xe tải vào vị trí tại gương hầm ( $T_{mt}$ ), xúc đất đá

vào xe tải ( $T_{lm}$ ), vận chuyển đất đá từ gương hầm đến khu vực xử lý đất ( $T_s$ ), đổ đất đá từ xe tải ( $T_{um}$ ), và đưa xe tải không về phía gương hầm ( $T_{sb}$ ). Việc vận chuyển các vật liệu chống đỡ từ cửa hầm tới vị trí gương hầm bao gồm các quá trình sau: bốc xếp vật liệu lên xe ( $T_{ll}$ ), vận chuyển vật liệu đến vị trí gương hầm ( $T_l$ ), dỡ vật liệu chống đỡ ( $T_{ul}$ ) và xe tải không trở lại vị trí tập kết vật liệu chống đỡ ( $T_{lb}$ ).

Thời gian chu kỳ của hệ thống bốc xếp vận chuyển đất đá và vật liệu chống đỡ:

$$CT_{truck} = P_m + P_l \text{ (phút)} \quad (2.3)$$

Thời gian quay vòng của 1 chuyến xe vận chuyển đất đá:

$$P_{ml} = (T_{mt} + T_{lm} + T_s + T_{um} + T_{sb}) \text{ (phút)} \quad (2.4)$$

Thời gian quay vòng của 1 chuyến xe vận chuyển vật liệu chống đỡ ban đầu:

$$P_{ll} = (T_{ll} + T_l + T_{ul} + T_{lb}) \text{ (phút)} \quad (2.5)$$

Thời gian bốc xúc đất đá lên xe tải ( $T_{lm}$ ) được tính bằng cách chia sức chứa của xe tải ( $V_{truck}$  - m<sup>3</sup>) cho năng suất của máy xúc ( $P_{loader}$  - m<sup>3</sup>/h), xác định theo phương trình (2.6):

$$T_{lm} = \left( \frac{V_{truck} \times 60}{P_{loader}} \right) \text{ (phút)} \quad (2.6)$$

Số chuyến xe vận chuyển đất ( $n$ ) và số chuyến xe vận chuyển vật liệu chống đỡ ( $m$ ) được xác định như sau:

$$n = \left( \frac{L_j \times S \times W \times \eta}{V_{truck}} \right) \quad (2.7)$$

$$m = \left( \frac{M_s}{M_{truck}} \right) \quad (2.8)$$

trong đó:  $L_j$  - chu kỳ tiến gương ở đoạn  $j$ ;  $S$  - diện tích mặt cắt ngang hầm;  $W$  - hệ số nở rời của đất;  $\eta$  - hệ số thừa tiết diện;  $V_{truck}$  - sức chứa của xe tải;  $M_s$  - số lượng vật liệu chống cho mỗi chu kỳ;  $M_{truck}$  - lượng vật liệu chống trên mỗi chuyến xe.

Thời gian chạy của xe khi vận chuyển đất đá  $T_s$ , vận chuyển vật liệu chống  $T_l$  hoặc chạy không tải  $T_{sb}$  và  $T_{lb}$  khi thi công đào tại đoạn thứ k được tính như sau:

$$T_s = \left( \frac{\sum_{j=1}^k L_j + L_{sdm}}{v_{truck\_s}} \right) \text{ (phút)} \quad (2.9a)$$

$$T_{sb} = \left( \frac{\sum_{j=1}^k L_j + L_{sdm}}{v_{truck\_sb}} \right) \text{ (phút)} \quad (2.9b)$$

$$T_l = \left( \frac{\sum_{j=1}^k L_j + L_{sdl}}{v_{truck\_l}} \right) \text{ (phút)} \quad (2.9c)$$

$$T_{lb} = \left( \frac{\sum_{j=1}^k L_j + L_{sdl}}{v_{truck\_lb}} \right) \text{ (phút)} \quad (2.9d)$$

Trong các công thức (2.9a;b;c;d) trên đây,  $L_j$  là chu kỳ tiền gương của đoạn đường hầm thứ j (m);  $L_{sdm}$  là quãng đường tính từ cửa hầm đến bãi chứa đất đá thải (m);  $L_{sdl}$  là quãng đường tính từ cửa hầm đến kho chứa vật liệu chống tạm (m); các  $v_{truck\_s}$ ,  $v_{truck\_sb}$ ,  $v_{truck\_l}$ ,  $v_{truck\_lb}$  lần lượt là vận tốc xe chạy có tải đất, không tải đất, có tải vật liệu và không tải vật liệu (m/phút).

Bây giờ, xét đến cách tính thời lượng của  $P_m$  và  $P_l$ . Đối với vận chuyển đất đá, công thức xác định  $P_m$  được xây dựng phụ thuộc vào 2 yếu tố: công suất máy xúc và số lượng xe tải. Nếu có  $n_{truck}$  xe tham gia vận chuyển, quá trình bốc xúc, chạy xe (có tải hoặc không tải), đổ đất của các xe diễn ra đan xen, gối tiếp nhau. Ở đây phải

sử dụng giả thiết đơn giản hóa để xây dựng mô hình tiên định. Cho rằng đoàn xe sẽ tạo thành một hàng, vào vị trí để nhận được chất đầy đất đá và quay ra theo hàng, tức là chúng chạy theo vòng kín và đường hầm cho phép xe chạy hai chiều. Sẽ có hai tình huống:

- Khi  $(T_{lm} + T_{mt}) \times n_{truck} \geq P_{ml}$  tức số xe tải đủ để máy xúc phát huy hết công suất, ta có:

$$P_m = P_{ml} + (T_{lm} + T_{mt}) \times (n - 1) \quad (2.10a)$$

- Khi  $(T_{lm} + T_{mt}) \times n_{truck} < P_{ml}$  tức là giữa hai lần bốc xúc cho đoàn xe sẽ có khoảng trễ (máy xúc chờ xe), thời gian vận chuyển đất đá chung sẽ là:

$$P_m = P_{ml} + (T_{lm} + T_{mt}) \times (n - 1) + [P_{ml} - (T_{lm} + T_{mt}) \times n_{truck}] \times \left( \frac{n}{n_{truck}} - 1 \right) \quad (2.10b)$$

Trong phương trình (2.10b),  $\frac{n}{n_{truck}}$  là số lượt quay vòng đoàn xe được làm tròn số nguyên (tròn lên) khi  $n$  không phải là bội số của  $n_{truck}$ .

Đối với vận chuyển vật liệu, với  $m_{truck}$  xe vận tải được sử dụng, cũng có 2 trường hợp cần xét:

- Khi  $T_{ul} \times m_{truck} \geq P_{ll}$ :

$$P_l = P_{ll} + T_{ul} \times (m - 1) \quad (2.11a)$$

- Khi  $T_{ul} \times m_{truck} < P_{ll}$ :

$$P_l = P_{ll} + T_{ul} \times (m - 1) + [P_{ll} - T_{ul} \times (m_{truck} - 1)] \times \left( \frac{m}{m_{truck}} - 1 \right) \quad (2.11b)$$

*d/. Chu kỳ thời gian của các yếu tố thời gian nhỏ*

Bên cạnh các hoạt động chính của thi công đường hầm như đào, xử lý vật liệu và lắp đặt chống đỡ ban đầu, cũng có các hoạt động "nhỏ" liên quan đến việc xây dựng đường hầm. Các yếu tố thời gian nhỏ cũng được tính đến trong phương trình tính chu kỳ và phương trình năng suất.  $CT_{\min}$  bao gồm các yếu tố sau (tính bằng phút):

- $T_{pl}$ : Thời gian để đặt khoan jumbo ở gương hầm
- $T_{dp}$ : Thời gian để thay thế khoan Jumbo từ cửa đường hầm
- $T_{sc}$ : Thời gian để nạo vét (bằng tay và bằng cơ khí) đường hầm
- $T_{sv}$ : Thời gian để khảo sát đường hầm

Vì vậy, thời gian chu kỳ của các yếu tố thời gian nhỏ trong thi công bằng khoan nổ:

$$CT_{\min} = T_{pl} + T_{dp} + T_{sc} + T_{sv} \text{ (phút)} \quad (2.12)$$

*e/. Tính toán năng suất*

Các yếu tố ảnh hưởng đến năng suất đào hầm (theo phần trăm) là  $f_1 \div f_7$  (bảng 2.1). Trong tình huống lý tưởng, không một yếu tố nào sẽ ảnh hưởng tiêu cực đến năng suất của dự án xây dựng đường hầm, các yếu tố này sẽ nhận giá trị bằng 1. Tất cả các yếu tố được giả định có cùng trọng số tương đối so với nhau.

Các yếu tố hiệu quả (theo phần trăm) là: hiệu quả quá trình đào hầm  $u_1$ , hiệu quả quá trình gia cố  $u_2$ , hiệu quả quá trình xúc bốc vận chuyển đất đá và vật liệu gia cố  $u_3$  và hiệu quả các quá trình nhỏ  $u_4$ .

Từ những kết quả về các chu kỳ thời gian của các công đoạn nêu trên, công thức tính tốc độ đào hầm  $v_{exc,j}$  (m/h) được xây dựng như sau:

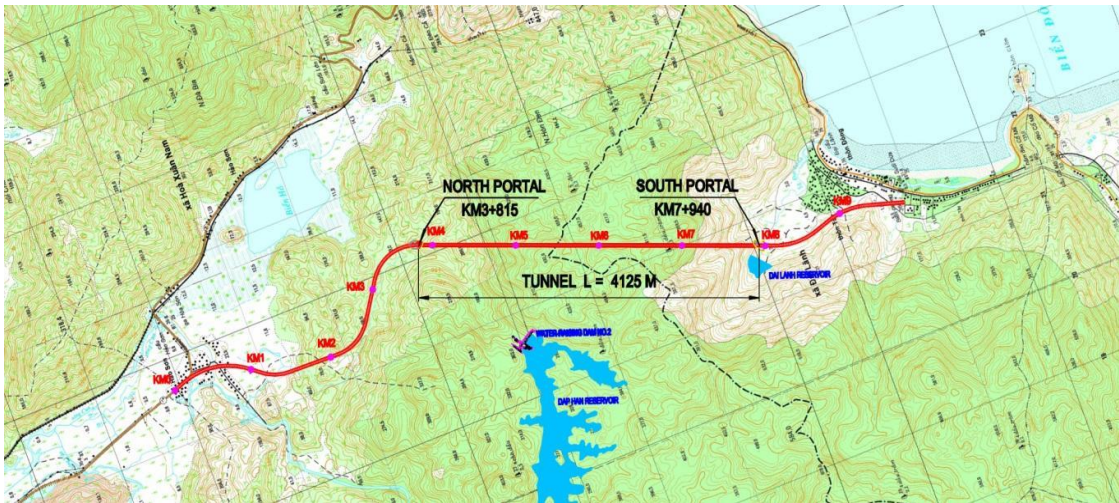
$$v_{exc,j} = \prod_{i=1}^7 f_i \times \left( \frac{L_j \times 60}{\frac{1}{u_1} \times CT_{exc} + \frac{1}{u_2} \times CT_{ps} + \frac{1}{u_3} \times CT_{truck,j} + \frac{1}{u_4} \times CT_{\min}} \right) \quad (2.13)$$

## 2.6. Áp dụng mô hình tiền định phân tích tốc độ đào hầm của dự án hầm Đèo Cả

### 2.6.1. Giới thiệu dự án đường hầm Đèo Cả

Dự án hầm đường bộ qua Đèo Cả được Chính phủ ưu tiên đầu tư xây dựng trong Quy hoạch phát triển giao thông vận tải đường bộ Việt Nam đến năm 2020 và định hướng đến năm 2030 (Quyết định số 1327/QĐ-TTg, ngày 24/08/2009).

Hầm đường bộ qua đèo Cả thuộc huyện Đông Hòa, tỉnh Phú Yên và huyện Vạn Ninh, tỉnh Khánh Hòa.



Hình 2.6. Bình đồ khu vực bố trí dự án hầm Đèo Cả

Hầm Đèo Cả thuộc phân đầu tư theo hình thức BOT, chiều dài hầm thiết kế:  $L=4,125\text{km}$ , gồm hai hầm đơn có chiều cao hầm 6,5m; Chiều rộng hầm 9,75 m mỗi hầm, tổ chức giao thông 1 chiều ở mỗi hầm. Khoảng cách giữa các tim hầm đơn là 30m [7].

Về điều kiện địa chất khu vực xây dựng hầm, theo tài liệu địa chất, đường hầm đào qua 6 loại đất đá như sau:

-Loại I: Điểm từ 81-100 theo thang điểm hệ thống RMR. Đá cứng nứt nẻ nhẹ nhưng ổn định, có thể rơi mảnh nhỏ nhưng không gây tác hại cho tính ổn định của gương đào. Loại đá có tính tự ổn định cao và chỉ cần chống đỡ bằng bê tông phun, biến dạng hầm đào nhỏ và không đáng kể.

-Loại II: Điểm từ 61-80 theo thang điểm hệ thống RMR. Đá cứng, nứt nẻ nhẹ nhưng ổn định. Có thể lở rơi từng mảnh nhỏ nhưng tính ổn định của gương đào vẫn có thể duy trì được trong một vài ngày. Tuy nhiên, do sự nứt nẻ không đồng đều nên việc xác định vùng ổn định hay không ổn định của phần đỉnh đào gặp khó khăn. Để đảm bảo an toàn thì phần đỉnh vòm sẽ được chống đỡ, phần tường bên có thể chỉ cần chống đỡ từng phần. Biến dạng hầm đào vẫn nằm trong giới hạn đàn hồi.

-Loại III: Điểm từ 41-60 theo thang điểm hệ thống RMR. Đá nứt nẻ nhiều và không ổn định. Hầu hết lớp địa tầng có cường độ yếu với các vết nứt và khe nứt phát triển. Nếu không có hệ thống chống đỡ đầy đủ thì các vết nứt trượt nhỏ, vết nứt trên phần gần đỉnh vòm có thể gây ra không ổn định cho toàn bộ hầm. Toàn bộ hầm đào

đều phải có kết cấu chống đỡ. Biến dạng hầm đào trong giới hạn đàn hồi nhưng cục bộ có thể có biến dạng vượt quá trị số cho phép. Kết cấu chống đỡ được tăng cường vì thép nếu cần.

-Loại IV: Điểm từ 31-40 theo thang điểm hệ thống RMR. Đá có mức độ nứt nẻ cao và không ổn định. Các điều kiện của đá tương tự với đá loại 3 nhưng có thời gian tự ổn định ngắn hơn. Toàn bộ hầm đào đều phải có hệ thống chống đỡ. Sự lún nhẹ và biến dạng đàn hồi có thể xuất hiện nhưng đá có xu hướng ổn định trong một vài ngày. Có thể lắp đặt thêm thiết bị đo ứng suất và biến dạng nếu cần. Áp dụng kết cấu chống đỡ loại IV.

- Loại V: Điểm từ 21-30 theo thang điểm hệ thống RMR. Đá bị phong hóa nặng đá cuội và cát rời, cường độ thấp chủ yếu là ở vùng nứt hoặc vùng trượt có thể gây ra sụt trượt khối đá. Loại điều kiện địa chất này thường nằm trong tầng phủ thấp đến trung bình, vùng phay cắt. Sau một thời gian dài sự biến dạng dần dần của khối đá sẽ là nguyên nhân gây ra lún và biến dạng lên vỏ hầm. Biến dạng hầm đào dễ chuyển sang giới hạn dẻo và phá hoại giòn. Toàn bộ hầm đào đều phải chống đỡ.

-Loại VI: Điểm từ 0-20 theo thang điểm hệ thống RMR. Điều kiện đặc biệt, bao gồm đất đá phong hóa nặng, vùng phay cắt đá vỡ vụn và phong hóa nặng. Cần phải có sự quan tâm và chú ý đặc biệt trong quá trình đào và chống đỡ. Đất đá không có khả năng tự ổn định, biến dạng cao cần phải kiểm soát thường xuyên, liên tục. Thực hiện đào từng phần mặt cắt đặt kết cấu chống đỡ và vòm ngược. Cần áp dụng các biện pháp thoát nước trước khi đào cũng như khoan bơm vữa trước để giảm lượng nước ngầm trong quá trình đào hầm.

Về bãi thải của tuyến hầm cửa Bắc: theo quy hoạch của chủ đầu tư, đá thải được đổ theo từng lớp từ dưới lên trên tại bãi thải số 1 (1A và 1B) tại làng Hỏa Sơn, xã Hòa Xuân Nam, huyện Đông Hòa, tỉnh Phú Yên với tổng diện tích là 11.0 ha. Vị trí bãi thải cách cửa Bắc là 0,5 km.

- Dự án bắt đầu đào phân hầm từ giữa năm 2014 và thông hầm ngày 21/6/2016. Dự án hầm Đèo Cả được chia làm hai gói thầu: 1A-2 và 1B-2.



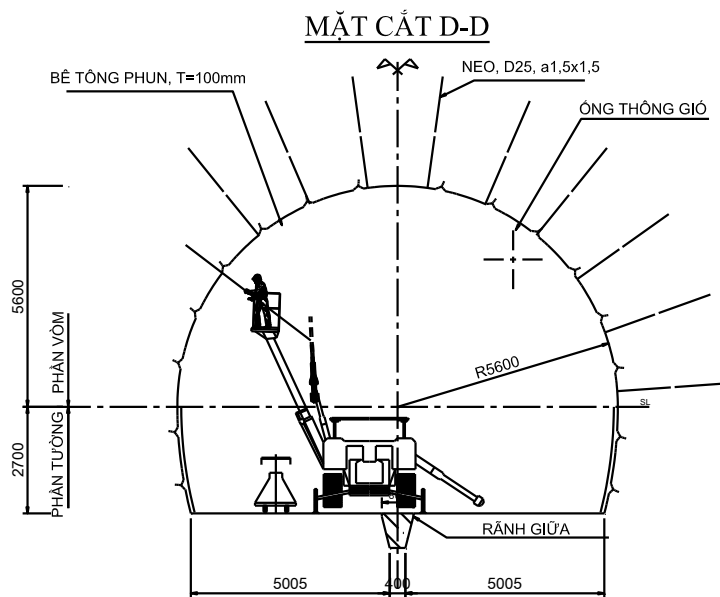
- Gói thầu 1A-2: Hàm phía Bắc đèo Cả có chiều dài  $L=2.085$  m, được chia thành hai nhánh: nhánh hầm phía Đông và nhánh hầm phía Tây.

+ Nhánh hầm phía Đông bắt đầu từ km3+814,728 đến km5+900.

+ Nhánh hầm phía Tây bắt đầu từ km3+815,071 đến km5+900.

- Gói thầu 1B-2: Hàm phía Nam đèo Cả:  $L=2.040$ m, trong đó: cửa hầm Đông tại lý trình km7+940, cửa hầm phía Tây tại lý trình km7+940.

Thi công hầm chính: Liên danh nhà thầu Tổng công ty xây dựng Lũng Lô và Tổng công ty cổ phần Vinavico.

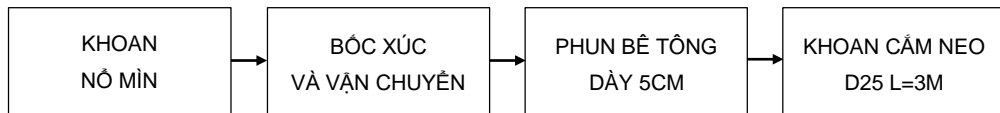


Hình 2.7. Mặt cắt ngang sau khi gia cố của hầm Đèo Cả

Trong luận án này áp dụng mô hình tiên định để phân tích tốc độ đào hầm chính thuộc gói thầu 1A-2, cụ thể cho đoạn km 5+ 470 đến km 5+ 900 (dài 530 m). Tại đoạn này địa chất được mô tả là đá loại B (theo tiêu chuẩn Nhật Bản, tương đương với RMR từ 81÷100) [7].

### 2.6.2. Phương án thi công khoan nổ mìn trong đoạn hầm được phân tích và các tham số đầu vào được sử dụng trong mô hình tiên định

Về công nghệ thi công hầm, liên danh các nhà thầu đã áp dụng công nghệ NATM của Áo.



Hình 2.8. Trình tự thi công trong kết cấu chống đỡ loại B (đào toàn gương)

Phương án thi công là thực hiện đào toàn gương với mặt gương thẳng đứng gồm các bước cơ bản như trình bày ở sơ đồ hình 2.8 [7] và các tham số đầu vào được xác định thông qua phân tích số liệu có trong hồ sơ thi công (phụ lục 2) kết hợp phỏng vấn cán bộ kỹ thuật trực tiếp thi công của nhà thầu Lũng Lô, cho trong bảng 2.2. Chiều dài một chu kỳ khoan nổ được giới hạn từ 2÷4m, khi tính toán lấy trung bình bằng 3m. Đất đá có hệ số nở rời bằng 1,4.

**Bảng 2.2.** Các tham số đầu vào trong tính toán tốc độ đào hầm của dự án Đèo Cả

TT	Tham số	ĐVT	Ký hiệu	Giá trị
1	Kích thước tiết diện hầm	m <sup>2</sup>	$S$	77,398
2	Khoảng cách từ cửa hầm đến bãi thải đất	m	$L_{sdm}$	500
3	Khoảng cách từ cửa hầm đến bãi chứa vật liệu chống tạm	m	$L_{sdl}$	200
4	Thời gian khoan, nạp thuốc, nổ và thông gió	phút	$CT_{exc}$	510
5	Thời gian dịch chuyển và định vị máy khoan	phút	$T_{pl}$	30
6	Thời gian nạo vét bằng thủ công và máy	phút	$T_{sc}$	30
7	Số lượng xe tải sử dụng	xe	$n_{truck}$	5
8	Sức chứa của xe tải	m <sup>3</sup>	$V_{truck}$	12
9	Vận tốc của xe tải không tải	km/h	$v_{truck\_sb}$	10
10	Vận tốc của xe tải có tải	km/h	$v_{truck\_s}$	10
11	Công suất của máy xúc	m <sup>3</sup> /h	$P_{loader}$	80
12	Thời gian xe tải vào vị trí tại gương đào	phút	$T_{mt}$	2
13	Thời gian đổ đất	phút	$T_{um}$	5
14	Thời gian bốc xếp vật liệu chống tạm lên xe	phút	$T_{ll}$	20
15	Thời gian dỡ vật liệu chống tạm xuống xe	phút	$T_{ul}$	5

TT	Tham số	ĐVT	Ký hiệu	Giá trị
16	Lượng vật liệu chống tạm	Tấn	$M_s$	1
17	Tốc độ triển khai chống tạm	m/h	$B$	7

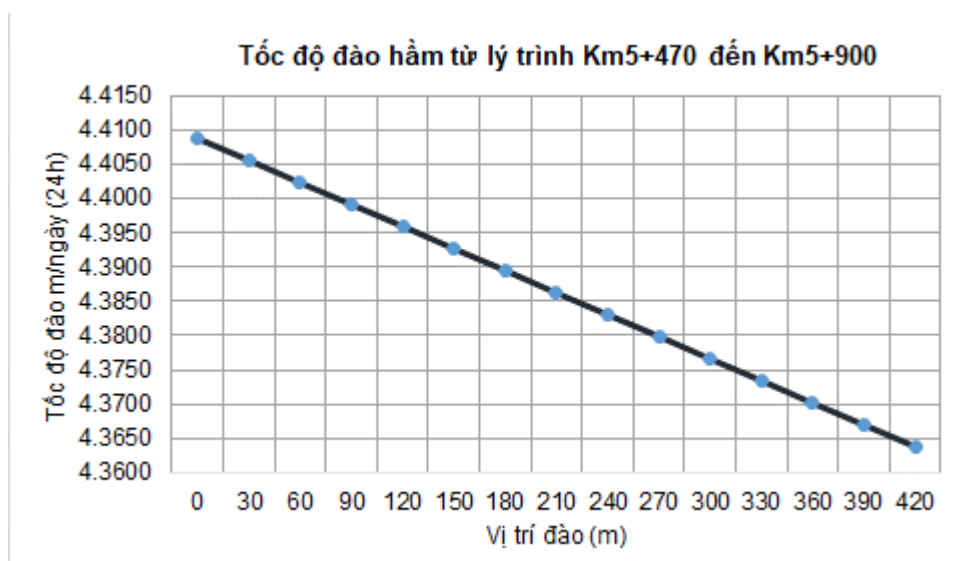
### 2.6.3. Tính toán thời gian chu kỳ và tốc độ đào hầm

Thời gian chu kỳ được tính cho từng phân đoạn (có độ dài bằng  $L_j$ ) theo mô hình đã đề xuất và các dữ liệu đầu vào nêu trên. Trong bảng 2.3 mô tả thời gian chu kỳ tại phân đoạn  $j=1$ , giá trị và tham chiếu đến phương trình của mô hình tiền định.

**Bảng 2.3.** Tính thời gian chu kỳ của các công đoạn

CT khoan nổ mìn	Công thức số	Giá trị (phút)
$CT_{exc}$	(2.1)	510
$CT_{ps}$	(2.2)	25,72
$CT_{truck, j=1}$	(2.3)	384,12
$CT_{min}$	(2.12)	60

Để tính tốc độ đào hầm, cần phải xác định các hệ số năng suất  $f_1 \div f_7$  và các hệ số hiệu quả  $u_1 \div u_4$ . Trong ví dụ số này, các hệ số đó được xác định trong điều kiện lý tưởng nên chúng đều bằng 1.



**Hình 2.9.** Tốc độ đào hầm trên toàn đoạn tuyến tính theo mô hình tiền định

Từ đây, có tốc độ đào hầm tại đoạn đầu tiên theo công thức (2.13):

$$v_{exc, j=1} = 1 \times \frac{3 \times 60}{1 \times 510 + 1 \times 25,72 + 1 \times 384,12 + 1 \times 60} \times 24 = 4,4088 \text{ (m/24h)}$$

Tốc độ đào hầm trên toàn đoạn tuyến đang xét khi sử dụng các điều kiện thi công như đã cho trong bảng 2.2 được tính toán và biểu diễn bằng đồ thị hình 2.9.

#### **2.6.4. Đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố đầu vào**

Việc đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố đầu vào đến tốc độ đào hầm được thực hiện gồm 2 nội dung:

- Xem xét ảnh hưởng của các yếu tố hiệu quả thông qua sự thay đổi các hệ số  $u_1 \div u_4$ . Lần lượt cho các hệ số  $u_i$  nhận giá trị biểu thị tình huống có ảnh hưởng bằng 0,9 (khi một hệ số thay đổi thì các hệ số khác giữ nguyên) để tính tốc độ đào hầm trong các trường hợp đó và so sánh với phương án lý tưởng là các  $u_i$  đều bằng 1.

- Phân tích ảnh hưởng của các biến gồm: công suất của máy xúc, vận tốc xe tải, sức chứa của xe tải và hệ số nở rời của đất đá. Các biến được tăng (giảm) theo tỷ lệ % so với tham số được xác định trong bảng 2.2. Sử dụng công thức (2.13) cho đoạn hầm đầu tiên và khi một biến thay đổi thì các biến khác được giữ nguyên.

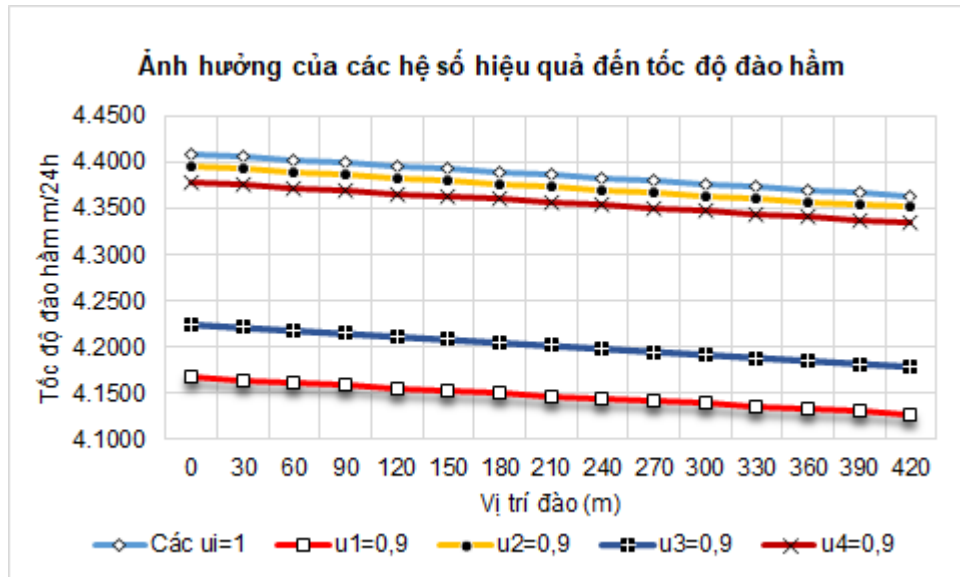
Trong quá trình đánh giá, sử dụng trường hợp tính toán thời gian vận chuyển đất đá với điều kiện số lượng xe tải có đủ để máy xúc làm việc liên tục không phải chờ xe.

Các kết quả thu nhận được như sau:

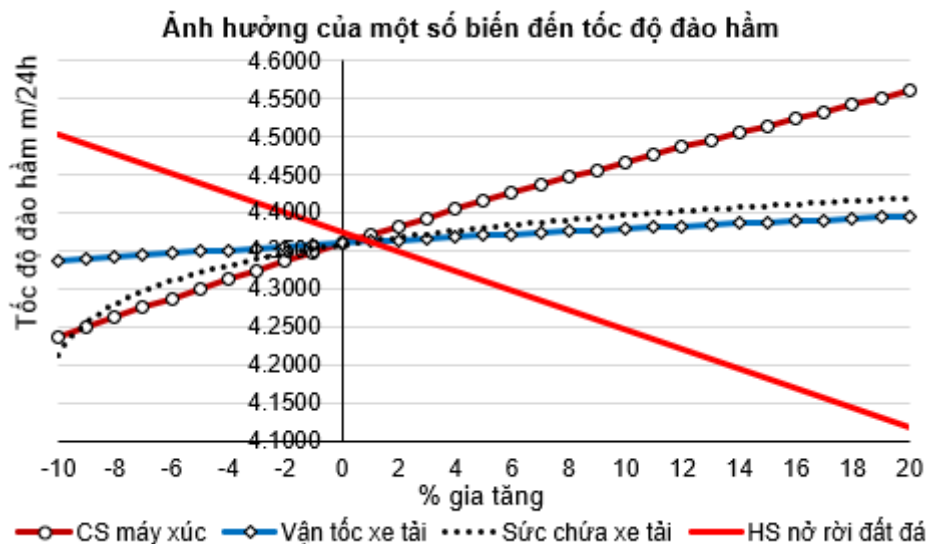
a) *Ảnh hưởng của các yếu tố hiệu quả*: Được thể hiện trên đồ thị hình 2.10.

