

PHÂN TÍCH RỦI RO TRONG THI CÔNG HỒ ĐÀO SÂU

Phạm Quang Tú^{a,*}, Nguyễn Ngọc Toàn^b

^aKhoa Công trình, Trường Đại học Thủy Lợi, Số 175 Tây Sơn, Đống Đa, Hà Nội, Việt Nam

^bKhoa Xây dựng dân dụng và công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng,
số 55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 19/10/2020, Sửa xong 04/11/2020, Chấp nhận đăng 04/11/2020

Tóm tắt

Hồ đào sâu trong xây dựng nhà cao tầng ở các đô thị đóng vai trò quan trọng, vừa tiết kiệm quỹ đất, vừa tối ưu hóa công năng của tòa nhà. Việc thi công hồ đào sâu thường gặp các vấn đề phức tạp như: sự cố lún sụt, biến dạng các công trình lân cận, mất ổn định công trình chống đỡ hồ đào hoặc các nguyên nhân bất lợi khác từ bên ngoài. Nhiều sự cố đáng tiếc đã xảy ra thi khi công hồ đào sâu, gây thiệt hại không ít về người và tài sản. Thực tế này đòi hỏi phải có những biện pháp quản lý chặt chẽ hơn nữa, để giảm thiểu những sự cố khi thi công hồ đào sâu. Bài báo này trình bày nguyên lý phân tích rủi ro khi thi công hồ đào sâu và các biện pháp giảm thiểu. Ví dụ áp dụng minh họa cho hồ đào sâu ở Đông Hội được trình bày chi tiết.

Từ khóa: rủi ro; quản lý xây dựng; hồ đào sâu; sự cố; phân tích rủi ro.

RISK ANALYSIS IN CONSTRUCTION OF DEEP EXCAVATION

Abstract

Deep excavation of the high-rise building, in urban area, plays important roles in saving the land acquirement as well as in optimising the function of the building. The construction works often meet difficulties such as ground surface subsidence, unexpected deformation of the surrounding structures, failures of braces, anchors, walls or others external difficulties. Many unexpected incidents were occurred in the construction process, resulted in massive human and property costs. More comprehensive management solutions are required to reduce the risk of incidents in the construction of deep excavation. This paper presents the risk analysis framework in the construction of deep excavation as well as the mitigation measures to reduce risk. An example of risk analysis for Dong Hoi deep excavation is also presented.

Keywords: risk; project management; deep excavation; incident; risk analysis.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14\(5V\)-09](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2020-14(5V)-09) © 2020 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Giới thiệu

Hồ đào sâu là công trình thường gặp trong xây dựng nhà cao tầng ở các đô thị lớn hoặc các công trình đặc thù có hồ móng nằm sâu dưới mặt đất. Đây là hạng mục công trình ngầm thi công phức tạp do sự tương tác giữa môi trường đất đá với kết cấu móng, tương tác đồng thời với sự có mặt của nước dưới đất, xem chi tiết trong [1–3]. Việc phân loại hồ đào có thể được tiến hành theo nhiều phương pháp nhưng phương pháp phân loại theo kết cấu neo giữ hoặc biện pháp thi công như trình bày trong Bảng 1 là phổ biến. Tùy từng điều kiện cụ thể của nền, kết cấu phía trên và điều kiện mặt bằng, các công trình lân cận cũng như tiến độ, thời gian thi công... mà có giải pháp gia cố hồ móng cho phù hợp.

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: tupq@tlu.edu.vn (Tú, P. Q.)

Bảng 1. Phân loại hố đào theo kết cấu neo giữ.

STT	Kết cấu neo giữ/ PP thi công	Phạm vi áp dụng
1	Tường ngầm	Thường dùng cho hố đào nông, kết cấu sử dụng là cọc ván thép, cọc BTCT đổ tại chỗ... tùy theo chiều sâu hố đào, cấu trúc nền đất, công trình xung quanh, tiến độ thi công... mà sử dụng từng loại cọc cho phù hợp
2	Tường có neo, thanh chống gia cường	Khi yêu cầu không chế chuyển vị khắt khe hơn, hố móng đào sâu hơn... cần có các giải pháp gia cường chủ động (neo) hoặc bị động (thanh chống)
3	Vách hầm kết hợp thi công sàn chống đỡ từ trên xuống (top-down/semi top-down)	Sử dụng biện pháp thi công kết hợp vách tường hầm để thi công từ trên xuống hoặc kết hợp rồi đào từ dưới lên
4	Gia cố xử lý nền	Gia cố đất ở nền và mái đào bằng phụt vữa xi măng áp lực cao (jet grouting), đinh đất, phụt vữa áp lực thấp...

Các nghiên cứu trong và ngoài nước thường tập trung vào phân tích các bài toán kết cấu chống đỡ, tương tác giữa kết cấu và môi trường đất đá để đánh giá hệ số an toàn tổng thể của hố đào, chuyển vị ngang của tường cũng như độ lún của mặt đất quanh hố móng. Ou [1] đã trình bày nguyên lý tính toán thiết kế chi tiết hố đào sâu với các bài toán cơ bản đến phức tạp, có ý nghĩa tham khảo tốt cho kỹ sư thực hành về hố đào sâu. Ahmed [2], BCA-Singapore [3], Van Tol và Korff [4], Yongan [5] tổng hợp các nghiên cứu mới nhất về đánh giá ổn định hố đào sâu, các sự cố trong quá trình thi công cũng như các biện pháp khắc phục thường được sử dụng, ví dụ như sự cố hố đào tại đường hầm lên nhánh cao tốc Nicoll ở Singapore, sự cố thi công tại đường metro Amsterdam, Hà Lan cũng như các sự cố tại các nước khác như Trung Quốc, Ai Cập, Đức... Nhóm các sự cố cũng đã được tổng kết lại trong các nghiên cứu này, trong đó tập trung vào môi trường nền, kết cấu chống đỡ, biện pháp thi công, thời gian thi công, các hiệu ứng về kích thước hình học... và đề xuất các phương pháp tiếp cận nghiên cứu từ truyền thống - tính toán giải tích, mô hình số đến các phương pháp sử dụng trí tuệ nhân tạo, mô hình vật lý cũng như quan trắc, cảnh báo. Nhìn chung, đánh giá sự cố hố đào, tính toán ổn định hố đào... là các bài toán tương đối cơ bản hiện đang được cải tiến công nghệ tính toán, dự báo cho phù hợp với xu hướng phát triển khoa học công nghệ.

Với tốc độ đô thị hóa nhanh như hiện nay, quỹ đất xây dựng trong đô thị trở nên ngày càng khan hiếm. Việc khai thác không gian ngầm ngày càng được quan tâm. Các công trình dân dụng có quy mô 4 đến 6 tầng hầm xuất hiện ngày càng nhiều hơn. Nghiên cứu trong nước về hố đào sâu cũng gắn liền với lịch sử phát triển các đô thị lớn ở nước ta như Hà Nội, TP Hồ Chí Minh, Đà Nẵng, Hải Phòng... với các tầng hầm sâu, sự cố và bài học rút ra trong mỗi dự án. Kế [6] đã giới thiệu các nguyên lý tính toán cơ bản về hố đào sâu tới cộng đồng kỹ sư Việt Nam qua các phương pháp tiếp cận của trường phái Xô Viết (cũ), có kết hợp các phương pháp mới kế thừa của các nước Tây Âu. Ngoài ra, sự cố tại hố móng sâu cao ốc Pacific tại Quận 1 - TP Hồ Chí Minh cũng được tác giả phân tích, đánh giá chi tiết với các luận giải và bài học rút ra [7]. Nghĩa [8], Minh [9] cũng trình bày các nguyên lý tính toán,

các phân tích tương tự tại một số dự án xây dựng ở Việt Nam trong những năm gần đây. Các phương pháp nghiên cứu được trình bày bởi các tác giả có ý nghĩa thực tế cao, tuy nhiên chỉ giải quyết các vấn đề mang tính truyền thống, chưa trình bày được nguyên lý phân tích và tính toán rủi ro theo tiếp cận mới của thế giới.

