Journal of Mining and Earth Sciences

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

Applications of jet - grouting technology in the Metroline No.1 project at Ho Chi Minh City

Ngan Minh Vu [1,*], Dat Chi Nguyen [2], Luyen Van Nguyen [3]

[1] *Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam*
[2] *Department of Transport, Ho Chi Minh City, Vietnam*
[3] *Urban Infrastructure Development Investment Corporation, Hanoi, Vietnam*

ARTICLE INFO

Article history:
Received 05th Dec. 2021
Revised 20th Mar. 2022
Accepted 21st Apr. 2022

Keywords:
Existing buildings,
Hochiminh Metro line No.1,
Soil improvement,
Tunnelling,
Jet - grouting.

ABSTRACT

The rapid development of economy and the booming urban population in large cities in Vietnam such as Hanoi and Hochiminh city lead to many urban problems of traffic jams and environmental pollutions such as dust and noise contaminations. These issuses effect directly on the health and the living of urban civilians in these cities. In order to solve these urgent transportation and social problems, some metroline projects recently have been carried out in Hanoi and Hochiminh city to meet the high urban transportation demands and to solve congestion problems. Since some Metro line projects in Hanoi and Hochiminh city have been carried out in soft soil conditions, ground improvement methods become a necessary requirement in these projects for ensuring the success of metroline projects and avoiding any potential damage occurred in the tunnelling process. A state - of - the - art soil improvement method with the jet - grouting technology has been applied in Hochiminh Metroline No.1 project with purposes of stabilizing the tunnelling process and protecting nearby existing buildings. This paper presents some applications of the jet - grouting technology when tunnelling by an earth pressure balance tunnel boring machine in the Hochiminh Metroline No. 1 project at the starting and arriving shaft areas for stabilizing the tunnelling process as well as at the Saigon Municipal Opera House area in Hochiminh city with a role of protecting method for the important historical building. By collecting design and site data combining with the analysis of the experimental and observed data obtained from the Hochiminh Metroline No.1 project, the stdy results show the effectiveness of the jet - grouting technology when applying in tunnelling projects with soft soil conditions in Vietnam. The results are also a designing reference for near future metroline project in Hanoi and Hochiminh city.

Copyright © 2022 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author
E - mail: vuminhngan@humg.edu.vn
DOI: 10.46326/JMES.2022.63(4).07

Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

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

Ứng dụng công nghệ khoan phụt vữa áp lực cao (jet - grouting) tại dự án Tuyến tàu điện ngầm số 1 TP. Hồ Chí Minh

Vũ Minh Ngạn [1,*], Nguyễn Chí Đạt [2], Nguyễn Văn Luyến [3]

[1] *Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam*
[2] *Sở Giao thông vận tải, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam*
[3] *Tổng công ty đầu tư phát triển hạ tầng đô thị UDIC, Hà Nội, Việt Nam*

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:
Nhận bài 05/12/2021
Sửa xong 20/3/2022
Chấp nhận đăng 21/4/2022

Từ khóa:
Công trình hiện hữu,
Thi công hầm,
Tuyến tàu điện ngầm số 1
TP. Hồ Chí Minh,
Xử lý đất yếu.

TÓM TẮT

Tăng trưởng kinh tế nhanh và bùng nổ dân số tại các thành phố lớn của Việt Nam là Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh dẫn đến các vấn đề về tắc nghẽn giao thông và ô nhiễm môi trường do khói bụi và tiếng ồn, ảnh hưởng trực tiếp đến sức khỏe, cuộc sống của người dân. Để giải quyết các vấn đề cấp bách về giao thông hiện nay, Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh đã và đang triển khai các dự án xây dựng tuyến tàu điện ngầm Metro nhằm giải quyết nhu cầu đi lại và các vấn đề tắc nghẽn giao thông trong thành phố. Các dự án xây dựng tuyến tàu điện ngầm Metro tại thành phố Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh chủ yếu được xây dựng trong điều kiện đất yếu nên cần thiết phải sử dụng các biện pháp xử lý nền đất yếu trong quá trình thi công nhằm đảm bảo quá trình khoan hầm được an toàn và hạn chế mọi rủi ro đối với các công trình lân cận. Công nghệ khoan phụt vữa áp lực cao (jet - grouting) được sử dụng tại dự án án tuyến tàu điện ngầm số 1 Thành phố Hồ Chí Minh nhằm đảm bảo ổn định trong quá trình khoan hầm và giữ an toàn cho các công trình quan trọng lân cận phía trên. Bài báo trình bày một số ứng dụng công nghệ khoan phụt vữa áp lực cao trong dự án tuyến tàu điện ngầm số 1 Thành phố Hồ Chí Minh tại các vị trí giếng khởi tạo và giếng tiếp nhận máy khoan hầm TBM cũng như là biện pháp bảo vệ công trình mang tính chất lịch sử quan trọng là Nhà hát lớn thành phố trong quá trình thi công hầm. Bằng phương pháp thu thập số liệu thiết kế và thi công, phân tích, so sánh các kết quả thí nghiệm và quan trắc thực địa, nghiên cứu trong bài báo cho thấy hiệu quả rất tốt của việc áp dụng công nghệ này khi ứng dụng trong thi công hầm với điều kiện đất yếu tại các thành phố lớn ở Việt Nam. Các kết quả đạt được của bài báo là tài liệu tham khảo phục vụ cho công tác thiết kế các dự án hầm metro sắp tới tại Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh.

