

Nghiên cứu về ứng dụng của Hệ thống thông tin địa lý (GIS) trong quản lý rủi ro thi công công trình ngầm đô thị tại Việt Nam

Bùi Thị Ngọc Lan^{1*}

¹ Bộ môn Kinh tế xây dựng và đầu tư – Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội

TỪ KHOÁ

Công trình ngầm đô thị
Thi công
Quản lý rủi ro
Hệ thống thông tin địa lý (GIS)
Ứng dụng GIS

TÓM TẮT

Hiện nay, Chính phủ Việt Nam đã và đang rất quan tâm, chú trọng phát triển công trình ngầm đô thị nhằm tìm giải pháp khắc phục tình trạng quá tải trong phát triển đô thị tại các thành phố lớn [1]. Đặc biệt, tại các đô thị lớn như Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh, tốc độ đô thị hóa rất nhanh, quỹ đất cạn kiệt, giao thông ùn tắc,...nên việc xây dựng các công trình ngầm đô thị là một nhu cầu tất yếu nhằm giảm áp lực lên hệ thống hạ tầng đô thị, đảm bảo nhu cầu giao thông đô thị, cấp thoát nước đô thị,Xây dựng công trình ngầm đô thị là hoạt động xây dựng những công trình ngầm bên dưới mặt đất với nhiều khó khăn, phức tạp, nguy cơ rủi ro cao nên quản lý rủi ro là một phần thiết yếu và không thể tách rời của hoạt động xây dựng công trình ngầm đô thị. Trong bối cảnh này, việc ứng dụng khoa học công nghệ nhằm quản lý rủi ro trong thi công công trình ngầm trở nên cực kỳ quan trọng. Mục tiêu của bài báo là nghiên cứu ứng dụng hệ thống thông tin địa lý (GIS) trong quản lý rủi ro thi công công trình ngầm đô thị nhằm đảm bảo cho việc thi công công trình ngầm đô thị tại Việt Nam an toàn và hiệu quả.

KEYWORDS

Urban underground construction
Construction
Risk management
Geographic Information Systems (GIS)
GIS Applications

ABSTRACT

The Vietnamese government is currently particularly interested in developing underground construction as a response to the urban development overload in major cities [1]. In particular, in major municipalities such as Hanoi and Ho Chi Minh City, the rate of urbanization is very fast, land funds are exhausted, traffic is congested... so the construction of urban underground buildings is a necessity in order to reduce the pressure on the urban infrastructure system, ensure the demand for urban transport, urban drainage, etc. Urban subterranean construction is the construction of underground works that are difficult, complex, and high risk; hence, risk management is an essential and inseparable component of the process. In this situation, the use of scientific and technological instruments to manage risk in underground construction becomes critical. The purpose of this study is to use a Geographic Information System (GIS) to manage the risks of urban underground development in Vietnam, ensuring that it is safe and effective.

1. Introduction

Hiện nay, trong điều kiện phát triển kinh tế - xã hội cùng với tốc độ đô thị hóa nhanh chóng, các dự án xây dựng công trình ngầm đô thị đã và đang được nhiều nước trên thế giới cũng như các nhà chuyên môn, chính quyền nhiều thành phố lớn tại Việt Nam quan tâm. Tại Việt Nam, đến tháng 12/2023, cả nước có 902 đô thị, với 02 đô thị đặc biệt, 22 đô thị loại I, 36 đô thị loại II, 45 đô thị loại III, 94 đô thị loại IV và 703 đô thị loại V; với tỷ lệ đô thị hóa cả nước khoảng 42,7 % [2], đặc biệt là tại các đô thị lớn như thủ đô Hà Nội, thành phố Hồ Chí Minh và một số thành phố lớn khác, việc xây dựng công trình ngầm đô thị đang dần hiện hữu, góp phần quan trọng trong xây dựng phát triển của đất nước [3]. Công trình ngầm bao gồm công trình tàu điện ngầm, phòng thủ dưới lòng đất, nhà máy điện, kho chứa chất thải, thành phố ngầm, trung tâm mua sắm nơi tập trung đông người, bãi đỗ xe ngầm và nhiều hạng mục ngầm khác. Công tác thi công công trình ngầm đô thị

luôn đối mặt với những thách thức lớn và đặc biệt, cụ thể là: (i) điều kiện địa chất đa dạng, phức tạp và nhiều biến động; (ii) sự có mặt của các công trình kiến trúc hiện hữu trên mặt đất và trong lòng đất; (iii) các yêu cầu đặc biệt về bảo vệ nguồn tài nguyên thiên nhiên (ví dụ như nguồn đất, nguồn nước) và (iv) các yêu cầu khắt khe về bảo vệ môi trường trong thi công và ngay cả trong quá trình khai thác, vận hành [4]. Do đó, quản lý rủi ro trong thi công công trình ngầm đô thị là một nhiệm vụ quan trọng nhằm hạn chế những rủi ro có thể xảy ra do những biến đổi thất thường, không lường trước được khi thi công về điều kiện địa chất, thủy văn...

Quản lý rủi ro trong thi công công trình ngầm là một trong những ứng dụng chính của hệ thống thông tin địa lý GIS, dữ liệu không gian, công nghệ không gian và mô hình không gian là cần thiết để hiểu, chuẩn bị và đáp ứng với bất kỳ rủi ro nào. Tầm quan trọng của GIS đối với các vấn đề đánh giá rủi ro và quản lý rủi ro bắt nguồn từ thực tế là các mối nguy hiểm trong thi công công trình ngầm phức tạp gồm nhiều

*Liên hệ tác giả: lanbntn@hau.edu.vn

Nhận ngày 12/09/2024, sửa xong ngày 25/09/2024, chấp nhận đăng ngày 11/10/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.01.2025.887>

thành phần trên các khu vực địa lý, các phương pháp quản lý rủi ro đòi hỏi phải tính đến tất cả các khía cạnh xã hội, kinh tế, văn hoá và chính trị có liên quan, để xác định những hậu quả, khả năng dễ bị tổn thương, khả năng phục hồi và khả năng đáp ứng của một khu vực không gian ngầm đối với các mối đe dọa khác nhau. Hệ thống thông tin địa lý (GIS) là một phần mềm lập bản đồ cung cấp thông tin không gian bằng cách liên kết các vị trí với thông tin về vị trí đó. Nó cung cấp các chức năng và công cụ cần thiết để có hiệu quả thu thập, lưu trữ, thao tác, phân tích và hiển thị thông tin về địa điểm và vật thể. GIS là một lĩnh vực công nghệ đang phát triển nhanh chóng kết hợp các tính năng đồ họa với dữ liệu bảng để đánh giá các vấn đề thực tế. Bài báo nghiên cứu các nội dung về quản lý rủi ro trong xây dựng công trình ngầm đô thị cũng như vai trò quan trọng trong việc thu thập, quản lý, phân tích và trình bày dữ liệu địa lý của Hệ thống thông tin địa lý (GIS) nhằm ứng dụng GIS trong quản lý rủi ro thi công công trình ngầm đô thị góp phần hạn chế những rủi ro đáng tiếc trong quá trình xây dựng công trình ngầm đô thị tại Việt Nam.