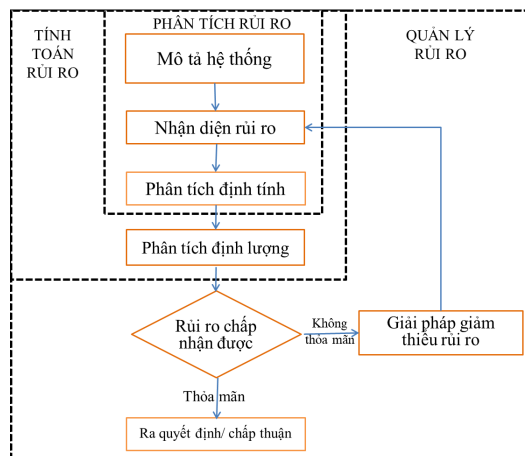
Phân tích rủi ro và quản lý rủi ro được phát triển và ứng dụng trong nhiều chuyên ngành kỹ thuật xây dựng như kết cấu, thủy công, địa kỹ thuật... và được đề xuất ứng dụng trong quản lý rủi ro hố đào sâu. Abdel-Rahman [10], Huang và Bian [11], Liu và Ren [12] có trình bày các phương pháp quản lý rủi ro trong thi công hố đào sâu nhưng mỗi nghiên cứu chỉ đề cập đến các khía cạnh khác nhau. Trong [10] tác giả dựa vào kết quả quan trắc để đưa ra những cảnh báo như những tiếp cận truyền thống cho hố đào metro ngầm ở Cairo, Ai Cập. Trong [11, 12] các tác giả chỉ tập trung giới thiệu sơ lược phương pháp lý thuyết mà không có ví dụ áp dụng. Thuật ngữ rủi ro “risk” đã được đề cập nhiều nhưng đa phần là tiếp cận định tính, phân tích nguyên nhân và diễn giải cách thức khắc phục sự cố. Nguyễn Đức Công và cs. [13] có trình bày tổng quan các vấn đề nghiên cứu rủi ro trong xây dựng. Trung và Nga [14] có đề cập khái niệm rủi ro kỹ thuật trong phân tích nguyên nhân sự cố các dự án giao thông ở Việt Nam. Tuy nhiên, những tác giả trên cũng chỉ dừng ở mô tả sơ lược khái niệm và nguyên nhân rủi ro mà chưa có nghiên cứu chuyên sâu. Việc lượng hóa rủi ro luôn là nhân tố quan trọng, có ý nghĩa quyết định trong việc đề xuất giải pháp quản lý và giảm thiểu rủi ro. Faber [15], Vrouwenvelder và Holicky [16], Vrijling và Van Hengel [17] có đề cập chi tiết cách tiếp cận lượng hóa rủi ro, là cơ sở cho thiết kế theo xác suất, đã được phát triển thành cơ sở tính toán trong EUROCODE. Một số nghiên cứu mới còn đưa các lý thuyết tập mờ, trí tuệ nhân tạo... để dự báo rủi ro cho hố đào dựa trên các tập dữ liệu trong quá khứ và phân tích của các mô hình dự báo [18–22].

Trong bài báo này, các tác giả tiếp cận quản lý rủi ro theo bài toán tổng thể, từ phân tích định tính tới phân tích định lượng. Bên cạnh đó, các thông số kiểm soát rủi ro là mức chuyển vị cho phép của tường cừ, độ lún cho phép của mặt đất quanh hố móng... cũng được phân tích đánh giá căn cứ kinh nghiệm thực hành của Singapore - quốc gia có diện tích hẹp, đô thị phát triển với nhiều hố đào sâu, điều kiện kinh tế xã hội có nét tương đồng với định hướng phát triển của Việt Nam, từ đó có đề xuất đánh giá cho hố đào sâu tại Đông Anh, Hà Nội. Nghiên cứu này cũng đề xuất phương pháp quản lý rủi ro hố đào sâu theo hướng tiếp cận mới và áp dụng để đánh giá rủi ro cho hố móng cụ thể theo từng cao trình đào. Căn cứ số liệu quan trắc chuyển dịch cừ, lún mặt đất cũng như dao động mực nước ngầm, kỹ sư hiện trường có thể đánh giá được nguy cơ rủi ro thực sự có thể xảy ra cho hố đào, từ đó có ứng xử và giải pháp phù hợp.

2. Rủi ro và quản lý rủi ro khi thi công hố đào sâu

Nhìn chung, rủi ro là tổng hợp sự cố có thể xảy ra và hậu quả của sự cố đó [23]. Sự cố là các sự kiện không mong muốn xảy ra, trong đó người ta thường quan tâm đến xác suất sẽ xảy ra sự cố. Trong quản lý rủi ro thi công hố đào sâu, các khả năng xảy ra sự cố thường phụ thuộc vào các yếu tố như: tải trọng tác động, độ bền chống đỡ của kết cấu cũng như đất nền... Hậu quả thường được đề cập đến là những thiệt hại vật chất, phi vật chất, được lượng hóa bằng con số cụ thể.

Quản lý rủi ro là quy trình tổng thể, được thể hiện qua nhiều bước: (1) phân tích rủi ro: bao gồm mô tả hệ thống, nhận diện rủi ro, phân tích định tính rủi ro; (2) tính toán rủi ro; (3) quản lý rủi ro: từ giá trị rủi ro tính toán được, đối chiếu với tiêu chuẩn rủi ro từ đó đề xuất và thực hiện các giải pháp giảm thiểu, hạn chế rủi ro. Sơ đồ Hình 1 trình bày tổng thể các bước phân tích rủi ro, tính toán rủi ro và quản lý rủi ro. Chi tiết sẽ được trình bày trong các mục dưới đây, xem thêm trong [23].



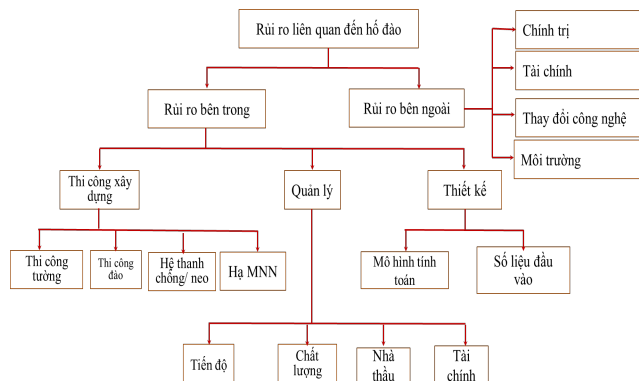
Hình 1. Sơ đồ phân tích tổng thể rủi ro [23]

2.1. Phân tích rủi ro

Bước đầu tiên trong phân tích rủi ro là mô tả hệ thống. Hệ thống là toàn bộ các yếu tố (phần tử) liên quan đến kết cấu hồ đào, các công tác có liên quan đến thiết kế, thi công, quản lý... Trong bước này, các yếu tố trên được liệt kê và sắp xếp dựa trên các mối liên hệ của chúng. Tiếp đó, tiến hành nhận diện rủi ro liên quan đến hồ đào. Nhận diện rủi ro là chỉ ra những sự cố, yếu tố không mong muốn, các nguy cơ thực tế có thể xảy ra sự cố đối với các yếu tố trong hệ thống đã chỉ ra ở trên. Sau khi rủi ro đã được nhận diện, tiến hành phân tích định tính. Nghĩa là, xem xét mối quan hệ của các yếu tố đã nhận diện, là cơ sở cho phân tích định lượng sau này. Với hồ đào sâu, các sự cố thường gặp có thể kể ra bao gồm các nguyên nhân từ bên trong và nguyên nhân từ bên ngoài.

Nhóm các nguy cơ từ bên trong có thể kể đến các sai sót trong quá trình khảo sát (khảo sát địa hình, địa kỹ thuật, thủy văn), thiết kế tính toán, thi công và quản lý dự án. Theo đặc thù làm việc của kết cấu chống đỡ, có thể liệt kê ra các tác nhân liên quan như: tường cừ, neo, thanh chống, hạ thấp mực nước ngầm...

Nhóm các nguy cơ bên ngoài được đề cập đến bao gồm các tác động từ thời tiết (mưa, nắng, bão), động đất, các biến đổi về mặt xã hội, chế độ, chính sách... có thể gây kéo dài dự án, dẫn tới các bất định, rủi ro trực tiếp hoặc gián tiếp cho công trình. Hình 2 trình bày chi tiết các nguồn gây rủi ro sự



Hình 2. Rủi ro liên quan đến hồ đào sâu

cổ cho hố đào sâu.

Yongan [5] đã tiến hành phân tích hơn 160 sự cố hố đào và đã cho thấy có 5 vấn đề lớn cần quan tâm như thống kê trong Bảng 2.

