



Tạp chí điện tử
Khoa học và Công nghệ Giao thông
Trang website: <https://jstt.vn/index.php/vn>



Article info

Type of article:

Original research paper

DOI:

<https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2025.vn.5.2.117-127>

***Corresponding author:**

Email address:

nhanbnd@utt.edu.vn

Received: 09/03/2025

Received in Revised Form:
30/05/2025

Accepted: 30/06/2025

Using simulation tool to assess the impact of equipment breakdowns on the productivity of earthwork activities: a case study of a construction project on offshore island

Nam Quang Nguyen¹, Dung-Nhan Nguyen Bui^{2,*}

¹Le Quy Don Technical University, 236 Hoang Quoc Viet, Hanoi, Vietnam

²University of Transport Technology, 54 Trieu Khuc, Hanoi, Vietnam

Abstract: This study presents the main results of using discrete event simulation, namely EZStrobe, to quantify the impacts of equipment failures on the productivity of earthwork operations. A simulation model including activities during excavation and earthmoving is established and validated. Based on the probabilistic routing feature “Fork” in the EZStrobe simulation program, simulation scenarios of equipment failures are constructed. In which, equipment failure levels with different failure frequencies are evaluated and compared. The numerical example analysis results show different impact rates of equipment failures on productivity and confirm the important role of excavators and bulldozers when they fail. The results also show that severe breakdowns that take a long time to repair, even at low rates, cause significant impacts on productivity. The results of the study help managers clearly see the impact of equipment failures on project efficiency. Therefore, build specific plans to manage and use equipment effectively.

Keywords: Discrete Event Simulation; EZStrobe; Equipment Failure; Earthworks; Construction Project.



Thông tin bài viết
Dạng bài viết:
Bài báo nghiên cứu

DOI:
<https://doi.org/10.58845/jstt.utt.2025.vn.5.2.117-127>

*Tác giả liên hệ:
Địa chỉ Email:
nhanbnd@utt.edu.vn

Ngày nộp bài: 09/03/2025
Ngày nộp bài sửa: 30/05/2025
Ngày chấp nhận: 30/06/2025

Sử dụng công cụ mô phỏng đánh giá ảnh hưởng của sự cố thiết bị đến năng suất hoạt động thi công đất: một trường hợp nghiên cứu tại dự án xây dựng trên đảo xa bờ

Nguyễn Quang Nam¹, Bùi Nguyễn Dũng Nhân^{2,*}

¹Đại học Kỹ thuật Lê Quý Đôn, 236 Hoàng Quốc Việt, Hà Nội, Việt Nam

²Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải, 54 Triều Khúc, Hà Nội, Việt Nam

Tóm tắt: Nghiên cứu này trình bày các kết quả chính trong việc sử dụng mô phỏng sự kiện rời rạc, cụ thể là EZStrobe để định lượng các tác động của sự cố thiết bị đến năng suất của hoạt động thi công đất. Một mô hình mô phỏng bao gồm các hoạt động trong quá trình đào và vận chuyển đất được thiết lập và xác thực. Thông qua chức năng phân nhánh xác suất “Fork” có trong chương trình mô phỏng EZStrobe, các kịch bản mô phỏng về sự cố của thiết bị thi công với các tình trạng hỏng hóc, loại thiết bị hỏng hóc và tần suất hỏng hóc khác nhau được phân tích và so sánh. Kết quả phân tích ví dụ số đã cho thấy mức độ ảnh hưởng khác nhau của sự cố thiết bị đến năng suất, trong đó thể hiện rõ vai trò quan trọng của máy đào và máy ủi khi gặp sự cố. Kết quả cũng chỉ ra rằng, các thiết bị khi gặp sự cố nghiêm trọng phải sửa chữa dài ngày, mặc dù ở tỷ lệ thấp cũng gây ra các tác động đáng kể đến năng suất. Kết quả của nghiên cứu giúp cho người quản lý thấy rõ được tầm ảnh hưởng của sự cố thiết bị đến hiệu quả của dự án, từ đó xây dựng các kế hoạch cụ thể để quản lý và sử dụng thiết bị hiệu quả.

Từ khóa: Mô phỏng sự kiện rời rạc; EZStrobe; sự cố thiết bị; thi công đất; dự án xây dựng.

1. Giới thiệu

Thi công đất là một hoạt động cốt lõi trong hầu hết các dự án xây dựng. Và có ảnh hưởng trực tiếp đến tiến độ cũng như hiệu quả tổng thể của dự án. Với đặc trưng cơ giới hóa cao, hoạt động này phụ thuộc chủ yếu vào các thiết bị xây dựng hạng nặng như máy đào, xe tải và máy ủi. Thời gian hoạt động của các thiết bị quyết định phần lớn đến hiệu quả năng suất của dự án. Trong thực tế, sự cố thiết bị là một trong những nguyên nhân phổ biến gây gián đoạn thi công, làm giảm năng suất, kéo dài tiến độ và gia tăng chi phí ở nhiều loại công trường

xây dựng, từ khu vực đô thị, đến các công trình hạ tầng quy mô lớn. Trong bối cảnh ngành xây dựng ngày càng chịu áp lực về tiến độ, chi phí và yêu cầu chất lượng, các sự cố thiết bị không chỉ gây ra thiệt hại tức thời mà còn ảnh hưởng đến toàn bộ quá trình tổ chức thi công. Việc thiếu thiết bị thay thế, hoặc chậm trễ trong xử lý sự cố có thể làm phá vỡ kế hoạch thi công đã được lên lịch chặt chẽ. Tuy nhiên, vấn đề này lại thường bị đánh giá thấp trong giai đoạn lập kế hoạch thi công, do thiếu các công cụ phân tích định lượng và dữ liệu hỗ trợ ra quyết định. Điều đó dẫn đến tình trạng bị động trong điều

hành và ứng phó khi sự cố xảy ra. Tình trạng này càng trở nên nghiêm trọng hơn tại những công trường có điều kiện thi công đặc biệt như miền núi, vùng sâu vùng xa, hoặc các đảo xa bờ.