© 2022 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

*Tác giả liên hệ
E - mail: vuminhngan@humg.edu.vn
DOI: 10.46326/JMES.2022.63(4).07

1. Mở đầu

Sự phát triển kinh tế và gia tăng dân số nhanh tại hai thành phố (TP.) lớn ở Việt Nam là TP. Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh đã và đang gây nhiều áp lực về giao thông bao gồm tắc đường, ô nhiễm tiếng ồn, khói bụi,… Do không gian và diện tích tại các thành phố hạn chế và trở nên ngày càng đắt đỏ, do vậy việc sử dụng không gian ngầm cho các công trình giao thông là tất yếu và là xu thế phát triển trong tương lai của các thành phố (Vu và nnk., 2015). Tuy nhiên, công tác thi công công trình ngầm trong thành phố phải đối mặt với các nguy cơ ảnh hưởng đến các công trình hiện hữu trên bề mặt bao gồm hệ thống kỹ thuật hạ tầng hiện hữu cũng như các công trình quan trọng, mang tính chất lịch sử, văn hóa. Đặc biệt, thi công hầm trong điều kiện địa chất đất yếu tại TP. Hà Nội và Hồ Chí Minh sẽ gặp nhiều khó khăn do khả năng xuất hiện dịch chuyển nền đất lớn gần vị trí hệ thống nền móng các công trình lân cận cũng như ảnh hưởng trực tiếp đến hệ thống hạ tầng kỹ thuật hiện hữu phức tạp trong thành phố. Do vậy việc xác định phạm vi ảnh hưởng của việc thi công công trình ngầm và mức độ ảnh hưởng đến các công trình lân cận là hết sức cần thiết.

Các ảnh hưởng của việc thi công công trình ngầm đến các công trình lân cận thường được dự đoán thông qua các mô hình tính toán trong thiết kế, sau đó kết hợp với công tác đo đạc thực tế tại hiện trường về độ lún bề mặt, dịch chuyển của nền đất tại các độ sâu khác nhau. Dựa vào các kết quả đó, có thể xác định các thông số điều chỉnh cần thiết về kết cấu và nền đất để giảm thiểu mức độ ảnh hưởng hoặc giữ công trình biến dạng trong phạm vi cho phép và đề xuất các biện pháp cải tạo nền đất hoặc gia cố phù hợp.

Trong trường hợp các công trình lân cận dự báo có các biến dạng lớn, các biện pháp gia cố cần thiết được áp dụng để đảm bảo an toàn cho công trình. Việc lựa chọn đúng các biện pháp gia cố công trình có vai trò quan trọng trong việc bảo vệ và đảm bảo an toàn trong quá trình thi công, giảm thiểu thời gian và chi phí xây dựng công trình. Công nghệ khoan phụt vữa áp lực cao (jet - grouting) hiện là một trong những công nghệ gia cố nền đất yếu phổ biến được sử dụng trên thế giới và các dự án xây dựng hạ tầng và các khu công nghiệp ở Việt Nam (Vu & Le, 2020). Cụ thể, tại dự án tuyến Metro số 1 TP. Hồ Chí Minh, công nghệ này được áp dụng tại vị trí tiếp giáp với giếng khởi tạo và giếng nhận nơi tuyến hầm đi qua và bảo vệ công trình lân cận tuyến tại vị trí tiếp giáp với nhà hát lớn thành phố. Với mục tiêu giới thiệu và đánh giá hiệu quả công nghệ, phục vụ cho các dự án xây dựng đường hầm Metro ở Việt Nam sắp tới, bài báo trình bày về công nghệ khoan phụt vữa áp lực cao (jet - grouting) và các ứng dụng của công nghệ này tại dự án tuyến hầm Metro số 1 ở TP. Hồ Chí Minh. Nhóm tác giả sử dụng phương pháp thu thập số liệu thiết kế và thi công, sau đó tiến hành phân tích, so sánh các kết quả thí nghiệm và quan trắc thực địa với lý thuyết hiện có, nghiên cứu trong bài báo cho thấy hiệu quả rất tốt của việc áp dụng công nghệ này khi ứng dụng trong thi công hầm với điều kiện đất yếu tại các thành phố lớn ở Việt Nam. Các kết quả đạt được của nghiên cứu là tài liệu tham khảo phục vụ cho công tác thiết kế các dự án hầm metro sắp tới tại Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh.

