

Một số giải pháp đảm bảo ổn định quá trình thi công hầm metro trong điều kiện đất yếu tại các đô thị Việt Nam

■ TS. VŨ MINH NGẠN

Trường Đại học Mở - Địa chất

■ TS. ĐÀO PHÚC LÂM^(*)

Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải

■ ThS. NCS. NGUYỄN THÀNH NAM

Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Email: ^(*)lamdp@utt.edu.vn

TÓM TẮT: Để giải quyết các vấn đề cấp bách về tắc nghẽn giao thông và ô nhiễm môi trường, Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh hiện đang triển khai một loạt tuyến metro nội đô. Thi công các tuyến metro trong điều kiện địa chất đất yếu tại các thành phố đối mặt nguy cơ mất ổn định dẫn đến nhiều hậu quả nghiêm trọng như sụt lún lớn và sập đổ các công trình lân cận. Bài báo phân tích về ổn định trong quá trình thi công hầm metro trong điều kiện đất yếu tại dự án tuyến metro số 1 TP. Hồ Chí Minh. Các tác giả đề xuất một số giải pháp nhằm đảm bảo ổn định quá trình thi công cho các dự án hầm metro sắp tới tại Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh.

TỪ KHÓA: Ổn định, thi công hầm, sụt lún, đất yếu, đô thị.

ABSTRACT: In order to solve recent problems of traffic congestion and environment pollution, many metroline projects have been carried out in Hanoi and Hochiminh city. With soft soil conditions in these cities, the tunnelling work faces many challenges, in which the instability issues could lead to serious damages of large settlements and the collapse of nearby buildings. The paper presents some problems occurred when tunnelling in soft soil conditions in Vietnam, in particular, in the Metroline No.1 in Hochiminh city. Based on the back analysis, some solutions for ensuring the stability of the tunnelling process are proposed for the near future tunnelling projects in Hanoi and Hochiminh city.

KEYWORDS: Stability, tunnelling, settlement, soft soil, city.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Hiện nay, để giải quyết các vấn đề tắc nghẽn giao thông và ô nhiễm môi trường, Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh đã và đang triển khai xây dựng các tuyến metro nội đô. Do điều kiện đất yếu, thi công hầm đối mặt với nhiều khó khăn như mất ổn định khi thi công, gây lún mặt đất lớn... Đặc biệt, khi tuyến hầm metro được thiết kế nằm dưới các khu vực đông dân

cư, có nhiều công trình lịch sử như trung tâm Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh. Máy thi công hầm sử dụng tại các dự án metro ở Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh là máy đào hầm có khiên đào (TBMs). Công nghệ này hiện được sử dụng phổ biến tại các dự án hầm trên thế giới như ở Paris, Barcelona... với nhiều ưu điểm như thời gian thi công nhanh, mức độ tự động hóa, an toàn và giảm thiểu ảnh hưởng đến các công trình. Tuy nhiên, thi công trong điều kiện địa chất đất yếu, phức tạp tại Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh tiềm ẩn các nguy cơ mất ổn định. Nguy cơ này đến từ nhiều nguyên nhân như áp lực gương đào quá lớn hoặc quá nhỏ, xuất hiện các khe nứt trong đất... Mất ổn định quá trình thi công hầm có thể dẫn đến hư hỏng các công trình lân cận, hệ thống giao thông bề mặt... Nhiều dự án trên thế giới đã ghi nhận sự cố mất ổn định trong quá trình thi công gây sập đổ các công trình như dự án thi công hầm tại Munich (Đức), tại San Paolo (Brazil) (Hình 1.1) [2].

Do vậy, đảm bảo ổn định quá trình thi công là quan trọng và mang tính chất quyết định đối với sự thành công của dự án. Nội dung bài báo trình bày các vấn đề mất ổn định khi thi công và đề xuất một số biện pháp đảm bảo ổn định trong quá trình thi công hầm metro.