Hiện nay, trong các dự án xây dựng trên các đảo xa bờ tại Việt Nam, sự cố về thiết bị thường là nguyên nhân chính khiến hoạt động thi công đất ẩn chứa nhiều rủi ro đáng kể về năng suất, tiến độ và chi phí. Trong điều kiện thi công đặc biệt, việc thường xuyên tiếp xúc với môi trường biển đã gây ra các tình trạng hỏng hóc của thiết bị làm gián đoạn quá trình thi công. Mặt khác, việc khắc phục, sửa chữa các thiết bị cũng gặp rất nhiều khó khăn do tình trạng thiếu thợ sửa chữa chuyên nghiệp cũng như kinh nghiệm trong quản lý. Hơn nữa, khoảng cách địa lý và thời tiết trên biển phức tạp cũng khiến việc vận chuyển thiết bị, vật tư thay thế ra đảo mất nhiều thời gian và chi phí. Sự cố hỏng hóc thiết bị là điều khó tránh khỏi trong các dự án đặc thù ở đảo. Do đó, cần thiết phải xem xét đánh giá các ảnh hưởng của sự cố thiết bị ngay từ giai đoạn lập kế hoạch của dự án. Tuy nhiên, do chưa có phương pháp đánh giá phù hợp nên vấn đề này thường ít được quan tâm.

Ngày nay, chương trình mô phỏng đang phát triển mạnh mẽ và chứng minh được tính ứng dụng cao trong việc phân tích các hoạt động xây dựng. Trong hàng thập kỷ qua, công cụ mô phỏng đã được nhiều nghiên cứu sử dụng để phân tích, đánh giá các hoạt động xây dựng trong nhiều lĩnh vực khác nhau. Một số nghiên cứu điển hình có thể kể đến như: hoạt động thi công đất [1-3]; hoạt động thi công cọc khoan nhồi [4,5]; hoạt động thi công đường [6,7]; hoạt động thi công hầm [8,9]. Tuy nhiên, có rất ít nghiên cứu xem xét đến vấn đề sự cố của thiết bị khi phân tích hiệu suất các hoạt động xây dựng. Mặc dù nghiên cứu [9] đã cho thấy các mức độ ảnh hưởng khác nhau của sự cố thiết bị thi công đến tốc độ đào hầm nhưng mới chỉ xét đến trường hợp hỏng hóc thông thường và cần phát triển các hướng nghiên cứu tiếp theo để đánh giá một cách toàn diện ảnh hưởng của sự cố thiết bị đến hiệu suất thi công trong các hoạt động xây dựng khác.

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đưa ra giải pháp áp dụng công cụ mô phỏng sự kiện rời rạc để đánh giá tác động của sự cố thiết bị đến năng suất thi công trong hoạt động thi công đất tại các dự án xây dựng trên các đảo xa bờ. Mô hình mô phỏng được xây dựng và một thử nghiệm số dựa trên dự án thực tế được thực hiện nhằm đánh giá được mức độ ảnh hưởng của các tình huống sự cố thiết bị đến hiệu quả của dự án, từ đó giúp cho người quản lý dự án đưa ra các quyết định trong lập kế hoạch và điều hành thực hiện dự án một cách chủ động, hiệu quả.

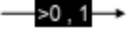
2. Giới thiệu chương trình mô phỏng EZStrobe

EZStrobe là một chương trình mô phỏng sự kiện rời rạc, sử dụng STROBOSCOPE [10] làm công cụ mô phỏng. Nó là một hệ thống mô phỏng mục đích chung đơn giản nhưng có khả năng mô hình hóa rất mạnh nhiều hoạt động phức tạp trong các lĩnh vực khác nhau. Chương trình dựa trên các sơ đồ chu trình hoạt động (ACD) mở rộng và có chú thích. EZStrobe được phát triển và chạy trong Microsoft Visio, một mô hình mô phỏng EZStrobe được thể hiện hoàn toàn bằng một mạng đồ họa, có các nút và liên kết được xây dựng bằng đồ họa kéo và thả từ khuôn mẫu EZStrobe. Giới thiệu đầy đủ về EZStrobe có thể tham khảo tại [10]. Các thành phần mô hình hóa cơ bản của EZStrobe được thể hiện trong Bảng 1.

EZStrobe cho phép mô hình hóa trực quan và hiệu quả các quy trình thi công trong ngành xây dựng. Trong các nghiên cứu trước đây, EZStrobe đã được sử dụng để phân tích và tối ưu hóa nhiều khía cạnh khác nhau của tổ chức thi công. Cụ thể, phần mềm này được áp dụng để mô hình hóa và đánh giá nhiều loại hoạt động thi công như vận chuyển đất [11], thi công mặt đường [12], lắp dựng cốt pha [13], thi công nền móng [14]... Bên cạnh đó, EZStrobe còn hỗ trợ đánh giá và tối ưu hóa việc sử dụng tài nguyên như thiết bị và nhân lực, từ đó đề xuất các phương án điều phối hiệu quả hơn [15]. Ngoài ra, công cụ này cũng đóng vai trò quan trọng trong việc hỗ trợ ra quyết định trong quản lý thi công, đặc biệt là khi thử nghiệm các chiến lược xây dựng tinh gọn như loại bỏ lãng phí, cải tiến

luồng công. Nhờ đó, EZStrobe không chỉ là một công cụ mô phỏng kỹ thuật, mà còn là một phương tiện nghiên cứu mạnh mẽ để nâng cao hiệu quả tổ chức và quản lý trong ngành xây dựng.

Bảng 1. Các thành phần mô hình hóa chính của mô phỏng EZStrobe [11]

Thành phần	Mô tả
	Combi biểu thị một hoạt động bị hạn chế bởi các điều kiện về tài nguyên. Hoạt động này sẽ bắt đầu khi có đủ các nguồn lực cần thiết.
	Normal biểu thị một hoạt động không có ràng buộc, nó sẽ bắt đầu tùy thuộc vào việc hoàn thành các hoạt động trước đó.
	Queue đại diện cho hàng đợi, nơi lưu giữ các tài nguyên cho hoạt động Combi.
	Fork là thành phần có chức năng định tuyến xác suất, nó sẽ chọn hướng đi cho tài nguyên di chuyển đến các hàng đợi hoặc thực hiện hoạt động tiếp theo.
	Draw Link biểu thị liên kết kéo, kết nối giữa hàng đợi với một hoạt động Combi.
	Release Link biểu thị liên kết thoát, kết nối giữa mọi hoạt động với các thành phần khác ngoại trừ hoạt động Combi.
	Branch Link biểu thị liên kết nhánh, kết nối một Fork với thành phần bất kỳ ngoại trừ hoạt động Combi.