2. Công nghệ khoan phụt vữa áp lực cao (jet - grouting)

Công nghệ khoan phụt vữa áp lực cao (jet - grouting) được phát minh và phát triển bởi các chuyên gia Nhật Bản từ những năm 1970 với tên ban đầu là công nghệ bơm hóa chất CCP (Chemical Churning Pile) được thực hiện bằng cách bơm hóa chất vào đất với mục đích gia cố nền đất. Sau này, các hóa chất được thay bằng hỗn hợp vữa nước - xi măng. Công nghệ jet - grouting sử dụng cần khoan khoan sâu vào lòng đất kết hợp phụt nước với áp lực cao nhằm phá vỡ các liên kết của đất sau đó lấp đầy các khe hở bằng các vật liệu lấp đầy trộn với xi măng qua đầu phụt ở vị trí thấp hơn (Croce và nnk., 2014).

Ban đầu, khi thi công bằng công nghệ jet - grouting, các cần khoan chỉ có khả năng tạo các cột xi măng - đất theo phương thẳng đứng với các đầu khoan chỉ có khả năng di chuyển theo phương thẳng đứng, không có chức năng xoay (Yoshida và nnk., 1996). Giai đoạn phát triển tiếp theo của công nghệ jet - grouting ở Nhật Bản được biết đến với tên gọi là công nghệ "Kajima" hay cột jet - grouting, cần khoan đã có thêm chức năng vừa di chuyển lên xuống, vừa có khả năng xoay nhằm tăng hiệu quả phá vỡ liên kết đất và lấp đầy khe rỗng tốt hơn, do đó tạo ra cọc xi măng - đất với chất lượng tốt hơn. Cần khoan trong công nghệ jet - grouting tại thời điểm này đã bao gồm hai đầu

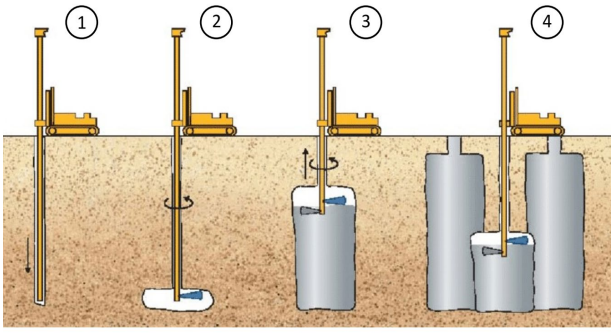
phụt với đầu phụt trên có khả năng phụt khí và nước áp lực cao nhằm phá vỡ liên kết đất, đầu phụt dưới dùng để bơm vữa xi măng với áp lực cao (Yahiro và nnk., 1974).

Từ những năm 1980, công nghệ jet - grouting đã bắt đầu được sử dụng tại các nước Châu Âu trong các công trình gia cố nền móng, thi công hầm và đê chắn nước (Vu & Le, 2020). Cùng thời gian đó, công nghệ này cũng bắt đầu được áp dụng ở Mỹ và đã chứng tỏ được các ưu điểm về giá thành, thuận lợi trong thi công đặc biệt khi thi công trong các công trình khó khăn như gia cố ổn định mái dốc hoặc các công trình chắn nước.

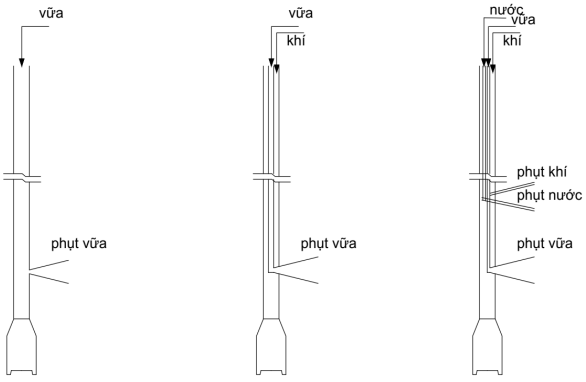
Các ứng dụng về công nghệ jet - grouting trong thi công hầm cũng được nêu trong các nghiên cứu gần đây trên thế giới. Các nghiên cứu của Pelizza và Peila (1993), Lunardi và nnk. (1992), Mair và Taylor (1999) đã đề cập ứng dụng công nghệ jet - grouting như một giải pháp hiệu quả trong công tác cải thiện nền đất yếu, đồng thời bảo vệ công trình hiện hữu khỏi các tác động của thi công hầm.

Các vấn đề về ảnh hưởng của thi công hầm trong đất và các kinh nghiệm sử dụng vữa phun áp lực cao với việc giảm thiểu ảnh hưởng đến các công trình lân cận tại dự án mở rộng hệ thống Metro ở thủ đô Madrid đã được đề cập đến trong nghiên cứu của Oteo và nnk. (2000). Nghiên cứu của Sola và nnk. (2003) đã mô tả việc sử dụng công nghệ jet - grouting trong việc bảo vệ móng công trình khỏi ảnh hưởng của thi công hầm nông trong đất tại dự án mở rộng hệ thống Metro ở thủ đô Madrid (Tây Ban Nha). Tại dự án này, rất nhiều công trình quan trọng đã được gia cố trước khi thi công hầm bằng việc kết hợp nhiều phương pháp phun vữa khác nhau như bơm vữa áp lực cao, bơm vữa bù lún,… Kết quả quan trắc lún của các công trình tại dự án cho thấy các phương pháp jet - grouting có tác dụng giảm thiểu độ lún rất nhiều so với các dự báo lún trước khi thi công hầm.

