



SỬ DỤNG CÔNG CỤ MÔ PHỎNG ĐÁNH GIÁ ẢNH HƯỞNG CỦA SỰ CỐ THIẾT BỊ ĐẾN TỐC ĐỘ ĐÀO HẦM KHẨU ĐỘ NHỎ BẰNG KHOAN NỔ

Nguyễn Tiến Tĩnh*, Cao Chu Quang

Học viện Kỹ thuật Quân sự, 236 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 31/10/2024

Ngày nhận bài sửa: 12/12/2024

Ngày chấp nhận đăng: 20/12/2024

*Tác giả liên hệ:

Email: nguyentientinh@lqdtu.edu.vn

TÓM TẮT

Trong thi công đường hầm khẩu độ nhỏ bằng khoan nổ có những khác biệt về cách sử dụng phương tiện thi công do không gian thi công hẹp, không thể bố trí các phương tiện thi công có công suất lớn mà cần phải sử dụng các thiết bị nhỏ phù hợp với khẩu độ hầm. Do vậy ảnh hưởng của các sự cố hư hỏng trang thiết bị cũng không giống như trong thi công đường hầm lớn. Bài báo trình bày những kết quả chính của việc sử dụng công cụ mô phỏng đánh giá ảnh hưởng của sự cố phương tiện, thiết bị thi công tới tốc độ đào đường hầm khẩu độ nhỏ bằng khoan nổ. Kết quả từ ví dụ số cho thấy ảnh hưởng của mức sự cố từng loại thiết bị thi công và tổ hợp thiết bị thi công đến tốc độ đào hầm khẩu độ nhỏ. Đây là những thông tin cần thiết để các cán bộ phụ trách thi công hầm ra quyết định phù hợp với điều kiện cụ thể dựa trên năng lực thiết bị thi công.

Từ khóa: mô phỏng, EZstrobe, đường hầm khẩu độ nhỏ, phương pháp khoan nổ.

@ Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

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 cơ giới trong hầu hết các công đoạn thi công. Trong các công bố [1], [2] tác giả cũng nói về các hệ số hiệu quả liên quan đến thời gian dừng các quá trình thi công do các yếu tố không lường trước được, mô hình mô phỏng nhằm phân tích năng suất đào hầm theo các đầu vào ngẫu nhiên đã được tác giả xây dựng và giới thiệu [3], [4], công bố [5] tác giả cũng đã tiến hành phân tích ảnh hưởng của các sự cố thiết bị thi công đến năng suất đào hầm trong các đường hầm khẩu độ lớn. Trong công bố [7] tác giả cũng giới thiệu về sử dụng công cụ mô phỏng trong phân tích tốc độ đào hầm của đường hầm khẩu độ nhỏ. Nghiên cứu trên cũng chỉ ra rằng thiết bị sử dụng trong thi công đường hầm khẩu độ nhỏ có những khác biệt so với khi thi công các đường hầm có khẩu độ lớn, do vậy ảnh hưởng của các sự cố hư hỏng các thiết bị thi công đến tốc độ đào hầm sẽ có những khác biệt cần quan tâm.

Bài báo này sẽ phát triển từ các mô hình đã thiết lập ở các công bố [5],[6] để đánh giá ảnh hưởng của các sự cố thiết bị thi công đến năng suất đào hầm.

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Mô hình mô phỏng phân tích năng suất đào hầm và ảnh hưởng của sự cố thiết bị thi công

Các mô hình được xây dựng trên EZstrobe là một hệ thống mô phỏng sự kiện rời rạc dựa trên các Sơ đồ chu trình hoạt động (Activity Cycle Diagrams) mở rộng và có chú thích. Hệ thống này sử dụng công cụ mô phỏng của ngôn ngữ lập trình mô phỏng đa năng STROBOSCOPE và cũng tuân theo mô thức mô phỏng quét hoạt động ba pha. EZStrobe là một trong các kỹ thuật có tiềm năng nhất 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 [6]. Các nhà nghiên cứu có thể dễ dàng tải chương trình EZstrobe cùng với các hướng dẫn sử dụng chi tiết trên trang web của giáo



