

Bài báo khoa học

Mô phỏng khối đá phục vụ đánh giá ổn định bờ mỏ, áp dụng đánh giá cho mỏ than Khe Sim, Quảng Ninh

Nguyễn Anh Tuấn^{1*}, Phạm Văn Việt¹, Phạm Văn Hòa¹, Trần Đình Bảo¹

¹ Khoa Mỏ, Trường Đại học Mỏ – Địa chất; nguyenanhtuan@humg.edu.vn;
phamvanviet@humg.edu.vn; phamvanhoa@humg.edu.vn; trandinhbao@humg.edu.vn

*Tác giả liên hệ: nguyenanhtuan@humg.edu.vn; Tel.: +84–912507096

Ban Biên tập nhận bài: 10/2/2022; Ngày phản biện xong: 15/3/2022; Ngày đăng bài: 25/4/2022

Tóm tắt: Hiệu quả khai thác than lộ thiên được đánh giá qua hệ số bóc đá, cụ thể là góc nghiêng bờ mỏ đảm bảo an toàn và giảm được khối lượng đất đá phải bóc trong biên giới. Bài báo giới thiệu phương pháp mô phỏng khối đá (3D) trên các thông số cơ lý đá và hệ thống khe nứt trên bờ mỏ nhằm đánh giá và dự báo nguy cơ mất an toàn của bờ mỏ khi tiến hành khai thác than lộ thiên (khoan–nổ mìn, xúc bốc, vận tải). Phân tích ổn định bờ mỏ ở trạng thái tĩnh và động (chịu tác động rung, chấn động) nhằm tối ưu hóa các thông số hình học của tầng, bờ mỏ và trình tự khai thác phù hợp, giảm hệ số bóc trong điều kiện lớp đá trụ của vỉa than có cấu trúc phức tạp có nguy cơ mất ổn định cao. Kết quả nghiên cứu áp dụng đánh giá ổn định bờ mỏ trụ Nam, mỏ than Khe Sim, Cẩm Phả, Quảng Ninh. Hiệu quả đem lại khi áp dụng các giải pháp công nghệ gia cố và xúc giảm tải đảm bảo ổn định bờ trụ Nam đảm bảo giảm khối lượng đất bóc giảm xuống gần 7 triệu m³ so với thiết kế của dự án.

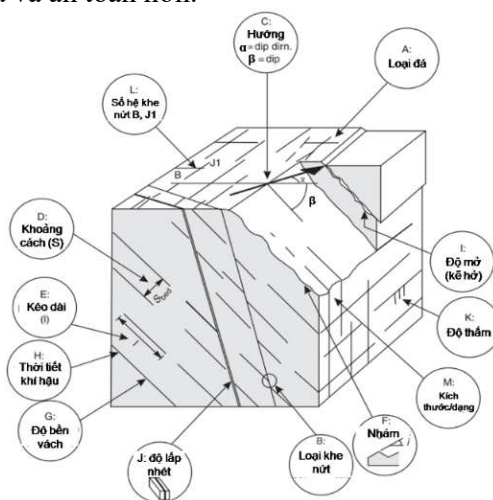
Từ khóa: Khối đá; Mô hình; Khai thác than lộ thiên; Ổn định bờ mỏ; Quảng Ninh.

1. Mở đầu

Trên các mỏ than lộ thiên, đặc điểm cấu trúc khối đá đóng vai trò quan trọng và quyết định tới việc lựa chọn công nghệ khai thác, đồng bộ thiết bị và các thông số hệ thống khai thác. Khối đá là môi trường đặc biệt, nó có thể là môi trường liên tục, gián đoạn; đẳng hướng, không đẳng hướng; bền vững, kèm bền vững chúng đan xen nhau phức tạp. Những khe nứt tự nhiên là những mặt phẳng hoặc cong tồn tại và chia tách khối đá đồng nhất thành các khối. Mỗi khe nứt được định nghĩa là "tất cả các gián đoạn cơ học và độ bền tách nhỏ trong khối đá" [1]. Các thông số đặc trưng của khe nứt trong khối đá được thể hiện trên hình 1. Khe nứt được đo và thu thập ngoài thực địa tương ứng với các kích thước mở rộng từ centimet đến hàng mét. Trong thực tế, để xác định vị trí một khe nứt thường chỉ cần xác định góc phương vị hướng dốc (α) và góc dốc (β), độ kéo dài, độ mở. Thu thập các thông số khối đá có thể sử dụng la bàn đo trực tiếp các thông số ngoài hiện trường, thí nghiệm mẫu cơ lý đá trong phòng thí nghiệm. Các quan sát và khảo sát khe nứt trên một khu vực nào đó thường được thực hiện dọc theo một tuyến khảo sát trên bề mặt theo các hướng khác nhau, vết lộ địa hình, vách đá trên sườn dốc của khu vực khai thác, hoặc bắt đầu từ hướng của khe nứt của lỗ khoan thăm dò, hoặc phân tích từ các ảnh bề mặt địa hình, sườn tầng.

Các đặc tính môi trường khối đá không liên tục là những nguyên nhân chính gây khó khăn trong khai thác, làm tăng chi phí bóc đá và duy trì đảm bảo an toàn trong quá trình khai thác. Trong nghiên cứu này, chúng tôi tập trung nghiên cứu đặc điểm phân bố khe nứt trong không gian khối đá, từ đó sử dụng các phương pháp mô hình mô phỏng khối đá một cách

ngẫu nhiên phù hợp với thực tế nhằm phục vụ tính toán ổn định bờ mở quá trình khai thác mỏ than lộ thiên hiệu quả và an toàn hơn.



