

## NGHIÊN CỨU ỨNG XỬ CỦA HẦM METRO TIẾT DIỆN CHỮ NHẬT CON TRONG ĐIỀU KIỆN ĐẤT ĐÁ PHÂN LỚP TẠI KHU VỰC HÀ NỘI

**Đặng Văn Kiên<sup>1\*</sup>, Augustin Bracco<sup>2</sup>, Đỗ Ngọc Anh<sup>1</sup>, Nguyễn Tài Tiến<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 18 Phố Viên, Đức Thắng, Bắc Từ Liêm, Hà Nội*

<sup>2</sup>*Đại học Aix-Marseille, Pháp*

### TÓM TẮT

Dự án Hanoi Metro Pilot Light Line 3 là một phần của dự án metro mới của Hà Nội. Các gói thầu xây dựng bao gồm đào hầm tuyến đôi chạy song song với khoảng cách từ 12 đến 35 m. Tuyến hầm metro số 03 dài 2600 m, được đào với tuyến đôi có đường kính 6,3 m. Mặc dù rất nhiều công trình nghiên cứu đã được thực hiện để phát triển các phương pháp thiết kế vỏ hầm, nhưng phần lớn là kết quả cho hầm hình tròn và đào trong một loại đất đồng nhất. Từ các kết quả khảo sát thực tế, rất hiếm khi gặp những đường hầm chỉ được xây bằng một lớp đất đồng nhất. Trong hầu hết các trường hợp, địa chất tuyến hầm đào qua thường gồm đất đá nhiều lớp có sự thay đổi về các đặc tính địa cơ (trọng lượng thể tích, mô đun đàn hồi, lực dính và góc ma sát) đối với mỗi lớp. Hơn nữa, hầm hình tròn có nhược điểm rất lớn là tỉ lệ diện tích sử dụng hữu ích nhỏ, làm gia tăng tiết diện đào. Gần đây đã có những kết quả nghiên cứu cho các hầm metro với tiết diện không phải là hình tròn nhằm giảm tiết diện đào mà vẫn đảm bảo khả năng chịu lực. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ứng xử của vỏ hầm metro tiết diện chữ nhật cong trong điều kiện đất đá phân lớp với trường hợp nghiên cứu thực tế tại tuyến Metro số 3- khu vực Hà Nội bằng phương pháp mô hình số thông qua phần mềm Rocscience -RS2- Phase<sup>2</sup>. Kết quả nghiên cứu sẽ là tài liệu bổ ích cho các nhà khoa học, các công ty tư vấn thiết kế, quản lý và nhà thầu trong lĩnh vực xây dựng hầm metro.

*Từ khóa:* Hầm metro, hầm chữ nhật cong, phương pháp số, nhiều lớp.

### 1. MỞ ĐẦU

Theo quy hoạch chung xây dựng Thủ đô Hà Nội đến năm 2030 và tầm nhìn đến năm 2050 được phê duyệt tại Quyết định số 1259/QĐ-TTg ngày 26/7/2011, mạng lưới đường sắt đô thị gồm 8 tuyến với tổng chiều dài khoảng 318 km. Có 9 tuyến đường được quy hoạch và phát triển trong quy hoạch nói trên như Bảng 1.

Các đoạn đường hầm trong tuyến tàu điện Nhổn - Cát Linh - Ga Hà Nội được thi công bằng phương pháp sử dụng máy đào TBM (tuyến số 3) như Hình 1. Việc sử dụng phương pháp thi công bằng TBM kết hợp với vỏ hầm lắp ghép được đánh giá là khá thích hợp cho khu vực đất nền của trung tâm Hà Nội cũng như với quy mô thi công các đường hầm thuộc tuyến metro số 3. Các đường hầm sẽ được đào và chống đỡ ngay bằng vỏ lắp ghép làm bằng bê tông cốt thép đúc sẵn, điều này sẽ làm tăng tốc độ thi công các tuyến đường, đồng thời đảm bảo các yêu cầu về an toàn, kỹ thuật và

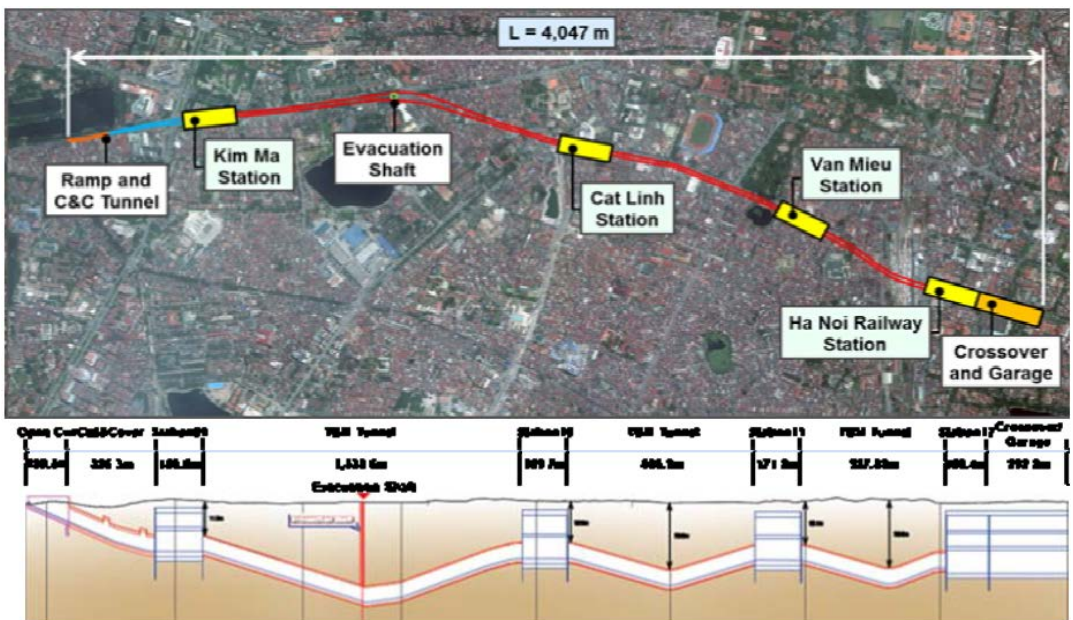
---

\* Tác giả liên hệ, địa chỉ email: dangvankien@humg.edu.vn

môi trường khi thi công trong khu vực trung tâm, các công trình văn hóa lịch sử trên bề mặt và tập trung nhiều dân cư và các công trình quan trọng khác. Tại thời điểm hiện tại, TBM đã được đưa vào chuẩn bị sẵn sàng tại ga S9 - Kim Mã để thi công tuyến đường hầm thuộc tuyến số 3 với tổng chiều dài 4,0 km như Hình 2 [1-2, 11].