Hình 1.1: Sụt lún lớn trên bề mặt tại dự án hầm ở Sao Paolo, Brazil [2]

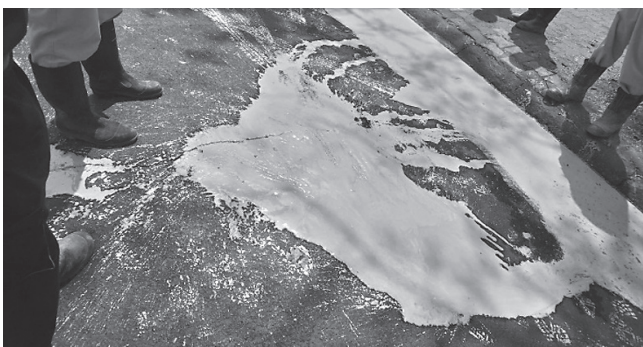
2. MỘT SỐ VẤN ĐỀ KHI THI CÔNG HẦM METRO TRONG ĐIỀU KIỆN ĐẤT YẾU TẠI VIỆT NAM

Địa chất khu vực Hà Nội được cấu tạo từ các trầm tích mềm rời đệ tứ có bề dày lớn nằm trên các đá gốc. Về cấu tạo, lớp trầm tích đệ tứ thay đổi từ 80 - 150 m bao gồm các

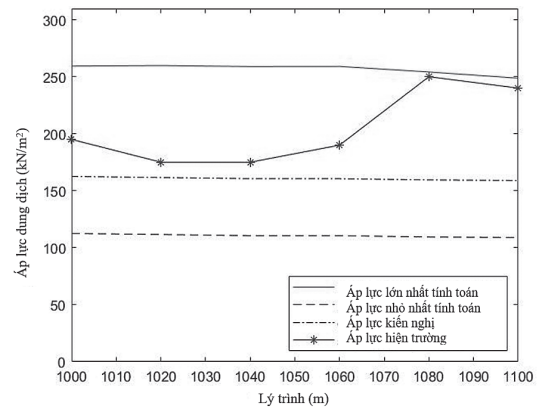
hạt từ trung đến thô lẫn dăm sạn và cuội, sỏi. Phần phía trên dày (35-45-50) m bao gồm các lớp đất mềm rời có nguồn gốc, thành phần, tính chất khác nhau, phân bố theo diện và chiều sâu phức tạp. Trên cơ sở số liệu địa chất, Đoàn Thế Tường (2000) [4] đã chỉ ra một số vị trí trên địa phận Thanh Trì và khu vực Nam Từ Liêm, Bắc Từ Liêm, Đông Anh, Gia Lâm yêu cầu cần có các giải pháp kỹ thuật hỗ trợ khi thi công hầm. Khu vực thuận lợi cho thi công hầm bao gồm một số nơi ở Bắc Từ Liêm, Nam Từ Liêm và khu vực nội thành Hà Nội. Tuy nhiên, với chiều sâu hầm dự kiến thiết kế nằm từ 15 - 40 m kể từ mặt đất, việc thi công tuyến hầm nhất thiết phải có một số giải pháp đảm bảo ổn định quá trình thi công.

Địa chất khu vực TP. Hồ Chí Minh được cấu tạo bởi các trầm tích Kainozo, sắp xếp trên móng cứng Mezozoi. Cấu trúc địa chất phức tạp, có thể chia thành hai phần: phần trên gồm các trầm tích mềm dính với bề dày 10 - 30 m và phần dưới gồm các trầm tích mềm rời [4]. Theo quy hoạch của TP. Hồ Chí Minh, các công trình ngầm sẽ phát triển tới độ sâu 30 m, trong vùng chủ yếu đất đá của các tầng Trảng Bom, Thủ Đức, Củ Chi, Bình Chánh, Cần Giờ và các trầm tích Holocen. Tuyến metro số 1 TP. Hồ Chí Minh được thiết kế và thi công với độ sâu từ 15 - 20 m với tuyến Tây và độ sâu 20 - 30 m với tuyến Đông.

