



ASMES - 2025

www.khaithaclathien.edu.vn



Impact assessment of open-pit mining on underground mine structures: A case study of coking coal mining, Bac Lang Cam, Thai Nguyen province

Nguyen Anh Tuan^{1,2,*}, Nguyen Xuan Tu³, Pham Van Viet², Do Anh Son^{1,2}, Ngo Thanh Tuan^{1,2}, Nguyen Tien Hung^{1,2}.

¹ *Research Centre for Mining and Electro-Mechanical Engineering, Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam*

² *Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam*

³ *Phan Me Coal Mine, Thai Nguyen Iron and Steel Joint Stock Company (TISCO), Thai Nguyen province, Vietnam*

ABSTRACT

This study investigates the influence of open-pit mining activities on the stability and safety of existing underground mine structures. The interaction between surface excavation (open-pit) and underlying underground workings poses complex geotechnical challenges, particularly in areas with overlapping mining operations. Using geological, structural, and geomechanical data from the Bac Lang Cam coking coal deposit, the research evaluates stress redistribution, ground deformation, and potential subsidence effects caused by open-pit development. The results contribute to the optimization of mining design, ensuring safe and sustainable exploitation in regions with combined open-pit and underground mining systems. This study aims to assess the impact of open-pit mining on underground mine structures, with a case study of coking coal mining in the Bac Lang Cam area, Thai Nguyen province.

Keywords: Open-pit mining; Underground mining; Subsidence effects; Protective pillar; Safety zone.

*Tác giả liên hệ

E - mail: nguyenanhtuan@humg.edu.vn

Nghiên cứu đánh giá sự ảnh hưởng của moong khai thác lộ thiên đến các công trình hầm mỏ: Khai thác than mỡ khu Bắc Làng Cẩm, Thái Nguyên

Nguyễn Anh Tuấn^{1,2*}, Nguyễn Xuân Tú³, Phạm Văn Việt², Đỗ Anh Sơn^{1,2}, Ngô Thanh Tuấn^{1,2}, Nguyễn Tiến Hưng^{1,2}.

¹ Trung tâm Nghiên cứu Cơ Điện Mỏ, Trường Đại học Mỏ - Địa Chất, Hà Nội, Việt Nam

² Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

³ Mỏ than Phấn Mễ, Công ty CP Gang thép Thái Nguyên, Thái Nguyên, Việt Nam

TÓM TẮT

Nghiên cứu này tập trung đánh giá mức độ ảnh hưởng của hoạt động khai thác lộ thiên đến sự ổn định và an toàn của các công trình hầm mỏ hiện có. Sự tương tác giữa khai thác bề mặt (moong lộ thiên) và các công trình hầm mỏ bên dưới tạo ra những thách thức phức tạp về địa kỹ thuật, đặc biệt trong các khu vực có sự chồng lấn giữa khai thác lộ thiên và hầm lò. Dựa trên dữ liệu địa chất, cấu trúc và cơ học đất đá tại mỏ than mỡ Bắc Làng Cẩm (tỉnh Thái Nguyên), nghiên cứu tiến hành đánh giá sự phân bố lại ứng suất, biến dạng địa tầng và nguy cơ sụt lún do hoạt động khai thác lộ thiên gây ra. Kết quả nghiên cứu góp phần tối ưu hóa thiết kế khai thác, đảm bảo an toàn và phát triển bền vững đối với các khu vực có đồng thời hoạt động khai thác lộ thiên và khai thác hầm lò.

Từ khóa: Moong khai thác lộ thiên, Khai thác hầm lò, biến dạng bề mặt, trụ bảo vệ, vùng an toàn.

1. Mở đầu

Nhóm chuyên gia căn cứ vào các tiêu chuẩn (TCVN), quy chuẩn (QCVN) áp dụng của Việt Nam về thiết kế khai thác mỏ để tiến hành thực nghiên cứu đánh giá các ảnh hưởng của hoạt động hoặc các công trình mỏ lộ thiên đối với khai thác hầm lò. Các TCVN, QCVN cụ thể như QCVN 01:2011/BCT, Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về an toàn trong khai thác than hầm lò; QCVN 01:2019, Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về An toàn trong sản xuất, thử nghiệm, nghiệm thu, bảo quản, vận chuyển, sử dụng, tiêu hủy vật liệu nổ công nghiệp và bảo quản tiền chất thuốc nổ; Quy phạm kỹ thuật khai thác hầm lò than và diệp thạch 18-TCN-5-2006 ban hành theo Quyết định số 18/2006/QĐ-BCN ngày 13/10/2006 của Bộ Công nghiệp (nay là Bộ Công Thương); TCVN 10673:2015, Tiêu chuẩn quốc gia về Trắc địa mỏ.

Cụ thể, để đảm bảo an toàn, bảo vệ môi trường, khai thác hiệu quả dự án khai than mỡ hầm lò khu Bắc Làng Cẩm (khu Âm Hồn), dự án cần được phân tích và đánh giá vấn đề an toàn sụt lún, sập lở đá vách của đường lò dưới moong khai thác lộ thiên ở mức -230m đã kết thúc khai

thác khi tiếp tục khai thác hầm lò phần xuống -370m. Các cơ sở pháp lý cụ thể viện dẫn khoảng cách an toàn như sau:

- Chiều rộng vùng dịch chuyển đá vách được xác định dựa vào góc dịch chuyển (γ_0) của đá vách theo hướng dốc lên tại biên giới của khu vực khai thác hầm lò. Căn cứ theo kết quả nghiên cứu và đánh giá tại các mỏ than hầm lò vùng Quảng Ninh, $\gamma_0 = 700$ (Bảng 12, điều 12.1.2.1, TCVN 10673:2015).

- Căn cứ điều 115 của Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về khai thác than hầm lò QCVN 01: 2011/BCT, quy định khi khai thác gần đối tượng chứa nước thì chiều rộng tối thiểu của tường cách nước là 20m.

Các nội dung nghiên cứu đánh giá cụ thể như sau và trên hình 1:

- Đáy mỏ khai thác lộ thiên -230m, có hồ thu nước.
- Lò dọc vỉa thông gió với mức -250m cách đáy moong lộ thiên tối thiểu 54m (chiều dài tính theo đường phương của vỉa).

- Phân tích đánh giá ảnh hưởng của khai thác hầm lò ở mức -250m, -310m và -370m với moong lộ thiên đã kết thúc; tính toán điều kiện rủi ro mất an toàn khi mùa mưa có mức độ ngập nước cao 5m, 10m và 15m. Tương ứng với chiều cao cột nước ở mức -230m, -225m, -220m và -115m tính từ đáy moong/hồ thu nước.

- Mô phỏng phân tích đánh giá rủi ro được phân tích với mô hình 3D với điều kiện ngập nước và giảm lực dính kết đá vách, tăng khối lượng đá vách.

- Đánh giá được vùng sụt lở khi tiến hành khai thác hầm lò với rủi ro ngập nước đáy moong lộ thiên.

a)



b)



Hình 1. Hiện trạng đáy moong -230m và trạm bơm tháo khô (a) và khu vực đánh giá có khối trữ lượng 3-111 (b), mỏ than Phấn Mễ (2021)

2. Hiện trạng và trình tự thực hiện dự án khai thác mỏ than Phấn Mễ

2.1. Hiện trạng dự án

Dự án khai thác mỏ Phấn Mễ được thăm dò và tiến hành tổ chức khai thác từ những năm 1967-1976, và từ đó đến nay được tóm tắt nhanh như sau. Năm 2009, trước nhu cầu than mỡ

ngày càng tăng, Công ty Gang thép Thái Nguyên tổ chức lập “Dự án đầu tư XDCT khai thác xuống sâu moong lộ thiên Bắc Làng Cẩm – mỏ Phấn Mễ - Công ty Gang thép Thái Nguyên”. Mỏ than mỏ Bắc Làng Cẩm thực hiện khai thác bằng phương pháp khai thác lộ thiên, sử dụng công nghệ khoan nổ mìn, áp dụng hệ thống khai thác xuống sâu, khẩu theo lớp đứng, vận tải bằng ô tô, đất đá thải ra bãi thải ngoài.

Dự án đã được Tổng giám đốc Công ty Gang thép Thái Nguyên phê duyệt tại quyết định số 380/QĐ-GTTN, ngày 17/4/2009, nâng công suất thiết kế lên 100.000 tấn than/ năm, đáy moong thiết kế mức sâu -230m, trữ lượng thiết kế là 945.947 tấn, khối lượng đất bóc còn trong ranh giới là 33.849.701 m³, hệ số bóc trung bình 35,78 m³/ tấn. Đến năm 2021, do việc khai thác lộ thiên hiện không thể phát triển và hệ số bóc quá lớn nên khai thác lộ thiên không có hiệu quả kinh tế, vì vậy Công ty Cổ phần Gang thép Thái Nguyên đã lập Đề án đóng cửa mỏ moong lộ thiên Bắc Làng Cẩm để thực hiện chuyển đổi sang dự án khai thác hầm lò. Mỏ Bắc Làng Cẩm có hệ số bóc trung bình cả đời mỏ là 33,6m³ đất đá/ 1tấn than nguyên khai. Có thời điểm hệ số bóc sản xuất quý, năm lên tới trên 50m³/tấn. Vì vậy, moong lộ thiên hiện không thể phát triển và hệ số bóc quá lớn nên khai thác lộ thiên không có hiệu quả kinh tế.