Hình 1. Sơ đồ các nhà ga của dự án đường sắt metro Hà Nội [2]



Hình 2. Mặt bằng và nhà ga tuyến hầm metro số 3 - dự án metro Hà Nội [3-7]

Trong hầu hết các trường hợp, địa chất tuyến hầm đào qua thường gồm đất đá nhiều lớp có sự thay đổi về các đặc tính địa cơ (trọng lượng thể tích, mô đun đàn hồi, lực dính và góc ma sát) đối với mỗi lớp. Hơn nữa, hệ thống tầng chứa nước và khai thác nước ngầm của Hà Nội có thể dẫn đến đất có thể bị sụt lún bề mặt khi đào hầm. Do đó, một nghiên cứu chính xác về ứng xử của đường

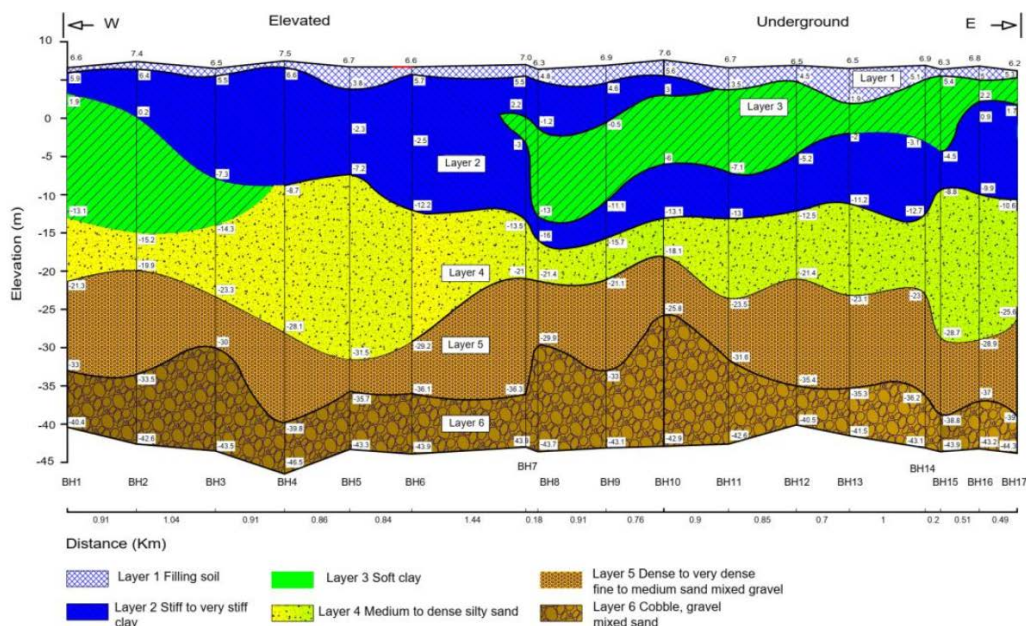
hầm chữ nhật cong trong điều kiện đất đá phân lớp là cần thiết. Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu ứng xử của vỏ hầm metro tiết diện chữ nhật cong trong điều kiện đất đá phân lớp thực tế tại khu vực Hà Nội bằng phương pháp mô hình số thông qua phần mềm Phase 2.

## 2. CÁC ĐẶC ĐIỂM VỀ ĐIỀU KIỆN ĐỊA CHẤT, ĐỊA CHẤT THỦY VĂN KHU VỰC ĐẶT ĐƯỜNG HẦM METRO TUYẾN SỐ 3 DỰ ÁN METRO HÀ NỘI

Khu vực đặt đường hầm metro tuyến số 3 dự án metro Hà Nội thuộc khu vực trung tâm Hà Nội nằm trên lưu vực của Sông Hồng, qua các tài liệu khảo sát cũng như các mẫu khoan thí nghiệm, có thể kết luận khu vực từ mặt đất đến độ sâu khoảng 50 m là đất và được chia ra làm 6 lớp đặc trưng. Dưới độ sâu 50 m của khu vực trung tâm Hà Nội là lớp đá gốc bền vững. Do đường hầm thuộc hệ thống tàu điện ngầm của Hà Nội được thiết kế nằm ở độ sâu dao động  $H=10$  m đến 20 m nên việc nghiên cứu tập trung vào cố định chiều sâu hầm tại  $H=15$  m trong một loại đất đá, chiều dày vỏ chống thay đổi. Các lớp đất thực tế trong khu vực đặt tuyến đường hầm metro tuyến số 3 dự án metro Hà Nội có các đặc tính được xác định thông qua các thí nghiệm như Bảng 1. Trắc dọc địa chất tuyến metro số 3 (theo Giao et al., 2018) [4-5] được thể hiện trên Hình 3.

Bảng 1. Đặc tính địa chất cơ bản của khu vực đặt tuyến metro số 03, Hà Nội [2]

Số thứ tự lớp đất	Module đàn hồi của các lớp đất, E MPa	Hệ số Poisson, $\mu$	Chiều dày của các lớp đất (h), m	Chiều sâu của các lớp đất, m	Dung trọng của các lớp đất, $\rho$ , g/cm <sup>3</sup>	Mực nước ngầm trung bình, m
1	9,25	0,41	4,6	4,6	1,75	3,0
2	7,68	0,38	1,1	5,7	1,76	
3	15,3	0,35	11,8	17,5	1,81	
4	35,02	0,33	12,5	30	1,78	
5	53,9	0,32	11,0	41	1,83	
6	65	0,3	7,0	48	1,86	



Hình 3. Trắc dọc địa chất tuyến metro số 3 (Theo Giao et al., 2018) [4-5]