3. Trường hợp nghiên cứu

3.1. Điều kiện đặc trưng thi công trên đảo xa bờ

Thi công đất trên các đảo xa bờ là một hoạt động xây dựng đặc thù, chịu ảnh hưởng mạnh mẽ bởi các điều kiện tự nhiên và địa hình. Trước hết, đặc điểm địa hình của đảo ảnh hưởng trực tiếp đến năng suất thi công. Địa hình đảo nhỏ, phân bố mặt bằng hạn chế, ảnh hưởng đến khả năng di chuyển và tổ chức dây chuyền thiết bị. Bên cạnh đó, yếu tố thời tiết và khí hậu biển đảo có tính bất định cao. Gió mạnh, sóng lớn, mưa bão thường xuyên xuất hiện theo mùa, có thể làm gián đoạn thi công hoặc gây hư hại cho máy móc, thiết bị. Ngoài ra, các hạn chế về nguồn cung vật tư, nhiên liệu và thiết bị do vị trí địa lý xa xôi là một yếu tố đặc biệt ảnh hưởng đến năng suất thi công. Vật liệu như xăng dầu, phụ tùng thay thế, thậm chí là nước ngọt và thực phẩm cho công nhân đều phải vận chuyển bằng tàu từ đất liền. Mọi gián đoạn trong khâu tiếp tế đều có thể kéo theo đình trệ trong dây chuyền thi công. Cùng với đó, vấn đề về nhân lực và điều kiện sinh

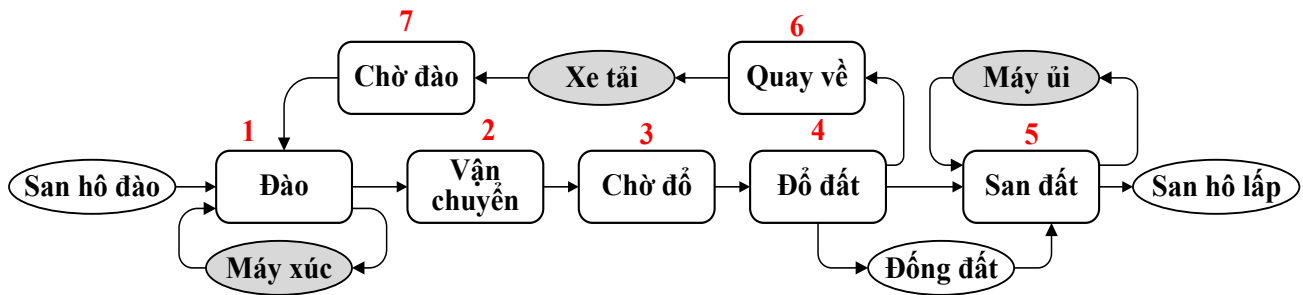
hoạt trên đảo cũng tác động đến năng suất thi công. Dưới thời tiết khí hậu biển khắc nghiệt, đội ngũ công nhân thường phải làm việc theo ca dài ngày, tách biệt với đất liền, dễ dẫn đến mệt mỏi, giảm hiệu quả nếu không có cơ chế hỗ trợ tâm lý và vật chất phù hợp.

3.2. Mô tả trường hợp nghiên cứu

Nghiên cứu điển hình dựa trên hoạt động thi công đất trong một dự án xây dựng trên đảo xa bờ ở Việt Nam. Trong dự án này, 800000 m³ cát san hô được đào, vận chuyển và san lấp. Tại công trường, nhà thầu tổ chức 06 tuyến đào đất, trên mỗi tuyến bố trí 01 máy xúc để đào và 03 xe tải để chở đất. Các đường tạm được xây dựng để kết nối từ bãi khai thác đến bãi đổ với cự ly vận chuyển trung bình 1.2 km. Để san đất tạo mặt bằng thi công, nhà thầu sử dụng 02 máy ủi. Bảng 2 cung cấp thông tin cụ thể về các thiết bị được sử dụng trong hoạt động thi công đất tại dự án. Sơ đồ quy trình thi công đào, vận chuyển và san lấp đất thực tế được thể hiện tại Hình 1.

Bảng 2. Thông tin chi tiết về các thiết bị được sử dụng trong hoạt động thi công đất

STT	Thiết bị	Loại mẫu	Số lượng (chiếc)	Dung tích (m ³)
1	Máy đào	XCMG - XE600DK	06	2,6
2	Xe tải	TONLY- TLM50	18	20
3	Máy ủi	KMS - D65PX	02	5,5



Hình 1. Sơ đồ quy trình thi công đào, vận chuyển và san lấp cát san hô

Để tiến hành nghiên cứu, các tình trạng hoạt động của thiết bị chính như máy đào, xe tải và máy ủi được theo dõi hàng ngày trong quá trình giám sát thi công tại công trường. Thực tế cho thấy, sự cố hỏng hóc của thiết bị diễn ra thường xuyên và được phân theo hai loại chính. Một là, sự cố thông thường với thời gian sửa chữa nhanh, từ 1 đến 2 giờ khắc phục thiết bị có thể hoạt động trở lại. Hai là, sự cố nghiêm trọng với thời gian khắc phục lâu, phải mất từ 2 đến 3 ngày để sửa chữa. Bảng 3 tổng hợp các tình trạng sự cố của thiết bị được theo dõi trong 4 tháng thi công. Trong đó, tần suất thiết bị gặp sự cố được xác định:

$$P_{i,j} = \left(\frac{x_{i,j}}{X} \right) \cdot 100(\%) \quad (1)$$

Trong đó: $P_{i,j}$ - tần suất loại thiết bị i gặp loại sự cố j ; $x_{i,j}$ - số lần loại thiết bị i gặp loại sự cố j ; X - số lượng chuyển cát san hô được vận chuyển.

4. Thiết lập mô hình EZStrobe và xây dựng kịch bản mô phỏng

4.1. Thu thập dữ liệu đầu vào cho mô phỏng

Trước khi tiến hành mô phỏng, một bước quan trọng là xác định phân phối thời gian phù hợp cho từng hoạt động thi công. Dựa trên sơ đồ quy trình thi công trình bày tại Hình 1, các hoạt động từ

bước 1 đến bước 7 được theo dõi trực tiếp tại hiện trường. Từ đó, tác giả thu thập được tập dữ liệu gồm 50 giá trị thời gian thực tế cho mỗi hoạt động. Các tập số liệu này sau đó được phân tích thống kê để xác định dạng phân phối xác suất phù hợp, tác giả sử dụng chức năng Best Fit của phần mềm Crystal Ball v11.2.