Bảng 2. Thống kê các nguyên nhân gây sự cố hố đào sâu

STT	Nguyên nhân gây ra sự cố	Số lần phát sinh	Tỷ lệ trong tổng sự cố (%)
1	Vấn đề thuộc quản lý	10	6
2	Vấn đề thuộc khảo sát	7	3,5
3	Vấn đề thuộc thiết kế	74	46
4	Vấn đề thuộc thi công	66	41,5
5	Vấn đề thuộc quan trắc	5	3

Như vậy, ở Trung Quốc, nhóm rủi ro do lỗi trong thiết kế, thi công chiếm đa số trong các nguyên nhân gây sự cố hố đào. Rủi ro này cũng nên được chú ý trong công tác quản lý rủi ro hố đào sâu tại Việt Nam.

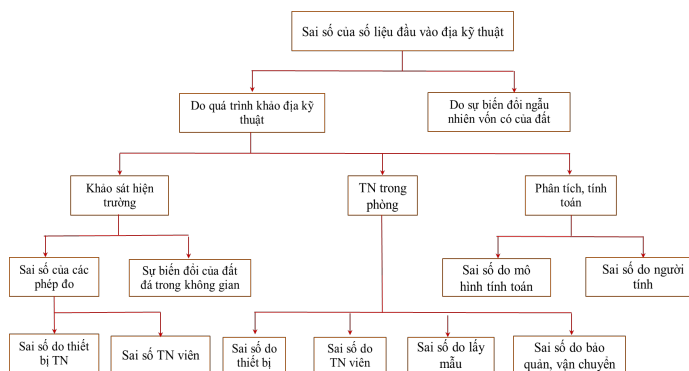
a. Rủi ro từ bên trong

Rủi ro từ bên trong là các rủi ro liên quan tới các công tác triển khai thi công dự án, từ công tác quản lý dự án đến khảo sát, thiết kế và thi công. Từng nhóm công việc được đưa ra xem xét, rà soát để nhận diện rủi ro.

- Rủi ro từ khảo sát địa kỹ thuật

Nền đất luôn chứa đựng nhiều rủi ro, bất định, trong đó có những bất định mang yếu tố tự nhiên vốn có, chúng đã được sinh ra và hàm chứa các rủi ro như sự biến đổi của các lớp đất đá trong không gian về chỉ tiêu cơ học, vật lý, bề dày... Ngoài ra, có những yếu tố bất định mà ta có thể hạn chế được liên quan đến quá trình lập phương án, kế hoạch, do quá trình khoan, lấy mẫu, thí nghiệm trong phòng, hiện trường, phân tích số liệu... [24-26].

Chẳng hạn, với hố đào sâu, ngoài các yêu cầu khảo sát và thí nghiệm thông thường, các thí nghiệm sau cần được cân nhắc đề xuất: thí nghiệm nén ba trục với các sơ đồ U-U, C-U, C-D để xác định các thông số tương ứng trạng thái ứng suất của đất nền khi làm việc, thí nghiệm xác định hệ số nở hông,



Hình 3. Các sai số có thể gặp trong khảo sát địa kỹ thuật

thí nghiệm bơm hút nước hiện trường để xác định hệ số thấm của đất nền (nếu là cát), thí nghiệm cắt cánh (nếu nền là đất yếu)... Nhìn chung, công việc càng phức tạp thì chứa đựng sai số càng nhiều.

Hình 3 trình bày các sai số có thể liên quan tới công tác khảo sát địa kỹ thuật. Trong đó các sai số do quá trình khảo sát hiện trường, thí nghiệm trong phòng và phân tích số liệu đóng vai trò chủ yếu.

- Rủi ro từ thiết kế

Sai sót trong tính toán thiết kế là nhóm nguyên nhân chính, có thể giảm thiểu được thông qua nâng cao hiểu biết và nhận thức của các chủ thể tham gia trong quá trình thiết kế, thẩm tra, thẩm định. Các sai sót có thể gặp trong tính toán hố đào sâu là: lựa chọn các thông số tải trọng, sức kháng, đất nền không đúng; lựa chọn các mô hình tính toán không phù hợp; mực nước ngầm, tải trọng ngoài vượt quá giới hạn khống chế; lỗi tính toán tường vây, thanh chống, neo...

- Rủi ro trong quá trình quản lý

Quản lý dự án là chu trình khép kín trong vòng đời dự án, từ khi chuẩn bị đầu tư đến bàn giao, đưa vào sử dụng. Ở đây chỉ đề cập đến quản lý dự án trong giai đoạn thi công hố đào. Trong quản lý tiến độ, chất lượng, giá thành, an toàn, môi trường... thời gian bị kéo dài là nhân tố gây bất lợi rõ nhất. Biện pháp thi công chỉ được thiết kế trong khoảng thời gian nhất định, với các yếu tố đầu vào được khống chế cho phù hợp với điều kiện biên bài toán. Khi kéo dài thời gian thi công, các điều kiện biên bị thay đổi, kết quả tính toán ổn định kết cấu công trình sẽ không đảm bảo. Ngoài ra, chậm giải ngân vốn gây khó khăn cho thanh quyết toán, tốc độ thi công, khả năng huy động vật tư, thiết bị, máy móc... không như kế hoạch, nhà thầu năng lực yếu, không đảm bảo, cán bộ kỹ thuật công trường yếu, chuyên môn không đảm bảo, kiểm soát chất lượng không tốt... cũng là các nguyên nhân gây rủi ro thi công.

- Rủi ro trong quá trình thi công

Đây là nhóm nguyên nhân quan trọng, ảnh hưởng đến các sự cố thi công hố đào sâu. Theo nhóm công việc, có thể phân chia ra các công việc thi công cụ thể như: thi công neo không đảm bảo chất lượng, việc này có liên quan tới quá trình khoan tạo lỗ không đủ chiều dài, lỗ khoan không đủ đường kính, góc nghiêng của neo không đúng hồ sơ thiết kế; cáp neo không đủ cường độ và chiều dài yêu cầu; phụt vữa không đủ áp lực, nồng độ, tạo ra bầu neo không đủ kích thước, vật liệu vữa không đủ thành phần, cường độ như yêu cầu; căng kéo neo không đạt yêu cầu, khóa neo bị hỏng... Thi công tường cừ không đảm bảo chất lượng có thể liên quan tới chiều dài cọc, vật liệu làm cọc, các khuyết tật, mối nối không đảm bảo, các thiết bị neo giữ, chống đỡ. Việc thi công hạ thấp mực nước ngầm có thể gây ra những rủi ro nghiêm trọng đến quá trình làm việc của các kết cấu neo, tường cừ, thanh chống... sai lầm trong công tác này có thể kể đến là sự cố mất điện, bơm hỏng không vận hành đúng kế hoạch, các giếng hạ thấp mực nước ngầm bị tắc...

Các nguyên nhân khác có thể gây sự cố trong quá trình thi công hố móng sâu bao gồm: mất ổn định thành hố đào do các tải trọng xe thi công, vật liệu thi công được tập kết gần hố đào, các sự cố do tải trọng bất thường như mưa bão, động đất... có thể gây các tác động tiêu cực tới ổn định hố đào.

b. Các rủi ro từ bên ngoài

Là những rủi ro xảy ra do các nguyên nhân khác, không liên quan trực tiếp đến các công tác khảo sát, thiết kế và thi công gây ra. Rủi ro từ thời tiết được coi là một trong nguồn rủi ro lớn bởi các yếu tố cực đoan của thời tiết có thể ra các hình thái thời tiết bất lợi trong quá trình thi công hố đào, có thể kể ra đây các hiện tượng bất lợi như: mưa lớn, mưa trong thời gian dài, bão, lũ... Các bất lợi có thể

kể đến là mưa lớn gây ngập hồ móng, dâng cao mực nước nước mặt, bổ cập làm dâng cao mực nước ngầm dưới hồ móng, hư hỏng hệ thống tiêu thoát nước mặt, nước ngầm... Nước mưa có thể làm suy giảm tính chất của đất đá quanh hồ đào, có thể làm mất ổn định hồ móng và công trình lân cận. Các yếu bất lợi khác có tần suất xuất hiện nhỏ hơn, tác động tới hồ đào như động đất, bão... cũng cần được xem xét trong phân tích tính toán.

Ngoài ra, các rủi ro về mặt xã hội như chính trị bất ổn, thay đổi về thể chế, chính sách, dịch bệnh, chiến tranh... cũng có những tác động tiêu cực tới dự án nói chung và quá trình thi công hồ đào sâu nói riêng. Chúng có thể gây ra việc kéo dài thời gian thi công, thay đổi các điều kiện biên của bài toán, làm ảnh hưởng trực tiếp tới các chủ thể tham gia trong dự án như chủ đầu tư, nhà thầu thi công, nhà thầu tư vấn...