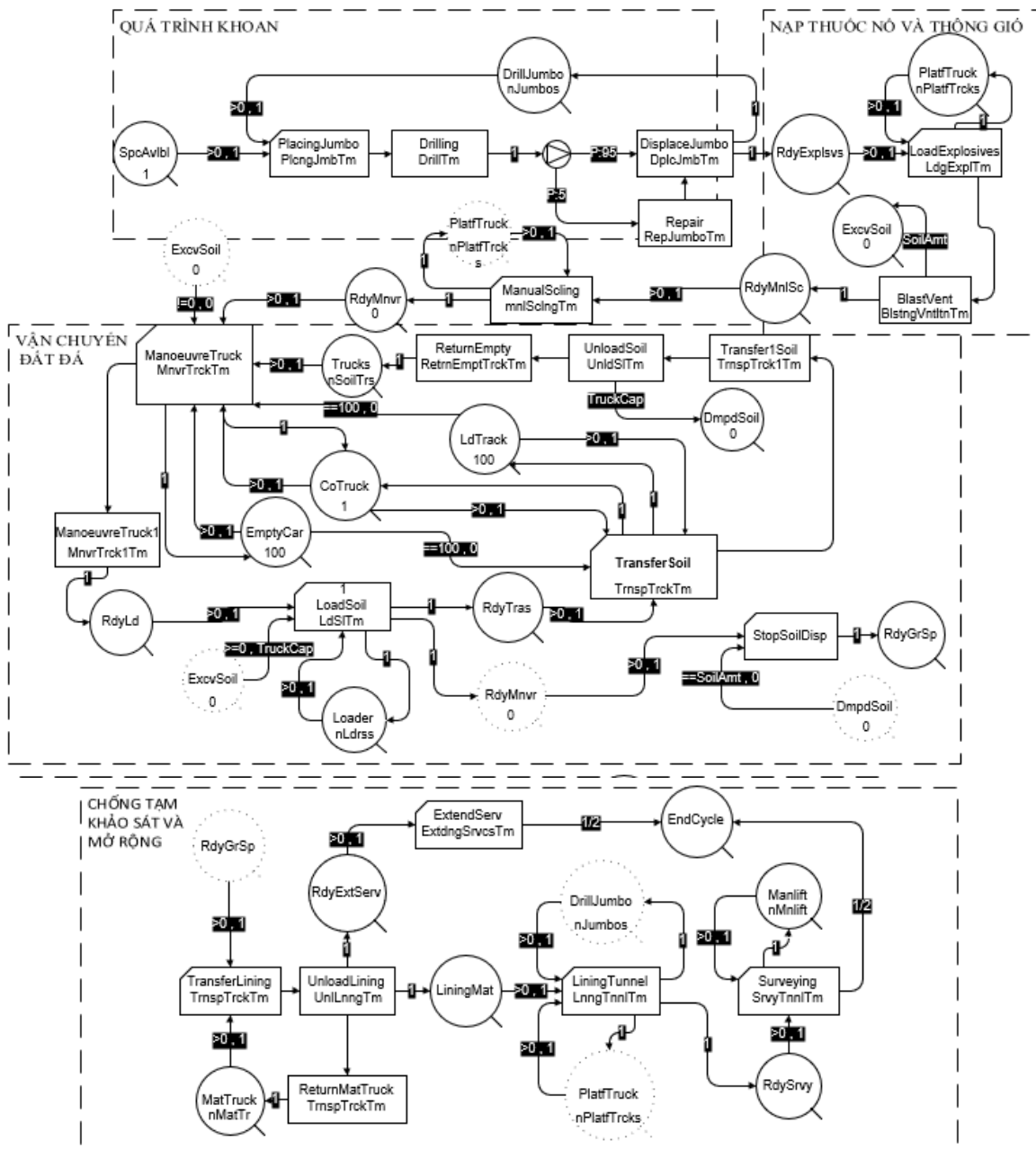
sư Photios G. Ioannou tại địa chỉ: www.ioannou.org hoặc www.ezstrobe.org.

Mô hình xác định công nghệ đào hầm bằng khoan nổ đã được trình bày tại [1] cũng như tham khảo các nghiên cứu cùng chủ đề, quy trình đào hầm theo phương pháp khoan nổ sử dụng gia cố bằng neo và phun vữa bê tông được chi tiết hóa đến từng bước công việc nhỏ để phù hợp với việc mô hình hóa.

Mô hình cơ bản đã được xây dựng dựa trên phương án thi công toàn gương và sau đó đã 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. Kết quả, mô hình cơ bản được trình bày trong [3] đã được xác nhận sự chính xác và đã được phát triển để phân tích năng suất đào hầm theo các phương án đào chia gương cho kết quả khả quan [4].