Bên cạnh đó, các tuyến tầng hiện nay không đảm bảo được các thông số cấu tạo tầng theo biện pháp khai thác hàng năm cũng như thiết kế khai thác mỏ. Các tầng bị chập, đáy moong chật hẹp, không thể phát triển được công trình mỏ xuống sâu. Bờ mỏ phía Đông Nam xuất hiện nhiều khe nứt, nước ngầm. Hào vận tải có đoạn đi qua đất đá vỡ vụn, có nước thấm thấu ảnh hưởng đến mặt đường. Độ dốc của hào vận tải khá lớn >8%, cá biệt có đoạn có độ dốc > 10% làm giảm năng lực vận tải và không an toàn. Đáy moong bị hạn hẹp, thiết bị khai thác làm việc rất khó khăn, có sạt lở cục bộ bờ mỏ gây mất an toàn và là mối đe dọa đối với công nhân và thiết bị khai thác mỏ.

Vấn đề thoát nước đáy moong lộ thiên khi kết thúc khai thác mỏ lộ thiên được thực hiện chi tiết như sau: Thoát nước mưa, nước mặt chảy tràn; Thoát nước moong khai thác. Đánh giá chung về hiện trạng mỏ sau khi kết thúc khai thác lộ thiên: Căn cứ vào tài liệu địa chất và hiện trạng khai thác tại khu vực, kết quả tính toán trữ lượng địa chất còn lại của các khối trữ lượng có trong khai trường đã được kiểm kê là: 1.616.389 tấn; Trữ lượng tài nguyên còn lại của vỉa than khu Bắc Làng Cẩm từ mức -230 xuống mức -370m còn khoảng hơn một triệu tấn (trữ lượng công nghiệp của mỏ sẽ là 695.724 tấn); Máy bơm thoát nước moong lộ thiên vẫn hoạt động tốt, đảm bảo bơm thoát nước hoàn toàn từ đáy moong thoát ra hố lắng và ra ngoài sông Đu.

2.2. Trình tự khai thác theo dự án hầm lò

2.2.1 Công nghệ khai thác và các thông số công nghệ cơ bản

Hiện tại, khu vực hầm lò Bắc Làng Cẩm dưới moong lộ thiên chưa được tiến hành khai thác. Tuy nhiên, công nghệ khai thác than hầm lò đã được mỏ than Phấn Mễ đang triển khai tại khu vực cánh Nam Làng Cẩm và sẽ áp dụng cho điều kiện khu vực Bắc Làng Cẩm với các thông số kỹ thuật như sau:

Bảng 1. Bảng chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật chính của hệ thống khai thác chia lớp bằng

TT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Số lượng
1	Chiều dày vỉa trung bình	m	6,5
2	Góc dốc vỉa trung bình	Độ	50
3	Chiều dài theo phương một khoảnh	m	30÷65
4	Chiều cao khẩu gương	m	2,2
5	Chiều dài lò chợ (gồm cả thân lò chuẩn bị)	m	8
6	Dung trọng của than	T/m ³	1,4
7	Tiến độ khẩu gương	m	1,0
8	Số luồng khẩu một chu kỳ	Luồng	2,0
9	Sản lượng khai thác một chu kỳ	T	44
10	Số ca khai thác một chu kỳ	Ca	2
11	Số ca làm việc một ngày đêm	Ca	3
12	Hệ số hoàn thành chu kỳ	-	0,85
13	Sản lượng khai thác 1 ngày đêm	T	48,6
14	Số ngày làm việc trong tháng	ngày	25
15	Sản lượng một tháng	T	1.548
16	Công suất khu vực (đào lò và khai thác)	T/năm	18.500
17	Công suất khu vực (đã làm tròn)	T/năm	18.000

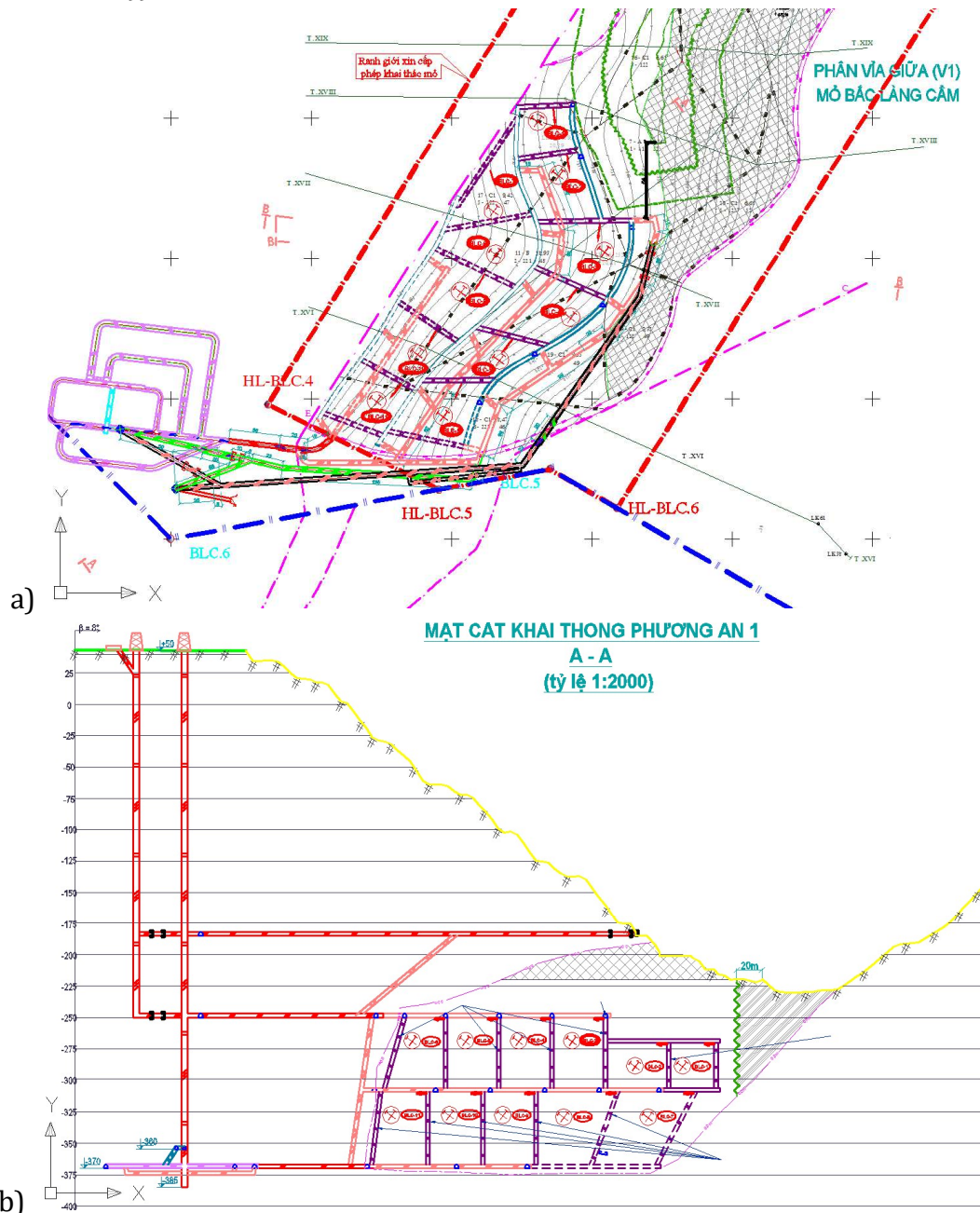
2.2.2 Trình tự khai thác hầm lò

Theo phương án khai thông dự kiến lựa chọn, vị trí mặt bằng và cặp giếng nằm ở phía Nam bên ngoài vỉa than. Do đó chỉ có tổn thất do để lại trụ bảo vệ các đường lò và tổn thất do hệ thống khai thác. Trên cơ sở kinh nghiệm khai thác tại khu Nam Làng Cẩm và khu Cánh Chìm mỏ than Phấn Mễ, với hệ thống khai thác chia lớp bằng và lưu cũi áp dụng cho chiều dày vỉa lớn thì cần chia tầng thành phân tầng. Trong đó mỗi phân tầng gồm 4 lớp (trong đó 3 lớp khẩu với các dải cũi xếp chồng và gối lên nhau theo các lớp khẩu và một lớp đệm ngăn cách để đảm bảo an toàn đá rơi khi chiều cao xếp chồng các dải cũi quá cao. Trên mỗi lớp khẩu, trong quá trình khai thác sẽ phải thực hiện dải lớp cách ly bằng sét hoặc cát (đóng trong bao tải) trên nền và xây tường bịt kín khi khai thác xong để ngăn chặn sự phát sinh cháy.

- Đối với các tầng khai thác -310 ÷ -250 và -370 ÷ -310, chiều cao mỗi tầng là 60m, mỗi lớp khẩu cao 2,2m và lớp đệm ngăn giữa các phân tầng 2m. Như vậy, chiều cao của mỗi phân tầng là $2,2 \times 3 + 2 = 8,6\text{m}$. Số phân tầng trong mỗi tầng là $60/8,6 = 7$ phân tầng. Ngoài ra, trong mỗi cột (rộng trung bình 65m) cần để lại trụ bảo vệ thượng cột rộng 2m để phục vụ thoát gió khi khai thác các phân tầng dưới cũng như ngăn gió vào không gian đã khai thác của cột.