Quy trình thi công của công nghệ jet - grouting 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 (Hình 1). Tiếp theo, cần khoan được rút dần từ dưới lên đến cao độ thiết kế và hình thành bơm với áp lực cao. Các cọc bơm với áp lực cao có thể được thiết kế đan xen vào nhau để tạo thành khối gia cố ổn định.



Hình 1. Các bước thi công áp lực cao
1 - Khoan đến độ sâu thiết kế; 2 - Phụt áp lực cao để cắt trộn đất; 3 - Vừa phụt vừa rút cần khoan đến cao độ thiết kế để tạo cọc; 4 - Thi công các cọc theo thiết kế để gia cố nền đất.



Hình 2. Ba hệ thống phụt vữa áp lực cao (Moseley, M. P. và Kirsch, K. ,2004). a) hệ đầu phụt đơn; b) hệ đầu phụt kép; c) hệ đầu phụt tam cấp.

Công nghệ jet - grouting có 3 hệ thống đầu phụt được sử dụng phổ biến hiện nay bao gồm hệ đầu phụt đơn chỉ bơm vữa; hệ đầu phụt kép bơm vữa và khí nén; hệ đầu phụt tam cấp gồm: bơm hỗn hợp vữa, khí và nước (Hình 2). Tốc độ xoay và rút cần có ảnh hưởng rất lớn đến cường độ chịu nén của cọc bơm với áp lực cao sau khi hình thành. Tốc độ xoay và rút cần càng cao thì cường độ chịu nén của cọc bơm với áp lực cao càng giảm.

Với thi công hầm, phương pháp jet - grouting có thể tiến hành thi công từ trên mặt đất hoặc từ phía trong đường hầm. Theo cách thi công thứ nhất, sự linh hoạt trong việc bố trí máy thi công để xử lý đất yếu và thi công đào đất cho phép rút ngắn thời gian thi công nhưng đòi hỏi diện tích thi công đủ rộng. Với phương án thi công thứ hai, có thể tạo vòm bằng cách phun vữa áp lực cao từ phía bên trong đường hầm. Mặc dù công nghệ thi công này

có thể mất nhiều thời gian do thời gian chờ đạt cường độ và thi công đào. Tuy nhiên, công nghệ này vẫn có thể áp dụng thi công trong các khu vực đô thị đông đúc.

3. Ứng dụng tại dự án tuyến Metro số 1 TP. Hồ Chí Minh

Dự án đường sắt đô thị tuyến Metro số 1 TP. Hồ Chí Minh từ ga Bến Thành đi công viên Suối Tiên có tổng chiều dài là 19,7 km, trong đó có 17,1 km đi trên cao và 2,6 km đi ngầm qua khu vực trung tâm thành phố. Đoạn tuyến đi ngầm được thi công qua khu vực có địa chất đất yếu và nằm dưới khu dân cư đông đúc có nhiều công trình lịch sử văn hóa và nằm lân cận một số công trình quan trọng của Thành phố. Do vậy, các quy định về biến dạng cho phép của các công trình này hết sức ngặt nghèo và nhà thầu phải đảm bảo ổn định quá trình thi công hầm cũng như phải giảm thiểu tối đa ảnh hưởng tới các công trình lân cận. Trong Bảng 1 trình bày các thông số địa chất của dự án Metro số 1 Bến Thành - Suối Tiên, TP. Hồ Chí Minh.

Bảng 1. Thông số địa chất dự án Metro số 1 Bến Thành - Suối Tiên, TP. Hồ Chí Minh.

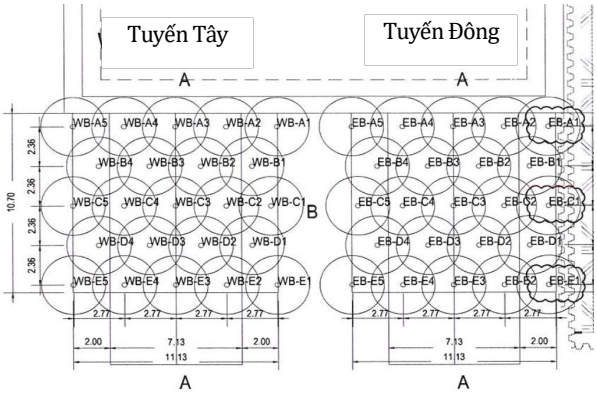
Lớp	Tên lớp	Trọng lượng riêng (kN/m^3)	Lực dính đơn vị c (kN/m^2)	Góc ma sát trong (độ)	Hệ số áp lực tĩnh K
1	Lớp bồi đắp	19	10	25	0,5
2	Lớp bùn sét mềm Alluvium 2	16,5	0	24	0,5
3	Lớp cát lẫn bùn Alluvium 1	20,5	0	30	0,5
4	Lớp cát Alluvium 2	20,5	0	33	0,5

Tại vị trí lân cận giếng khởi tạo ở nhà ga Ba Son (Hình 3), diện tích cần thiết gia cố là xung quanh đường hai đường hầm, bố trí mỗi bên 23 cọc bơm với áp lực cao có đường kính 3500 mm.