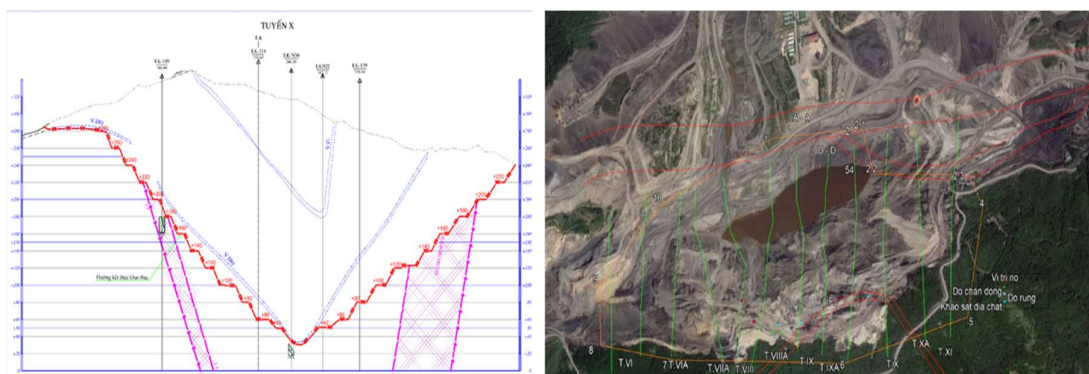
Hình 1. Các đặc tính của khối đá [2].

Nghiên cứu này được áp dụng cho bờ trụ Nam mỏ than Khe Sim vùng Cẩm Phả, Quảng Ninh. Nghiên cứu sẽ giới thiệu các phương pháp phân tích dữ liệu khe nứt, mô phỏng ngẫu nhiên mô hình khối đá dạng 3D, các kết quả phân tích trạng thái ổn định bờ mở thông qua mô hình khối đá, bên cạnh đó là các giải pháp gia cố ổn định bờ trụ Nam.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Hiện trạng và đặc điểm khu vực nghiên cứu

Mỏ than Khe Sim chia thành 2 khu vực khai thác, phía Tây và phía Đông. Mỏ đang áp dụng hệ thống khai thác ngang, 2 bờ công tác, theo lớp dốc, sử dụng bãi thải ngoài trong giai đoạn đầu, phương án bãi thải trong được áp dụng khi khu vực phía Tây Nam của mỏ đạt biên giới chiều sâu kết thúc và tiếp tục khai thác cuốn chiếu từ phía Tây sang phía Đông chia theo khoảnh, hình 2. Kích thước từng khu vực hay khoảnh từ 250–300 m. Đồng bộ thiết bị khai thác phục vụ công nghệ phá vỡ đất đá bằng khoan–nổ mìn với lỗ khoan đường kính trung bình, máy xúc dung tích gàu nhỏ hơn 8m³, kết hợp với ô-tô có tải trọng 55 tấn vận tải bãi thải ngoài có cung độ 2–3 km.

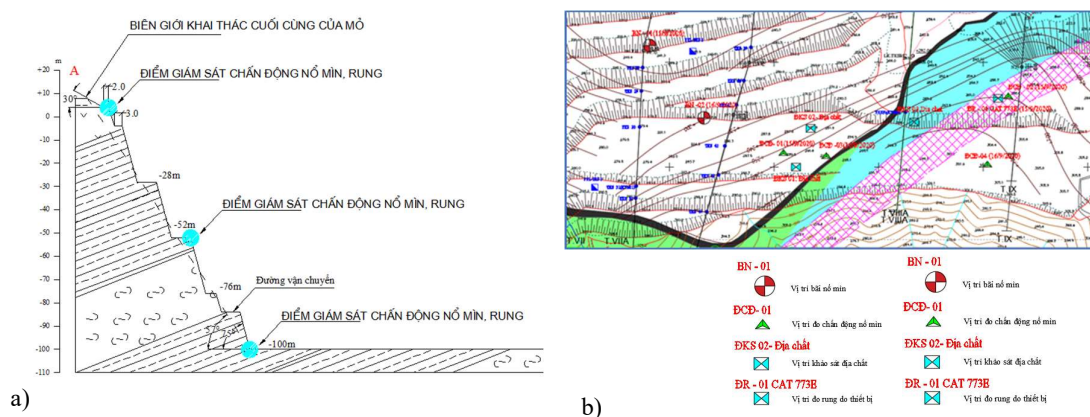


Hình 2. Mặt cắt ngang kết thúc khai thác Tuyến X cắt qua khu vực mỏ, với 2 vỉa than G và vỉa Dày dạng lòng chảo (trái); Bản đồ 3D hiện trạng khai thác 12/2019 của bờ trụ Nam mỏ than Khe Sim (phải).

Vấn đề ổn định bờ mỏ Khe Sim phức tạp, thường xuyên xảy ra trượt lở mất ổn định tầng và bờ mỏ, cụ thể là phía Tây dọc theo vỉa than (G) dạng lòng chảo, chạy dọc dưới lớp đá trụ trực tiếp của vỉa than này là lớp phay dày lên đến 100 m dọc từ Đông sang Tây; phía trụ phía Nam của vỉa G đất đá cứng nhưng phân lớp, không ổn định và tồn tại các lớp đá trụ giả dày từ 10–15 m dễ sụt lở và mất ổn định, hình 2.