- Đối với mức -250 ÷ -220, mục tiêu để lại mức này làm lớp bảo vệ khi khai thác các tầng dưới là để đảm bảo an toàn và tránh nước tràn từ moong (trong những ngày mưa lớn không bơm kịp) theo đường lò cũ mức -218m hoặc nước tích trong các đường lò cũ vào làm ảnh hưởng đến toàn bộ các tầng khai thác. Để tận thu tối đa tài nguyên và giảm tổn thất, phần trữ lượng này được khai thác tận thu vào cuối đời mỏ (trong những ngày moong bơm cạn nước và không có khả năng nước chảy vào lò) với một lò chợ duy nhất (công suất 20.000

T/năm) theo hướng khẩu lần lượt các cột 12, 13 và 14 từ tuyến XX về phía giếng đứng chính. Tổng chiều cao của tầng là 30m. Ngoài ra, một dải than 5m tại mức -250m phải được để lại để cách ly với khu vực khai thác trước đó ở dưới. Như vậy, chiều cao khai thác tận thu của tầng này là từ -245 ÷ -220 (tương ứng 25m = 3 phân tầng (trong đó phân tầng dưới cùng đã có lớp bảo vệ 5m)).



Hình 2. Bình đồ đồng đẳng trụ (a) và mặt cắt phân tích vị trí đáy moong lộ thiên và các mỏ dọc vỉa khai thác lộ thiên mức -250m, -310m và -370m (b) khai thác hầm lò dưới moong khai thác lộ thiên mỏ than Phần Mễ.

Khu vực phân vùng đáy moong lộ thiên, khu vực quy hoạch khai thác hầm lò được khoanh định và tập trung phân tích đánh giá ổn định và an toàn với phần moong lộ thiên với đường lò dọc

vía của dự án là các đường lò dọc vỉa khai thác hầm lò ở mức -250m, -310m và -370m với moong lộ thiên đã kết thúc. Các lò thượng và lò chợ của 3 mức khai thác dưới moong khai thác lộ thiên đã kết thúc khai thác trên bình đồ và mặt cắt A-A hình 2.

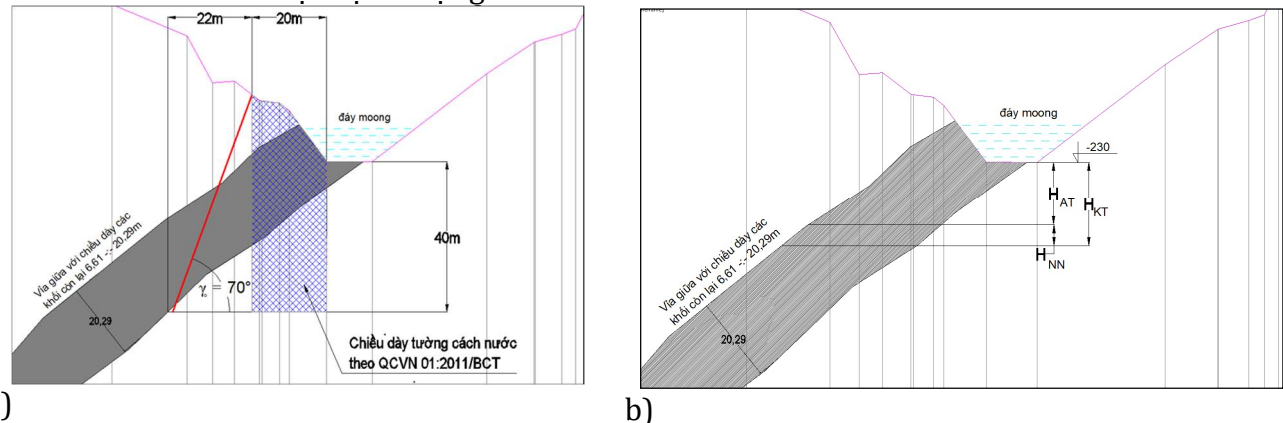
Ta thấy bình đồ và mặt cắt cho thấy thông tin rõ của vỉa than và khoảng cách giữ dự án khai thác hầm lò và moong lộ thiên của mỏ than Phần Mễ.

- Trên bình đồ và mặt cắt Đáy mỏ khai thác lộ thiên -230m, có hồ thu nước.
- Lò dọc vỉa thông gió với mức -250m cách đáy moong lộ thiên tối thiểu 54m (chiều dài tính theo đường phương của vỉa).

3. Đánh giá ảnh hưởng của khai thác hầm lò với moong lộ thiên đã kết thúc khai thác

3.1. Nguyên tắc đảm bảo an toàn hầm lò dưới moong lộ thiên

Căn cứ điều 115 của Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về khai thác than hầm lò QCVN 01: 2011/BCT, quy định khi khai thác gần đối tượng chứa nước thì chiều rộng tối thiểu của tường cách nước là 20m được định lượng và biểu diễn trên hình 3.



Hình 3. Sơ đồ xác định chiều rộng vùng dịch chuyển đá vách do khai thác hầm lò (a) và Sơ đồ xác định chiều sâu khai thác an toàn trên mặt cắt qua đáy moong (b).

Việc tính toán, xác định trụ cách nước đã được nhiều chuyên gia trên thế giới quan tâm nghiên cứu, điển hình là viện nghiên cứu VNIMI của Liên Bang Nga. Gần đây nhất, các công trình nghiên cứu được quan tâm là của các tác giả Korzeniowski W., Skrzypkowski K. (năm 2012), tác giả Chunlei Zhang (2019). Các thông số tính toán chính trong dự án mà chủ đầu tư và tư vấn đã đề xuất bao gồm: chiều sâu khai thác an toàn và chiều rộng vùng dịch chuyển khi khai thác hầm lò, cụ thể như sau:

- *Tính toán chiều sâu khai thác an toàn (H_{kt}):*

Độ sâu khai thác hợp lý phải đảm bảo quá trình khai thác không xảy ra quá trình dẫn nước trực tiếp từ đáy moong vào khu vực khai thác. Trong trường hợp này, độ sâu khai thác hợp lý được xác định bằng tổng chiều cao của đới nứt nẻ dẫn nước và đới an toàn, có thể được thể hiện qua công thức:

$$H_{KT} = H_{NN} + H_{AT}, m \quad (1)$$

Trong đó: H_{KT} - Độ sâu khai thác an toàn, m; H_{NN} - Chiều cao đới nứt nẻ dẫn nước, m; H_{AT} - Chiều cao đới an toàn; lấy bằng 0,2-0,3 lần H_{NN} , m.

Chiều cao đới nứt nẻ dẫn nước được xác định từ sự hình thành và phát triển các khoảng trống phía trên khu vực khai thác hầm lò (trong đá vách), phụ thuộc chủ yếu vào công nghệ khai thác được lựa chọn áp dụng. Theo nghiên cứu của Chunlei Zhang thực hiện năm 2019, chiều cao này được xác định theo công thức:

$$H_{NN} = \frac{100 \Sigma M}{C_1 \Sigma M + C_2} \pm C_3, m \quad (2)$$

Trong đó: ΣM - Chiều cao vùng không gian được tạo ra bởi quá trình khai thác hầm lò cần lấp đầy, m; C_1, C_2 và C_3 - Các hệ số đặc trưng cho tính chất đất đá vách phía trên khu khai thác.

Đối với điều kiện khai thác hầm lò khu Bắc Làng Cẩm, công nghệ khai thác được thiết kế là hệ thống khai thác chia lớp bằng, khẩu gương bằng búa chèn kết hợp với khoan nổ mìn, chống giữ bằng gỗ và chèn lò bằng chông cũi gỗ. Trong trường hợp này, ΣM được xác định trên cơ sở chiều cao lớp cách nước là than và vách yếu. Khi đó, các hệ số đặc trưng tương ứng là: $C_1 = 5,0$; $C_2 = 8,0$ và $C_3 = 3,0$.

Do sử dụng phương pháp chèn lò toàn phần bằng chông cũi, giá trị ΣM được xác định dựa trên cơ sở tính toán độ lún tối đa của hệ thống cũi chèn có tính đến ảnh hưởng tương hỗ giữa các lớp cũi chèn với nhau, có thể được xác định theo công thức:

$$\Sigma M = M_K \cdot \varepsilon = M_K \cdot \frac{\varepsilon_1 + \sum_{i=2}^n (k_i \varepsilon_i)}{n}, m \quad (3)$$

Trong đó: M_K - Tổng chiều dày khẩu của vỉa tại vị trí tính toán theo phương thẳng đứng, m; ε - Hệ số độ lún tối đa của khối cũi chèn; ε_1 - Hệ số độ lún tối đa của khối chèn lớp khai thác đầu tiên; ε_i - Hệ số độ lún tối đa của khối chèn lớp khai thác thứ i ; k_i - Hệ số tính đến ảnh hưởng của quá trình khai thác và chèn lò của lớp khai thác thứ i đối với khối chèn phía trên, lấy $k_i = 1,1 \div 1,2$; n - Số lớp chèn (lớp khai thác) được huy động để tính toán.