Vữa xi măng sử dụng để gia cố nền đất được thiết kế với tỉ lệ trộn bao gồm: 760 kg xi măng mác 400 và 750 lít nước (Bảng 2).

Bảng 2. Tỉ lệ trộn cho 1m^3 vữa xi măng.

	Loại vật liệu	Đơn vị	Khối lượng
1	Xi măng PCB40	kg	760
2	Nước	L	750



Hình 3. Vị trí gia cố nền đất yếu bằng công nghệ jet - grouting tại vị trí giếng khởi tạo tại nhà ga Ba Son, tuyến Metro số 1 TP. Hồ Chí Minh.

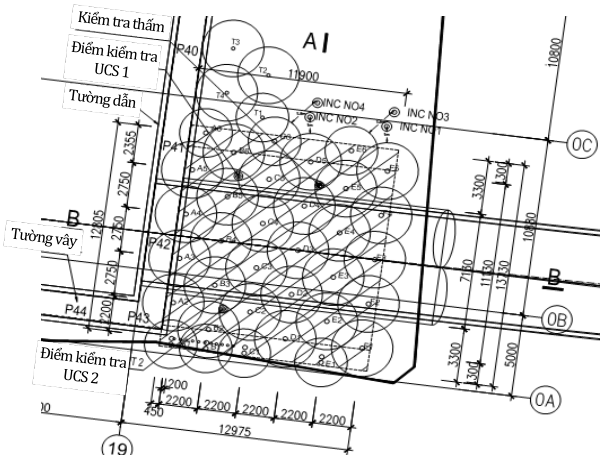
Đối với quá trình thi công, tốc độ rút cần khoan khi phụt vữa là 11 cm/phút và tốc độ xoay của cần khoan là 12 vòng/phút. Áp lực phụt vữa trong quá trình thi công là 40 MPa với lượng cấp dung dịch vữa 300 lít/phút (Bảng 3).

Bảng 3. Các thông số thi công bằng công nghệ jet - grouting.

Thông số thi công	Đơn vị	Giá trị
I. Đường kính 3500 mm		
Áp lực vữa	MPa	40 ± 1,0
Tốc độ xả vữa	lít/phút	300÷2
Tốc độ vòng quay	vòng/phút	12
Tốc độ rút cần	phút/m	9,0
II. Đường kính 3000 mm		
Áp lực vữa	MPa	40 ± 1,0
Tốc độ xả vữa	lít/phút	300÷2
Tốc độ vòng quay	vòng/phút	14
Tốc độ rút cần	phút/m	7,0
III. Đường kính 1400 mm		
Áp lực vữa	MPa	30 ± 1,0
Tốc độ xả vữa	lít/phút	100÷2
Tốc độ vòng quay	vòng/phút	12
Tốc độ rút cần	phút/m	10,0

Với vị trí giếng tiếp nhận tại nhà ga Nhà hát lớn như trên Hình 4, khu vực gia cố nền được bố trí bao gồm 27 cột bơm với áp lực cao có đường kính 3500 mm và 7 cột có đường kính 3000 mm. Máy thi công có số hiệu CJG150K.

Tỉ lệ trộn vữa xi măng tương tự như khu vực gia cố ở nhà ga Ba Son là 760 kg xi măng mác 400 và 750 lít nước. Đối với các cọc có đường kính 3500 mm, tốc độ quay cần khoan là 12 vòng/phút và tốc độ rút cần khoan là 11 cm/phút. Trong khi đó, với các cọc bơm với áp lực cao có đường kính



Hình 4. Gia cố tại khu vực tiếp nhận máy đào hầm TBM tại ga Nhà hát lớn bằng phương pháp jet - grouting.

3000 mm, tốc độ rút cần khoan là 14 cm/phút và tốc độ quay là 14 vòng/phút (Bảng 3).

Các kết quả thí nghiệm về cường độ của cọc bơm với áp lực cao của mẫu thí nghiệm với cọc thử có đường kính 3500 mm (phần diện tích giữa hai vùng gia cố trên Hình 3) tại dự án được thể hiện như trên Hình 6 với kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén cọc sau 7 ngày. Theo đó, cường độ chịu nén của cọc đạt 3000 kPa và mô đun đàn hồi $E_{s,50}$ đạt 870 MPa với mẫu sau 7 ngày.

