



Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <http://jmes.humg.edu.vn>



Methods for mitigating effects induced by tunnelling on nearby existing buildings in cities



Ngan Minh Vu ^{1,*}, Luyen Van Nguyen ², Lam Phuc Dao ³

¹ Faculty of Civil Engineering, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

² Urban Infrastructure Development Investment Corporation, Vietnam

³ University of Transport Technology, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:

Received 26th Oct. 2020

Revised 13rd Nov. 2020

Accepted 31st Dec. 2020

Keywords:

Existing buildings,
Influence zone,
Mitigating methods,
Soil improvement
Tunnelling,

ABSTRACT

Tunnelling in urban areas in soft soil conditions has risks of negative impacts on nearby existing buildings. When buildings are in/on influence zones induced by tunnelling, they can be damaged in the case of without any mitigating methods applied. This paper summarizes and presents a three category classification of mitigating effects induced by tunneling including methods in tunnel design and tunnelling process, and soil improvement methods, as well as reinforcement for buildings. On the basis of the study, designers and engineers can obtain suitable solutions for their safe tunnel projects.

Copyright © 2020 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

* Tác giả liên hệ

E - mail: vuminhngan@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.HTCS2020.08



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



Các giải pháp giảm thiểu ảnh hưởng của thi công hầm trong thành phố đến các công trình lân cận

Vũ Minh Ngạn ^{1,*}, Nguyễn Văn Luyến ², Đào Phúc Lâm ³

¹ Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mỏ-Địa chất, Việt Nam

² Tổng công ty đầu tư phát triển hạ tầng đô thị UDIC, Việt Nam

³ Đại học Công nghệ Giao thông vận tải, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 26/10/2020

Sửa xong 13/11/2020

Chấp nhận đăng 31/12/2020

Từ khóa:

Công trình hiện hữu,

Giải pháp,

Thi công hầm,

Vùng ảnh hưởng,

Xử lý đất yếu.

TÓM TẮT

Thi công hầm trong điều kiện địa chất đất yếu tại các đô thị có thể dẫn đến các ảnh hưởng tiêu cực đến các công trình hiện hữu lân cận. Trong trường hợp các công trình nằm trong vùng ảnh hưởng mà không có các biện pháp giảm thiểu, các công trình này có thể bị hư hỏng và phá hủy. Bài báo phân tích, tổng hợp và đề xuất ba hướng giải pháp giảm thiểu ảnh hưởng của thi công hầm bao gồm các giải pháp áp dụng trong quá trình thiết kế và thi công hầm, các biện pháp gia cố nền đất yếu xung quanh và các biện pháp tăng cường khả năng chịu lực của các công trình hiện hữu. Trên cơ sở các giải pháp này, các nhà thiết kế, các kỹ sư sẽ lựa chọn giải pháp phù hợp nhằm đảm bảo an toàn quá trình thi công, tiết kiệm chi phí và giảm thiểu tác động của quá trình thi công hầm đến môi trường xung quanh.

© 2020 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Trong những năm gần đây, trước yêu cầu của cuộc sống và sự phát triển kinh tế xã hội, sự mở cửa và hội nhập, vấn đề tắc nghẽn giao thông ngày càng trở nên nhức nhối trong các khu đô thị tại Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh. Do không gian trên bề mặt tại các thành phố ngày càng trở nên hạn chế, việc phát triển không gian ngầm bao gồm các tuyến tàu điện ngầm metro, các hầm giao thông,... trở thành một vấn đề tất yếu. Thi công hầm sử dụng máy đào hầm có khiên đào (TBMs) là một công nghệ thi công phổ biến khi xây dựng công

trình ngầm trong các đô thị ở các nước trên thế giới với các ưu điểm thi công an toàn, cơ giới hóa cao và tốc độ thi công nhanh. Đặc biệt khi thiết kế và thi công hầm trong đất với độ sâu hầm nằm nông sẽ giúp giảm khối lượng thi công và tiết kiệm thời gian di chuyển từ trên bề mặt xuống khu vực đường ray khi tuyến hầm được đưa vào hoạt động. Tuy nhiên, việc thi công hầm với độ sâu nông trong điều kiện đất yếu sẽ phải đối mặt với nhiều vấn đề khó khăn trong quá trình thi công ảnh hưởng đến hệ thống công trình ngầm tiện ích hiện hữu và các công trình lân cận bao gồm các vấn đề về ổn định, lún bề mặt và tác động đến hệ móng công trình. Đặc biệt, khi thi công hầm trong điều kiện đất yếu tại các thành phố nơi có nhiều di tích lịch sử và văn hóa, vấn đề đảm bảo an toàn cho các công trình lân cận và trên bề mặt là hết sức quan

*Tác giả liên hệ

E - mail: vuminhngan@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.HTCS2020.08

trọng. Các dự án trên thế giới đã ghi nhận nhiều sự cố gây sập đổ các công trình trên bề mặt như dự án thi công hầm tại Munich, Đức, tại San Paolo, Brazil (Burland và nnk, 2001)...

