

NGHIÊN CỨU ĐÁNH GIÁ ĐỘ ỔN ĐỊNH CỦA KẾT CẤU CHỐNG CÁC KHO NGẦM CHỨA KHÍ TẠI VŨNG TÀU BẰNG PHƯƠNG PHÁP SỐ

ĐẶNG VĂN KIÊN, VÕ TRỌNG HÙNG

Trường Đại học Mỏ-Địa chất

Email: dangvankien@humg.edu.vn

Trong số các loại công trình ngầm dạng hầm trạm tiết diện lớn (công trình ngầm kích thước lớn và rất lớn) trên thực tế thường gặp các loại công trình ngầm có tiết diện mặt cắt ngang thay đổi từ 60 đến 100 m² trong ngành khai thác khoáng sản. Còn trong ngành xây dựng thủy điện, thủy công và xây dựng nhà máy điện nguyên tử ngầm, diện tích mặt cắt ngang của chúng có thể đạt tới giá trị 1000 m² và lớn hơn nữa. Chiều dài các công trình ngầm thay đổi trong khoảng từ 20-40 m, chiều cao của chúng có thể đạt tới giá trị 70 m và lớn hơn.

Trong ngành khai thác khoáng sản, các loại hầm trạm tiết diện lớn là các hầm trạm trong tổ hợp các hầm trạm nghiền đập-chứa quặng và một số hầm trạm ngầm sâu giếng. Thể tích của chúng có thể đạt tới giá trị hàng nghìn m³. Trong lĩnh vực xây dựng công nghiệp và xây dựng năng lượng, thể tích các hầm trạm bố trí trạm biến thế, các thiết bị tước bin của nhà máy thủy điện ngầm, nhà máy thủy điện nguyên tử ngầm cũng như các loại thiết bị có thể đạt tới giá trị 400.000 m³ và lớn hơn. Đặc điểm cơ bản của quá trình thiết kế công trình ngầm tiết diện lớn là việc cố gắng bố trí chúng trong khối đá đủ ổn định và bền vững, không có hiện tượng thấm thấu của nước ngầm. Do các hầm có tiết diện quá lớn dẫn đến việc tính toán, thiết kế kết cấu chống rất phức tạp, ít tài liệu đề cập. Ngoài ra, công tác thi công các hầm lớn tiết diện lớn và rất lớn gặp rất nhiều khó khăn do trạng thái ứng suất tập trung rất lớn xung quanh đường hầm, công tác thi công hầm và kết cấu chống giữ thường phức tạp. Đặc biệt là độ ổn định của công trình ngầm thấp do tiết diện khoảng trống sau khi đào lớn dẫn đến cần có những giải pháp về tính toán kết cấu và lựa chọn giai đoạn thi công hợp lý.

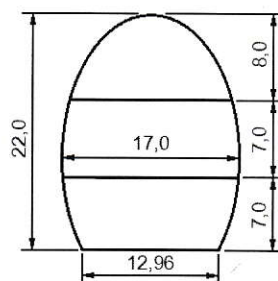
Bài báo sử dụng phương pháp số để tính toán kiểm tra độ ổn định của các kho ngầm chứa LPG

của Công ty HSVC tại Vũng Tàu nằm ở độ sâu 100 m, trên cơ sở đó có những đánh giá về độ ổn định của công trình trên.

1. Giới thiệu về kho ngầm

1.1. Chức năng và kích thước của kho ngầm

Các kho chứa ngầm được sử dụng để lưu trữ propan và butan, mặt cắt điển hình được xác định theo dung lượng lưu trữ khí theo thiết kế. Theo thiết kế của [1], các kho chứa ngầm có tiết diện hình elip ngược với chiều cao tổng cộng 22,0 m chiều rộng là 17,0 m, chiều dài các kho chứa là 256,0 m (hình H.1). Mặt bằng bố trí hệ thống kho chứa ngầm chứa khí propan và butan tại dự án Cái Mép thể hiện trên hình H.2.



H.1. Hình dạng và kích thước của kho ngầm

1.2. Đặc điểm của khối đá xung quanh đường hầm

Theo kết quả khảo sát, đặc tính khối đá xung quanh đường hầm được thể hiện trên Bảng 1. Các kho chứa ngầm được đặt hoàn toàn trong đá rắn cứng loại I theo phân loại khối đá của Barton et al. năm 1974 [2] như hình H.3 và Bảng 1, Bảng 3. Theo đó, phần phía trên đường hầm đào trong sét pha, cát, toàn bộ kho ngầm đặt trong lớp đá gốc với đặc tính như Bảng 4. Trên cơ sở đó, kết cấu gia cố các kho ngầm được thể hiện trên Bảng 2

tương ứng. Khả năng mang tải của bê tông phun (thể hiện qua ứng suất nén và kéo cho phép) và khả năng chịu kéo của thanh neo theo kết quả thí nghiệm hiện trường thể hiện trong Bảng 5 [1].