### 3. CÁC ĐẶC ĐIỂM CỦA ĐƯỜNG HÀM THUỘC HỆ THỐNG METRO SỐ 3, DỰ ÁN METRO HÀ NỘI

Đặc điểm của hầm của hệ thống tàu điện ngầm Hà Nội tại trung tâm Hà Nội: đường hầm tàu điện ngầm Hà Nội có độ sâu từ 15 - 30m so với mặt đất. Vỏ hầm được làm bằng bê tông cốt thép lắp ghép với các đặc điểm: mô đun đàn hồi  $E_I = 35000$  MPa; Hệ số Poisson  $\nu_I = 0,15$ ; chiều dày vỏ chống hầm  $d_I = 0,5$  m. Tuyến đường hầm được thi công với hai đường hầm có kích thước như nhau và có tiết diện ngang là hình tròn bằng phương pháp sử dụng máy đào TBM theo thiết kế. Các kết cấu chống bằng bê tông cốt thép phân đoạn sẽ được tiến hành lắp đặt ngay trong quá trình đào và thi công đường hầm. Các thông số vỏ chống của đường hầm và đất đá được thể hiện trên Bảng 2 và Bảng 3.

Bảng 2. Các thông số đầu vào cho trường hợp nghiên cứu [8-10]

Các thông số của vỏ hầm	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
Mô đun đàn hồi	$E_I$	MPa	35000
Hệ số Poisson	$\nu_I$	-	0,15
Chiều dày vỏ	$t$	m	-
Đường kính ngoài	$D$	m	9,76
Dung trọng	$\gamma$	kN/m <sup>3</sup>	14,4
Độ cứng	$E_A$	kN/m	$2,4 \times 10^7$
Độ cứng khi uốn	$E_L$	kNm <sup>2</sup> /m	$7,2 \times 10^5$

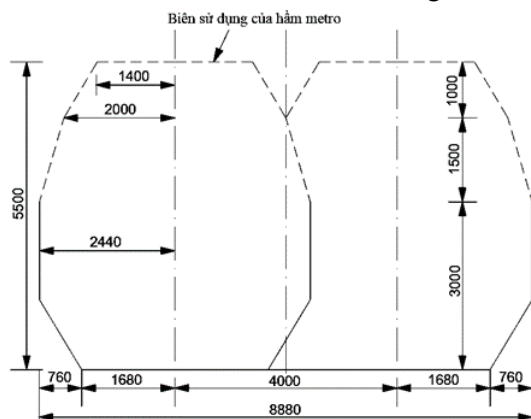
Bảng 3. Các thông số đầu vào của các lớp đất đá cho trường hợp nghiên cứu [8-10]

Lớp đất	Chiều dày, H (m)	Khối lượng thể tích, $\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Young's modulu, E (MPa)	Hệ số Poisson, $\mu$	Góc ma sát trong, $\varphi$ (°)	Lực dính kết, C (kPa)	Hệ số áp lực ngang, $K_0$
Đất phủ	6,5	1900	-	0,3	23	-	0,47
Lớp 1: GU3&4	5,5	2000	8	0,3	20	5	0,66
Lớp 2: GU1_s1	2,5	1850	12	0,3	25	10	0,58
Lớp 3: GU1_s2	2,5	1900	50	0,3	25	25	0,58
Lớp 4: GU5a	10,5	2000	55	0,3	34	25	0,44
Lớp 5: GU7&8	72,5	2100	75	0,5	38	25	0,36

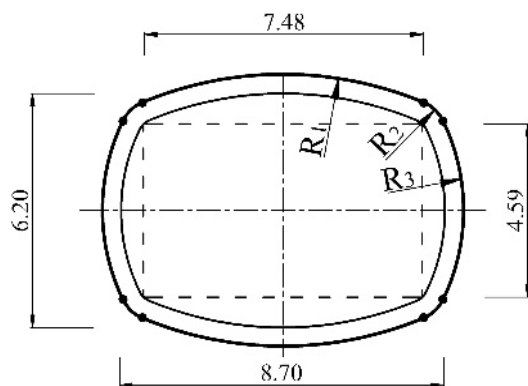
#### 3.1. Xác định mặt cắt ngang khi sử dụng tiết diện đường hầm hình chữ nhật cong cho đường hầm metro tuyến 03 Nhổn - ga Hà Nội

Dựa trên TCVN 11793 : 2017 [12], kích thước khổ hầm metro làn đôi như Hình 5. Phương pháp xác định mặt cắt ngang đường hầm hình chữ nhật cong ta xác được các thông số cơ bản của đường hầm như Bảng 4. Đường hầm metro với tiết diện ngang hình tròn có ưu điểm là độ ổn định của kết cấu vỏ chống đường hầm lớn, dễ thi công bằng cơ giới (khiên đào) nên được sử dụng nhiều trong thực tế. Tuy nhiên, hệ số sử dụng tiết diện tiết diện ngang (tỷ số giữa phần diện tích thực tế sử dụng và diện tích đào) của tiết diện trên nhỏ. Ngoài ra, để đảm bảo yêu cầu có hai làn đường hầm