2. Tổng quan về quản lý rủi ro trong thi công công trình ngầm đô thị và hệ thống thông tin địa lý (GIS)

2.1. Quản lý rủi ro trong thi công công trình ngầm đô thị

Theo khoản 4, Điều 2, Nghị định 39/2010/NĐ-CP quy định về công trình ngầm đô thị, khái niệm công trình ngầm đô thị được hiểu như sau: “*Công trình ngầm đô thị là những công trình được xây dựng dưới mặt đất tại đô thị bao gồm: công trình công cộng ngầm, công trình giao thông ngầm, các công trình đầu mối kỹ thuật ngầm và phần ngầm của các công trình xây dựng trên mặt đất, công trình đường dây, cáp, đường ống kỹ thuật ngầm, hào và tuy nơ kỹ thuật*”.

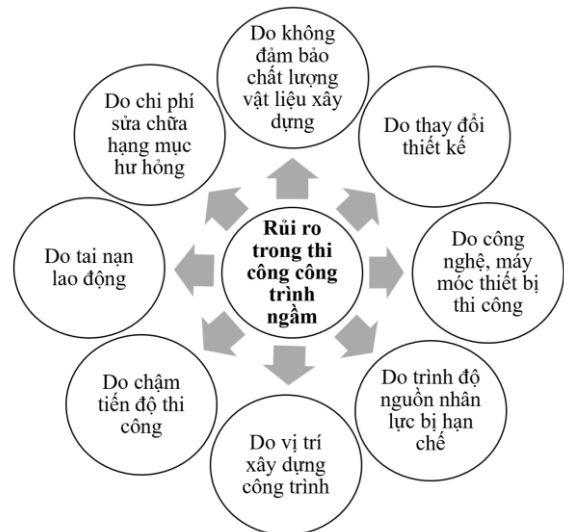
Với đặc thù là những công trình được xây dựng dưới mặt đất tại đô thị nên ở tất cả các giai đoạn xây dựng công trình ngầm đô thị xuất hiện quan hệ tương hỗ phức tạp giữa xây dựng, công nghệ, hoạt động khai thác và các khía cạnh môi trường dẫn đến khả năng xuất hiện rủi ro. Rủi ro trong xây dựng công trình ngầm đô thị là sự đánh giá định lượng nguy cơ do quá trình thực hiện các quy trình xây dựng, vận hành, sửa chữa và tái thiết các công trình ngầm [5].

Khi các nhà thầu thi công công trình ngầm đưa ra những giải pháp xây dựng không phù hợp chính là nguyên nhân làm xuất hiện các rủi ro trong thi công công trình (Hình 1).

Theo Reilly (2005), đối với một phức hợp dự án cơ sở hạ tầng như xây dựng ngầm, việc xác định rủi ro là rất quan trọng, một kế hoạch giảm thiểu rủi ro thích hợp sẽ đảm bảo đạt được mục tiêu dự án và hiệu quả hơn trong việc đảm bảo các chỉ tiêu về thời gian, chi phí và chất lượng đã đặt ra, đồng thời, đảm bảo an toàn trong suốt quá trình thi công cũng như đảm bảo an toàn khi đưa công trình vào khai thác, vận hành [6].

Đối với hoạt động thi công xây dựng nói chung và công tác thi công công trình ngầm nói riêng, rủi ro là sự kiện tiềm ẩn có thể xảy ra trong suốt quá trình thi công công trình, gây ảnh hưởng tiêu cực đến các yếu tố quan trọng như thời gian, chi phí và chất lượng; rủi ro có

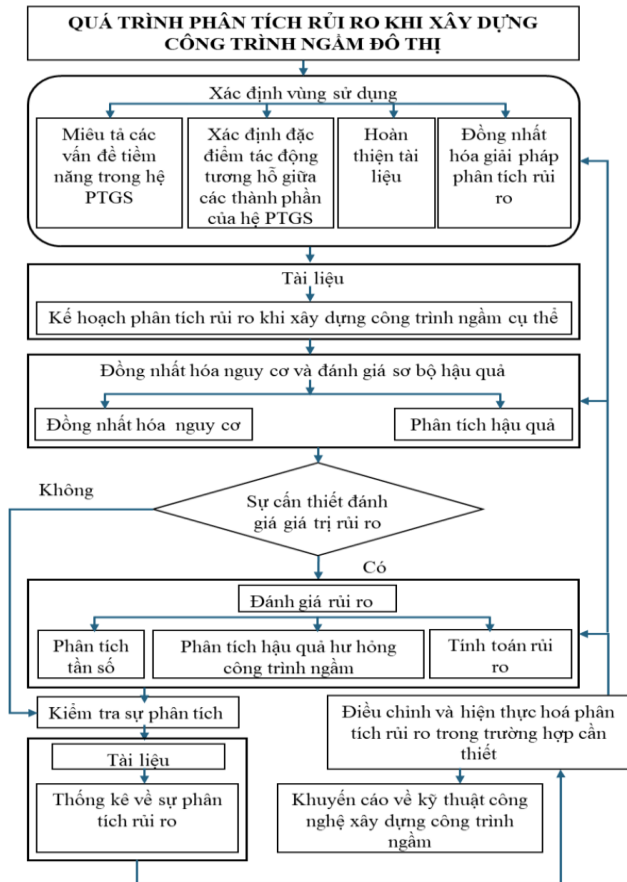
thể bao gồm nhiều yếu tố như thời gian, nguồn lực, nguồn vốn, quản lý dự án, thiết kế, cung ứng vật liệu, vận chuyển, sử dụng công nghệ, thời tiết và môi trường. Đặc biệt, công tác thi công công trình ngầm đô thị được đặc trưng bởi mức độ rủi ro cao, khó đảm bảo yêu cầu tiến độ, chất lượng và làm tăng giá thành thi công của công trình, điều này tồn tại là do điều kiện ngầm của công tác xây dựng và nhiều yếu tố rủi ro khác nhau [5]. Việc nghiên cứu rủi ro, đánh giá rủi ro và xây dựng kế hoạch quản lý rủi ro trong quá trình thi công các công trình ngầm đóng vai trò vô cùng quan trọng nhằm đảm bảo thi công dự án đạt được mục tiêu về tiến độ, chất lượng và chi phí. Có thể hiểu, quản lý rủi ro trong thi công công trình ngầm đô thị là một phần thiết yếu và không thể thiếu trong thi công công trình ngầm đô thị, là một quá trình điều tra, xác định, đánh giá và xếp hạng các rủi ro liên quan đến từng hoạt động của công trình có thể xảy ra trong quá trình thi công và những tác động cũng như mức độ nghiêm trọng của chúng đến thời gian và chi phí của dự án, từ đó xây dựng biện pháp hữu hiệu và nguồn tài nguyên cần thiết để hạn chế, theo dõi và kiểm soát các khả năng xuất hiện cũng như các tác động của các sự cố/sự kiện không dự báo trước xảy ra trong quá trình thi công công trình.