Như có thể phán đoán trước, ảnh hưởng của các yếu tố hiệu quả liên quan đến quá trình chống đỡ ban đầu ( $u_2$ ) và các quá trình nhỏ ( $u_4$ ) là không đáng kể do thời gian chu kỳ của hai quá trình này chiếm tỷ lệ nhỏ so với toàn bộ thời gian thi công hầm xét trong một chu kỳ khoan nổ. Giai đoạn khoan nổ phá ( $u_1$ ) và giai đoạn xúc bốc vận chuyển đất đá và vật liệu gia cố ( $u_3$ ) chiếm phần lớn thời gian thi công nên ảnh hưởng mạnh đến thời gian thi công. Trong thực tế, những tình huống khiến cho quá trình khoan nổ và xử lý vận chuyển bị ngừng trệ lại có khả năng xảy ra nhiều nhất. Chẳng hạn, sự cố về thiết bị như hỏng máy khoan, máy xúc, xe vận tải... do

hiều nguyên nhân và có thể xảy ra nhiều lần. Điều này đòi hỏi người quản lý giành ưu tiên nguồn lực cho quá trình thi công chính, phải có sự chuẩn bị chu đáo trong bảo quản, bảo dưỡng trang, thiết bị để có trang, thiết bị luôn ở trạng thái sẵn sàng hoạt động tốt nhất, có phương án sửa chữa, thay thế nhanh nhất bảo đảm hiệu quả sử dụng cao nhất.



Hình 2.10. Ảnh hưởng của các yếu tố hiệu quả đến tốc độ đào hầm  
b) Ảnh hưởng của một số biến: Được thể hiện trên đồ thị hình 2.11.



Hình 2.11. Ảnh hưởng của sự thay đổi của công suất máy xúc, vận tốc xe tải, sức chứa của xe tải và hệ số nở rời của đất đá đến tốc độ đào hầm

Một số nhận xét:

- Sự thay đổi của biến “vận tốc xe tải” và biến “sức chứa xe tải” ảnh hưởng không nhiều đến tốc độ đào hầm. Mặc dù trong mô hình, thời gian của chu kỳ xử lý vật liệu chiếm tỉ lệ lớn và chủ yếu là thời gian xử lý đất đá thải, nhưng với giả thiết số xe được sử dụng đủ để máy xúc làm việc liên tục không phải chờ xe, quãng đường vận chuyển khi thi công hầm ngắn, rõ ràng thời gian chu kỳ xử lý vật liệu chủ yếu phụ thuộc vào thời gian bốc xúc đất đá thải. Đường biểu đồ chỉ thị ảnh hưởng của biến “công suất máy xúc” cũng cho thấy rõ điều này. Tuy nhiên, nếu sử dụng xe có sức chứa nhỏ làm cho số lần quay vòng xe tăng lên, tức là làm tăng thời gian xếp xe tại gương đào và thời gian đổ đất thì ảnh hưởng của biến “sức chứa xe tải” phát triển theo hướng tiêu cực rõ rệt. Mặt khác, tuy thời gian xử lý vật liệu lớn, nhưng khác với bài toán vận chuyển trong khai thác mỏ [18], sự hạn chế về không gian thi công cũng như sự tương tác phức tạp với các quá trình khoan nổ, chống đỡ tạm và các quá trình nhỏ (hỗ trợ) trong đào hầm khiến cho các lựa chọn tối ưu trở nên khó khăn hơn.

- Việc xác định hệ số nở ròi của đất đá cũng tác động mạnh đến tốc độ đào hầm. Hệ số nở ròi của đất đá sau nổ mìn phụ thuộc vào tính chất đất đá, mức độ đập vỡ đất đá của vụ nổ. Kết quả khảo sát này cũng tương tự đối với biến “hệ số lẹm” (hệ số thừa tiết diện) do làm thay đổi khối lượng đất đá phải vận chuyển là đáng kể khi kích thước tiết diện hầm tương đối lớn. Hai tham số này cần được tham khảo đầy đủ từ kết quả của các nghiên cứu chuyên sâu, như các tài liệu tham khảo [1, 14].

## 2.6. Kết luận chương 2

Mô hình tiền định của quá trình thi công hầm (xét trong giai đoạn đào hầm) được xây dựng trên đây có thể cho phép tính toán tốc độ đào và thời gian để đào một đường hầm một cách dễ dàng. Cũng có thể sử dụng mô hình này để phân tích độ nhạy cho biết ảnh hưởng của các biến lên tốc độ đào hầm ở các mức độ như thế nào. Tuy nhiên, việc xác định ảnh hưởng của các yếu tố năng suất và yếu tố hiệu quả đến tốc độ đào hầm lại khá phức tạp. Việc giả định điều kiện lý tưởng như trên làm cho kết quả sẽ sai lệch nhiều so với thực tế. Mặt khác, mô hình tiền định chỉ xem xét các khoảng thời gian trung bình và năng suất trung bình của các nguồn lực, đồng thời sử

dụng các giả thiết đơn giản hóa làm cho nó không phản ánh được sự linh hoạt cũng như sự rủi ro của các hoạt động thi công. Để giải quyết vấn đề này, cần thiết phải sử dụng mô hình ngẫu nhiên, chẳng hạn như mô hình mô phỏng.

Mặc dù những khảo sát trên là chưa toàn diện, nhưng kết quả nhận được cũng đủ cho thấy sự phức tạp của quá trình xây dựng đường hầm. Để có những đánh giá và quyết định đúng đắn, khi sử dụng phân tích trên mô hình tiền định, phải mô hình hóa các biến có ảnh hưởng đáng kể đến tốc độ đào hầm một cách cẩn thận, có bộ dữ liệu liên quan đến các biến tương đối đầy đủ, giá trị lấy cho các biến phải có độ chính xác cao. Đây là thách thức không nhỏ đối với những người làm chuyên môn trong thực hành. Mặt khác, trong điều kiện nguồn lực có hạn, tính bất định của các yếu tố đầu vào cao thì việc tìm ra lời giải đáp ứng các điều kiện ràng buộc trên mô hình tiền định càng trở nên rất khó khăn. Cần phải và có thể giải quyết vấn đề này trên cơ sở mô hình ngẫu nhiên bằng cách sử dụng các ngôn ngữ mô phỏng.

### Chương 3

## CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ THỰC TIỄN CỦA MÔ PHỎNG

### TRONG PHÂN TÍCH THỜI GIAN KHAI ĐÀO ĐƯỜNG HÀM

#### 3.1. Vấn đề bất định về thời gian công việc và ước lượng thời gian công việc trong thi công xây dựng hầm

##### 3.1.1. Vấn đề bất định về thời gian công việc

Trong chương 2 đã phân tích về các hoạt động trong quá trình khai đào đường hầm bằng khoan nổ. Một mô hình toán học để xác định tốc độ khai đào đường hầm đã được thiết lập, trong đó xem thời gian hoàn thành các công tác là không đổi (tiền định).

Thời gian công việc tiền định được tính toán như sau [20, 40, 70]:

$$\text{Thời gian công việc} = \frac{\text{Khối lượng công việc}}{\text{Năng suất lao động} \times \text{Biên chế tổ (đội)}} \quad (3.1)$$

Ở đây, biên chế tổ (đội) bao hàm số công nhân hoặc máy xây dựng được (gọi chung là lao động) biên chế để thực hiện công việc đó. Năng suất lao động thể hiện lượng công việc làm được trung bình của một lao động tiêu chuẩn trong một ngày (giờ công). Nghịch đảo của năng suất lao động là định mức lao động, thể hiện lượng hao phí lao động trung bình trên một đơn vị khối lượng công tác [ngày (giờ) công/đơn vị công việc] và cũng là một thước đo năng suất. Vì người ta xem định mức lao động - tức năng suất lao động - là không đổi (trong thực tế, định mức là giá trị trung bình thống kê), nên thời gian công việc là hằng số (tiền định) khi có cùng một khối lượng công tác và cùng lực lượng lao động có trong biên chế tổ (đội).

Tuy nhiên, việc tính toán thời gian công việc (3.1) chỉ là một ước tính gần đúng với thời gian công tác thực tế vì một số lý do. Trước hết, do đặc thù của dự án mà điều kiện để hoàn thành một công việc cụ thể sẽ có thể trở nên dễ dàng hoặc khó khăn hơn. Thêm vào đó, năng suất lao động không phải là cố định, bởi vì trong quá trình làm việc, khi các công nhân đã làm quen với công việc và phối hợp tốt với nhau trong tổ (đội), năng suất của họ có thể được tăng lên theo thời gian [41].

Các yếu tố ngẫu nhiên cũng sẽ ảnh hưởng đến đánh giá năng suất và làm cho ước tính thời gian công việc trở nên bất định. Trong thực tế xây dựng thường gặp



nhiều yếu tố ngẫu nhiên tác động (điều kiện về thời tiết, việc cung cấp nguyên vật liệu, tình trạng của máy móc thiết bị...). Theo [53], các yếu tố bất định thường xảy ra trong quá trình thi công đường hầm làm ảnh hưởng đến thời gian xây dựng, chi phí cũng như chất lượng công trình gồm:

- Địa chất - thủy văn
- Hiệu suất của công nghệ
- Chất lượng tổ chức và lao động
- Giá cả vật tư, nhân công...

Những vấn đề nêu trên dẫn tới thời gian hoàn thành một công việc cụ thể phải được xem là một đại lượng ngẫu nhiên [38]. Khi đó, cần phải có các công cụ phù hợp để phân tích thời gian hoàn thành của toàn bộ quá trình thực hiện dự án (công trình) xây dựng.

Một trong những công cụ sớm nhất cho phép ước tính xác suất thời gian nhiệm vụ là PERT (Program Evaluation and Review Technique - tạm dịch là “Kỹ thuật ước lượng và kiểm tra dự án”), được phát triển bởi Hải quân Hoa Kỳ vào năm 1957. Mỗi nhiệm vụ trong PERT được giả định là một phân phối thống kê về thời gian, có các tham số nhận được dựa trên các ước tính thời gian lạc quan, khả năng cao và bi quan. PERT giúp ước tính xác suất gặp được một ngày đã định trong thời gian dự án hoặc bất kỳ sự kiện quan trọng nào của dự án [42].

Hiện nay, đã có nhiều công cụ khác được phát triển, trong đó có mô phỏng (sẽ được trình bày trong phần sau của chương này).

### ***3.1.2. Ước lượng thời gian hoàn thành công việc***

Để phân tích thời gian thực hiện quá trình xây dựng (thời gian dự án) theo phương pháp tiếp cận xác suất, cần phải có phân phối xác suất thời gian của mỗi công tác. Trong hầu hết các trường hợp, các phân phối như vậy là không xác định hoặc chưa biết. Người ta phải sử dụng các số liệu dựa trên kinh nghiệm để ước lượng thời gian công việc ngẫu nhiên, theo một phân phối xác suất lý thuyết nào đó. Các phân phối thường được sử dụng là phân phối Beta bốn tham số do Malcolm và cộng sự đề xuất năm 1959 [60] và phân phối tam giác do Johnson đề xuất năm 1997 [56]. Gần

đây (năm 2002), Van Dorp và Kotz đề xuất sử dụng phân phối TSP (Two-Sided Power), là sự mở rộng của họ phân phối tam giác [90].

a) *Ước lượng thời gian hoàn thành công việc theo phân phối beta [60]*

Phân phối Beta bốn tham số, ký hiệu là Beta(a, b, p, q), là phân phối lý thuyết có hàm mật độ xác suất dạng tổng quát như sau:

$$f(x) = \frac{\Gamma(p+q)}{\Gamma(p)\Gamma(q)} \frac{(x-a)^{p-1}(b-x)^{q-1}}{(b-a)^{p+q-1}} \quad a \leq x \leq b; p, q > 0 \quad (3.2)$$

trong đó  $\Gamma(\cdot)$  là hàm Gamma được định nghĩa bởi  $\Gamma(z) = \int_0^{\infty} t^{z-1} e^{-t} dt$  cho số thực bất kỳ  $z > 0$ .

Để sử dụng phân phối Beta, phải có 3 giá trị ước lượng của thời gian công việc, đó là:

- Thời gian lạc quan (a): ước tính thời gian tối thiểu cần thiết cho một công việc trong những điều kiện thuận lợi nhất;

- Thời gian khả năng cao (m): thời gian cần thiết nếu hoạt động được lặp lại nhiều lần trong những điều kiện cơ bản giống nhau, hay nói cách khác, thời gian hoàn thành công việc trong những điều kiện bình thường.

- Thời gian bi quan (b): ước tính thời gian tối đa cần thiết nếu các gặp phải các yếu tố bất định thường xảy ra.

Sử dụng 3 ước lượng thời gian này và phương pháp momen để xác định thời gian trung bình mong muốn (kỳ vọng) và phương sai của thời gian công việc như sau:

$$\begin{cases} E[X] = \frac{a + 4m + b}{6} \\ Var[X] = \frac{1}{36}(b-a)^2 \end{cases} \quad (3.3)$$

b) *Ước lượng thời gian hoàn thành công việc theo phân phối tam giác [56]*

Phân phối tam giác có hàm mật độ phân phối dạng tổng quát là:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{2}{(b-a)} \left( \frac{x-a}{m-a} \right) & a \leq x \leq m \\ \frac{2}{(b-a)} \left( \frac{b-x}{b-m} \right) & m \leq x \leq b \end{cases} \quad (3.4)$$

Thời gian trung bình mong muốn và phương sai của thời gian công việc được tính như sau:

$$\begin{cases} E[X] = \frac{a+m+b}{3} \\ Var[X] = \frac{a^2 + m^2 + b^2 - ab - am - bm}{18} \end{cases} \quad (3.5)$$

Như vậy, vẫn dựa trên 3 giá trị ước lượng thời gian lạc quan (a), khả năng cao (m) và bi quan (b), nhưng việc biểu diễn và tính toán trên phân phối tam giác thì đơn giản hơn nhiều so với phân phối Beta.

*b) Ước lượng thời gian hoàn thành công việc theo phân phối TSP [90]*

Phân phối xác suất TSP sử dụng 4 tham số (a; b; m; n), Hàm mật độ phân phối tổng quát của TSP là:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{n}{(b-a)} \left( \frac{x-a}{m-a} \right)^{n-1} & a < x \leq m \\ \frac{n}{(b-a)} \left( \frac{b-x}{b-m} \right)^{n-1} & m \leq x \leq b \end{cases} \quad (3.6)$$

Các giá trị trung bình và phương sai được tính bởi:

$$\begin{cases} E[X] = \frac{a + (n-1)m + b}{n+1} \\ Var[X] = (b-a)^2 \left\{ \frac{n-2(n-1) \left( \frac{m-a}{b-a} \right) \left( \frac{b-m}{b-a} \right)}{(n+2)(n+1)^2} \right\} \end{cases} \quad (3.7)$$

Từ (3.6) dễ thấy rằng khi n=2, hàm mật độ phân phối TSP trùng với hàm mật độ của phân phối tam giác.

## 3.2. Cơ sở lý thuyết chung về mô phỏng

### 3.2.1. Một số định nghĩa cơ bản

Các định nghĩa được trình bày sau đây được dẫn theo tài liệu tiếng Việt [12], trong đó có tham chiếu với tài liệu tiếng Anh [34]:

- *Đối tượng* là tất cả những sự vật, sự kiện mà hoạt động của con người có liên quan tới và cần nghiên cứu nó.

- *Hệ thống* là tập hợp các đối tượng (con người, máy móc), sự kiện mà giữa chúng có những mối quan hệ nhất định.

Đây là một định nghĩa tương đối đơn giản, về sau có thể mở rộng tùy thuộc vào mục đích nghiên cứu và hệ thống cụ thể.

- *Trạng thái của hệ thống* là tập hợp các tham số, biến số dùng để mô tả hệ thống tại một thời điểm và trong điều kiện nhất định.

- *Mô hình* là một sơ đồ phản ánh đối tượng hoặc hệ thống. Con người dùng sơ đồ đó để nghiên cứu, thực nghiệm nhằm tìm ra quy luật hoạt động của đối tượng hoặc hệ thống. Hay nói một cách khác, *mô hình* là đối tượng thay thế của đối tượng gốc (đối tượng thực tế) để nghiên cứu về đối tượng gốc.

- *Mô hình hóa* là thay thế đối tượng gốc bằng một mô hình nhằm thu nhận các thông tin quan trọng về đối tượng bằng cách tiến hành các thực nghiệm, tính toán trên mô hình. Lý thuyết xây dựng mô hình và nghiên cứu mô hình để hiểu biết về đối tượng gốc gọi là lý thuyết mô hình hóa.

Mô hình hóa là một phương pháp khoa học để nghiên cứu đối tượng. Nếu các quá trình xảy ra trong mô hình đồng nhất (theo các chỉ tiêu định trước) với các quá trình xảy ra trong đối tượng gốc thì người ta nói rằng mô hình đồng nhất với đối tượng. Lúc này người ta có thể tiến hành các thực nghiệm trên mô hình để thu nhận thông tin về đối tượng.

### 3.2.2. Các loại mô hình

Mô hình được chia làm hai nhóm chính [12]: mô hình vật lý và mô hình toán học hay còn gọi là mô hình trừu tượng. Từ hai nhóm chính đó lại có thể chia ra thành các loại mô hình cụ thể hơn.

- *Mô hình vật lý* là mô hình được cấu tạo bởi các phần tử vật lý. Các thuộc tính của đối tượng được phản ánh bằng các định luật vật lý xảy ra trong mô hình. Nhóm mô hình vật lý được chia thành mô hình thu nhỏ và mô hình tương tự.

- *Mô hình toán học* thuộc loại mô hình trừu tượng. Các thuộc tính được phản ánh bằng các biểu thức, phương trình toán học. Mô hình toán học được chia thành mô hình giải tích và mô hình số.

+ *Mô hình giải tích* được xây dựng bởi các biểu thức giải tích. Ưu điểm của loại mô hình là cho ta kết quả rõ ràng, tổng quát. Nhược điểm của mô hình giải tích là thường phải chấp nhận một số giả thiết đơn giản hóa để có thể biểu diễn đối tượng thực bằng các biểu thức giải tích, vì vậy loại mô hình này chủ yếu được dùng cho các hệ tiền định và tuyến tính (như đã được dùng trong chương 2 của luận án).

+ *Mô hình số* được xây dựng theo phương pháp số tức là bằng các chương trình chạy trên máy tính số. Ngày nay, nhờ sự phát triển của kỹ thuật máy tính và công nghệ thông tin, người ta đã xây dựng được các mô hình số có thể mô phỏng được quá trình hoạt động của đối tượng thực. Những mô hình loại này được gọi là mô hình mô phỏng (Simulation). Ưu điểm của mô hình mô phỏng là có thể mô tả các yếu tố ngẫu nhiên và tính phi tuyến của đối tượng thực, do đó mô hình càng gần với đối tượng thực. Ngày nay, mô hình mô phỏng được ứng dụng rất rộng rãi.

### **3.2.3. Phương pháp mô phỏng**

#### *3.2.3.1. Định nghĩa và bản chất của phương pháp mô phỏng*

Bên cạnh định nghĩa về mô phỏng của Shannon như được nêu trong mục 1.4.2.2, còn có những định nghĩa của các tác giả khác mà trong đó, nhấn mạnh về một khía cạnh nào đó của phương pháp. Trong luận án này sử dụng phương pháp mô phỏng số, tức phương pháp mô phỏng dựa trên máy tính. Do vậy, ở đây đưa ra định nghĩa hẹp về mô phỏng như sau [12, 85]: “*Mô phỏng là quá trình xây dựng mô hình toán học của hệ thống thực và sau đó tiến hành tính toán thực nghiệm trên mô hình để mô tả, giải thích và dự đoán hành vi của hệ thống thực*”.

Như thế, bản chất của phương pháp mô phỏng là xây dựng một mô hình số (Model Numerically), tức mô hình được thể hiện bằng các chương trình máy tính, sau

đó tiến hành các “thực nghiệm” trên mô hình để tìm ra các đặc tính của hệ thống được mô phỏng. Số lần “thực nghiệm” (còn gọi là “bước mô phỏng”) về lý thuyết được tăng lên vô cùng lớn, nhưng trong thực tế số “bước mô phỏng” là hữu hạn nhưng phải đủ lớn và phụ thuộc vào yêu cầu của độ chính xác.

### 3.2.3.2. Các phương pháp mô phỏng

Tùy theo trạng thái của hệ thống thay đổi liên tục hay gián đoạn theo thời gian mà người ta phân biệt thành hệ thống liên tục hay gián đoạn. Việc phân biệt mô hình liên tục hay gián đoạn trở nên quan trọng khi tiến hành mô phỏng, đặc biệt là khi lập trình trên máy tính để thực hiện việc mô phỏng bởi kỹ thuật tính dùng cho các loại mô hình sẽ rất khác nhau. Có hai phương pháp mô phỏng chủ yếu là *mô phỏng liên tục* và *mô phỏng sự kiện rời rạc* (hay *mô phỏng gián đoạn*) [12, 34].

- Phương pháp mô phỏng liên tục (Continuous Simulation) thường được dùng cho hệ liên tục mà mô hình của nó là mô hình giải tích thường được biểu diễn bằng các hệ phương trình vi phân.

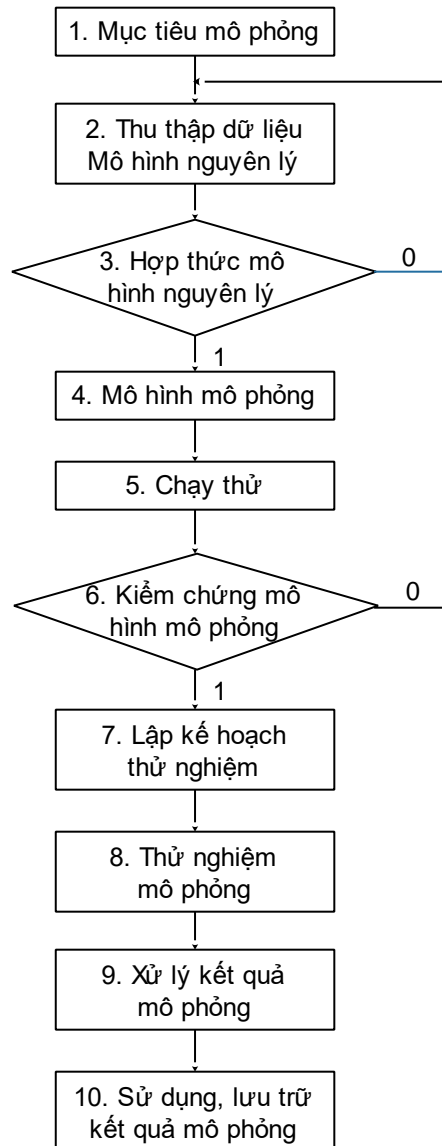
- Phương pháp mô phỏng sự kiện rời rạc (Discrete-Event Simulation) thường được dùng cho hệ gián đoạn. Trong những hệ này, sự kiện xảy ra tại các thời điểm gián đoạn và làm thay đổi trạng thái của hệ thống.

Các hệ thống hoặc quá trình động liên quan đến thời gian trôi qua. Tại bất kỳ thời điểm nào, hệ thống được đặc trưng bởi trạng thái của nó. Trong mô phỏng sự kiện rời rạc, giả định rằng trạng thái của một hệ thống thay đổi ngay lập tức tại các thời điểm cụ thể được đánh dấu bằng các sự kiện. Hầu hết các quá trình xây dựng có thể được mô hình hóa hiệu quả bằng cách sử dụng mô phỏng sự kiện rời rạc [61].

Mô phỏng sự kiện rời rạc có thể được thực hiện trên máy tính thông qua việc sử dụng các ngôn ngữ lập trình đa năng, hoặc thông qua các ngôn ngữ lập trình hoặc các công cụ được thiết kế đặc biệt cho mô phỏng. Đây là phương pháp sẽ được lựa chọn áp dụng trong luận án này.

### 3.2.4. Các bước nghiên cứu mô phỏng

Khi tiến hành nghiên cứu mô phỏng thông thường phải thực hiện thông qua 10 bước như được trình bày trên hình 3.1 [12, 34].



Hình 3.1. Các bước nghiên cứu mô phỏng [12]

*Bước 1: Xây dựng mục tiêu mô phỏng và kế hoạch nghiên cứu.*

Điều quan trọng trước tiên là phải xác định rõ mục tiêu nghiên cứu mô phỏng. Mục tiêu đó được thể hiện bằng các chỉ tiêu đánh giá, bằng hệ thống các câu hỏi cần được trả lời.

*Bước 2: Thu thập dữ liệu và xác định mô hình nguyên lý.*

Tùy theo mục tiêu mô phỏng mà người ta thu thập các thông tin, các dữ liệu tương ứng của hệ thống  $S$  và môi trường  $E$ . Trên cơ sở đó xây dựng mô hình nguyên lý  $M_{nl}$ , mô hình nguyên lý phản ánh bản chất của hệ thống  $S$ .

*Bước 3: Hợp thức hóa mô hình nguyên lý  $M_{nl}$*

Hợp thức hóa mô hình nguyên lý là kiểm tra tính đúng đắn, hợp lý của mô hình. Mô hình nguyên lý phải phản ánh đúng bản chất của hệ thống  $S$  và môi trường  $E$  nhưng đồng thời cũng phải tiện dụng, không quá phức tạp cồng kềnh. Nếu mô hình nguyên lý  $M_{nl}$  không đạt, phải thu thập thêm thông tin, dữ liệu để tiến hành xây dựng lại mô hình.

*Bước 4: Xây dựng mô hình mô phỏng  $M_{mp}$  trên máy tính.*

Mô hình mô phỏng  $M_{mp}$  là những chương trình chạy trên máy tính. Các chương trình này được viết bằng các ngôn ngữ thông dụng như FORTRAN, PASCAL, C++, hoặc các ngôn ngữ chuyên dụng để mô phỏng.

*Bước 5: Chạy thử*

Sau khi cài đặt chương trình, người ta tiến hành chạy thử xem mô hình mô phỏng có phản ánh đúng các đặc tính của hệ thống  $S$  và môi trường  $E$  hay không. Ở giai đoạn này cũng tiến hành sửa chữa các lỗi về lập trình.

*Bước 6: Kiểm chứng mô hình mô phỏng*

Sau khi chạy thử người ta có thể kiểm chứng và đánh giá mô hình mô phỏng có đạt yêu cầu hay không, nếu không phải quay lại từ bước 2.

*Kiểm chứng* và *hợp thức hóa mô hình* là hai thủ tục quan trọng để xác nhận mô hình chúng ta xây dựng nên có thể dùng được hay không. *Kiểm chứng* là kiểm tra xem lập trình có đúng không, chương trình tính có thể chạy được không, dữ liệu vào ra có thuận lợi và chính xác hay không. *Hợp thức hóa mô hình* là đánh giá xem mô hình có phản ánh bản chất của hệ thực hay không, kết quả mô phỏng có đáp ứng được yêu cầu nghiên cứu hay không.

Một số phương pháp để kiểm chứng mô hình:

- Kiểm chứng các công thức và quan hệ logic trong mô hình;
- Chương trình gỡ rối (thường có sẵn trong các ngôn ngữ mô phỏng chuyên dụng);
- Chạy thử chương trình mô phỏng: với các dữ liệu đầu vào khác nhau, kiểm tra xem kết quả đầu ra có hợp lý không;
- Phương pháp tìm “vết mô phỏng”;



- So sánh các đặc trưng thống kê;
- Phương pháp hoạt hình: một số mô hình mô phỏng có thể chạy dưới dạng hoạt hình nên có thể dễ dàng kiểm tra logic hoạt động của một số phần tử cũng như toàn bộ mô hình.

*Bước 7: Lập kế hoạch thử nghiệm*

Ở bước này người ta phải xác định một số điều kiện cho mô phỏng. Đầu tiên là xác định điều kiện đầu, điều kiện cuối hay còn gọi là chiều dài mô phỏng. Tiếp đến xác định số lần thử nghiệm hay còn gọi là số lần chạy mô phỏng độc lập. Để cho các dữ liệu mô phỏng hoàn toàn độc lập với nhau, mỗi lần chạy mô phỏng người ta dùng một giá trị ngẫu nhiên. Cuối cùng xác định thời gian mô phỏng của từng bộ phận hoặc toàn bộ mô hình. Căn cứ vào kết quả mô phỏng (ở bước 9), người ta tiến hành hiệu chỉnh kế hoạch thử nghiệm để đạt được kết quả với độ chính xác theo yêu cầu.

*Bước 8: Thử nghiệm mô phỏng*

Cho chương trình chạy thử nghiệm theo kế hoạch đã được lập ở bước 7. Đây là bước thực hiện việc mô phỏng, các kết quả lấy ra từ bước này chính là dữ liệu đầu ra của mô phỏng.

*Bước 9: Xử lý kết quả mô phỏng*

Thử nghiệm mô phỏng thường cho nhiều dữ liệu có tính thống kê xác suất. Vì vậy, để có kết quả cuối cùng với độ chính xác theo yêu cầu, cần phải dùng phương pháp xác suất thống kê để xử lý các dữ liệu đầu ra. Bước xử lý kết quả đóng vai trò quan trọng trong quá trình mô phỏng.

*Bước 10: Sử dụng và lưu trữ kết quả.*

Sử dụng kết quả mô phỏng vào mục đích đã định và lưu giữ dưới dạng các tài liệu để có thể sử dụng nhiều lần.

**3.2.5. Ưu nhược điểm của phương pháp mô phỏng**

Phương pháp mô phỏng có các ưu điểm sau đây [12]:

- Có khả năng nghiên cứu các hệ thống phức tạp, có các yếu tố ngẫu nhiên, phi tuyến, đối với những hệ thống này phương pháp giải tích thường không có hiệu lực. Ưu điểm nổi bật của phương pháp mô phỏng là tính linh hoạt, người ta có thể đưa

vào chương trình mô phỏng nhiều đặc tính của hệ thống mà phương pháp giải tích không thực hiện được.

- Có thể đánh giá các đặc tính của hệ thống làm việc trong các điều kiện dự kiến trước, hệ thống còn đang thiết kế khảo sát, hệ thống chưa có thực;

- Có thể so sánh, đánh giá các phương án khác nhau của hệ thống;

- Có thể nghiên cứu các giải pháp điều khiển hệ thống;

- Có thể nghiên cứu trong một khoảng thời gian ngắn đối với hệ thống có thời gian hoạt động dài như hệ thống kinh tế, hệ thống xã hội.

Các nhược điểm của phương pháp mô phỏng là [12]:

- Phương pháp mô phỏng đòi hỏi công cụ mô phỏng đắt tiền như máy tính, phần mềm chuyên dụng;

- Phương pháp mô phỏng thường sản sinh ra khối lượng lớn các dữ liệu có tính thống kê xác suất, do đó đòi hỏi phải có những chuyên gia thành thạo về phân tích dữ liệu để xử lý kết quả mô phỏng.

Cần nhấn mạnh rằng, phương pháp giải tích cho một lời giải tổng quát và tường minh, nhưng nếu trong mô hình có yếu tố ngẫu nhiên thì phương pháp giải tích không thể giải được. Trong trường hợp này phương pháp mô phỏng là giải pháp duy nhất để nghiên cứu mô hình ngẫu nhiên [12].

### **3.3. Giới thiệu về ngôn ngữ mô phỏng STROBOSCOPE**

#### **3.3.1. Khái niệm ngôn ngữ mô phỏng và thiết bị mô phỏng [12]**

Khi tiến hành mô phỏng chúng ta phải xây dựng mô hình mô phỏng  $M_{mp}$  trên máy tính. Mô hình  $M_{mp}$  là một tập hợp các chương trình chạy trên máy tính gọi là phần mềm mô phỏng, những chương trình này thường được viết bằng ngôn ngữ lập trình cấp cao thông dụng như C++, Visual Basic...