Bài báo tổng hợp và đề xuất phân loại các biện pháp giảm thiểu ảnh hưởng của quá trình thi công công trình ngầm đến các công trình lân cận bao gồm các giải pháp từ giai đoạn thiết kế đến giai đoạn thi công cũng như một số giải pháp tăng cường và gia cố khả năng chịu lực của các công trình hiện hữu.

2. Các giải pháp khi thiết kế và thi công hầm

2.1. Các giải pháp trong quá trình thiết kế

Về ổn định khi thi công công trình ngầm, nhiều nhà khoa học trên thế giới đã nghiên cứu ổn định của thi công hầm trong đất yếu, có thể kể đến các tác giả Broms và Bennermark (1967), Kimura và Mair (1981), Leca và Dormieux (1990), Anagnostou và Kovári (1994), Jancsecz và Steiner (1994),... Khi thiết kế ổn định thi công hầm trong giai đoạn tính toán sơ bộ, tính toán đánh giá đầy nổi là hết sức quan trọng khi thi công hầm dưới mực nước ngầm. Các tính toán này đã được đề cập đến trong một số nghiên cứu như Bakker (2000), NEN-EN 1997-1 (1997). Trong nghiên cứu về ảnh hưởng của chiều dày lớp đất phủ đến thi công hầm (Vũ và nnk., 2015) đã đưa ra được mối quan hệ giữa tỉ số chiều dày lớp đất phủ/đường kính hầm C/D và chiều dày vỏ hầm/đường kính hầm d/D để đảm bảo hầm ổn định đầy nổi và giải pháp sử dụng đá ballast trong thi công hầm nhằm giảm thiểu nguy cơ hầm bị đầy nổi.

Một vấn đề quan trọng khi thiết kế thi công hầm là xác định áp lực dung dịch cần thiết sử dụng tại gương đào và khoảng trống phía sau máy đào hầm. Các mô hình thực nghiệm và bán thực nghiệm đề xuất bởi Anagnostou và Kovári (1994), Jancsecz và Steiner (1994), Broere (2001) thường được sử dụng phổ biến trong tính toán cho phép xác định áp lực dung dịch nhỏ nhất. Áp lực dung dịch lớn nhất trong thi công hầm nhằm tránh hiện tượng đẩy trời với các mô hình tính được nêu trong nghiên cứu của Broere (2001) và Vũ Minh Ngạn (2016a). Đường bao áp lực dung dịch với các tỉ số C/D biến thiên (Vũ và nnk., 2015) cho phép các kĩ sư có thể lựa chọn áp lực dung dịch phù hợp khi thi công hầm trong các điều kiện địa chất khác nhau.

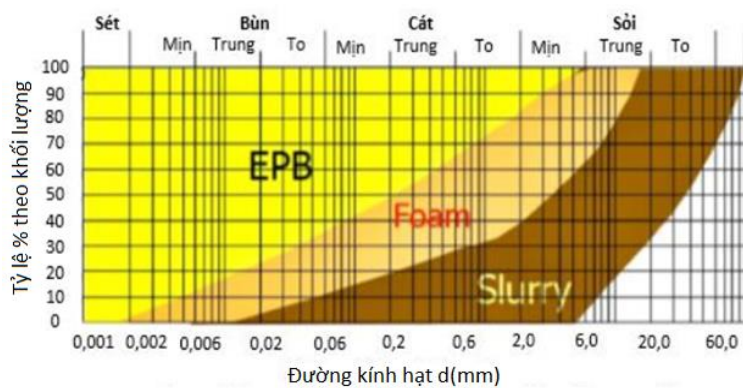
Về vấn đề tính toán thiết kế kết cấu vỏ hầm, các mô hình thiết kế đề xuất bởi Duddeck và Erdmann (1985) phổ biến áp dụng trong thực tiễn và hướng dẫn thiết kế của ITA-WG2(2000) trong đó tương tác giữa vỏ hầm và nền đất xung quanh được thể hiện qua các gối đàn hồi. Gần đây, các mô hình tính toán phát triển bởi (Oreste 2007), Đỗ Ngọc Anh và nnk. (2014), Vũ và nnk. (2017), Vũ và Broere (2018) cho phép phân tích nội lực vỏ hầm trong các điều kiện đất đồng nhất và không đồng nhất. Trong nghiên cứu về tác động của áp lực đất nền lên nội lực xuất hiện trong vỏ hầm, Vũ và nnk. (2017) đã đưa ra mối quan hệ giữa tỉ số d/D và tỉ số C/D nhằm đạt được thiết kế tối ưu để đạt được giá trị mô men uốn lớn nhất có giá trị nhỏ nhất trong tính toán nội lực vỏ hầm. Nghiên cứu của Vũ và Broere (2018) chỉ ra nội lực vỏ hầm sẽ tăng dần theo thời gian từ lúc chịu tải trọng do áp lực dung dịch phun xung quanh vỏ hầm tại khoảng trống sau máy đào hầm và trở nên ổn định theo thời gian.