Hình 1. Các nguyên nhân rủi ro trong thi công công trình ngầm đô thị [5].

Việc quản lý rủi ro trong thi công công trình ngầm đô thị cần phải dự báo được những thiệt hại tiềm ẩn do mức độ nguy hiểm xuất hiện khi thi công công trình nhằm tránh sự sụp đổ lên đến mặt đất và thiệt hại đối với các khu nhà trên mặt đất, các công trình xung quanh khu vực thi công. Để giảm nguy cơ xảy ra các rủi ro cũng như các thiệt hại thi công tác quản lý rủi ro hệ thống cần phải được thực hiện, đòi hỏi phải có phương pháp quản lý với cấu trúc chặt chẽ và lập kế hoạch nhằm đảm bảo độ an toàn và hiệu quả. Do đó, để thực hiện quản lý rủi ro khi thi công công trình ngầm đô thị, các đơn vị thi công cần tiến hành các giai đoạn, bao gồm: (i) Phân tích rủi ro; (ii) Bảo vệ tránh rủi ro và (iii) Bồi thường thiệt hại do rủi ro gây nên.

Thứ nhất, phân tích rủi ro: Trong quá trình thực hiện phân tích rủi ro cần phải tuân thủ các nguyên tắc cơ bản, bao gồm: Xác định phạm vi phân tích rủi ro; Xác định nguy cơ và đánh giá hậu quả; Đánh giá giá trị rủi ro; Kiểm tra kết quả phân tích; Giải thích tài liệu; Sửa chữa các kết quả phân tích có tính đến số liệu mới nhất. Cụ thể được thể hiện tại Hình 2 sau đây.



Hình 2. Quá trình phân tích rủi ro khi xây dựng công trình ngầm đô thị [5].

Thứ hai, bảo vệ tránh rủi ro: Bảo vệ tránh rủi ro bao gồm tất cả các biện pháp phòng ngừa (kỹ thuật, công cụ, chiến lược, chính sách...), để né tránh, ngăn ngừa, hướng đến việc giảm xác suất hình thành tình trạng tai nạn trong quá trình xây dựng công trình ngầm, cũng như giảm thiệt hại có thể xảy ra trong trường hợp xảy ra sự cố [5]. Thực chất của bảo vệ tránh rủi ro là việc né tránh những hoạt động, con người, tài sản làm phát sinh tổn thất có thể xảy ra ngay từ đầu hoặc loại bỏ những nguyên nhân dẫn tới tổn thất đã được thừa nhận, phòng chống, hạn chế rủi ro, hạn chế tổn thất xảy ra trong quá trình thi công của đơn vị thi công.

Bảo vệ tránh rủi ro có vai trò rất quan trọng nhằm: (i) Tăng độ an toàn, giảm chi phí, ngăn ngừa những tai nạn xảy ra với con người và thiệt hại tài sản trong thi công của nhà thầu; (ii) Tăng vị thế và uy tín của nhà thầu thi công đối với các Chủ đầu tư; (iii) Tìm

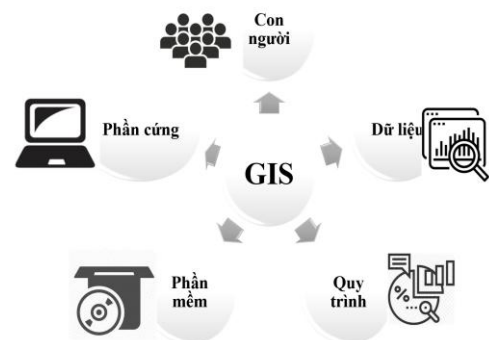
kiếm được những cơ hội và có thể biến những cơ hội thành hiện thực, góp phần tạo điều kiện cho đơn vị tồn tại và phát triển. Nếu kết quả thực hiện tất cả các biện pháp kỹ thuật phòng ngừa, rủi ro còn lại có thể vượt quá khả năng xử lý thảm họa của đơn vị thi công, thì tiến hành triển khai giai đoạn ba của quản lý rủi ro, đó là đảm bảo bồi thường thiệt hại [5].

Thứ ba, đảm bảo bồi thường thiệt hại do rủi ro gây nên: Đảm bảo bồi thường thiệt hại là hệ thống bảo hiểm tài chính cho các thiệt hại phát sinh từ trường hợp khẩn cấp. Ở mỗi giai đoạn, thường sử dụng các phương pháp kiểm soát rủi ro, trong đó kết quả của mỗi giai đoạn trước trở thành các số liệu ban đầu cho các giai đoạn tiếp theo, tạo thành một hệ thống chấp nhận giải pháp liên kết ngược. Kiến thức thu được ở mỗi giai đoạn cho phép điều chỉnh không những các phương pháp tác động lên rủi ro mà còn mục tiêu quản lý rủi ro. Một hệ thống như vậy đảm bảo đạt được hiệu quả tối đa cho các mục tiêu mà đơn vị thi công đặt ra [5].