Tuy nhiên, đối với các hệ thống phức tạp, viết các chương trình mô phỏng như vậy gặp rất nhiều khó khăn và mất nhiều thời gian.

Trong thực tế, người ta đã phát triển nhiều phần mềm mô phỏng chuyên dụng được gọi là *ngôn ngữ mô phỏng* (Simulation Language) và *thiết bị mô phỏng* (Simulator).

*Ngôn ngữ mô phỏng* (ví dụ như CYCLONE, STROBOSCOPE...) bao gồm nhiều khối chuẩn, người sử dụng chỉ cần nạp các thông số cần thiết, nối các khối theo một logic định trước, cho mô hình chạy trong thời gian mô phỏng và nhận được các kết quả dưới dạng bảng số hoặc đồ thị.

Sử dụng các ngôn ngữ mô phỏng có rất nhiều ưu điểm như:

- Thời gian xây dựng mô hình ngắn.
- Dễ dàng thay đổi cấu trúc và thông số của mô hình.
- Dễ gỡ rối, sửa chữa sai sót.
- Các kết quả được xử lý tốt, thuận tiện cho việc sử dụng.

*Thiết bị mô phỏng* là một phần mềm chuyên dụng mô phỏng một hệ thống cụ thể. Thiết bị mô phỏng có rất ít hoặc không đòi hỏi phải lập trình như ngôn ngữ mô phỏng ở trên. Thuộc loại này có thiết bị mô phỏng dùng để huấn luyện lái máy bay, tàu thủy, ô tô, v.v... Ngày nay những nhà máy lớn như nhà máy điện, xi măng lọc dầu, v.v... thường đặt thiết bị mô phỏng để huấn luyện cho người vận hành và giải bài toán tìm chế độ vận hành tối ưu. Những thiết bị mô phỏng loại này thường có giá thành tương đối đắt, phạm vi ứng dụng hạn chế vì chỉ dùng để mô phỏng một hệ thống cụ thể nhưng đem lại hiệu quả to lớn trong huấn luyện cũng như vận hành hệ thống nên được dùng ở những nơi quan trọng.

### **3.3.2. Ngôn ngữ mô phỏng STROBOSCOPE**

STROBOSCOPE là một hệ thống và ngôn ngữ lập trình mô phỏng đa năng để mô hình hóa một loạt các quá trình phức tạp, chẳng hạn như các quá trình trong xây dựng, giao thông, sản xuất, dịch vụ y tế, v.v... Nó được phát triển một phần bởi nghiên cứu tiên sĩ của Julio C. Martinez trong chương trình Quản lý và Kỹ thuật Xây dựng tại Đại học Michigan dưới sự chủ trì của Giáo sư Photios G. Ioannou [94].

Tên STROBOSCOPE là từ viết tắt của STate-and ResOurce-Based Simulation of Construction ProcEsses và phản ánh mục tiêu thiết kế chính của hệ thống: khả năng đưa ra các quyết định động phức tạp và kiểm soát mô phỏng tại thời điểm chạy, dựa trên trạng thái hệ thống hiện tại và các đặc tính, thuộc tính và trạng thái của tài nguyên.

Thiết kế của STROBOSCOPE dựa trên hoạt động quét ba pha chứ không phải quá trình tương tác như hầu hết các hệ thống mô phỏng khác. Mô hình mô phỏng quét hoạt động cho phép STROBOSCOPE mô hình hóa các tương tác tài nguyên phức tạp đặc trưng cho các hoạt động theo chu kỳ mà không cần phân biệt giữa tài nguyên phục vụ (máy chủ hoặc tài nguyên khan hiếm) và tài nguyên được phục vụ (khách hàng hoặc thực thể di chuyển). Mô hình mô phỏng STROBOSCOPE sử dụng biểu diễn dựa trên mạng đồ họa tương tự như biểu đồ chu trình hoạt động.

Có thể xem mô tả chi tiết về STROBOSCOPE trong luận án tiến sĩ của Martinez J.C. [61].

Gói cài đặt STROBOSCOPE cũng bao gồm EZStrobe và ProbSched, sử dụng STROBOSCOPE làm công cụ mô phỏng nền (back-end).

### **3.4. Chương trình mô phỏng EZStrobe**

Nội dung được trình bày sau đây gồm có phần mô tả chung và giới thiệu chi tiết về chương trình mô phỏng EZStrobe. Phần mô tả chung về EZStrobe được lấy từ trang Web của giáo sư Photios G. Ioannou [95], còn các nội dung khoa học chi tiết của chương trình được tóm tắt chủ yếu theo tài liệu [63]: “*Ezstrobe - general-purpose simulation system based on activity cycle diagrams*”. Vì vậy trong các tiểu mục tiếp sau, ngoại trừ những chỗ trích dẫn tài liệu khác, sẽ không đưa trích dẫn tài liệu tham khảo vào..

#### **3.4.1. Mô tả về EZStrobe**

EZStrobe là một hệ thống mô phỏng sự kiện rời rạc dựa trên Sơ đồ chu trình công việc (Activity Cycle Diagrams - ACD) mở rộng và có chú thích. Nó sử dụng STROBOSCOPE làm công cụ mô phỏng và tuân theo mô hình mô phỏng quét hoạt động ba pha. Mô hình mô phỏng EZStrobe được biểu diễn hoàn toàn bằng mạng ACD đồ họa, có các nút và liên kết được xây dựng bằng cách sử dụng đồ họa kéo và thả từ EZStrobe Stencil. Logic hoàn chỉnh của mô hình EZStrobe được thể hiện hoàn toàn bằng mạng ACD và có thể nhìn thấy mọi lúc. Tất cả các liên kết được chú thích để hiển thị các điều kiện khởi động cho các công việc và định tuyến các nguồn lực. Nội dung ban đầu của Hàng đợi được hiển thị trên mạng. Không có câu lệnh logic ẩn.

EZStrobe được phát triển và chạy trong Microsoft Visio. Với một mạng đồ họa, EZStrobe tạo mô hình tương đương bằng cách sử dụng các câu lệnh STROBOSCOPE và gửi nó đến STROBOSCOPE để thực hiện mô phỏng. Tính năng tự động hóa này hoàn toàn ẩn với người dùng. Vì vậy, học và sử dụng EZStrobe không yêu cầu kiến thức về STROBOSCOPE cũng như không sử dụng STROBOSCOPE trực tiếp. Kết quả của một mô phỏng EZStrobe được hiển thị trong cửa sổ đầu ra của STROBOSCOPE và trong Visio bằng cách nhấp chuột phải vào từng nút.

Một khả năng độc đáo của EZStrobe là hoạt hình của mạng ACD. EZStrobe có thể tạo hiệu ứng động cho các nút và liên kết của mạng khi mô phỏng chạy và hiển thị chuyển động của các tài nguyên và sự tương tác của chúng với các hàng đợi và công việc.

Sức mạnh và khả năng của EZStrobe, thể hiện qua việc xây dựng mô hình kéo và thả, logic dựa trên mạng trực quan và hoạt hình của mạng ACD, đã làm cho EZStrobe như một công cụ học tập lý tưởng và như một hệ thống mô phỏng sự kiện rời rạc đa năng hàng đầu.

### ***3.4.2. Mô hình quét công việc AS và sơ đồ chu trình mô phỏng ACD***

Mô hình quét công việc (Activity Scanning - AS) được thiết lập dựa trên các công việc/hoạt động khác nhau có thể diễn ra trong một công đoạn. Người lập mô hình tập trung vào việc xác định các công việc, các điều kiện để công việc có thể xảy ra và kết quả của các công việc khi chúng kết thúc. Ví dụ như hoạt động của máy xúc đổ đất lên xe tải trong mô hình vận chuyển đất. Người lập mô hình có thể xác định các công việc như trong bảng 3.1.

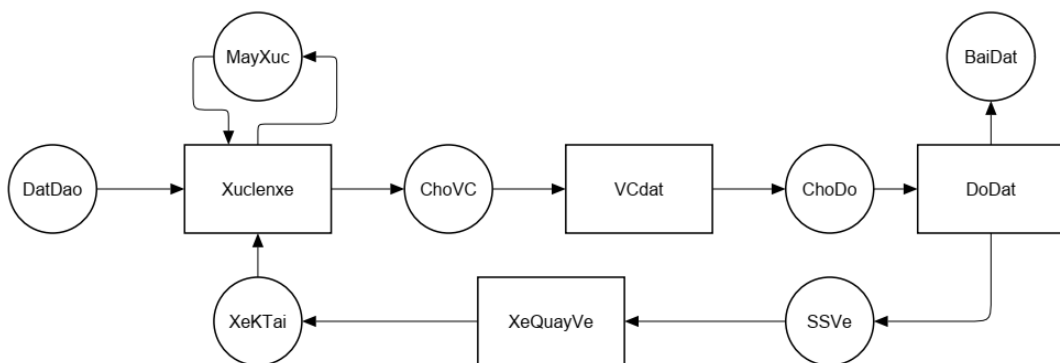
Các điều kiện và kết quả bắt đầu công việc thường được mô tả tốt nhất theo các tài nguyên liên quan và trạng thái của chúng (tức là, điều kiện của chúng). Các điều kiện cần thiết cho các công việc bắt đầu thường là kết quả của các công việc khác.

Ngoài việc đại diện cho các công việc, một mô hình mô phỏng Quét công việc cũng phải mô hình hóa các tài nguyên liên quan đến quá trình, chẳng hạn như vật liệu, lao động và thiết bị. Tài nguyên và trạng thái của chúng đều quan trọng như nhau vì chúng tạo thành yêu cầu chủ yếu cho các công việc diễn ra và bởi vì tác dụng chính

của các công việc là thay đổi trạng thái của chúng. Trong AS mọi nguồn lực được coi là bình đẳng. Không có sự phân biệt giữa đối tượng phục vụ và đối tượng được phục vụ hoặc giữa vật liệu, lao động và thiết bị [65].

*Bảng 3.1.* Công việc, điều kiện, kết quả của công đoạn vận chuyển đất và ký hiệu biểu diễn

<b>Điều kiện cần để bắt đầu công việc</b>	<b>Công việc</b>	<b>Kết quả của công việc</b>
+ Máy xúc nhân rồi (MayXuc) + Xe tải thùng rộng, chờ để xúc đất lên (XeKTai) + Khối lượng đất đủ để xúc lên xe (DatDao)	Xúc và đổ đất lên xe (XucLenXe)	+ Máy xúc nhân rồi (MayXuc) + Xe tải được chất đầy đất, sẵn sàng để vận chuyển (ChoVC)
Xe tải đã chứa đầy thùng và sẵn sàng vận chuyển (ChoVC)	Vận chuyển đất (VCDat)	Xe tải chứa đầy thùng sẵn sàng đổ đất (ChoDo)
Xe tải chứa đầy thùng sẵn sàng đổ đất (ChoDo)	Đổ đất (DoDat)	+ Đất được đổ vào vị trí (BaiDat) + Xe tải thùng rộng sẵn sàng quay về (SSVe)
Xe tải sẵn sàng quay về (SSVe)	Quay về vị trí chờ (XeVe)	Xe tải thùng rộng đợi để xúc đất lên (XeKTai)



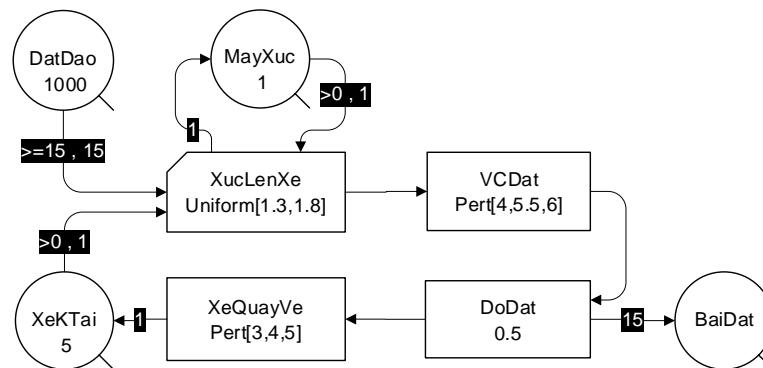
*Hình 3.2.* Sơ đồ ACD thông thường cho công đoạn vận chuyển đất

Các mô hình này thường được biểu diễn bằng sơ đồ chu trình công việc (Activity Cycle Diagrams - ACD), một khái niệm trong công nghệ thông tin để mô tả bài toán luồng logic của các đối tượng trong hệ thống [78], là mạng lưới các vòng

tròn và các hình vuông đại diện cho các tài nguyên nhân rỗi, các hoạt động và ưu tiên của chúng. Ví dụ như sơ đồ ACD của hình 3.2, là biểu diễn đồ họa của thông tin trong bảng 3.2. Hình chữ nhật đại diện cho các công việc, các vòng tròn đại diện cho hàng đợi (tài nguyên nhân rỗi) và các liên kết giữa chúng đại diện cho luồng tài nguyên. Các ACD loại này được sử dụng để thể hiện các khái niệm chính của mô hình mô phỏng - các chi tiết khác của mô hình không được hiển thị như các điều kiện khởi động do không liên quan đến tính sẵn có của tài nguyên. ACD được sử dụng như một hướng dẫn cho việc mã hóa mô hình bằng ngôn ngữ lập trình mô phỏng hoặc ngôn ngữ lập trình đa năng.

### 3.4.3. Các ACD của EZStrobe

Các ACD của EZStrobe là các phần mở rộng có chú thích của ACD tiêu chuẩn được mô tả ở trên. EZStrobe ACD cho cùng một công đoạn vận chuyển đất được mô tả trong bảng 3.1 và hình 3.2 được hiển thị trong hình 3.3.



Hình 3.3. ACD mở rộng cho quá trình vận chuyển đất

Có thể thấy mạng của hình 3.2 gọn hơn mạng trong hình 3.1. Một số hàng đợi (ví dụ: *ChoVC*) trong hình 3.1 là không cần thiết vì chúng liên kết các công việc nối tiếp nhau ngay lập tức và vô điều kiện. Các hàng đợi như vậy đã bị loại bỏ để chỉ ra rằng một số công việc ngay lập tức thực hiện sau công việc trước nó vì các điều kiện cần thiết để chúng bắt đầu hoàn toàn được thỏa mãn bởi kết quả của công việc trước. Ví dụ, vận chuyển đất ngay lập tức tiến hành sau công việc xúc đất lên xe, khiến cho việc hiển thị xe tải ở trạng thái “sẵn sàng vận chuyển” là không cần thiết nữa.

Các chú thích trong ACD của EZStrobe giúp cho nó biểu diễn một cách hoàn chỉnh và rõ ràng về quá trình hoạt động. Số “1000” được biểu thị dưới hàng đợi


*DatDao* biểu thị rằng khi bắt đầu hoạt động, hàng đợi sẽ chứa 1000 đơn vị tài nguyên ( $m^3$ ). Phần đầu tiên của chú thích trên liên kết nối *XeKTai* với *XucLenXe* (“>0”) thể hiện một trong những điều kiện cần thiết để hoạt động *XucLenXe* bắt đầu là phải có lớn hơn “0” đơn vị tài nguyên (hay nói cách khác, có ít nhất 1 xe) trong hàng đợi *XeKTai*. Hai điều kiện cần thiết khác để bắt đầu hoạt động *XucLenXe* là có ít nhất  $15m^3$  trong hàng đợi *DatDao* và lớn hơn “0” máy xúc có trong hàng đợi *MayXuc*. Thông số “Uniform [1.3,1.8]” được hiển thị bên trong công việc *XuclenXe* biểu thị rằng thời lượng của công việc được lấy mẫu từ một phân phối đều trong khoảng từ 1,3 đến 1,8 (phút). Số “15” hiển thị trên liên kết nối hoạt động *DoDat* và hàng đợi *BaiDat* cho thấy rằng một trong những kết quả của công việc đổ đất là thêm  $15m^3$  đất vào hàng đợi *BaiDat*.

Trong các mô hình EZStrobe, tất cả các điều kiện và kết quả khởi động công việc là về số lượng tài nguyên. Các tài nguyên nằm trong cùng một vị trí được coi là không bị phân biệt, có thể thay thế và tồn tại với số lượng lớn (nghĩa là, số lượng của chúng có thể được biểu thị bằng số thực và không giới hạn ở số nguyên). EZStrobe không hoạt động nếu tài nguyên kèm theo đơn vị đo lường - người tạo mô hình phải có trách nhiệm duy trì tính nhất quán.




#### 3.4.3.1. Các phần tử cơ bản của mô hình EZStrobe

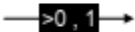


Mô tả về các phần tử mô hình cơ bản được sử dụng trong EZStrobe, các quy tắc ưu tiên chi phối chúng được trình bày tóm tắt trong bảng 3.2.

Bảng 3.2. Các phần tử cơ bản của mô hình EZStrobe

Ký hiệu, tên gọi	Mô tả
 <p>Hàng đợi (Queue)</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Một phần tử được đặt tên chứa các tài nguyên nhân rỗi. Khi bắt đầu mô phỏng, Hàng đợi giữ một số lượng tài nguyên nhất định, được hiển thị bên dưới tên Hàng đợi. Tài nguyên vào trong Hàng đợi ngay khi chúng được giải phóng khỏi Công việc trước đó. Chúng ra khỏi Hàng đợi tức thời khi bắt đầu Công việc.</li> <li>- Hàng đợi có thể theo sau nút bất kỳ, trừ Hàng đợi khác và chỉ đi trước Công việc có điều kiện.</li> </ul>



Ký hiệu, tên gọi	Mô tả
 <p>Công việc/ hoạt động có điều kiện (hay công việc kết hợp) (Combi)</p>	<p>- Là một phần tử được đặt tên đại diện cho các nhiệm vụ có thể bắt đầu bất cứ khi nào các tài nguyên có sẵn trong Hàng đợi trước nó đủ để thực hiện nhiệm vụ. Tên của Công việc có điều kiện được hiển thị ở trung tâm. Số ở trên cùng là mức ưu tiên của Công việc đó so với các Công việc có điều kiện khác khi cạnh tranh các tài nguyên trong Hàng đợi đứng trước. Công việc có điều kiện có mức ưu tiên cao sẽ bắt đầu trước Công việc có điều kiện có mức ưu tiên thấp hơn. Mức ưu tiên có thể âm và giá trị mặc định bằng 0 (ví dụ: khi mức ưu tiên không được chỉ định, nó được coi là không). Công thức ở dưới cùng của Công việc có điều kiện được sử dụng để xác định thời lượng của các phiên bản của nó. Công thức thời lượng thường lấy mẫu từ một phân phối xác suất. Do đó, các phiên bản khác nhau của cùng một Công việc có điều kiện có thể có thời lượng khác nhau.</p> <p>- Công việc có điều kiện chỉ đi sau Hàng đợi, nhưng có thể đi trước các nút khác không cùng loại.</p>
 <p>Công việc bình thường/ Công việc liên kết (Bound/ Normal Activity)</p>	<p>- Là một phần tử được đặt tên đại diện cho các nhiệm vụ bắt đầu bất cứ khi nào một phiên bản của bất kỳ công việc trước đó kết thúc. Tên của Công việc bình thường được hiển thị ở trung tâm. Công thức ở dưới tên được sử dụng để xác định thời lượng của các phiên bản của nó. Tương tự Công việc có điều kiện, công thức thời lượng thường lấy mẫu từ một phân phối xác suất.</p> <p>- Công việc bình thường có thể theo sau bất kỳ nút nào trừ Hàng đợi và có thể đi trước bất kỳ nút nào trừ Công việc có điều kiện.</p>
 <p>Chỗ phân nhánh</p>	<p>- Là một phần tử định tuyến xác suất. Nó thường theo sau một công việc nhưng cũng có thể theo sau một Fork khác. Khi một phiên bản công việc trước kết thúc, Fork chọn một trong những phần tử kế</p>

Ký hiệu, tên gọi	Mô tả
(Fork)	tiếp của nó. Nếu phần tử kế tiếp được chọn là Công việc bình thường thì công việc ấy bắt đầu. Nếu phần tử kế tiếp được chọn là Hàng đợi thì Hàng đợi nhận bất kỳ tài nguyên nào được chuyển qua Fork. Nếu phần tử kế tiếp được chọn là một Fork khác, thì Fork thứ hai sẽ chọn một trong những phần tử kế tiếp của nó. Khả năng tương đối mà một phần tử kế tiếp cụ thể sẽ được chọn tùy thuộc vào thuộc tính "P" của Liên kết nhánh phát ra từ Fork về phía phần tử kế tiếp (xem <i>Liên kết nhánh</i> dưới đây).
 Liên kết kéo (Draw Link)	Liên kết kéo kết nối Hàng đợi với Công việc có điều kiện. Liên kết kéo hiển thị hai thông tin được phân biệt bằng dấu phẩy. Phần một là điều kiện cần thiết để Công việc có điều kiện kế tiếp bắt đầu theo chức năng của tài nguyên có trong Hàng đợi đứng trước. EZStrobe có sáu toán tử quan hệ biểu thị điều kiện này: nhỏ hơn (<), nhỏ hơn hoặc bằng (<=), lớn hơn (>), lớn hơn hoặc bằng (>=), bằng (==) và không bằng (!=). Phần hai là lượng tài nguyên mà Công việc có điều kiện sẽ lấy ra khỏi Hàng đợi đứng trước trong trường hợp Công việc có điều kiện bắt đầu. Công việc có điều kiện có thể không lấy đúng số tài nguyên cần dùng nếu số đó lớn hơn lượng tài nguyên của Hàng đợi, trong trường hợp đó toàn bộ lượng tài nguyên được lấy.
 Liên kết thả (Release Link)	Kết nối một Công việc với nút bất kỳ, trừ Công việc có điều kiện. Con số hiển thị trên Liên kết thả cho biết lượng tài nguyên sẽ được chuyển qua Liên kết khi một phiên bản của công việc đứng trước kết thúc.
 Liên kết nhánh (Branch Link)	Kết nối một Chỗ phân nhánh với nút bất kỳ, trừ Công việc có điều kiện. Tham số hiển thị trên Liên kết nhánh cho biết giá trị của thuộc tính "P" đối với Liên kết đó. Thuộc tính "P" thiết lập khả năng có tính xác suất, rằng phần tử kế tiếp được kết nối bởi Liên kết nhánh sẽ được chọn mỗi khi Fork cần chọn phần tử kế tiếp.

### 3.4.3.2. Đầu vào bổ sung và đầu ra của mô phỏng

Bởi vì ACD EZStrobe được chú thích là một đại diện hoàn chỉnh của một quá trình hoạt động nên trong hầu hết các trường hợp, không cần thêm đầu vào cơ bản nào khi chạy mô phỏng. Đối với các mô phỏng không tự nhiên dừng (nghĩa là có khả năng chạy mãi mãi), cần chỉ định một điều kiện kết thúc mô phỏng. Trong EZStrobe, điều kiện này có thể được đặt bằng cách chỉ định giới hạn về thời gian mô phỏng hoặc số lần chạy mô phỏng.

Mục đích của việc mô phỏng một quá trình hoạt động là để có được các đánh giá thống kê về mức độ hoàn thành các công việc. Theo mặc định, EZStrobe sẽ tạo một thông báo cho biết thời gian mô phỏng và thông tin về các công việc và hàng đợi trong mô hình. Một ví dụ về thông báo cho mô hình được cho trong hình 3.4.

Statistics report at simulation time 160.813

Queue	Res	Cur	Tot	AvWait	AvCont	SDCont	MinCont	MaxCont
BaiDat	ezs	990.00	990.00	79.09	486.92	300.28	0.00	990.00
DatDao	ezs	10.00	1000.00	75.17	467.45	298.21	10.00	1000.00
MayXuc	ezs	1.00	67.00	0.88	0.37	0.48	0.00	1.00
XeKTai	ezs	5.00	71.00	0.69	0.31	0.85	0.00	5.00

Activity	Cur	Tot	1stSt	LstSt	AvDur	SDDur	MinD	MaxD	AvInt	SDInt	MinI	MaxI
DoDat	0	66	6.81	156.12	0.50	0.00	0.50	0.50	2.30	0.98	0.48	5.19
UCDat	0	66	1.66	150.53	5.37	0.35	4.45	5.87	2.29	0.95	1.36	5.47
XeQuayVe	0	66	7.31	156.62	4.02	0.33	3.27	4.71	2.30	0.98	0.48	5.19
XucLenXe	0	66	0.00	149.14	1.54	0.12	1.33	1.77	2.29	0.93	1.34	5.13

Hình 3.4. Thông báo kết quả mô phỏng của EZStrobe

Đối với mỗi hàng đợi, báo cáo hiển thị nội dung tại thời điểm báo cáo (Cur), tổng lượng tài nguyên cần nhập (Tot), thời gian chờ trung bình (AvWait), số lượng trung bình theo thời gian (AvCont), độ lệch chuẩn theo thời gian của số lượng tài nguyên, số lượng tối thiểu (MinCont) và số lượng tối đa (MaxCont). Đối với mỗi công việc, báo cáo hiển thị số lần mà công việc đang được thực hiện tại thời điểm báo cáo (Cur), tổng số lần bắt đầu (Tot), thời điểm bắt đầu phiên bản đầu tiên (1stSt), thời gian bắt đầu phiên bản cuối cùng (LstSt), thời lượng trung bình (AvDur), độ lệch chuẩn của thời lượng (SDDur), thời lượng tối thiểu (MinD), thời lượng tối đa (MaxD), thời gian trung bình giữa các lần liên tiếp bắt đầu (AvInt), độ lệch chuẩn của thời gian giữa các lần bắt đầu liên tiếp (SDInt), thời gian tối thiểu giữa các lần bắt đầu liên tiếp (MinI) và thời gian tối đa giữa các lần bắt đầu liên tiếp (MaxI). Ở ví dụ, ta thấy rằng

*DatDao* chứa 10 đơn vị tài nguyên (mét khối) tại thời điểm báo cáo. Những tài nguyên đó vẫn còn trong *DatDao* vì chúng không đủ để cho phép *XucLenXe* bắt đầu (cần 15 m<sup>3</sup>) một lần nữa.

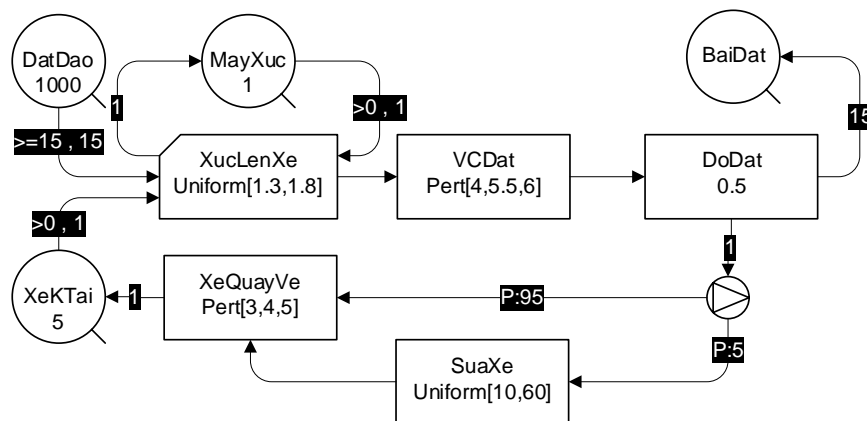
Số liệu thống kê chi tiết hơn về lịch sử lượng tài nguyên của hàng đợi có thể lấy ra ở dạng biểu đồ tích lũy. Để có được biểu đồ cho hàng đợi, cần chỉ định phạm vi và số khoảng biểu diễn. Chẳng hạn, chỉ định 3 khoảng từ 1 đến 4 cho *XeKTai*, tạo ra đầu ra bổ sung được hiển thị trên hình 3.5.

Detailed statistics on content of queue XeKTai		
Content	TotTime	%Time
< 1.00	131.38	82.34
< 2.00	149.77	93.87
< 3.00	153.61	96.28
< 4.00	156.69	98.21
>= 4.00	2.86	1.79

Hình 3.5. Thống kê chi tiết về lịch sử lượng tài nguyên của hàng đợi

### 3.4.3.3. Xác suất phân nhánh

EZStrobe có thể chọn một cách chắc chắn một trong số nhiều phần tử kế tiếp cho một hoạt động để định tuyến và kích hoạt tài nguyên. Điều này đạt được với một Fork và các Liên kết chi nhánh xuất phát từ nó. EZStrobe ACD của hình 3.6 minh họa điều này bằng cách mở rộng mô hình của hình 3.3 để bao gồm khả năng xảy ra sự cố xe tải.



Hình 3.6. ACD cho quá trình vận chuyển đất với sự cố và sửa chữa xe tải

Trong mô hình của hình 3.6, có 5% khả năng một chiếc xe tải sẽ bị hỏng sau khi đổ đất và việc sửa chữa sẽ mất từ 10 đến 60 phút. Xác suất của một nhánh cụ thể được chọn được tính bằng cách chia giá trị P của nó cho tổng giá trị P của tất cả các

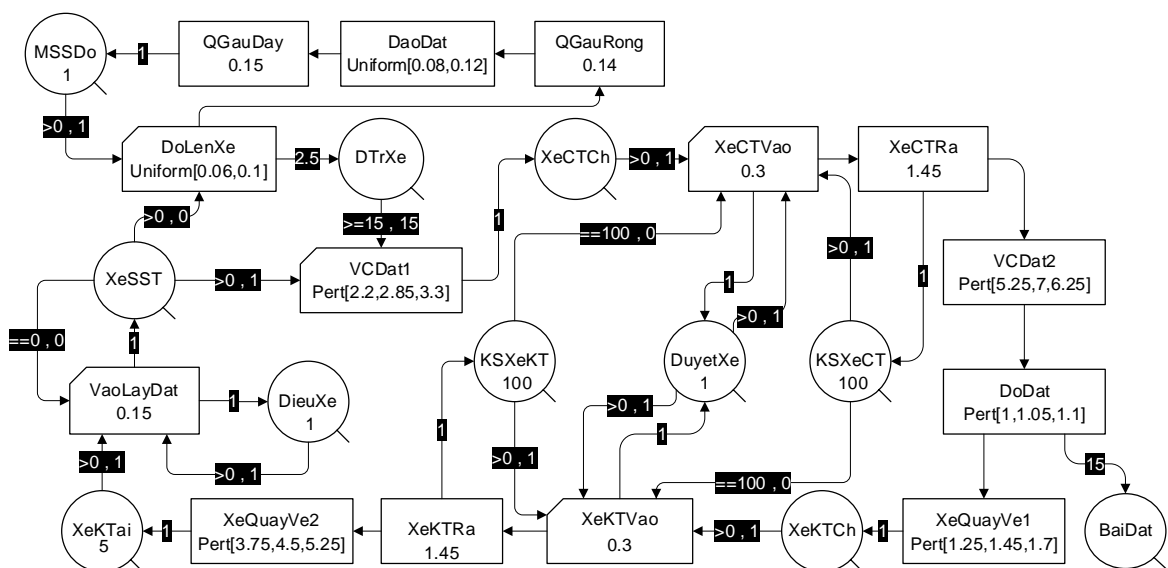
nhánh rời khỏi liên kết. Do đó, xác suất của hoạt động bắt đầu  $SuaXe$  khi kết thúc  $DoDat$  là  $5/(95+5) = 0,05$ . Bất kể xe tải có bị hỏng hay không, hàng đợi  $BaiDat$  sẽ nhận được 15 đơn vị tài nguyên (mét khối đất) vì nó được kết nối trực tiếp với  $DoDat$ .