Khi thiết kế hầm trong thành phố, một nhiệm vụ thiết kế quan trọng là xác định ảnh hưởng của thi công hầm đến công trình hiện hữu lân cận. Các nghiên cứu về ảnh hưởng của thi công hầm đến công trình lân cận có thể kể đến bao gồm Rankin (1988), Boscardin và Cording (1989),... Phương pháp biến dạng tới hạn đề xuất bởi Boscardin and Cording (1989) được sử dụng rộng rãi, bao gồm 4 bước sau: dự báo độ lún tại khu vực không có công trình, xác định ảnh hưởng của dịch chuyển nền đất tác động lên công trình; xác định biến dạng của công trình và phân mức độ ảnh hưởng tác động lên công trình.

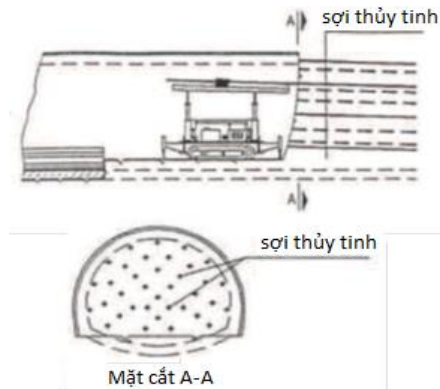
2.2. Các giải pháp trong quá trình thi công

Ngày nay, khi thi công hầm trong môi trường đất yếu bằng máy đào hầm TBM thì có hai loại máy đào hầm chủ yếu là máy đào hầm sử dụng dung dịch bùn (Slurry Shield, SS) và máy đào hầm dạng cân bằng áp lực đất (Earth Pressure Balance, EPB). Các máy đào hầm nói trên được sử dụng trong điều kiện đất yếu không ổn định kết hợp với sử dụng dung dịch tại gương đào và khoảng trống phía sau máy đào hầm.

Hình 1 mô tả phạm vi ứng dụng của máy đào hầm SS và EPB theo đường cong cấp phối của đất (Maidl, 2012). Máy đào hầm sử dụng dung dịch bùn thông thường sử dụng với vữa bentonite hoặc polymer được phun với áp lực cao tại gương đào



Hình 1. Lựa chọn máy đào hầm theo thành phần hạt (Maidl, 2012).



Hình 2. Gia cố bề mặt gương đào khi thi công hầm Poggio Orlandi Tunnel (Lunardi và nnk, 1992).

hoặc khoảng trống phía sau máy đào hầm. Các hỗn hợp sản phẩm đào bao gồm đất và dung dịch bùn sau đó sẽ được vận chuyển và được phân tách để tái sử dụng. Máy đào hầm SS thường được sử dụng khi thi công hầm trong điều kiện đất hạt rời như cát, sỏi. Máy đào hầm dạng cân bằng áp lực đất (EPB) thường trộn đất đào với các hóa chất chuyên dụng như foam, bùn... trong buồng đào để tạo ra áp lực chống tại gương đào. Ưu điểm của máy đào hầm EPB là không phải sử dụng hệ thống phân tách dung dịch đào. EPB có thể được sử dụng khi thi công hầm trong hầu hết các loại địa chất. Tuy nhiên, khó khăn lớn nhất khi thi công hầm bằng máy EPB là việc kiểm soát sự cân bằng áp lực giữa hỗn hợp đất đào và áp lực của đất và nước xung quanh. Việc lựa chọn loại máy thi công hầm phụ thuộc vào các yếu tố sau: loại đất, kích cỡ hạt, phân bố thành phần hạt, mực nước ngầm, độ thấm, áp lực chống cần thiết, độ mài mòn và chiều sâu đặt hầm.

2.2.1. Thiết kế các thông số của máy đào hầm

Từ các phân tích trong Vũ và nnk., (2016a), giá trị của lượng đào dư dọc theo thân hầm phụ thuộc vào các thông số của máy đào hầm như kích thước bộ phận đào và hình dạng của khiên đào. Do đó, việc hạn chế thi công hầm theo đường cong có thể giảm lượng đào dư. Ngoài ra một giải pháp khác là giảm sự sai lệch giữa bộ phận đào và kích thước hầm thiết kế, tuy nhiên giải pháp này là rất khó vì sẽ gây khó khăn trong quá trình đào hầm do tăng lực ma sát giữa thành máy đào hầm và đất xung quanh.