2.2. Khảo sát thực địa và lấy mẫu

Các thiết bị hỗ trợ đo hệ thống khe nứt gồm thiết bị GPS cầm tay; địa bàn; thước mét dài 50–100 m, nhật ký ghi chép. Các vị trí khảo sát khe nứt, thể nằm được lựa chọn dựa vào đặc điểm điển hình của các vị trí trên bờ mỏ; vị trí giám sát chấn động được đặt trên mép tầng, nơi chịu ảnh hưởng trực tiếp của sóng chấn động nổ mìn gây ra được thể hiện trên hình 3.



Hình 3. Vị trí khảo sát thu thập số liệu trên bờ mỏ theo mặt cắt (a); vị trí khảo sát khe nứt (b).

Nham thạch trong địa tầng chứa than mỏ than Tây Khe tuổi T3(n-r)hg2, đặc điểm địa chất công trình khá phức tạp bao gồm các loại cuội kết, sạn kết, cát kết, bột kết, sét kết và sét than. Sự phân bố các lớp nham thạch khác nhau cả về diện tích, chiều sâu, đặc biệt chúng lại nằm xen kẽ nhau trong tầng chứa than, do đó tính chất cơ lý của từng loại đá biến đổi không theo quy luật nhất định, bảng 1.

Bảng 1. Các chỉ tiêu cơ lý và tỷ lệ % của từng loại đá và than trên mỏ Khe Sim.

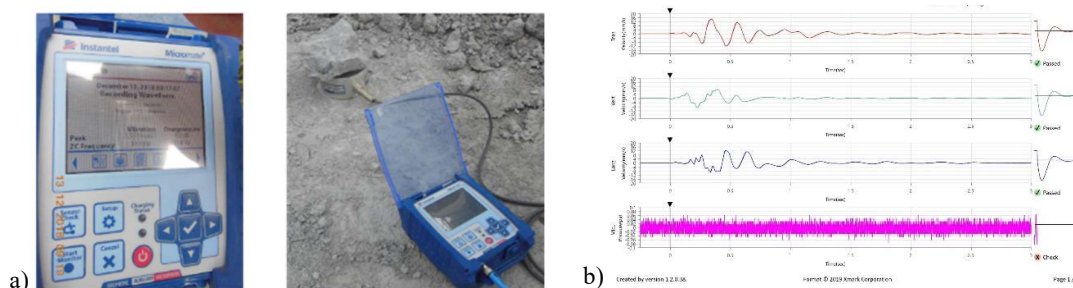
Các chỉ tiêu	Các loại nham thạch chủ yếu						
	Cuội kết	Sạn kết	Cát kết	Bột kết	Sét kết	Sét than	Than
Dung trọng γ (g/cm ³)	2,56	2,56	2,59	2,66	2,64		
Tỷ trọng Δ (g/cm ³)	2,69	2,68	2,7	2,71	2,7		
Cường độ kháng nén σ_n (kg/cm ²)	846,69	1.227,18	1.148,75	551,22	683,58		
Tỷ lệ %	8,14	22,56	27,19	34,27	3,47	0,25	4,12

Trên cơ sở tài liệu địa chất thu thập được đã xác định nước trên mặt hầu như không đáng kể, nước dưới đất nghèo, hệ số thấm thấu $K = 0,0278$ m/ng.đ nên không gây ảnh hưởng tới quá trình khai thác trong mùa khô. Độ cứng đất đá xác định được $f = 5,5 \div 12$, chiếm tỷ lệ đất đá là 92,16%, bảng 2.

Bảng 2. Thông tin thống kê khảo sát thể nằm của đá và khe nứt bờ trụ Nam mỏ than Khe Sim.

Điểm khảo sát trên bờ mỏ	Tọa độ VN2000 KT 1070 45' múi chiều 3 độ		Thể nằm chung của đá	Các hệ thống khe nứt (KN)						Ghi chú
	X (m)	Y (m)		Hệ thống KN1		Hệ thống KN2		Hệ thống KN3		
				Thể nằm	Khoảng cách TB (m)	Thể nằm	Khoảng cách TB (m)	Thể nằm	Khoảng cách TB (m)	
ĐKS 01	2325102	447318	310-325/70-80	-	-	-	-	-	-	Đá nứt nẻ mạnh
ĐKS 02	2325137	447335	310/70	20-40/60-70	3	60-70/50-60	13	-	-	-
ĐKS 03	2325143	447434	315/40	40/30	10	150/60	7	40/80	40	Cát kết
ĐKS 04	2325226	447721	310/30	210/30	4	30/80	2	-	-	Cuội kết, cát kết

Các thông số cơ lý đá, thể nằm và điều kiện rung, chấn động nổ mìn được thu thập và đưa vào mô hình phân tích ổn định bờ trụ Nam, bảng 2 và hình 4.



Hình 4. Máy đo rung và chấn động nổ mìn (a) và kết quả giám sát (b) trên bờ mỏ trụ Nam, trụ Bắc mỏ than Tây Khe Sim.

Xét điều kiện bờ mỏ có độ cao hiện trạng 60÷120 m ở các khu vực khác nhau tại các tuyến mặt cắt đặc trưng có tính đến tải trọng động trong khoảng 50÷200 kPa (phạm vi tải trọng như vậy là có kể tới tải trọng rung do hoạt động vận chuyển của xe lên tới 100 t) và chấn động do nổ mìn sinh ra với tốc độ dao động nền đất lớn nhất (1÷17 mm/s) từ các vụ nổ mìn nhằm xác định an toàn cho các công trình trên bờ mỏ.