2.2. Tính toán rủi ro

Đây là bước quan trọng, lượng hóa rủi ro đã được phân tích định tính, trình bày trong mục 2.1. Faber [15], Vrouwenvelder và Holicky [16], Vrijling [17, 23], Singh và Jain [27], định nghĩa rủi ro là:

$$R = P_f C^n \quad (1)$$

trong đó P_f là xác suất sự cố công trình; C^n là thiệt hại do sự cố xảy ra, C là thiệt hại và n là hệ số mũ, có xét đến chấp nhận của xã hội với sự cố. Ở Việt Nam, có thể kiến nghị $n = 1$ [17].

Mục tiêu là phải giảm thiểu rủi ro, nghĩa là tìm được R cực tiểu với các tham số đầu vào để điều chỉnh hoặc đề xuất các giải pháp phòng chống để rủi ro đạt giá trị nhỏ nhất.

a. Xác suất sự cố

Xác suất sự cố công trình ở đây hiểu là sự cố của hồ đào sâu, đó là hệ thống được thiết lập từ các phần tử: tường cừ, neo, mực nước ngầm... cũng như công tác khảo sát, thiết kế, quản lý dự án... Các phần tử này được xác định có quan hệ nối tiếp nghĩa là khi một phần tử bị sự cố, cả hệ thống sẽ bị sự cố kéo theo. Từ sự biến đổi của các biến đầu vào, tải trọng hoặc sức kháng, ta sẽ tính toán được xác suất sự cố của từng phần tử theo các ứng xử vật lý, cơ học của chúng, xem chi tiết trong tài liệu [17].

b. Thiệt hại do sự cố

Phương pháp xác định thiệt hại là tính toán tất cả các thiệt hại hữu hình và vô hình. Thiệt hại hữu hình là những chi phí cần bỏ ra để khắc phục sự cố (vật liệu, nhân công, máy), ngoài các chi phí trực tiếp, còn có các chi phí gián tiếp. Nếu có người thiệt mạng, chi phí cần được tính đến để bồi thường tổn thất không mong muốn cho gia đình, người thân để họ có thể tiếp tục có các hỗ trợ vật chất trong cuộc sống khó khăn sau khi mất người thân. Ngoài ra các tổn thất vô hình khác như tổn thất về danh tiếng, uy tín của các đối tượng liên quan đến sự cố, các thiệt hại khác không đo đếm được... cũng cần được xem xét, tính toán.

2.3. Kiểm soát rủi ro

Sau khi tính toán được rủi ro, cần đối chiếu với tiêu chuẩn chấp nhận rủi ro của từng cá nhân hay cả cộng đồng. Thông thường, rủi ro cá nhân chấp nhận được thường cao hơn của cả cộng đồng do các đặc trưng về thiệt hại, tổn thất. Một cá nhân khi gặp sự cố không mong muốn, thiệt hại họ có thể chấp nhận cao do tính riêng lẻ, cá biệt, mỗi đối tượng sẽ có cách thích nghi tương ứng với điều kiện hoàn cảnh cụ thể của họ. Khi sự kiện xảy ra trong cả cộng đồng, thiệt hại sẽ nhân lên gấp bội, do đó cần giảm thấp rủi ro trong những trường hợp này thông qua khống chế xác suất sự cố nhỏ hơn để tổng thiệt hại là thấp nhất.

Với hố đào sâu hiện nay, chưa có tiêu chuẩn rủi ro chấp nhận được cho các công trình cụ thể nhưng có thể tham khảo thực hành ở một số quốc gia để đối chiếu và áp dụng cho Việt Nam. Sau khi đối chiếu với rủi ro chấp nhận được, cần triển khai các bước tiếp theo nếu rủi ro dưới ngưỡng cho phép. Trường hợp ngược lại, rủi ro trên giới hạn cho phép, cần thiết phải có các biện pháp giảm thiểu rủi ro và quay lại kiểm tra xem rủi ro có vượt ngưỡng cho chấp nhận được hay không, xem chi tiết trên sơ đồ Hình 1.

3. Phân tích rủi ro cho hố đào khu nhà ở tái định cư và nhà ở xã hội tại xã Đông Hội, huyện Đông Anh, TP Hà Nội

3.1. Giới thiệu tổng quan về công trình

Dự án nhà ở xã hội, tái định cư và nhà ở cao tầng thuộc các lô 5B2, 5B3, 5B4 và 5B5 nằm ở phía Bắc cầu Đông Trù, thuộc địa phận xã Đông Hội, huyện Đông Anh, Hà Nội. Công trình 5B3 có qui mô với 4 tòa căn hộ chung cư cao từ 33 đến 39 tầng, với 3 tầng hầm với tổng diện tích đất xây dựng hơn 25000 m². Diện tích hố móng lên tới 11000 m² được thi công theo phương pháp đào hở từ dưới lên có tường cừ kết hợp neo đất gia cố (sau này gọi tắt chung là hố đào sâu Đông Hội). Địa tầng khu vực xây dựng gồm các lớp đất đá như sau:

- Lớp A: Đất lấp gồm cát, sạn sỏi, xám đen;
- Lớp 1: Sét pha xám nâu, xám đen, trạng thái dẻo mềm;
- Lớp 2: Cát hạt nhỏ xám đen, xám ghi, xám trắng, kết cấu chặt vừa;
- Lớp 5: Cát lẫn sạn sỏi, cuội xám trắng kết cấu rất chặt.

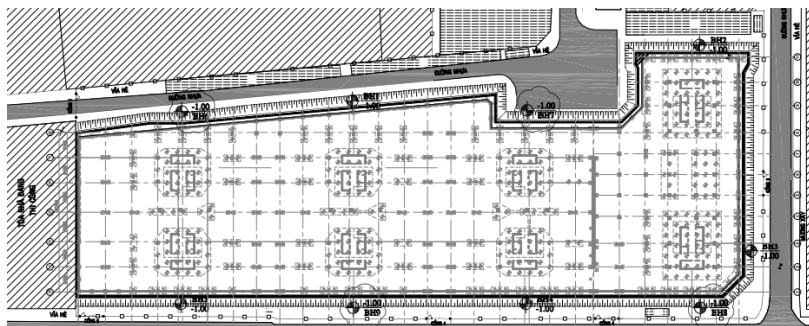
- Các lớp 3, 4, 4a, 5b là những thấu kính sét xám đen, trạng thái nửa cứng phân bố không liên tục, xem chi tiết trong báo cáo kết quả khảo sát địa chất [28].

Công trình có 3 tầng hầm, chưa kể đến các hố pit thang máy, tổng độ sâu đào là 17 m, mực nước ngầm nằm cao, có nguy cơ ảnh hưởng đến an toàn hố móng và tiến độ thi công. Giải pháp gia cường hố móng được sử dụng là cừ lasen dài 18 m kết hợp neo đất 3 tầng, chiều dài neo từ 19 đến 27 m, bầu neo 10 m, thép neo là thép đặc chủng nhập khẩu, bước neo 1m/neo/hàng. Cá biệt tại khu vực cần 4 hàng neo để gia cố hố móng do xuất hiện lớp đất có cường độ thấp, cục bộ. Số liệu dùng trong tính toán mô hình được sử dụng trong Bảng 4.

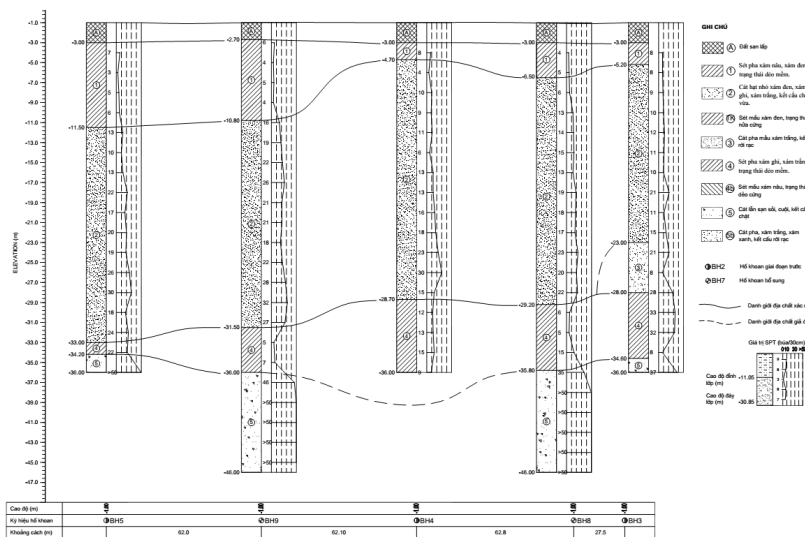
Bảng 3. Thông số neo dùng trong tính toán

Lớp	Thân neo		Bầu neo	
	Chiều dài (m)	EA (kN)	Chiều dài (m)	EA (kN)
1	17	76990	10	795200
2	17	76990	10	795200
3	17	76990	10	795200
4	9	76990	10	795200

Công tác thi công phần ngầm được phối hợp nhịp nhàng giữa công tác đào đất, thi công cừ, hạ thấp mực nước ngầm, thi công neo, bê tông móng, tầng hầm. . . Tại mỗi cao trình đào, mực nước ngầm được khống chế luôn thấp hơn cao trình đáy móng 1 m đảm bảo thuận lợi cho phương tiện di chuyển dưới hố móng cũng như các công tác thi công khác.