2.2.2. Kiểm soát áp lực dung dịch

Các kết quả nghiên cứu về lượng đào dư trong Vũ và nnk., (2016a) cho thấy giá trị áp lực dung dịch sử dụng tại gương đào và khoảng trống phía sau máy đào hầm là thông số chính quyết định giá trị lượng đào dư (sự sai khác giữa tiết diện thi công đào hầm thực tế và tiết diện hầm thiết kế) và độ lún trên bề mặt. Do vậy, bơm dung dịch với áp lực cao tại các vị trí này có thể giảm được độ lún trên bề mặt. Tuy nhiên, các kỹ sư cần chú ý đến hiện tượng đẩy trôi khi thiết kế thi công hầm sử dụng áp lực dung dịch gần giá trị cận trên.

2.2.3. Gia cố bề mặt gương đào

Trong trường hợp thi công hầm ở chế độ đào mở, các giải pháp gia cố bề mặt gương đào thường được áp dụng để tăng độ ổn định và giảm lún bề mặt. Các giải pháp này thường được áp dụng khi thi công hầm tại Pháp và Ý. Neo đất kết hợp với sợi thủy tinh thường được sử dụng gia cố cho mặt gương đào và cả nền đất xung quanh. Chiều dài và phạm vi gia cố được xác định dựa theo điều kiện địa chất và thông số đường hầm. Hình 2 minh họa trường hợp sử dụng sợi thủy tinh để gia cố nền đất khi thi công hầm Poggio Orlandi Tunnel, Ý với chiều dài neo 15 m.

2.2.4. Các giải pháp khi thi công hầm

Khi thi công hầm có thể xảy ra nhiều yếu tố gây mất ổn định cho hầm bao gồm áp lực dung dịch, quan trắc, hành vi của người điều khiển máy đào hầm, công tác vận chuyển trong hầm,...

Bảng 1 thống kê các rủi ro, nguy hiểm tiềm ẩn và các giải pháp có thể áp dụng trong khi thi công hầm. Các giải pháp này dựa trên kinh nghiệm thi công của các nhà thầu trên thế giới.

Bảng 1. Rủi ro và các giải pháp trong quá trình thi công hầm (tổng hợp từ tài liệu của một số dự án hầm).

TT	Hoạt động	Rủi ro	Hậu quả	Giải pháp
1	Điều khiển máy đào hầm TBM	Lượng đào dư lớn	Sụt lún lớn trên bề mặt, gây nguy hiểm cho các công trình hiện hữu	Kiểm soát chặt chẽ áp lực dung dịch sử dụng tại gương đào, lựa chọn vữa lấp đầy thích hợp, sử dụng biện pháp gia cố nền đất tại các khu vực có nguy cơ cao và nâng cao chất lượng công tác điều khiển máy đào hầm
2	Điều khiển máy đào hầm TBM	Mất ổn định gương đào	Gây sập gương đào, dừng máy đào hầm và sụt lún lớn trên bề mặt	Sử dụng dung dịch có chất lượng tốt, tính toán áp lực dung dịch chính xác và sử dụng các chất phụ gia
3	Điều khiển máy đào hầm TBM	Nước tràn vào TBM	Gây lụt lội, thay đổi lớn áp lực dung dịch tại gương đào	Sử dụng các chất phụ gia, các biện pháp chống thấm tại các vị trí có nguy cơ thấm nước
4	Điều khiển máy đào hầm TBM	Đẩy nổi hoặc chìm máy TBM	Gây lệch tuyến hầm	Tăng cường công tác giám sát trong quá trình khoan hầm
5	Điều khiển máy đào hầm TBM	Xoay máy TBM	Gây khó khăn trong việc lái máy đào hầm TBM	Tăng cường công tác giám sát trong quá trình khoan hầm
6	Điều khiển máy đào hầm TBM	Ảnh hưởng đến hệ móng công trình lân cận	Gây hư hỏng các công trình lân cận, dừng khoan hầm và hư hỏng máy đào hầm	Tính toán mức độ ảnh hưởng đến hệ móng khi thiết kế, tìm các giải pháp gia cố kết cấu móng phù hợp
7	Điều khiển máy đào hầm TBM	Kéo sụt hệ móng công trình phía trên	Ảnh hưởng đến sự làm việc của hệ móng, gây hỏng công trình lân cận	Sử dụng các biện pháp gia cố nền đất
8	Điều khiển máy đào hầm TBM	Các tình huống không lường trước	Chậm tiến độ thi công, thậm chí dừng thi công	Giám sát quá trình thi công cẩn thận với các nhân viên có trình độ cao và có kinh nghiệm thi công
9	Điều khiển máy đào hầm TBM	Cháy nổ	Dừng thi công và nguy hiểm cho nhân công	Chuẩn bị kỹ lưỡng các phương tiện phòng cháy chữa cháy và các vật liệu chống cháy trong TBM
10	Điều khiển máy đào hầm TBM	Mài mòn nhanh	Chi phí sửa chữa lớn, chậm tiến độ thi công	Thiết kế chống mài mòn cho máy đào hầm
11	Điều khiển máy đào hầm TBM	Đất dính	Chậm tốc độ khoan hầm	Sử dụng các phụ gia chống dính khi thi công hầm
12	Điều khiển máy đào hầm TBM	Xuất hiện khí gas	Gây nguy hiểm cho công nhân, gây cháy nổ	Tăng cường công tác giám sát trong quá trình khoan hầm
13	Điều khiển máy đào hầm TBM	Đẩy nổi	Tuyến hầm bị đẩy nổi	Thiết kế đẩy nổi, sử dụng các lớp đá chống đẩy nổi
14	Thi công lắp dựng hầm	Biến dạng đường hầm	Gây hư hỏng các tấm vỏ hầm, giảm độ bền và khả năng chịu lực	Nâng cao chất lượng thiết kế vỏ hầm và các mối nối
15	Thi công lắp dựng hầm	Chất lượng thi công lắp dựng vỏ hầm	Gây hư hỏng các tấm vỏ hầm, giảm độ bền và khả năng chịu lực	Nâng cao chất lượng kiểm soát thi công đúc sẵn tấm vỏ hầm và quá trình lắp dựng trong máy đào hầm
16	Thi công lắp dựng hầm	Phun vữa lấp khe rỗng phía sau máy đào hầm	Gây sụt lún trên bề mặt và hư hỏng tuyến hầm	Thiết kế và lựa chọn vật liệu lấp đầy phù hợp