2.3. Mô hình khối đá và đánh giá ổn định của bờ trụ Nam, mỏ than Khe Sim

2.3.1. Phương pháp mô hình và đánh giá ổn định bờ mỏ

Mô hình số đầu tiên cho môi trường đất đá không liên tục được bổ sung với các cách tính toán cho môi trường liên tục (các phần tử hữu hạn, các phần tử vi phân hữu hạn, các phần tử khối) ứng dụng cho các đứt gãy, sau đó là các phương pháp đặc biệt áp dụng cho môi trường không liên tục, mà chúng ta biết tới dưới tên là phương pháp phần tử rời rạc DEM (*Distinct Elements Method*). Mô hình xem các đối tượng như tập hợp của các phần tử rời rạc được phát triển bởi Cundall & Hart (1992) [1], [6].

Phương pháp tương tác không mềm NSCD (No Smooth Contact Dinamict) cho phép xử lý vấn đề tương tác giữa các phần tử cứng hoặc biến dạng 2D và 3D tuân theo quy luật tương tác Coulomb. Tương tác cục bộ giữa các phần tử cho phép tính toán đồng thời vận tốc và các lực tương tác. Tiếp xúc ma sát giữa các phần tử được mô tả như điều kiện tác động một phía (Signorini) và một điều kiện ma sát của Coulomb. Chúng ta gọi điểm tương tác một chiều nếu ứng suất sinh ra theo duy nhất một hướng, tương tác cứng. LMGC90 [2], [5] là phần mềm miễn phí mã nguồn mở được phát triển và thuộc về Trung tâm nghiên cứu khoa học quốc gia Pháp (*Nation Centre of Scientific Research, CNRS*) tại Trường đại học Montpellier 2, CH Pháp. Phần mềm cho phép phát triển các mô hình khác nhau dưới dạng 2D và 3D

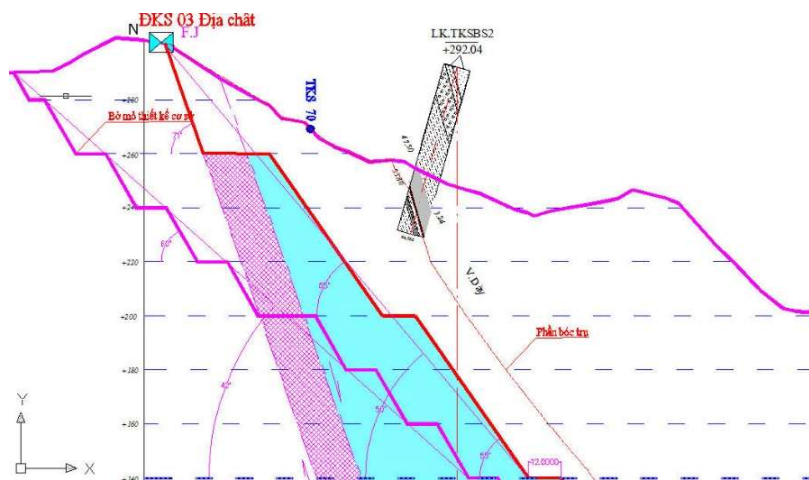
trương ứng với các tương tác phức tạp mô tả trạng thái và ứng xử của môi trường không liên tục. Phần mềm được viết trên ngôn ngữ lập trình Foxtran và cập nhật trên ngôn ngữ C++ và Python. LMGC90 được mở rộng trên cơ sở lý thuyết phương pháp DEM và NSCD. Thực tế, không có giải pháp phân tích giải quyết các vấn đề thực tế, các phương pháp tính giải các bài toán trong môi trường không liên tục, nó sử dụng các kỹ thuật với các phần tử liên tục, hữu hạn, hoặc các phần tử biên [3], [5].

Điều kiện phân tích ổn định bờ mô được nhóm nghiên cứu đề tài tiến hành đánh giá trạng thái ổn định động của bờ mô ở trạng thái động chịu tác động nước ngầm, tác động chấn động thường xuyên khâu khoan-nổ mìn, rung do hoạt động xúc bốc, vận tải ở trạng thái hiện trạng khai thác tới khi kết thúc khai thác. Tiếp theo là phân tích đánh giá trạng thái ổn định động bờ mô ở trạng thái tĩnh (bờ mô tạm dừng và bờ mô kết thúc khai thác) cho bờ trụ Nam, mô than Khe Sim.

2.3.2. Đánh giá trạng thái ổn định của bờ trụ Nam mô Khe Sim

Hiện trạng bờ mô trụ Nam khu vực xung yếu và lộ bờ trụ có góc cắm 55° và góc nghiêng sườn tầng 70–75°, hiện trạng chiều cao tầng kết thúc từ 20–60 m. Điều kiện phân tích trạng thái ổn định bờ mô trong điều kiện tĩnh là ổn định tạm thời với hệ số an toàn 1,1–1,15, [7].

Bờ trụ Nam (hình 5) cao nhất ở cote +320 m, góc cắm của vỉa và lớp đá trụ được thống kê theo khoảng từ phía Tây sang Phía Đông, và từ +320 m xuống đến cote –30 m. Cấu trúc nếp lồi đặc trưng với đối tượng vỉa Dày và vỉa G của mỏ cho thấy góc cắm của vỉa (lớp đá trụ phân lớp) tăng dần theo chiều sâu và lớn nhất trong phạm vi từ mặt cắt VII đến VIIA (với góc cắm tăng 39° lên 57° và giảm dần xuống 29° ở cote +160 m, tiếp tục giảm xuống 14° ở cote +100 m); từ mặt cắt VIII đến VIIIA (góc cắm của lớp đá trụ giảm từ 56° xuống 45° tại mức +100 m và góc cắm giảm xuống 10° tại cote +60 m); và từ mặt cắt VIIIA đến IX, IXA (góc cắm của trụ tăng từ 31° lên 74° tại cote +240 m và tiếp tục giảm từ 74° xuống 45° ở cote +60 m [8].