### 3.4.4. Mô hình hóa logic phức tạp

Khả năng của EZStrobe để mô hình hóa các hệ thống có độ phức tạp vừa phải, điều này có thể hình dung qua một ví dụ minh họa. Hãy xem xét một phiên bản chi tiết và phức tạp hơn của hoạt động vận chuyển đất trong đó (1)- máy đào được sử dụng thay cho máy xúc lật và chu trình của nó được mô hình hóa rõ ràng và (2)- đường vận chuyển có một phần hẹp chỉ cho phép đi theo một hướng (nghĩa là xe có tải hoặc xe không tải, nhưng không bao giờ cả hai cùng một lúc). Một ACD EZStrobe kết hợp các chi tiết và độ phức tạp này được biểu diễn trên hình 3.6 và được giải thích trong hai tiểu mục sau.

#### 3.4.4.1. Mô hình hóa chu trình máy đào

Máy xúc lật xúc đất lên xe tải với vật liệu đã được đào và đánh đồng. Máy đào thực hiện lấy đất bằng việc đào đất từ trạng thái tự nhiên (đất nguyên thổ). Điều này được thực hiện trong một chu trình trong đó máy đào chuyển gầu đào rộng từ vị trí đổ lên xe tải sang vị trí đào → đào đất → chuyển đất từ vị trí đào đến vị trí đổ lên xe tải → chờ xe tải nếu chưa có → đổ đất lên xe tải.



Hình 3.7. ACD cho hoạt động vận chuyển đất với phân đoạn hẹp đơn hướng

Các thành phần của chu trình máy đào được thể hiện bằng các nút *QGauRong*, *DaoDat*, *QGauDay*, *MSSDo* và *DoLenXe* nằm ở phần trên cùng bên trái của ACD. Trong trình này, *DoLenXe* là Hoạt động có điều kiện duy nhất. Theo ACD, các điều kiện cần thiết để *DoLenXe* khởi động là một chiếc xe tải nằm dưới máy đào (*XeSST* chứa một chiếc xe tải) và máy đào đang chờ để đổ đất từ gầu đào lên thùng xe tải (*MSSDo* chứa máy đào). Tuy nhiên, liên kết kết nối *XeSST* với *DoLenXe* chỉ ra rằng, không có xe tải nào được lấy ra khỏi *XeSST* khi *DoLenXe* khởi động. Điều này phù hợp với thực tế bởi vì xe tải cần phải ở dưới máy đào để nhận đất đá và vẫn ở dưới máy đào khi chưa đầy thùng. Trong mô hình này, chiếc xe tải nằm dưới máy đào và lượng đất trên thùng xe đó được đại diện bởi hai hàng đợi riêng biệt là *XeSST* và *DTrXe*. Mỗi lần công việc *DoLenXe* kết thúc,  $2,5\text{m}^3$  đất được đưa vào *DTrXe*.

Công việc có điều kiện *VCDat* diễn ra bất cứ khi nào có một chiếc xe tải dưới máy xúc đã đầy thùng (*XeSST* chứa một chiếc xe tải và *DTrXe* chứa  $15\text{m}^3$  đất). Khi công việc này bắt đầu, chiếc xe tải rời khỏi vị trí dưới máy xúc và các hàng đợi *XeSST* và *DTrXe* bị xóa (rỗng). *VCDat1* biểu diễn việc xe tải đi từ khu vực nhận đất về phía lối vào phần hẹp của đường.

Trong mô hình chi tiết của việc đổ đất lên xe tải, xe tải tiếp theo muốn được chất tải cần phải đi vào khu vực nhận đất cạnh máy đào. Điều này được thể hiện bằng công việc có điều kiện *VaoLayDat*. Theo ACD, *VaoLayDat* diễn ra khi có ít nhất một xe tải đang chờ nhận đất từ máy đào (dung lượng của *XeKTai* là  $> 0$ ), không gian điều động sẵn sàng (dung lượng của *DieuXe* là  $> 0$ ) và không có xe tải nào bên dưới máy đào (*XeSST* rỗng). Liên kết nối *XeSST* với *VaoLayDat* chỉ ra rằng không có xe tải nào được lấy ra từ *XeSST* khi *VaoLayDat* bắt đầu. Điều kiện này là rất cần thiết, bởi vì công việc *VaoLayDat* chỉ có thể bắt đầu khi không có xe nào dưới máy xúc. Bất kể số lượng được chỉ định (sau dấu phẩy trong liên kết) là bao nhiêu, sẽ không có xe tải nào được lấy ra và để làm cho điều này rõ ràng, số 0 được sử dụng. Hàng đợi *DieuXe* là cần thiết để ngăn không cho nhiều xe tải đi vào khu vực máy đào đổ đất trong khi một xe tải khác đang đi vào (chỉ sau khi một xe tải đã vào tới vị trí, tài nguyên của *XeSST* mới trở thành khác 0).

#### 3.4.4.2. Mô hình hóa phân khúc hẹp

Đường vận chuyển có một phần hẹp chỉ cho phép đi theo một chiều (nghĩa là, di chuyển xe có tải hoặc di chuyển xe không tải, nhưng không bao giờ cả hai cùng một lúc). Chiều di chuyển được thiết lập bởi chiếc xe không tải đầu tiên tới đoạn hẹp. Chiều đi đó được duy trì nếu xe tiếp tục đến đoạn đó theo cùng chiều hoặc cho đến khi phân đoạn đó bỏ trống. Nếu xe đang chờ ở đầu kia khi phân đoạn trống, thì chiều di chuyển sẽ đảo ngược để cho phép những xe đó đi. Phần mô hình phân khúc hẹp này của ACD EZStrobe trong hình 3.7 bao gồm các nút sau: *XeCTCh*, *XeCTVao*, *XeCTRa*, *KSXeKT*, *DuyetXe*, *KSXeCT*, *XeKTRa*, *XeKTVao* và *XeKTCh*.

Để hiểu mô hình, cần phải mô tả rõ ràng về cách thức công đoạn này được thực hiện trong thực tế. Trong mô hình 3.7, đường vận chuyển được chia thành ba đoạn, với đoạn hẹp ở giữa. Một chiếc xe đến đoạn hẹp được phép đi vào nếu không có xe nào đi ngược chiều qua đoạn. Ngoài ra, vì lý do không gian vật lý, một chiếc xe phải đợi cho đến khi chiếc xe phía trước đi hẳn vào đoạn hẹp thì nó mới được phép đi vào (tức là, lối vào đoạn hẹp phải được giải phóng). Trong mô hình được thảo luận ở đây, giả sử rằng việc này mất 0,3 phút và được biểu thị bằng các Công việc có điều kiện *XeCTVao* (xe có tải hướng tới vị trí đỗ đất vào đoạn hẹp) và *XeKTVao* (xe không tải trở lại khu vực bốc xúc vào đoạn hẹp). Tài nguyên ban đầu được đặt trong hàng đợi *DuyetXe* đảm bảo rằng chỉ có một xe đi vào đoạn hẹp tại một trong hai đầu tại một thời điểm. Tài nguyên duy nhất này được yêu cầu để cho *XeCTVao* hoặc *XeKTVao* bắt đầu và bị lấy khỏi *DuyetXe* khi một trong hai công việc bắt đầu tiến hành. Khi *DuyetXe* trống (hết tài nguyên), cả *XeCTVao* và *XeKTVao* đều không thể thực hiện.

Phần còn lại của đoạn hẹp cần 1,45 phút thời gian di chuyển. Điều này được thể hiện bằng các công việc *XeCTRa* và *XeKTRa* được ràng buộc tương ứng với *XeCTVao* và *XeKTVao* (ví dụ: một thể hiện của *XeCTRa* hoặc *XRKTRa* bắt đầu mỗi khi một thể hiện của *XeCTVao* hoặc *XeKTVao* kết thúc). Bởi vì thời gian để đi qua phần còn lại của đoạn hẹp (1,45 phút) là lớn hơn so với thời gian để xe qua lối vào (0,30 phút), do vậy có thể một số trường hợp của *XeCTRa* hoặc *XRKTRa* sẽ diễn ra đồng thời (ví dụ, một số xe có tải với 0,3 phút giãn cách có thể đi qua đoạn hẹp).

Mỗi khi *XeCTVao* bắt đầu, nó sẽ lấy một tài nguyên khỏi *KSXeCT*. Mỗi khi *XeCTRa* kết thúc, nó sẽ gửi một tài nguyên vào *KSXeCT*. Vì *KSXeCT* được khởi tạo với số lượng lớn (100), nên lượng tài nguyên của nó sẽ không bao giờ giảm xuống không. Trên thực tế, số lượng tài nguyên dưới 100 trong *KSXeCT* là số xe có tải đang đi qua đoạn hẹp (tức *XeCTVao* và *XeCTRa* đang diễn ra). Khi lượng tài nguyên của *KSXeCT* là 100, tức là khi đó không có xe có tải nào đang đi qua đoạn hẹp. Thông tin này rất có giá trị và được sử dụng như một trong những điều kiện cần thiết để cho phép xe không tải đi vào đoạn hẹp ('==100' trong liên kết kết nối *KSXeCT* với *XeKTVao*).

Tương tự, *KSXeKT* và các liên kết kết nối nó với các công việc *XeKTVao* và *XeKTRa* duy trì và cung cấp thông tin về số lượng xe không tải đi qua đoạn hẹp. Điều kiện là không có xe không tải nào đi qua đoạn hẹp (tức là, số tài nguyên của *KSXeKT* là 100) được sử dụng tương tự như một trong những điều kiện cần thiết để xe có tải được vào đoạn hẹp.

Do đó, theo ACD của hình 3.7, để một chiếc xe có tải được vào phân khúc hẹp, cần có 4 điều kiện sau: (1)- Lượng tài nguyên của *XeCTCh* phải lớn hơn 0 (nghĩa là một chiếc xe có tải phải chờ để vào); (2)- Lượng tài nguyên của *KSXeKT* phải là 100 (nghĩa là không có xe không tải nào có thể đi qua đoạn hẹp); (3)- Lượng tài nguyên của *DuyetXe* phải lớn hơn 0 (nghĩa là lỗi vào đoạn hẹp phải được giải phóng) và (4)- Lượng tài nguyên của *KSXeCT* phải lớn hơn 0 (điều này sẽ luôn xảy ra).

Khi *XeCTVao* bắt đầu (tức một chiếc xe có tải vào phân khúc hẹp), nó (1)- Nhận một tài nguyên từ *XeCTCh*; (2)- Giữ nguyên lượng tài nguyên của *KSXeKT*; (3)- Có được tài nguyên trong *DuyetXe* và (4)- Có được tài nguyên từ *KSXeCT* (tài nguyên này sẽ không được trả về *KSXeCT* cho đến khi thể hiện của *XeCTRa* bị ràng buộc với thể hiện bắt đầu của *EXeCTVao* kết thúc).

Bằng cách mô hình hóa hướng trống của đoạn hẹp theo cách như trên sẽ cho phép điều khiển hoạt động xe đi qua như mong muốn.

Các điều kiện và việc điều động tài nguyên được thể hiện trong liên kết kết nối hàng đợi với Hoạt động có điều kiện là rất chặt chẽ. Ví dụ này minh họa cách có thể



mô hình logic phức tạp vừa phải bằng cách sử dụng các điều kiện và lựa chọn điều động tài nguyên chỉ với một vài thủ tục.

#### ***3.4.5. Mô hình hóa và tham số hóa các hoạt động quy mô lớn***

EZStrobe có một số tính năng nâng cao cho phép tham số hóa đầu vào, tùy chọn đầu ra, xác định ứng xử của mô hình dựa trên trạng thái mô hình động, xây dựng mô hình nhiều trang, xuất bản mô hình để chạy trên web và hoạt hình của mô hình đang chạy để xác minh mô hình (gỡ lỗi). Các mô tả ngắn gọn sau đây giới thiệu về một số tính năng nâng cao của chương trình và các tính năng này được áp dụng trực tiếp trong các mô hình khảo sát số tại chương 4 của luận án.

##### ***3.4.5.1. Hàng đợi kết hợp và mô hình nhiều trang***

Để đơn giản hóa thể hiện một mô hình của quá trình hoạt động tổng thể phức tạp (có nhiều nút nên khó quan sát, nhiều liên kết bị giao cắt...), mô hình tổng thể sẽ được chia thành nhiều phần nhỏ được ngắt kết nối với các phần khác. Các phần nhỏ của mô hình tổng thể có thể đặt cùng trên một trang in, nhưng cũng có thể được bố trí trong một số trang riêng biệt trên ứng dụng Visio. Cách làm như vậy gọi chung là mô hình nhiều trang. Tuy các trang của mô hình được ngắt kết nối trực tiếp, nhưng chúng hoạt động vẫn như một mô hình tổng thể thống nhất trên một trang là nhờ việc sử dụng khả năng của một phần tử đặc biệt có tên là Hàng đợi kết hợp. Hàng đợi kết hợp là các nút trông giống như Hàng đợi thông thường nhưng được vẽ bằng đường đứt nét. Hàng đợi kết hợp phải mang tên của một Hàng đợi thông thường tồn tại ở nơi khác trong mô hình. Một mô hình có thể chứa một số Hàng đợi kết hợp có cùng tên của một Hàng đợi thông thường. Tất cả các Hàng đợi kết hợp như vậy được coi là một và giống như Hàng đợi thông thường có cùng tên gọi. Tại chỗ ngắt kết nối và ở trang kế tiếp, một Công việc bình thường được thay thế bằng một Hàng đợi theo sau bởi Công việc có điều kiện.

##### ***3.4.5.2. Tham số hóa các mô hình***

Hiệu suất của một hệ thống nhất định phụ thuộc vào giá trị của các biến quyết định chính và dữ liệu một số biến khác. Các đại lượng này thường được sử dụng trong các phần khác nhau của mô hình. Do đó, để thuận tiện cho thử nghiệm và tránh những sai sót do thay đổi không thống nhất, định nghĩa của các biến đầu vào nên được đặt tại

một nơi cố định. Công cụ “Parameters” (Tham số) của EZStrobe cho phép người thiết kế mô hình gán tên đại diện và mô tả cho các đại lượng này. Tên của tham số sau đó có thể được sử dụng trong toàn bộ mô hình. Bằng cách sử dụng các tham số, có thể tạo ra các mô hình chung phù hợp với các quá trình hoạt động tương tự. Các mô hình như vậy có thể được sử dụng lại bằng cách chỉ định các giá trị tham số thích hợp.

#### 3.4.5.3. Tùy chọn đầu ra

Các quyết định đặc thù về một hệ thống dựa trên đo lường hiệu suất phải được tính toán từ đầu ra thống kê. Công cụ “Results” (Kết quả) trong EZStrobe cho phép định nghĩa các đo lường hiệu suất với các công thức tính toán từ các tham số, số liệu thống kê từ thực hiện mô hình và các Kết quả khác.

Khi mô hình chứa “Parameters” và/hoặc “Results”, đầu ra sẽ có thông báo về các đại lượng này. Khi chạy lặp nhiều lần, EZStrobe tự động thu thập thống kê về từng kết quả và trình bày chúng trong một bảng báo cáo.

#### 3.4.5.4. Trạng thái mô hình động

Một dữ liệu số xuất hiện trên ACD EZStrobe có thể được tính toán bằng một công thức động, chẳng hạn dữ liệu được sử dụng để xác định thời lượng công việc hoặc lượng tài nguyên được lấy ra bởi một liên kết. Các công thức này có thể chứa các lệnh gọi hàm (ví dụ: Sin, Log), toán tử số học, các biến đại diện cho trạng thái mô hình động (ví dụ: nội dung hiện tại của Hàng đợi hoặc số lần hoạt động đã diễn ra), tham số mô hình và các kết quả của mô hình.

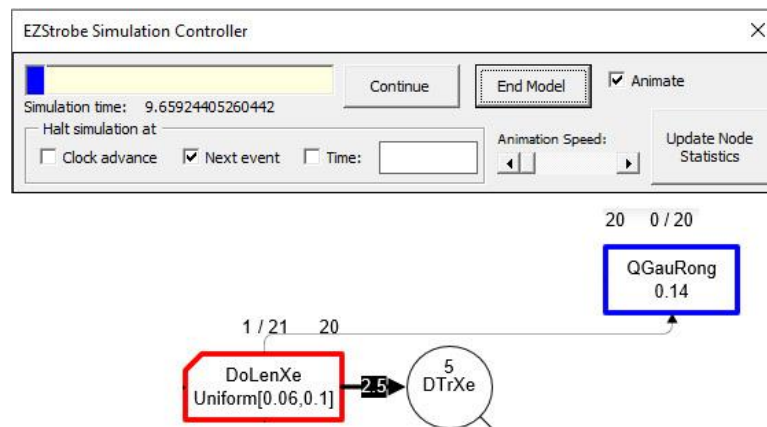
Khả năng này cho phép mô hình hóa các tình huống khá phức tạp như logic động và phân phối thời lượng công việc không ổn định. Ví dụ, thời lượng hoạt động *DaoDat* trong hình 3.6 có thể viết thành:  $Uniform[0.08,0.12]*DaoDat.TotInst^{-0.12}$  để thể hiện hiệu ứng học tập ngẫu nhiên trong đó thời gian đào đất có xu hướng giảm dần khi đã có kinh nghiệm. “Kinh nghiệm” trong ví dụ này được thể hiện qua *DaoDat.TotInst*, nó tự động trả về số lần công việc *DaoDat* đã bắt đầu.

#### 3.4.5.5. Mô hình hoạt hình để xác minh

Mô hình đầu tiên của một hệ thống phức tạp hiếm khi là một thể hiện chính xác cho sự hiểu biết của người lập mô hình về hệ thống thực. Bằng cách chạy mô

hình và phân tích kết quả của nó, thường có thể phát hiện một số lỗi, nhưng các lỗi khác có thể không dễ thấy và có thể không bị phát hiện. Có thể sử dụng các tệp dấu vết của quá trình chạy mô phỏng để phát hiện lỗi, nhưng đó là một quá trình cực kỳ công kềnh, thậm chí không thể quản lý được đối với hầu hết các mô hình phức tạp.

EZStrobe cung cấp mô hình đồ họa và tương tác để xác minh (gỡ lỗi) bằng phương thức mô hình hoạt hình. Các khả năng hoạt hình của EZStrobe được thiết kế dành riêng cho nhà phát triển mô hình để hiểu và có được sự tự tin về tính chính xác của mô hình. Trình hoạt hình minh họa bằng biểu đồ trạng thái động của mô phỏng (ví dụ: nội dung hiện tại của hàng đợi và số lượng phiên bản hoạt động đang diễn ra) và các sự kiện diễn ra trong quá trình mô phỏng (ví dụ: khi một phiên bản của công việc bắt đầu hoặc kết thúc, khi hàng đợi nhận được tài nguyên hoặc khi tài nguyên chuyển qua các liên kết).



Hình 3.8. Ảnh chụp nhanh hoạt hình EZStrobe

Hình 3.8 cho thấy một ảnh chụp nhanh của bộ điều khiển hoạt hình EZStrobe và một phần của mô hình đang hoạt hình. Trình hoạt hình được đặt dừng sau mỗi sự kiện và hiện đang ở thời điểm mô phỏng 9,6. Đường viền màu đỏ dày trên *DoLenXe* thông báo rằng nó đang chấm dứt một phiên bản. Cụ thể, số 20 ở phía trên bên phải chỉ ra phiên bản cụ thể đang kết thúc (đếm bắt đầu từ 0). Số 1/21 ở giữa phía trên chỉ ra rằng một phiên bản hiện đang diễn ra (sắp kết thúc) và đã có 21 phiên bản kể từ khi bắt đầu chạy mô hình. Đường viền dày màu xanh trên *QGauRong* cho thấy nó đang bắt đầu một phiên bản (điều này xảy ra trong khi *DoLenXe* đang hoàn thiện). Số 20 ở phía trên bên trái của công việc cho biết phiên bản cụ thể sẽ bắt đầu. Số 0/20, ở

giữa phía trên chỉ ra rằng không có phiên bản nào đang diễn ra (phiên bản hiện đang bắt đầu không được tính cho đến khi thời lượng của nó được lấy mẫu) và tổng cộng 20 phiên bản đã bắt đầu. Đường kẻ dày được sử dụng cho liên kết kết nối *DoLenXe* với *DTrXe* chỉ ra rằng 2,5 đơn vị tài nguyên đang được gửi đến Hàng đợi. Số 5 trên đầu *DTrXe* cho biết lượng tài nguyên hiện tại của nó. Nếu nhấn nút *Continue* trên bộ điều khiển, dòng liên kết sẽ trở về độ dày bình thường, đường viền của *DTrXe* sẽ chuyển sang dày và số phía trên sẽ được cập nhật lên 7,5.

Trong khi hoạt hình của mô hình bị tạm dừng, có thể cập nhật và sau đó kiểm tra toàn bộ trạng thái của mô phỏng (bằng cách nhấn nút “Update Node Statistics”).

Các khả năng hoạt hình của mô hình chứng tỏ là rất hữu ích cho những ai đang tìm hiểu hệ thống để nắm bắt chính xác cách thức phương pháp mô hình EZStrobe hoạt động và học bằng cách “thử nghiệm và nhìn thấy”.

### 3.5. Kết luận chương 3

Những hạn chế của các kỹ thuật truyền thống đã thúc đẩy các nghiên cứu tập trung vào các phương pháp tiếp cận dựa trên công nghệ được gọi là mô phỏng. Kỹ thuật dựa trên mô phỏng được chứng minh là có khả năng vượt trội trong việc hỗ trợ các nhà quản lý và người lập kế hoạch ra quyết định cũng như nâng cao độ tin cậy của việc lập kế hoạch hoạt động của họ. Tuy nhiên, trong khi mô phỏng được áp dụng rộng rãi trong các ngành công nghiệp khác thì việc triển khai chúng trong ngành xây dựng lại khá hạn hẹp. Các lý do chính giải thích tại sao các nhà quản lý và những người lập kế hoạch xây dựng không muốn sử dụng các phương pháp tiếp cận dựa trên mô phỏng là các phương pháp này cần kiến thức, kỹ năng về công nghệ thông tin và các công cụ mô phỏng là không dễ sử dụng.

Thông qua việc xem xét các tài liệu, tác giả luận án đã xác định trong số các công cụ mô phỏng xây dựng, EZStrobe là kỹ thuật có tiềm năng để cung cấp cơ hội khám phá cho các nhà nghiên cứu cũng như khả năng thực hành cho những người làm công tác quản lý, điều hành trong lĩnh vực xây dựng. Được xây dựng dựa trên ngôn ngữ mô phỏng STROBOSCOPE, EZStrobe sở hữu các tính năng cho phép nó dễ dàng được thực hiện trong việc lập mô hình một dự án phức tạp vì nó không yêu

cầu kiến thức công nghệ thông tin và kỹ năng lập trình. Hơn nữa, với các chức năng cụ thể được bao gồm trong chương trình EZStrobe (ví dụ: khả năng tạo tham số cũng như hoạt hình), chương trình trở nên có khả năng cao trong phân tích kịch bản và do đó, hỗ trợ tốt cho quá trình ra quyết định. EZStrobe được khẳng định là thân thiện với người dùng và đã thành công ở các khía cạnh khác nhau. Đây là những lý do để tác giả luận án chọn EZStrobe làm công cụ để triển khai nghiên cứu của mình.

## Chương 4

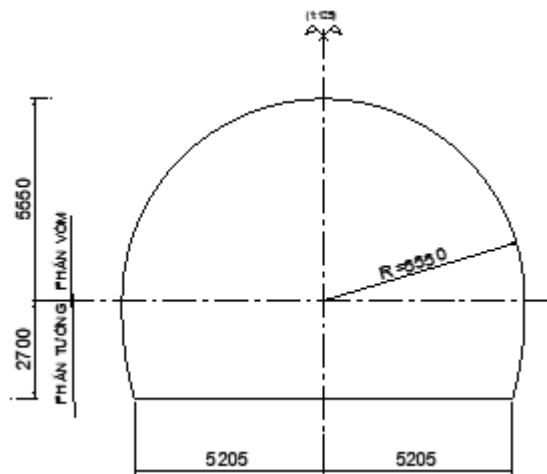
### THỬ NGHIỆM SỐ SỬ DỤNG CHƯƠNG TRÌNH MÔ PHỎNG EZStrobe PHÂN TÍCH CÁC PHƯƠNG ÁN ĐÀO HÀM

#### 4.1. Giới thiệu về trường hợp nghiên cứu và các phương án thi công

##### 4.1.1. Trường hợp nghiên cứu

Trong chương này, trường hợp nghiên cứu thử nghiệm số vẫn dựa trên dự án hầm Đèo Cả như trong chương 2 để xây dựng mô hình mô phỏng và phân tích tốc độ đào hầm, cụ thể cho gói thầu 1A-2, đoạn km5+470 đến km5+900. Về công nghệ thi công hầm, liên danh các nhà thầu đã áp dụng công nghệ NATM. Phương án thi công trong thực tế là đào toàn gương (phù hợp với đá loại B) với mặt gương thẳng đứng gồm các bước cơ bản như sơ đồ hình 2.8. Chiều dài một chu kỳ khoan nổ được giới hạn từ 2 ÷ 4m, khi tính toán lấy trung bình bằng 3m. Đất đá có hệ số nở rời bằng 1,4.

Mặt cắt ngang hầm có kích thước  $B \times H \times R = (10,410 \times 8,250 \times 5,555)m$  (xem hình 4.1). Diện tích mặt cắt  $S = 77,63m^2$ .



Hình 4.1. Các kích thước cơ bản của mặt cắt ngang hầm Đèo Cả

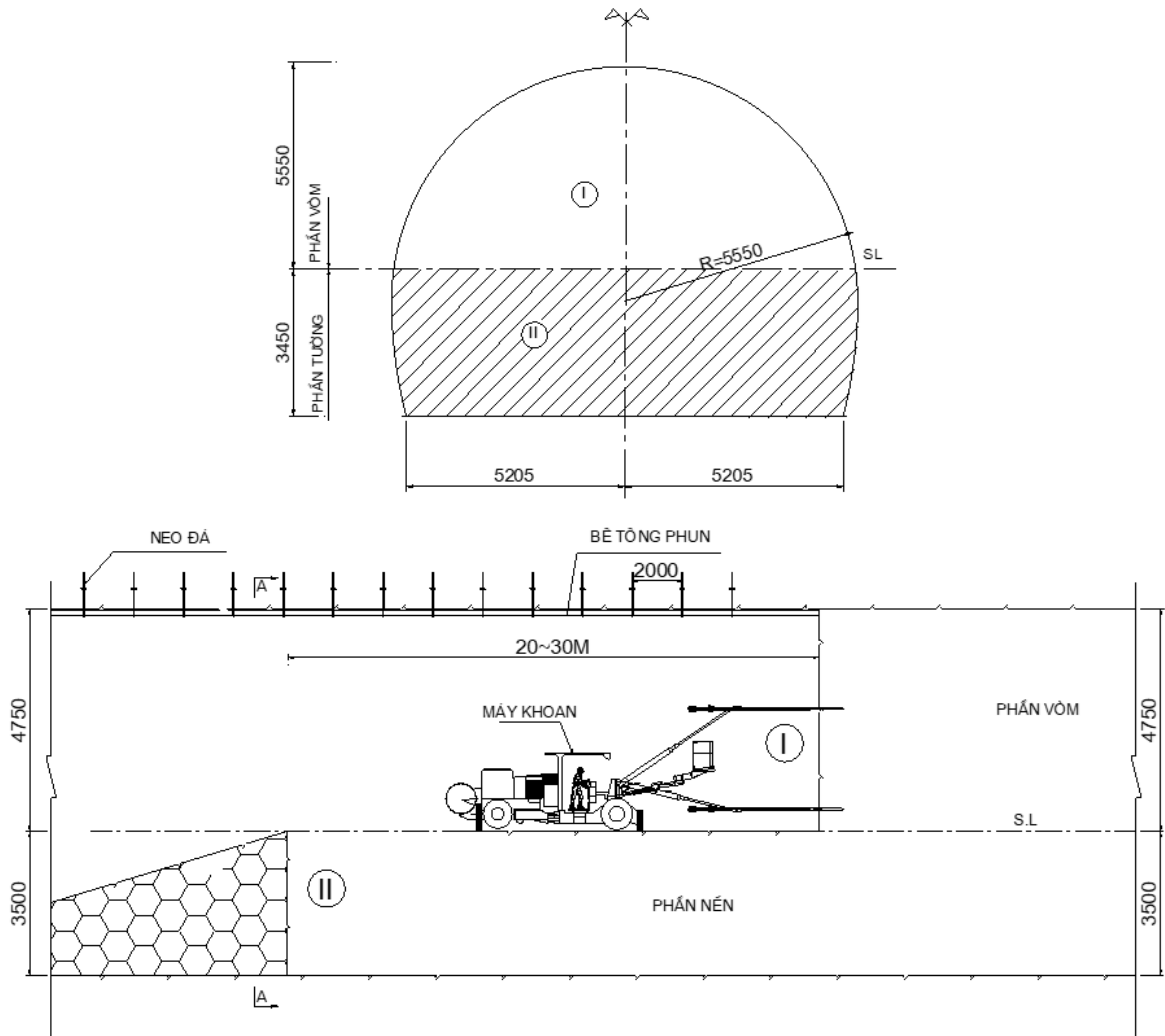
##### 4.1.2. Xây dựng các phương án đào hầm của trường hợp nghiên cứu

Trên cơ sở các tham số về điều kiện địa chất, kích thước mặt cắt ngang, ngoài phương án đào toàn gương như thực tế thi công của dự án, các sơ đồ chia gương đào được xem xét gồm 3 phương án, dựa trên phương pháp đào kiểu bậc thang đứng. Như vậy, có 4 phương án thi công được thiết kế để phân tích. Quy trình công nghệ của các phương án thi công được tóm tắt như sau:

a) Đào toàn gương (PA1):

Thực hiện phân tích quá trình đào hầm bằng khoan nổ với các công đoạn chính thể hiện trên hình 2.8, quy trình công nghệ được chi tiết hóa thành các công đoạn như sau: Khoan lỗ mìn → Nạp thuốc nổ → Nổ, thông gió → Vận chuyển đất đá thải → Nạo vét khoang đào bằng máy và thủ công → Chống đỡ, gia cố → Khảo sát, chuẩn bị cho chu kỳ tiếp theo. Chiều dài chu kỳ khoan nổ là 3m.

b) Gương chia đôi (PA2)



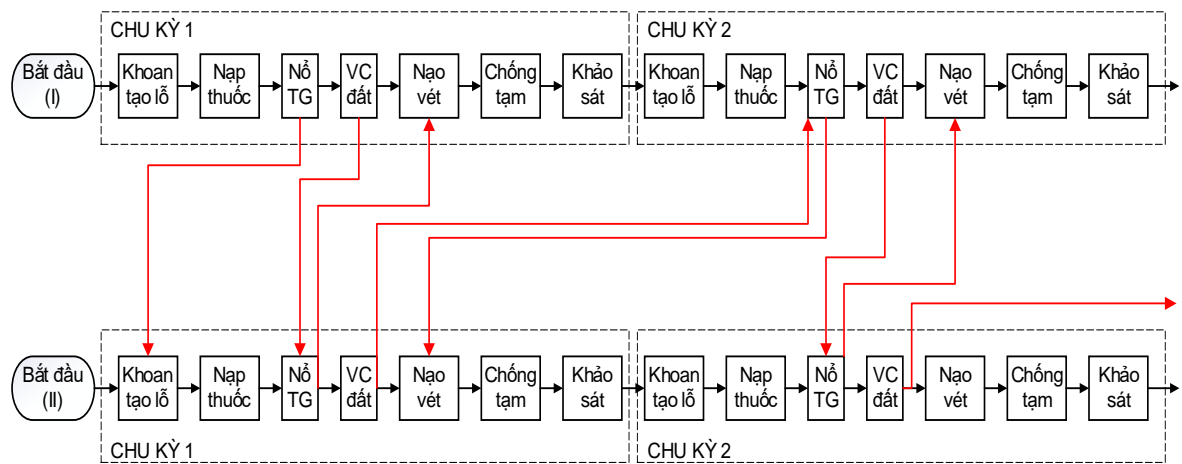
Hình 4.2. Phương án thi công chia đôi gương đào (bậc trên - bậc dưới)

a) Cắt ngang hầm; b) Cắt dọc hầm

Ở phương án này, gương được chia làm 2 phần: nửa trên, nửa dưới và dùng hai lần đào theo kiểu bậc để hình thành (hình 4.2).