Tại dự án metro số 1 TP. Hồ Chí và dự án metro số 3 tại Hà Nội, máy đào hầm cân bằng áp lực đất (EPB) được sử dụng. Dung dịch đào được sử dụng để đảm bảo ổn định của nền đất xung quanh khi tiến hành đào hầm. Dung dịch này có thể là bentonite hoặc các hóa chất chuyên dụng như polymer hoặc bột nhựa. Các dung dịch thẩm thấu vào đất phía trước gương đào và tạo ra độ cứng thích hợp cho các lưỡi cắt của máy đào hầm. Thông thường, áp lực gương đào được lựa chọn theo điều kiện địa chất và độ sâu đặt hầm. Điều kiện mất ổn định trong thi công hầm xảy ra khi áp lực dung dịch tại gương đào quá nhỏ hoặc quá lớn. Khi áp lực dung dịch quá nhỏ, không đủ ngăn đất chuyển dịch vào buồng đào, đất phía trước sẽ dịch chuyển vào máy đào hầm với khối lượng lớn và gây lún ở phía trên mặt đất. Ngược lại, nếu áp lực gương đào quá lớn có thể gây nứt trong khối đất phía trên đường hầm hoặc đẩy toàn bộ hoặc một phần khối đất lên, dẫn đến dung dịch đào sẽ thoát ra ngoài và áp lực gương đào giảm đột ngột, đất sẽ dịch chuyển vào buồng đào với khối lượng lớn. Sự cố này gây sụt lún lớn, tạo ra hố tử thần ở phía trên mặt đất. Thực tế khi thi công dự án tàu điện ngầm metro số 1 TP. Hồ Chí Minh, hiện tượng đẩy trôi do sử dụng áp lực quá cao đã xảy ra và dự án đã phải dừng thi công tạm thời để xử lý sự cố (Hình 2.1).



Hình 2.1: Dung dịch thoát ra trên mặt đường khi thi công dự án metro số 1 TP. Hồ Chí Minh [8]



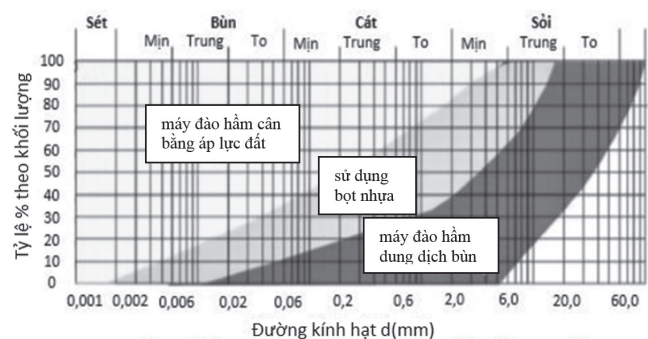
Hình 2.2: So sánh áp lực gương đào từ tính toán và thực tế tại dự án metro số 1 TP. Hồ Chí Minh [9]

Như đã đề cập, 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 các tác giả Anagnostou và Kovári (1994) [1], Jancsecz và Steiner (1994) [5], Broere (2001) [2] thường được sử dụng trong tính toán xác định áp lực dung dịch nhỏ nhất. Áp lực dung dịch lớn nhất trong thi công hầm nhằm tránh hiện tượng đẩy trôi với các mô hình tính được nêu trong nghiên cứu của Broere (2001) [2] và Vũ Minh Ngạn (2016) [7]. Tác giả Vũ Minh Ngạn (2022) [8] đã phân tích và tính toán lại áp lực gương đào và so sánh với thực tế đo đạc tại hiện trường thi công tại dự án metro số 1 TP. Hồ Chí Minh (Hình 2.2). Tác giả nhận thấy, áp lực gương đào sử dụng thực tế tại dự án có giá trị tương đối lớn và gần với cận trên, điều này có thể dẫn đến việc hình thành khe nứt trong nền đất trong quá trình thi công.

3. ĐỀ XUẤT MỘT SỐ GIẢI PHÁP ĐẢM BẢO ỔN ĐỊNH KHI THI CÔNG HẦM TRONG ĐIỀU KIỆN ĐẤT YẾU TẠI VIỆT NAM

Khi thi công hầm trong môi trường đất yếu bằng máy đào hầm TBM tại Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh thì có thể sử dụng hai loại máy đào hầm có khiên đào là máy đào hầm sử dụng dung dịch bùn và máy đào hầm cân bằng áp lực đất. Trong đó, máy đào hầm cân bằng áp lực đất đã và đang được sử dụng tại hai dự án là dự án metro số 1 TP. Hồ Chí Minh và dự án metro số 3 Hà Nội. Nhằm tránh các hiện tượng mất ổn định và đảm bảo an toàn cho các công trình lân cận, nhóm tác giả đề xuất một số giải pháp sau:

- Giải pháp lựa chọn dung dịch thích hợp:



Hình 3.1: Lựa chọn dung dịch theo thành phần hạt [6]

Maidl (2012) [6] kiến nghị chọn dung dịch chống tại gương đào cho các máy đào hầm theo theo đường cong cấp phối của đất. Theo đó, các máy đào hầm có thể sử dụng dung dịch bùn thông thường như bentonite hoặc các hóa chất chuyên dụng như polymer hoặc bột nhựa. Các dung dịch này được phun với áp lực cao tại gương đào hoặc khoảng trống phía sau máy đào hầm. Thông thường, các hỗn hợp sản phẩm đào bao gồm đất đào và dung dịch bùn được vận chuyển về phía sau máy đào hầm và được phân tách để tái sử dụng trên mặt đất. Máy đào hầm sử dụng dung dịch bùn 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 thường trộn đất đào với các hóa chất chuyên dụng trong buồng đào để tạo ra áp lực chống tại gương đào. Việc lựa chọn loại máy thi công hầm và loại dung dịch phụ thuộc vào các yếu tố 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.

- Một số giải pháp về thiết kế các thông số thi công của máy đào hầm:

Thông thường, máy đào hầm đào diện tích lớn hơn so với diện tích vỏ hầm thiết kế, điều này dẫn đến lún bề mặt cũng như chuyển dịch của nền đất xung quanh. Do đó, độ lún khi thi công hầm phụ thuộc vào lượng đất đào dư trong quá trình thi công. Giá trị của lượng đào dư này phụ thuộc vào các thông số của máy đào hầm như kích thước bộ phận đào và hình dạng của khiên đào, chiều dài máy [7]. Do đó, việc hạn chế thiết kế các đoạn cong trên tuyến hầm có thể giảm được lượng đào dư. Ngoài ra, giảm sự kích thước bộ phận đào có thể là một giải pháp, tuy nhiên giải pháp này sẽ gây khó khăn trong quá trình đào hầm do tăng lực ma sát giữa thành máy đào hầm và đất xung quanh dẫn đến lực kích đòi hỏi rất lớn khi thi công. Các kết quả nghiên cứu về lượng đào dư [7], giá trị áp lực dung dịch sử dụng ảnh hưởng rất lớn đến giá trị lượng đào dư và độ lún trên bề mặt, đặc biệt có thể tạo ra khả năng lún bù. Do vậy, nếu bơm dung dịch với áp lực cao tại các vị trí gương đào và khoảng trống phía sau máy đào hầm có thể giảm được độ lún trên bề mặt. Tuy nhiên, kỹ sư thiết kế cần tính toán và phân tích hiện tượng đẩy trôi khi thiết kế thi công hầm sử dụng áp lực dung dịch gần giá trị cận trên vì đã xảy ra hiện tượng này tại dự án metro số 1 TP. Hồ Chí Minh.

- Giải pháp gia cố bề mặt gương đào, nền đất xung quanh:

Khi thi công hầm trong điều kiện đất yếu, một số giải pháp gia cố nền đất thường được áp dụng để tăng độ ổn định và giảm lún bề mặt. Giải pháp gia cố bằng neo đất kết hợp với sợi thủy tinh thường được sử dụng tại mặt gương đào. Các giải pháp gia cố nền đất xung quanh như khoan phụt vữa áp lực cao hoặc bằng hóa chất cũng được sử dụng tại khu vực đất yếu, có nguy cơ cao như lân cận các giếng hoặc tiếp giáp các công trình quan trọng. Chiều dài và phạm vi gia cố được xác định dựa theo điều kiện địa chất và thông số đường hầm. Tại Việt Nam, tại dự án metro số 1 TP. Hồ Chí Minh, giải pháp gia cố khu vực lân cận giếng đã cho kết quả tốt trong việc đảm bảo ổn định của quá trình thi công.