metro chạy ngược chiều nhau trên cùng một tuyến, phương án hai đường hầm đào song song thường được sử dụng (ví dụ: dự án Nhổn - ga Hà Nội, dự án Bến Thành - Suối Tiên và nhiều dự án khác trên thế giới). Điều này làm tăng khối lượng đào và chống giữ các đường hầm. Để khắc phục các nhược điểm của phương án sử dụng đường hầm tiết diện tròn, đường hầm tiết diện ngang hình chữ nhật cong (kết hợp giữa hình tròn và hình chữ nhật “sub-rectangular”) đã và đang được chú ý nghiên cứu và lựa chọn sử dụng. Loại hình tiết diện này cho phép nâng cao hệ số sử dụng hữu ích diện tích tiết diện ngang so với đường hầm hình tròn, đồng thời tránh được sự tập trung ứng suất ở bốn góc so với tiết diện hình chữ nhật. Mặt khác, tiết diện chữ nhật cong cũng thích hợp khi thiết kế hai làn đường tàu chạy trong cùng một đường hầm nhờ giảm chi phí đào và chống giữ đường hầm do giảm tổng khối lượng đào. Ngoài ra, tiết diện hình chữ nhật cong cũng phù hợp để áp dụng cho lối vào metro, đường dành cho người đi bộ dưới lòng đất. Mặc dù có nhiều ưu điểm trong sử dụng đã được chỉ ra nhưng đến nay các kết quả nghiên cứu tính toán độ ổn định của vỏ chống lấp ghép từ các cấu kiện bê tông đúc sẵn bên trong đường hầm tiết diện hình chữ nhật cong còn rất hạn chế và mới chủ yếu dừng lại ở các kết quả thực nghiệm trong phòng thí nghiệm trên mô hình kích thước thực hoặc mô hình thu nhỏ, chưa có phương pháp tính toán lý thuyết hoàn chỉnh được đề xuất. Các chỉ dẫn thiết kế trong các bộ tiêu chuẩn thiết kế chuyên ngành ở các nước trên thế giới cho loại hình vỏ chống này cũng chưa được đề cập. Do đó, việc nghiên cứu, đề xuất một phương pháp tính mới cho kết cấu vỏ chống lấp ghép bên trong các đường hầm metro tiết diện ngang hình chữ nhật cong bằng phương pháp số nhằm mục đích tính toán, tối ưu hóa các thông số mặt cắt ngang trong quá trình thiết kế đường hầm metro tiết diện cong, đặc biệt là trong điều kiện địa chất phân lớp như Hà Nội và TP. Hồ Chí Minh. Kích thước của đường hầm được thể hiện trên Bảng 3 và Hình 6.



Hình 5. Tiết diện sử dụng hầm metro tiết diện làn đôi theo TCVN 11793 : 2017 [12]



Hình 6. Kích thước đường hầm tiết diện hình chữ nhật cong

Bảng 4. Các thông số hình học của đường hầm

Chiều rộng (B) (m)	Chiều cao đường hầm ( $H_t$ ) (m)	Hệ số; $B/H_t$	$R_1$ (m)	$R_2$ (m)	$R_3$ (m)	Diện tích ( $m^2$ )
9,70	7,20	1,347	9,95	1,00	5,35	59,786

Sơ đồ xác định áp lực lên đường hầm theo giả thuyết của Terzaghi. Sử dụng phương pháp số thông qua phần mềm Phase2 tính cho trường hợp hầm chữ nhật cong với kích thước đã xác định với dạng vỏ hầm lấp ghép có chiều dày thay đổi.

### 3.2. Khảo sát ứng xử cơ học của vỏ hầm khi hầm đào trong điều kiện phân lớp bằng mô hình số

Các nghiên cứu trước đây đã phân nghiên cứu cho trường hợp hầm đào trong 1 lớp đất đá đồng nhất và đẳng hướng. Trong nghiên cứu này nhóm tác giả tiến hành nghiên cứu ứng xử cơ học của vỏ hầm khi hầm đào trong điều kiện phân lớp thông qua phần mềm Rocscience -RS2- Phase<sup>2</sup> software. Để đánh giá độ dịch chuyển khối đá xung quanh hầm metro và vỏ hầm bê tông lắp ghép khi ở trạng thái làm việc được giả định là một lớp vỏ liên khối có chiều dày 50 cm, ta sử dụng phương pháp số thông qua phương pháp phần tử hữu hạn bằng phần mềm chuyên dụng Rocscience -RS2- Phase2. Phần mềm Phase2 bản quyền có khả năng mô phỏng quá trình khai đào đất đá và lắp dựng kết cấu chống giữ hầm metro với các loại kết cấu chống giữ là điển hình là bê tông phun (Shotcrete) và neo đá (Rockbolt) với mô hình Fully Bonded, neo cáp (Cable bolt) với mô hình Plain Stran Cable. Phần mềm cũng chỉ ra mức độ ổn định của vỏ hầm thông qua hệ số bền (Strength factor), vùng dẻo xuất hiện xung quanh đường lò cũng như giá trị nội lực lớn nhất đạt được trong hệ thống kết cấu chống giữ đường hầm gồm mô men lớn nhất trong vỏ bê tông lắp ghép, bê tông phun, khung thép, mô men uốn và lực dọc xuất hiện lớn nhất trong thanh neo (nếu có sử dụng). Mô hình phá hủy vật liệu sử dụng để mô phỏng trong nghiên cứu với đất đá, bê tông vỏ hầm được giả định tuân theo mô hình dẻo Mohr - Coulomb.

\*) Xây dựng mô hình, điều kiện biên và trường ứng suất ban đầu

Kích thước vùng mô hình hóa 2D: Vùng ảnh hưởng sang bên trái, bên phải và phía dưới đường lò trong tầng đá gốc được chọn bằng bằng 30 lần chiều rộng hầm metro (theo kinh nghiệm) nhằm đảm bảo mô hình điều kiện thực tế và đảm bảo độ chính xác của mô hình số.

Điều kiện biên: Cạnh thẳng đứng bên trái, bên phải biên vùng ảnh hưởng cho phép dịch chuyển theo phương thẳng đứng, không cho phép dịch chuyển theo phương ngang. Cạnh nằm ngang dưới đáy biên vùng ảnh hưởng không cho phép dịch chuyển theo phương thẳng đứng và phương ngang. Cạnh nằm ngang phía trên biên vùng ảnh hưởng để tự do, cho phép dịch chuyển theo phương đứng và phương ngang.