17	Thi công lắp dựng hầm	Kết nối không hợp lý giữa đường hầm và nhà ga	Gây rò rỉ và lún lệch	Thiết kế cách nước và gia cố nền đất
18	Vận chuyển trong hầm	Phương án vận chuyển không hiệu quả	Quá trình thi công bị tạm dừng và giảm hiệu quả và khả năng của công tác vận chuyển trong hầm	Cải thiện thiết kế vận chuyển
19	Vận chuyển trong hầm	Sự cố trong khi vận chuyển	Quá trình thi công bị tạm dừng	Cải thiện thiết kế vận chuyển (đường ray, đầu máy, băng tải,...)

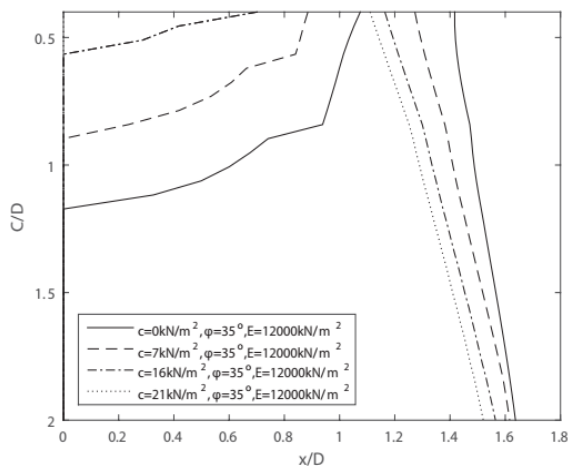
3.1. Các giải pháp gia cố nền đất yếu

Các kết quả nghiên cứu của Vũ Minh Ngạn (2016a) cho thấy việc cải thiện các thông số đặc trưng của nền đất như góc ma sát trong, lực dính đơn vị... có tác dụng làm giảm phạm vi vùng ảnh hưởng khi thi công hầm trong đất (Hình 3). Việc xác định các thông số đặc trưng của nền đất cần thiết cho phép độ lún tại vị trí công trình hiện hữu có thể đạt được giá trị mong muốn của kỹ sư.

Trên cơ sở này, các tác giả đề xuất một số phương pháp gia cố nền đất sau để cải thiện các đặc trưng cơ lý của nền đất khi thi công hầm:

3.1.1. Bơm vữa áp lực cao

Phương pháp này bao gồm các công nghệ bơm vữa với áp lực cao từ phía trong hầm hoặc trên trên mặt đất nhằm gia cố vùng đất xung quanh đường hầm nhằm cải thiện đất và giảm thiểu tác động đến các công trình lân cận khi thi công hầm trong điều kiện đất yếu có khả năng gây mất ổn định quá trình thi công hầm và các công



Hình 3. Ảnh hưởng của lực dính đơn vị c đến phạm vi ảnh hưởng của thi công hầm (Vũ Minh Ngạn, 2016a).