- Một số giải pháp trong điều khiển máy thi công:

Vấn đề mất ổn định trong quá trình thi công hầm do một số nguyên nhân hoạt động điều khiển máy đào hầm như lựa chọn áp lực dung dịch, hành vi của người điều khiển máy đào hầm... Ngoài ra, công tác thiết kế các hạng mục phục vụ thi công như phương án vận chuyển vật liệu, hệ thống chiếu sáng cấp điện... cũng ảnh hưởng đến quá trình thi công hầm. Quá trình thi công hầm đòi hỏi phải được diễn ra liên tục, an toàn, do vậy kỹ sư thiết kế phải nắm bắt được trình tự các công việc cần thiết khi thi công hầm, đánh giá được rủi ro và hậu quả của quá trình thi công. Dựa trên kinh nghiệm thi công, kỹ sư thiết kế cũng như thi công có thể đề xuất các giải pháp phù hợp cho từng tình huống cụ thể trong quá trình thi công hầm metro như trên *Bảng 3.1*.

Bảng 3.1. Một số nguy cơ và giải pháp đảm bảo ổn định quá trình thi công hầm

Vấn đề	Hậu quả	Giải pháp
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
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
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
Đẩy nổi hoặc chìm máy TBM	Lệch tuyến hầm	Tăng cường công tác giám sát và quan trắc trong quá trình khoan hầm
Xoay máy TBM	Gây khó khăn trong việc lái máy đào hầm TBM	Tăng cường công tác giám sát trong quá trình khoan hầm
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
Kéo sụt hệ móng công trình	Ảnh hưởng đến sự làm việc của hệ móng, gây hỏng công trình lân cận	Sử dụng các biện pháp gia cố nền đất
Đẩy nổi	Tuyến hầm bị đẩy nổi	Thiết kế đẩy nổi, sử dụng các lớp đá chống đẩy nổi

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Để giải quyết các vấn đề về tắc nghẽn giao thông đô thị và ô nhiễm môi trường, các dự án xây dựng tàu điện ngầm metro đã và đang được triển khai ở Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh. Tuy nhiên, do thi công trong điều kiện đất yếu và dưới khu vực đông dân cư, quá trình thi công hầm phải đối mặt với nhiều vấn đề, trong đó vấn đề mất ổn định có thể gây ra nhiều hậu quả nghiêm trọng như sụt lún lớn, sập đổ các công trình bên trên. Phân tích quá trình thi công và một số vấn đề xuất hiện tại dự án metro số 1 TP. Hồ Chí Minh đưa ra một số kết luận:

- Vấn đề thiết kế và phân tích ổn định đóng vai trò rất quan trọng trong quá trình thi công, cụ thể là tính toán áp lực dung dịch sử dụng nhằm tránh các vấn đề về đẩy trôi hay sụt lún lớn;

- Một số giải pháp đảm bảo ổn định như gia cố nền đất tại các vị trí lân cận giếng thi công hoặc lân cận các công trình quan trọng có hiệu quả rõ rệt trong đảm bảo ổn định của quá trình thi công;

- Một số giải pháp đảm bảo ổn định của quá trình thi công cần được triển khai nhằm tránh những rủi ro và hậu quả nghiêm trọng.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo trong Đề tài mã số B2021-MDA-05.

Tài liệu tham khảo

[1]. Anagnostou, G., Kovári, K. (1994), *The face stability of slurry-shield-driven tunnels*, Tunnelling and Underground Space Technology, 9(2), 165-174.

[2]. Broere, W. (2001), *Tunnel Face Stability & New CPT Applications*, Delft University of Technology.

[3]. Burland, J. B., Standing, J. R., Jardine, F. M. (2001), *Building response to tunnelling: case studies from construction of the Jubilee Line Extension*, London, vol.200, Thomas Telford.

[4]. Đoàn Thế Tường (2000), *Các vấn đề kỹ thuật xây dựng công trình ngầm đô thị*, Báo cáo tổng kết đề tài độc lập cấp Nhà nước, Bộ Xây dựng. Hà Nội.

[5]. 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, London.

[6]. Maidl, B. (2012), *Mechanised shield tunnelling*, Wilhelm Ernst & Sohn, Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Company KG.

[7]. Vũ Minh Ngạn (2016), *Reducing the cover-to-diameter ratio for shallow tunnels in soft soils*, Delft University of Technology.

[8]. Vũ Minh Ngạn (2022), *Stability analysis when tunnelling in soft soil condition in Hochiminh city*, Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất, số 63, kỳ 3a, tr.41-49.

Ngày nhận bài: 28/8/2022

Ngày chấp nhận đăng: 19/9/2022

Người phản biện: TS. Phạm Văn Hùng

TS. Vũ Minh Hằng