1.3. Phương pháp nghiên cứu

Vấn đề địa kỹ thuật cho hầm rất phức tạp đến mức khó có thể dự báo trong các khu vực lân cận do sự tồn tại của các mặt phân cách và sự không đồng nhất của khối đá xung quanh đường hầm. Do đó, hiện tại rất khó khăn để phát triển các phần mềm tính toán kết cấu hầm mà cần nhắc đến tất cả các yếu tố phức tạp này. Tuy nhiên, phân tích hầm đã tạo ra nhiều phát triển đáng chú ý trong vài năm qua do sự phát triển của các phương pháp số và sự phát triển của máy tính điện tử, với các trường hợp khó để giải quyết bằng phương trình đàn hồi, độ nhớt và độ dẻo của các đặc tính động của nền đất khi hình thành các định luật, điều kiện lún của vật liệu đất, dạng hình học và các điều kiện biên của kết cấu được mô phỏng trước đó. Do vậy các phương pháp số đã được giới thiệu đến nghiên cứu địa kỹ thuật và góp phần phân tích đặc tính trượt, điều kiện dẻo và mối quan hệ phi tuyến tính giữa ứng suất và biến dạng [3].

Do vậy các vấn đề thực tế đã được phân tích thành công ngoài những trường hợp đơn giản, lựa chọn được các thiết kế hợp lý. Chúng tôi sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn thông qua phần

mềm Rock Science-RS2-Phase 2 để nghiên cứu trạng thái ứng suất biến dạng và đánh giá mức độ ổn định của các kho chứa ngầm LPG của HSVC tại Vũng Tàu nằm ở độ sâu 100 m [2]. Để nghiên cứu ảnh hưởng phương pháp số, phương pháp thi công dự kiến là sử dụng khoan nổ mìn với biện pháp đào chia gương thành 3 bậc với chiều cao tương ứng là: bậc 1, H=8,0 m; bậc 2, H=7,0 m; bậc 3, H=7,0 m. Theo đó, quá trình mô phỏng cũng sẽ chia làm 3 giai đoạn tương ứng.

Bảng 1. Phương pháp phân loại khối đá theo chỉ số Q [2]

Cấp đá	I	II	III	IV	V
Q	$Q > 40$	$40 \geq Q > 10$	$10 \geq Q > 4$	$4 \geq Q > 1$	$1 \geq Q > 0,1$
Chất lượng đá	Rất tốt	Tốt	Trung bình	Yếu	Rất yếu

Bảng 2. Kết cấu gia cố các kho chứa ngầm [1]

Phân loại	Kết cấu chống		I >40	II 40~10	III 10~4	IV 4~1	V 1~0,1
Hang đào 17×22 m	Bê tông phun, cm	Dày	5,0	5,0	6,0	12,0	20,0
	Neo	Khoảng cách	Neo điểm	1 neo/ 5 m	1 neo/ 4 m	1 neo/ 2 m	1 neo/ 1 m
		Dài	4,85 m				

Bảng 3. Đặc tính đất và đá [1]

Loại	Trọng lượng thể tích, kN/m^3	Lực dính kết, kPa	Góc ma sát trong, độ	Mô đun biến dạng, MPa	Hệ số Poisson
Loại I	26,6	9000	54,8	41000	0,25
Loại II	26,5	7100	52,6	31300	0,25
Loại III	26,4	5100	49,4	16100	0,25
Loại IV	26,1	3700	44,5	8300	0,25
Loại V	25,6	2500	40,6	4400	0,26

Bảng 4. Đặc tính của các loại đất đá xung quanh kho chứa ngầm [1]

