HỘI KỸ THUẬT NỔ MÌN VIỆT NAM

TUYỂN TẬP BÁO CÁO

HỘI NGHỊ KHOA HỌC KỸ THUẬT NỔ MÌN VIỆT NAM LẦN THỨ I

KỸ THUẬT NỔ MÌN TIÊN TIẾN AN TOÀN VÀ THÂN THIỆN VỚI MÔI TRƯỜNG



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

Scanned with CamScanner

BAN TỔ CHỨC

TS. Lê Ngọc Ninh, *Chủ tịch Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam* - Trưởng ban

GS.TS. Bùi Xuân Nam, *Phó Chủ tịch kiêm Tổng Thư ký Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam* - Phó Trưởng ban

PGS.TS. Trần Quang Hiếu, *Chánh Văn phòng Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam* - Thư ký

PGS.TS. Phạm Văn Hòa, *Phó Chủ tịch Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam* - Ủy viên

Đại tá, ThS. Nguyễn Văn Hải, *Phó Chủ tịch Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam* - Ủy viên

KS. Nguyễn Quốc Huy, *Phó Chủ tịch Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam* - Ủy viên

ThS. Phan Hồng Việt, *Phó Chủ tịch Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam* - Ủy viên

Đại tá, KS. Phạm Quốc Mạnh, *Phó Chủ tịch Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam* - Ủy viên

KS. Đỗ Đức Khoa, *Cục An toàn công nghiệp, Bộ Công Thương* - Ủy viên

ThS. Lê Đức Ánh, *Phó Giám đốc Sở Công thương Nghệ An* - Ủy viên

TS. Nguyễn Tam Tính, *Phó Trưởng ban, Tập đoàn công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam* - Ủy viên

ThS. Trần Văn Dũng, *Phó Tổng Giám đốc, Tổng công ty Công nghiệp Hoá chất mỏ - VINACOMIN* - Ủy viên

Đại tá, ThS. Tăng Văn Chi, *Tổng Giám đốc Tổng công ty Xây dựng Lũng Lô* - Ủy viên

ThS. Lê Tuấn Ngọc, *Phó Tổng Giám đốc, Tổng công ty Khoáng sản VINACOMIN* - Ủy viên

TS. Hoàng Hùng Thắng, *Hiệu trưởng Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh* - Ủy viên

Scanned with CamScanner

TS. Nguyễn Anh Thơ, *Viện trưởng Viện Khoa học An toàn vệ sinh lao động* - Ủy viên

TS. Trịnh Xuân Đức, *Viện trưởng Viện Khoa học Kỹ thuật Hạ tầng và Môi trường* - Ủy viên

ThS. Nguyễn Khắc Quyền, *Phó Viện trưởng Viện Chính sách, Bộ Công Thương* - Ủy viên

TS. Phạm Huy Đông, *Phó Viện trưởng Viện Hoá học Công nghiệp* - Ủy viên

PGS.TS. Phan Đức Nhân, *Trưởng ban Sau Đại học, Học viện Kỹ thuật Quân sự* - Ủy viên

PGS.TS. Nguyễn Ngọc Bích, *Trưởng khoa, Trường Đại học Y tế Công cộng* - Ủy viên

TS. Ngô Kim Tú, *Phó Trưởng khoa, Trường Đại học Lao động - Xã hội* - Ủy viên

TS. Đoàn Văn Thanh, *Trưởng phòng, Viện Khoa học và Công nghệ mỏ* - Ủy viên

PGS.TS. Nguyễn Anh Tuấn, *Giám đốc Trung tâm Nghiên cứu Cơ điện mỏ* - Ủy viên

TS. Đào Văn Chi, *Giám đốc Trung tâm Khoa học Công nghệ Mỏ và Môi trường* - Ủy viên

TS. Nguyễn Đình An, *Phó Giám đốc Trung tâm Bồi dưỡng và Tư vấn nổ mìn* - Ủy viên