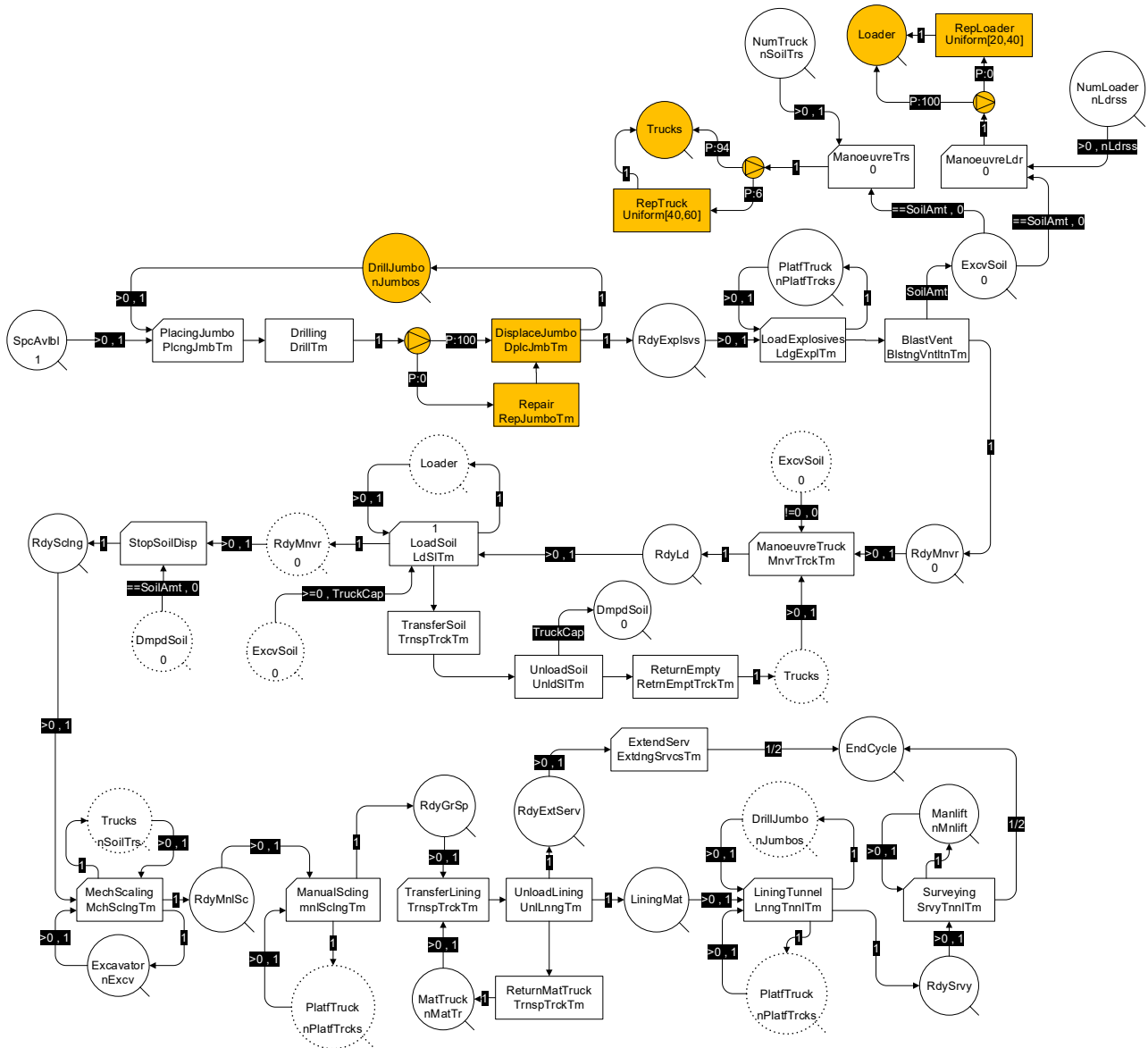
Trên Hình 1 có thể thấy Mô hình mô phỏng phân tích năng suất đào hầm với phân khúc hẹp được xây dựng để phân tích năng suất đào hầm khẩu độ nhỏ [7].



Hình 1. Mô hình mô phỏng quá trình thi công đào hầm khẩu độ nhỏ bằng khoan nổ trên EZStrobe



Trên Hình 2 có thể thấy Mô hình mô phỏng phân tích ảnh hưởng của các sự cố hư hỏng thiết bị trong thi công đường hầm khẩu độ lớn [5].



Hình 2. Mô hình mô phỏng đã mô hình hóa quá trình vận hành các thiết bị thi công chủ yếu có xét đến khả năng sự cố thông thường

2.2. Mô hình mô phỏng đánh giá ảnh hưởng của các sự cố thiết bị thi công trong thi công đường hầm khẩu độ nhỏ

EZStrobe cho phép mô hình hóa các kịch bản khác nhau theo ứng xử của hệ thống, Bằng cách kết hợp sử dụng mô hình phân khúc hẹp và sử dụng theo kịch bản “Điều gì xảy ra nếu” với 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