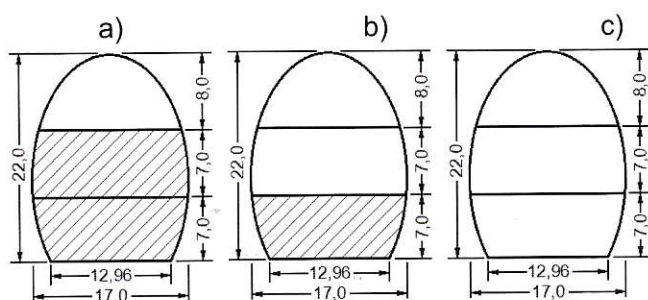
Loại đá	Trọng lượng thể tích không bão hòa, kN/m^3	Trọng lượng thể tích bão hòa, kN/m^3	Lực dính kết, kPa	Góc ma sát trong, độ	Mô đun biến dạng, MPa	Hệ số Poisson	Góc dẫn nờ, độ	Hệ số, K_0
Sét pha	16	18	1	25	15	0,2	0	0,577
Cát	17	20	1,6	33,5	30	0,2	4	0,448
Đá gốc	26,6	26,6	7100	52,6	31300	0,25	8,5	0,234

2. Nghiên cứu độ ổn định của kho chứa ngầm bằng phương pháp số

2.1. Nghiên cứu độ ổn định của kho chứa ngầm bằng phương pháp số cho kho chứa ngầm đơn

Trên cơ sở các dữ liệu đầu vào và biện pháp thi công dự kiến kho chứa ngầm, các giai đoạn tiến hành mô phỏng sự ổn định của kho chứa ngầm theo 3 giai

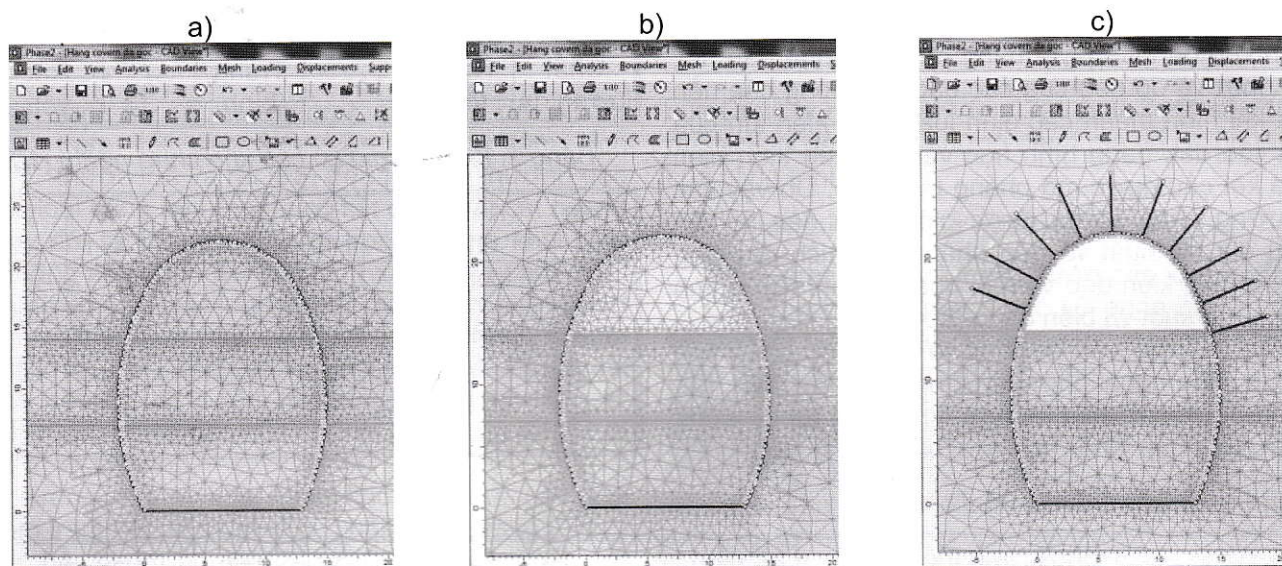
đoạn như hình H.2. Quá trình mô phỏng sử dụng phần mềm Rock Science-RS2-Phase 2 với các khả năng mang tải của hệ thống kết cấu bê tông phun chống kho ngầm [1]: ứng suất nén cho phép bằng 10,4 MPa; ứng suất kéo cho phép bằng 4,5 MPa; lực kéo cho phép của neo bằng 166 kN. Quá trình mô phỏng được thể hiện trên các hình H.3, H.4, H.5.