Để đánh giá mức độ phù hợp giữa phân phối được chọn và dữ liệu thực nghiệm, tác giả áp dụng kiểm định Kolmogorov–Smirnov (K–S). Đây là kiểm định phi tham số nhằm xác định xem có sự khác biệt đáng kể giữa phân phối quan sát và phân phối lý thuyết giả định hay không. Cụ thể, kiểm định K–S định lượng khoảng cách lớn nhất giữa hàm phân phối tích lũy thực nghiệm và hàm phân phối tích lũy lý thuyết của phân phối được lựa chọn.

Đối với các hoạt động sửa chữa thiết bị, do thời gian thực hiện phụ thuộc vào mức độ và loại hư hỏng cụ thể, nên không thể thu thập dữ liệu đầy đủ tại hiện trường. Vì vậy, để phản ánh đúng bản chất ngẫu nhiên và không xác định của các hoạt động này, tác giả đề xuất lựa chọn phân phối đều (Uniform) để diễn tả đặc trưng thời gian diễn ra hoạt động. Kết quả phân tích phân phối thời gian của từng hoạt động được trình bày trong Bảng 4.

Bảng 3. Tổng hợp các tình trạng sự cố về thiết bị thi công

Thời gian	Số lượng chuyển vận chuyển cát san hô	Số lần thiết bị gặp sự cố					
		Máy đào		Xe tải		Máy ủi	
		Thông thường	Nghiêm trọng	Thông thường	Nghiêm trọng	Thông thường	Nghiêm trọng
T4/2022	1554	2	0	5	1	2	0
T5/2022	1535	1	1	3	0	1	1
T6/2022	1562	3	0	6	1	1	0
T7/2022	1490	2	0	4	0	2	0
Tổng	6141	8	1	18	2	6	1
Tần suất gặp sự cố (%)		0,13	0,016	0,29	0,033	0,10	0,016

Bảng 4. Phân phối xác suất thời lượng các hoạt động trong mô hình mô phỏng EZStrobe

STT	Tên hoạt động	Ký hiệu hoạt động	Ký hiệu thời gian	Phân phối thời gian (giây)
1	Xe tải vào vị trí đào đất	Vaolaydat	t1	Normal[31.1,6.6]
2	Máy xúc đào đất tải lên xe tải	Daodat	t2	Normal[322.1,12.3]
3	Xe tải chở đất đến bãi đổ	Vanchuyen	t3	Triangle[325.8,365.6,397.5]
4	Xe tải vào vị trí đổ đất	Vaododat	t4	Normal[35.6,4.7]
5	Xe tải đổ đất	Dodat	t5	Normal[65.0,10.5]
6	Máy ủi san đất tạo mặt bằng	Sandat	t6	Normal[34.9,8.3]
7	Xe tải trở về vị trí chờ lấy đất	Quayve	t7	Triangle[280.8,307.7,338.6]
8	Sửa chữa máy xúc bị hỏng nặng	SuaMD1	tSMD1	Uniform[57600,86400]
9	Sửa chữa máy xúc bị hỏng nhẹ	SuaMD2	tSMD2	Uniform[3600,7200]
10	Sửa chữa xe tải bị hỏng nặng khi đầy tải	SuaXe1	tSXe1	Uniform[57600,86400]
11	Sửa chữa xe tải bị hỏng nhẹ khi đầy tải	SuaXe2	tSXe2	Uniform[3600,7200]
12	Sửa chữa xe tải bị hỏng nặng khi không tải	SuaXe3	tSXe3	Uniform[57600,86400]
13	Sửa chữa xe tải bị hỏng nhẹ khi không tải	SuaXe4	tSXe4	Uniform[3600,7200]
14	Sửa chữa máy ủi bị hỏng nặng	tSMU1	tSMU1	Uniform[57600,86400]
15	Sửa chữa máy ủi bị hỏng nhẹ	tSMU2	tSMU2	Uniform[3600,7200]

Ghi chú: Các giá trị đặc trưng của hàm phân phối được ngăn cách bởi dấu “ ” (phẩy).

4.2. Thiết lập mô hình và xây dựng kịch bản mô phỏng trên EZStrobe

Sau khi thu thập đầy đủ các dữ liệu cần thiết, mô hình mô phỏng quá trình thi công thực tế được thiết lập trên EZStrobe và được thể hiện như trên Hình 2. Trong nghiên cứu này, các tình huống thiết bị thi công gặp sự cố cần phải sửa chữa được xem xét và đánh giá thông qua phần tử Fork và các liên kết nhánh tạo ra từ nó. Fork là một phần tử định tuyến xác suất, khi phiên bản của hoạt động trước đó kết thúc, Fork sẽ chọn một trong các tình huống tiếp theo cho tài nguyên và khả năng xảy ra đối với tình huống cụ thể được chọn phụ thuộc vào thuộc tính xác suất “ P ” của liên kết nhánh nối Fork đối với đối tượng tiếp sau được lựa chọn.

Dựa trên các dữ liệu tổng hợp về tình trạng sự cố của thiết bị trong Bảng 3, các kịch bản mô phỏng được xây dựng giả định với 3 trường hợp. Trường hợp 1, các thiết bị thi công bị sự cố thông thường với tần suất hỏng hóc từ 0,1 đến 0,3%, thời gian sửa chữa từ 1 đến 2 giờ. Trường hợp 2, các thiết bị thi công bị sự cố nghiêm trọng với tần suất hỏng hóc từ 0,01 đến 0,03%, thời gian sửa chữa từ 2 đến 3 ngày. Trường hợp 3, các thiết bị thi công

gặp sự cố tổng hợp, khi vừa xảy ra hỏng hóc thông thường và hỏng hóc nghiêm trọng. Trong mỗi trường hợp, các kịch bản về từng loại thiết bị riêng rẽ bị sự cố và tất cả các thiết bị cùng gặp sự cố được tiến hành phân tích để đánh giá toàn diện các tác động đến năng suất thi công.