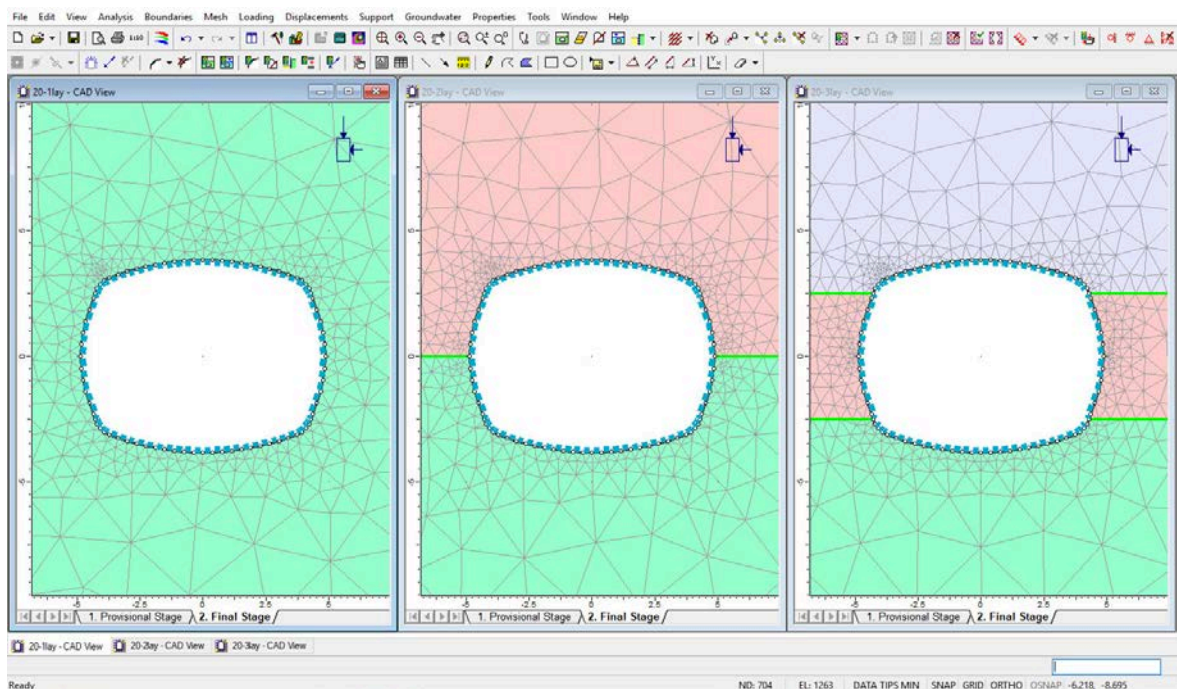
\*) Công tác khai đào hầm metro và lắp đặt vỏ hầm trong mô hình số, các giai đoạn tính toán mô phỏng được thể hiện trong Bảng 5 dưới đây.

Bảng 5. Các giai đoạn mô phỏng trong tính toán kết cấu chống đường lò

Giai đoạn	Công việc
Giai đoạn 1	Xây dựng điều kiện biên, trường ứng suất ban đầu.
Giai đoạn 2	Giảm mô đun đàn hồi của khối đá phía trong biên hầm metro để chú ý đến biến dạng xung quanh đường hầm sau khi đào và lắp dựng vỏ hầm bê tông

\*) Đặc tính đất đá và các thông số đầu vào

Đối tượng nghiên cứu là vỏ hầm metro tiết diện chữ nhật cong đào qua đất đá với các trường hợp khác nhau có các đặc tính cơ lý đá khác nhau tại tuyến metro số 03 của Hà Nội như Bảng 3. Nghiên cứu được tiến hành dựa trên việc mô phỏng hầm metro tiết diện chữ nhật cong trong 03 trường hợp như Bảng 6 dưới đây. Xuất phát từ điều kiện địa chất thực tế tại tuyến hầm metro số 03 với các lớp đất đá có bề mặt phân lớp uốn lượn như Hình 3, đường hầm đào ở độ sâu 20-30 m sẽ có 3 mặt cắt ngang tương ứng như 3 mô hình trên Hình 7 khi cắt qua 1 lớp, 2 lớp và 3 lớp tương ứng. Kết quả giá trị nội lực trong vỏ chống từ ba mô hình được thể hiện trên Hình 8 ÷ Hình 11.