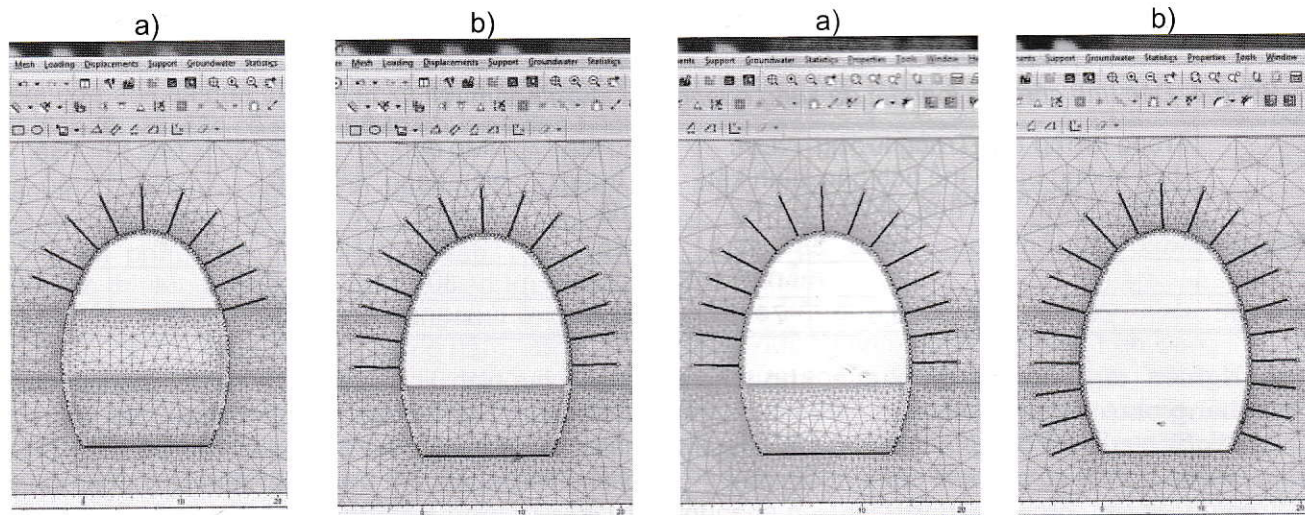
H.2. Các giai đoạn đào hầm chứa tương ứng với biện pháp đào chia bậc: a - Giai đoạn 1-Đào bậc trên; b - Giai đoạn 2-Đào bậc dưới 1; c - Giai đoạn 3-Đào bậc dưới 2

Kết quả mô phỏng độ ổn định của gương hầm theo các bước đào được thể hiện trên các hình H.6, H.7. Việc so sánh kết quả giá trị ứng suất, chuyển vị trên biên hầm theo giá trị cho phép được thể hiện như sau:

- Giá trị chuyển vị lớn nhất của đất đá xung quanh biên hầm chứa: chuyển vị ngang bằng 0,7 mm; chuyển vị đứng bằng 5,25 mm. Chuyển vị đảm bảo giá trị cho phép đủ bền;
- Ứng suất trong vỏ chống bê tông phun và lực dọc của thanh neo quanh hầm chứa: ứng suất nén lớn nhất bằng 3,84 MPa; ứng suất kéo lớn nhất bằng 2,23 MPa; lực dọc lớn nhất của neo 28,3 kN. Độ bền của bê tông phun và thanh neo đều đủ bền.



H.3. Mô phỏng điều kiện bên và các giai đoạn đào bậc trên kho ngầm: a - Xây dựng điều kiện biên, trường ứng suất ban đầu; b - Giảm modun của khối đá trong hang để chú ý đến biến dạng xung quanh biên hầm chứa sau khi đào và lắp dựng kết cấu chống bậc 1; c - Công tác khai đào, lắp dựng kết cấu chống bậc trên