2.2. Tổng quan về GIS trong xây dựng

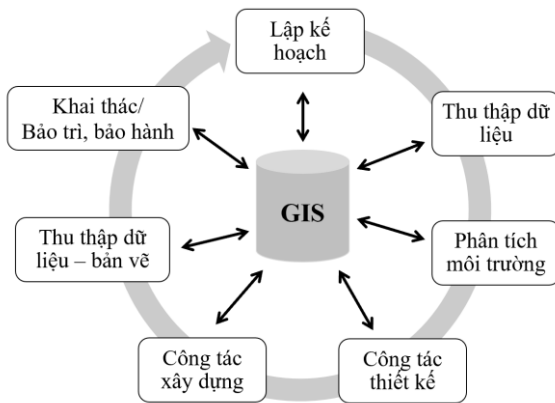
Hệ thống thông tin địa lý (GIS) là một công nghệ mới đang phát triển nhanh chóng, là một công nghệ dễ thu thập, lưu trữ, thao tác, phân tích và trực quan hóa dữ liệu có tham chiếu không gian. Nó được sử dụng cho phân tích không gian và mô hình hóa. GIS cho phép xem, diễn giải và trực quan hóa dữ liệu theo nhiều cách, giúp tiết lộ mối quan hệ, các mẫu và xu hướng dưới dạng bản đồ, báo cáo và biểu đồ. Nó giúp trong việc tạo ra nhiều kịch bản theo thời gian. Nó tích hợp phần cứng, phần mềm, dữ liệu và con người để thu thập, quản lý, phân tích và hiển thị tất cả các dạng dữ liệu có tham chiếu địa lý.

GIS cũng là một phần của hệ thống thông tin không gian, xử lý và tạo ra thông tin không gian. Các phần của GIS bao gồm: (i) Con người; (ii) Dữ liệu; (iii) Phương pháp phân tích; (iv) Phần mềm; và (v) Phần cứng. Hình 3 dưới đây thể hiện cấu tạo của hệ thống thông tin địa lý GIS.



Hình 3. Cấu tạo của hệ thống thông tin địa lý GIS [7].

Trong lĩnh vực xây dựng, hệ thống GIS được ứng dụng cho toàn bộ vòng đời của một dự án xây dựng, từ việc lập kế hoạch, thu thập dữ liệu để khảo sát thiết kế, thi công xây dựng đến khai thác, bảo trì và bảo hành công trình (Hình 4).



Hình 4. Ứng dụng của GIS trong cho toàn bộ vòng đời của một dự án xây dựng [4].

Đối với các nhà thầu thi công, hệ thống thông tin địa lý (GIS) là một công cụ chuyên dụng thường được các kỹ sư và nhà thầu thi công sử dụng nhằm mục đích quản lý, phân tích và trực quan hóa thông tin địa lý liên quan đến từng công trình cụ thể, cho phép các nhóm ghi lại, lưu trữ và nghiên cứu dữ liệu không gian trên các bản đồ ảo, từ đó có thể được sử dụng để cải thiện các kế hoạch và lịch trình đang diễn ra tại công trường thi công. GIS được sử dụng trong xây dựng mang lại rất nhiều lợi ích cho các nhà thầu, bao gồm [8]:

(i) Phân tích địa điểm xây dựng công trình: Sử dụng dữ liệu không gian và địa lý nhằm đánh giá thuận lợi/khó khăn của địa điểm và dự đoán các trở ngại tiềm ẩn khi thi công, thông qua việc phân tích dữ liệu không gian, các nhà thầu có thể đánh giá các yếu tố như địa hình, địa chất, thành phần đất, thủy văn và các ràng buộc môi trường để lập biện pháp thi công, lập tiến độ thi công và lập kế hoạch quản lý thi công phù hợp.

(ii) Thiết kế và lập kế hoạch thi công bằng việc tạo ra những bản đồ chi tiết của các yếu tố về cơ sở hạ tầng hiện có và mối quan hệ không gian, tích hợp GIS với các chương trình thiết kế để lập kế hoạch và bản vẽ xây dựng chính xác, hiệu quả. Từ đó các nhà thầu có thể sử dụng thông tin này để thiết kế mạng lưới đường, hệ thống điện thi công, điện sinh hoạt, phân phối nước và các khu vực cần thiết khác trên công trường thi công;

(iii) Quản lý công trường thi công tốt hơn nhờ vào dữ liệu thu thập từ phần mềm GIS, xác định thuận lợi và khó khăn của địa điểm thi công công trình để phối hợp các hoạt động quan trọng, theo dõi tiến độ dự án và quản lý nguồn lực an toàn và hiệu quả;

(iv) Cải thiện quản lý tài nguyên nhờ GIS cung cấp dữ liệu bản đồ thời gian thực và dữ liệu không gian giúp nhà thầu có khả năng hiểu rõ hơn về công trường. Nhờ đó nhà thầu có khả năng cải thiện cách điều phối vật liệu, thiết bị, phân công lao động hợp lý nhằm giảm chi tiêu và quản lý thi công hiệu quả hơn.

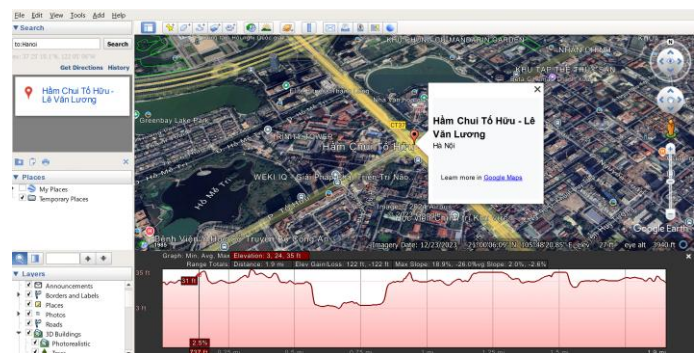
(v) GIS cho phép phân tích địa lý, khảo sát mọi loại dữ liệu địa chất như tính chất đất, điều kiện ngầm, các công trình xung quanh và các yếu tố môi trường khác để xác định các rủi ro tiềm ẩn và giúp đưa ra những quyết định chính xác.

(vi) Quản lý rủi ro, thảm họa trong thi công nhờ việc sử dụng công cụ GIS để phân tích các khu vực có thể dễ bị thiên tai, tai biến địa chất hoặc gần các khu vực có nguy cơ tiềm ẩn, nhằm phát triển và xác định cơ sở hạ tầng quan trọng có thể bị ảnh hưởng, hoặc có khả năng gây ra nguy hiểm cho chính nó. Đồng thời, theo dõi các quan sát, sự chậm trễ hoặc sự cố mất an toàn ở các khu vực cụ thể để phát hiện xu hướng trước khi chúng trở thành thảm họa trong thi công.