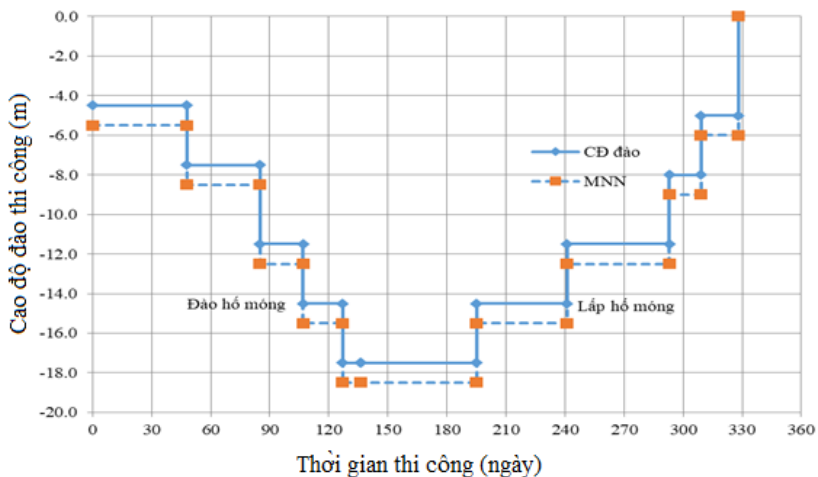
Hình 4. Mặt bằng tổng thể hố đào sâu Đông Hội (nhà 5B3)



Hình 5. Mặt cắt địa chất điển hình của hố đào sâu Đông Hội

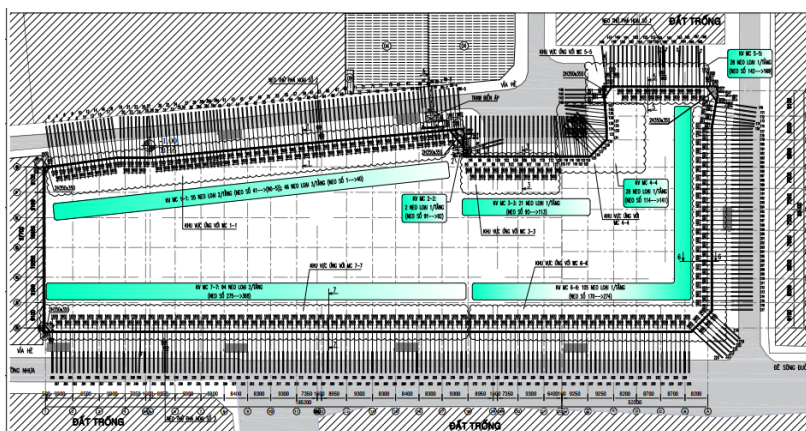
Bảng 4. Tổng hợp chỉ tiêu cơ lý các lớp đất hố móng Đông Hội

Thông số	Tên	Đơn vị	Lớp A	Lớp 1	Lớp 2	Lớp 5
Trọng lượng riêng trên M.N.N	γ_{unsat}	kN/m ³	18,0	18,9	18,0	18,7
Trọng lượng riêng dưới M.N.N	γ_{sat}	kN/m ³	18,3	19,3	18,5	19,0
Mô đun biến dạng	E_{50}^{ref}	kN/m ²	7000	3800	1400	13800
	E_{oed}^{ref}	kN/m ²	7000	3800	11400	13800
	E_{ur}^{ref}	kN/m ²	21000	11400	34200	41400
Hệ số nở hông	ν_{ur}		0,2	0,2	0,2	0,2
Áp lực buồng tham khảo	p_{ref}	kN/m ²	100	100	100	100
Lực dính đơn vị	c	kN/m ²	5	15,6	2	1
Góc ma sát trong	ϕ	độ	20	13	28	35
Góc nở	ψ	độ	0	0	0	5
Hệ số triệt giảm tiếp xúc	R_{inter}		0,7	0,67	0,7	0,7



Hình 6. Tiến độ đào và yêu cầu khống chế MNN

Mực nước ngầm luôn được khống chế bởi 105 giếng với bơm 5-7,5 HP vận hành theo các quy trình tối ưu để mực nước ngầm được hạ thấp kịp thời, không ảnh hưởng đến hố đào nhưng cũng không lãng phí khi vận hành.



Hình 7. Mặt bằng bố trí neo tầng 1-3

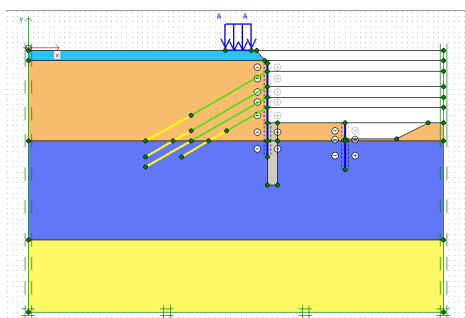
3.2. Phân tích rủi ro hố đào sâu Đông Hội

Trong phần này trình bày các vấn đề liên quan đến rủi ro định tính và định lượng khi thi công tường cừ, có đối chiếu tới các quy định thực hành ở một số nước Châu Âu, Mỹ và Singapore để đối chiếu và áp dụng cho Việt Nam [1–3, 5].

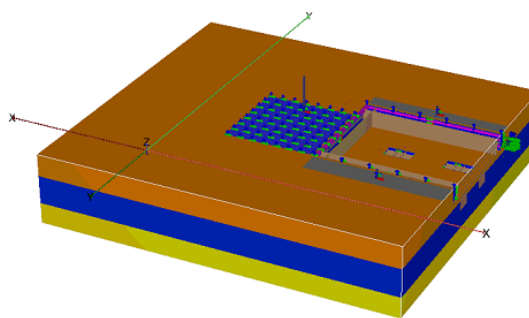
a. Tính toán ổn định hố móng

Đây là cách tiếp cận truyền thống, với các tham số tính toán là tất định và phương pháp tính toán theo các quy trình, quy phạm và chỉ dẫn kỹ thuật hiện hành. Với hố móng sâu, các bài toán cần giải quyết là ổn định tường cừ, chuyển vị cừ, sụt lún công trình lân cận.

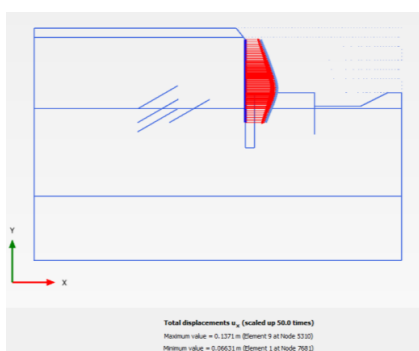
Để giải quyết các bài toán này, mô hình số Plaxis 2D và 3D thường được sử dụng để tính toán ứng suất, chuyển vị theo từng giai đoạn thi công, tải trọng sẽ được mô phỏng tương ứng để xem xét tương tác của đất nền. Qua mô phỏng, chuyển vị và ổn định của hố đào được mô tả như sau (xem Hình 8).



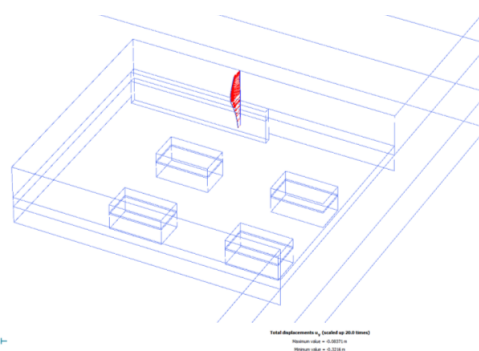
(a) Sơ đồ bài toán 2D



(b) Sơ đồ bài toán 3D



(c) Chuyển vị hố đào khi chưa gia cố CDM, bài toán 2D



(d) Chuyển vị hố đào khi có gia cố CDM, bài toán 3D

Hình 8. Sơ đồ tính toán Plaxis 2D và 3D

Kết quả tính toán ổn định tường cừ theo bài toán phẳng được trình bày trong Bảng 5.