Scanned with CamScanner

BAN KHOA HỌC

GS.TS. Bùi Xuân Nam, *Trường Đại học Tôn Đức Thắng* - Trưởng ban

PGS.TS. Trần Quang Hiếu, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất* - Thư ký

GS.TS. Changwoo Lee, *Dong A University (Hàn Quốc)* - Ủy viên

GS.TS. Nhữ Văn Bách, *Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam* - Ủy viên

GS.TS. Võ Trọng Hùng, *Hội Khoa học và Công nghệ mỏ Việt Nam* - Ủy viên

GS.TS. Lê Vân Trình, *Hội Khoa học An toàn, vệ sinh lao động* - Ủy viên

PGS.TS. Lê Quang Hồng, *Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam* - Ủy viên

TS. Nguyễn Phụ Vụ, *Hội Khoa học và Công nghệ mỏ Việt Nam* - Ủy viên

TS. Lê Văn Quyền, *Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam* - Ủy viên

TS. Nguyễn Đăng Tế, *Hội Kỹ thuật Nổ mìn Việt Nam* - Ủy viên

PGS.TS. Phạm Văn Hòa, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất* - Ủy viên

TS. Đỗ Ngọc Hoàn, *Trường Đại học Mỏ - Địa chất* - Ủy viên

TS. Hoàng Hùng Thắng, *Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh* - Ủy viên

PGS.TS. Đàm Trọng Thắng, *Học viện Kỹ thuật Quân sự* - Ủy viên

PGS.TS. Phan Đức Nhân, *Học viện Kỹ thuật Quân sự* - Ủy viên

PGS.TS. Nguyễn Ngọc Bích, *Trường Đại học Y tế Công cộng* - Ủy viên

TS. Ngô Kim Tú, *Trường Đại học Lao động - Xã hội* - Ủy viên

TS. Nguyễn Anh Thơ, *Viện Khoa học An toàn và vệ sinh lao động* - Ủy viên

TS. Trịnh Xuân Đức, *Viện Khoa học Kỹ thuật Hạ tầng và Môi trường - Ủy viên*

ThS. Nguyễn Khắc Quyền, *Viện Chính sách Bộ Công Thương* - Ủy viên

TS. Phạm Huy Đông, *Viện Hoá học Công nghiệp* - Ủy viên

TS. Lê Đức Phương, *Tạp chí Công nghiệp mỏ* - Ủy viên

TS. Đoàn Văn Thanh, *Viện Khoa học và Công nghệ mỏ* - Ủy viên

TS. Nguyễn Văn Đức, *Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản* - Ủy viên

TS. Nguyễn Tam Tính, *Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam* - Ủy viên