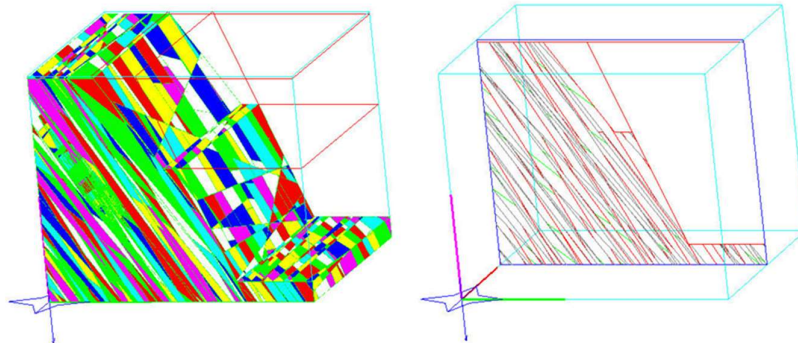


Hình 5. Thông số hình học bờ mô theo hiện trạng, thiết kế và phương án điều chỉnh trên tuyến VIIIA.

Khảo sát thực địa bờ trụ Nam cho thấy, hướng đá có cấu trúc cắm phức tạp, có nhiều khe nứt giao cắt nhau dễ sinh ra các khối trượt dạng nêm. Vị trí xảy ra rời rạc trên sườn tầng, cục bộ trên bờ mô và không có khả năng phát triển rộng trên toàn bộ đới công tác trên bờ mô. Điều kiện bờ trụ cần được khảo sát và đánh giá trong điều kiện có sóng chấn động, rung lên tới 17 mm/s có khả năng phát triển và tạo ra các đứt gãy, hình thành các mặt trượt lớn. Một số khu vực từ mặt cắt VIII đến IXA góc dốc đá trụ lớn nếu tăng chiều cao bờ mô không bóc trụ sẽ xảy ra hiện tượng trượt lở ở quy mô lớn toàn bờ mô. Khi tiến hành cắt tầng, làm giảm góc trung bình của toàn bờ mô thì ảnh hưởng trực tiếp và cục bộ tới ổn định trên từng tầng.

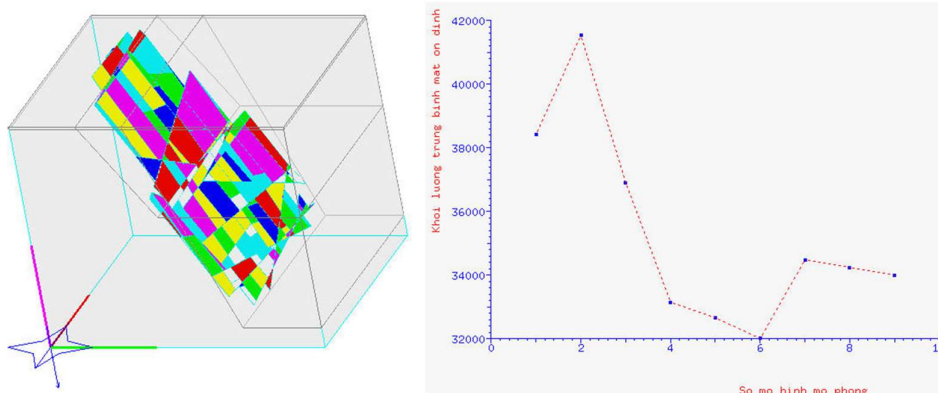
2.3.4. Phân tích đánh giá hiện trạng bờ mô trụ Nam bờ mô Tây Khe Sim

Hiện trạng bờ trụ Nam khu vực xung yếu có góc cắm 55° và góc nghiêng sườn tầng $70-75^\circ$, chiều cao tầng kết thúc từ $20-60$ m. Kết quả mô hình (hình 6) và phân tích trạng thái ổn định bờ mô trong điều kiện tĩnh là ổn định tạm thời với hệ số an toàn 1,1. Trong điều kiện động (hình 7), khi bờ mô chịu tác động của chấn động nổ mìn, hiện tượng mất ổn định cục bộ.

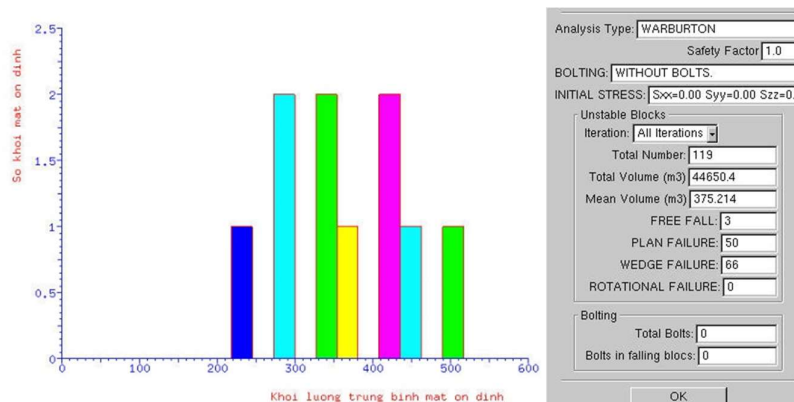


Hình 6. Mô hình khối đá đặc trưng ở trạng thái hiện trạng bờ mô trụ Nam.