a) Mô hình 1

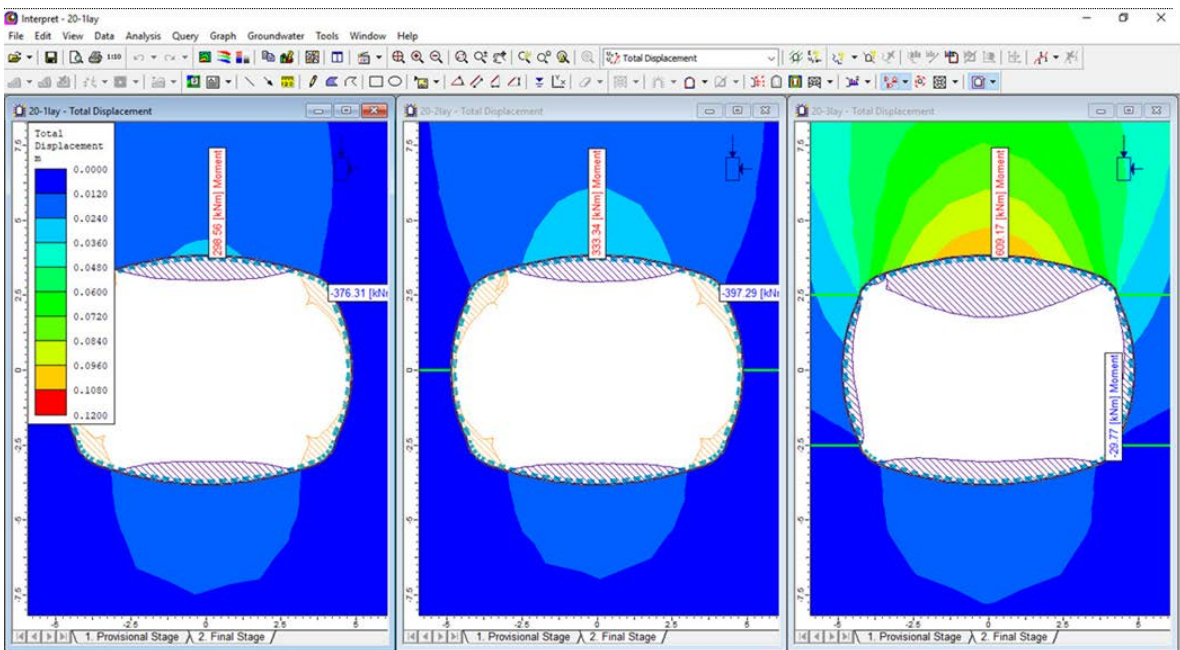
b) Mô hình 2

c) Mô hình 3

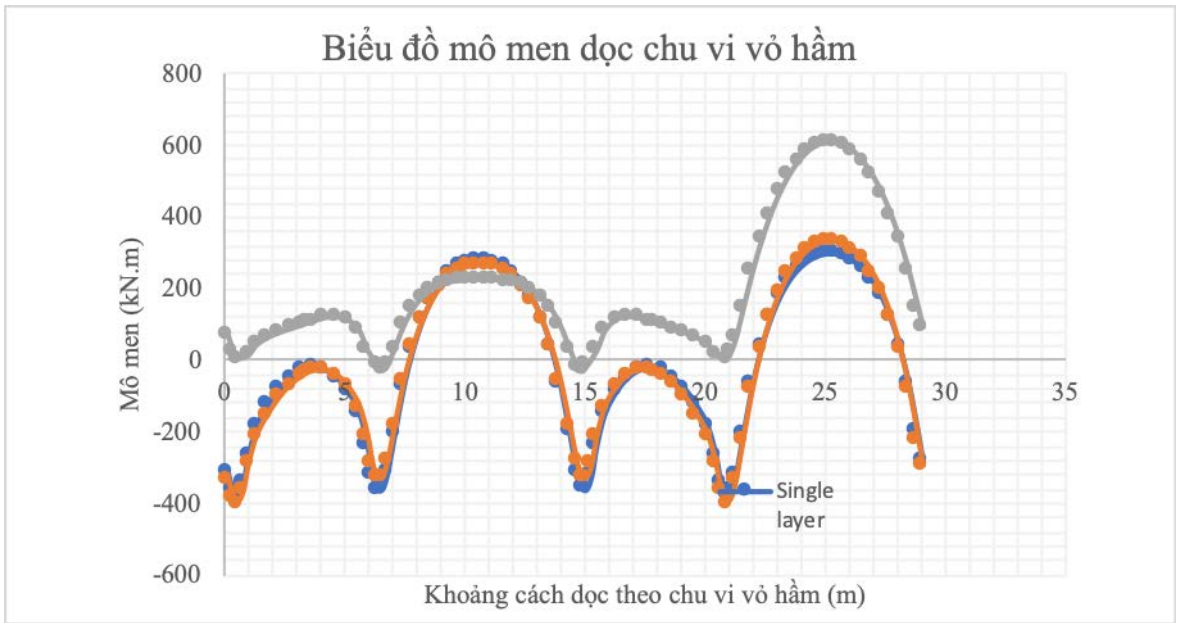
Hình 7. Mô hình nghiên cứu ảnh hưởng của phân lớp trong tính toán vỏ hầm metro chữ nhật cong

Bảng 6. Các trường hợp mô phỏng trong nghiên cứu

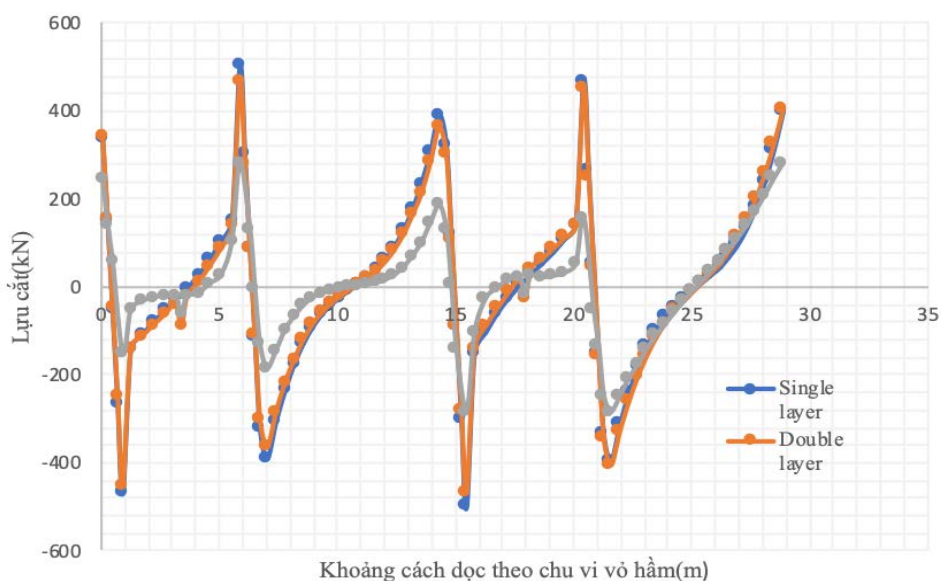
Mô hình 1	Mô hình 2	Mô hình 3
Hầm đào trong 1 lớp đất duy nhất: GU7&8	Hầm đào trong hai lớp : GU5a GU7&8 đến 23,5 m	Hầm đào trong 3 lớp : Backfill (các lớp yếu phía trên) GU5a đến độ sâu 21 m GU7&8 đến độ sâu 26 m
Độ sâu từ bề mặt đất đến đỉnh hầm: 20 m $K = 0,6$ Độ sâu mực nước ngầm: 5 m Chiều dày vỏ chống 40 cm, chế tạo từ bê tông C35	Độ sâu từ bề mặt đến đỉnh hầm: 20 m $K = 0,6$ Độ sâu mực nước ngầm: 5 m Chiều dày vỏ chống 40 cm, chế tạo từ bê tông C35	Độ sâu từ bề mặt đến đỉnh hầm: 20 m $K = 0,6$ Độ sâu mực nước ngầm: 5 m Chiều dày vỏ chống 40 cm, chế tạo từ bê tông C35