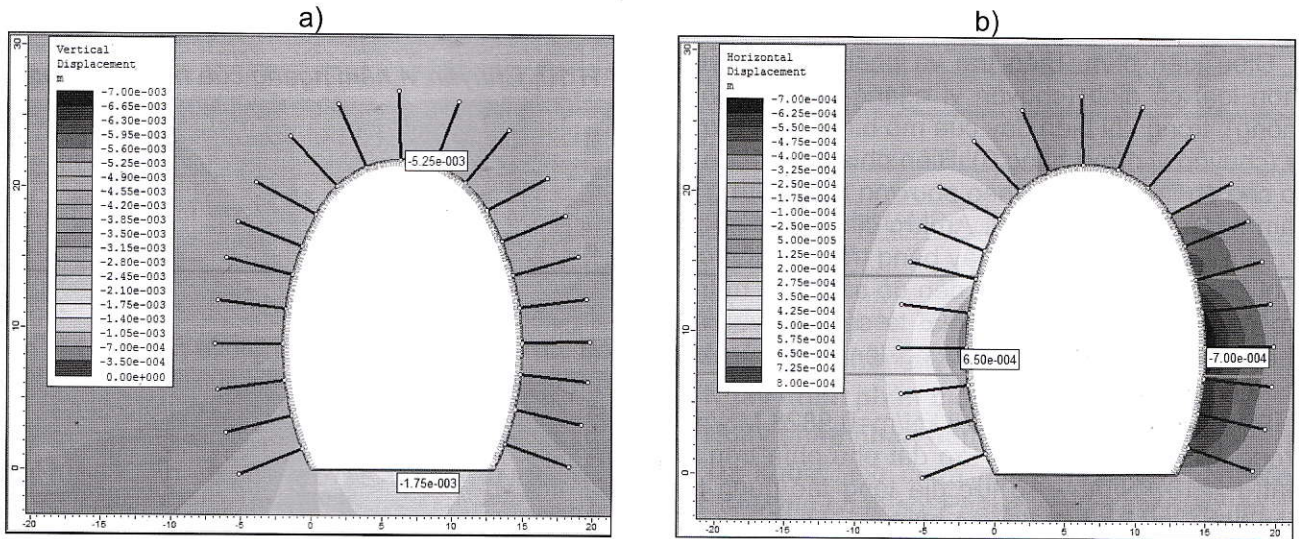


H.4. Mô phỏng các giai đoạn đào bậc 1: a - Bước 4; b - Bước 5

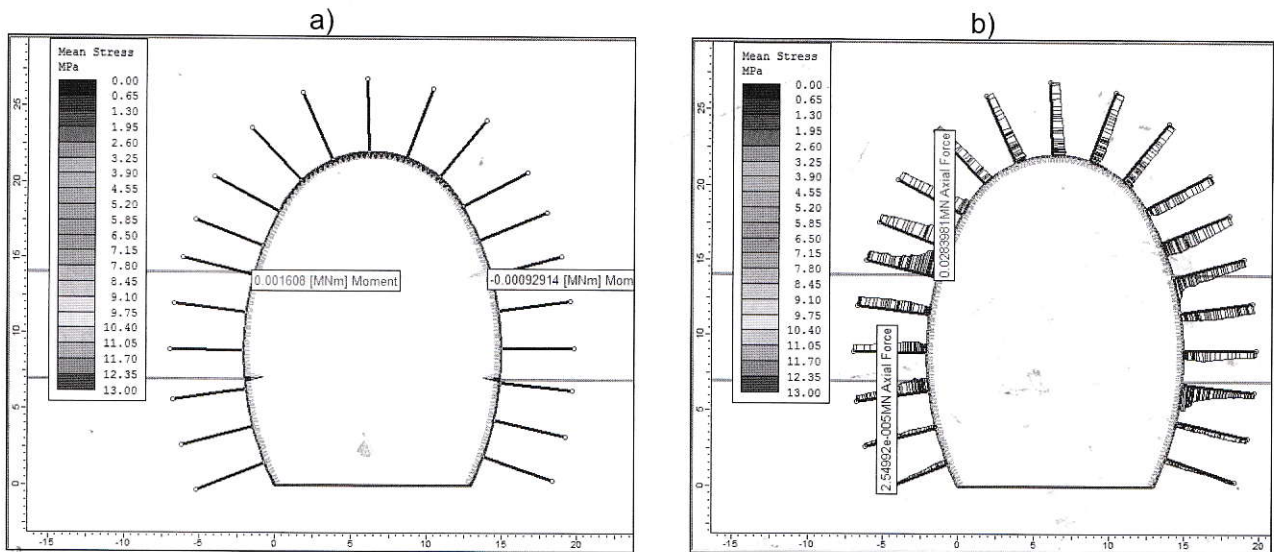
H.5. Mô phỏng các giai đoạn đào bậc 2: a - Bước 6; b - Bước 7

Kết quả thể hiện giá trị dịch chuyển khối đá xung quanh biên hầm và giá trị ứng suất lớn nhất trong vỏ chống bê tông phun và lực dọc lớn nhất xuất hiện trong thanh neo gia cố kho ngầm của dự án. Bằng cách so sánh giá trị dịch chuyển khối đá xung quanh

biên hầm và giá trị ứng suất lớn nhất trong vỏ chống bê tông phun và lực dọc lớn nhất xuất hiện trong thanh neo gia cố kho ngầm ở các bảng cho thấy, các giá trị thu được nhỏ hơn giá trị cho phép theo thí nghiệm hiện trường nên kho ngầm ổn định.