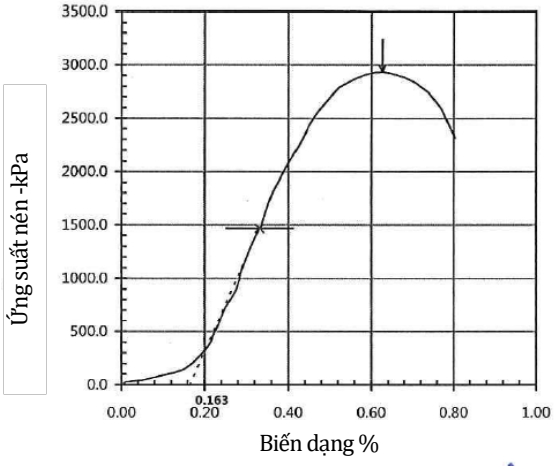
Hình 5 mô tả máy thi công jet - grouting trên công trường tuyến Metro số 1 TP. Hồ Chí Minh. Theo thiết bị này, đầu phụt 3 pha được sử dụng trong dự án bao gồm có pha nước, pha vữa xi măng và pha khí.

Trên công trường, vữa được trộn liên tục bằng máy trong suốt quá trình khoan phụt vữa. Lượng tiêu thụ vữa được tính dựa trên tốc độ dòng vữa phụt cài đặt trên máy bơm cao áp. Các thông số vận hành thi công jet - grouting thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 4 và 5 thể hiện các thông số thiết bị khoan và bơm vữa jet - grouting sử dụng trong dự án hầm Metro số 1 TP. Hồ Chí Minh.

Với kết quả thí nghiệm đối với mẫu thí nghiệm của cọc thử có đường kính 3500 mm (phần diện tích giữa hai vùng gia cố trên Hình 3) tại dự án sau 14 ngày như trên Hình 7, cường độ chịu nén của cọc đạt 2450 kPa và mô đun đàn hồi $E_{s,50}$ đạt 1785 MPa. Giá trị cường độ này vượt so với các giá trị thiết kế ban đầu là 85% và 100% cường độ chịu nén 600kPa của mẫu cọc bơm với áp lực cao sau 7 ngày và 28 ngày tuổi.

Hình 5. Thiết bị jet - grouting tại tuyến hầm Metro số 1 TP. Hồ Chí Minh.



Dạng phá hoại	Cường độ kháng nén	q_u	2935.4 kPa
	Biến dạng khi đã phá hủy (đã hiệu chỉnh)	ϵ	0.463 %
	Mô đun đàn hồi ở 50% q_u	$E_{s,50}$	870.2 MPa

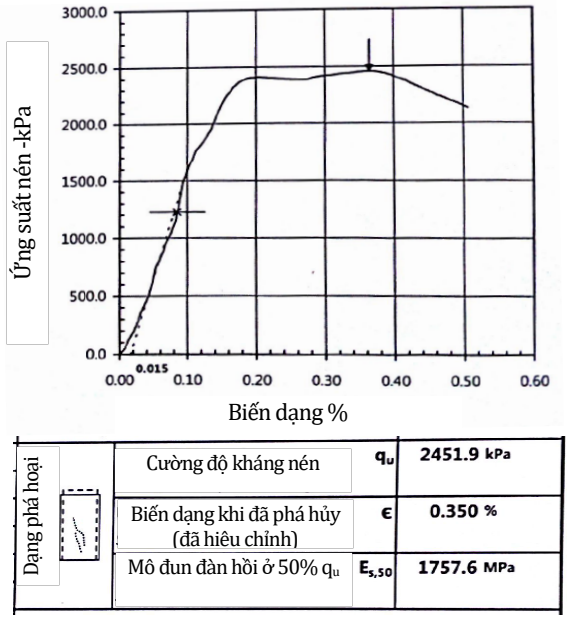
Hình 6. Kết quả mẫu thí nghiệm cường độ cọc bơm với áp lực cao tại dự án Tuyến đường sắt số 1 TP. Hồ Chí Minh sau 7 ngày.

Bảng 4. Thông số thiết bị khoan jet - grouting.

	Model	CJG150K
Khả năng khoan	m	50
Kích thước (D x R x C)	mm	2200x 2000x 1700
Trọng lượng	kg	3,000
Công suất	kW	30

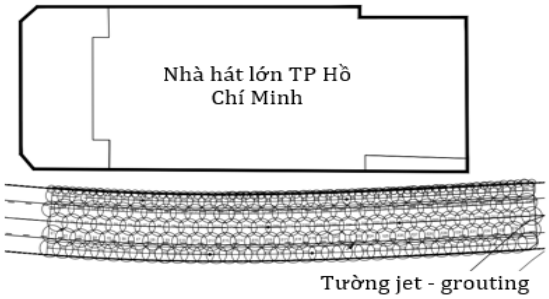
Bảng 5. Thông số thiết bị bơm vữa jet - grouting.

	Model	SG-400
Công suất bơm	lít/phút	421
Áp lực	Mpa	40
Stroke	mm	150
Kích thước (D x R x C)	mm	2710x 730x 1120
Trọng lượng	kg	10,000
Công suất	kW	280



Hình 7. Kết quả mẫu thí nghiệm cường độ cọc bơm với áp lực cao tại dự án Tuyến đường sắt số 1 TP. Hồ Chí Minh sau 14 ngày.