Hệ số độ lún tối đa của khối chèn ở các lớp khai thác có thể coi tương đương nhau do chiều cao khai thác của các lớp như nhau. Khi sử dụng vật liệu chèn lò bằng chông cũi gỗ, hệ số này có thể lấy bằng $15 \div 16 \%$ như kết quả nghiên cứu của các tác giả Korzeniowski W., Skrzypkowski K. (2012).

Do toàn bộ phần đất đá và than phía trên lớp khai thác được quy đổi về loại vách mềm yếu theo từng lớp nằm ngang giả định song song với lớp khẩu để tính toán chiều cao đới nứt nẻ theo phương thẳng đứng nên số lớp chèn (lớp khai thác) huy động được xác định dựa theo chiều dày thẳng đứng lớn nhất của vỉa tại khu vực khai thác, tức là:

$$n = \frac{M_K}{m_K} \quad (4)$$

Trong đó: m_K - Chiều cao lớp khẩu, m.

Thay (3) vào (4) ta được: $\Sigma M = \frac{M_K^2 [\varepsilon_1 + \sum_{i=2}^n (k_i \varepsilon_i)]}{m_K}, m$

- *Chiều rộng vùng dịch chuyển đá vách do khai thác hầm lò*

Chiều rộng vùng dịch chuyển đá vách được xác định dựa vào góc dịch chuyển (γ_0) của đá vách theo hướng dốc lên tại biên giới của khu vực khai thác hầm lò. Căn cứ theo kết quả nghiên cứu và đánh giá tại các mỏ than hầm lò vùng Quảng Ninh, $\gamma_0 = 70^\circ$ (Bảng 12, điều 12.1.2.1, TCVN 10673:2015). Ngoài ra, để đảm bảo an toàn thì phạm vi dịch chuyển phải nằm ngoài giới hạn của tường cách nước. Căn cứ điều 115 của Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về khai thác than hầm lò QCVN 01: 2011/BCT, quy định khi khai thác gần đới tượng chứa nước thì chiều rộng tối thiểu của tường cách nước là 20m.

3.2. Các rủi ro có thể xảy ra khi khai thác hầm lò dưới moong lộ thiên

Khai thác hầm lò dưới moong lộ thiên đã xuất hiện từ những năm 70 tại một số nước trên thế giới và đã đạt được những thành tựu cũng như kinh nghiệm nhất định. Khai thác hầm lò dưới moong lộ thiên có hai dạng bao gồm: Khu vực lò chợ nằm phía dưới, phía trên là moong mà đã hoặc đang tiến hành khai thác lộ thiên (loại I); Khu vực khai thác hầm lò nằm cạnh rìa moong lộ thiên (loại II). Khai thác tại khu vực dưới moong lộ thiên là một dạng khai

thác trong điều kiện đặc biệt. Quá trình khai thác này có sự ảnh hưởng lẫn nhau – khai thác hầm lò ảnh hưởng đến khai thác lộ thiên; khai thác lộ thiên ảnh hưởng đến khai thác hầm lò.

Tùy theo loại hình khai thác khác nhau mà mức độ ảnh hưởng lẫn nhau sẽ không giống nhau. Đối với việc thực hiện khai thác hầm lò trước rồi mới tiến hành khai thác lộ thiên sẽ kiểm soát được các vấn đề áp lực, bụi nước ở khu vực khai thác hầm lò. Với loại hình này việc tiến hành khai thác hầm lò gần giống như ở trong điều kiện bình thường khác của khai thác hầm lò. Tuy nhiên quá trình khai thác hầm lò cần tính toán kỹ đến sự ảnh hưởng của nó đến dịch động đất đá phía trên, đặc biệt là khu vực bờ moong lộ thiên sẽ tiến hành khai thác sau này. Bởi sự dịch chuyển của đất đá vách do lò chợ gây ra sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến độ ổn định, gây ra sự trượt lở của các bờ moong công tác tại khu vực khai thác lộ thiên. Quá trình dịch chuyển của đất đá này còn có thể dẫn đến các hiện tượng sụt lún các tầng công tác gây cản trở đến các hoạt động của máy móc, thiết bị vận tải trên mỏ lộ thiên. Thông qua phân tích cơ chế trượt lở của đất đá và tác giả cũng đã khẳng định phương pháp và tốc độ khai thác hầm lò có ảnh hưởng rất lớn đến độ ổn định của bờ mỏ, các hoạt động.

Quá trình khai thác tại khu vực dưới moong lộ thiên cũng giống như việc khai thác hầm lò dưới các công trình chứa nước và luôn tiềm ẩn những nguy cơ gây mất an toàn cho hoạt động khai thác hầm lò đặc biệt là bụi nước.

Để có thể giảm thiểu những nguy cơ mất an toàn về bụi nước vào khu vực khai thác hầm lò dưới các công trình chứa nước đã có nhiều nghiên cứu chuyên sâu nhằm xác định quá trình dịch chuyển của địa tầng đất đá vách do khai thác ở lò chợ gây bằng việc sử dụng các phương pháp phân tích (analytical method) – thường được chia thành 3 nhóm:

- + Nhóm 1 bao gồm các phương pháp dựa trên lý thuyết cơ học truyền thống, như phương pháp tỉ lệ chiều dày dầm (thickness-span ratio);
- + Nhóm 2 bao gồm các phương pháp thí nghiệm mô phỏng tương tự; bằng việc xây dựng các mô hình tương tự như ngoài thực tế, ứng suất, biến dạng và phá hủy của đất đá có thể được tìm hiểu chi tiết;
- + Nhóm 3 bao gồm các phương pháp mô phỏng số phát triển mạnh trong thời gian gần đây.

Để giảm thiểu được những rủi ro, mất an toàn khi tiến hành khai thác các vỉa than nằm dưới khu vực moong lộ thiên thì cần phải giải được bài toán tổng hợp mang tính chất liên ngành, trong đó có liên quan đến công tác nghiên cứu địa chất thủy văn, địa chất công trình và công nghệ khai thác.

3.2. Khoanh vùng tính toán ảnh hưởng khi khai thác hầm lò dưới moong lộ thiên

3.2.1. Các thông số chiều sâu khai thác an toàn và chiều rộng vùng dịch chuyển đá vách

Kết quả tính toán theo công thức (1), (2) và (3) được tổng hợp trong bảng 2.

Bảng 2. Bảng tính kết quả xác định chiều cao khai thác an toàn

TT	Ký hiệu	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị	
				Đá vách mềm	Than
1	Hệ số độ lún tối đa của khối chèn lớp khai thác thứ i	ε_i		0,16	0,16
2	Số lớp chèn (lớp khai thác) được huy động để tính toán.	N		14,00	14,00
3	Hệ số tính đến ảnh hưởng của quá trình khai thác và chèn lò của lớp khai thác thứ i đối với khối chèn phía trên	k_i		1,15	1,15

4	Hệ số độ lún tối đa của khối cũi chèn	ε		0,18	0,18
5	Chiều cao lớp khẩu	m_k	m	2,20	2,20
6	Tổng chiều dày khẩu của vỉa tại vị trí tính toán theo phương thẳng đứng (tính cho chiều dày vỉa lớn nhất của các khối – 20,29m và góc dốc 47^0)	M_K	m	29,75	29,75
7	Chiều cao vùng không gian được tạo ra bởi quá trình khai thác hầm lò cần lấp đầy	ΣM	m	5,42	5,42
8	Các hệ số đặc trưng cho tính chất đất đá vách phía trên khu khai thác	C1		5,00	3,10
9		C2		8,00	5,00
10		C3		3,00	4,00
12	Chiều cao đới nứt nẻ dẫn nước nhỏ nhất	H_{NN-min}	m	12,44	20,86
13	Chiều cao đới nứt nẻ dẫn nước lớn nhất	H_{NN-max}	m	18,44	28,86
14	Chiều cao đới an toàn	H_{AT}	m	5,53	8,66
15	Độ sâu khai thác an toàn	H_{KT}	m	23,98	37,52