Bảng 5. Tổng hợp chuyển vị cừ trong các giai đoạn thi công theo bài toán Plaxis 2D

Giai đoạn thi công	Lỗ khoan	MNN sau cừ (m)	Chuyển vị ngang của cừ (cm)	Chuyển vị đỉnh cừ (*) (cm)	Lún đất sau cừ (cm)	FS
Đào đất đến cao độ -4.5	BH06	-6,6	8,5	8,5	4,4	1,49
		-6,6	9,3	6,8	5	1,47
Đào đất đến cao độ -7.5	BH06	-8,5	8,6	5,9	5,8	1,50
		-6,6	12	8,1	6,2	1,48
Đào đất đến cao độ -11.5	BH06	-12,5	9,9	5,4	10,2	1,63
		-6,6	17,4	11,4	10,5	1,57
Đào đất đến cao độ -14.5	BH06	-15,5	12,5	6,6	15,9	1,71
		-6,6	23,8	14,1	15,6	1,35
Đào đất đến cao độ -17.5	BH06	-18,5	13,7	6,6	21	1,64

(*) Số liệu chuyển vị thẳng đứng xét tại vị trí cách đỉnh tường 15m.

Kết quả tính toán ở Bảng 5 cho thấy, chuyển vị của tường phụ thuộc chặt chẽ vào mực nước ngầm sau cừ, khi mực nước ngầm sau cừ dâng cao do lỗi của công tác thi công hạ thấp mực nước ngầm, chuyển vị cừ tăng 8,7 % đến 47,5% và hệ số an toàn đều giảm đáng kể, từ 1,3% đến trên 21%, càng ở cấp đào sâu, mức độ ảnh hưởng càng thể hiện rõ ràng.

b. Phân tích rủi ro cho hố đào sâu Đông Hội

Trình tự tính toán

Căn cứ nguyên lý phân tích rủi ro đã trình bày trong mục 2, các bước phân tích chi tiết được tiến hành bao gồm:

- Bước 1: Mô tả hệ thống. Hình 2 đã mô tả tổng quát các phần tử liên quan trong hệ thống phân tích rủi ro hố đào sâu. Trong đó có thể coi các phần tử có quan hệ nối tiếp nhau nghĩa là khi một phần tử có sự cố thì hệ thống cũng sẽ xảy ra sự cố mà không cần tất cả các sự cố diễn ra. Xét đặc thù dự án nghiên cứu tại Đông Hội, tác giả lựa chọn các phần tử quan trọng của hệ thống để xem xét bao gồm:

- + Thi công tường cừ;
- + Thi công neo;
- + Trong thi công hạ thấp mực nước ngầm.

Các yếu tố còn lại sẽ được xem xét trong các nghiên cứu sau.

- Bước 2: Nhận diện rủi ro. Thi công tường cừ có thể gặp các sai sót liên quan tới hình dạng, kích thước tường cừ, vật liệu làm tường cừ, các khuyết tật, mối nối trên tường, các vấn đề liên quan tới thi công như biện pháp rung hạ, chiều sâu ngầm. . . Với thi công neo, chất lượng không đảm bảo có liên quan tới các công đoạn thi công: khoan tạo lỗ, kích thước hình học của lỗ, vật liệu làm neo, vữa bầu neo, khóa neo. . . Hạ thấp mực nước ngầm có thể gặp những sai lệch liên quan đến khả năng thu nước vào các giếng, công suất bơm, quy trình vận hành các giếng hạ thấp mực nước ngầm. . .

- Bước 3: Phân tích định tính. Các phân tích ở trên cho thấy hệ tường cừ, neo và giếng hạ thấp mực nước ngầm sẽ có tác động qua lại, ảnh hưởng trực tiếp đến ổn định hố móng sâu. Mực nước ngầm dâng cao có thể gây khó khăn cho thi công neo, gây mất ổn định hệ tường cừ. Neo làm việc không đảm bảo có thể dẫn tới chuyển vị tường cừ lớn, lún mặt đất sau lưng tường sẽ tăng lên.

- Bước 4: Tính toán rủi ro. Hai thành phần trong công thức (1) cần được xác định đó là xác suất xảy ra sự cố mất ổn định hố đào và thiệt hại khi xảy ra sự cố đó. Với xác suất mất ổn định hố đào, cần xem xét tới các thông số đầu vào của bài toán ổn định hệ tường cừ - neo - hạ thấp mực nước ngầm, được phân thành hai nhóm thông số đầu vào. Nhóm thứ nhất là tải trọng tác động bao gồm áp lực đất, áp lực nước, hoạt tải phân bố trên mặt đất, các tải trọng bất thường khác. Nhóm thứ hai là sức chống đỡ bao gồm độ cứng của tường cừ, sức căng của neo. Thiệt hại do sự cố mất ổn định hố đào là vấn đề nhạy cảm ở Việt Nam, hiện được đề cập nhiều trong các nghiên cứu của lĩnh vực bảo hiểm, bồi thường thiệt hại khi có sự cố. Tập dữ liệu thống kê của các sự cố tương tự, có kết hợp kiểm đếm, đánh giá theo các kịch bản sự cố khác nhau.

- Bước 5: Quản lý và giảm thiểu rủi ro. Căn cứ trên phân tích rủi ro, giải pháp được đề xuất để giảm thiểu rủi ro cho hố đào cụ thể là tập trung vào hạn chế chuyển vị ngang của tường cừ, lún mặt đất và theo dõi, kiểm soát mực nước ngầm sau lưng tường cừ cũng như nâng cao nhận thức cho cán bộ kỹ sư, công nhân tại công trường về kiểm soát rủi ro.

Các tiêu chuẩn kiểm soát rủi ro hố đào sâu

Ou [1] đưa ra các khuyến cáo về không chế biên độ dịch chuyển ngang 1% cho hố đào làm cơ sở kiểm soát rủi ro. BCA-Singapore [3] kiến nghị ngưỡng chuyển vị cho phép như tổng hợp trong Bảng 6.

Bảng 6. Tổng hợp ngưỡng chuyển vị ngang cho phép của tường cừ [3]

Dịch chuyển của tường	Phạm vi xác định			
	Vùng 1 ($X/H < 1$)	Vùng 2 ($1 \leq X/H \leq 2$)	Vùng 3 ($X/H > 2$)	
			Nền kiểu A	Nền kiểu B
Dịch chuyển cho phép	0,5*%	0,7%	0,7%	1%

Nền kiểu A là đất sét, sét pha trạng thái cứng, dẻo cứng; đất tàn tính; đất cát kết cấu chặt đến chặt vừa. Nền kiểu B là các loại đất sét, sét pha trạng thái dẻo mềm, dẻo chảy, chảy, chứa hữu cơ; cát kết cấu xốp. X là khoảng cách tới vị trí đang xét, H là chiều sâu hố đào.

Một số hố đào có kết cấu lân cận gần, có nguy cơ mất ổn định lớn, rủi ro cao... thì chuyển vị ngang có thể cho không chế dưới 0,2%.

Căn cứ các giới hạn chuyển vị đã được quy định cũng như kết quả quan trắc, có thể đưa ra các mức cảnh báo thực tế cho công tác quản lý, thi công tại công trường. Devriendt [29] kiến nghị mức cảnh báo khi chuyển vị quan trắc được vượt quá 75% giá trị tính toán, dự báo. BCA-Singapore [3] kiến nghị mức cảnh báo khi công việc có nguy cơ gián đoạn 70% công việc trong vùng 1. Tần suất của sự cố cũng được đề cập trong quy định của các sự cố cũng được đề cập mô tả tùy theo tính chất lặp lại của chúng, như mô tả ở Bảng 7.

Bảng 7. Phân loại sự cố theo tần suất lặp lại [3]

Tần suất	Ký hiệu	Mô tả
Rất thường xuyên	I	Thường xảy ra trên 12 lần mỗi năm
Thường xuyên	II	Xảy ra tới trên 4 lần mỗi năm
Thi thoảng	III	Xảy ra 1 lần mỗi năm
Hiếm gặp	IV	Xảy ra 1 lần trong năm năm
Rất ít khi xảy ra	V	Dường như không xảy ra trừ những tình huống đặc biệt

Rủi ro sẽ được xếp loại theo danh mục mô tả trong các Bảng 8 đến Bảng 10.