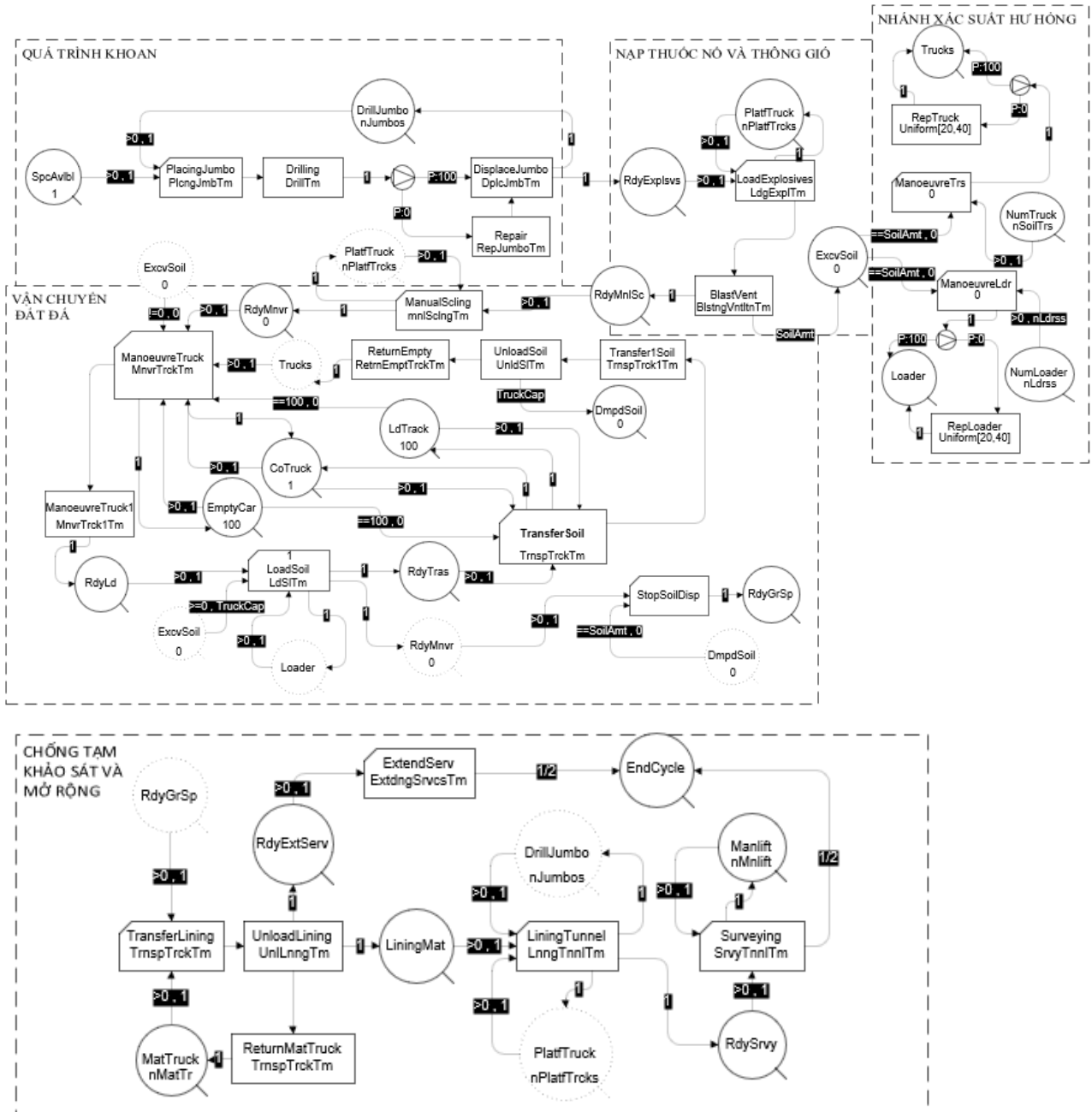
số và Kết quả” (Parametering and Results) để xây dựng mô hình mô phỏng đánh giá ảnh hưởng của các sự cố thiết bị thi công khi đào đường hầm khẩu độ nhỏ.

Trên Hình 3 có thể thấy phần mô hình phân khúc hẹp này của ACD EZStrobe (khu vực nét đứt thể hiện VẬN CHUYỂN ĐẤT ĐÁ) bao gồm các nút sau: LdTruck, TrnspTrckTm, CoTruck, EmptyCar, MnvrTrckTm, MnvrTrck1Tm.



Mô hình hóa và đánh giá tác động của tình trạng kỹ thuật của phương tiện/thiết bị thi công (gọi chung là thiết bị thi công) tới tốc độ đào hầm. Xem xét việc các thiết bị thi công chủ yếu có thể bị hỏng hóc thông thường, tức là các hỏng hóc có thời gian khắc phục từ 20 phút đến 40 phút và được lấy là phân phối đều. Những trường hợp hỏng nặng, thời gian này tương đương với việc thay thế thiết bị

khác. Khả năng bị hỏng (xác suất sự cố) và xác suất làm việc bình thường khi sử dụng các thiết bị thi công này được xác định nhờ phần tử Fork và các liên kết nhánh (Branch Links) tạo ra từ nó. Khối phân nhánh xác suất hư hỏng xe tải, máy xúc (khu vực nét đứt thể hiện NHÁNH XÁC SUẤT HƯ HỎNG).