(vii) Đánh giá tác động môi trường nhờ những thông tin thu thập được từ GIS, các nhà thầu, chủ sở hữu và các bên liên quan có thể đánh giá các yếu tố như sử dụng đất, phân mảnh môi trường sống, chất lượng nước, ô nhiễm tiếng ồn, ngập lụt và các yếu tố môi trường khác để đưa ra những quyết định có cơ sở chính xác về cách giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường.

(viii) Quản lý tài sản, cơ sở hạ tầng thông qua việc truy cập và chia sẻ bản vẽ hoàn công, thông tin vật liệu, báo cáo nghiệm thu và thông tin lắp đặt..., chia sẻ thông tin về cơ sở hạ tầng, chẳng hạn như đường bộ hoặc cầu, với các bên liên quan khác nhau, bao gồm cả nhà thầu chính hoặc các công ty tiện ích....Điều này tăng cường sự hợp tác, cải thiện giao tiếp và giảm thiểu các hạng mục phải sửa chữa hoặc phải phá bỏ đi làm lại.

Nói tóm lại, để quản lý rủi ro trong thi công công trình ngầm đô thị, việc ứng dụng công nghệ hiện đại là rất cần thiết, trong đó có hệ thống thông tin địa lý (GIS). Với chức năng được phát triển để lập bản đồ và trực quan hóa, GIS có thể mô hình hóa các công trình ngầm đô thị và các thực thể, nhận biết sự không chắc chắn, nhiều rủi ro của hoạt động thi công công trình ngầm, cho thấy tiềm năng lớn của GIS trong việc đại diện cho thông tin cơ bản của công trình ngầm và môi trường xung quanh.



Hình 5. Hầm chui Tổ Hữu – Lê Văn Lương, Hà Nội, Việt Nam
(Nguồn: Tác giả).

3. Sự phù hợp ứng dụng GIS trong quản lý rủi ro thi công công trình ngầm đô thị

Hiện nay, trong thi công công trình ngầm đô thị, hệ thống GIS đang đóng một vai trò ngày càng quan trọng nhằm cung cấp các công cụ để tạo dữ liệu, quản lý, phân tích và truyền tải dữ liệu liên quan đến các công trình ngầm đô thị, giúp các đơn vị thi công quản lý và chia sẻ dữ liệu, biến nó thành báo cáo dễ hiểu cũng như thành các

hình ảnh để phân tích và truyền đạt thông tin cho người khác. Ngoài ra, việc va chạm với các công trình ngầm hiện có trong quá trình thi công là một trong những mối lo ngại lớn nhất, có thể gây ra những hậu quả nặng nề như vỡ đường ống nước, nổ, cháy nên việc mô hình hóa thông tin của các công trình ngầm nhằm cung cấp hình ảnh trực quan tốt hơn và cho phép mô phỏng ở các cấp độ khác nhau là rất cần thiết để quản lý các rủi ro trong quá trình thi công [9].

Trong quá trình ứng dụng khoa học công nghệ trong hoạt động xây dựng, hệ thống thông tin địa lý (GIS) đã cung cấp các công cụ để trực quan hóa, phân tích và diễn giải dữ liệu không gian, trong đó, phần mềm lập bản đồ hạ tầng dựa trên GIS đóng vai trò là một công cụ quan trọng để thu hẹp khoảng cách giao tiếp, tích hợp dữ liệu không gian với thông tin dự án, cung cấp cái nhìn tổng thể về bối cảnh dự án mà tất cả các bên liên quan đều có thể tiếp cận. Đối với hoạt động thi công các công trình xây dựng nói chung và thi công các công trình ngầm đô thị nói riêng, việc lập bản đồ hạ tầng dựa trên GIS là một sự lựa chọn phù hợp và góp phần quản lý rủi ro trong quá trình thi công các công trình, bao gồm:

(i) Phần mềm GIS tập hợp tất cả dữ liệu dự án vào một kho dữ liệu tập trung duy nhất từ bản vẽ mặt bằng, bản đồ địa hình đến mạng lưới tiện ích và đánh giá môi trường giúp cho các chủ thể tham gia vào dự án đều có quyền truy cập vào dữ liệu chính xác nhất.

(ii) Tăng cường hợp tác hiệu quả giữa các đội ngũ khác nhau thông qua việc GIS cho phép cập nhật và chia sẻ thông tin theo thời gian thực.

(iii) Việc sử dụng và truy cập vào dữ liệu không gian toàn diện giúp các nhà quản lý nắm bắt được chi tiết về địa điểm dự án, xác định các nguy cơ tiềm ẩn, đưa ra quyết định thông minh, chính xác và chủ động xử lý tình huống, giúp giảm thiểu rủi ro trong quá trình thi công.

(iv) Nhờ có các công cụ dựa trên GIS tự động hóa nhiều quy trình liên quan đến quản lý và phân tích dữ liệu, các đội ngũ khác nhau có thể tự động cập nhật bản đồ với tiến độ xây dựng mới nhất hoặc phát hiện các vấn đề phát sinh so với kế hoạch, góp phần giảm bớt công sức thủ công và quy trình làm việc được tinh giản.

(v) Các nền tảng GIS có thể tạo ra các bản đồ và hình ảnh trực quan tương tác dễ hiểu, giúp truyền đạt rõ ràng và ngắn gọn các chi tiết phức tạp của dự án. Do đó, góp phần nâng cao tính minh bạch cũng như xây dựng niềm tin và sự gắn kết với các bên liên quan.

(vi) Hệ thống GIS có thể thực hiện các phân tích không gian tinh vi, đánh giá tác động của việc xây dựng lên môi trường nên góp phần cho việc lập kế hoạch thi công, dễ dàng được chia sẻ giữa các nhóm để thống nhất về các quyết định chiến lược, quản lý rủi ro trong quá trình thi công công trình.

Có thể thấy rằng, GIS là ứng dụng phù hợp và có nhiều tiềm năng đáp ứng hiệu quả mục tiêu quản lý rủi ro khi thi công các công trình ngầm đô thị. Do đó, các đơn vị thi công cần phải tích cực chuyển từ việc sử dụng các thiết bị đơn lẻ sang việc tích hợp nhiều công nghệ cảm biến khác nhau giống như GIS nhằm góp phần cải thiện độ chính xác trong việc xác định vị trí, điều kiện thuận lợi và khó khăn khi thi công các công trình ngầm đô thị.