Bảng 8. Phân loại rủi ro theo tần suất và quy mô sự cố [3]

Danh mục rủi ro	Phân loại sự cố theo thiệt hại				
	I Thảm họa	II Nghiêm trọng	III Trung bình	IV Nhỏ	
Phân loại sự cố theo tần suất lặp lại	I Rất thường xuyên	A	A	A	B
	II Thường xuyên	A	A	B	C
	III Thi thoảng	A	B	C	C
	IV Hiếm gặp	B	C	C	D
	V Rất ít khi xảy ra	C	C	D	D

Bảng 9. Mô tả các nhóm rủi ro trong thi công hố đào sâu [3]

Nhóm	Mô tả	Diễn giải
A	Rất không mong muốn	Rủi ro sẽ được giảm thiểu bằng mọi cách
B	Không mong muốn	Rủi ro sẽ chỉ được chấp nhận nếu các giải pháp giảm thiểu không thể áp dụng đc
C	Xem xét	Rủi ro sẽ được chấp nhận nếu nguy cơ xảy ra thấp, có thể chấp nhận được trong thực tế
D	Bỏ qua	Rủi ro chấp nhận được

Bảng 10. Bảng phân cấp thiệt hại theo mức độ nghiêm trọng của sự cố [3]

Phân loại	Ký hiệu	Định nghĩa
Thảm họa	I	Có người thiệt mạng, bị thương ngay khi xảy ra hoặc sau khi có sự cố Thiệt hại sản xuất hoặc sản lượng lao động vượt quá 3 ngày làm việc; Tổng thiệt hại vượt quá $\$X_1$ ¹
Lớn	II*	Có người bị thương ² hoặc bị bệnh do lao động hoặc có phát sinh tình huống nguy hiểm Hư hại nhà máy, làm ngưng trệ sản xuất đến 3 ngày; Tổng thiệt hại lên tới $\$X_2$ ¹
Đáng kể	III*	Có người bị thương ³ hoặc bị bệnh do lao động; Hư hại nhà máy, làm ngưng trệ sản xuất đến 1 ngày; Tổng thiệt hại lên tới $\$X_3$ ¹
Bỏ qua	IV	Có người bị thương nhẹ ⁴ hoặc người bệnh sau khi kết thúc ca làm việc; Hư hại nhà máy, nơi sản xuất không đáng kể; Tổng thiệt hại lên tới $\$X_4$ ¹

(*) Nếu một trong các thông số trong bảng vượt quá giới hạn, thiệt hại sẽ được chuyển sang nhóm cao hơn;

(1) Giá trị thiệt hại dựa theo yêu cầu bồi thường của khách hàng hoặc các bên liên quan, $X_1 \geq 1.000.000.000\$$; $X_2 = 250.000.000 - 1.000.000.000\$$; $X_3 = 25.000.000 - 250.000.000\$$; $X_4 \leq 25.000.000\$$;

(2) Ngày công lao động thiệt hại trên 7 ngày;

(3) Ngày công lao động thiệt hại từ 4-7 ngày;

(4) Ngày công lao động thiệt hại từ 1-3 ngày;

Kết quả phân tích rủi ro cho hố đào sâu Đông Hội

Các bước phân tích rủi ro nêu trên đã được áp dụng cho hố đào Đông Hội, theo đó xác suất sự cố và thiệt hại được ước tính theo các kết quả tính toán sơ bộ và chỉ dẫn trong các tài liệu thực hành hiện đang áp dụng [3]. Cơ sở chung của phương pháp vẫn là các nguyên lý đã nêu nhưng được cụ thể hóa thành các ma trận rủi ro, các bảng tra để dễ dàng thực hành cho kỹ sư, trong đó dựa vào tham số quan trọng là chuyển vị ngang của tường cừ, lún mặt đất sau lưng tường kết hợp với thiệt hại khi xảy ra sự cố. Tổng hợp kết quả phân tích cho hố đào Đông Hội, với các mức cảnh báo và phân loại rủi ro cho

từng giai đoạn đào như Bảng 11.

Bảng 11. Phân loại rủi ro theo các giai đoạn thi công hố đào sâu Đông Hội

Tổng hợp chuyển vị cừ trong các giai đoạn thi công (BH6)									
Cao độ đào (m)	Tính toán thiết kế			Ngưỡng cảnh báo			Thực tế		
	Chuyển vị ngang (mm)	Chuyển vị đứng (mm)	Mức nước ngâm (m)	Chuyển vị ngang (mm)	Chuyển vị đứng (mm)	Phân loại rủi ro	Chuyển vị ngang (mm)	Chuyển vị đứng (mm)	Phân loại rủi ro
-4,5	85	42	-6,6	18	4	D	32	15	D
				25	11	D			
				35	18	C			
-7,5	93	68	-6,6	33	7	D	55	28	C
				46	20	C			
				65	33	B			
-11,5	120	81	-6,6	53	11	D	75	45	C
				74	32	C			
				105	53	B			
-14,5	174	105	-6,6	68	14	D	98	60	C
				95	41	C			
				135	68	B			
-17,5	238	156	-6,6	83	17	D	112	79	D
				116	50	C			
				165	83	B			

Căn cứ số liệu trong Bảng 5, chuyển vị của cừ lớn nhưng hệ số an toàn tổng thể đảm bảo, thay đổi FS ~ 1,35÷1,64, tuy nhiên chuyển vị tường lớn có thể hư hại kết cấu công trình lân cận, đặc biệt là các khu nhà của trường tiểu học Đông Hội ở gần phạm vi dự án. Bảng 11 thể hiện kết quả phân loại rủi ro của hố đào sâu Đông Hội nếu phương án thiết kế tính toán là chính xác, theo đó chuyển vị ngang và đứng đều vượt ngưỡng cảnh báo 0,5-1% chiều sâu hố đào, phân loại rủi ro theo [3] có thể thay đổi từ D đến B tùy theo chiều sâu hố đào.

Dựa vào phân tích định tính như trình bày tại sơ đồ Hình 1 và Hình 2, các biện pháp giảm thiểu rủi ro được lựa chọn ở đây bao gồm:

- Thi công bổ sung 03 hàng cọc đất xi măng ở chân tường, trong hố móng để giảm dịch chuyển ngang của tường cừ. Cọc dài 12 m, đường kính 800 mm, cường độ kháng nén 1 trục $qu = 5 \text{ kG/cm}^2$, hàm lượng xi măng PCB40 sử dụng là 285 kg/m dài cọc;

- Kiểm soát chuyển vị cừ bằng inclinometer thường xuyên hơn, ở những chu kỳ có rủi ro cao, cần tiến hành đo 1-2 lần/ngày để có cảnh báo cũng như giải pháp xử lý kịp thời;

- Kiểm soát hạ thấp mực nước ngầm trong và ngoài hố móng bằng các sensor tự động, nếu bơm bị sự cố, mực nước ngầm dâng lên... có cảnh báo tự động cho hệ thống theo dõi của Ban điều hành công trường;

- Đào tạo về quản lý rủi ro cho cán bộ kỹ thuật trên công trường để nắm bắt được nguy cơ rủi ro cho từng công việc đang triển khai.

Kết quả thu được

Chuyển vị hố đào lớn nhất quan trắc thực tế được chỉ còn 112 mm tại vị trí lỗ khoan BH6 - vị trí bất lợi nhất, lún mặt đất đạt 55 mm tại vị trí cách xa đỉnh tường 10 m và 79 mm tại vị trí cách tường

15 m. Về tổng quan, hố đào được kiểm soát an toàn, rủi ro có thể bỏ qua, không có sự cố lớn xảy ra trong quá trình thi công.