3.2.2. Tính toán chiều rộng vùng dịch chuyển đá vách do khai thác hầm lò:

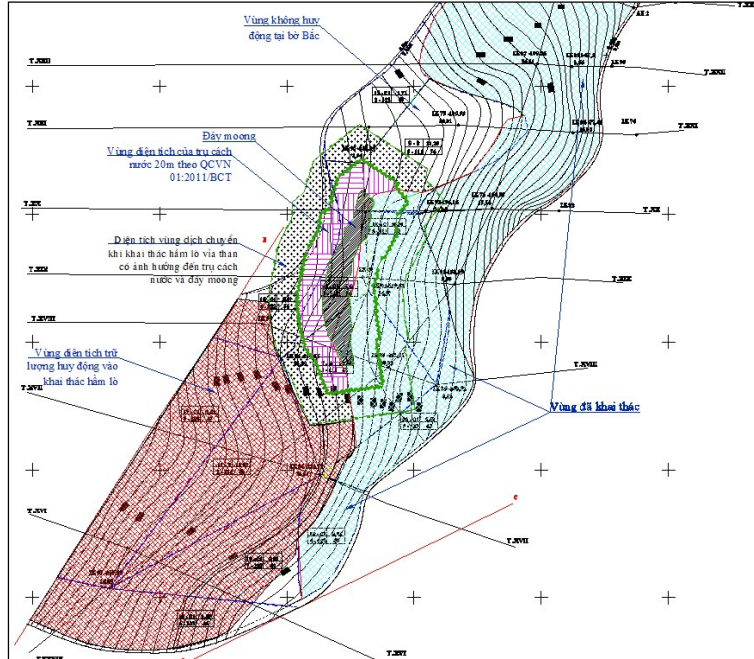
Kết quả đo vẽ trên hình 3.1a, hình 3.b xác định được chiều sâu khai thác an toàn dưới đáy moong tương ứng là 40m và phạm vi khai thác cách xa đáy moong 42m. Đối chiếu với tính toán đã được phê duyệt trong “Báo cáo kết quả đề tài nghiên cứu khảo sát đánh giá chuyển đổi công nghệ khai thác lộ thiên sang hầm lò do Công ty TNHH Tư vấn triển khai công nghệ và xây dựng Mỏ - Địa chất (CODECO) lập đã được TISCO phê duyệt tại Quyết định số 799/QĐ-GTTN, ngày 09/6/2016” thì có kết quả tương đồng khi chiều dày khai thác hiệu quả bằng 1 m (chiều dày khai thác hiệu quả là chiều cao phần hạ mái trong phương pháp điều khiển đá vách bằng chèn lò).

Tóm lại, từ kết quả tính toán chiều sâu khai thác an toàn và chiều rộng vùng dịch chuyển đá vách do khai thác hầm lò vỉa giữa khu Bắc Làng Cẩm với công nghệ khai thác chia lớp bằng, chèn lò bằng cũi gỗ cho phép rút ra kết luận: Chiều sâu khai thác an toàn dưới đáy moong $\geq 40m$; Khoảng cách an toàn theo phương ngang từ vị trí khai thác tới đáy moong $\geq 42m$.

3.2.3. Chiều rộng vùng dịch chuyển đá vách do khai thác hầm lò do dự án tính

Bình đồ xác định vùng trữ lượng nằm trong trụ bảo vệ dưới đáy moong (trụ cách nước) và vùng trữ lượng huy động khi khai thác hầm lò được giới thiệu trên hình 3.3.

Ngoài ra, phần trữ lượng tại đuôi vỉa từ mức -218m đến mức -180 từ tuyến XVI ÷ XVIII đã được tận thu bằng các đường lò. Do đó, để đảm bảo an toàn, ngăn chặn bụi nước vào khu vực trữ lượng chính được khai thác mức -370÷-250 do sự tích tụ nước từ các đường lò cũ và nước chảy tràn từ moong vào trong các ngày mưa lớn, cũng theo phương pháp xác định ở trên thì lớp cách nước cần để lại có chiều cao 30m. Tuy nhiên, khu vực này nằm xa bán kính ảnh hưởng của đáy moong lộ thiên nên để giảm tổn thất tài nguyên, trong giai đoạn cuối đời mỏ sẽ thực hiện khai thác tận thu phần trữ lượng này. Trước khi thực hiện khai thác, phải tiến hành khoan thăm dò và tháo nước từ các đường lò cũ sau đó mở lò men theo khu vực khai thác cũ tới biên giới và thiết kế các cật khai thác.

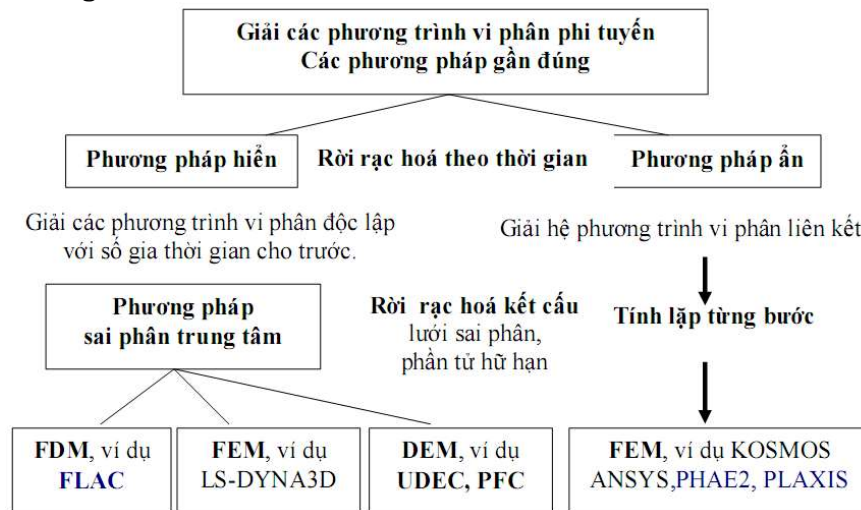


Hình 4. Bình đồ xác định xác định vùng trữ lượng nằm dưới đáy moong

4. Phương pháp số đánh giá ảnh hưởng của moong khai thác lộ thiên khi tiến hành xây dựng và khai thác hầm lò bên dưới

4.1. Phương pháp số

Các mô hình phân tích được dựa trên các thông số cụ thể bên dưới, phần mềm mã nguồn mở RESOBOK do nhóm chuyên gia phát triển (Nguyễn Anh Tuấn, 2015, 2016). Xuất phát từ các mục tiêu bài toán xây dựng mô hình dự báo các rủi ro, mất an toàn trong kỹ thuật khai thác mỏ và xây dựng công trình, phương pháp số được sử dụng ngày càng phổ biến như các phần mềm trong hình 5.



Hình 5. Một số các phần mềm và phương pháp số phân tích ổn định
Với các phần mềm trong hình 3.5 có thể xây dựng các mô hình dự báo ở dạng số và

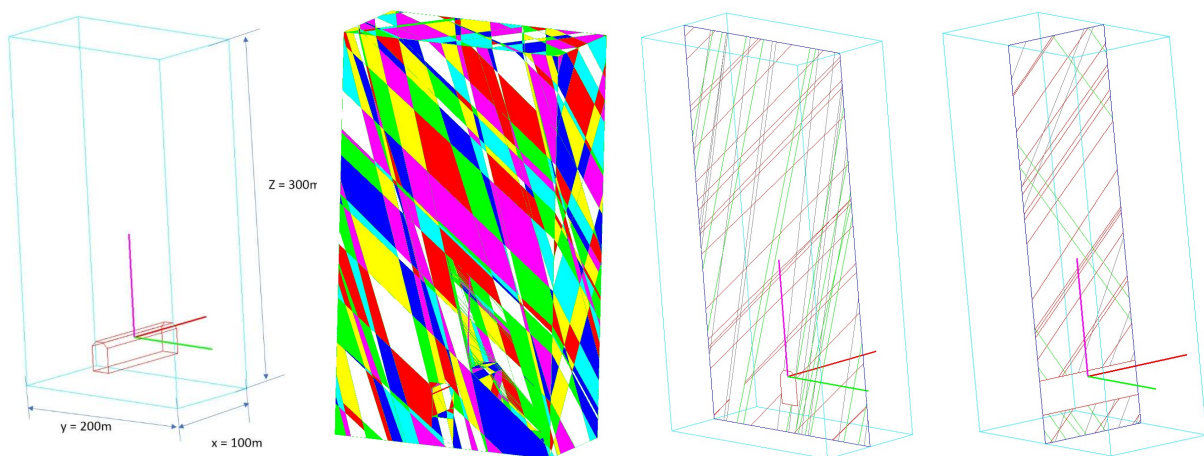
phân tích dựa trên các điều kiện biên và quá trình khai thác. Bên cạnh đó là các phần mềm mô hình dạng 3D có khả năng mô hình và phân tích tương tự. Chương trình UDEC, 3DEC, RESOBLOK, LMGC90 cho phép chú ý được sự biến thiên của các thông số đầu vào của các mặt phân cách như góc cắm, chiều dài, chiều dài cầu nối, khoảng cách. Khi mô hình khối đá với các mặt phân cách sẽ xuất hiện ngẫu nhiên trong quá trình mô phỏng và cũng cho phép khảo sát ảnh hưởng tính ngẫu nhiên đó.

Việc sử dụng mô hình phân tích đánh giá rủi ro được nhóm chuyên gia nghiên cứu phân tích đánh giá trên mô hình 3D với kích thước mô hình lớn với các yếu tố ảnh hưởng được đưa vào điều kiện biên của mô hình như: phân lớp các đới địa chất và đứt gãy, khoảng cách giữa các khe nứt trong hệ thống đứt gãy và nứt nẻ; điều kiện ngập nước và giảm lực dính kết đá vách do lực đẩy acsimet; tăng khối lượng đá vách do ngậm nước; giảm lực dính kết và góc nội ma sát do nước trong hệ thống khe nứt và do chấn động hoặc rung.