Hình 3. Mô hình mô phỏng đã mô hình hóa quá trình vận hành các thiết bị thi công chủ yếu có xét đến khả năng sự cố thông thường khi thi công đường hầm khẩu độ nhỏ



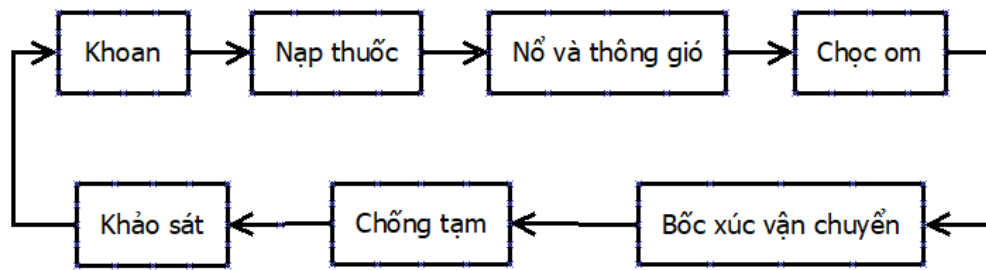
Trong thi công đào hầm khẩu độ nhỏ bằng khoan nổ (chu kỳ đào), có 3 loại thiết bị chủ yếu nằm trong 2 giai đoạn quan trọng của chu kỳ đào hầm, đó là máy khoan trong giai đoạn khoan lỗ mìn, máy xúc và xe vận chuyển đất trong giai đoạn bốc xúc - vận chuyển đất đá thải.

2.3. Trường hợp nghiên cứu

Công trình được sử dụng để mô phỏng là một đường hầm chuyên dụng tổng chiều dài đường hầm theo trục là 829,85 m, tuyến đường công vụ và cơ động là 134,5 m và 87,5 m, kích thước tiết diện đoạn hầm thông thường là 1,2x2,2 m (rộng x cao) và 1,5x2,7 m, kích thước các buồng mở rộng

là 3,5x2,7 m và 4,5x3,4 m, địa chất khu vực đào hầm chính chủ yếu là trong đất đá loại B. Phương pháp thi công là phương pháp khoan nổ toàn gương, vận chuyển bằng xe chuyên dụng, chống tạm bằng thủ công sử dụng thép hình, bước tiến gương 1 m, khi vận chuyển tại 1 thời điểm chỉ có thể có 01 xe di chuyển trong hầm. Trong nghiên cứu này mô phỏng tốc độ đào cho đoạn có diện tích gương đào đoạn hầm thông thường là 8,05 m² trong đất đá loại B cách cửa hầm là 80 m, khoảng cách từ vị trí cửa hầm đến bãi thải đất đá là 134,5 m.

Trên Hình 4 có thể thấy chu kỳ công đoạn thi công.



Hình 4. Quy trình thi công đào hầm bằng khoan nổ

Thiết bị sử dụng gồm: 02 máy khoan Y26, đường kính khoan d42; 01 máy xúc chuyên dụng, dung tích gầu 0,2 m³; 03 xe tải với dung tích 0,8 m³; Tốc độ xe di chuyển trong hầm trung bình là 5 km/h; ngoài hầm là 10 km/h, nhân công 11 người.

2.4. Chuẩn bị dữ liệu cho mô hình

Dữ liệu mô hình được lấy theo [7], Các biến được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 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	3
2	Sức chứa của xe tải (m ³)	TruckCap	0,8
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 nhân công làm việc trong một chu kỳ	nCrew	11
7	Số lượng đất đá đào phá trong một chu kỳ (m ³)	SoilAmt	7,2
8	Lượng đất đá đào được (m ³)	ExcvcSoil	n.a.
9	Lượng đất đổ tại khu vực xử lý đất (m ³)	DmpdSoil	n.a.



Phân phối xác suất thời lượng của từng hoạt động sử dụng trong mô hình mô phỏng được trình bày trong Bảng 2. Dựa trên các số liệu thu thập và tham khảo ý kiến của các cán bộ trực tiếp thi công

trên công trường, tiến hành phân tích thống kê, tác giả đi tới quyết định sử dụng mô tả đa số các thời lượng hoạt động theo phân phối tam giác (Triangular).