Hình 6. Sự phù hợp khi ứng dụng GIS trong quản lý rủi ro thi công công trình ngầm đô thị tại Việt Nam (Nguồn: Tác giả tổng hợp).

4. Ứng dụng GIS trong quản lý rủi ro thi công công trình ngầm đô thị tại Việt Nam

Một trong những giải pháp kỹ thuật số có thể ứng dụng để quản lý rủi ro trong thi công công trình ngầm đô thị là hệ thống thông tin địa lý GIS. Ứng dụng GIS đã được xác định là công nghệ đột phá nhằm tạo điều kiện thuận lợi và nâng cao năng suất trong thi công công trình [10]. GIS là cho phép thu thập, lưu trữ, xử lý và hiển thị thông tin không gian thông tin dựa trên mô hình địa lý, tạo điều kiện thuận lợi cho sự thành công của công trình và mở ra những khía cạnh mới để giải quyết thách thức, quản lý rủi ro trong quá trình thi công công trình ngầm đô thị. GIS giúp quản lý theo dõi tiến độ và cung cấp cập nhật theo thời gian thực về tình trạng của các thành phần khác nhau của công trình, cho phép điều chỉnh kịp thời và cung cấp thông tin chính xác, nhanh chóng đánh giá thiệt hại nếu xảy ra thiên tai, tai biến địa chất để có những quyết định phối hợp các nỗ lực ứng phó, từ đó góp phần giảm chi phí, giảm thiểu thời gian và nâng cao năng suất xây dựng.

Trong quá trình thi công công trình ngầm đô thị sẽ có những rủi ro khác nhau nên đơn vị thi công phải thường xuyên nhận dạng rủi ro cần xử lý, cập nhật và theo dõi tiến độ ứng phó, báo cáo và phân tích dữ liệu để đưa ra quyết định quản lý rủi ro. Ứng dụng GIS nhằm quản lý rủi ro khi thi công công trình ngầm đô thị được ứng dụng cụ thể ở từng giai đoạn như sau:

4.1. Ứng dụng GIS để lập bản đồ và phân vùng khu vực thi công theo các mức độ nguy hiểm nhằm phân tích, đánh giá rủi ro khi thi công công trình ngầm đô thị

Một nguyên tắc cơ bản khi phân tích, đánh giá rủi ro là phân tích, đánh giá các nguy cơ rủi ro do thiên tai, do các công trình xung quanh và điều kiện thi công phụ thuộc vào vị trí đã có sẵn dữ liệu lịch sử cho từng vị trí đáng tin cậy (như về các sự cố sụt lún, ngập lụt, ..). GIS là

công cụ cung cấp thông tin không gian bằng cách liên kết các vị trí với thông tin về vị trí đó, cung cấp các chức năng và công cụ cần thiết để ghi lại, lưu trữ, xử lý, phân tích và hiển thị thông tin về các địa điểm và đồ vật một cách hiệu quả nhằm xây dựng bản đồ rủi ro giúp các đơn vị xác định, định lượng và đánh giá rủi ro một cách hiệu quả.

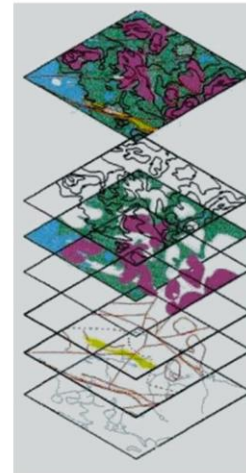
Quản lý rủi ro trong lĩnh vực xây dựng là quá trình xác định, đánh giá, giảm thiểu và quản lý các nguy cơ và rủi ro có thể xảy ra trong quá trình xây dựng dự án. Rủi ro trong xây dựng có thể bao gồm nhiều yếu tố như thời gian, nguồn lực, nguồn vốn, quản lý dự án, thiết kế, cung ứng vật liệu, vận chuyển, sử dụng công nghệ và thậm chí thời tiết và môi trường. Nhằm thực hiện quản lý rủi ro thì công trình ngầm đô thị hiệu quả, các đơn vị thi công có thể ứng dụng GIS để lập bản đồ và phân vùng khu vực thi công theo các mức độ nguy hiểm như sau:

Thứ nhất, khu vực cực kỳ nguy hiểm với sự phát triển tích cực các quá trình địa chất, thực sự đe dọa phá hủy các công trình ngầm, các tòa nhà nằm trong khu vực ảnh hưởng xây dựng ngầm và an toàn cộng đồng. Trạng thái môi trường địa chất trong trường hợp này được đặc trưng bởi sự nguy hiểm và mức độ kỹ thuật bảo vệ môi trường – không đạt yêu cầu và việc xây dựng công trình ngầm bất kỳ đều bị cấm.

Thứ hai, các khu vực nguy hiểm thể hiện tiềm năng đe dọa môi trường đối với người dân, nhân viên làm việc trong công trình ngầm và môi trường tự nhiên. Sự phát triển tích cực của các quá trình địa chất nguy hiểm, đặc biệt là tác động mạnh của công trình ngầm lên môi trường địa chất có thể phá hủy các công trình ngầm và các tòa nhà ở mặt đất. Tại các khu vực này không nên thiết kế và xây dựng các công trình quan trọng và kinh tế lớn. Những công trình ngầm và các công trình mặt đất hiện có cần phải được theo dõi, quan trắc liên tục.

Thứ ba, khu vực tương đối nguy hiểm có các vùng phát triển quá trình địa chất nguy hiểm. Ở đây có thể xây dựng công trình ngầm kết hợp với các biện pháp giảm thiểu rủi ro môi trường; Khu vực đô thị an toàn cho việc xây dựng công trình đô thị, không yêu cầu kỹ thuật bảo vệ môi trường. Tại đây không có giới hạn đặc biệt khi xây dựng công trình đô thị. Dựa trên sự phân cấp lãnh thổ và phân tích độ nguy hiểm đối với thiên nhiên và môi trường do các nhà thiết kế, nhà kinh tế và các nhà xã hội học phối hợp thực hiện, người ta đánh giá và lập được bản đồ rủi ro. Những bản đồ này chỉ ra các vùng có mức độ rủi ro môi trường khác nhau, giúp giải quyết hiệu quả các vấn đề quản lý rủi ro và quy hoạch đô thị. Trên cơ sở đánh giá rủi ro môi trường có thể lựa chọn các biện pháp tối ưu (ưu tiên) bảo vệ môi trường khi khai thác không gian ngầm đô thị.