5. Kết quả mô phỏng và đánh giá

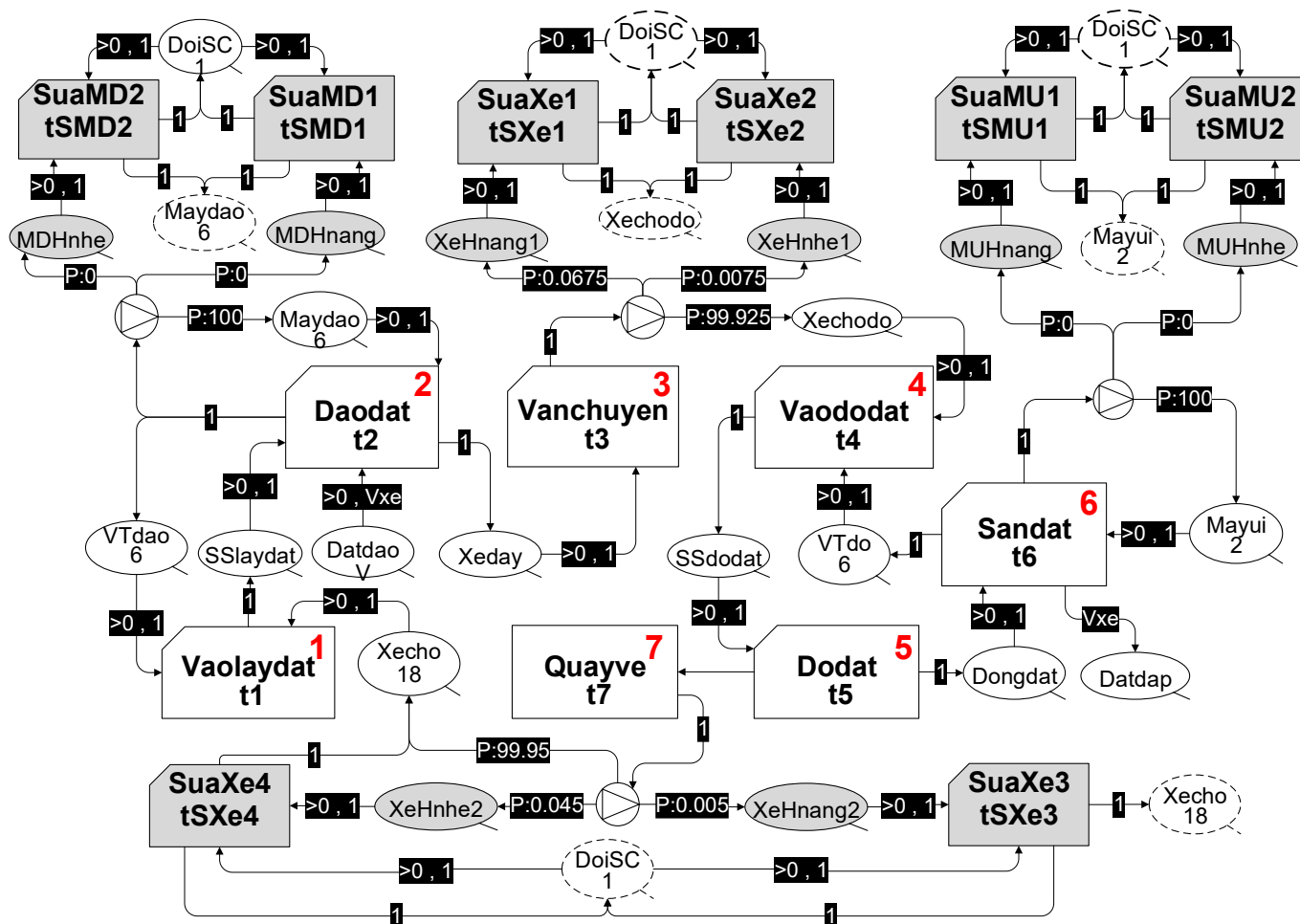
Để có kết quả phân tích sau khi chạy mô phỏng, các tham số kết quả chính được khai báo trong phần mềm EZStrobe. Bảng 5 thể hiện các tham số kết quả đầu ra cho mô phỏng.

Để hiểu rõ các kết quả đầu ra của mô phỏng, một số ký hiệu trong bảng được giải thích cụ thể như sau: SimTime - Thời gian chạy mô phỏng tính bằng (giây); Queue.AveWait - Thời gian chờ trung bình cho các tài nguyên trong hàng đợi; t2 - Thời gian máy xúc đào san hồ; t3 - Thời gian xe tải vận chuyển; t4 - Thời gian xe tải chờ để đổ đất; t5 - Thời gian xe tải đổ san hồ; t6 - Thời gian máy ủi san gạt san hồ; V - Tổng khối lượng cát san hồ, ($V = 800,000 \text{ m}^3$).

Sau khi mô hình được kiểm tra lỗi thông qua chế độ chạy hoạt ảnh, tác giả tiến hành xác thực mô hình nhằm đảm bảo tính chính xác và độ tin

cây của mô hình. Một phương pháp phổ biến để xác thực mô hình là so sánh đầu ra mô phỏng với dữ liệu quan sát được từ thực tế và thời gian là thước đo phù hợp nhất để so sánh. Do đó, thời gian chu kỳ được sử dụng trong nghiên cứu này là một tiêu chí để so sánh sự tương đồng giữa mô phỏng và thực tế. Thời gian chu kỳ cho các hoạt

động đào đất là thời gian thực hiện một chu kỳ bao gồm các hoạt động đào, vận chuyển và lắp đất cho một đơn vị đất. Việc xác thực được diễn ra với 10 lần lặp lại mô phỏng để thu thập kết quả về thời gian chu kỳ. Bảng 6 trình bày kết quả so sánh thời gian chu kỳ sau 10 lần chạy mô phỏng với thời gian chu kỳ thực tế đo được.



Hình 2. Mô hình mô phỏng hoạt động thi công đào, vận chuyển và san lấp đất tại dự án

Bảng 5. Tham số kết quả đầu ra cho mô phỏng

STT	Tham số	Mô tả	Công thức khai báo trong mô phỏng
1	Time	Tổng thời gian thi công (giờ)	$\text{SimTime}/(60 \times 60)$
2	Productivity	Năng suất thi công ($\text{m}^3/\text{giờ}$)	V/Time
3	CycleTime	Thời gian chu kỳ (phút)	$(\text{Maydao.AveWait} + t2 + t3 + \text{Xechodo.AveWait} + t4 + t5 + \text{Mayui.AveWait} + t6)/60$

Bảng 6. Kết quả xác thực mô hình

Số lần đo (mô phỏng)	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Trung bình	Độ lệch	Sai khác (%)
Thời gian chu kỳ (phút)	Thực tế	27,2	25,9	25,9	25,4	25,7	26,4	25,8	24,2	26,4	25,9	0,8	2,5
	Mô phỏng	25,5	25,5	25,2	25,0	25,4	25,5	24,8	25,3	24,8	25,2	0,3	

Kết quả trình bày trong Bảng 6 cho thấy độ chênh lệch giữa mô hình mô phỏng và dữ liệu thực tế là 2,5%, thấp hơn ngưỡng cho phép là 5%, do đó có thể chấp nhận được. Như vậy, mô hình mô phỏng đã được xác thực, và đủ điều kiện để sử dụng trong việc phân tích và đánh giá hoạt động thi công trong thực tế.