Đặc điểm công nghệ liên quan đến hai lần đào:

- Khoảng cách bậc: nửa trên tiến trước, duy trì khoảng cách với nửa dưới từ 20m đến 30m.
- Chiều dài chu kỳ khoan nổ của cả hai bậc là 3m.
- Quy trình công nghệ trên mỗi lần đào tuân theo quy trình như đào toàn gương nêu trên nhưng có sự đan xen công tác giữa hai nửa/bậc (hình 4.3): Công tác khoan tạo lỗ và nạp thuốc nổ cho nửa dưới được tiến hành cùng với công tác bóc xúc - vận chuyển đất đá nửa trên. Khi nửa trên đã vận chuyển xong đất đá thì cho nổ mìn nửa dưới. Các công tác còn lại ở nửa trên (nạo vét → chống đỡ → khảo sát) và sau đó khoan tạo lỗ và nạp thuốc nổ cho chu kỳ tiếp theo sẽ tiếp tục trong khi nửa dưới thực hiện vận chuyển đất đá. Sự đan xen công tác này thực hiện tương tự cho các chu kỳ tiếp theo trên cả hai nửa gương đào.



Hình 4.3. Mô tả sự phối hợp các công tác khi thi công khai đào 2 bậc.

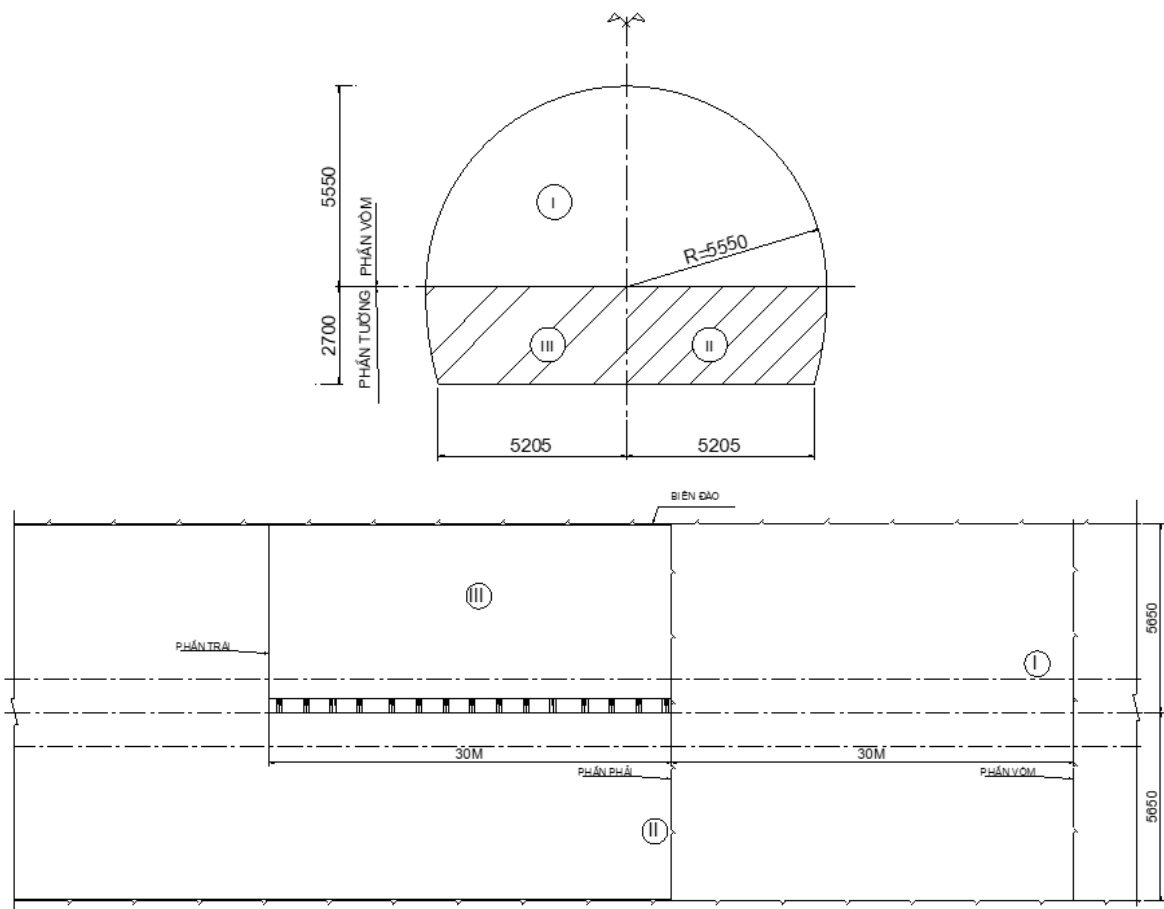
### c) Gương chia 3 (PA3)

Phương án này khác phương án gương chia đôi ở chỗ: Ở bậc dưới, gương đào lại được chia làm 2 phần bằng nhau (hình 4.4). Đặc điểm công nghệ liên quan đến các lần đào tại các phần gương đã chia như sau:

- Nửa trên (phần gương I) có chiều dài chu kỳ khoan nổ là 2m. Hai phần gương bậc dưới có chiều dài chu kỳ khoan nổ 4m. Như vậy, để đảm bảo bước tiến và giữ khoảng cách hai bậc, nửa trên sẽ thực hiện hai chu kỳ khoan nổ tương ứng với một chu kỳ khoan nổ của các phần bậc dưới.



- Tiến hành chu kỳ 1 của bậc trên đến khi bắt đầu vận chuyển đất đá thì triển khai khoan và nạp thuốc nổ cho phần bên phải bậc dưới, khi bậc trên vận chuyển xong mới cho nổ ở phần này. Các công đoạn tiếp theo của phần bên phải bậc dưới thực hiện đồng thời với bậc trên tiến hành các công tác khác của chu kỳ 1 sau đó khoan tạo lỗ và nạp thuốc nổ cho chu kỳ 2. Cho nổ chu kỳ 2 bậc trên khi của phần bên phải bậc dưới hoàn thành chu kỳ và khi vận chuyển đất đá chu kỳ 2 bậc trên thì triển khai công tác cho phần bên trái bậc dưới. Các bước tiếp theo tương tự như đã mô tả khi kết hợp chu kỳ 1 (bậc trên) với phần bên phải bậc dưới.



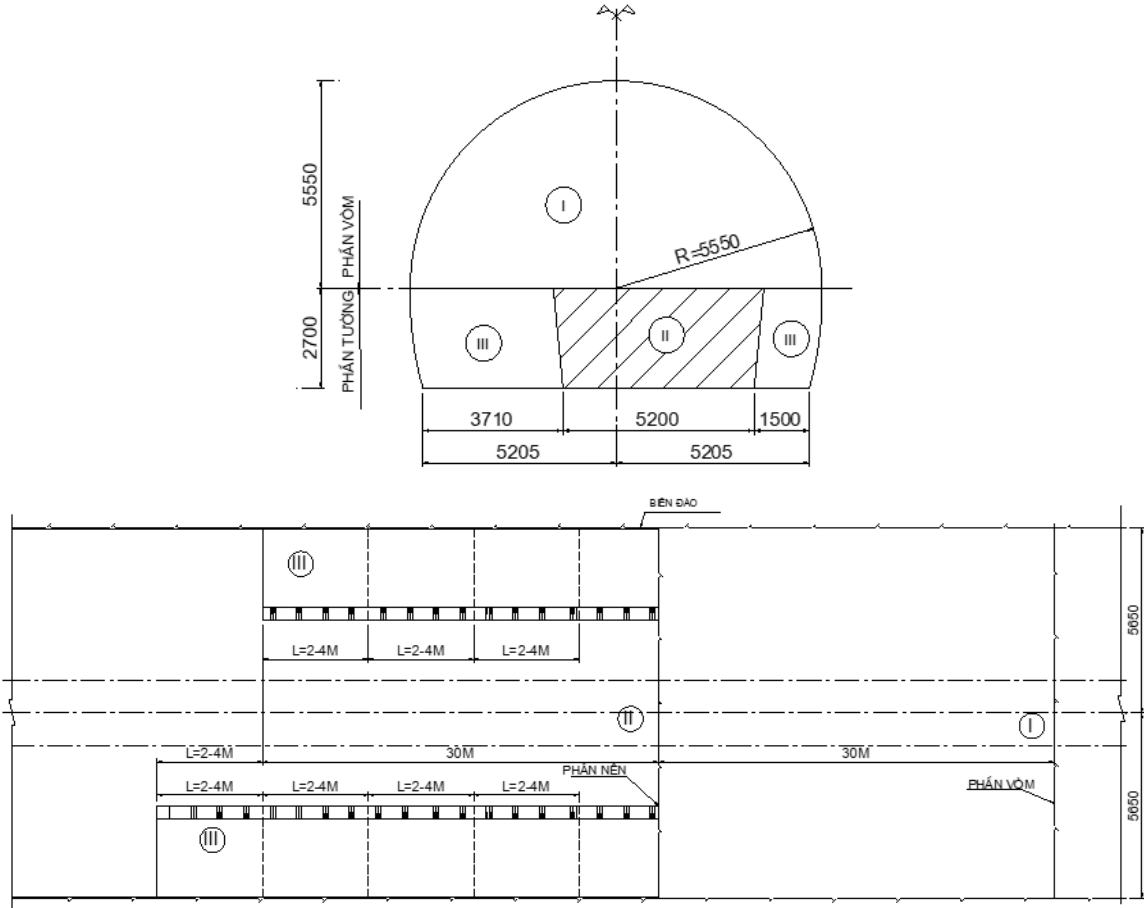
Hình 4.4. Phương án gương chia 3 (bậc trên - bậc dưới; bậc dưới chia đôi)

a) Cắt ngang hầm; b) Mặt bằng thi công hầm

d) Gương chia 4 (PA4)

Ở phương án này, bậc dưới được chia làm 3 phần. Phần ở giữa (II) bậc dưới sẽ đào một lần, hai phần còn lại ở hai bên (III và IV) sẽ đào cùng một lần (hình 4.5). Đặc điểm công nghệ liên quan đến các lần đào của phương án này tương tự như

phương án gương chia 3. Điểm khác: chu kỳ đào của phần II hoàn thành khi vận chuyển xong đất đá mà không cần thực hiện các bước tiếp theo trong quy trình công nghệ chung như các phần khác.



Hình 4.5. Phương án gương chia 4 (bậc trên - bậc dưới; bậc dưới chia 3)

a) Cắt ngang hầm; b) Mặt bằng thi công hầm

Một đặc điểm công nghệ chung cần lưu ý của các phương án chia gương dựa trên phương pháp đào kiểu bậc thang đứng (PA2, PA3, PA4) là công tác mở rộng hệ kỹ thuật (thông gió, điện nước...) chỉ làm trong chu kỳ của phần đào bậc trên.

## 4.2. Xây dựng mô hình mô phỏng cơ bản

### 4.2.1. Các bước xây dựng mô hình mô phỏng

Theo Halpin và Riggs [50], các phần tử mô hình hóa có trong chương trình mô phỏng có thể được sử dụng trong nhiều dạng khác nhau để mô hình hóa các quá trình hoạt động xây dựng. Halpin và Riggs cũng nhấn mạnh đến việc xác định các nguồn lực chính liên quan đến quá trình hoạt động, cũng như thiết lập các trạng thái khác

nhau mà thông qua đó các nguồn lực được phân phối theo các đường dẫn tới từng công việc và toàn bộ chu trình. Sự tích hợp của các đường dẫn tài nguyên và chu trình là nền tảng trong việc xây dựng cấu trúc cơ bản của quá trình hoạt động.

Vì không có quy trình mô hình hóa cụ thể để thực hiện EZStrobe, do đó, tác giả luận án đã xem xét tham khảo các nghiên cứu khác, được thực hiện cụ thể cho các trường hợp mô phỏng quá trình xây dựng (ví dụ: Martinez [62, 63]; Marzouk và cộng sự [66, 67, 68]). Từ đó, thống nhất với kết luận của tác giả [93] về các bước chính được sử dụng trong các thử nghiệm mô phỏng quá trình xây dựng bằng EZStrobe như sau:

(1)- Xác định các Hàng đợi, Công tác và các điều kiện cần thiết để bắt đầu một Công việc và kết quả của Công việc.

(2)- Xác định và gán dung lượng/số lượng của mỗi Hàng đợi.

(3)- Xác định loại liên kết cần được vẽ để kết nối Hàng đợi và Công việc.

(4)- Gán chú thích cho liên kết:

(a)- Vẽ một liên kết để kết nối Hàng đợi với Công tác: chú thích trên liên kết chỉ ra các điều kiện bắt buộc để Công việc bắt đầu. Theo EZStrobe, cần lưu ý rằng nếu liên kết kết nối Công việc có điều kiện (Combi) và Hàng đợi, thì chú thích bao gồm một phần nữa để chỉ rõ số lượng tài nguyên sẽ được lấy ra (nếu có thể) từ Hàng đợi được kết nối;

(b)- Vẽ một liên kết để kết nối Công việc với nút bất kỳ: chú thích trên liên kết thể hiện lượng tài nguyên sẽ được chuyển qua liên kết mỗi khi một phiên bản của Công việc đi trước kết thúc.

(5)- Ước tính thời lượng của từng Công việc: Sử dụng mẫu phân phối xác suất để ước tính thời lượng của các Công việc.

(6)- Tạo “Nhánh xác suất” để kết nối Fork với bất kỳ nút nào ngoại trừ Combi: bằng cách này, người lập mô hình tiền định lộ trình cần phải tuân theo cho từng điều kiện với xác suất kèm theo.

(7)- Tham số hóa mô hình: tùy chọn “Tham số (Parameters)” trong EZStrobe cho phép người lập mô hình gán một tên tượng trưng và các mô tả về đại lượng này. Trang “Tham số mô hình” có thể thể hiện số lượng nguyên vật liệu (tài nguyên) được

di chuyển, số lượng máy móc được sử dụng, chi phí thiết bị/máy móc theo giờ và các thông số chi phí gián tiếp khác. Cần lưu ý rằng việc sử dụng tùy chọn "Tham số" cho phép người thiết kế mô hình tạo các mô hình chung thích ứng với nhiều hoạt động tương tự và các mô hình này có thể được sử dụng sau đó bằng cách chỉ định giá trị tham số thích hợp.

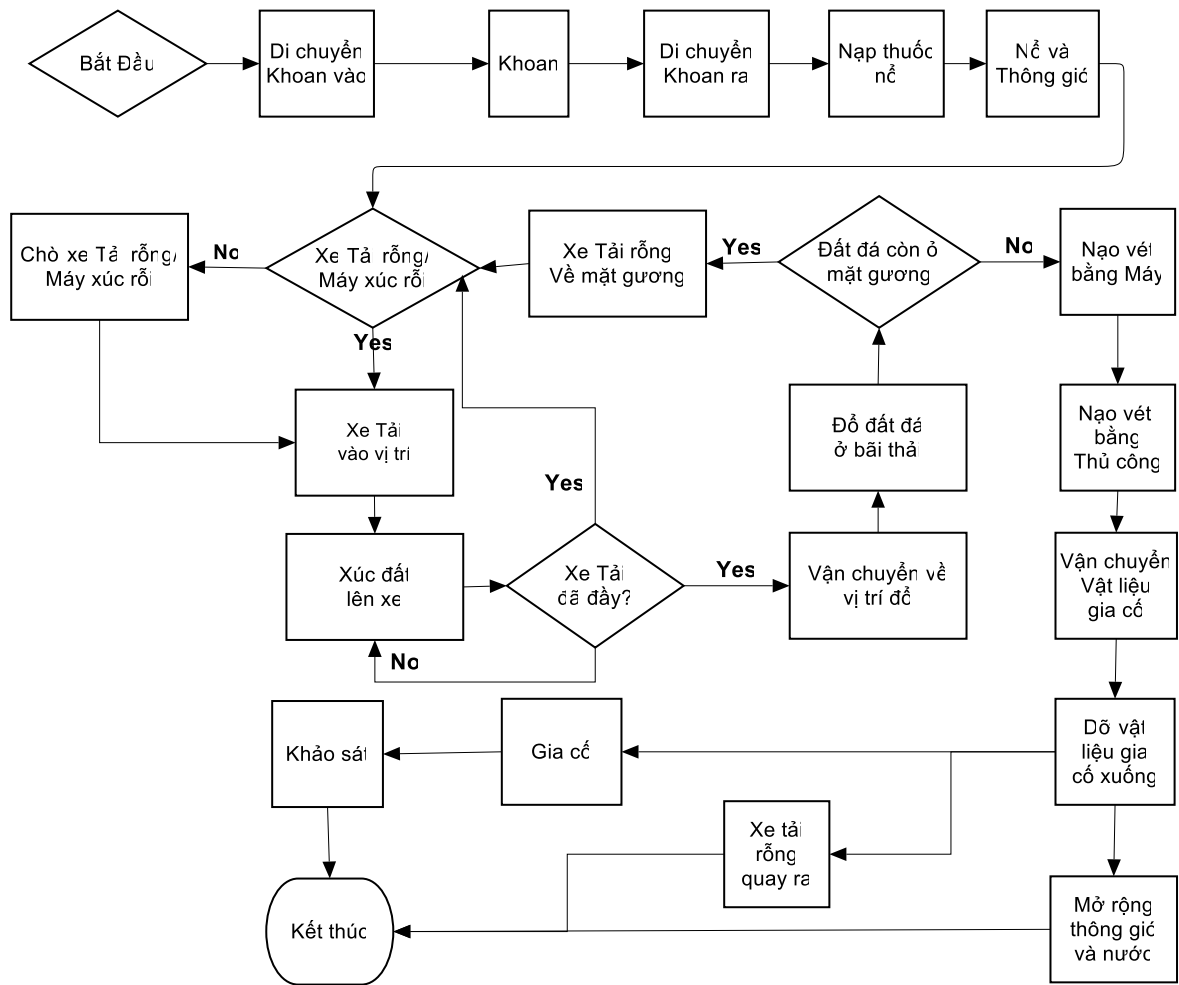
(8)- Tùy chọn đầu ra: bước này có thể được thực hiện bằng cách sử dụng tùy chọn "Kết quả" được cung cấp trong EZStrobe. Tùy chọn này cho phép người lập mô hình xây dựng các công thức để đo hiệu suất của các tham số liên quan, với các tham số này đã được nhập ở bước trước.

Những phần tiếp sau đây sẽ trình bày những nội dung chính để xây dựng một mô hình mô phỏng quá trình đào hầm bằng khoan nổ trên EZStrobe và sử dụng mô hình trong nghiên cứu lựa chọn phương án thi công. Mô hình được xây dựng dựa trên phương án thi công toàn gương được gọi là mô hình cơ bản. Từ mô hình cơ bản, sẽ phát triển thành các mô hình trong các trường hợp cụ thể khác phục vụ cho phân tích, khảo sát các phương án thi công.

#### ***4.2.2. Phân tích công nghệ và xây dựng sơ đồ nguyên lý***

Từ những vấn đề lý thuyết về công nghệ đào hầm bằng khoan nổ được cụ thể hóa bằng mô hình tiền định đã được trình bày ở chương 2 cũng như tham khảo các nghiên cứu cùng chủ đề, quy trình đào hầm theo phương pháp NATM tại dự án Đèo Cả (hình 2.8) được chi tiết hóa đến từng bước công việc nhỏ để phù hợp với việc mô hình hóa. Ví dụ, công đoạn khoan nổ mìn được chia thành các bước công việc: di chuyển máy khoan từ vị trí tập kết vào vị trí; định vị máy và tiến hành khoan các lỗ mìn; khi khoan xong, di chuyển máy khoan ra vị trí tập kết an toàn hoặc tận dụng máy khoan để nạp thuốc; nạp thuốc nổ vào lỗ mìn; nổ mìn và thông gió.

Dựa trên phân tích ứng xử của hệ thống, bao gồm trình tự của các bước công việc và sự phụ thuộc lẫn nhau giữa các bước công việc và nguồn lực cũng như trạng thái của các nguồn lực, xây dựng sơ đồ nguyên lý làm cơ sở cho việc xây dựng sơ đồ ACD của mô hình mô phỏng (hình 4.6). Sơ đồ nguyên lý được biểu diễn bởi việc sử dụng sơ đồ quy trình đơn giản, bao gồm các hình chữ nhật, hình thoi và mũi tên.



Hình 4.6. Sơ đồ nguyên lý hoạt động của quá trình đào hầm bằng khoan nổ

#### 4.2.3. Chuyển sơ đồ nguyên lý sang ACD theo các tiêu chuẩn của EZStrobe

Ở giai đoạn này, trước tiên cần tìm hiểu các thông tin liên quan đến các bước công việc, các điều kiện cần thiết và kết quả của chúng, theo khuyến nghị của Martinez [63]. Từ các thông tin đó, tạo bố cục cho mô hình ACD. Việc chuyển đổi này được thực hiện theo cách thức đã được trình bày tại mục 3.4.2. Sau đó, sử dụng các phần tử tiêu chuẩn của chương trình EZStrobe, sửa đổi mô hình ACD đã phát triển, tạo nên phiên bản mới, gọi là mô hình ACD EZStrobe. Một bản mô tả chi tiết về mô hình được ghi lại ở phụ lục 5.

Bước tiếp theo là việc chuẩn bị dữ liệu cho mô hình, bao gồm xác định về tài nguyên sử dụng (biến tài nguyên hay dung lượng hàng đợi) và ước lượng thời gian thực hiện các bước công việc. Để có thể làm được điều này, cần phải tiến hành thu

thập và phân tích dữ liệu. Có nhiều phương pháp thu thập dữ liệu khác nhau theo phương pháp nghiên cứu điển hình. Theo Yin [92], sáu nguồn bằng chứng có thể được khai thác và sử dụng trong các nghiên cứu điển hình, đó là: tài liệu, hồ sơ lưu trữ, phỏng vấn, quan sát trực tiếp, quan sát của người tham gia và đồ tạo tác vật lý. Mỗi nguồn bằng chứng có những điểm mạnh và điểm yếu khác nhau. Theo Tellis [86], không có nguồn bằng chứng nào có lợi thế hoàn toàn so với những nguồn khác và vì vậy, các nguồn này có thể được sử dụng bổ sung cho nhau hoặc kết hợp với nhau.

Trong điều kiện của dự án Đèo Cả, dữ liệu cho mô hình được thu thập bằng 2 nguồn sau:

(1) Tài liệu:

+ Các tài liệu liên quan trực tiếp đến thiết kế và thi công dự án, bao gồm: Hồ sơ thiết kế công trình; Hồ sơ yêu cầu gói thầu; Hồ sơ thiết kế biện pháp thi công của các nhà thầu thi công (Lũng Lô, Sông Đà, liên danh nhà thầu); Phương án kỹ thuật khoan - nổ mìn của Tổng công ty xây dựng Lũng Lô cho dự án Đèo Cả; Nhật ký thi công hàng ngày gói thầu 1A-2 của Nhà thầu Lũng Lô; Hồ sơ năng lực các nhà thầu tham gia dự án; Công văn của Ban quản lý dự án và của Tư vấn giám sát liên quan đến thay đổi chiều dài bước đào hầm;...

+ Các nghiên cứu hoặc đánh giá chính thức về cùng một đối tượng (đào hầm bằng phương pháp khoan nổ) như trường hợp đang được nghiên cứu, bao gồm các nghiên cứu trong và ngoài nước.

(2) Quan sát của người tham gia: Lấy từ tham vấn ý kiến của một số cán bộ kỹ thuật Tổng công ty xây dựng Lũng Lô tham gia trực tiếp thi công dự án Dự án đầu tư xây dựng hầm đường bộ qua Đèo Cả.

Từ các dữ liệu thu thập được, trong trường hợp nghiên cứu cụ thể, đã xác định được các biến về tài nguyên và ước lượng thời gian các công việc như sau:

- Các biến về tài nguyên sử dụng trong mô hình của dự án đường hầm Đèo Cả được mô tả trong bảng 4.1, trong đó thể hiện ký hiệu biến trên mô hình và giá trị thực của chúng. Các biến ExcvSoil và DmpdSoil được tự động xác định trong quá trình mô phỏng.

Bảng 4.1. Các biến về tài nguyên sử dụng trong mô hình

TT	Mô hình biến	Ký hiệu biến	Giá trị
1	Số lượng xe chở đất	nSoilTr	5
2	Sức chứa của xe tải (m <sup>3</sup> )	TruckCap	12
3	Số lượng xe chở vật liệu chống tạm	nMatTr	1
4	Số lượng máy xúc	nLdrs	1
5	Số lượng máy khoan	nJumbo	2
6	Số lượng xe tải kiểu sàn	nPlatfTrck	2
7	Số nhân công làm việc trong một chu kỳ	nCrew	9
8	Số lượng đất đá đào phá trong một chu kỳ (m <sup>3</sup> )	SoilAmt	336
9	Lượng đất đá đào được (m <sup>3</sup> )	ExcvcSoil	n.a.
10	Lượng đất đổ tại khu vực xử lý đất (m <sup>3</sup> )	DmpdSoil	n.a.

- Phân phối xác suất thời lượng của từng hoạt động sử dụng trong mô hình mô phỏng được liệt kê trong bảng 4.2.

Bảng 4.2. Phân phối xác suất thời lượng của các công việc sử dụng trong mô hình

TT	Mô hình công việc	Ký hiệu biến	Giá trị (phút)
1	Lắp đặt máy khoan	PlcngJmbTm	Triangular[25,30,40]
2	Khoan lỗ mìn	DrillTm	Triangular[296,345,394]
3	Di chuyển máy khoan	DsplngJmbTm	Triangular[15,20,25]
4	Sửa chữa máy khoan	RepJumboTm	Uniform[20,40]
5	Nạp thuốc nổ	LdgExplTm	Triangular[80,90,100]
6	Nổ và thông gió	BlstnVntltnTm	Triangular[60,75,90]
7	Sắp xếp xe tải đất vào vị trí	MnvrTrckTm	Triangular[2,3,5]
8	Bóc xúc đất đá lên xe	LdSITm	Triangular[9,10,12]
9	Vận chuyển đất đá thải	TrnspTrckTm	Triangular[11,13,26]
10	Đổ bỏ đất đá thải	UnldSITm	Triangular[3,5,10]
11	Xe tải đất (rỗng) quay vào	TrnspTrckTm	Triangular[11,13,26]
12	Dọn khoang đào bằng máy	MchSclngTm	Triangular[5,10,15]

<b>TT</b>	<b>Mô hình công việc</b>	<b>Ký hiệu biến</b>	<b>Giá trị (phút)</b>
13	Dọn khoang đào bằng thủ công	MnlScIngtm	Triangular[15,20,25]
14	Vận chuyển vật liệu chống tạm	TrnspTrckTm	Triangular[11,13,26]
15	Dỡ vật liệu chống tạm khỏi xe	UnlLnngTm	Triangular[5,7,10]
16	Xe chở vật liệu (rỗng) quay ra	TrnspTrckTm	Triangular[11,13,26]
17	Chống tạm đường hầm	LnngTnnlTm	Triangular[25,30,40]
18	Kiểm tra tình trạng khoang đào	SrvyTnnlTm	Triangular[20,30,45]
19	Mở rộng hệ thống phụ trợ	ExtndngSrvcsTm	Triangular[20,30,40]

Dựa trên các số liệu thu thập được từ hồ sơ thi công của nhà thầu và tham khảo ý kiến chuyên gia, tiến hành phân tích thống kê, tác giả luận án đi tới quyết định sử dụng mô tả đa số các thời lượng hoạt động theo phân phối tam giác (Triangular). Phân phối dạng tam giác có thể mạnh hơn so với phân phối chuẩn đó là không xét đến thời gian âm. Ngoài ra sử dụng phân phối dạng tam giác vì những lí do như sau [9]:

- Việc lựa chọn loại hàm phân phối cho thời lượng công tác không phải là ở dạng phân phối xác suất mà cái chính là nó phải diễn tả được gần đúng tính chất phân phối xác suất của công việc và mục tiêu mô phỏng. Với mục đích đó, hàm phân phối dạng tam giác đều thỏa mãn các yêu cầu nói trên;

- Phân phối tam giác phù hợp với trường hợp mà thông tin về quá khứ không đầy đủ để xác định phân phối thực của công tác. Ta chỉ cần ba ước lượng thời gian: thời gian thuận lợi (a), thời gian không thuận lợi (b), và thời gian bình thường (m) là có thể diễn tả được phân phối thời lượng công việc. Do đó rất dễ đơn giản tính toán;

- Trong phương pháp mô phỏng, chỉ cần những thông tin cơ bản của phân phối tam giác nhưng thông qua quá trình mô phỏng hàng nghìn lần, thì theo luật số lớn, kết quả vẫn rất gần với thực tế;

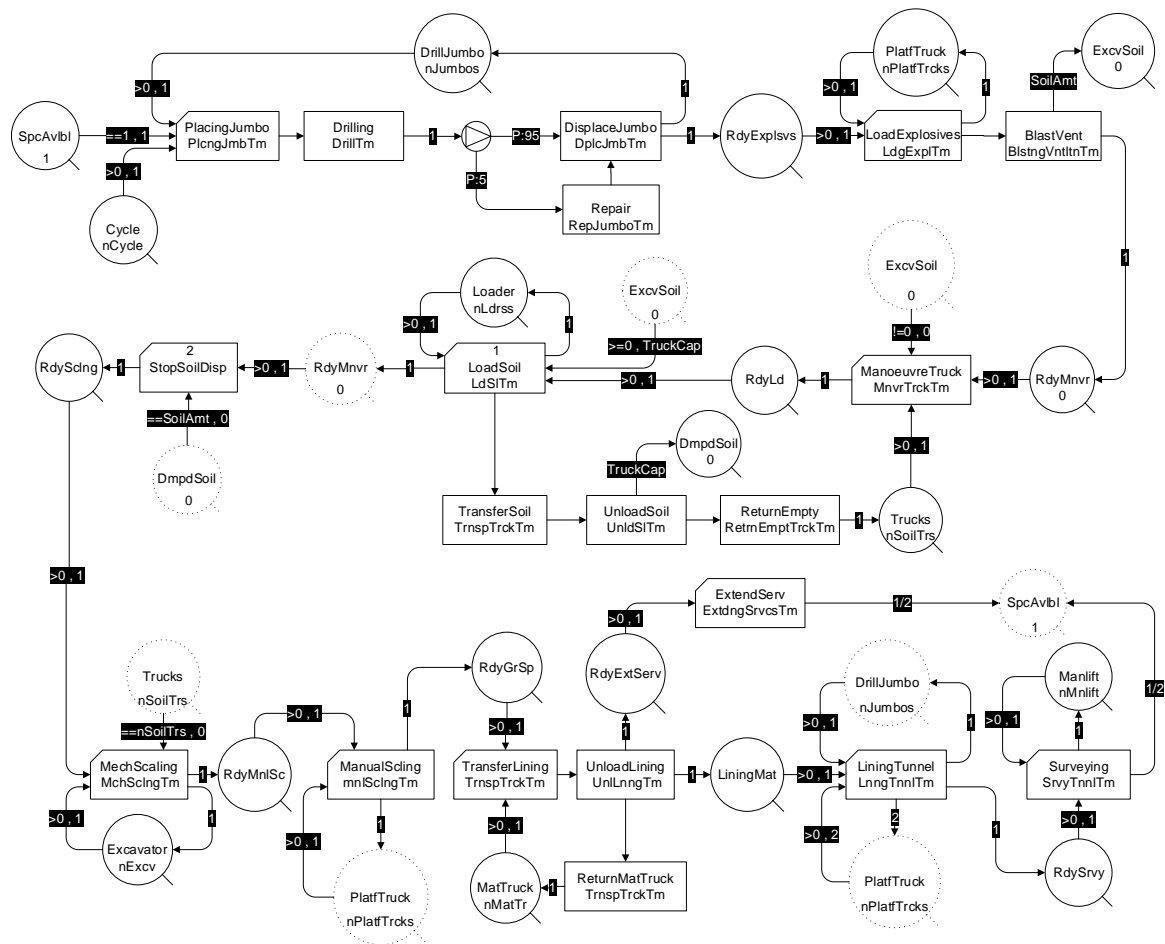
- Phân phối tam giác có khoảng giới hạn như phân phối beta. Do đó, nó phù hợp với những giới hạn về năng suất, thời gian và chi phí trong thực tế;

- Tương tự phân phối Beta, hình dạng của phân phối tam giác của nó có thể méo lệch tùy theo các thời gian ước lượng. Do đó, nó diễn tả được tính chất của các yếu tố năng suất, thời gian và chi phí.