PGS.TS. Nguyễn Anh Tuấn, *Trung tâm Nghiên cứu Cơ điện mỏ* - Ủy viên

TS. Đào Văn Chi, *Trung tâm Khoa học Công nghệ Mỏ và Môi trường* - Ủy viên

Scanned with CamScanner

MỤC LỤC

TT	Tên bài báo và tác giả	Trang
1	Kỹ thuật nổ mìn tiên tiến trong khai thác lộ thiên: Xu hướng công nghệ, kiểm soát rủi ro và định hướng phát triển thân thiện với môi trường *Bùi Xuân Nam, Lê Ngọc Ninh, Trần Quang Hiếu*	11
2	Phi carbon hóa khai thác than lộ thiên tại Việt Nam: Nghiên cứu điển hình về vòng đời phát thải và các lộ trình giảm thiểu *Bùi Xuân Nam, Nguyễn Thị Tâm, Lê Ngọc Ninh, Quách Đức Tín, Trần Quang Hiếu, Chang-Woo Lee, Đỗ Văn Triều, Nguyễn Văn Đức*	45
3	Nghiên cứu khả năng sử dụng hệ thống kíp nổ điện tử nhằm nâng cao hiệu quả nổ mìn tại các mỏ lộ thiên Việt Nam *Trần Quang Hiếu, Phạm Đại Hải, Trần Văn Dũng, Phan Mạnh Lộc*	68
4	Nghiên cứu kỹ thuật nổ mìn an toàn và thân thiện với môi trường *Lê Ngọc Ninh*	86
5	Nghiên cứu sử dụng trí tuệ nhân tạo (AI) để tính toán lập hộ chiếu khoan - nổ mìn đào lò nhằm từng bước chuyển đổi số và tự động hóa công tác thiết kế khoan - nổ mìn tại các mỏ hầm lò thuộc TKV *Đặng Văn Kiên, Đoàn Đắc Thọ, Lê Quốc Khang, Trần Đăng Hải, Tạ Đăng Đại, Trần Công Thái, Nguyễn Văn Hải, Ngô Văn Giáp, Trần Quốc Đoàn*	103
6	Rủi ro trong công tác nổ mìn tại mỏ lộ thiên: phân tích, đánh giá và các giải pháp kiểm soát toàn diện *Trần Đình Bão, Nguyễn Đình An, Trần Quang Hiếu*	120

Scanned with CamScanner

7	Nghiên cứu phương án sàn công tác nổi lắp ghép phục vụ việc khoan lỗ mìn dưới nước khi thi công công trình giao thông quy mô nhỏ *Nguyễn Mạnh Thường, Đàm Trọng Thắng, Trần Quang Hiếu*	142
8	Xác định các thông số kỹ thuật của giải pháp phá vỡ đất đá bằng CO_2 lỏng cho các mỏ lộ thiên Việt Nam *Hoàng Mạnh Thắng, Đàm Công Khoa, Đoàn Văn Thanh*	153
9	Nghiên cứu các giải pháp kỹ thuật công nghệ nhằm nâng cao hiệu quả khoan-nổ mìn tại các đường lò của Công ty cổ phần Than Núi Béo *Đặng Văn Kiên, Lê Quốc Khang, Nguyễn Văn Định*	166
10	Nghiên cứu khảo sát sự suy giảm cường độ sóng xung kích lan truyền trong không khí sau tường chắn do nổ lượng nổ tập trung bằng phương pháp số *Nguyễn Đức Khởi, Đàm Trọng Thắng, Nguyễn Văn Hiếu*	177
11	Nghiên cứu ảnh hưởng của góc nghiêng của lỗ mìn đơn trong môi trường đất đá đến trường phân bố tốc độ xung quanh lượng nổ *Kiều Xuân Bách, Đàm Trọng Thắng, Vũ Trọng Hiếu*	192
12	Nghiên cứu thực nghiệm đánh giá giải pháp gia cường kết cấu tường gạch khi chịu tải trọng nổ *Nguyễn Hữu Thế, Đàm Trong Thắng, Nguyễn Mạnh Thường, Nguyễn Công Nghị*	210
13	Nghiên cứu đổi mới phương pháp tính toán chỉ tiêu thuốc nổ và các thông số khoan - nổ mìn hợp lý cho các mỏ lộ thiên của TKV *Lê Đức Phương, Lê Việt Phương, Phí Trung Kiên, Phạm Xuân Tráng, Nguyễn Ngọc Dũng*	220
14	Đề xuất ứng dụng ống tập trung năng lượng khi đào lò đá ở các mỏ hầm lò thuộc Tập đoàn Công nghiệp Than khoáng sản Việt Nam *Đào Văn Chi, Phạm Đức Hưng, Nguyễn Minh Đức*	235