Hình 7 trên đây thể hiện rằng có nhiều loại dữ liệu khác nhau có thể được tích hợp vào một hệ thống thông tin địa lý (GIS) và được biểu diễn dưới dạng lớp bản đồ, có thể bao gồm: đường phố, lô đất, quy hoạch, khu vực ngập lụt, vị trí khách hàng, Khi các lớp này được vẽ chồng lên nhau, các xu hướng và mối quan hệ không được phát hiện sẽ xuất hiện và cho phép hiểu rõ hơn về các đặc điểm các khu vực liên quan của địa điểm thi công.



Dự án GIS

Lớp 1: Địa hình

Lớp 2: Trầm tích đầm lầy hồ

Lớp 3: Trầm tích nước sông băng

Lớp 4: Trầm tích Đệ tứ

Lớp 5: Hệ thống các vết nứt

Lớp 6: Địa chất thủy văn

Hình 7. Cấu trúc các lớp quan trắc địa chất trong GIS [11].

4.2. Ứng dụng công nghệ GIS để tạo ra các mô hình 3D chi tiết và hình ảnh hóa các khu vực thi công nhằm bảo vệ tránh rủi ro

Do tính chất là các công trình ngầm dưới lòng đất nên dễ bị tác động trong quá trình thi công, do đó việc thực hiện các giải pháp tiềm năng để giảm thiểu hại bao gồm cải thiện tài liệu giáo dục, giải quyết sự chậm trễ và thiếu chính xác trong việc xác định vị trí thi công của các đơn vị thi công và chủ đầu tư. Để giải quyết các vấn đề do thi công ngầm dưới lòng đất gây ra, việc ứng dụng công nghệ GIS để tạo ra các mô hình 3D chi tiết và hình ảnh hóa các khu vực thi công công trình ngầm đô thị là rất cần thiết. Sử dụng thông tin dữ liệu GIS để điều chỉnh các vị trí thi công phù hợp khi thi công công trình ngầm, thông số kỹ thuật về địa hình và các lớp sẽ giúp các đơn vị thi công hình dung toàn bộ dự án, cho phép các bên liên quan và công chúng hiểu được quy mô, sự phù hợp và sự tích hợp của mạng lưới công trình ngầm với các công trình hiện có.

Đồng thời, công nghệ GIS đã được sử dụng để tạo ra các bản đồ và hình ảnh trực quan tương tác nhằm thu hút sự chú ý của người dân và truyền đạt thông tin cập nhật về dự án, nhờ đó giúp người dân, đơn vị thi công và các bên liên quan hiểu rõ các chi tiết của dự án cũng như tác động của nó đến cộng đồng và môi trường sống, môi trường làm việc.



Hình 8. Mô hình 3D chi tiết và hình ảnh hóa công trình ngầm tại Hauptwache, Frankfurt am Main, Đức [12].

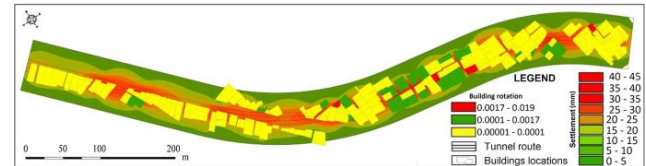
4.3. Ứng dụng công nghệ GIS cung cấp bản đồ khả năng rủi ro và mức độ biến dạng mặt đất nhằm xác định bồi thường thiệt hại rủi ro trong thi công công trình ngầm đô thị

Trong bối cảnh các rủi ro, các thảm họa cá nhân và cộng đồng có thể xảy ra trong thi công công trình ngầm đô thị, sử dụng dữ liệu GIS được cập nhật và phong phú được cung cấp thông qua bản đồ 3D có thể giúp hướng dẫn các nỗ lực khắc phục rủi ro, cứu trợ nhằm cứu sống con người, xác định các khu vực bị ảnh hưởng nặng nề nhất và lập kế hoạch cho việc bồi thường thiệt hại và tái xây dựng. Những mô hình và bản đồ chi tiết này có thể giúp các nhân viên cứu hộ và các đội ứng phó thảm họa xác định vị trí của khu vực xảy ra rủi ro, loại địa hình, bất kỳ độ cao nào trong khu vực, các tuyến đường sơ tán tiềm năng và khu vực cần được ưu tiên khi cử đội cứu hộ đến hiện trường xảy ra rủi ro, thảm họa.

Công tác giảm thiểu và ngăn ngừa các mối nguy hại môi trường trong thi công công trình ngầm dựa trên việc xem xét tất cả các cấp độ của quá trình thi công, từ việc thu thập thông tin địa chất, dự báo, mô hình hóa, lập dự án xây dựng cho đến việc lựa chọn các biện pháp bảo vệ môi trường kỹ thuật hiệu quả trong quá trình vận hành các công trình. Khi các thông tin về cơ sở hạ tầng ngầm được quản lý thông qua các bản vẽ CAD trên giấy hoặc 2D sẽ gây khó khăn cho việc hình dung và hiểu rõ tình hình cơ sở hạ tầng do sự phân bố phức tạp, dày đặc và điều kiện thi công rất khó khăn, nguy hiểm trong lòng đất. Biến dạng mặt đất do hoạt động thi công ngầm gây ra có thể làm ảnh hưởng đến cơ sở hạ tầng và các công trình hiện có, tùy thuộc vào tình trạng của các tòa nhà và mức độ lún sẽ xảy ra và gây thiệt hại cho các tòa nhà. Ngoài ra, việc va chạm vào cơ sở hạ tầng bị chôn vùi hiện có trong quá trình thi công công trình ngầm là một trong những mối lo ngại lớn nhất, gây ra hậu quả nặng nề như vỡ đường ống nước, nổ, cháy. Ứng dụng GIS sẽ đảm bảo cung cấp đầy đủ các thông tin thực tế, hiện trạng chính xác về sự lún và thiệt hại do các hoạt động thi công ngầm gây ra, cung cấp bản đồ khả năng rủi ro và mức độ biến dạng mặt đất, thông tin từ các khu vực có nguy cơ rất cao đến các khu vực có nguy cơ rất thấp. Từ đó, đảm bảo cho việc đánh giá rủi ro, bồi thường thiệt hại nếu xảy ra rủi ro, thảm họa trong khi thi công công trình một cách kịp thời và hiệu quả.