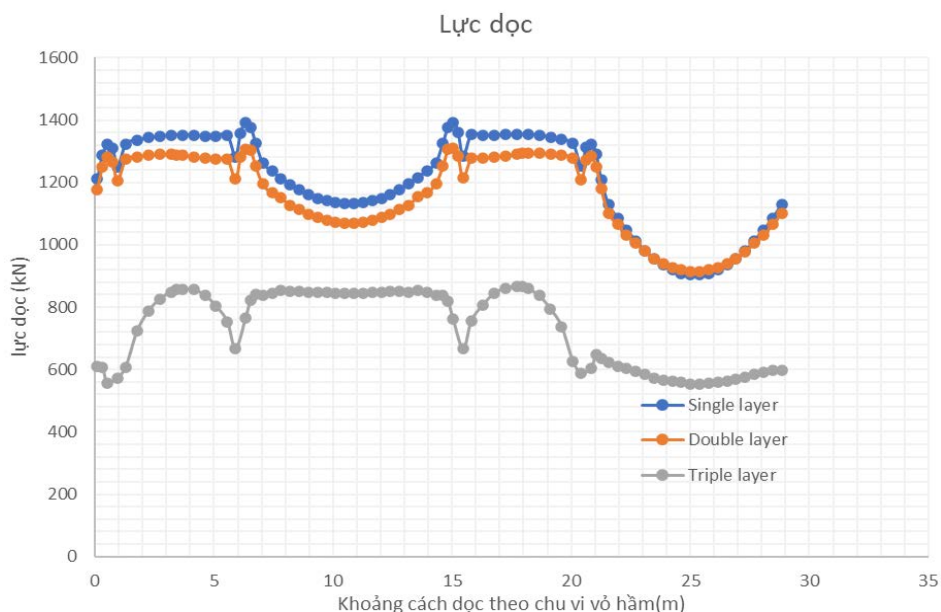
Hình 8. Chuyển vị của khối đá và mô men trong vỏ hầm metro chữ nhật cong cho các trường hợp khác nhau



Hình 9. Biểu đồ mô men trong vỏ hầm metro chữ nhật cong cho các trường hợp khác nhau



Hình 10. Biểu đồ lực cắt trong vỏ hầm metro chữ nhật cong cho các trường hợp khác nhau



Hình 11. Biểu đồ lực dọc trong vỏ hầm metro chữ nhật cong cho các trường hợp khác nhau

Hình 8 cho thấy chuyển vị tăng dần từ mô hình 1 (Hình 8a), hầm đào trong một lớp đất đá đến mô hình 2 (Hình 8.b) hầm đào trong đất đá hai lớp và chuyển vị đạt lớn nhất tại Hình 8c, khi hầm đào trong ba lớp đất đá.

Hình 9, Hình 10, Hình 11 thể hiện biểu đồ mô men, lực dọc và lực cắt trong vỏ hầm metro tiết diện cong cho các trường hợp khác nhau khi hầm đào qua một, hai và ba lớp đất đá. Qua các biểu

đồ cho thấy sự thay đổi lớn nội lực trong vỏ hầm theo hướng có sự gia tăng của mômen uốn cũng như sự giảm của lực dọc trục và lực cắt khi tăng số lượng các lớp đất đá.

#### **4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**

Kết quả mô hình ở trên cho thấy có sự thay đổi nội lực xuất hiện trong vỏ hầm chữ nhật cong khác nhiều so với hầm hình tròn trong điều kiện tương đương (hầm đào trong một lớp đất đá). Với hầm chữ nhật cong thì ứng suất tập trung tại bốn góc trong khi hình tròn là phân bố đều do biên cong trơn. Tuy nhiên, tỷ lệ sử dụng diện tích hữu ích của hầm hình chữ nhật cong là lớn hơn so với hình tròn dẫn đến phần diện tích đào khi thi công nhỏ hơn. Do vậy, với một số tuyến hầm metro đào trong khu vực chật hẹp của thành phố có nhiều công trình bề mặt, cần đào với khối lượng nhỏ nhất nên sử dụng tiết diện hình chữ nhật cong. Mặc dù vậy, tiết diện metro hình chữ nhật cong mới được chú ý nghiên cứu trong những năm gần đây do những tiến bộ trong việc mô phỏng số, các phương pháp mới trong tính toán vỏ hầm như phương pháp kháng đàn hồi (HRM) trên thế giới và tại Việt Nam. Với các kết quả nội lực thu được cho thấy có sự thay đổi lớn về nội lực trong vỏ chống so với các nghiên cứu trước đó khi mô phỏng hầm trong một lớp đất đá đồng nhất [8-10].

Kết quả mô hình cũng cho thấy sự gia tăng của mômen uốn cũng như sự giảm của lực dọc trục và lực cắt khi tăng số lượng các lớp đất. Ngoài ra, từ kết quả của mô hình lớp đơn và lớp kép là rất gần, điều này được giải thích là do hai lớp GU7 & 8 và GU5a có đặc tính khá gần trong khi lớp đất phủ có chất lượng kém có đặc tính cơ lý thấp hơn.

Áp lực đất tăng mạnh khi chuyển từ lớp này sang lớp khác, chủ yếu là khi các lớp có sự khác biệt lớn về tính chất như trường hợp của mô hình ba lớp giữa lớp đắp nền và lớp GU5a. Do đó, áp lực đất đá ít quan trọng hơn trong mô hình ba lớp. Mỗi nôi giữa các vật liệu có tác dụng làm giảm lực cắt trên lớp lót hầm như thể hiện trên đồ thị lực cắt và đặc biệt đối với mô hình ba lớp.

Do đó, các mối nối giữa các vật liệu trong đất nhiều lớp ảnh hưởng đến hoạt động của đường hầm bằng cách tác động đến sự lan truyền của áp lực đất lên vỏ.

#### **5. KẾT LUẬN**

Bài báo đã tổng hợp các kết quả nghiên cứu chính về kết cấu hầm metro cũng như phương pháp tính toán hầm metro và áp dụng phương pháp số, thông qua phần mềm Phase 2 cho một trường hợp cụ thể hầm metro tại tuyến metro số 3 dự án metro Hà Nội. Kết quả nghiên cứu cho phép rút ra các kết luận sau:

- Các phương pháp tính hầm metro tiết diện không tròn như tiết diện hình chữ nhật cong, hình móng ngựa, hình elip,... Chưa được chú ý nghiên cứu nhiều tại Việt Nam và các nước trên thế giới do tính phức tạp và không thể tiến hành bằng phương pháp giải tích;

- Mặc dù rất nhiều công trình nghiên cứu đã được thực hiện để phát triển các phương pháp thiết kế vỏ hầm hình tròn, nhưng có thể thấy rằng hầu hết các phân tích đều được tiến hành trong một loại đất đồng nhất. Trong hầu hết các trường hợp thực tế, địa chất tuyến hầm metro thường đào qua thường gồm đất đá nhiều lớp có sự thay đổi về các đặc tính địa cơ (trọng lượng thể tích, mô đun đàn hồi, lực dính và góc ma sát) đối với mỗi lớp.

- Bằng phương pháp số thông qua phần mềm Rocscience -RS2- Phase2 software, nhóm tác giả đã mô phỏng ảnh hưởng có số lượng lớp đất đá đến nội lực trong vỏ chống.