Khối lượng trung bình trên một khoảnh khai thác hiện trạng 300 m, cao 120 m với vị trí 2 tầng có đai an toàn là 375 m^3 , gồm 119 khối mất ổn định, 3 khối mất ổn định tự do, 50 khối trượt dạng mặt và 66 khối mất ổn định dạng nêm. Tổng khối lượng mất ổn định dự báo lên tới 44.650 m^3 , hình 8.



Hình 7. Dự báo khối lượng và vị trí mất ổn định bờ mô trụ Nam trong điều kiện chịu tác động của chấn động nổ mìn lên đến $17,6 \text{ mm/s}$.

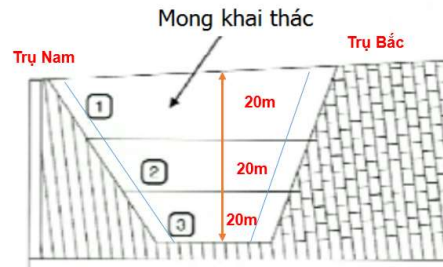


Hình 8. Dự báo khối lượng mất ổn định khi bờ mô trụ Nam chịu tác động chấn động nổ mìn xảy ra sụt lở cục bộ, sau đó bờ mô ở trạng thái cân bằng giới hạn với hệ số an toàn 1.

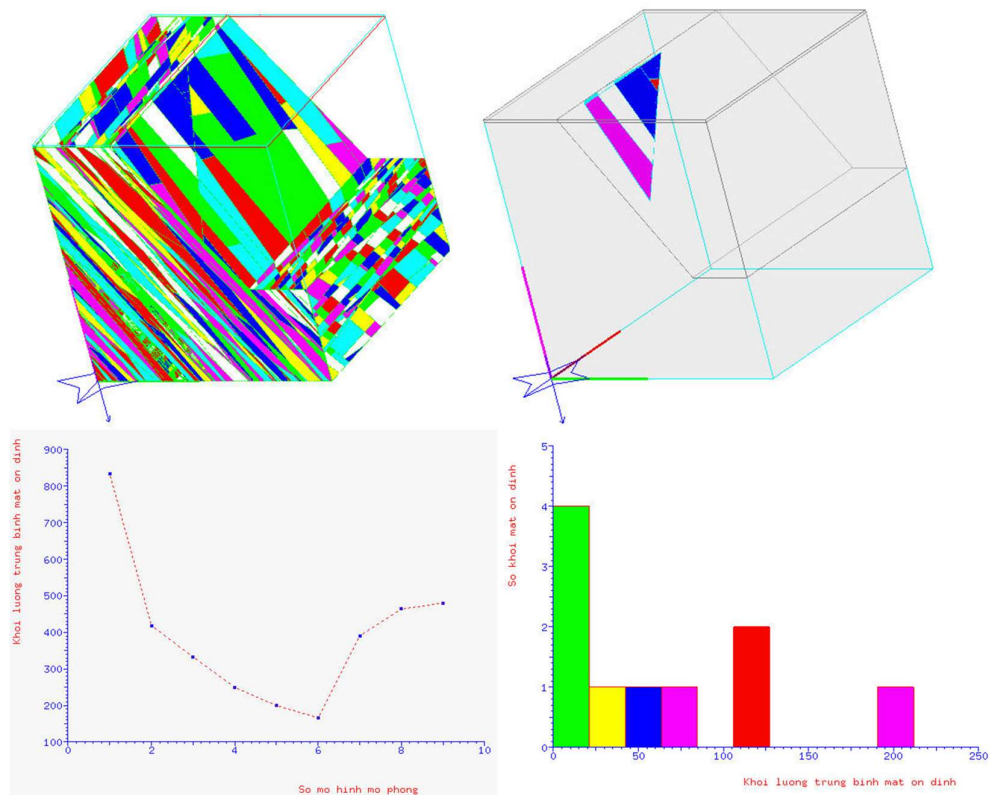
2.3.5. Phân tích đánh giá hiện trạng bờ mô trụ Nam mô Khe Sim

a) Phương án khai thác không cắt trụ Nam

Trình tự khai thác không cắt trụ được tiến hành khai thác theo hệ thống khai thác dọc theo khoảnh, mỗi khoảnh dài 250–300 m, chiều dài mỗi khu vực xúc 50–70 m, chiều cao tầng 10–15 m, khai thác từ trên xuống dưới và không cắt tầng ở bờ trụ Nam, hình 9.



Hình 9. Trình tự khai thác không cắt trụ.