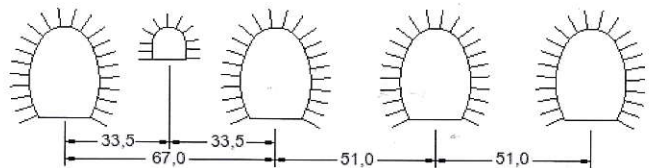
H.6. Giá trị dịch chuyển khối đá xung quanh biên hầm: a - Dịch chuyển thẳng đứng; b - Dịch chuyển nằm ngang



H.7. Kết quả tính toán độ bền của bê tông phun và neo đá: a - Ứng suất lớn nhất và nhỏ nhất trong lớp vỏ bê tông phun; b - Lực dọc trục lớn nhất và nhỏ nhất trong neo đá

2.2. Nghiên cứu độ ổn định của kho chứa ngầm bằng phương pháp số cho hệ thống các kho chứa ngầm khi thi công đồng thời

Hệ thống hầm chứa được đặt cạnh nhau với cao độ gần như nhau như hình H.8. Quá trình thi công sẽ ảnh hưởng đến nhau và đến độ ổn định của từng đường hầm, chúng tôi tiến hành kiểm tra ổn định của khối đá và kết cấu chống trong thời gian xây dựng đường hầm. Hệ thống bao gồm 4 hầm chứa và hầm kết nối nội bộ và đường dốc như hình H.8.



H.8. Hệ thống hầm chứa

2.2.1. Xây dựng mô hình số, lập điều kiện biên và điều kiện ban đầu cho mô hình

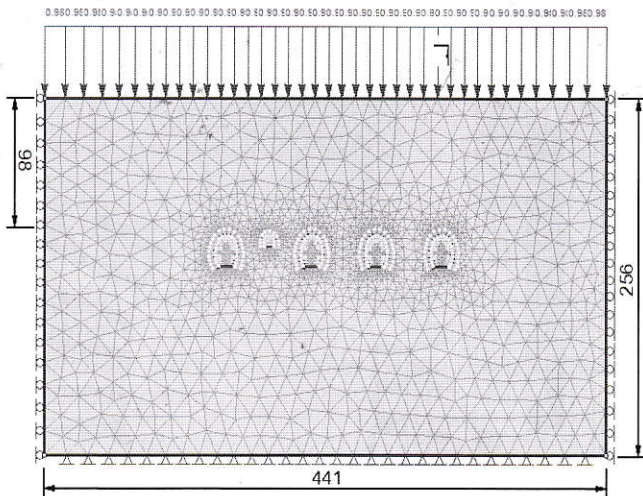
Mô hình ở thời điểm hiện tại, vùng phân tích được

chọn là 8.0 lần của đường kính hầm chứa theo phương ngang và phương thẳng đứng nhằm giảm ảnh hưởng của điều kiện ràng buộc tạo ra tại đường biên đến kết quả phân tích trong giới hạn cho phép của thiết kế. Chiều cao tính từ đỉnh hầm đến lớp biên phía trên bằng chính độ sâu đặt đường hầm là 98,0 m trong lớp đá gốc loại II.

Điều kiện biên: Biên trái và phải của mô hình chọn loại cố định (chuyển vị ngang tại biên bằng không), trong khi biên đáy của mô hình cũng tương tự (chuyển vị đứng bằng 0). Biên phía bề mặt để tự do cho phép chuyển vị theo phương thẳng đứng và nằm ngang như hình H.9. Áp lực địa tầng của các lớp đất đá phía trên được lấy bằng trọng lượng của khối đất đá tới rời phân bố đến độ sâu 54,6 m trên lớp đá gốc (2 lớp trên bề mặt là sét pha và cát). Theo đó giá trị áp lực tác dụng lên vòm của kho chứa có giá trị:

$$P_d = H_d \times P_d = 54,6 \times 18 = 982,8 \text{ kN/m} = 0,9828 \text{ MN/m}.$$

Trong đó: H_d - Chiều dày lớp đất phủ phía trên bề mặt; $P_d = 18 \text{ kN/m}^2$ - Áp lực địa tầng tác dụng lên diện tích 1 m^2 bề mặt đường hầm.