Thời gian sửa chữa xe máy/thiết bị được lấy là phân phối đều và với giả thiết là quá trình sự cố (hỏng hóc) của xe máy/thiết bị là những hỏng hóc thông thường, có thể khắc phục trong thời gian ngắn từ 20 đến 40 phút. Những trường hợp hỏng nặng, thời gian này tương đương với việc thay thế xe máy/thiết bị khác.

Để phát triển mô hình, các chu trình xây dựng khác nhau đã được tách ra để có thể phát hiện được những sai lầm có thể có trong mô hình. Quá trình phát triển của các mô hình là lặp đi lặp lại. Các chu trình xây dựng được mô phỏng và thử nghiệm tách biệt với nhau. Chỉ sau khi đưa ra kết quả hợp lý, nó được đưa vào mô hình chung và kết nối với các chu trình khác.



Hình 4.7. Mô hình mô phỏng quá trình đào hầm bằng khoan nổ mìn trên EZStrobe

Việc kiểm tra lỗi trong quá trình phát triển mô hình được thực hiện thông qua kiểm tra kết quả đầu ra từ thông báo kết quả của chương trình và thông qua chạy mô hình hoạt hình. Kết quả cho thấy mô hình đã hoạt động chính xác, có thể sử dụng để

tiến hành mô phỏng. Mô hình mô phỏng trên EZStrobe cuối cùng được thể hiện trên hình 4.7.

#### 4.3. Một số kết quả mô phỏng ban đầu trên mô hình mô phỏng cơ bản

Khi đã có mô hình mô phỏng được xác minh về tính chính xác, thực hiện chạy mô hình với số lần mô phỏng 10.000 lần, được một số kết quả sau:

a) Về thời gian hoàn thành các công việc:

Kết quả về thời gian hoàn thành một chu kỳ đào hầm (thời gian chuyển dịch gương đào - giờ) và tốc độ đào hầm (m/ngày) cho trong bảng 4.3.

Bảng 4.3. Thời gian chu kỳ và tốc độ đào xác định bằng mô phỏng

	Giá trị trung bình	Độ lệch	Giá trị nhỏ nhất	Giá trị lớn nhất
Thời gian chu kỳ (h)	18,37549	0,41101	17,06601	20,20109
Tốc độ đào (m/24h)	3,92022	0,08765	3,56416	4,21891

So sánh với kết quả tính toán từ mô hình tiền định được xác định từ ví dụ số tại mục 2.6 trong 3 trường hợp:

(i) Khi các hệ số hiệu quả  $u_i = 1$ :

+ Tốc độ đào (tra từ đồ thị hình 2.9): = 4,4568 (m/24h)

+ Thời gian chu kỳ:  $3 \cdot 24 / 4,4568$  = 16,3310 (h)

(ii) Khi hệ số hiệu quả liên quan đến giai đoạn khoan nổ  $u_1 = 0,9$ :

+ Tốc độ đào (tra từ đồ thị hình 2.9): = 4,1688 (m/24h)

+ Thời gian chu kỳ:  $3 \cdot 24 / 4,1688$  = 17,2712 (h)

(iii) Trường hợp các hệ số hiệu quả  $u_i$  đều bằng 0,9:

+ Tốc độ đào (từ các công thức của mô hình tiền định): = 3,9672 (m/24h)

+ Thời gian chu kỳ:  $3 \cdot 24 / 3,9672$  = 18,3486 (h).

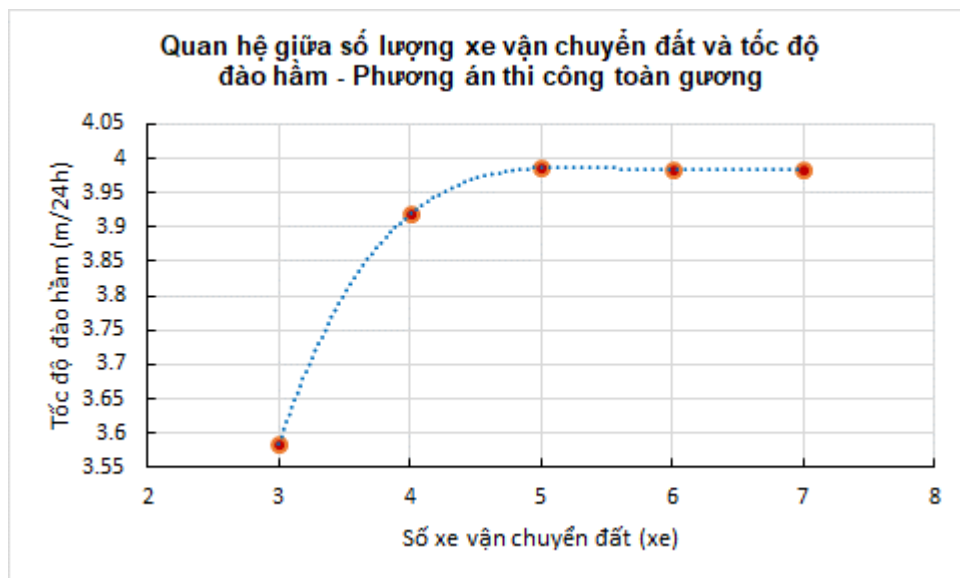
*Nhận xét:* Có thể thấy, kết quả mô phỏng về gần nhất với trường hợp 3 của mô hình tiền định là trường hợp có kể đến các yếu tố ảnh hưởng đến năng suất, được lượng hóa bằng các hệ số hiệu quả  $u_i < 1$ .

b) Về hiệu quả sử dụng thiết bị theo thời gian:

Trong số các thiết bị sử dụng để thi công, được quan tâm nhất là việc bố trí tổ hợp máy bốc xúc - xe vận chuyển đất và thời gian làm việc của thiết bị bốc xúc vì

đây là công đoạn chiếm thời lượng lớn trong cả chu kỳ. Trong mô hình tiền định khảo sát trường hợp dự án hầm Đèo Cả (mục 2.6), để làm giảm thời gian chu kỳ vận chuyển đồng thời phát huy hết công suất của máy xúc, đã lựa chọn số lượng xe chở đất là 5, khi đó máy xúc sẽ làm việc liên tục. Điều này xảy ra nhờ giả thiết đơn giản hóa, cho rằng đoàn xe sẽ tạo thành một hàng, vào vị trí để nhận, được chất đầy đất đá và quay ra theo hàng, tức là chúng chạy theo vòng kín với tốc độ các xe là như nhau và không đổi theo dự kiến.

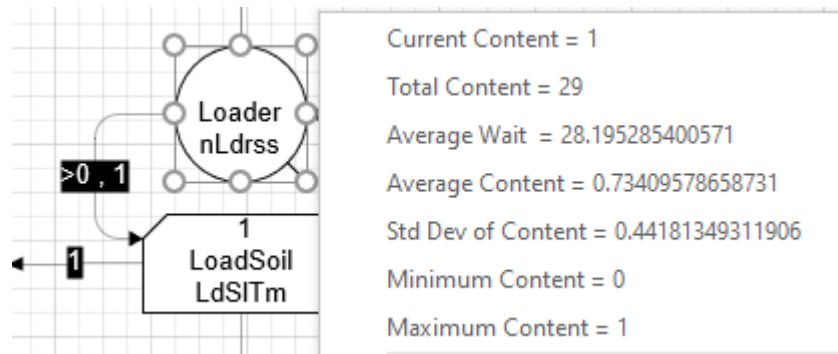
Trong mô hình mô phỏng, cũng lựa chọn số xe chở đất là 5. Số xe này trong đoàn xe cũng được chứng minh là hợp lý nhất bởi kết quả khảo sát quan hệ giữa số lượng xe và tốc độ đào hầm để lựa chọn số lượng xe tải hợp lý trong dây chuyền bốc xúc đất đá như trên hình 4.8.



Hình 4.8. Khảo sát lựa chọn số lượng xe tải hợp lý trong dây chuyền bốc xúc đất đá

Tuy nhiên, kết quả mô phỏng cho thấy trong thực tế, giả thiết trên sẽ khó, thậm chí không xảy ra. Lý do là với tính ngẫu nhiên của thời lượng các công việc, sẽ làm thay đổi trật tự mong muốn như ở mô hình tiền định. Ví dụ: tốc độ của từng xe có thể thay đổi dẫn đến khoảng cách giữa các xe trong đoàn xe thay đổi, thời gian tiếp cận để nhận đất đá từ máy xúc sẽ thay đổi và máy xúc phải chờ đợi xe tải...

Các thông tin thu nhận được từ quá trình mô phỏng cho thấy thời gian chờ của máy xúc (thông số Average Wait của hàng đợi Loader) như trên hình 4.9.



Hình 4.9. Các thông tin về hàng đợi máy xúc (Loader) sau khi chạy mô phỏng

Như vậy, thời gian chờ của máy xúc tương ứng với thời gian chu kỳ của trường hợp có khả năng xảy ra nhất  $T_{ck} = 18,338$  (h) là 28,195 phút.

#### 4.4. Phát triển mô hình mô phỏng cho các phương án thi công hầm

Từ cơ sở của mô hình được thiết lập trên đây, có thể dựa trên các kịch bản theo các phương án thi công khác nhau, với những điều kiện đầu vào khác nhau để thiết lập các mô hình mô phỏng tương ứng và chạy mô hình lấy các kết quả, từ đó so sánh, lựa chọn phương án tốt nhất có thể trong các điều kiện ràng buộc từ nhiều yếu tố. Các mục tiếp theo sẽ trình bày một số kết quả chính của sự phát triển này.

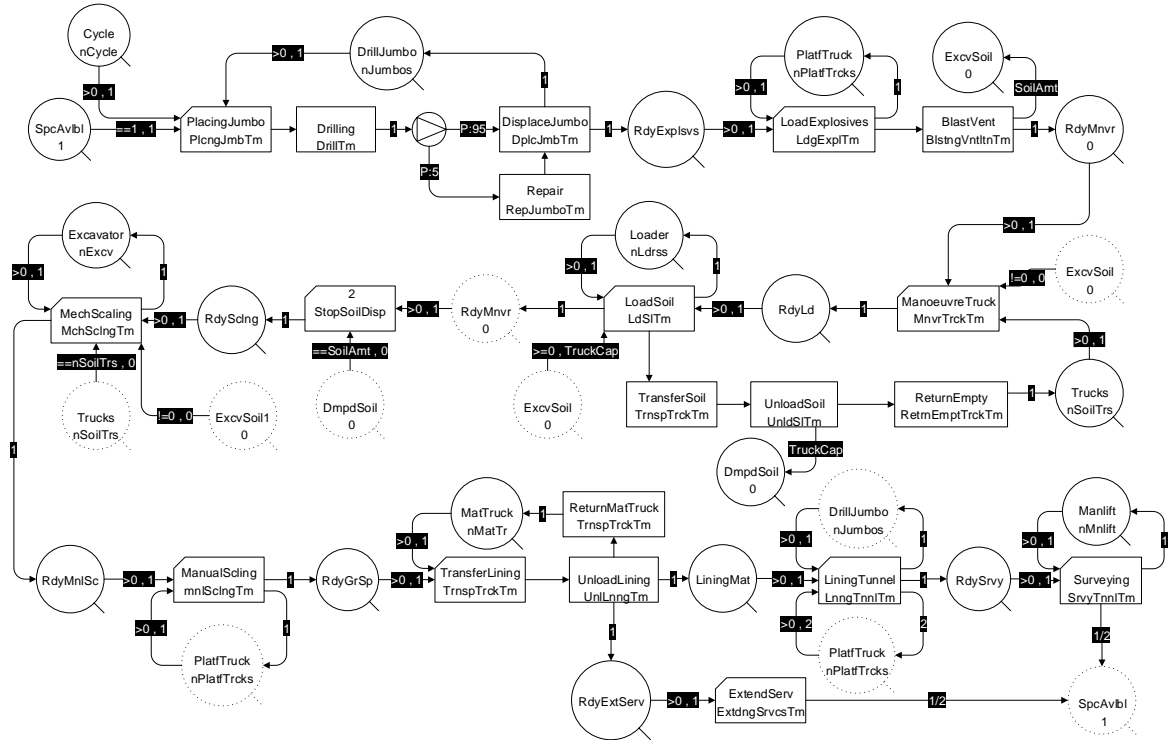
##### 4.4.1. Chuẩn bị dữ liệu cho mô hình

Dữ liệu cần thiết cho mô hình bao gồm khai báo về tài nguyên sử dụng và phân phối xác suất thời lượng các hoạt động được mô hình hóa trong mô hình mô phỏng. Căn cứ để xác định cũng như thông số của các dữ liệu này cho phương án thi công toàn gương đã được trình bày. Khi phát triển mô hình cho các phương án thi công, các tài nguyên về xe máy - thiết bị (máy khoan, máy bốc xúc, xe chở đất, xe chở vật liệu chống tạm và xe phục vụ) được khai báo thống nhất trong các phương án về chủng loại và số lượng. Thời lượng các hoạt động được mô hình hóa trong mô hình mô phỏng theo phân phối xác suất đã lựa chọn, được sửa đổi về giá trị phù hợp với tổ chức hoạt động trong mỗi mô hình theo phương án thi công được mô phỏng (chi tiết về các tham số của từng mô hình được trình bày tại Phụ lục 6).

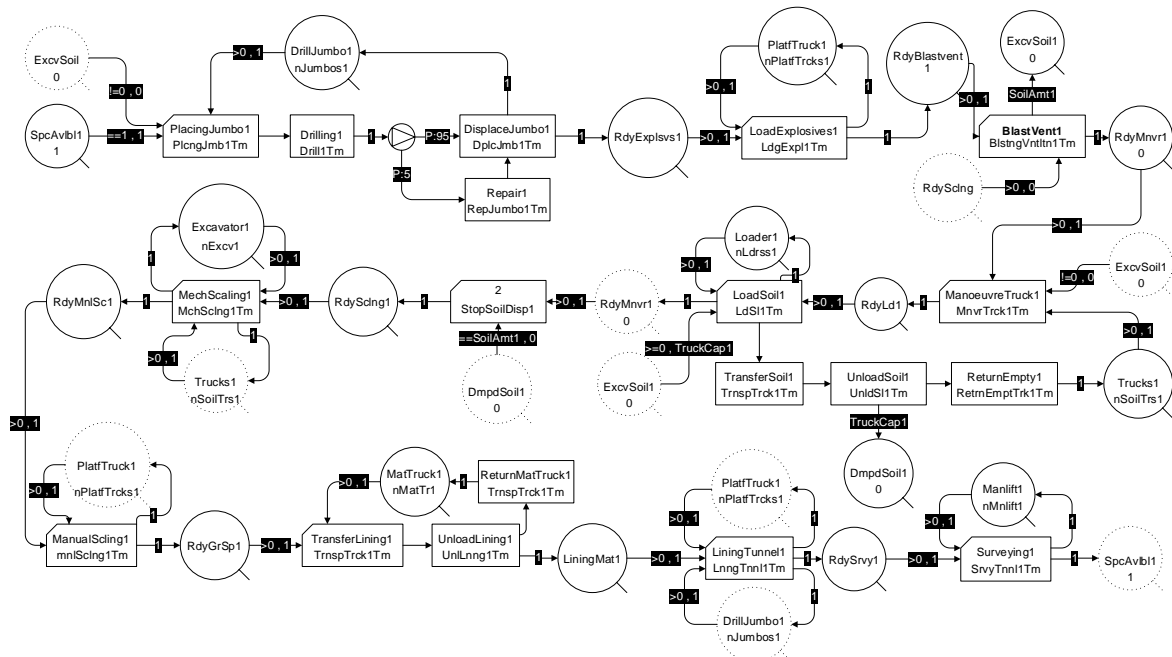
##### 4.4.2. Mô hình mô phỏng trong EZStrobe

Dựa trên mô hình cơ bản đã lập được tại mục 4.2 và các phân tích quy trình công nghệ tại mục 4.1.2, tác giả luận án đã xây dựng các mô hình mô phỏng cho các

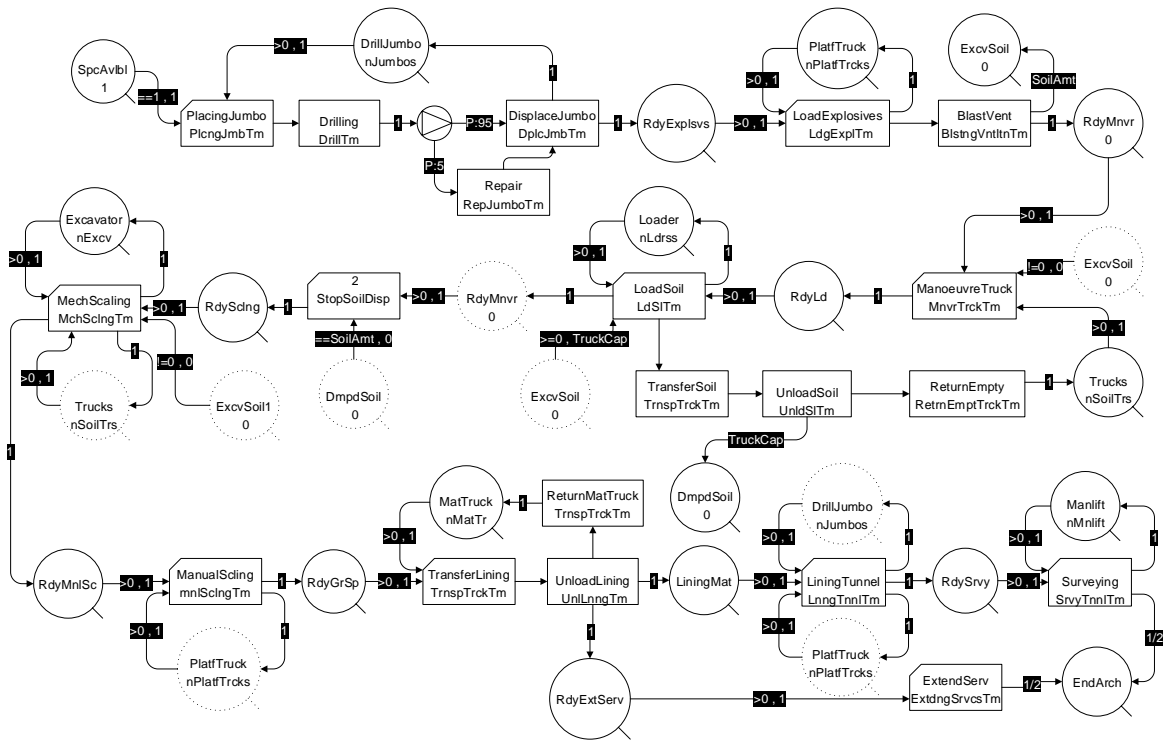
trường hợp thi công chia gương đào (được trình bày trong các hình từ 4.10a đến 4.12d). Giữa các lần đào, sử dụng biểu diễn nhiều trạng của EZStrobe thông qua hàng đợi kết hợp và công việc có điều kiện đi sau nó để kết nối.



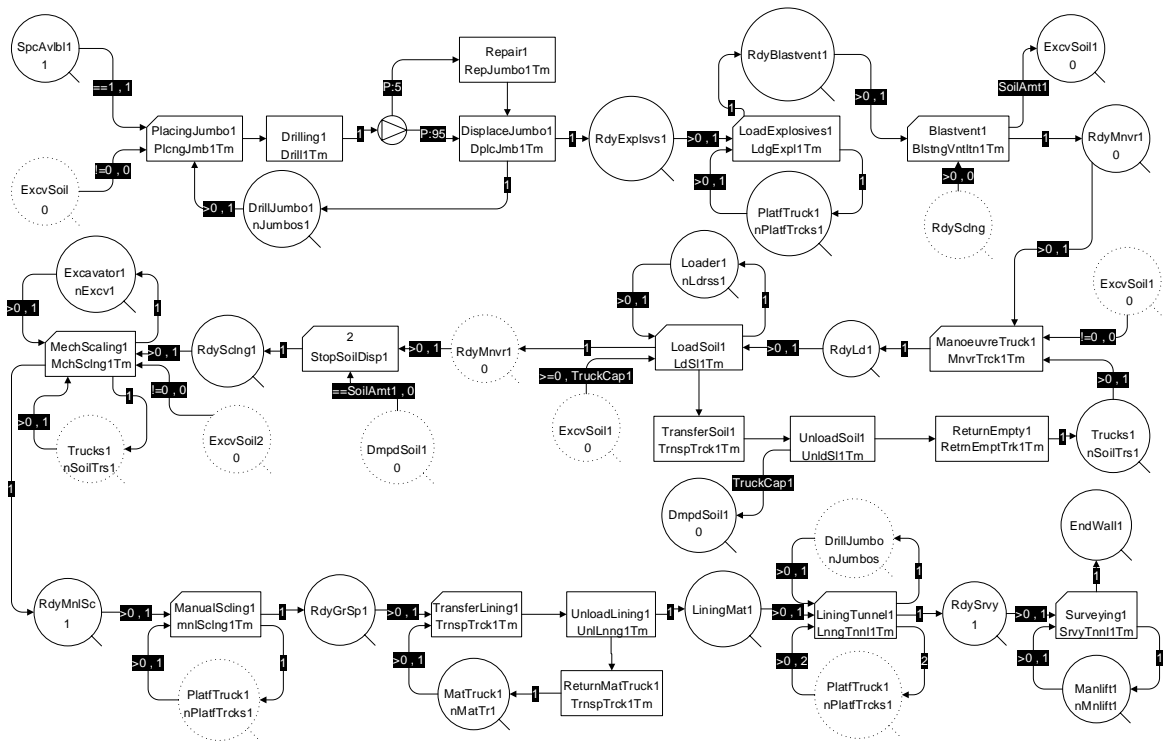
Hình 4.10a. PA2: Mô hình mô phỏng chu kỳ đào hầm bậc trên.



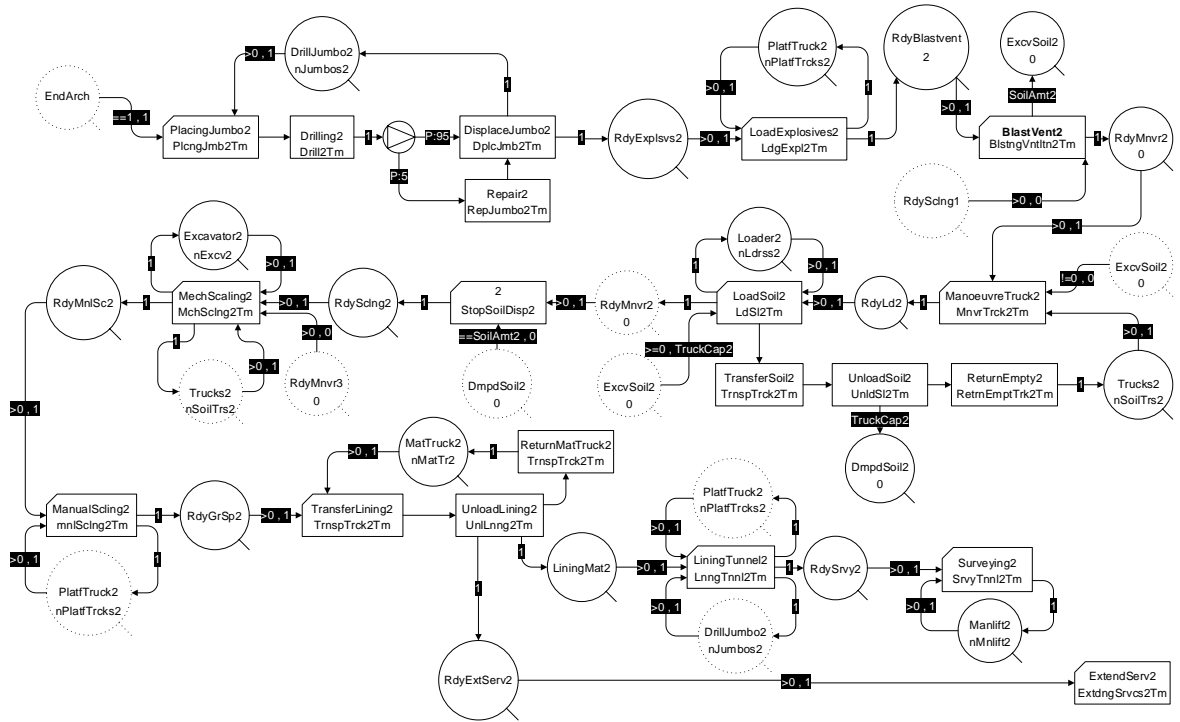
Hình 4.10b. PA2: Mô hình mô phỏng chu kỳ đào hầm bậc dưới.



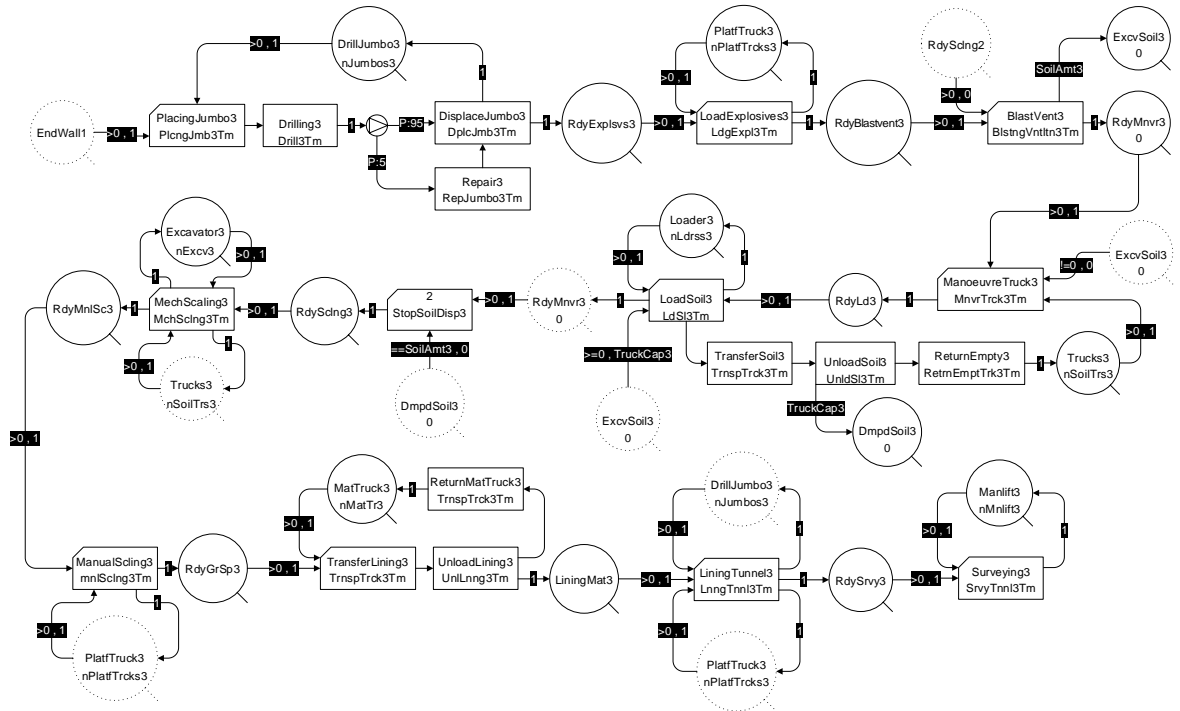
Hình 4.11a. PA3: Mô hình mô phỏng chu kỳ 1 đào hầm bậc trên.



Hình 4.11b. PA3: Mô hình mô phỏng chu kỳ đào hầm bậc dưới - phần II.