Một ứng dụng của công nghệ jet - grouting là kết cấu bảo vệ công trình hiện hữu trước những tác động tiêu cực của công tác thi công hầm. Tuyến hầm Metro số 1 TP. Hồ Chí Minh được thiết kế nằm ngay sát Nhà hát lớn Thành phố, đây là một công trình có tính chất lịch sử quan trọ ng của thành phố được xây dựng từ thời Pháp thuộc. Tại vị trí này, việc đảm bảo an toàn cho công trình là hết sức quan trọng, không chỉ trong thời gian thi công mà còn phải xét đến thời gian lún cố kết sau khi thi công.



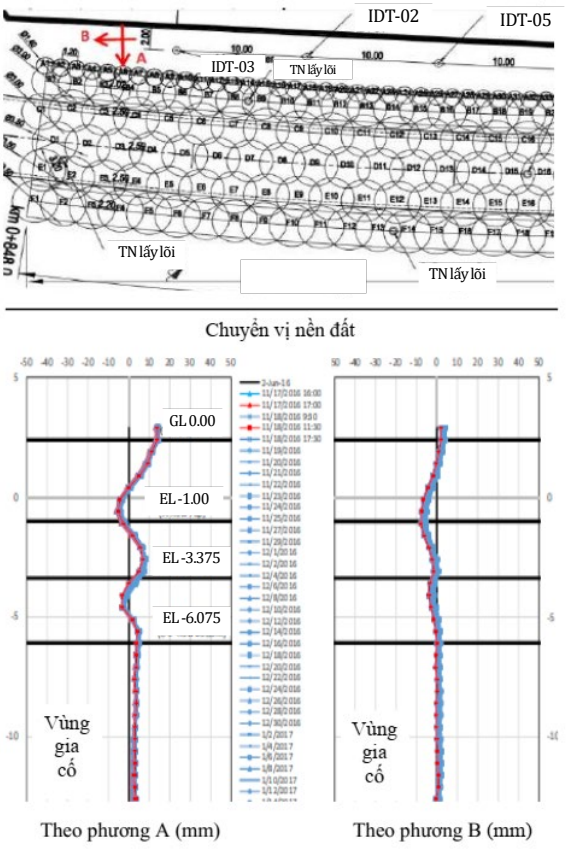
Hình 8. Mặt bằng tường vây jet - grouting bảo vệ nhà hát lớn TP. Hồ Chí Minh.

Hình 8 mô tả phương án thiết kế tường bơm với áp lực cao bảo vệ nhà hát. Phương án này được coi là khá an toàn khi tiến hành gia cố toàn bộ không gian xung quanh hầm. Theo đó, tường vây được thiết kế với tổng cộng 239 cọc bao gồm 66 cọc có đường kính 1400 mm, 47 cọc có đường kính 3000 mm và 126 cọc có đường kính 3500 mm. Cọc bơm với áp lực cao được thi công đến độ sâu -25,075 m.

Các thông số thi công cọc bơm với áp lực cao như nêu trong Bảng 3. Với áp lực vữa thi công là 40 MPa với các cọc có đường kính 3500 và 3000 mm và 30 MPa với các cọc có đường kính nhỏ 1400 mm. Đối với các cọc có đường kính 3500 mm, tốc độ quay cần khoan là 12 vòng/phút và tốc độ rút cần khoan là 11 cm/phút. Đối với các cọc bơm với áp lực cao có đường kính 3000 mm, tốc độ rút cần khoan là 14 cm/phút và tốc độ quay là 14 vòng/phút. Đối với các cọc bơm với áp lực cao có đường kính 1400 mm, tốc độ rút cần khoan là 10 cm/phút và tốc độ quay là 12 vòng/phút.

Các thiết bị quan trắc được bố trí nằm trong khoảng cách giữa Nhà hát lớn và tường vây (cụ thể ngay sát phía sau tường vây) nhằm quan trắc biến dạng của nền đất, để có những cảnh báo kịp thời khi có bất cứ sự cố nào xảy ra (Hình 9).

Các kết quả quan trắc chuyển dịch nền đất phía sau tường vây thu thập được tại dự án được thể hiện trên Hình 9 với các số liệu đo ghi nhận của thiết bị đo chuyển vị nền đất IDT - 03 đặt tại phía sau tường vây giữa nhà hát lớn thành phố và tuyến hầm. Có thể thấy, theo phương A, chuyển dịch của tường vây không đáng kể với độ biến dạng lớn nhất là 15 mm tại khu vực không gia cố. Trong khi đó chuyển dịch lớn nhất theo phương B chỉ 4 mm tại phía trên vùng không gia cố. Tại khu vực gia cố jet - grouting, biến dạng không đáng kể, chỉ khoảng 1÷2 mm.



Hình 9. Các kết quả quan trắc chuyển vị nền đất tại vị trí thiết bị đo IDT-03 sau tường vây jet - grouting.

Điều này thể hiện việc sử dụng công nghệ jet - grouting tại vị trí này của dự án đã làm giảm đáng kể dịch chuyển của nền đất phía tiếp giáp với công trình nhà hát lớn. Do đó, đến thời điểm hiện nay chưa ghi nhận được các biến dạng lớn tại công trình này khi thi công tuyến hầm Metro số 1 TP. Hồ Chí Minh.