4.2. Mô hình số và kết quả đánh giá

Điều kiện phân tích đánh giá ảnh hưởng của khai thác hầm lò ở mức -250m, -310m và -370m với moong lộ thiên đã kết thúc trong điều kiện cụ thể như sau:

- Tính đến điều kiện rủi ro mất an toàn khi mùa mưa có mức độ ngập nước cao 5m, 10m và 15m. Mức nước ngập tương ứng với chiều cao cột nước ở mức -230m, -225m, -220m và -115m tính từ đáy moong/hố thu nước.
- Các hệ thống nứt nẻ, đứt gãy và tính chất cơ lý đá, đại chất công trình được tích hợp vào mô hình như trong nội dung 1.
- Kích thước mô hình được lựa chọn và phân tích trên cơ sở nội dung 2, nhằm đảm bảo mô hình ổn định và phản ánh đủ các yếu tố ảnh hưởng của: các hệ thống khe nứt, đứt gãy; các thông số tính chất cơ lý đá và cấp lớp đất đá vách và ở đáy moong lộ thiên; sự biến động của mực nước ngập đáy moong và nước mặt ngấm lên bề mặt moong của mỏ than Phấn Mễ.



Hình 6. Kích thước mô hình và hệ thống khe nứt trên nóc đường lò dọc vỉa mức -250m

Những tiến bộ trong Khai thác lộ thiên nhằm bảo vệ môi trường và phát triển bền vững - 2025

Trong đó:

zone_of_interest{Kích thước mô hình phân tích mức độ ổn định của tuyến đường lò dọc vỉa tới moong khai thác lộ thiên}

x=-50,50 ; {chiều dài của tuyến đường lò dọc vỉa theo phương trong mô hình là 100m}

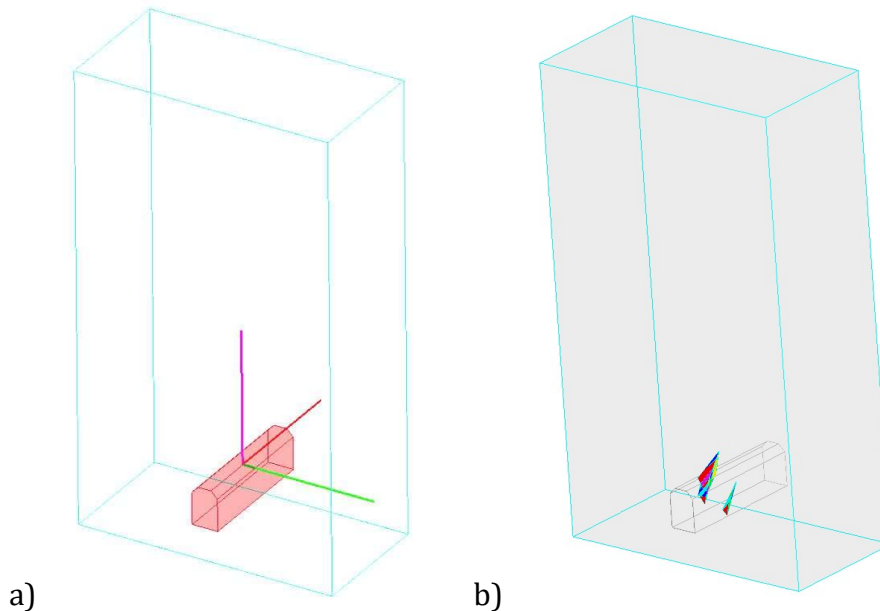
y=-100,100 ; {chiều rộng mô hình là 200m, khoảng cách từ trục lò dọc vỉa sang 2 bên là 100m}

z=-50,300 ; {chiều cao của mô hình 350m, tính từ đỉnh lò dọc vỉa vận tải tới biên của mô hình 50m, từ nóc lò tới bờ mỏ moong lộ thiên kết thúc khai thác là 300m}

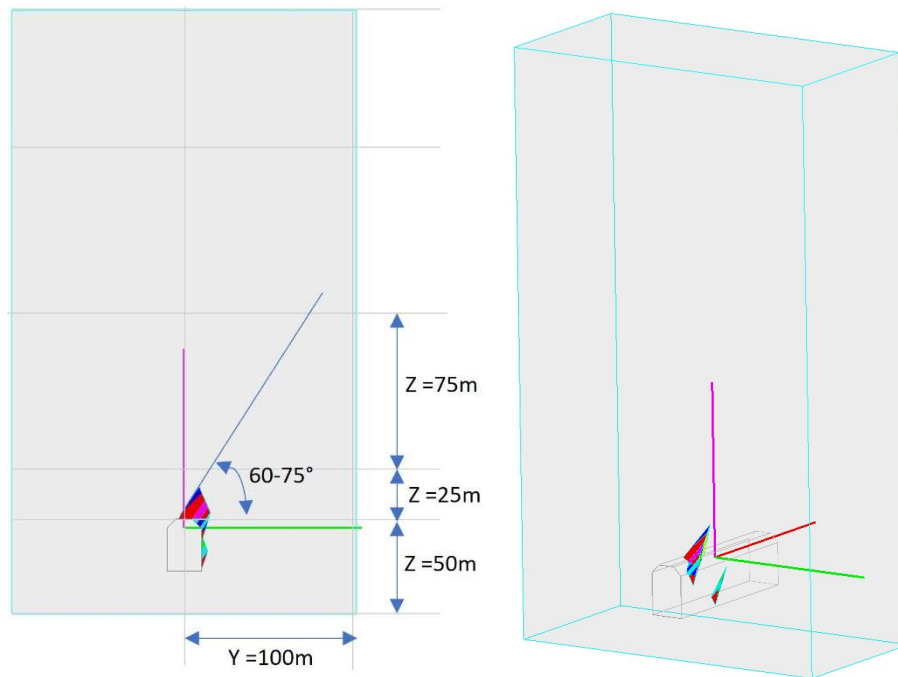
FO={0,30} ; {góc phương vị của tuyến đường lò dọc vỉa}

Thông số kích thước mô hình phân tích ổn định lớp đá vách trực tiếp trên nóc đường lò dọc vỉa thông gió mức -250m được phân tích lựa chọn với thông số cụ thể trên hình 6.a. Trên cơ sở mô hình, điều kiện biên như trên, nhóm phân tích mô hình khối đá với các đặc điểm phân bố đứt gãy, nứt nẻ và các thông số tính chất cơ lý đá của khu vực lò dọc vỉa các mức, lò thượng và lò chợ cụ thể như hình 6.b.

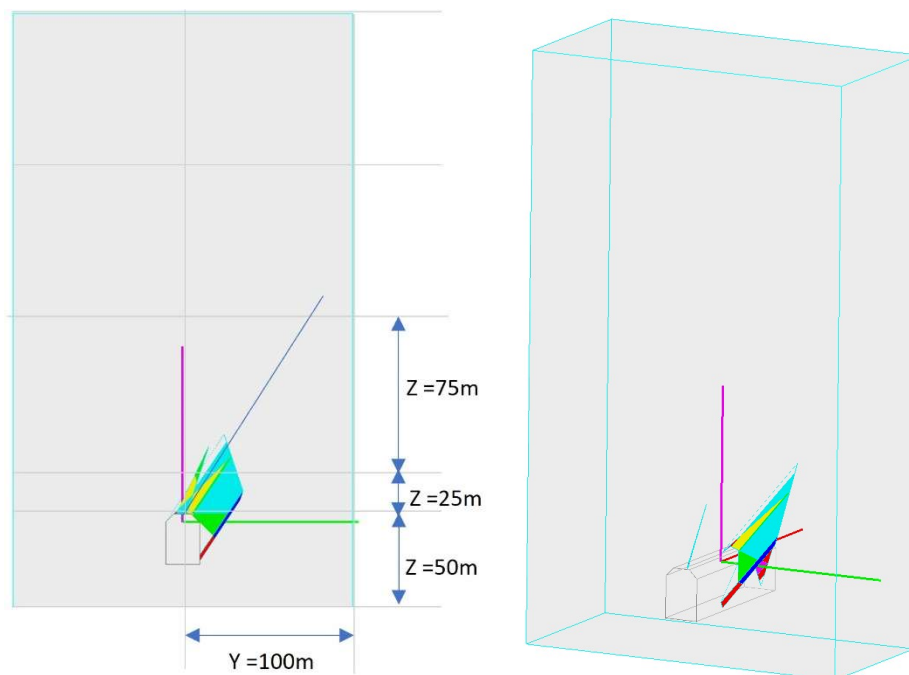
Khi chưa khai thác hầm lò bên dưới các moong bãi thải, lớp đất đá ngăn cách giữa bãi thải trong với hầm lò bên dưới vẫn là địa tầng đất đá nguyên thủy. Dù bị ảnh hưởng của nổ mìn tạo ra các khe nứt kín, hệ số thấm địa tầng chứa nước không thay đổi nhiều. Khi khai thác hầm lò điều khiển đá vách bằng phá hỏa toàn phần thì khối đất đá vách sẽ dịch chuyển → biến dạng → nứt vỡ → sập đổ. Bên dưới là các sơ đồ phân tích đánh mức độ ổn định của đá vách khi chịu áp lực của nước.