H.9. Điều kiện biên của mô hình

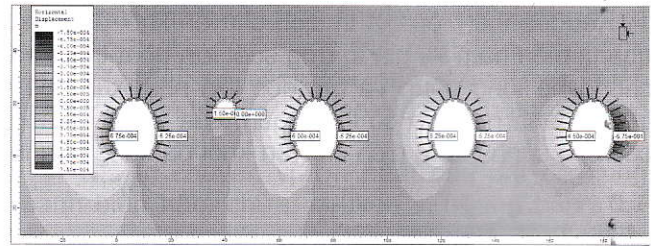
2.2.2. Công tác khai đào, lắp đặt kết cấu chống giữ

Các giai đoạn tính toán/xây dựng như sau:

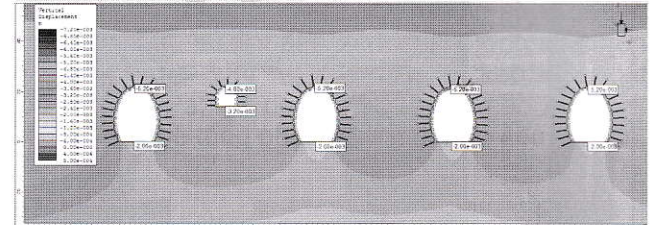
- Giai đoạn 1 - Xây dựng điều kiện biên, trường ứng suất ban đầu;
- Giai đoạn 2 - Giảm modun của khối đá trong hầm để chú ý đến biến dạng xung quanh biên hầm sau khi đào và lắp dựng kết cấu chống;
- Giai đoạn 3 - Công tác khai đào, lắp dựng kết cấu chống;
- Giai đoạn 4 - Quá trình đông cứng bê tông phun.

2.2.3. Phân tích kết quả

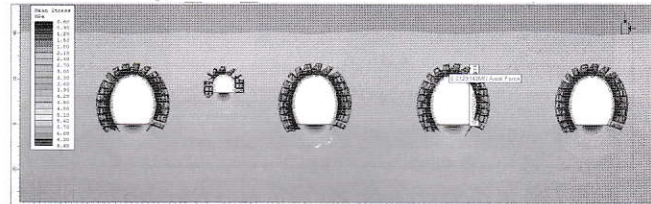
Kết quả tính toán mô hình số được thể hiện từ các hình H.10, H.11, H.12, H.13.



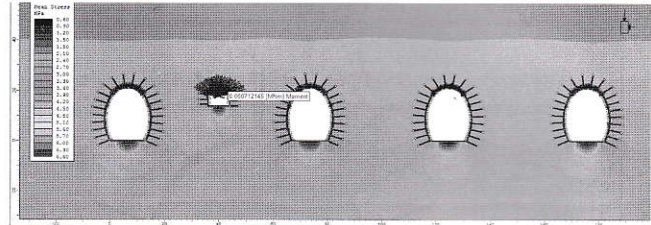
H.10. Chuyển vị nằm ngang của hệ thống hầm



H.11. Chuyển vị thẳng đứng của hệ thống hầm



H.12. Kết quả ứng suất trong vỏ chống bê tông phun



H.13. Kết quả lực kéo dọc trục của neo

2.2.4. Phân tích kết quả

Bảng 8 và Bảng 9 thể hiện giá trị dịch chuyển khối đá xung quanh biên kho chứa ngầm, cũng như giá trị ứng suất lớn nhất trong vỏ chống bê tông phun và lực dọc lớn nhất xuất hiện trong thanh neo gia cố kho ngầm. Kết quả so sánh giá trị dịch chuyển khối đá xung quanh biên hầm và giá trị ứng suất lớn nhất trong vỏ chống bê tông phun và lực dọc lớn nhất xuất hiện trong thanh neo gia cố kho ngầm ở các bảng cho thấy, các giá trị thu được nhỏ hơn giá trị cho phép theo thí nghiệm hiện trường nên kho ngầm ổn định.

3. Kết luận

Những kết quả nghiên cứu trên đây cho phép rút ra một số kết luận sau đây:

- Việc tính toán, thiết kế và thi công các hầm trạm tiết diện lớn và rất lớn, trong trường hợp nghiên cứu là kho chứa khí ngầm của Công ty Hóa chất Hyosung VINA tại Vũng Tàu là hết sức phức tạp;
- Việc thi công chia bậc cho phép giảm ứng suất và biến dạng trên biên hầm;

Bảng 5. Giá trị dịch chuyển khối đá xung quanh biên hầm

Hạng mục hầm	Chuyển vị lớn nhất tại biên hầm	
	Chuyển vị ngang, mm	Chuyển vị thẳng đứng, mm
Hầm chứa 1	0,675	5,2
Hầm nối và đường dốc nội bộ	0,150	4,8
Hầm chứa 2	0,600	5,2
Hầm chứa 3	0,525	5,2
Hầm chứa 4	0,675	5,2