Để đánh giá tác động của sự cố thiết bị đến năng suất. Trước tiên, cần phân tích kịch bản trong

trường hợp các thiết bị hoạt động tốt, không gặp sự cố để tìm giá trị năng suất lý tưởng. Tiến hành chạy mô phỏng 10000 lần với tần suất thiết bị gặp sự cố $P = 0$. Kết quả mô phỏng về giá trị năng suất này là $N_0 = 1088,46$ (m³/giờ). Các kịch bản khác nhau về sự cố thiết bị sau đó được phân tích để so sánh và đánh giá. Kết quả phân tích về năng suất và độ giảm năng suất được tổng hợp trong Bảng 7.

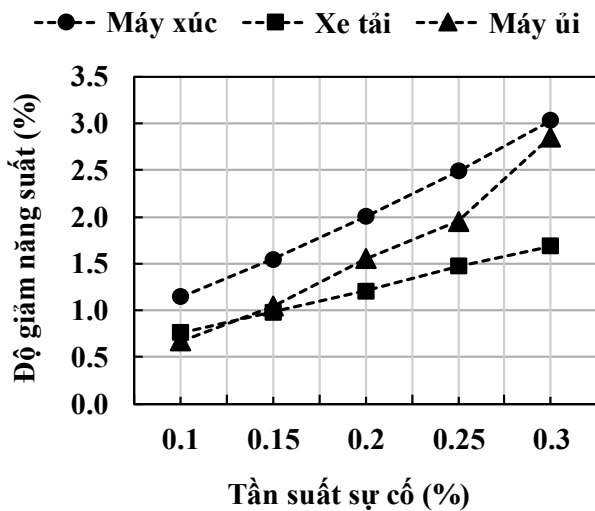
Bảng 7. Kết quả phân tích từ mô phỏng về năng suất và độ giảm năng suất do sự cố thiết bị

Trường hợp sự cố	Cấp độ sự cố	Tần suất sự cố (%)	Năng suất thi công khi có sự cố theo từng loại thiết bị (m ³ /giờ)				Độ giảm năng suất do sự cố của từng loại thiết bị gây ra (%)			
			Máy đào	Xe tải	Máy ủi	Cả 3 thiết bị	Máy đào	Xe tải	Máy ủi	Cả 3 thiết bị
Sự cố thông thường	1	0,10	1076,01	1080,15	1081,15	1067,43	1,14	0,76	0,67	1,93
	2	0,15	1071,61	1077,76	1077,08	1052,12	1,55	0,98	1,05	3,34
	3	0,20	1066,67	1075,34	1071,57	1032,16	2,00	1,21	1,55	5,17
	4	0,25	1061,39	1072,45	1067,18	1003,77	2,49	1,47	1,95	7,78
	5	0,30	1055,49	1070,09	1057,35	972,17	3,03	1,69	2,86	10,68
Sự cố nghiêm trọng	1	0,010	1070,71	1077,08	1077,60	1056,15	1,63	1,05	1,00	2,97
	2	0,015	1063,78	1075,08	1067,40	1026,02	3,03	1,72	2,58	9,50
	3	0,020	1055,46	1069,79	1060,40	985,08	4,50	2,86	4,94	18,86
	4	0,025	1048,57	1065,51	1043,41	945,22	6,86	3,67	8,75	32,00
	5	0,030	1039,43	1057,35	1034,65	883,23	8,58	4,78	11,73	40,31
Sự cố tổng hợp	1	TT+NT	1055,83	1073,59	1032,59	948,34	3,00	1,37	5,13	12,87
	2	TT+NT	1031,30	1063,70	992,73	829,59	5,25	2,27	8,79	23,78
	3	TT+NT	996,78	1049,21	945,13	719,72	8,42	3,61	13,17	33,88
	4	TT+NT	965,91	1031,35	902,63	632,83	11,26	5,25	17,07	41,86
	5	TT+NT	932,36	1012,17	866,01	561,42	14,34	7,01	20,44	48,42

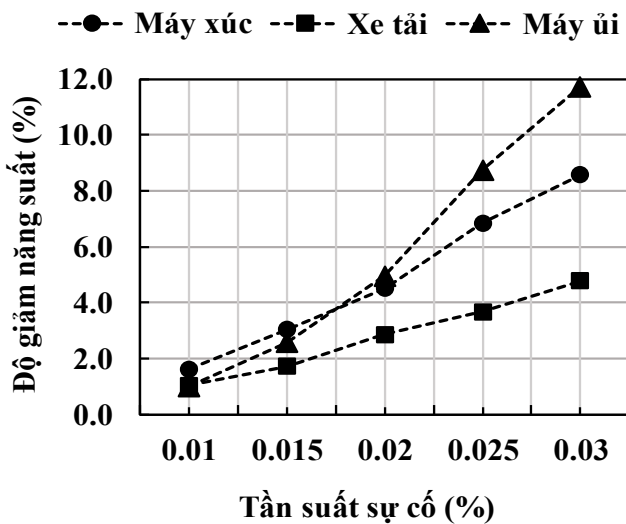
Trong Bảng 7, “TT” là tần suất sự cố thông thường và “NT” biểu thị tần suất sự cố nghiêm trọng. Ngoài ra, Việc phân chia các cấp độ từ 1 đến 5 trong từng nhóm sự cố được thiết lập dựa trên nguyên tắc tăng dần của tần suất xảy ra sự cố theo kết quả thu thập thực tế trong Bảng 3. Cụ thể, trong nhóm sự cố thông thường, cấp độ 1 tương ứng với tần suất hỏng hóc thấp nhất là 0,10%, trong khi cấp độ 5 ứng với tần suất cao nhất là 0,30%. Tương tự, trong nhóm sự cố nghiêm trọng, tần suất được phân chia từ 0,01% (cấp độ 1) đến 0,03% (cấp độ 5). Đối với nhóm sự cố tổng hợp, các cấp độ được

thiết lập dựa trên sự kết hợp tương ứng giữa tần suất của hai loại sự cố nói trên (ví dụ, cấp độ 1 bao gồm tần suất sự cố thông thường 0,10% kết hợp với sự cố nghiêm trọng 0,01%).