4. Kết luận

Khi xây dựng các tuyến tàu điện ngầm Metro trong điều kiện đất yếu như tại Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh, công tác đảm bảo an toàn cho các công trình quan trọng trên bề mặt, đặc biệt là các công trình có giá trị về lịch sử và văn hóa là hết sức quan trọng. Công nghệ jet - grouting được sử dụng trong dự án xây dựng tuyến tàu điện ngầm Metro số 1 TP. Hồ Chí Minh cho thấy hiệu quả của việc ứng dụng công nghệ này trong việc đảm bảo ổn định trong quá trình thi công và bảo vệ công trình lân cận cụ thể là nhà hát lớn thành phố. Dựa trên nghiên cứu và phân tích các số liệu thiết kế và đo đạc tại dự án cùng với các kết quả thí nghiệm, bài báo cho thấy công nghệ jet - grouting gia cố nền tại khu vực lân cận giếng khởi tạo và giếng tiếp nhận đạt cường độ lớn hơn so với thiết kế và đã đảm bảo ổn định cho quá trình thi công hầm. Các số liệu quan trắc đo đạc thực tế tại dự án cũng cho thấy kết cấu tường vây bảo vệ nhà hát lớn thi công bởi công nghệ jet – grouting có hiệu quả rõ rệt khi giảm độ lún xuống chỉ còn 1÷2 mm phía sau tường vây và do đó giữ ổn định cho công trình. Các số liệu và phân tích trong bài báo là cơ sở thiết kế cho các dự án hầm metro sắp tới tại Việt Nam.

Lời cảm ơn

Tác giả xin chân thành cám ơn đề tài nghiên cứu khoa học mã số T21 - 31 Trường Đại học Mỏ - Địa chất tài trợ cho nghiên cứu này.

Các đóng góp của các tác giả

Vũ Minh Ngạn - lên ý tưởng, lập dàn ý và chỉnh sửa bản thảo; Nguyễn Chí Đạt - thu thập số liệu và phân tích số liệu dự án thực tế; Nguyễn Văn Luyến - thu thập tài liệu công nghệ thi công và dự án, viết bản thảo.

Tài liệu tham khảo

Croce, P., Flora, A., & Modoni, G. (2014). *Jet - grouting: technology, design and control.* CRC Press.

Kimura, T. and Mair, R. (1981). *Centrifugal testing of model tunnels in soft clay.* In Proceedings of the 10th international conference on soil mechanics and foundation engineering, pp. 319-322.

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, 2*, 897-908.

Mair, R., & Taylor, R. (1999). Theme lecture: Bored tunnelling in the urban environment. *Fourteenth International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering.* Proceedings International Society for Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp. 2353-2385.

Moseley, M. P., & Kirsch, K. (2004). *Ground*

improvement. CRC Press.

Pelizza, S., & Peila, D. (1993). Soil and rock reinforcements in tunnelling. *Tunnelling and Underground Space Technology, 8*(3), 357-372.

Oteo, C. S., Arnaiz, M., Trabada, J., Melis, M. & Mendana, F. (2000). *Experiences in the subsidence problems in Madrid Subway Extension.* In Geotechnical aspects of underground construction on soft ground, 275-280.

Sola, P. R., Monroe, A. S., Martin, L., Blanco, M. A. & San-Juan, R. (2003). *Ground treatment for tunnel construction on the Madrid Metro.* In Grouting and Ground Treatment, 1518-1533.

Vu, M. N., Broere, W., & Bosch, J. (2015). Effects of cover depth on ground movements induced by shallow tunnelling. *Tunnelling and Underground Space Technology, 50*, 499-506.

Vu, M. N., & Le, Q. H. (2020). *Large soil - cement column applications in Vietnam.* In Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development. Springer, Singapore, 555-562.

Vũ, M. N, Nguyễn, V. L., & Đào, P. L. (2020). Các giải pháp giảm thiểu ảnh hưởng của thi công hầm trong thành phố đến các công trình lân cận. *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, *61*(6), 57-65. DOI:10.46326/JMES.HTCS2020.08

Yahiro, T., & Yoshida, H. (1973). Induction grouting method utilizing high - speed water jet. *Proceedings of the 8th ICSMFE*, Moscow, Russia, 402-404.

Yahiro, T., Yoshida, H., & Nishi, K. (1974). *Soil improvement utilizing a high - speed waterjet and air jet.* Proceedings of the 6th International Symposium on Water Jet Technology, Cambridge, United Kingdom, J62, August 30 - 31, 397-428.

Yahiro, T., Yoshida, H., & Nishi, K. (1975). The development and application of Japanese grouting system. *Water Power Dam Construction*, 27, 55-69.

Yoshida, H., Jimbo, S. and Uesawa, S. (1996). Development and practical applications of large diameter soil improvement method, In R. Yonekura and M. Shibazaki, *(eds.), Proceedings of the Conference on Grouting and Deep Mixing, Tokyo, Japan: Balkema,* May 14 - 17, 721 - 726..