Bảng 2. Phân phối xác suất thời lượng của các hoạt động sử dụng trong mô hình

TT	Mô hình hoạt động	Ký hiệu biến	Giá trị (phút)
1	Lắp đặt máy khoan	PlcngJmbTm	Triangular [2,2.5,3]
2	Khoan lỗ mìn	DrillTm	Triangular [90,105,120]
3	Di chuyển máy khoan	DsplngJmbTm	Triangular [2,2.5,3]
4	Sửa chữa máy khoan	RepJumboTm	Uniform [5,10]
5	Nạp thuốc nổ	LdgExplTm	Triangular [15,20,25]
6	Nổ và thông gió	BlstnVntltnTm	Triangular [20,25,30]
7	Sắp xếp xe tải đất vào vị trí	MnvrTrck1Tm	Triangular [1,1.5,2]
8	Bốc xúc đất đá lên xe	LdSITm	Triangular [4,5,6]
9	Vận chuyển đất đá thải trong hầm	TrnspTrckTm	Triangular [1,1.5,2]
10	Vận chuyển đất đá thải ngoài hầm	TrnspTrck1Tm	Triangular [1,1.5,2]
11	Đổ bỏ đất đá thải	UnldSITm	Triangular [1,1.5,2]
12	Xe tải đất (rỗng) về vị trí chờ	TrnspTrck1Tm	Triangular [1,1.5,2]
13	Xe tải rỗng di chuyển trong hầm	TrnspTrckTm	Triangular [1,1.5,2]
14	Chọc om	MnlScngTm	Triangular [9,10,11]
15	Dỡ vật liệu chống tạm khỏi xe	UnlLngTm	Triangular [35,40,45]
16	Chống tạm đường hầm	LngTnnITm	Triangular [25,30,35]
17	Khảo sát đánh dấu lỗ khoan	SrvyTnnITm	Triangular [5,7,9]
18	Mở rộng hệ thống phụ trợ	ExtndngSrvcsTm	Triangular [3,4,5]

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

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 thiết bị 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 thiết bị thi công bị sự cố riêng rẽ; trường hợp đại diện: phương án thi công toàn gương;

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

3.1. Tác động của từng loại thiết bị thi công bị sự cố riêng rẽ

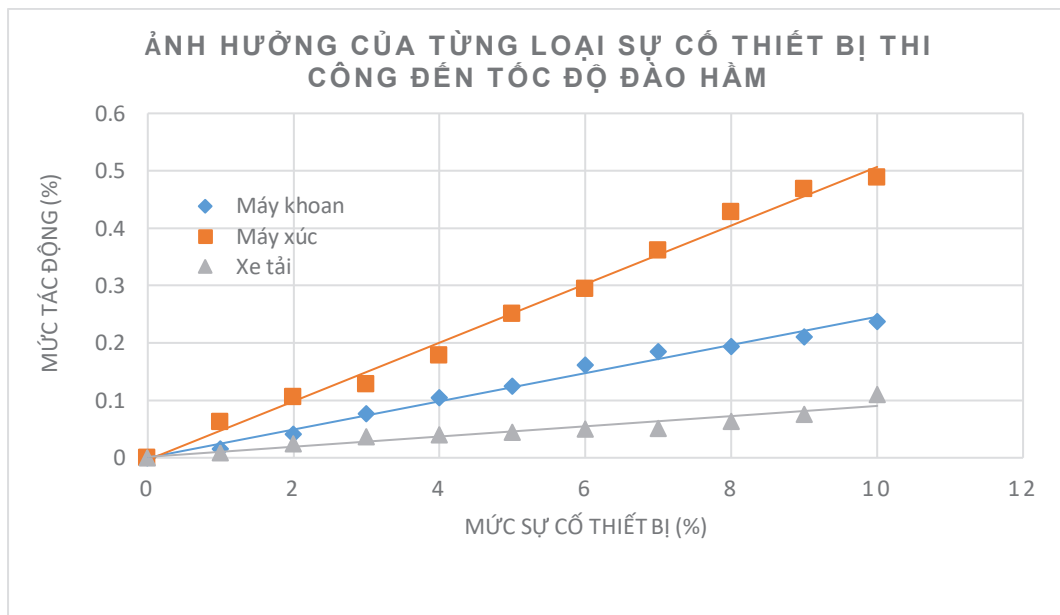
Khảo sát này là đánh giá mức độ tác động của tình trạng kỹ thuật từng loại thiết bị thi công đến tốc độ đào hầm. Trong trường hợp này, khi khảo sát với mỗi loại thiết bị thì các loại còn lại xem như không bị sự cố (xác suất sự cố $P = 0\%$). Mức sự cố (xác suất sự cố) đánh giá từ 0% đến 10%. Tại mỗi mức sự cố, chạy mô phỏng với số mẫu là 10.000. Kết quả được thể hiện trong Bảng 3.



Bảng 3. Kết quả mô phỏng tốc độ đào hầm khẩu độ nhỏ khi có sự cố từng loại thiết bị

Mức sự cố (%)	Tốc độ đào hầm khẩu độ nhỏ khi có sự cố từng loại thiết bị (m/8h)		
	Máy xúc	Máy khoan	Xe chở đất
0	1,49987	1,49987	1,49987
1	1,49894	1,49964	1,49975
2	1,49828	1,49926	1,49950
3	1,49795	1,49873	1,49933
4	1,49720	1,49829	1,49927
5	1,49611	1,49801	1,49921
6	1,49545	1,49745	1,49913
7	1,49446	1,49710	1,49911
8	1,49345	1,49696	1,49893
9	1,49286	1,49671	1,49874
10	1,49254	1,49631	1,49821

Từ kết quả Bảng 3, trên Hình 5 ta có thể dễ dàng nhận biết, ảnh hưởng của mức sự cố từng loại thiết bị/máy thi công đến tốc độ đào hầm.