Để phân tích và quản lý rủi ro công trình ngầm, một hệ thống địa không gian đã được phát triển để lập bản đồ và trực quan hóa nhận thức về độ không chắc chắn của các tiện ích ngầm bằng cách tích hợp GPR, GPS và GIS [13]. Ngoài ra, một số thiết bị và kỹ thuật đã được phát triển để tích hợp với GPR để cải thiện khả năng định vị nhằm quản lý rủi ro cho các công trình ngầm đô thị, bao gồm một bộ cảm biến với một camera và một GPR đã được phát triển cho việc kiểm tra bề mặt cũng như kiểm tra cơ sở hạ tầng ngầm, nơi các phương pháp mới đã được phát triển cho việc hiệu chuẩn GPR-camera và hợp nhất dữ liệu cảm biến [14]. Hệ thống đã có thể giảm thiểu lỗi trong việc kiểm tra cơ sở hạ tầng và thực hiện tái tạo 3D các cấu trúc, góp phần chỉ ra các vị trí không an toàn và được hiển thị

bằng các mô hình trong GIS để con người có thể tránh va chạm với các công trình hiện hữu trong quá trình khai thác.



Hình 9. GIS cung cấp bản đồ khả năng rủi ro và mức độ biến dạng mặt đất khu vực thi công công trình ngầm [15].

5. Kết luận

Nghiên cứu đã trình bày tổng quan về quản lý rủi ro trong xây dựng ngầm đô thị và hệ thống thông tin địa lý (GIS) cũng như sự phù hợp, vai trò quan trọng của GIS đối với quản lý rủi ro thi công công trình ngầm đô thị với nhiều tiềm năng đáp ứng hiệu quả mục tiêu quản lý rủi ro. Các giải pháp đề xuất có liên quan đến ứng dụng GIS để lập bản đồ, phân vùng khu vực thi công theo các mức độ nguy hiểm, tạo ra các mô hình 3D chi tiết và hình ảnh hóa các khu vực thi công nhằm phân tích, đánh giá rủi ro và bảo vệ tránh rủi ro. Đồng thời, ứng dụng GIS góp phần cung cấp bản đồ khả năng rủi ro và mức độ biến dạng mặt đất nhằm khắc phục, bồi thường thiệt hại rủi ro trong thi công công trình ngầm đô thị một cách kịp thời và chính xác. Do đó, các đơn vị thi công công trình ngầm đô thị cần triển khai ứng dụng hệ thống thông tin địa lý (GIS) để cải thiện độ chính xác trong việc xác định các đặc điểm về vị trí thi công, điều kiện địa chất thủy văn, phân vùng khu vực nguy hiểm, bản đồ rủi ro.... của công trình ngầm đô thị, nhằm đảm bảo an toàn và hiệu quả trong quá trình thi công công trình.

6. References

- [1]. Nguyễn Công Giang (2024), Scientific basis for layering management and construction of urban underground space in Hanoi city, Tạp chí Xây dựng và đô thị, Số 94.2024.
- [2]. Tạp chí Nhân dân online (2024), Hệ thống đô thị Việt Nam phát triển mạnh về số lượng và chất lượng, <https://nhandan.vn/>, đăng ngày 19/01/2024.
- [3]. Quản lý môi trường (2022), Khó khăn và định hướng trong quy hoạch, quản lý công trình ngầm đô thị, <https://quanly.moitruongvadothi.vn/>, đăng tải 13/3/2022
- [4]. Lê Quang Hanh và Nguyễn Viết Trung (2017), Phân tích sự cố và quản lý rủi ro trong xây dựng công trình ngầm, Nhà xuất bản xây dựng
- [5]. Nguyễn Công Giang, Nguyễn Trường Huy, Bùi Thị Ngọc Lan và Nguyễn Xuân Phúc (2024), Quản lý rủi ro trong xây dựng công trình ngầm đô thị, Nhà xuất bản xây dựng, tháng 4/2024.
- [6]. Debasis Sarkar, Goutam Dutta (2011), A framework of project risk management for the underground corridor construction of Metro Rail, Indian institute of management, Ahmedabad-380 015, India.
- [7]. Bùi Thị Ngọc Lan (2023), GIS in Smart urban planning and management: Lessons learned for Vietnam, Hanoi Architectural University, Science journal of Architecture and Construction, Number 51/2023.

- [8]. Amy Hutchins, Drew Olsen and James Hamilton (2024), The Power of Construction GIS: From Data to Decisions, <https://www.procore.com/>, Published Aug 13, 2024.
- [9]. Mingzhu Wang, Xianfei Yin (2022), Construction and maintenance of urban underground infrastructure with digital technologies, *Automation in Construction* 141 (2022) 104464, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104464>, Available online 4 July 2022.
- [10]. Sultan Çetin, Catherine De Wolf and Nancy Bocken (2021), Circular Digital Built Environment: An Emerging Framework, *The Special Issue Circular Economy in the Digital Age*, <https://doi.org/10.3390/su13116348>, Published 03 June 2021.
- [11]. Kulikova and A.Ivannikov (2019), Geographic Information Systems in geological monitoring during the construction of urban underground structures, *European Association of Geoscientists & Engineers, Monitoring 2019*, <https://doi.org/10.3997/2214-4609.201903192>, Nov 2019, Volume 2019, p.1–5.
- [12]. Olga Gamayunova and Eliza Gumerova (2016), Solutions to the urban problems by using of underground space, 15th International scientific conference “Underground Urbanisation as a Prerequisite for Sustainable Development”, *Procedia Engineering* 165 (2016) 1637 – 1642, doi: 10.1016/j.proeng.2016.11.904.
- [13]. S. Li, H. Cai, V.R. Kamat, Uncertainty-aware geospatial system for mapping and visualizing underground utilities, *Automation in Construction* 53 (2015) 105–119, <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2015.03.011>.
- [14]. C. Chou, H. Li, D. Song, Encoder-camera-ground penetrating radar sensor fusion: bimodal calibration and subsurface mapping, *IEEE Transactions on Robotics* 37 (2021) 67–81, <https://doi.org/10.1109/TRO.2020.3010640>.
- [15]. Esmatkhah Irani, Azadi, Nikbakht et al (2022), GIS-based Settlement Risk Assessment and its Effect on Surface Structures: A Case Study for the Tabriz Metro—line 1, *Geotech Geol Eng* 40, 5081–5102 (2022). <https://doi.org/10.1007/s10706-022-02201-x>.