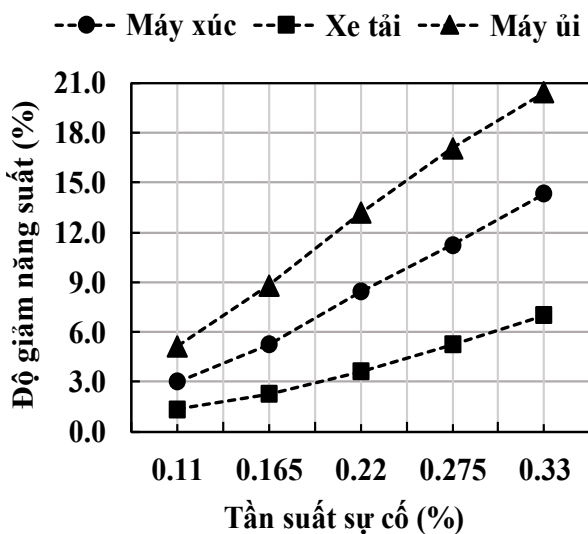
Từ các kết quả trong Bảng 7, để nhận biết và đánh giá một cách trực quan mức độ giảm năng suất do tác động sự cố của từng loại thiết bị riêng lẻ được so sánh dưới dạng biểu đồ thể hiện trong các Hình 3, 4 và 5. Bên cạnh đó, các ảnh hưởng đến năng suất trong tình huống tất cả các thiết bị đều có thể gặp sự cố được biểu diễn so sánh trong biểu đồ Hình 6.



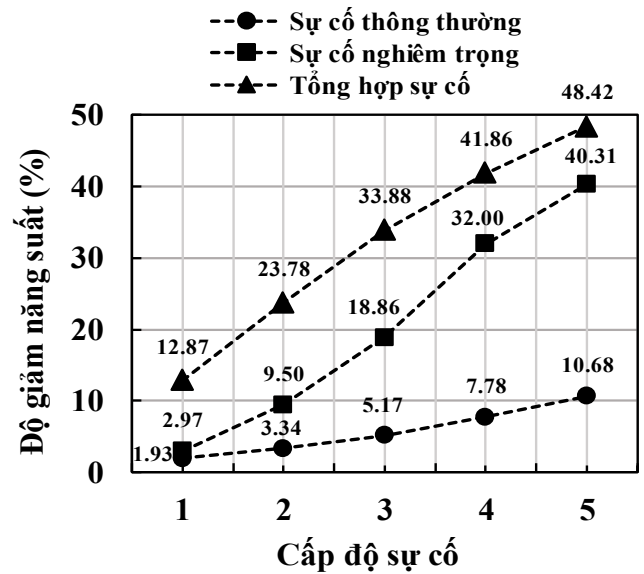
Hình 3. Biểu đồ ảnh hưởng của sự cố thông thường theo từng loại thiết bị đến năng suất



Hình 4. Biểu đồ ảnh hưởng của sự cố nghiêm trọng theo từng loại thiết bị đến năng suất



Hình 5. Biểu đồ ảnh hưởng của sự cố tổng hợp theo từng loại thiết bị đến năng suất



Hình 6. Biểu đồ ảnh hưởng của loại sự cố đến năng suất khi tất cả các thiết bị đều gặp sự cố

Đánh giá tác động của các sự cố thông thường tại Hình 3 cho thấy, việc máy xúc bị hỏng hóc đã ảnh hưởng nhiều nhất đến năng suất, với độ giảm năng suất lớn nhất là 3,05%, bằng 32,97 m³/giờ. Trong điều kiện hạn chế về số lượng thiết bị, việc máy đào ngừng hoạt động khi gặp sự cố sẽ dẫn đến tình trạng chờ đợi của xe tải để lấy đất, làm cho năng suất thi công đào đất kém hiệu quả. Với trường hợp sự cố nghiêm trọng, mặc dù tần suất xảy ra ở mức thấp, nhưng các ảnh hưởng của chúng đến năng suất là rất đáng kể. Hình 4 cho thấy, sự cố của máy ủi gây ra tổn thất năng suất lớn nhất với 11,73%, tương ứng giảm 53,81 m³/giờ. Bên cạnh đó, độ giảm năng suất do sự cố của máy xúc và xe tải cũng tăng khá nhiều so với trường hợp sự cố thông thường. Điều này có thể lý giải, các sự cố nghiêm trọng của thiết bị như máy đào hay máy ủi, thường phải tốn nhiều thời gian để sửa chữa trong khi số lượng thiết bị lại có hạn. Máy ủi nếu gặp sự cố sẽ làm cho hoạt động san đất bị trì hoãn, đồng thời làm chậm quá trình đổ đất của xe tải và dẫn đến việc kéo dài chu kỳ thi công, gây ra các tổn thất lớn về năng suất. Đánh giá tác động của sự cố của xe tải, trong cả 2 trường hợp đều có ảnh hưởng ít đến năng suất. Vì số lượng xe tải lớn với 18 chiếc, việc một vài xe gặp sự cố cũng sẽ không gây ảnh hưởng nhiều đến năng suất vận chuyển đất.

Biểu đồ trong Hình 5 thể hiện các ảnh hưởng đến năng suất trong trường hợp thiết bị gặp sự cố tổng hợp. Kết quả cho thấy, độ giảm năng suất đã gia tăng đáng kể so với hai trường hợp trước. Đứng đầu là sự cố của máy ủi đã khiến năng suất giảm 20,44%, tương ứng 222,45 m³/giờ. Tiếp đến là sự cố của máy đào, gây ra tổn thất năng suất 14,34 %, cùng với đó tác động của sự cố xe tải cũng khiến hao hụt năng suất 7,01%. Từ các đánh giá trên có thể thấy vai trò chủ đạo của máy ủi và máy đào trong trường hợp chỉ một loại thiết bị thi công gặp sự cố. Mặt khác, Hình 6 đã cho thấy trường hợp cả ba loại thiết bị đều gặp sự cố có ảnh hưởng rất lớn đến năng suất. Đáng kể nhất là sự cố tổng hợp với tần suất cao nhất có thể khiến năng suất thi công giảm 48,42%. Trong điều kiện thiếu thợ sửa chữa chuyên nghiệp, khi gặp các sự cố tổng hợp với nhiều thiết bị hỏng hóc, các thiết bị thường phải chờ để được khắc phục khiến thời gian sửa chữa kéo dài. Điều này đã tác động không nhỏ đến hiệu quả năng suất thi công.