trình lân cận. Có thể kể đến các công nghệ bơm vữa áp lực cao sử dụng ống TAM hoặc jetgrouting. Khi sử dụng công nghệ ống TAM, các ống có thể được khoan từ phía trên mặt đất hoặc phía trước gương hầm, sau đó vữa với thành phần hạt thô được bơm vào trước rồi đến vữa thành phần hạt mịn. Công nghệ sử dụng ống TAM cho phép bơm vữa với các thành phần cấp phối khác nhau trên cùng một hố khoan. Áp lực bơm vữa trong trường hợp này không được vượt quá giá trị $\alpha\gamma h$, trong đó γh là áp lực đất tại vị trí hố khoan, α là hệ số thực nghiệm với giá trị $\alpha=0.3 \div 3$ tùy thuộc vào từng loại đất (Kolymbas, 2005).

Công nghệ bơm vữa tiếp theo được sử dụng phổ biến trong thi công hầm là công nghệ jetgrouting. Quy trình thi công của công nghệ này bao gồm ban đầu đầu phụt được đưa vào trong đất bởi máy khoan, sau đó hỗn hợp vữa được bơm với áp lực cao để phá vỡ liên kết và trộn với đất. Thông thường, công nghệ có 3 dạng đầu phụt: hệ đầu phụt đơn chỉ bơm vữa, hệ đầu phụt kép bơm vữa và khí nén, hệ đầu phụt tam cấp bơm hỗn hợp vữa, khí và nước.

Trong thi công hầm, công nghệ bơm vữa thường được áp dụng tại các vị trí khởi tạo và nhận đường hầm như tại tuyến metro số 1 TP Hồ Chí Minh (Vũ, M. N., và Lê, Q. H., 2020), hoặc tạo ra vòm phía trên đường hầm như tại hầm Galleria Valsesia Milan, Italia, hầm Aechertunnel, Áo.

3.1.2. Công nghệ trộn xi măng đất

Công nghệ trộn xi măng đất khá phổ biến tại nước ta, và được sử dụng dùng để tăng cường độ của đất, giảm độ lún và giữ ổn định cho kết cấu. Trong công nghệ này, mũi khoan được khoan xuống độ sâu thiết kế thì quay ngược lại và được kéo lên trên cùng lúc với vữa xi măng được phun vào nền đất với áp lực cao để tạo hỗn hợp đất trộn xi măng. Công nghệ này đã được sử dụng trong gia

cổ nền ở nhiều nước trên thế giới như Malaysia, Nhật, Thụy Điển.

3.1.3. Công nghệ đóng băng đất

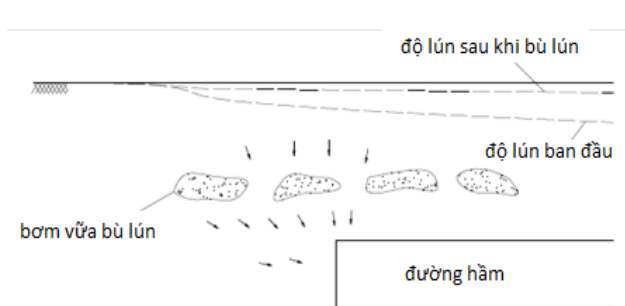
Công nghệ đóng băng đất được sử dụng với mục đích tăng cường độ của đất và ngăn không thấm nước nhằm duy trì ổn định khi thi công hầm. Công nghệ này có thể áp dụng với nhiều loại đất khác nhau đặc biệt với điều kiện đất bão hòa hoàn toàn và trong điều kiện thi công rất khó khăn. Ưu điểm của công nghệ là cho phép thi công đóng băng đất theo phạm vi mong muốn bằng việc sử dụng các đường ống có chiều dài và góc cong đa dạng. Tuy nhiên giá thành của công nghệ này là cao do phải duy trì đóng băng khối lượng đất lớn trong một thời gian dài và đặc biệt trong điều kiện khí hậu nóng ẩm ở nước ta. Ngoài ra công nghệ này còn có rủi ro gây đẩy trôi nền đất do đó đòi hỏi quá trình giám sát cẩn thận khi thi công đóng băng đất. Trong thi công hầm, công nghệ này đã được sử dụng ở các nước ôn đới như tuyến hầm Copenhagen Metro, Đan Mạch.

3.2. Các giải pháp bù lún

3.2.1. Bơm vữa bù lún

Giải pháp bơm vữa bù lún thường được sử dụng nhằm mục đích giảm độ lún công trình do thi công hầm qua việc tạo ra lún âm. Giải pháp bơm bù lún có thể chia ra làm hai phương pháp bao gồm phương pháp bơm bù lún dựa trên cơ sở vữa lấp đầy các khe hở trong đất và phương pháp bơm tạo thành khối vữa trong đất.