Hình 5. Biểu đồ ảnh hưởng của mức sự cố từng loại thiết bị thi công đến tốc độ đào hầm khẩu độ nhỏ

Kết quả cho thấy, sự cố hư hỏng máy xúc có ảnh hưởng mạnh nhất đến tốc độ đào sau đó là máy khoan, ảnh hưởng của sự cố xe tải đến tốc độ đào là thấp nhất. Tương tự như đối với đường hầm khẩu độ lớn ảnh hưởng của sự cố xe tải ít hơn so với 2 thiết bị còn lại, đối với trường hợp này ta thấy ảnh hưởng của sự cố máy xúc đến tốc độ đào hầm lớn hơn so với ảnh hưởng của máy khoan. Điều

này có thể lý giải bởi trong đường hầm khẩu độ nhỏ việc ách tắc ở khâu xúc đất đá lên xe sẽ ảnh hưởng nhiều đến tốc độ vận chuyển do đoạn vận chuyển trong hầm hẹp chỉ có 1 xe có thể đi qua, thời gian bốc xúc vận chuyển đất mất nhiều thời gian hơn và do vậy ảnh hưởng cũng sẽ lớn hơn. Đối với xe vận chuyển đất đá, tác động do sự cố kỹ thuật thông thường đến tốc độ đào hầm rất ít.



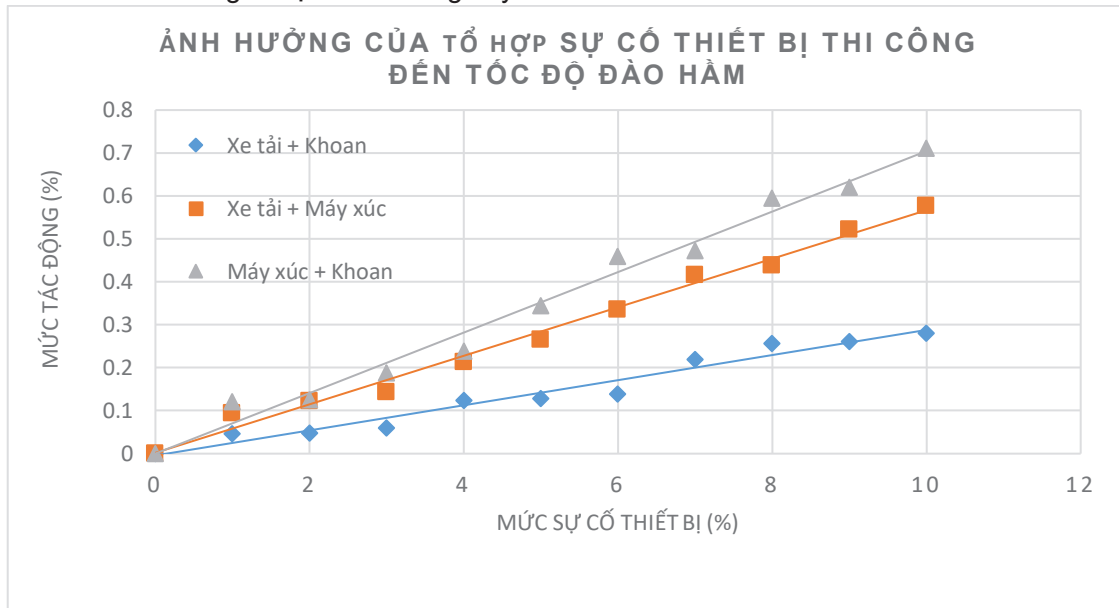
Đó là do xe được sử dụng theo đoàn, số lượng được tính toán phù hợp với tốc độ bốc xúc, do vậy năng lực làm việc của đoàn xe có tính dự trữ, thời gian sửa chữa ngắn, nên nếu có xe bị hư hỏng phải sửa chữa thì sự ngừng nghỉ của nó cũng chưa đủ làm xáo trộn mạnh hoạt động của cả đoàn xe trong sự phối hợp với máy xúc, từ đó ít tác động đến thời gian vận chuyển đất đá nói riêng.

3.2. Tác động của sự cố đồng thời nhiều loại thiết bị (sự cố tổ hợp)

Trong quá trình thi công trong một chu kỳ đào hầm có thể có tình huống là sự cố hư hỏng xảy ra

ở hơn 1 thiết bị. Đây là tình huống có thể xảy ra và tác động nhiều đến hoạt động đào hầm, đặc biệt trong các công đoạn mà các thiết bị 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.