6. Kết luận

Dựa vào chương trình mô phỏng EZStrobe, nghiên cứu đã xây dựng được một mô hình mô phỏng các hoạt động thi công đất sát thực tế. Phương pháp mô phỏng đã cho thấy tính ưu việt trong việc phân tích và định lượng các rủi ro của quá trình thi công như sự cố của thiết bị. Kết quả của nghiên cứu đã chỉ ra các mức độ ảnh hưởng khác nhau của sự cố thiết bị đến năng suất, trong đó đáng chú ý là các tác động từ sự cố của máy đào và máy ủi. Từ đó, khẳng định vai trò chủ đạo của 2 loại thiết bị này trong quá trình thi công. Hơn thế nữa, trong trường hợp bất lợi nhất, khi tất cả các thiết bị đều gặp sự cố với tần suất cao, có thể gây ra tổn thất lớn cho năng suất lên đến 48,42%.

Thiết bị thi công có vai trò rất quan trọng trong các dự án xây dựng có mức độ cơ giới hóa cao, chúng quyết định phần lớn đến hiệu quả năng suất và chất lượng của dự án. Do đó, việc đảm bảo cho các thiết bị hoạt động tốt và hạn chế tối thiểu các sự cố hỏng hóc là điều rất cần thiết để dự án hoàn thành đúng tiến độ và chất lượng đã đề ra. Dựa trên việc phân loại các sự cố thiết bị và đánh

giá tác động của chúng cho thấy, kết quả của nghiên cứu có tính dự báo cao, giúp cho người quản lý thi công có thể xây dựng kế hoạch và dự trù các phương án tổ chức thi công với các điều kiện trang thiết bị sẵn có.

Mặc dù mô hình mô phỏng đã phản ánh khá sát thực quá trình thi công thực tế, tuy nhiên vẫn còn một số yếu tố khách quan chưa được xét đến, như điều kiện thời tiết, địa chất hay trình độ vận hành thiết bị. Việc bổ sung các yếu tố này sẽ giúp nâng cao tính toàn diện và độ tin cậy của mô hình. Do đó, trong các nghiên cứu tiếp theo, nhóm tác giả định hướng mở rộng mô hình để tích hợp các yếu tố nêu trên, đồng thời xem xét kết hợp với các công cụ tối ưu hóa và hỗ trợ ra quyết định nhằm tăng cường hiệu quả ứng dụng trong công tác lập kế hoạch và điều hành thi công xây dựng.

Tài liệu tham khảo

- [1] M. Marzouk, O. Moselhi (2003). Object-oriented simulation model for earthmoving operations. *Journal of Construction Engineering and Management*, 129(2), 173-181. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2003\)129:2\(173\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2003)129:2(173))
- [2] P.V. Rekapalli, J.C. Martinez. (2011). Discrete-event simulation-based virtual reality environments for construction operations: Technology introduction. *Journal of Construction Engineering and Management*, 137(3), 214-224. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000270](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000270)
- [3] N. Markiz, A. Jade. (2017). An expert system to optimize cost and schedule of heavy earthmoving operations for earth- and rock-filled dam projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 23(2), 222-231. <https://doi.org/10.3846/13923730.2015.1027258>
- [4] M.Z. Tarek, W.H. Daniel. (2005). Pile Construction Productivity Assessment. *Journal of Construction Engineering and Management*, 131(6), 704-714. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-)

- 9364(2005)131:6(705)
- [5] Q.N. Nguyen, D.N. Bui. (2021). Forecasting construction schedule of bored pile with discrete event simulation tool. *Journal of Science and Technique, Section on Special Construction Engineering*, 4(2), 47-56. <https://doi.org/10.56651/lqdtu.jst.v4.n02.342.sce>
- [6] V. González, T. Echavegure. (2012). Exploring the environmental modeling of road construction operations using discrete-event simulation. *Automation in Construction*, 24(1), 100-110. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2012.02.011>
- [7] M. Lu. (2003). Simplified discrete event simulation approach for construction simulation. *Journal of Construction Engineering and Management*, 129(5), 537-546. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2003\)129:5\(537\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2003)129:5(537))
- [8] N.T. Tĩnh, Đ.N. Tráng, B.Đ. Năng, T.A. 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*, 3/2021, 30-36.
- [9] N.T. 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*, 2/2022, 63-66.
- [10] J.C. Martinez. (1996). STROBOSCOPE: State and Resource Based Simulation of Construction Process. *Ph.D. Dissertation 1996, University of Michigan, MI, USA*.
- [11] J.C. Martinez. (2001). EZStrobe - general-purpose simulation system based on activity cycle diagrams. *Proceedings of the 2001 Winter Simulation Conference*, vol 2, 1556-1564. <https://doi.org/10.1109/WSC.2001.977485>
- [12] T. Younes, F.M. Ni, S. Tighe. (2020). Risk analysis in paving operations using discrete event simulation: a case study of Taiwan permeable asphalt concrete pavement pilot road project. *International Journal of Pavement Engineering*, 21(7), 830-840. <https://doi.org/10.1080/10298436.2018.1511785>
- [13] H.A. Khalik, S. Khoury, R. Aziz, M.A. Hakam. (2015). Simulation analysis for schedule and performance evaluation of slip forming operations. *American Journal of Civil Engineering*, 3(1), 9-25. doi: 10.11648/j.ajce.20150301.12
- [14] H. Zahran, K. Nassar. (2013). Modeling pipeline projects using computer simulation. *2013 Winter Simulations Conference (WSC)*, pp. 3269-3281. doi: 10.1109/WSC.2013.6721692
- [15] Q.N. Nguyen. (2024). Simulation analysis to forecast progress and optimize resource utilization for material transportation activities in the construction project on phu quy island. *Journal of Science and Technique, Section on Special Construction Engineering*, 7(1). 46-59. DOI: 10.56651/lqdtu.jst.v7.n01.829.sce