Trong giải pháp thứ nhất, vữa được bơm vào vị trí giữa công trình và hầm (Hình 4) thông qua các đường ống (thường là ống TAM). Khi áp dụng phương pháp này, trong quá trình thi công, công



Hình 4. Giải pháp bù lún công trình.

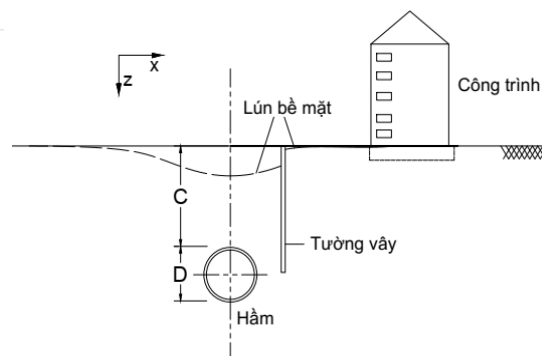
tác giám sát thi công được tiến hành trên mặt đất đồng thời đo độ lún công trình và kiểm soát quá trình bơm vữa. Giải pháp này có thể thực hiện được với nhiều điều kiện địa chất khác nhau. Thực tế thi công tại các dự án hầm trên thế giới cho thấy giải pháp này có thể sử dụng trong các điều kiện địa chất khó khăn cho thi công hầm như đất rất yếu hoặc đất chứa nhiều tạp chất hữu cơ. Giải pháp này đã được ứng dụng trong thi công hầm từ những năm 1974 tại Canterbury, Anh sau đó đã được ứng dụng thành công tại các dự án Waterloo Stations, London, Antwerp Central Station, Jubilee Line Extension, London and the North-South Line, Amsterdam.

Giải pháp thứ hai là tạo ra khối vữa trong nền đất, khối vữa làm đất chặt hơn và tạo ra lún âm với kết cấu. Thông thường, giải pháp này được thực hiện ở phía sau máy đào hầm TBM. Giải pháp này được thực hiện từ những năm 1950 và trở nên phổ biến ở Mỹ. Sau đó đến những năm 1990, giải pháp này được sử dụng ở Nhật Bản để bù lún cho các công trình bị ảnh hưởng bởi động đất. Hiện nay, lý thuyết nghiên cứu về phương pháp này chưa được phổ biến.

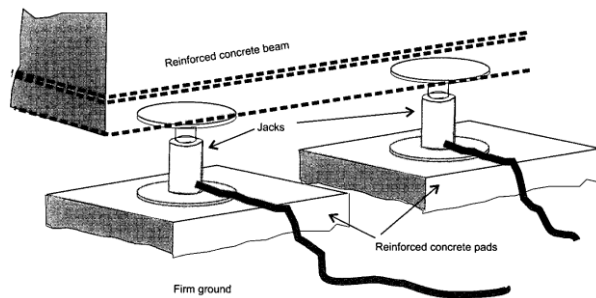
3.2.2. Giải pháp sử dụng tường vây

Tường vây được xây dựng trong khoảng cách giữa tuyến hầm và công trình cần bảo vệ để giảm thiểu tác động của việc thi công hầm (hình 5).

Tường vây trong thi công hầm có thể có nhiều dạng bao gồm tường vây bằng thép hình, hoặc tường cọc vữa xi măng, tường cọc hàng, tường bê tông hoặc tường băng. Bên cạnh đó, sử dụng tường vây có thể giảm được mực nước ngầm trong thi công.



Hình 5. Giảm lún bề mặt bằng giải pháp tường vây trong thi công hầm.



Hình 6. Kích đẩy kết cấu hiện hữu (Burland và nnk, 2001).

4. Các giải pháp gia cố các công trình hiện hữu

Bên cạnh các giải pháp về thiết kế thi công hầm và môi trường đất xung quanh, các giải pháp gia cố công trình hiện hữu thường được áp dụng để giảm thiểu tác động của thi công hầm lên các công trình hiện hữu và tăng cường khả năng làm việc của các công trình này. Các biện pháp có thể sử dụng bao gồm lắp đặt các hệ dầm đỡ, hệ thanh chống, các kích đẩy giữa các bộ phận công trình (Hình 6) kết hợp với kế hoạch quan trắc và theo dõi biến dạng công trình khi thi công.