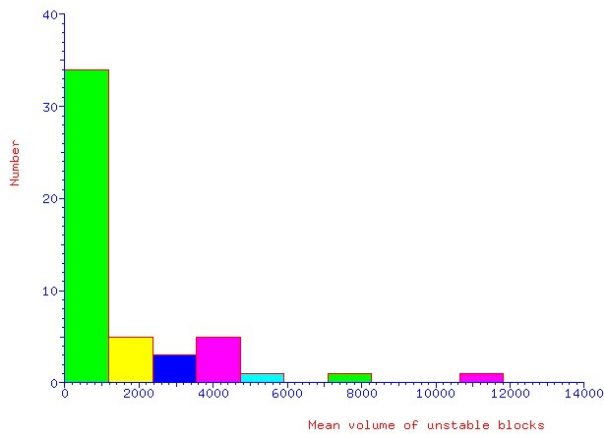
Hình 1. Khi thoát nước hoàn toàn ($h_w = 0$) tuyến đường lò ổn định (Phương án thiết kế: PA0) và chiều cao vùng phá hủy lớp vách (2-5m) và chiều cao cột nước dâng cao ($h_w = 5m$) so với hố thu nước đáy mỏ lộ thiên -230m (Phương án 1: PA1).



Hình 2. Chiều cao vùng phá hủy lớp vách khi chiều cao cột nước dâng cao 10m so với hồ thu nước đáy mỏ lộ thiên -230m (Phương án 2: PA2).

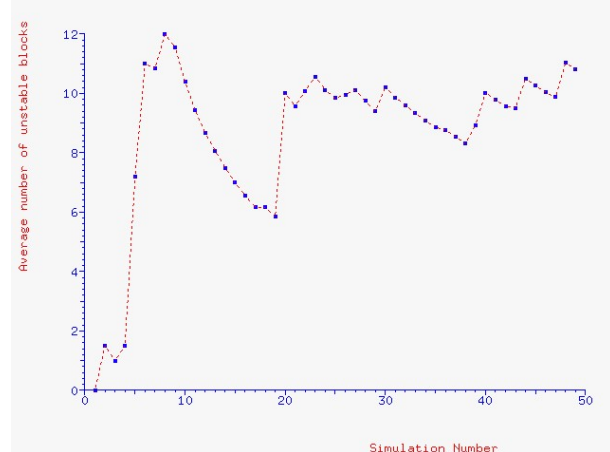


Hình 3. Chiều cao vùng phá hủy lớp vách khi chiều cao cột nước dâng cao 15m so với hồ thu nước đáy mỏ lộ thiên -230m (Phương án 3: PA3)

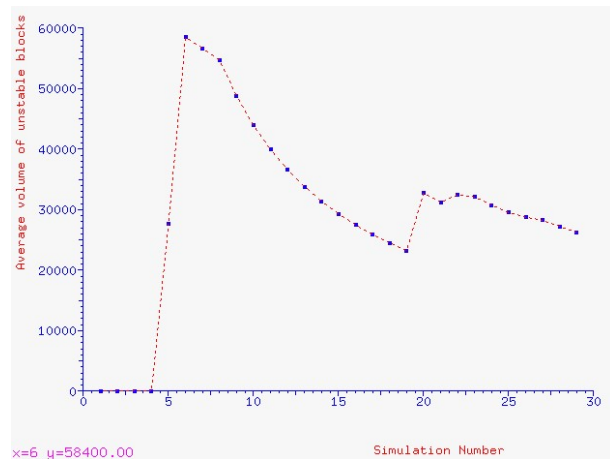


a)

Hình 4. Biểu đồ phân bố các khối lượng trung bình (m^3) mất ổn định và số khối mất ổn định phía lớp đá vách (nứt nẻ) của đường lò (a); Mô phỏng số 9 phản ánh rủi ro mất ổn định lớn nhất trong số 50 mô phỏng ngẫu nhiên được đánh giá: Trục tung biểu diễn số khối 12 có thể tích lớn nhất sập đổ với mô phỏng số 9(b); Khối lượng 60.000 m^3 ở mô hình số 6 trong 30 mô phỏng ngẫu nhiên (c).



b)



c)

Kết quả phân tích các mô hình trong 50 mô phỏng như các hình 7,8 và 9 cho thấy kích thước vùng đập đổ đá cách đối với lò dọc vỉa mức -250m tương ứng với các tính toán điều kiện rủi ro mất an toàn khi mùa mưa có mức độ ngập nước cao $hw = 5m, 10m$ và $15m$. Tương ứng với chiều cao cột nước ở mức -225m, -220m và -115m tính từ đáy moong/hố thu nước.

Kết quả mô phỏng ngẫu nhiên nói mô hình 3D phân tích rủi ro nhất cho thấy số lượng, tần suất và khối lượng các khối mất ổn định một cách ngẫu nhiên so với tổng chiều dài 100m của lò dọc vỉa trên mô hình với tổng thể tích khối lượng đất đá trong mô hình trong điều kiện ngập nước và giảm lực dính kết đá vách, tăng khối lượng đá vách, hình 10. Các kết quả trên cho phép nhóm nghiên cứu đánh giá được vùng sụt lở khi tiến hành khai thác hầm lò với rủi ro ngập nước đáy moong lộ thiên khi ngập nước sâu nhất từ 5-15 m thì tỉ lệ khối lượng đá mất ổn định dọc theo các lò dọc vỉa thông gió và vận tải là hơn 10% khối lượng đá vách trên 100m dài theo phương của đường lò.

4. Kết luận, thảo luận và kiến nghị

4.1. Kết luận và thảo luận

Từ kết quả phân tích từ mô hình, nhóm tác giả có căn cứ đánh giá sự ảnh hưởng của moong khai thác lộ thiên đến các công trình hầm lò thuộc dự án: Khai thác than mỡ hầm lò khu Bắc Làng Cẩm tại xã Phục Linh, huyện Đại Từ, tỉnh Thái Nguyên. Các nhận xét và kết luận như sau.

- Cụ thể là phân tích đánh giá vùng an toàn khi khai thác phần hầm lò mức -250m tới -370m so với đáy moong khai thác lộ thiên, mỏ than Phần Mễ (đáy mỏ -230m) so với kết luận của dự án "Chiều sâu khai thác an toàn và chiều rộng vùng dịch chuyển đá vách do khai thác hầm lò vỉa giữa khu Bắc Làng Cẩm với công nghệ khai thác chia lớp bằng, chèn lò bằng cũi gỗ cho phép rút ra kết luận: Chiều sâu khai thác an toàn dưới đáy moong $\geq 40\text{m}$; Khoảng cách an toàn theo phương ngang từ vị trí khai thác tới đáy moong phải $\geq 42\text{m}$ ", nhóm tác giả phân tích nhận định cụ thể như sau:

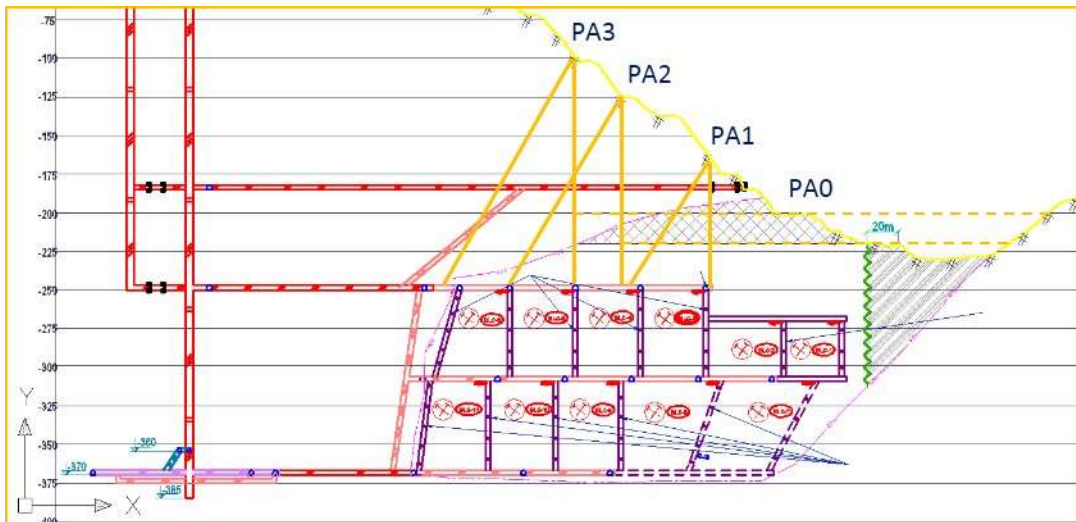
- Trong điều kiện đáy mỏ ngập nước $h_w = 0\text{m}$ (tháo khô hoàn toàn) thì kết quả phân tích cho thấy điều kiện đá vách của các tuyến đường dọc vỉa thông gió, vận tải và các lò thượng khi tiến hành khai thác là an toàn. Tuy nhiên cần lưu ý tới chấn động của nổ mìn trong quá trình thi công các tuyến đường lò và tác động của công tác phá hóa toàn phần trong khai thác, hình 7 và hình 11 theo phương án PA0.

- Trong điều kiện rủi ro đáy mỏ mức -230m ngập nước lên tới $h_w \leq 5\text{m}$, kết quả phân tích nếu kịp thời thoát nước thì tác động của nước thấm sẽ làm giảm lực dính kết và góc nội ma sát của các khe nứt, đứt gãy; đồng thời làm tăng tải trọng do đất đá ngậm nước sẽ xuất hiện bán kính vùng sập lở mất ổn định ở vách lò lên tới 3-5m và góc sập đổ từ $55-70^\circ$, hình 7 và hình 11 theo phương án PA1.