4. Kết luận

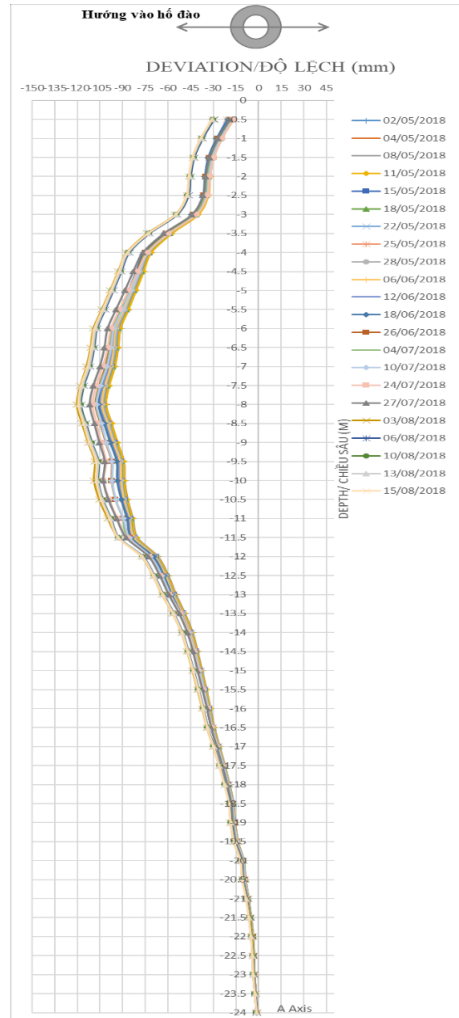
Bài báo đã sử dụng phương pháp tổng hợp kết quả nghiên cứu trong và ngoài nước kết hợp phân tích mô hình số và phân tích theo lý thuyết rủi ro để hoàn thiện và phát triển nguyên lý phân tích rủi ro cho hố đào sâu ở Việt Nam.

Thông qua phân tích định tính và định lượng, tác giả đã giới thiệu quy trình lý thuyết, từ mô tả hệ thống, nhận diện rủi ro, phân tích định tính và định lượng, từ đó đề xuất giải pháp giảm thiểu rủi ro. Kết quả áp dụng cho hố đào sâu Đông Hội là minh chứng một phần cho phương pháp. Với các ngưỡng kiểm soát chuyển vị cừ, lún mặt đất, mực nước ngầm sau tường cừ, tác giả đưa ra các mức phân loại rủi ro theo ma trận (tham khảo các ngưỡng của Singapore về kiểm soát rủi ro hố đào sâu).

Kết quả nghiên cứu cho thấy sự cần thiết của phân tích định lượng rủi ro cho hố đào sâu - một công tác cần được nâng cao hơn nữa trong thực tiễn xây dựng công trình ở các đô thị hiện nay. Theo đó, rủi ro cần được lượng hóa thành xác suất sự cố và thiệt hại, trong đó, xác suất sự cố cần xét được các thành phần của cả hệ thống như diễn giải ở Hình 2. Rủi ro chấp nhận được và các ngưỡng kiểm soát cần được xây dựng cho điều kiện cụ thể ở Việt Nam thông qua tính toán đầy đủ xác suất sự cố và xác định thiệt hại do sự cố. Đây là những bài toán phức tạp, không thể trình bày hết trong bài báo này, nhóm tác giả sẽ tiếp tục phát triển hướng nghiên cứu để phân tích và tính toán cụ thể xác suất sự cố và thiệt hại của các thành phần trong hệ thống, đóng góp vào việc hoàn thiện mô hình phân tích và kiểm soát rủi ro trong thực thể thi công hố đào sâu tại Việt Nam.

Tài liệu tham khảo

- [1] Ou, C.-Y. (2014). *Deep excavation: theory and practice*. CRC Press.
- [2] Ahmed, S. M. (2014). *State-of-the-art report: deformations associated with deep excavation and their effects on nearby structures*. Ain Shams University, Cairo.
- [3] Building and Construction Authority (BCA)-Singapore (2010). *Technical reference for deep excavation*. SPRING Singapore.
- [4] Van Tol, A. F., Korff, M. (2012). Deep excavations for Amsterdam metro North-South line: an update and lessons learned. *Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground-Proceedings of the 7th International Symposium on Geotechnical Aspects of Underground Construction in Soft Ground*, 37-45.



Hình 9. Kết quả quan trắc hố móng tại QT16 [30]

- [5] Yongan, L. Q. K. (1999). Comprehensive Analysis on Engineering Accidents of Deep Foundation Pits in China [J]. *SCI/Tech Information Development & Economy*, 2.
- [6] Kế, N. B. *Thiết kế và thi công hố móng sâu*. Nhà xuất bản Xây dựng.
- [7] Kế, N. B. (2010). Bài học từ sự cố sập đổ Viện khoa học Xã Hội vùng Nam bộ ở Thành phố Hồ Chí Minh. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, (3):49–57.
- [8] Nghĩa, Đ. T. (2020). *Thiết kế và thi công hố móng sâu*. Trường Đại học Thủy Lợi.
- [9] Minh, N. B. (2015). *Một số bài học rút ra trong thi công tầng hầm nhà cao tầng tại Vĩnh Long*. Luận văn thạc sỹ kỹ thuật, Trường Đại học Kiến Trúc Hà Nội.
- [10] Abdel-Rahman, A. H. (2007). Construction risk management of deep braced excavations in Cairo. *Australian Journal of Basic and Applied Sciences*, 1(4):506–518.
- [11] Huang, H. W., Bian, Y. H. (2005). Risk management in the construction of deep excavation engineering. *Underground Space*, 4:611–614.
- [12] Liu, J.-y., Ren, F., Liu, Y. (2011). [Research on Monitoring-based Risk Management of Deep Excavation Engineering](#). *2011 International Conference on Management and Service Science*, IEEE, 1–4.
- [13] Công, N. Đ., Hương, N. L., Hải, Đ. T. (2018). Tổng quan các nghiên cứu rủi ro trong xây dựng. *Tạp chí Người Xây dựng*, ((11&12)):38–42.
- [14] Trung, N. V., Nga, V. T. (2008). *Phân tích rủi ro kỹ thuật trong xây dựng công trình cầu ở Việt Nam*.
- [15] Faber, M. H. (2007). *Risk and safety in civil engineering*. Lecture Notes, Swiss Federal Institute of Technology, Zurich.
- [16] Vrouwenvelder, A., Holicky, B. M., Tanner, C. P., Lovegrove, D. R., Canisius, E. G. (2001). *Risk assessment and risk communication in civil engineering*. CIB Report.
- [17] Vrijling, J. K., Van Hengel, W., Houben, R. J. (1998). [Acceptable risk as a basis for design](#). *Reliability Engineering & System Safety*, 59(1):141–150.
- [18] Sekhavatian, A., Choobbasti, A. J. (2018). Comparison of Point Estimate and Monte Carlo probabilistic methods in stability analysis of a deep excavation. *International Journal of Geo-Engineering*, 9(1):20.
- [19] He, L., Liu, Y., Bi, S., Wang, L., Broggi, M., Beer, M. (2020). [Estimation of failure probability in braced excavation using Bayesian networks with integrated model updating](#). *Underground Space*, 5(4):315–323.
- [20] Zhang, G., Wang, C., Jiao, Y., Wang, H., Qin, W., Chen, W., Zhong, G. (2020). [Collapse Risk Analysis of Deep Foundation Pits in Metro Stations Using a Fuzzy Bayesian Network and a Fuzzy AHP](#). *Mathematical Problems in Engineering*, 2020.
- [21] Bian, Y.-H., Huang, H.-W. (2006). [Fuzzy fault tree analysis of failure probability of SMW retaining structures in deep excavations](#). *Underground Construction and Ground Movement*, American Society of Civil Engineers, 312–319.
- [22] Jan, J. C., Hung, S.-L., Chi, S. Y., Chern, J. C. (2002). Neural network forecast model in deep excavation. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 16(1):59–65.
- [23] Vrijling, J. K., van Gelder, P. *Probabilistic design*. Lecture notes CT4310, TU Delft, the Netherlands.
- [24] Fok, P., Neo, B. H., Wen, D., Veeresh, C. (2012). [Design and construction of earth retaining walls for deep excavation—a risk management process](#). *The IES Journal Part A: Civil & Structural Engineering*, 5 (3):204–209.
- [25] Baecher, G. B., Christian, J. T. (2005). *Reliability and statistics in geotechnical engineering*. John Wiley & Sons.
- [26] Phoon, K.-K., Kulhawy, F. H. (1999). [Characterization of geotechnical variability](#). *Canadian Geotechnical Journal*, 36(4):612–624.
- [27] Singh, V. P., Jain, S. K., Tyagi, A. (2007). Risk and reliability analysis: a handbook for civil and environmental engineers. American Society of Civil Engineers.
- [28] GEOTECH (2017). *Báo cáo khảo sát địa chất GEO-5B3-TRE-17-2-1A 2017*. Công ty CP TVĐT&XD GEOTECH Việt Nam.
- [29] Devriendt, M. (2014). Trigger levels for displacement monitorin. *Geotechnical Instrumentation News*, 11 (5):747–764.
- [30] GEOTECH (2018). *Báo cáo quan trắc chuyển vị hố móng sâu Đông Hội*. Công ty CP TVĐT&XD GEOTECH Việt Nam.