5. Kết luận

Khi thi công hầm trong điều kiện đất yếu tại các khu đô thị, để đảm bảo an toàn cho quá trình thi công và ổn định các công trình hiện hữu lân cận, các kỹ sư cần phải thiết kế và tiến hành thi công các biện pháp giảm thiểu tác động của thi công hầm. Bài báo đề xuất ba hướng giải pháp bao gồm các giải pháp áp dụng trong quá trình thiết kế và thi công hầm, các biện pháp gia cố nền đất yếu xung quanh và các biện pháp tăng cường khả năng chịu lực của các công trình hiện hữu. Nhóm giải pháp thứ nhất bao gồm việc lựa chọn các tỉ số d/D tối ưu trong giai đoạn thiết kế kết hợp với việc sử dụng đá ballast trong thi công hầm nhằm tránh hiện tượng đẩy nổi và mất ổn định cũng như lựa chọn các kích thước máy đào hầm, các rủi ro, các giải pháp cụ thể trong giai đoạn thi công. Nhóm giải pháp thứ hai nêu trong bài báo bao gồm các biện pháp gia cố nền đất và giảm thiểu lún bề mặt. Bên cạnh đó, bài báo cũng nêu được một số biện pháp gia cường khả năng làm việc của công trình nhằm hạn chế hư hỏng có thể xuất hiện khi thi công hầm. Trên cơ sở các giải pháp này, các nhà thiết kế, các kỹ sư có thể đưa ra được lựa chọn giải pháp phù hợp nhằm đảm bảo an toàn quá trình thi

công, tiết kiệm chi phí và giảm thiểu tác động của quá trình thi công hầm đến môi trường xung quanh.

Tài liệu tham khảo

- Anagnostou, G., Kovári, K., (1994). The face stability of slurry-shield-driven tunnels. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 9(2):165-174.
- Bakker, K. J., (2000). *Soil retaining structures: development of models for structural analysis*. PhD thesis, Delft University of Technology.
- Boscardin, M. D., Cording, E. J., (1989). Building response to excavation-induced settlement. *Journal of Geotechnical Engineering*, 115(1):1-21.
- Broere, W., (2001). *Tunnel Face Stability & New CPT Applications*, Ph.D. thesis. Delft University of Technology
- Broms, B. B., Bennermark, H., (1967). Stability of clay at vertical openings. *Journal of Soil Mechanics & Foundations Div.*
- Burland, J. B., Standing, J. R., Jardine, F. M., (2001). Building response to tunnelling: case studies from construction of the Jubilee Line Extension, London, Volume 200. *Thomas Telford*.
- Do, N. A., Dias, D., Oreste, P., Djeran-Maigre, I., (2014). A new numerical approach to the hyperstatic reaction method for segmental tunnel linings. *International Journal for Numerical and Analytical Methods in Geomechanics*.
- Jancsecz, S., Steiner, W., (1994). Face support for a large mix-shield in heterogeneous ground conditions. In *Tunnelling'94. Papers presented at seventh International Symposium 'Tunnelling' 94*, held 5-7 July 1994, London.
- Kimura, T., Mair, R., (1981). Centrifugal testing of model tunnels in soft clay. In *Proceedings of the 10th international conference on soil mechanics and foundation engineering*, pages 319-322.
- Kolymbas, D., (2005). *Tunnelling and tunnel mechanics: a rational approach to tunnelling*. Springer Science & Business Media.

- Leca, E., Dormieux, L., (1990). Upper and lower bound solutions for the face stability of shallow circular tunnels in frictional material. *Géotechnique*, 40(4):581-606.
- Lunardi, P., Focaracci, A., Giorgi, P., Papacella, A., (1992). Tunnel face reinforcement in soft ground design and controls during excavation. *In Proceedings of the International Conference Towards New Worlds in Tunnelling*, volume 2, pages 897-908.
- Maidl, B., (2012). Mechanised shield tunnelling. Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Company KG.
- NEN-EN 1997-1, C. E., (1997). Eurocode 7 Geotechnical design - Part 1: General rules. European Prestandard ENV, 1.
- Oreste, P., (2007). A numerical approach to the hyperstatic reaction method for the dimensioning of tunnel supports. *Tunnelling and underground space technology*, 22(2):185-205.
- Rankin, W., (1988). Ground movements resulting from urban tunnelling: predictions and effects. Geological Society, London, *Engineering Geology Special Publications*, 5(1):79-92.
- Vu, M. N., Broere, W., Bosch, J. W., (2015). The impact of shallow cover on stability when tunnelling in soft soils. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 50:507-515.
- Vu, M. N., (2016a). *Reducing the cover-to-diameter ratio for shallow tunnels in soft soils*. PhD thesis, Delft University of Technology.
- Vu, M. N., Broere, W., Bosch, J. W., (2016b). Volume loss in shallow tunnelling. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 59:77-90.
- Vu, M. N., Broere, W., Bosch, J. W., (2017). Structural analysis for shallow tunnels in soft soils. *International Journal of Geomechanics*, 17(8), 04017038.
- Vu, M. N., Broere, W., (2018). Structural design model for tunnels in soft soils: From construction stages to the long term. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 78, 16-26.
- Vu, M. N., Le, Q. H., (2020). Large soil-cement column applications in Vietnam. In *Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development* (pp. 555-562). Springer, Singapore.