- Trong điều kiện rủi ro đáy mỏ -230m ngập nước lên tới $h_w = 5-10\text{m}$, kết quả phân tích cho thấy bán kính vùng sập lở ở vách lò có thể lên tới 10-15m có vị trí lên tới 17m và góc sập đổ từ $60-75^\circ$, hình 8 và hình 11 theo phương án PA2.

- Trong điều kiện rủi ro đáy mỏ -230m ngập nước lên tới $h_w = 10-15\text{m}$, kết quả phân tích cho thấy bán kính vùng sập lở ở vách lò có thể lên tới 25-30m có vị trí hơn 30m và góc sập đổ từ $60-80^\circ$, hình 9 và hình 11 theo phương án PA3.

Các kết quả trên cho phép nhóm nghiên cứu đánh giá được vùng sụt lở khi tiến hành khai thác hầm lò với rủi ro ngập nước đáy moong lộ thiên khi ngập nước ở các phương án khác nhau thì tỉ lệ khối lượng đá mất ổn định dọc theo các lò dọc vỉa thông gió và vận tải là hơn 10% khối lượng đá vách trên 100m dài theo phương đường lò.



Hình 11. Mặt cắt A-A theo phương của vỉa than cắt qua moong khai thác

So với kết quả tính toán như trong bảng 2 và Điều 115 của Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia về khai thác than hầm lò QCVN 01: 2011/BCT, quy định khi khai thác gần đối tượng chứa nước thì chiều rộng tối thiểu của tường cách nước là 20m cho thấy trong điều kiện đáy mỏ ngập nước

và đất đá trên bờ mỏ ngâm nước sẽ có vùng sập sỡ mất an toàn đối với đá vách là rất lớn, cao hơn rất nhiều do đặc trưng của các hệ thống khe nứt, đứt gãy và loại đất đá (đất phủ, cát kết, bột kết, đá vôi, bột kết vôi, đá phiến sét và than và đá phiến sét than) phức tạp của khu vực moong và đá vách vỉa than.

4.2. Kiến nghị

- Cần xem xét lại công thức (1) tính H_{KT} (độ sâu khai thác an toàn, m); H_{NN} (chiều cao đới nứt nẻ dẫn nước, m) và H_{AT} (chiều cao đới an toàn, lấy bằng 0,2-0,3 lần H_{NN} , m) và hình 3.a và Quy chuẩn Việt Nam QCVN 01 :2011/BCT (hình 3.b) với tỉ lệ tính độ sâu khai thác an toàn và hình vẽ minh họa là chưa chính xác và phù hợp.
- Tiến hành giám sát khoan nổ mìn hầm lò đảm bảo rung và chấn động là nhỏ nhất không ảnh hưởng đến cấu trúc của các tệp đá vách có góc cắm đứng hướng về nóc lò.
- Cần tiến hành chống và phá hóa có điều khiển để đảm bảo an toàn ổn định các tệp đá vách trực tiếp có góc phương vị trùng với đường phương của các tuyến đường lò dọc vỉa thông gió, lò dọc vỉa vận tải và các lò thượng, ...
- Cần có trạm quan trắc dịch động trên mặt và nóc lò và có giải pháp cảnh báo kịp thời sau mỗi chu kỳ đào lò có nổ mìn và phá hóa.

Các giải pháp đảm bảo an toàn cho khai thác hầm lò phía dưới trong quá trình đổ thải gồm:

- Xây dựng các mương thoát nước vành đai và tổ chức bơm thoát nước khai trường lộ thiên hợp lý;
- Hoàn thổ moong lộ thiên sau khi kết thúc khai thác đảm bảo phục hồi tầng phủ, thảm thực vật, nhằm phân tán lượng nước mưa, giảm xói mòn, đặc biệt giảm lượng nước mưa tồn đọng trong các khe nứt xuống sâu;
- Giải pháp khoan tháo khô bãi thải trong từ trong lò;
- Khai thác chèn lò, để lại trụ bảo vệ, tính toán lựa chọn chiều sâu khai thác hợp lý.

Lưu ý thoát nước tháo khô moong lộ thiên:

- Tính toán lượng nước chứa trong moong, trên cơ sở đó bố trí và lựa chọn hệ thống bơm để tháo khô moong một cách hiệu quả. Song song với việc tháo khô moong lộ thiên từ trên mặt, trong khu vực lò chợ cũng cần bố trí hệ thống thoát nước, thăm dò nước từ trong các đường lò lên trên phía đáy moong. Trong thực tế tại một số mỏ, việc bố trí lỗ khoan không như ý muốn, không thực hiện khoan đúng theo yêu cầu thiết kế được, do gãy choong khoan, hoặc than mềm yếu, đất đá bờ rời, cũng như tắc lỗ khoan. Các trường hợp như vậy cần được khắc phục bởi giải pháp kỹ thuật phù hợp để công tác tháo nước từ trong lò đạt hiệu quả.
- Cần tiến hành ngăn nước triệt để chảy vào moong khai thác lộ thiên đã kết thúc, đảm bảo đáy mỏ và mặt tầng trên bờ mỏ không ngâm nước và giữ nước.
- Cần tiến hành thoát nước và gom nước trên tầng của bờ moong không để nước mặt chảy và ngấm/ thoát nước trực tiếp thông qua 3 hệ thống khe nứt/ đứt gãy chính cắm dốc và dốc đứng phía trên các tệp đá vách của các đường lò dọc vỉa và lò thượng ở các mức khác nhau.

Đóng góp của tác giả

Tác giả thứ 1 - Phương pháp luận, Viết bản thảo bài báo, Kiểm chứng; Tác giả thứ 2, 3 - Phân tích dữ liệu; Điều tra, khảo sát cùng với chuyên gia của mỏ than Phấn Mễ; Tác giả thứ 4, 5 và 6 - Đánh giá và chỉnh sửa các số liệu phân tích phù hợp với điều kiện mỏ than Phấn Mễ.

Tập thể tác giả trân trọng cảm ơn Trung tâm NC Cơ Điện Mỏ và Hợp đồng triển khai đánh giá chuyên đề " "Báo cáo đánh giá sự ảnh hưởng của moong khai thác lộ thiên đến các công trình

hầm lò thuộc dự án: Khai thác than mỡ hầm lò khu Bắc Làng Cẩm tại xã Phục Linh, huyện Đại Từ, tỉnh Thái Nguyên”.

Tài liệu tham khảo

- [1] Nguyễn Anh Tuấn, Phạm Văn Việt, “Mô hình đá nứt nẻ và cấu trúc khe nứt hỗ trợ thiết kế, lập kế hoạch khai thác mỏ đá khối Thung Khuộc, Nghệ An,” Công nghiệp mỏ, no. 3, pp. 1–8, 2016.
- [2] D. Heliot, “Generating a blocky rock mass,” Int. J. Rock Mech. Min. Sci., vol. 25, no. 3, pp. 127–138, 1988, doi: 10.1016/0148-9062(88)92295-4.
- [3] A. T. Nguyen, V. Merrien-Soukatchoff, M. Vinches, and M. Gasc-Barbier, “Grouping discontinuities in representative sets: influence on the stability analysis of slope cuts,” Bull. Eng. Geol. Environ., vol. 75, no. 4, pp. 1429–1444, Dec. 2016, doi: 10.1007/s10064-015-0822-x.
- [4] S. Priest, Discontinuity analysis for rock engineering. Chapman & Hall, 1993.
- [5] A. T. Nguyen, V. Merrien-Soukatchoff, M. Vinches, and M. Gasc-Barbier, “Grouping discontinuities in representative sets: influence on the stability analysis of slope cuts,” Bull. Eng. Geol. Environ., vol. 75, no. 4, pp. 1429–1444, 2016, doi: 10.1007/s10064-015-0822-x.
- [6] S. D. Priest, “Discontinuity Analysis for Rock Engineering,” Discontinuity Anal. Rock Eng., 1993, doi: 10.1007/978-94-011-1498-1.
- [7] D. C. Wyllie, Rock Slope Engineering. Fifth edition. | Boca Raton : Taylor &
- [8] G. S. Esterhuizen, D. R. Dolinar, and J. L. Ellenberger, “Pillar strength in underground stone mines in the United States,” Int. J. Rock Mech. Min. Sci., vol. 48, no. 1, pp. 42–50, 2011, doi: 10.1016/j.ijrmms.2010.06.003.
- [9] F. Rojat, V. Labiouse, P. K. Kaiser, and F. Descoeurdes, “Brittle rock failure in the steg lateral adit of the lötschberg base tunnel,” Rock Mech. Rock Eng., vol. 42, no. 2, pp. 341–359, 2009, doi: 10.1007/s00603-008-0015-z.
- [10] M. S. Diederichs, “Mechanistic interpretation and practical application of damage and spalling prediction criteria for deep tunnelling,” Can. Geotech. J., vol. 44, no. 9, pp. 1082–1116, 2007.
- [11] Báo cáo nghiên cứu khả thi đầu tư xây dựng công trình khai thác than mỡ Hầm lò khu Bắc Làng Cẩm (khu Âm Hồn)