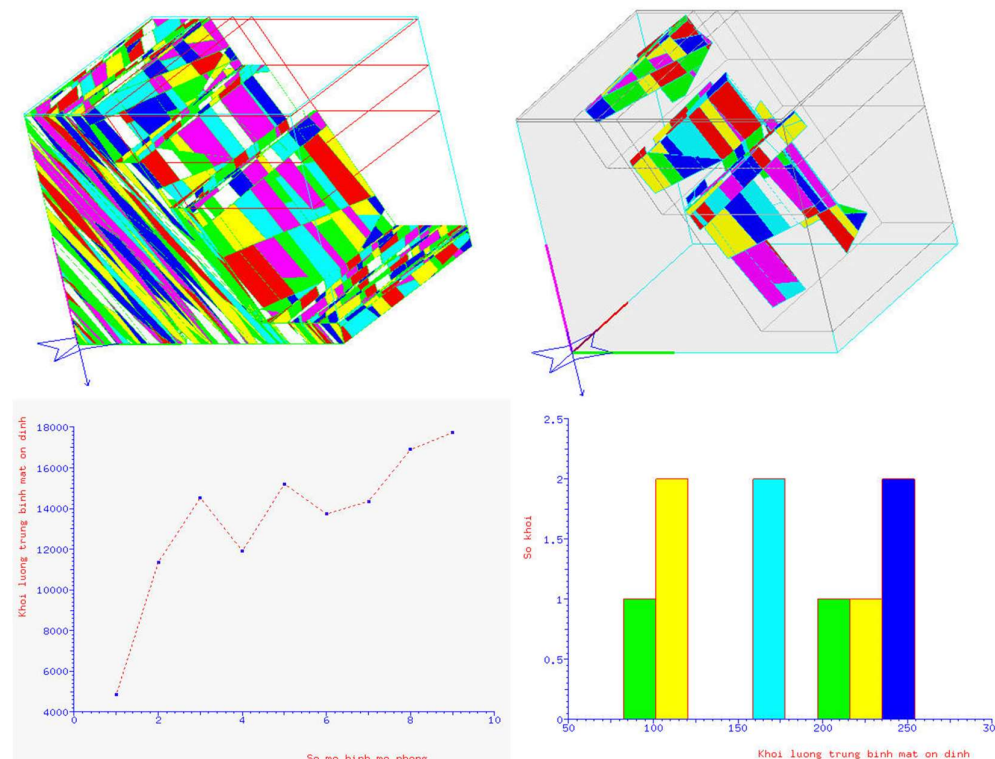


Hình 10. Phân tích ổn định mô hình mặt cắt trên bờ trụ Nam khi khai thác và không cắt trụ ở mức lộ 60 m sau khi cắt 3 tầng 20 m.

Khối lượng dự báo mặt ổn định trong điều kiện bờ mô ở trạng thái tĩnh, nhỏ không đáng kể, bờ mô ổn định an toàn ở trạng thái tĩnh với hệ số 1,1–1,3. Khi bờ mô chịu tác động của chấn động nổ mìn, rung và nước thì khối lượng mặt ổn định khi khai thác và không cắt trụ ở mức lộ 20 m, mức lộ 40 m và 60 m được giới hiệu trên hình 10. Mức lộ trụ via 20 m thì khối lượng mặt ổn định trung bình 5,7 m³ ở các mặt trượt, số lượng mặt trượt xuất hiện 3–4 mặt, tổng khối lượng mặt ổn định dự báo khoảng 17–20 m³. Mức lộ trụ via 40 m đến 60 m thì khối lượng mặt ổn định trung bình là 119 m³ ở các mặt trượt, số lượng mặt trượt xuất hiện 2–7 mặt, tổng khối lượng mặt ổn định dự báo là 883 m³.

b) Phương án khai thác cắt trụ Nam để lại tầng

Khi tiến hành khai thác, cắt tầng vào bờ trụ Nam, khối lượng mất ổn định khi bờ mở chịu tác động động lớn sẽ mất ổn định. Theo phân tích 10 mô hình mặt cắt trên mở ta thấy, cấu trúc bờ trụ Nam bị phá vỡ và phân tầng. Do đó bờ mở hình thành rất nhiều dạng khối trượt dạng nêm và mặt trượt với kích thước khoảng khảo sát dài 300 m, cao bờ mở lên tới 100 m thì số mặt trượt hình thành có thể lên tới 78 mặt, khối lượng mất ổn định trung bình là 253 m³, tổng khối lượng mất ổn định dự báo lên đến 19.799 m³, hình 11.



Hình 11. Phân tích ổn định 10 mô hình mặt cắt trên trên bờ trụ Nam khi khai thác và cắt trụ ở mức lộ 20–60 m và 3 tầng khai thác có bờ mở cao 100 m.

3. Kết quả và thảo luận

Trên mặt cắt từ VII, VIIA và VIII thì góc cắm bờ trụ Nam tại mặt cắt VIIA là lớn nhất góc cắm bờ trụ Nam từ 50° đến 56° từ +300 m xuống +140 m theo thiết kế là cắt trụ. Tuy nhiên, để đảm bảo ổn định bờ mở nhóm nghiên cứu kiến nghị cắt trụ và neo, khoảng cách cắt trụ và gia cố neo là 250–270 m bằng kích thước của khoảng khai thác. Tổng diện tích neo của khoảng khai thác theo kế hoạch năm 2021 và 2022 là 4.500 m², đất đá phân lớp trong lớp đá trụ gồm sét kết 8–28 m, sạn kết 6–8 m và lớp bột kết dày trên 20m. Diện tích cắt trụ giảm so với thiết kế 6.487 m² tương ứng với khối lượng cắt trụ giảm xuống so với thiết kế 597.580 m³. Bờ mở đảm bảo ổn định trong điều kiện động với hệ số an toàn 1,1 đến 1,3 và tuân thủ các QCVN an toàn trong khai thác mỏ lộ thiên.