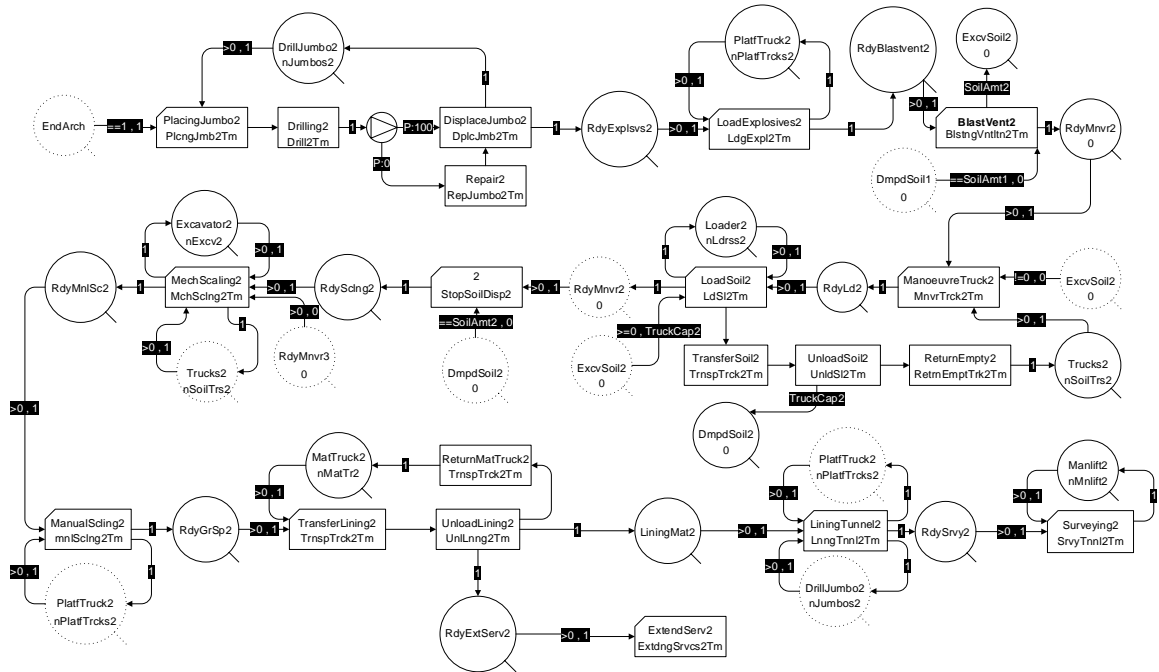
Hình 4.11c. PA3: Mô hình mô phỏng chu kỳ 2 đào hầm bậc trên.



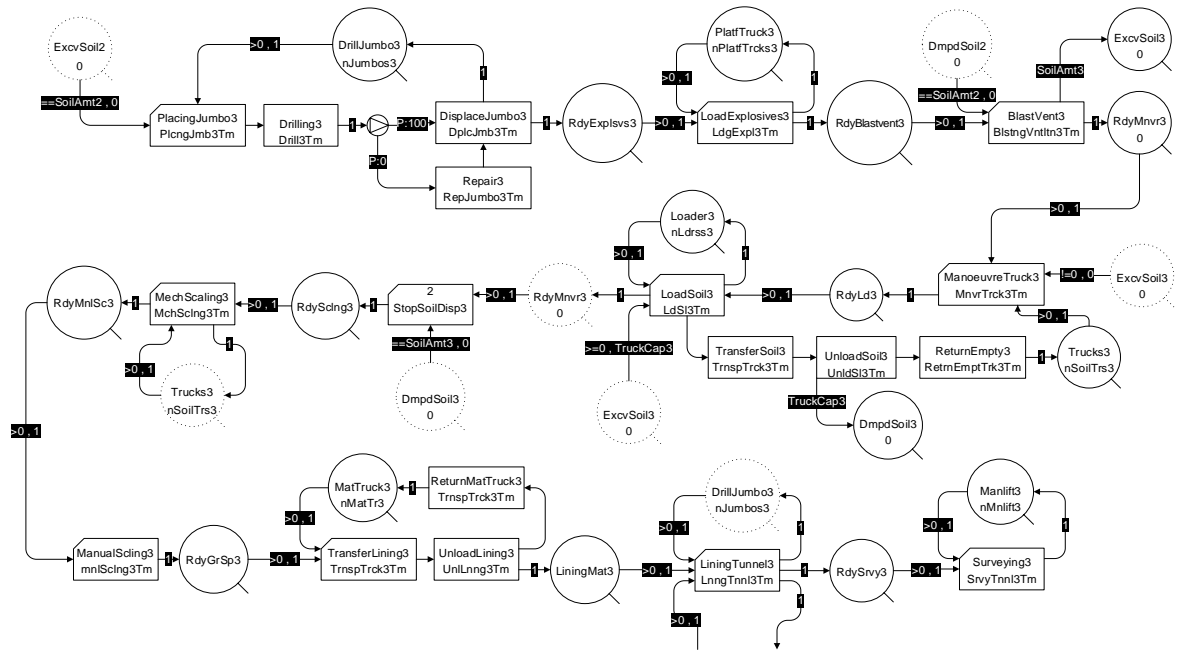
Hình 4.11d. PA3: Mô hình mô phỏng chu kỳ 2 đào hầm bậc dưới - phần III.







Hình 4.12c. PA4: Mô hình mô phỏng chu kỳ 2 đào hầm bậc trên.



Hình 4.12d. PA4: Mô hình mô phỏng chu kỳ đào hầm bậc dưới - phần III+IV (hai bên).

Tương tự như khi xây dựng mô hình cơ bản, các mô hình được xác minh kiểm tra lỗi bằng thông báo đầu ra và chạy mô hình hoạt hình. Kết quả cho thấy các mô hình đã hoạt động chính xác, có thể sử dụng để tiến hành mô phỏng.

#### 4.4.3. Kết quả mô phỏng về tốc độ đào hầm của các phương án thi công

Lần lượt cho các mô hình chạy với số lần mô phỏng là 10.000. Kết quả về tốc độ đào của từng phương án thi công nêu tại mục 4.1 được cho trong bảng 4.4.

Bảng 4.4. Tốc độ đào của các phương án thi công xác định bằng mô phỏng (m/24h)

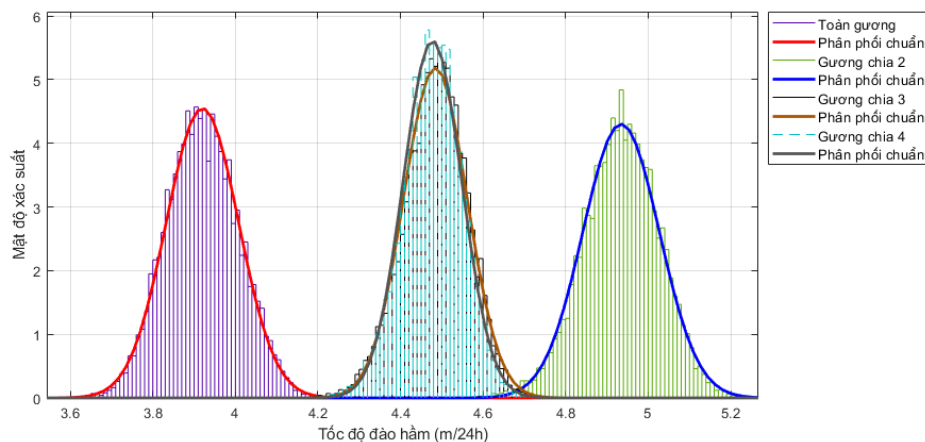
Các tham số thống kê	PA1	PA2	PA3	PA4
Giá trị trung bình	3,98052	4,93446	4,48440	4,47741
Độ lệch chuẩn	0,09033	0,09270	0,07689	0,07101
Max	3,67421	4,54442	4,13091	4,14567
Min	4,32914	5,24567	4,77493	4,72625

Từ kết quả trên, có thể thấy:

- Nhìn chung, thi công theo các phương án chia gương đào (PA2, PA3, PA4) đều có tốc độ đào nhanh hơn so với thi công toàn gương (PA1).

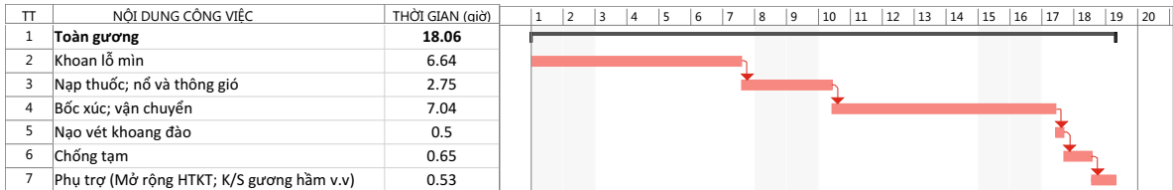
- Trong các phương án chia gương, tốc độ đào nhanh nhất là phương án gương chia 2, hai phương án gương chia 3 và gương chia 4 có tốc độ tương đương. Tỷ lệ tăng tốc độ đào so với phương án toàn gương lần lượt là: PA2 = 124,0%; PA3 = 114,4%; PA4 = 114,2%. Trường hợp PA2, có thể thấy là phù hợp với kết quả nghiên cứu của tác giả Trần Tuấn Minh [19].

Tính chất thống kê của tốc độ đào hầm trong các phương án thi công được thể hiện trên hình 4.13, chúng được xấp xỉ theo phân phối chuẩn (sử dụng Matlab). Từ đó khi biết thời hạn thi công, có thể đánh giá xác suất hoàn thành của phương án [20].

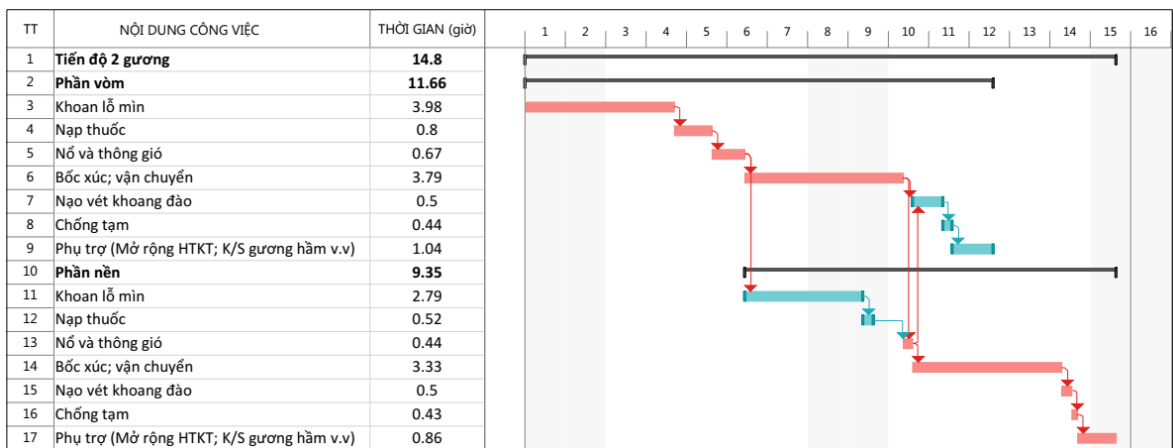


Hình 4.13. Mật độ phân phối xác suất của tốc độ đào hầm 4 phương án thi công

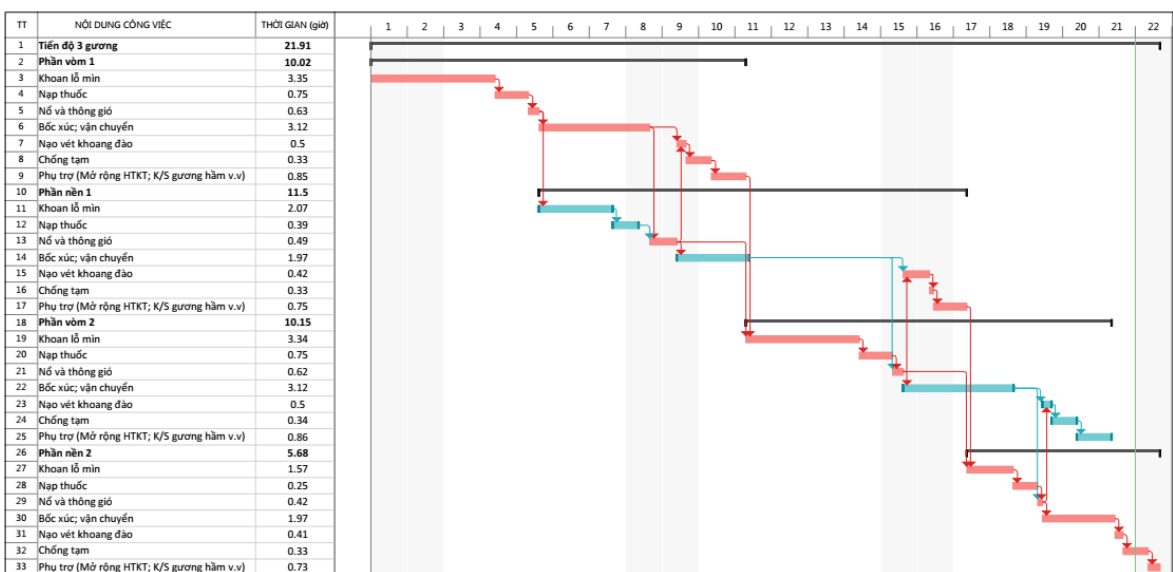
Từ kết quả mô phỏng, sử dụng phương pháp lập biểu đồ tiến độ ngang truyền thống bằng phần mềm Microsoft Project cho các phương án thi công, được các biểu đồ trên các hình 4.14 đến 4.17. Thời gian công việc lấy theo giá trị trung bình với các công việc chi tiết được gộp lại theo các công đoạn chính được mô tả theo công nghệ thi công ở mục 4.1.2. Trên các biểu đồ, các công việc găng được thể hiện màu đỏ.



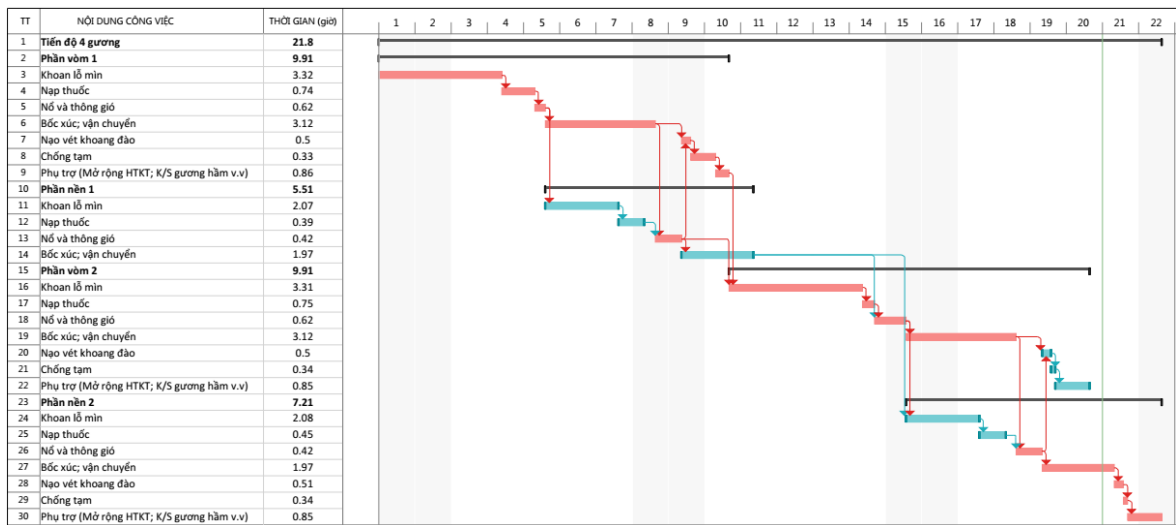
Hình 4.14. Biểu đồ tiến độ một chu kỳ đào hầm (3m) theo phương án toàn gương



Hình 4.15. Biểu đồ tiến độ một chu kỳ đào hầm (3m) theo phương án gương chia 2



Hình 4.16. Biểu đồ tiến độ một chu kỳ đào hầm (4m) theo phương án gương chia 3



Hình 4.17. Biểu đồ tiến độ một chu kỳ đào hầm (4m) theo phương án gương chia 4

Từ các biểu đồ tiến độ trên, có một số nhận xét sau:

- Ở cả 4 phương án, từ khi đầu thi công khoan lỗ min đến bốc xúc vận chuyển xong đất đá của phần vòm/vòm 1, các công việc đều căng, trong đó thời gian công việc khoan lỗ min và công việc bốc xúc vận chuyển đất đá chiếm phần lớn. Muốn giảm thời gian thi công phải tìm biện pháp giảm ở hai công đoạn này và vấn đề nằm ở chỗ cần sử dụng trang, thiết bị có công suất lớn, tốc độ cao, phù hợp với không gian thi công của đường hầm. Khi thi công toàn gương có ưu thế về không gian thi công nhưng có hạn chế vì phải thi công theo phương pháp tuần tự các công việc. Các phương pháp chia gương nhanh hơn vì thi công đan xen, song song các công việc ở các giai đoạn thi công (vận dụng nguyên tắc của phương pháp thi công dây chuyền) nên nếu trong điều kiện hạn chế về trang, thiết bị, phải sử dụng các trang, thiết bị có công suất nhỏ hơn, tốc độ chậm hơn vẫn có thể đạt và vượt tốc độ theo phương pháp thi công toàn gương.

- Ở phương án 3 và 4, đường găng chủ yếu đi qua các công việc thi công phần vòm 1 và 2. Hoàn toàn có thể giảm thời gian chu kỳ khai đào xuống nữa nếu khi chia gương, giảm bớt phần khối lượng thi công phần vòm, tăng khối lượng thi công phần nền vì các công việc ở phần nền II vẫn còn dự trữ nhiều thời gian. Ở phương án 2, việc phân chia khối lượng 2 phần khá phù hợp khi có thời gian khoan lỗ min và nạp thuốc của phần nền xấp xỉ với thời gian bốc xúc vận chuyển đất đá phần vòm.

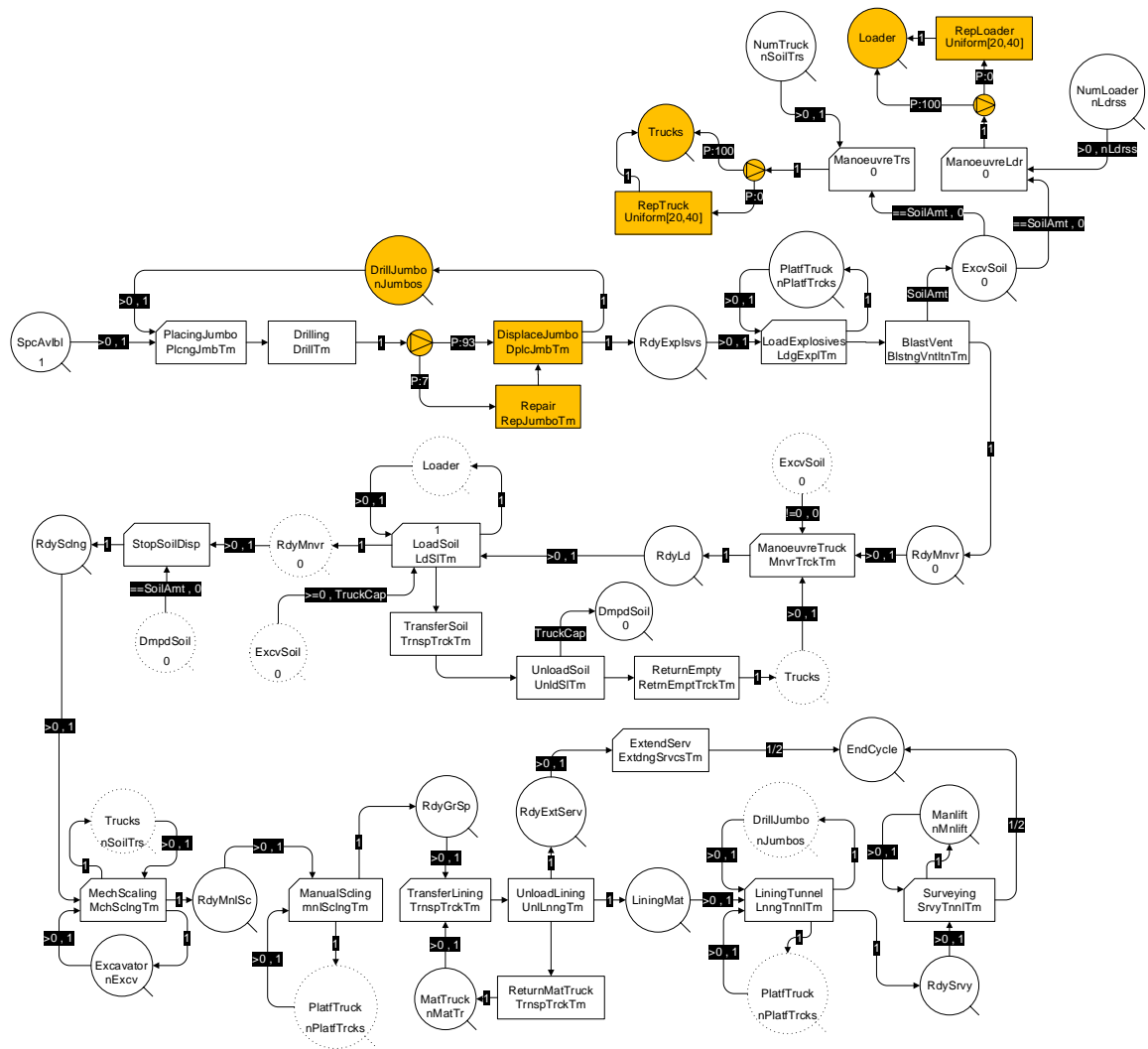
#### ***4.4.4. Phân tích ảnh hưởng và dự báo tốc độ đào hầm khi có sự cố phương tiện, thiết bị thi công***

Thi công đào hầm bằng khoan nổ là một công nghệ thi công có tính cơ giới hóa cao, trong đó sử dụng chủ yếu các thiết bị, xe máy trong hầu hết các công đoạn thi công. Trong chương 2, khi xây dựng mô hình tiền định đã nói về các hệ số hiệu quả. Các hệ số này cho thấy lượng thời gian dừng các hoạt động liên quan đến quá trình thi công, do các tình huống không lường trước được. Các hệ số này rất khó xác định cụ thể và thông thường, người ta thực hiện đánh giá tổng hợp bằng phương pháp phỏng vấn các chuyên gia. Cách làm tiền định vừa hạn chế về tính dự báo do đòi hỏi thời gian thu thập dữ liệu, vừa khó tránh khỏi nhận định chủ quan. Mặt khác, các hệ số hiệu quả có tính tổng hợp nên không làm rõ được nguyên nhân chủ yếu nằm ở đâu.

Trong mô hình mô phỏng EZStrobe, các yếu tố chủ yếu ảnh hưởng đến tốc độ đào hầm có thể được đưa vào. Nói cách khác, EZStrobe cho phép mô hình hóa các kịch bản khác nhau theo ứng xử của hệ thống, Bằng cách sử dụng theo kịch bản “Điều gì xảy ra nếu”. Các kịch bản này được mô hình hóa bằng chức năng phân nhánh xác suất (Probabilistic Branch) và ước tính thời lượng của công việc được mô hình hóa bằng cách sử dụng các tùy chọn “Tham số và Kết quả” (Parametering and Results). Ngoài ra, các kịch bản khác theo kinh nghiệm của quá trình thi công cũng có thể được mô hình hóa và khảo sát để đánh giá ảnh hưởng của các ràng buộc khác nhau đối với thời gian của hoạt động được nghiên cứu.

Trong mục này, sẽ cụ thể hóa việc mô hình hóa và đánh giá tác động của tình trạng kỹ thuật của phương tiện/thiết bị thi công (gọi chung là xe máy thi công) tới tốc độ đào hầm. Xem xét việc các xe máy thi công chủ yếu có thể bị hỏng hóc thông thường như đã giả thiết ở phần chuẩn bị dữ liệu cho mô hình với thời gian khắc phục từ 20 phút đến 40 phút (trong mục 4.2.3). Khả năng bị hỏng (xác suất sự cố) và xác suất làm việc bình thường khi sử dụng các xe máy thi công này được xác định nhờ phần tử Fork và các liên kết nhánh (Branch Links) tạo ra từ nó. Một Fork là một phần tử định tuyến theo xác suất thường theo sau một Công việc nhưng cũng có thể theo sau một Fork khác. Khi phiên bản của Công việc trước đó kết thúc, một Fork sau nó

sẽ chọn một trong các tình huống tiếp theo của nó: có thể là một Công việc, một Hàng đợi hay một Fork khác. Khả năng xảy ra đối với tình huống cụ thể được chọn phụ thuộc vào thuộc tính “P” của Liên kết nhánh nối Fork đối với đối tượng tiếp sau được lựa chọn.



Hình 4.18. Mô hình mô phỏng đã mô hình hóa quá trình vận hành các xe máy thi công chủ yếu có xét đến khả năng sự cố thông thường.

Với thi công hầm bằng khoan nổ, có nhiều phương tiện, thiết bị được huy động, nhưng có 3 loại xe máy chủ yếu nằm trong 2 giai đoạn quan trọng của chu kỳ đào hầm, đó là máy khoan trong giai đoạn khoan lỗ mìn, máy xúc và xe vận chuyển đất trong giai đoạn bóc xúc - vận chuyển đất đá thải. Hình 4.18 là một minh họa cho mô hình đã xét tới tình huống có thể xảy ra sự cố của 3 loại xe máy thi công nêu trên

trong mô hình mô phỏng phương án thi công toàn gương. Các phương án thi công chia gương khác cũng được phát triển mô hình tương tự.

Với các mô hình đã phát triển, tiến hành chạy mô phỏng để khảo sát về tốc độ đào hầm khi có sự cố thông thường, các xe máy thi công phải ngừng nghỉ để sửa chữa (thời gian từ 20 đến 40 phút, biểu diễn bằng phân phối đều) với các tình huống sau:

- Tác động của từng loại xe máy thi công bị sự cố riêng rẽ; trường hợp đại diện: phương án thi công toàn gương.

- Tác động của xe máy thi công bị sự cố tổ hợp (nhiều loại cùng bị sự cố).

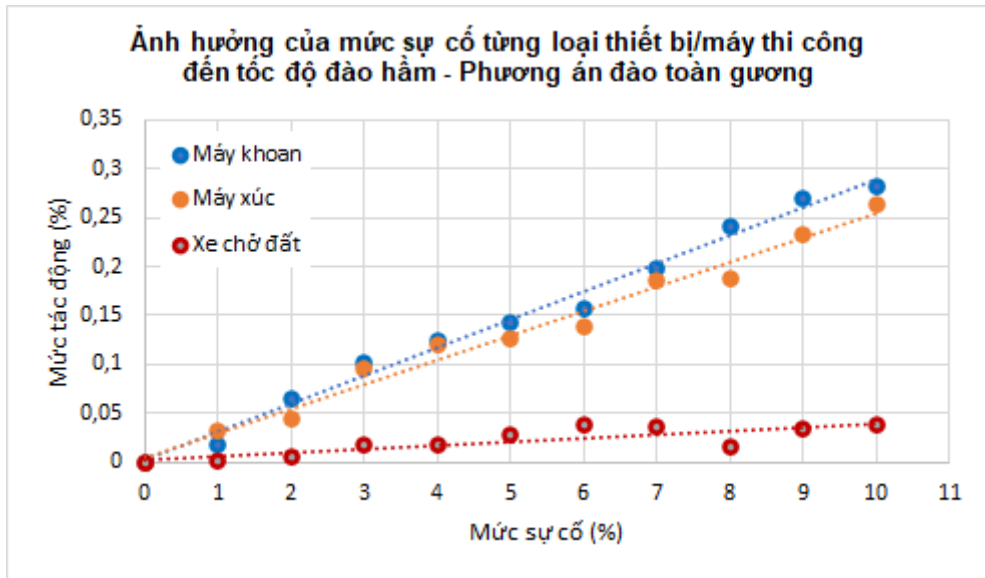
*a) Tác động của từng loại xe máy thi công bị sự cố riêng rẽ:*

Mục tiêu của khảo sát này là đánh giá mức độ tác động của tình trạng kỹ thuật từng loại xe máy thi công đến tốc độ đào hầm. Trong trường hợp này, khi khảo sát với mỗi loại xe máy thì các loại còn lại xem như không bị sự cố (xác suất sự cố  $P = 0\%$ ). Mức sự cố (xác suất sự cố) đánh giá từ 0% đến 10%. Tại mỗi mức sự cố, chạy mô phỏng với số mẫu là 10.000. Số liệu được ghi lại trong bảng 4.5.

*Bảng 4.5. Kết quả mô phỏng tốc độ đào hầm khi có sự cố từng loại xe máy thi công trong phương án đào toàn gương*

Mức sự cố (%)	Tốc độ đào hầm khi có sự cố từng loại xe máy (m/24h)		
	Máy khoan	Máy xúc	Xe chở đất
0	3,98620	3,98620	3,98620
1	3,98547	3,98495	3,98616
2	3,98362	3,98447	3,98598
3	3,98213	3,98240	3,98554
4	3,98124	3,98143	3,98547
5	3,98053	3,98119	3,98512
6	3,97994	3,98066	3,98469
7	3,97830	3,97877	3,98477
8	3,97659	3,97870	3,98557
9	3,97547	3,97696	3,98483
10	3,97493	3,97568	3,98470

Từ kết quả bảng 4.5, để dễ dàng nhận biết, ảnh hưởng của mức sự cố từng loại thiết bị/máy thi công đến tốc độ đào hầm được biểu diễn qua biểu đồ hình 4.19.



Hình 4.19. Biểu đồ ảnh hưởng của mức sự cố từng loại xe máy thi công đến tốc độ đào hầm theo phương án toàn gương

Biểu đồ cho thấy, máy khoan và máy xúc có ảnh hưởng mạnh đến thời gian đào hầm. Điều này có thể dễ dàng lý giải bởi đây là 2 thiết bị chính hoạt động trong hai công đoạn quan trọng, chiếm thời gian lớn nhất trong chu kỳ đào hầm. Sự cố kỹ thuật khiến cho máy phải ngừng nghỉ sẽ làm gián đoạn thời gian thực hiện các công đoạn đó, dẫn đến kéo dài thời gian chu kỳ đào hầm. Đối với xe vận chuyển đất đá, tác động do sự cố kỹ thuật thông thường đến tốc độ đào hầm rất ít. Đó là do xe được sử dụng theo đoàn, số lượng được tính toán phù hợp với tốc độ bốc xúc, do vậy năng lực làm việc của đoàn xe có tính dự trữ, thời gian sửa chữa ngắn, nên nếu có xe bị hư hỏng phải sửa chữa thì sự ngừng nghỉ của nó cũng chưa đủ làm xáo trộn mạnh hoạt động của cả đoàn xe trong sự phối hợp với máy xúc, từ đó ít tác động đến thời gian vận chuyển đất đá nói riêng, thời gian toàn chu kỳ hay tốc độ đào hầm nói chung.

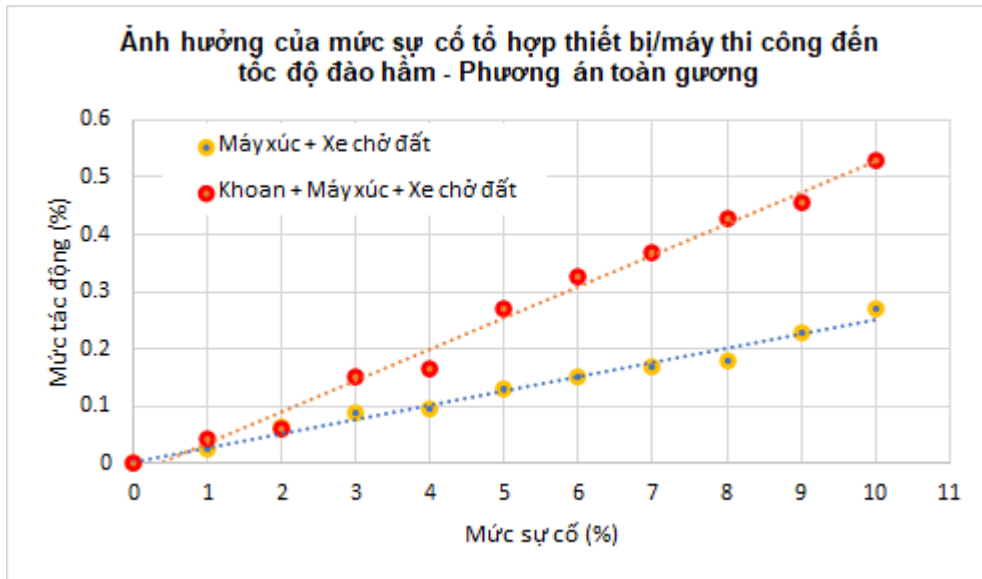
*b) Tác động của sự cố đồng thời nhiều loại xe máy (sự cố tổ hợp):*

Đây là tình huống thường xảy ra và tác động nhiều đến hoạt động đào hầm, đặc biệt trong các công đoạn mà các xe máy hoạt động phối hợp như bốc xúc - vận chuyển đất đá, hay trong các giai đoạn mà đồng thời nhiều xe, máy cùng hoạt động



như khi thi công theo phương án chia gương, các công việc thực hiện song song, gối tiếp nhau (hình 4.15, 4.16 và 4.17).