- Việc xây dựng hệ thống tàu điện ngầm Hà Nội là điều cần thiết để giảm thiểu tình trạng tắc nghẽn giao thông của thành phố và giảm lượng khí thải carbon dioxide. Bên cạnh đất pha sét của Hà Nội, sự hiện diện của nước ngầm lớn và việc xây dựng các công trình cao trên bề mặt mà các tính toán chạy trước đây chưa đề cập nhiều, đặc biệt là điều kiện địa chất thực tế có nhiều lớp đất với các đặc tính khác nhau cần được nghiên cứu nhiều hơn.

- Sự dịch chuyển của đường hầm được xác minh đối với sự thay đổi K giữa 0,1 và 2,5 cũng như sự thay đổi độ sâu của nước ngầm trong khoảng từ 5 m đến 30 m. Theo mô phỏng độ sâu của đường hầm, độ dày tối ưu vỏ hầm là 40 cm và độ sâu tối ưu của đường hầm là 20 m, hầm đặt trong điều kiện địa chất có lớp đất đá ổn định nhất.

### **TÀI LIỆU THAM KHẢO**

1. Đặng Hồng Lam, Nguyễn Bá Đồng (2020). "Dự báo độ lún của bề mặt đất do đào hầm bằng máy đào TBM tại tuyến metro line 3", *Tạp chí Địa Kỹ thuật*, số 2, 578-62. ISSN: 0866-279X.
2. <https://saigoneer.com/hanoi-news/22078-hanoi-reveals-train-design-of-metro-line-3,-seeks-public-feedback>.
3. Design report technical design (2013). "Project: Hanoi pilot light metro line 03 Section Nhon - Hanoi Railway station. Package: underground section - line and stations, package number HPLMLP/CP-03". Hanoi, 2013. -Volume (1-2). 73 p.
4. Giao P. H. and E. Ovaskainen (2000). Primary Analysis of Hanoi Land Subsidence with reference to Groundwater Development, *Lowland Technology International*, Vol. 2 (2), p. 17-29, IALT.
5. Giao, P. H., Hue, V. T., Han, N. D., Anh, N. T. H., & Minh, N. N. (2018). "Land subsidence prediction for a new urban mass rapid transit line in Hanoi". *Online published in. Underground Space. Elsevier*, at <https://doi.org/10.1016/j.undsp.2018.11.002>.
6. X. Huang, Y. Zhua, Z. Zhanga, Y. Zhuc, S. Wang and Q. Zhuang (2018). "Mechanical behaviour of segmental lining of a sub-rectangular shield tunnel under self-weight," *Tunnelling and Underground Space Technology* 74, pp. 131-144, 2018.
7. Young-Jin Shin et al.. "TBM (Tunnel Boring Machine) tunneling in urban areas by EPB (Earth Pressure Balance): design consideration of Hanoi pilot light metro line". *Geotechnics for Sustainable Infrastructure Development*, Lecture Notes in Civil Engineering book series (LNCE, volume 62) pp 229-234.
8. Do NA, Dias D, Zixin Z, Xin H, Nguyen TT, Pham VV, Ouahcène NR. (2020). "Study on the behavior of squared and sub-rectangular tunnels using the Hyperstatic Reaction Method". *Transportation Geotechnics*; 22. doi.org/10.1016/j.trgeo.2020.100321.
9. Nguyen TT, Do NA, Karasev MA, Dang VK, Dias D. (2020). "Tunnel Shape Influence on the Tunnel Lining Behavior". *Proceeding of ICE - Geotechnical Engineering*. doi.org/10.1680/jgeen.20.00057.
10. Đặng Văn Kiên, Đỗ Ngọc Anh, Nguyễn Tài Tiến, Nguyễn Huỳnh Anh Duy và Phạm Văn Vĩ, 2021. "Nghiên cứu tổng quan về vỏ hầm metro tiết diện ngang hình chữ nhật cong", *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, số 62, kỳ 4, tr. 68-78.

11. <https://baodautu.vn/fecon-la-nha-thau-tham-gia-lap-dat-va-van-hanh-robot-khoan-ham-tmb-tai-du-an-metro-line-3-ha-noi-d134385.html>.

12.[12] TCVN 11793 : 2017. Đường sắt đô thị khổ đường 1000 mm - yêu cầu thiết kế tuyến.

## **STUDY ON THE BEHAVIOR OF METRO TUNNEL CURVED RECTANGULAR CROSS SECTION IN HETEROGENEOUS SOIL CONDITION AT HANOI**

**Dang Van Kien<sup>1\*</sup>, Augustin Bracco<sup>2</sup>, Do Ngoc Anh<sup>1</sup>, Nguyen Tai Tien<sup>11</sup>**

*<sup>1</sup>Hanoi University of Mining and Geology, 18 Vien street, Duc Thang, Bac Tu Liem, Ha Noi*

*<sup>2</sup>Aix-Marseille University, France*

### **ABSTRACT**

The Hanoi Metro Pilot Light Line 3 is part of the new metro tunnel project for Hanoi capital. The construction works in this contract include a twin bored tunnel running parallel, with a distance ranging from 12 to 35 m. The 2.6 km twin tunnels will be bored by two 6.3 m diameters. Even though a lot of works have been done to develop tunnel lining design methods with circular cross-section tunnel, it can be found that most of the analyses assumed that the tunnels are excavated in only one homogeneous soil. However, in real scenarios, it is very rare to meet tunnels built in only one layered soil. In most cases, layered soils are encountered which induces variations in terms of geomechanical properties (soil unit weight, Young modulus, cohesion, and friction angle) for each sub-layer. Moreover, the Hanoi aquifer system and groundwater extraction make the soil subject to land subsidence during tunneling. Therefore, an accurate study of tunnel behavior is needed. This paper presents the tunnel behavior under static pressure in multi-layered soils in Hanoi, which is the most accurate representation of Hanoi Metro Pilot Light Line 3 actual soil by numerical simulation by Rocscience -RS2- Phase<sup>2</sup> software.

*Keywords:* Metro tunnel, curved rectangular tunnel, numbered method, layered.

---

\* Corresponding author, email address: *dangvankien@humg.edu.vn*