Trong khảo sát này, các thiết bị thi công có thể xảy ra hỏng hóc với các xác suất hỏng khác nhau. Trên Hình 6 có thể cho thấy mức tác động đến tốc độ đào hầm trong các tình huống đó ở đường hầm khẩu độ nhỏ.



Hình 6. Biểu đồ ảnh hưởng của mức sự cố tổ hợp thiết bị thi công đến tốc độ đào hầm theo phương án toàn gương

Xem xét trên biểu đồ có thể thấy ảnh hưởng của máy xúc đến tốc độ đào hầm, ở cả 2 tổ hợp có sự hư hỏng máy xúc (Xe tải + máy xúc; Máy xúc + khoan) trên Hình 6 đều cho thấy ảnh hưởng lớn đến tốc độ đào hầm so với tổ hợp còn lại, điều đó cho thấy rõ sự chủ đạo của máy xúc trong chu kỳ thi công đào hầm. Khi các loại thiết bị 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.

4. KẾT LUẬN

➢ Trong thi công đào hầm nói chung và thi công đào hầm khẩu độ nhỏ nói riêng bằng khoan nổ ảnh hưởng của sự cố hư hỏng mỗi thiết bị thi công theo cách khác nhau sẽ ảnh hưởng đến tốc độ đào hầm. Trong đó các thiết bị thi công chủ đạo

như máy xúc, máy khoan sẽ ảnh hưởng lớn hơn đến tốc độ đào hầm, do đó trong quá trình chuẩn bị thi công cần có phương án hạn chế hư hỏng của các thiết bị trên hoặc cần giảm thiểu thời gian sửa chữa, thay thế thiết bị để nhanh chóng đưa thiết bị vào thi công nhằm hạn chế ảnh hưởng đến tốc độ thi công;

➢ Việc sử dụng mô phỏng quá trình thi công đào hầm khẩu độ nhỏ với việc khảo sát ảnh hưởng của các sự cố thiết bị thi công sẽ giúp người chỉ huy thi công có thể xem xét dựa trên năng lực thi công hiện có để 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 xác định là rất khó khăn □

**TÀI LIỆU THAM KHẢO**

- [1]. Nguyễn Tiến Tĩnh, Bùi Đức Năng, Trần Anh Bảo (2019). Xây dựng mô hình xác định của quá trình thi công hầm bằng khoan nổ. *Tạp chí Người Xây dựng*, số tháng 7&8-2019, 47-51.
- [2]. 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*, số tháng 9&10-2019, 52-54.
- [3]. Nguyễn Tiến Tĩnh, Đỗ Như Tráng, Bùi Đức Năng (2021). Sử dụng phần mềm Ezstrobe mô phỏng quá trình đào hầm bằng phương pháp khoan nổ. *Tạp chí Địa kỹ thuật*, số 1-2021, 10-17.
- [4]. 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*, số 3-2021, 30-36.
- [5]. 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*, số 363 & 364/2022, 63-66.
- [6]. Halpin, D. W. (1977), CYCLONE: Method for modelling of job site processes, *Journal of the Construction Division* 103(CO3), 489-499.
- [7]. Tien Tinh Nguyen, Tien Nam Nguyen (2023), Using a discrete event simulation tool to predict the advance rate of small cross section tunnelling by drilling and blasting method. *Section on Special Construction Engineering*, ISSN 1859-0209, Vol. 6 No. 01 (2023), 103-116.

USING SIMULATION TOOLS TO ASSESS THE IMPACT OF CONSTRUCTION EQUIPMENT BREAKDOWN ON SMALL CROSS SECTION TUNNELING ADVANCE RATE BY DRILLING AND BLASTINGTinh Tien Nguyen*, Quang Chu Cao¹

Military Technical Academy, 236 Hoang Quoc Viet, HaNoi, VietNam

ARTICLE INFOR

TYPE: Research Article

Received: 31/10/2024

Revised: 12/12/2024

Accepted: 22/12/2024

* Corresponding author:

Email: nguyentientinh@lqdtu.edu.vn

ABSTRACT

In the construction of small cross section tunnels by drilling and blasting, there are differences in the use of construction equipment due to the narrow construction space, which cannot accommodate large-capacity construction equipment, but requires the use of small equipment suitable for the tunnel aperture. Therefore, the impact of equipment failures is not the same as in the construction of large tunnels. The article presents the main results of using simulation tools to evaluate the impact of vehicle and construction equipment failures on the advance rate of digging small cross section tunnels by drilling and blasting. The results from the numerical example show the impact of the level of failures of each type of construction vehicle and construction vehicle combination on the advance rate of digging small cross section tunnels. This is necessary information for the officers in charge of tunnel construction to make decisions appropriate to specific conditions based on the capacity of construction equipment.

Keywords: *Simulation, EZstrobe, Small cross section tunnels, Drill and blast method*

@ Vietnam Mining Science and Technology Association