Bảng 6. Ứng suất/ lực trong kết cấu chống

Hệ thống kết cấu chống	Bê tông phun (* - Giá trị cho phép)		Lực dọc lớn nhất của neo, kN
	Ứng suất nén lớn nhất, MPa	Ứng suất kéo lớn nhất, MPa	
	1,70 [10,40]*	1,82 [4,50]*	12,90 [166]*

➤ Phương pháp số là công cụ hữu hiệu hiện nay cho phép mô phỏng đầy đủ các bước đào cũng như ứng xử của khối đất đá xung quang hầm tiết diện lớn khi đào chia bậc;

➤ Bằng việc sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn thông qua phần mềm bản quyền Rock Science-RS2-Phase 2 tại Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mở-Địa chất hoàn toàn cho phép mô phỏng đầy đủ quá trình thay đổi ứng suất, biến dạng trên biên khi khai đào kho chứa ngầm của dự án ngầm chứa khí tại Cái Mép, Vũng Tàu của công ty hóa chất Hyosung VINA;

➤ Kết quả cho thấy khi kho chứa ngầm được bố trí trong lớp đá gốc ở độ sâu 100 m, với hệ thống kết cấu chống tạm lấy theo phương pháp phân loại khối đá của Barton et al. in 1974, hệ thống phân loại Q, các giá trị ứng suất và chuyển vị trên biên đều nằm trong giới hạn cho phép do vậy biên kho chứa ổn định;

➤ Kết quả bài báo cũng chỉ ra việc thi công đồng thời hệ thống khi chứa không ảnh hưởng nhiều đến trạng thái ứng suất biến dạng trên biên hầm, đồng thời biên hầm của các kho chứa đều ổn định theo tiêu chuẩn thứ nhất về khả năng mang tải. □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Công ty cổ phần Hóa chất Hyosung VINA Chemicals Co.,Ltd. Báo cáo thiết kế kỹ thuật kho chứa ngầm Cái Mép-LPG-CV-GR-U-0002. Vũng Tàu. 2019.
2. Võ Trọng Hùng, Phùng Mạnh Đắc. Cơ học đá ứng dụng trong xây dựng công trình ngầm và khai thác mỏ. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật, Hà Nội. 2005.
3. User's Guide, 2D finite element program for calculating stresses and estimating support around underground excavations. 1998-2001 Rocscience Inc.
4. Võ Trọng Hùng. Xây dựng giếng đứng, hầm trạm tiết diện lớn và rất lớn. Giáo trình Cao học. Bộ môn Xây dựng Công trình ngầm và Mỏ. Hà Nội, 2012.

Ngày nhận bài: 26/06/2020

Ngày gửi phản biện: 19/08/2020

Ngày nhận phản biện: 26/10/2020

Ngày chấp nhận đăng bài: 10/12/2020

Từ khóa: kho chứa ngầm; hầm trạm tiết diện lớn; phương pháp số; Phase 2; hầm tiết diện lớn

Trách nhiệm pháp lý của các tác giả bài báo:

Các tác giả hoàn toàn chịu trách nhiệm về các số liệu, nội dung công bố trong bài báo theo Luật Báo chí Việt Nam

Tóm tắt: Bài báo trình bày kết quả mô phỏng số tại dự án kho chứa khí Cái Mép ở Vũng Tàu. Kết quả tính toán bằng phần mềm Rock Science-RS2-Phase2, có thể đưa ra những kết luận sau: sự dịch chuyển tối đa của khối đá xung quanh các đường hầm nhỏ hơn giá trị cho phép; ứng suất nén lớn nhất và ứng suất kéo trong bê tông phun, lực dọc trục lớn nhất thu được không vượt giá trị cho phép. Vì vậy, khối đá chống đỡ đường hầm sẽ an toàn.

Study on evaluating stability of structures against underground gas storage facilities in Vũng Tàu by numerical method

SUMMARY

The paper presents simulation results of the Cái Mép underground gas storage facilities project in Vũng Tàu. Results calculated can give the following conclusions: the maximum displacement of the rock mass around the tunnels is less than the allowable value; maximum compressive stress and tensile stress in the sprayed concrete, the maximum axial force obtained does not exceed the permissible value. Therefore, the rock supporting the tunnel will be safe.