Cụ thể bờ trụ Nam với chiều cao bờ mở từ 160 m đến 340 m khi khai thác xuống cote – 30 m. Góc thiết kế ổn định bờ mở là 42°. Trạng thái bờ mở thực tế là đã cắt trụ để đảm bảo an toàn khi bờ mở giáp với phay. Từ các kết quả phân tích trên, nghiên cứu đã lựa chọn và đề xuất trình tự khai thác theo hệ thống khai thác dọc theo khoảng, chiều dài mỗi khoảng là 250 m đến 300 m, bờ Nam bố trí 3–4 tuyến công tác trên bờ mở chiều sâu dịch chuyển và vị trí gia cố ở khu vực khai thác nhằm đảm bảo ổn định bờ mở cánh Nam theo mục tiêu ổn định ngắn hạn và dài hạn đặt ra; Thay đổi/hoàn thiện các thông số hình học bờ mở bằng cách cắt trụ và neo kết hợp, tầng và đáy mỏ phù hợp với độ ổn định bờ mở cánh Nam trong ngắn hạn

và dài hạn đảm bảo an toàn khi tiến hành khai thác và đổ thải bãi thải trong; Đánh giá hiệu quả đem lại khi áp dụng các giải pháp công nghệ kỹ thuật tính toán, đề xuất cho bờ mỏ cánh Nam với khối lượng đất bóc giảm xuống gần 7 triệu m³.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy phương pháp phương pháp mô hình ba chiều (3D) khối đá dựa trên các số liệu thực tế thu được như tính chất cơ lý đá, thông số hình học bờ mỏ, chế độ công tác của mỏ nhằm đánh giá và dự báo nguy cơ mất an toàn của bờ mỏ Khe Sim khi tiến hành các khâu công nghệ như khoan nổ mìn, xúc bóc, vận tải và đổ thải trên mỏ than lộ thiên. Các kết quả nghiên cứu được nhóm tác giả khẳng định và đề xuất các giải pháp nâng cao ổn định bờ mỏ, mặt mỏ trong điều kiện mỏ đang khai thác cũng như kết thúc khai thác, đồng thời lựa chọn được trình tự khai thác hợp lý để giảm khối lượng đá bóc hiện tại duy trì chế độ công tác hợp lý của mỏ theo giai đoạn; giảm chi phí bóc đá, gia cố ổn định bờ mỏ do phải xử lý sự cố sạt lở ngoài kế hoạch; có cơ sở khoa học thay đổi và hoàn thiện các thông số hình học bờ mỏ, tầng phù hợp với điều kiện ổn định bờ trụ Nam trong ngắn và dài hạn; từ đó có cơ sở nâng cao góc dốc bờ công tác, điều hòa chế độ công tác cho mỏ và giảm cung độ vận tải trên tầng, giảm chi phí vận tải thải đá.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: N.A.T., P.V.V., P.V.H., T.Đ.B.; Lựa chọn phương pháp nghiên cứu: N.A.T., P.V.V.; Xử lý số liệu: N.A.T., T.Đ.B.; Viết bản thảo bài báo: N.A.T., P.V.H.; Chỉnh sửa bài báo: N.A.T., P.V.V., P.V.H., T.Đ.B.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài nghiên cứu khoa học của Tổng Công Ty Đông Bắc, Mỏ than Khe Sim.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Priest, S. Discontinuity analysis for rock engineering, Chapman & Hall, 1993.
2. Priest, S.D.; Hudson, J.A. Discontinuity spacings in rock. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences & Geomechanics Abstracts **1976**, *13(5)*, 135–148.
3. Tuấn, N.A.; Merrien–Soukatchoff, V.; Vinches, M. Nhóm các hệ khe nứt trong đá nứt nẻ thành các hệ chính áp dụng mô hình và phân tích ổn định các tầng mỏ đá Clues, CH Pháp. *Tạp chí Công nghiệp Mỏ, Khoa học Công nghệ mỏ Việt Nam* **2015**, *82*, 106–111.
4. Tuan, N.A.; Merrien–Soukatchoff, V.; Vinches, M. Grouping discontinuities of fractured rock mass into main sets: consequences on the stability analysis of open pit benches. DFNE. Vancouver, Canada, **2014**, *213*, 1–8.
5. LMGC90v2. Journal of Geophysical Research : Solid Earth. **2014**.
6. Cundall PA, Hart RD. Numerical Modelling of Discontinua. Engineering Computations **1992** ;9:101–13.
7. Các báo cáo dự án đầu tư, thiết kế kỹ thuật của các mỏ than Tây Khe Sim.
8. Các báo cáo bổ sung dự án điều tra bổ sung bản đồ nham thạch của mỏ than Tây Khe Sim.

Modelisation of fractured rock mass for assessing pit slope stability, case study at Khe Sim open-pit coal mine, Quang Ninh Province

Nguyen Anh Tuan^{1*}, Pham Van Viet¹, Pham Van Hoa¹

¹ Faculty of Mining, Hanoi University of Mining and Geology;

phamvanviet@humg.edu.vn; phamvanhoa@humg.edu.vn; trandinhbao@humg.edu.vn

Abstract: The effectiveness of surface coal mines is shown through the stripping ratio. Particularly, the pit slope angle contributes to ensuring safety and reducing waste material in the final pit boundary. The paper shows the Distinct Element Method (DEM) for modeling rock mass based on rock mechanics and joint network parameters in the slope to assess and predict the unsafe risk of the pit slope when extracting coal with its operation stages, such as blasting, excavation, haulage stages. Slope analysis under the static status and dynamic status induced by ground vibration are to optimize the geometry parameters of the bench, pit slope, and suitable mining sequence, contributing to reducing stripping ratio for footwall slope with complicated coal seam stratum being able to occur high instability. The result was applied to assess pit slope stability at the South footwall of Khe Sim open-pit coal mine, Cam Pha district, Quang Ninh Province. The effectiveness brings back with the decrease in waste materials to nearly 7 million m³ compared with the one in the design stage when the application of reinforce technology and stripping technology to ensure the foot-wall stability.

Keywords: Rock mass; Modelling; Surface mining; Slope stability; Quang Ninh.