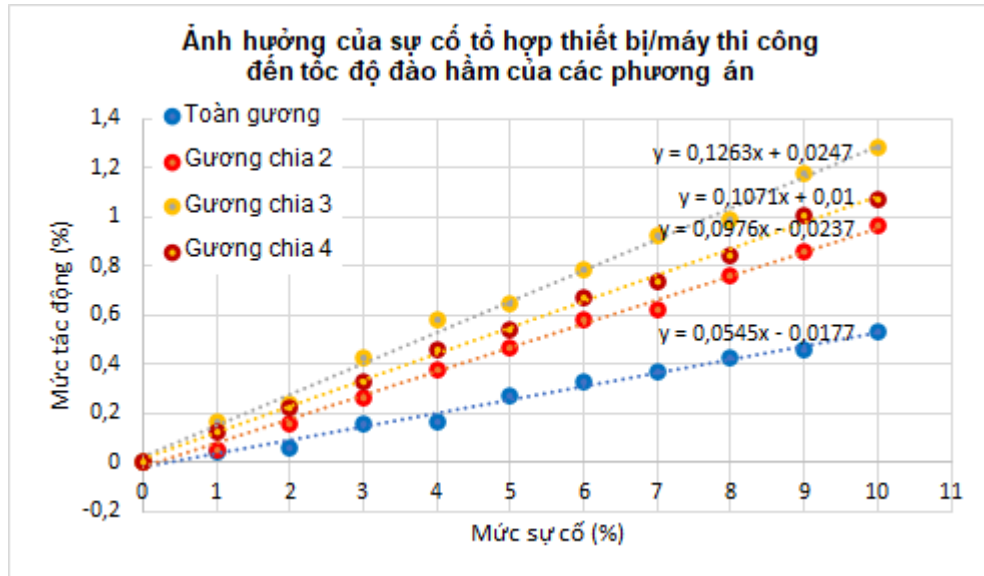
Trong khảo sát này, các xe máy thi công có thể xảy ra hỏng hóc với các xác suất hỏng khác nhau. Hình 4.20 cho thấy mức tác động đến tốc độ đào hầm trong các tình huống đó ở phương án đào toàn gương.



Hình 4.20. Biểu đồ ảnh hưởng của mức sự cố tổ hợp xe máy thi công đến tốc độ đào hầm theo phương án toàn gương.

Với tổ hợp máy xúc + xe chở đất, so sánh với trường hợp riêng thể hiện trên biểu đồ 4.19, thấy rõ sự chủ đạo của máy xúc trong tác động đến tốc độ đào hầm. Khi cả 3 loại xe máy thi công cùng có sự cố, mức tác động chung tương đương tổng của mức riêng máy khoan và mức riêng máy xúc do hai loại máy này thực hiện công tác độc lập với nhau trên hai công đoạn khác nhau.

Bây giờ xét trong các phương án chia gương và biểu diễn các kết quả tính của 4 phương án thi công trên cùng một biểu đồ để thấy sự khác biệt của các tác động do sự cố kỹ thuật của xe máy thi công. Trên hình 4.21, với tình trạng xe máy thi công như nhau, các phương án chia gương chịu tác động do sự cố kỹ thuật cao hơn hẳn so với phương án thi công toàn gương. Từ phương trình hàm số của đường xu hướng có trên biểu đồ, có thể thấy so với phương án thi công toàn gương, tỷ lệ tăng mức ảnh hưởng đó lần lượt là:  $PA2 = 1,79$ ;  $PA3 = 2,32$ ;  $PA4 = 1,97$ .



Hình 4.21. Kết quả khảo sát bằng mô phỏng ảnh hưởng của mức sự cố tổ hợp phương tiện đến tốc độ đào hầm của các phương án thi công

Như thế nếu so với tỷ lệ tăng tốc độ đào hầm (mục 4.4.3), phương án gương chia 2 vẫn giữ ưu thế so với hai phương án gương chia 3 và chia 4.

#### 4. 5. Kết luận chương 4

Một số kết luận rút ra từ kết quả thử nghiệm số trong chương 4:

- Việc sử dụng thời lượng công việc theo xác suất trong mô hình mô phỏng đã phản ánh bản chất của quá trình thi công với các yếu tố không lường trước được mà trong mô hình tiền định chỉ có thể phán đoán và lượng hóa bằng các giá trị hệ số theo chủ quan. Nhờ đó, mô phỏng cho được các đánh giá về các khả năng hoàn thành dự án theo thời gian mong muốn. Nếu sử dụng nhiều phương án để so sánh thì bức tranh càng sáng rõ, giúp cho người quản lý đưa ra quyết định phù hợp với thực tế. Điều này với mô hình tiền định là rất khó khăn.

- Kết quả mô phỏng về tốc độ đào hầm cho thấy rằng đào theo phương pháp chia gương tỏ ra có hiệu quả xét về yêu cầu tăng tốc độ đào. Như vậy, mặc dù điều kiện địa chất và các thiết bị cho phép đào toàn gương, nhưng để rút ngắn thời gian thi công, cần nghiên cứu áp dụng phương pháp khai đào chia gương. Phương pháp chia gương cũng sẽ giúp cho các nhà thầu trong điều kiện trang, thiết bị hạn chế, vẫn có

thể đạt được thời gian thi công theo quy định so với khi thi công toàn gương với các trang, thiết bị hiện đại hơn.

- Việc lựa chọn phương án chia gương cần xét đến tác động do tình trạng kỹ thuật của xe máy thi công trong mô hình để quyết định. Việc xem xét này dựa trên khả năng bảo đảm hệ số làm việc của các trang, thiết bị thi công khi sử dụng các thiết bị đã cũ, làm việc trong điều kiện khắc nghiệt.

## **KẾT LUẬN - KIẾN NGHỊ**

### **I. Kết luận**

Những kết quả chính và mới của luận án:

- Đưa ra một đánh giá tổng quan về thực tiễn áp dụng và xu thế phát triển các công nghệ xây dựng hầm tại Việt Nam. Trên cơ sở phân tích những yêu cầu của sự phát triển kinh tế - xã hội của đất nước, xu hướng tương lai của việc phát triển xây dựng các công trình ngầm, đưa ra đánh giá và đề xuất để nghiên cứu áp dụng các công nghệ thi công phù hợp trong điều kiện Việt Nam.

- Đã xây dựng một mô hình tiên định để xác định tốc độ đào hầm theo phương pháp khoan nổ. Mô hình được sử dụng để hỗ trợ cho việc tìm hiểu về quá trình thi công đường hầm và xác định các biến mô hình cần thu thập thông tin, phục vụ cho nghiên cứu các phương án thi công hầm bằng mô phỏng.

- Đã nghiên cứu khai thác và vận dụng được chương trình mô phỏng EZStrobe để xây dựng mô hình cơ bản mô phỏng các công đoạn cũng như toàn bộ chu kỳ đào hầm bằng khoan nổ. Nghiên cứu thử nghiệm số trên mô hình cho thấy khả năng ứng dụng của chương trình vào phân tích hiệu suất của quá trình đào hầm và sự cần thiết của việc áp dụng kỹ thuật dựa trên mô phỏng trong lập kế hoạch thi công.

- Nghiên cứu phát triển mô hình mô phỏng cho các trường hợp thi công hầm theo các phương án chia gương. Kết quả thử nghiệm số trên các mô hình chỉ ra rằng, các phương án thi công chia gương là có lợi trong việc tăng tốc độ đào hầm và nó phù hợp với điều kiện các phương tiện, thiết bị không đáp ứng được phương pháp thi công toàn gương; đồng thời, cũng cho thấy sự vượt trội của phương pháp mô phỏng trong việc tạo ra các kịch bản phản ánh các diễn biến phức tạp của quá trình thi công thực, ví dụ như sự tác động của tình trạng kỹ thuật các phương tiện, thiết bị thi công đến tốc độ đào hầm.

### **II. Kiến nghị và định hướng nghiên cứu tiếp theo**

#### ***1. Kiến nghị:***

- Sử dụng các phương pháp tiếp cận dựa trên mô phỏng trong quản lý và lập kế hoạch hoạt động xây dựng, thông qua các phiên bản đơn giản của các chương trình

mô phỏng, chẳng hạn như EZStrobe. Điều này rất có ý nghĩa khi các nhà quản lý và lập kế hoạch phải đối phó với các phương pháp xây dựng mới trong dự án của mình. Nhờ có mô phỏng, người dùng sẽ hiểu rõ hơn về ứng xử của hệ thống và do đó, kế hoạch lập ra càng tin cậy và mức độ chi tiết có thể đạt được càng cao. Ngoài ra, bằng cách mô phỏng các tình huống khác nhau, các nhà quản lý và người lập kế hoạch sẽ có thể thấy được hậu quả của các quyết định khác nhau trước khi áp dụng các quyết định của họ vào các hoạt động trong thực tiễn.

- Tích hợp công nghệ tiên tiến để cải thiện kho dữ liệu xây dựng: điều này sẽ tạo cơ hội để xem xét ứng xử của hệ thống trong các khoảng thời gian khác nhau và học hỏi từ những kinh nghiệm trong quá khứ. Ngoài ra, một cơ sở dữ liệu thích hợp sẽ cung cấp cho người quản lý dự án và các nhà thầu cơ hội tốt để chia sẻ kinh nghiệm với các dự án xây dựng khác theo các nguyên tắc quản lý “tinh gọn”. Việc ghi lại và sử dụng dữ liệu của dự án không chỉ được sử dụng để mô phỏng hoạt động, mà dữ liệu còn có thể giúp phân tích sự đáp ứng/ứng xử của quá trình. Nhờ đó, nghiên cứu có thể giải quyết các yếu tố khiến hoạt động xây dựng diễn ra theo những cách phức tạp và khác biệt.

## ***2. Định hướng nghiên cứu tiếp theo:***

- Nghiên cứu áp dụng mô phỏng bằng EZStrobe trong các quá trình/hoạt động xây dựng khác nhau.

- Nghiên cứu phát triển một quy trình khung triển khai EZStrobe trong các hoạt động xây dựng.

- Mở rộng việc áp dụng EZStrobe thông qua việc nghiên cứu cách thức và mức độ để phổ biến đến những đối tượng ở những vị trí khác nhau (ví dụ: giám sát công trường, nhà quản lý, người lập kế hoạch, v.v...).

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

### Tiếng Việt

1. Đào Văn Canh (1997), *Báo cáo tổng kết đề tài cấp Bộ “Nghiên cứu xác định hệ số thừa tiết diện (hệ số lẹm) công trình hầm dẫn nước của thủy điện YALY”*, Bộ Công nghiệp, Hà Nội.
2. Bùi Đức Chính, Phạm Thanh Tùng (2009), Lựa chọn công nghệ phù hợp khi xây dựng công trình ngầm theo kỹ thuật đào kín, *Tuyển Tuyển tập công trình Hội nghị khoa học công nghệ và môi trường năm 2009*, Viện Khoa học và Công nghệ GTVT, Hà Nội, 30/10/2009.
3. Cơ quan hợp tác quốc tế Nhật Bản và Tổng Công ty đường sắt Việt Nam (2013), *Nghiên cứu lập dự án cho các dự án đường sắt cao tốc đoạn Hà Nội - Vinh và thành phố Hồ Chí Minh - Nha Trang (Báo cáo cuối kỳ)*.
4. Công thông tin điện tử Chính phủ (2011), *Quyết định số 1259/QĐ-TTg ngày 26/7/2011 của Thủ tướng Chính phủ Phê duyệt Quy hoạch chung xây dựng Thủ đô Hà Nội đến năm 2030 và tầm nhìn đến năm 2050*.
5. Công thông tin điện tử Chính phủ (2010), *Quyết định số 24/QĐ-TTg ngày 06/01/2010 của Thủ tướng Chính phủ Phê duyệt điều chỉnh Quy hoạch chung xây dựng thành phố Hồ Chí Minh đến năm 2025*.
6. Công thông tin điện tử Chính phủ (2016),. *Quyết định số 326/QĐ-TTg ngày 01/3/2016 của Thủ tướng Chính phủ về việc phê duyệt Quy hoạch phát triển mạng đường bộ Việt Nam đến năm 2020 và định hướng đến năm 2030*.
7. Công ty Lũng Lô (2015), *Hồ sơ thiết kế biện pháp thi công dự án Hầm Đèo Cả*.
8. Phan Đình Đại (1999), *Xây dựng công trình ngầm thủy điện Hòa Bình*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
9. Lại Hải Đăng, Lưu Trường Văn (2007), *Mô phỏng tiến độ thi công công trình bằng phương pháp Monte Carlo*, Tạp chí KHCN Xây dựng, số 2/2007, tr.46-52.
10. Lưu Đức Hải (2012), *Không gian ngầm đô thị: Cần sớm có biện pháp quy hoạch và quản lý phát triển*, <http://www.vncold.vn>.

11. Nghiêm Hữu Hạnh (2012), *Bài giảng môn học Công trình ngầm*, Đại học Thủy lợi, Hà Nội.
12. Nguyễn Công Hiền, Nguyễn Thục Anh (2006), *Mô hình hóa hệ thống và mô phỏng*, Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
13. Hồ Ngọc Hiệp (2010), *Nghiên cứu đề xuất các sơ đồ công nghệ đào hầm bằng phương pháp khoan nổ mìn trong đá rắn cứng với chiều dài và tiết diện gương khác nhau*, Luận văn ThS kỹ thuật. Đại học Mỏ địa chất Hà Nội.
14. Vũ Trọng Hiếu (2015), *Nghiên cứu tính toán tối ưu một số thông số khoan nổ trong thi công công trình ngầm khẩu độ vừa và lớn*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Học viện Kỹ thuật quân sự.
15. Hội Bê tông Việt Nam (2017), *FECOM tham gia vận hành robot đào hầm (TBM) dưới sự hướng dẫn của các chuyên gia Nhật Bản*, Thông tin Khoa học và Công nghệ bê tông, số 02/06/2017.
16. Hội đồng quốc gia chỉ đạo biên soạn từ điển bách khoa Việt Nam (2003), *Từ điển bách khoa Việt Nam*, Nhà xuất bản Từ điển bách khoa, Hà Nội.
17. Ngô Văn Hợi (2007), *Công tác trắc địa trong xây dựng đường hầm*, Tạp chí KHCN Xây dựng, số 2/2007, tr.17-21.
18. Đoàn Trọng Luật (2018). *Tối ưu hóa sự phối hợp giữa máy xúc và ô tô cho các mỏ khai thác than lộ thiên vùng Quảng Ninh*. Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Đại học Mỏ - địa chất Hà Nội.
19. Trần Tuấn Minh (2015), *Đánh giá hiệu quả xây dựng đường hầm giao thông tiết diện lớn thi công bằng sơ đồ chia gương*, Tạp chí Công nghiệp mỏ, số 3, tr.23-28.
20. Bùi Đức Năng - chủ biên (2016), *Giáo trình tổ chức thi công xây dựng*, Học viện Kỹ thuật quân sự, Hà Nội.
21. Hoàng Phê và nnk (2003), *Từ điển tiếng Việt* (Bản in lần thứ 9), Nhà xuất bản Đà Nẵng.
22. Nguyễn Thế Phùng (2010), *Thi công hầm*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
23. Nguyễn Đình Thám, Nguyễn Ngọc Thanh (2006), *Lập kế hoạch, tổ chức và chỉ đạo thi công*, Nxb Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.

24. Trần Sỹ Thứ và nhiều tác giả (2008), *Địa chỉ Đà Lạt*, Nhà xuất bản Tổng hợp Thành phố Hồ Chí Minh.
25. Đỗ Như Tráng (2001), *Giáo trình thi công Công trình ngầm*, Nhà xuất bản Quân đội nhân dân, Hà Nội.
26. Nguyễn Xuân Trọng (2004), *Thi công hầm và công trình ngầm*, Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội.
27. <http://nangluongvietnam.vn/news/vn/dien-luc-viet-nam/quy-hoach-thuy-dien-tren-toan-quoc-sau-ra-soat.html>
28. <http://www.duongsathanoi.com/chuyen-luan>
29. <https://nld.com.vn/thoi-su-trong-nuoc/nguoi-viet-lam-chu-cong-nghe-khoan-ham-20170116214118336.htm>

### **Tiếng Anh**

30. AbouRizk, S. (2010), *Role of simulation in construction engineering and management*, Journal of Construction Engineering and Management 136(10), 1140-1153.
31. AbouRizk, S. and D. Hajjar (1998), *A framework for applying simulation in the construction industry*, Canadian Journal of Civil Engineering 25(3), 604-617.
32. AbouRizk, S. M., J. Y. Ruwanpura, K. C. Er, and S. Fernando (1999), *Special purpose simulation template for utility tunnel construction*, In Proceedings of the Winter Simulation Conference, Squaw Peak, Phoenix, AZ, pp. 948-955. ISBN: 0-7803-5780-9.
33. Al-Jalil, Y. A. (1998), *Analysis of performance of tunnel boring machine - based system*, Ph. D. thesis, The University of Texas at Austin.
34. Averill M. Law, W. David Kelton (2015), *Simulation Modeling and Analysis (Fifth Edition)*, Macgraw-Hill, Inc.
35. B. Maidl, M. Thewes, U. Maidl (2013), *Handbook of Tunnel Engineering*, The publisher Ernst & Sohn, Berlin, Germany.
36. Banks, J. (2000), *Introduction to simulation*, In Proceedings of the 31st Conference on Winter Simulation, Volume 1, New York, NY, USA, pp. 7-13.



37. BTS (2008), *Occupational Exposure to Nitrogen Monoxide in a Tunnel Environment: Best Practice Guide*, British Tunnelling Society, London.
38. Carr, R. I. (1979), *Simulation of construction project duration*, *Journal of Construction Division*, ASCE, 105(CO2), pp.117–28.
39. Chang, D. Y. and R. I. Carr (1987), *RESQUE: A resource oriented simulation system for multiple resource constrained processes*, In Proceedings of the PMI Seminar/Symposium, Milwaukee, Wisconsin, USA, pp. 4-19.
40. Chapman, D. N., Metje, N., & Stark, A. (2017), *Introduction to tunnel construction*, Crc Press.
41. Chris Hendrickson (2008), *Project Management for Construction*, <http://pmbook.ce.cmu.edu>.
42. Clark, C. E. (1962), *The PERT model for the distribution of an activity time*, *Operations Research*, 3(10), 405–6.
43. David Chapman, Nicole Metje, and Alfred Stärk (2010), *Introduction to Tunnel Construction*, Taylor & Francis, USA.
44. Donghai, L., Z. Yunqing, and J. Kai (2010), *TBM construction process simulation and performance optimization*, *Transactions of Tianjin University* 16(3), 194-202.
45. Duhme, R., K. Sadri, T. Rahm, M. Thewes, and M. Koenig (2013), *TBM performance prediction by process simulation*, In Proceedings of the Third International Conference on Computational Methods in Tunneling and Subsurface Engineering, Bochum, Germany, pp. 323-334. ISSN: 978-3-942052-01-6.
46. Duhme, R.J., Rahm, T., Thewes, M. and Scheffer, M. (2015), *A review of planning methods for logistic in TBM tunnelling*, In: Proceedings of the ITA World Tunnel Congress 2015, pp. 312-320. Zagreb, Croatia. ITA-AITES.
47. Einstein, H.H., Salazar, G.F., Kim, Y.W. and Ioannou, P.G. (1987), *Computer-based decision support systems for underground construction*, In: Proceedings of

- the 1987 Rapid Excavation and Tunneling Conference, pp. 1287-1308. New Orleans, USA. Society of Mining Engineers.
48. Halpin, D. W. (1977), *CYCLONE: Method for modeling of job site processes*, Journal of the Construction Division 103(CO3), 489–499.
  49. Halpin, D. W. (1990), *MicroCYCLONE user's manual*, Div. of Civil Construction Engineering and Management, Purdue University, West Lafayette, Ind.
  50. Halpin, D., & Riggs, L. S. (1992), *Planning and analysis of construction operations*, John Wiley and Sons, Inc: New York, NY.
  51. Hendrickson, C., Hendrickson, C. T., & Au, T. (1989), *Project management for construction: Fundamental concepts for owners, engineers, architects, and builders*, Chris Hendrickson, Department of Civil and Environmental Engineering, Carnegie Mellon University, Pittsburgh (US).
  52. Huang, R. Y., A. M. Grigoriadis, and D. M. Halpin (1994), *Simulation of cable-stayed bridges using DISCO*, In Proceedings of the 26th Conference on Winter Simulation, San Diego, CA, USA, pp. 1130-1136. ISBN: 0-7803-2109-X.
  53. Ing. Olga Špačková (2012), *Risk management of tunnel construction projects*, Doctoral Thesis, Czech Technical University in Prague.
  54. Ioannou, P. G. (1989), *UM-CYCLONE: user's manual*, Department of Civil Engineering, The University of Michigan, Ann Arbor, Mich.
  55. International Tunnelling Association (ITA), (2009), *General report on conventional tunnelling method* (No. 002).
  56. Johnson, D.G., (1997), *The triangular distribution as a proxy for the beta distribution in risk analysis*, The Statistician 46 (3), 387–398.
  57. Kamat, V. R. and J. C. Martinez (2003). *Validating complex construction simulation models using 3D visualization*. System Analysis Modelling Simulation 43(4), 455-467.
  58. Liu, L. Y. and P. G. Ioannou (1992), *Graphical object-oriented discrete event simulation system*, In Proceedings of the 24th Conference on Winter Simulation,

- Association for Computing Machinery, New York, USA, pp. 1285-1291. ISBN: 0-7803-0798-4.
59. Lu, M., M. Anson, S. L. Tang, and Y. C. Ying (2003), *HKCONSIM: A practical simulation solution to planning concrete plant operations in Hong Kong*, Journal of Construction Engineering and Management 129(5), 547-554.
  60. Malcolm, D.G., Roseboom, C.E., Clark, C.E., Fazar, W., (1959), *Application of a technique for research and development program evaluation*, Operations Research 7, 646–649.
  61. Martinez, J. C. (1996), *STROBOSCOPE: State and resource based simulation of construction processes*, Doctoral dissertation, The University of Michigan, United States.
  62. Martinez, J. C. (1998a), *Earthmover-simulation tool for earthwork planning*, IEEE Computer Society.
  63. Martinez, J. C. (2001), *EZStrobe: General-purpose simulation system based on activity cycle diagrams*, Proceedings of the Symposium of the 33rd Winter Simulation Conference. IEEE Computer Society, p. 1556-1564
  64. Martinez, J. and P. G. Ioannou (1994), *General purpose simulation with Stroboscope*, In Proceedings of the 26st Conference on Winter Simulation, Society for Computer Simulation International, San Diego, CA, USA, pp. 1159-1166. 0-7803-2109-X.
  65. Martinez, J.C. and Ioannou, P.G. (1999), *General Purpose Systems for Effective Construction Simulation*, Journal of Construction Engineering and Management. ASCE. 125 (4), 265-276.
  66. Marzouk, M., El-Dein, H. Z., & El-Said, M. (2006), *Bridge\_Sim: Framework for planning and optimizing bridge deck construction using computer simulation*, Proceedings of the Symposium of the Winter Simulation Conference (WSC 06), IEEE Computer Society.

67. Marzouk, M., El-Dein, H. Z., & El-Said, M. (2007), *Application of computer simulation to construction of incremental launching bridges*, Journal of Civil Engineering and Management, 13(1), 27-36.
68. Marzouk, M., Said, H., & El-Said, M. (2008), *Special-purpose simulation model for balanced cantilever bridges*, Journal of Bridge Engineering, 13(2), 122-131.
69. McCahill, D. F. and L. E. Bernold (1993), *Resource-oriented modeling and simulation in construction*, Journal of Construction Engineering and Management 119(3), 590-606.
70. Messinella, M. (2010), *Models for the analysis of tunnelling construction processes*, Master Thesis, Concordia University, Montreal.
71. Mubarak, Saleh A. (2010), *Construction Project Scheduling and Control*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.
72. Muir Wood A. (2000), *Tunnelling: Management by Design*, Spon, London and New York.
73. Odeh, A. M., I. D. Tommelein, and R. I. Carr (1992), *Knowledge based simulation construction plans*, In Proceedings of the 8th Conference on Computing in Civil Engineering, Volume 7, ASCE, New York, USA, pp. 1042-1049.
74. Paulson, B. C. J., W. T. Chan, and C. C. Koo (1987), *Construction operation simulation by microcomputer*, Journal of Construction Engineering and Management 113(2), 302-314.
75. Rahm, T., K. Sadri, C. Koch, M. Thewes, and M. Koenig (2012), *Advancement simulation of tunnel boring machines*, In Proceedings of the Winter Simulation Conference, Berlin, Germany, pp. 1-12. IEEE. ISBN: 978-1-4673-4779-2.
76. Rahm, T., K. Sadri, M. Thewes, and M. Koenig (2012), *Multi-method simulation of the excavation process in mechanized tunnelling*, In Proceedings of the 19th International Workshop on European Group for Intelligent Computing in Engineering (EG-ICE), Munich, Germany, pp. 1-10.
77. Ratan Tatiya (2005), *Civil excavations and tunnelling - a practical guide*, Thomas Telford Publishing, London, UK.

78. Ray J. Paul (1993), *Activity cycle diagrams and the three phase method*, Proceedings of the 1993 Winter Simulation Conference.
79. Ruwanpura, J. Y., S. M. AbouRizk, K. C. Er, and S. Fernando (2000), *Experiences in implementing simulation for utility tunnel construction*, In Annual Conference of the Canadian Society for Civil Engineering, Canada, Montreal, Quebec, pp. 135-145.
80. Sadri, K., T. Rahm, J. Duhme, M. Koenig, and M. Thewes (2013), *Process simulation as an efficient tool for the planning of mechanized tunnelling logistics*, In Proceedings of the International Symposium on Tunnelling and Underground Space Construction for Sustainable Development, TU, Seoul, Korea, pp. 130-133. Korean Tunnelling and Underground Space Association (KTA).
81. Sawhney, A. and S. M. AbouRizk (1995), *HSM-simulation based planning method for construction projects*, Journal of Construction Engineering and Management 121(3), 297-303.
82. Shi, J. (1999), *Activity-Based Construction (ABC) modeling and simulation method*, Journal of Construction Engineering and Management 125(5), 354-360.
83. Shokrollah Zare (2007), *Prediction Model and Simulation Tool for Time and Cost of Drill and Blast Tunnelling*, NTNU Norwegian University of Science and Technology, Thesis for the degree of philosophiae doctor Trondheim.
84. State of Queensland (2019), *Work Health and Safety Regulation 2011*.
85. Stewart V. Hoover, Ronald F. Perry (1989), *Simulation: A Problem-Solving Approach*, Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc., MA, United States.
86. Tellis, W. (1997), *Application of a case study methodology*, The Qualitative Report, 3(3), 1-17.
87. Thanh Dang, T. (2013), *Analysis of microtunnelling construction operations using process simulation*, Dissertation. Ruhr-Universität Bochum. Bochum, Germany.

88. Tommelein, I. D., R. I. Carr, and A. M. Odeh (1994), *Assembly of simulation networks using design, plans, and methods*, Journal of Construction Engineering and Management 120(4), 796-815.
89. Touran, A. and Asai, T. (1987), *Simulation of tunnelling operations*, Journal of Construction Engineering and Management. Vol. 113(4), pp. 554-568. doi: 10.1061/(ASCE)0733-9364(1987)113:4(554).
90. Van Dorp, J.R., Kotz, S., (2002), *A novel extension of the triangular distribution and its parameter estimation*, The Statistician 51 (1), 63–79.
91. Xu, J. and S. M. AbouRizk (1999), *Product-based model representation for integrating 3-d CAD with computer simulation*, In Winter Simulation Conference, Association for Computing Machinery, New York, Volume 2, Phoenix, AZ, USA, pp. 971-977.
92. Yin, R. K. (2009), *Case study research: Design and methods* (Vol. 5), Sage Publications: Thousand Oaks, CA.
93. Zaeri F. (2017), *Exploring the Potential for the Application of Simulation Methods in Construction Project Delivery in New Zealand*, Doctoral Thesis, School of Engineering Auckland University of Technology, New Zealand.
94. <http://www.stroboscope.org/>
95. <http://www.stroboscope.org/stroboscope/ezstrobe>.

**DANH MỤC CÁC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ**

- 1. Nguyễn Tiến Tĩnh, Bùi Đức Năng, Trần Anh Bảo (2019),** *Đánh giá thực tiễn áp dụng và xu thế phát triển các công nghệ thi công hầm tại Việt Nam*, Tạp chí Người Xây dựng, ISSN 0866-8531, số 331 & 332/2019, tr 61-67.
- 2. Nguyễn Tiến Tĩnh, Bùi Đức Năng, Trần Anh Bảo (2019),** *Xây dựng mô hình xác định của quá trình thi công hầm bằng phương pháp khoan nổ*, Tạp chí Người Xây dựng, ISSN 0866-8531, số 333 & 334/2019, tr 47-51.
- 3. Nguyễn Tiến Tĩnh, Bùi Đức Năng, Trần Anh Bảo (2019),** *Sử dụng mô hình xác định đánh giá ảnh hưởng của các yếu tố đầu vào đến tốc độ của quá trình thi công hầm bằng khoan nổ*, Tạp chí Người Xây dựng, ISSN 0866-8531, số 335 & 336/2019, tr 52-54.
- 4. Nguyễn Tiến Tĩnh, Đỗ Như Tráng, Bùi Đức Năng (2021),** *Sử dụng phần mềm Ezstrobe mô phỏng quá trình đào hầm bằng phương pháp nổ*, Tạp chí Địa kỹ thuật, ISSN 0868-279X, số 1/2021, tr.10-17.
- 5. Nguyễn Tiến Tĩnh, Đỗ Như Tráng, Bùi Đức Năng, Trần Anh Bảo (2021),** *Phân tích năng suất đào hầm theo phương án chia gương đào bằng công cụ mô phỏng rời rạc*, Tạp chí Công nghiệp mỏ, ISSN 0868-7052, số 3/2021, tr.30-36.
- 6. Nguyễn Tiến Tĩnh (2022),** *Sử dụng công cụ mô phỏng đánh giá ảnh hưởng của sự cố thiết bị thi công tới tốc độ đào hầm bằng khoan nổ*, Tạp chí Người Xây dựng, ISSN 0866-8531, số 363 & 364/2022, tr 63-66.