Scanned with CamScanner

15	Kíp điện tử - nền tảng chuyển đổi số cho nổ mìn thông minh *Nguyễn Đình An, Hoàng Trung Thành, Trần Đình Bão, Lê Quí Thảo, Trần Văn Dũng*	243
16	**Mô hình hóa quỹ đạo đá văng theo điều kiện nổ mìn: Áp dụng cho mỏ đá Diều Phon, Cao Bằng** *Nguyễn Anh Tuấn, Phạm Văn Việt, Phạm Văn Hòa, Đỗ Ngọc Hoàn, Nguyễn Anh Kiên, Phùng Văn Thắng, Ngọc Thúy Oanh, Phùng Bảo Ngọc, Phùng Tuấn Kiệt*	254
17	**Nghiên cứu khả năng tận dụng dầu ăn đã qua sử dụng để chế tạo thuốc nổ nhũ tương** *Đàm Quang Sang, Nguyễn Tuấn Anh, Nguyễn Vũ Hùng*	274
18	An toàn, sức khỏe nghề nghiệp cho thợ nổ mìn trong cung ứng dịch vụ nổ mìn trên địa bàn tỉnh Quảng Ninh - Thực tiễn triển khai tại Tổng công ty Công nghiệp Hóa chất Mỏ (MICCO) *Ngô Kim Tú, Lâm Kiều Anh, Trần Văn Dũng*	285
19	Đánh giá nguy cơ rủi ro và phòng ngừa ô nhiễm bụi, khí độc trong công tác nổ mìn cho các mỏ sử dụng vật liệu nổ công nghiệp *Lâm Kiều Anh*	300
20	Tác động môi trường của vật liệu nổ trong xung đột vũ trang và hàm ý đối với quản lý nổ mìn thân thiện môi trường *Lê Ngọc Ninh*	315

Scanned with CamScanner

MÔ HÌNH HÓA QUỸ ĐẠO ĐÁ VĂNG THEO ĐIỀU KIỆN NỔ MÌN: ÁP DỤNG CHO MỎ ĐÁ DIỀU PHON, CAO BẰNG

Nguyễn Anh Tuấn[1,2,*], Phạm Văn Việt[1, 2], Phạm Văn Hòa[1], Đỗ Ngọc Hoàn[1], Nguyễn Anh Kiên[2], Phùng Văn Thắng[3], Ngọc Thúy Oanh[3], Phùng Bảo Ngọc[3], Phùng Tuấn Kiệt[3]

TÓM TẮT

Bài báo trình bày cơ sở lý thuyết và quy trình mô phỏng quỹ đạo đá văng do nổ mìn tại các mỏ đá lộ thiên có địa hình phân bậc cao. Nghiên cứu xác lập mô hình toán học dựa trên hệ thông số đầu vào gồm: đặc tính hình học và động lực học của khối đá (kích thước, khối lượng, vận tốc ban đầu, động năng), hệ số phục hồi năng lượng khi va chạm và lực tác động lên bề mặt địa hình. Bằng việc tích hợp dữ liệu địa chất thực tế (cấu trúc phân lớp, độ nứt nẻ, độ cứng) và mô hình số độ cao (DEM), nhóm tác giả đö mô phỏng chuyển động của các khối đá đơn lẻ và vật liệu rời rạc thông qua ngôn ngữ Mathematica cùng phần mềm động lực học mã nguồn mở LMGC90. Thực nghiệm tại mỏ đá Diều Phon (Cao Bằng) với độ chênh cao 120÷150 m cho thấy quỹ đạo đá văng có biên độ chiều cao thấp nhưng tầm xa ngang cực đại đạt 250÷260 m, tương đồng với số đo thực tế (≤ 250 m). Sự sai biệt này được phân tích là do ảnh hưởng từ cấu trúc tầng khai thác và sự biến động của các thông số kỹ thuật nạp bua giữa hộ chiếu thiết kế và thi công thực tế. Kết quả nghiên cứu là cơ sở quan trọng để chuẩn hóa mô hình dự báo quỹ đạo đá văng. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất các giải pháp giảm thiểu rủi ro thông qua tối ưu hóa hộ chiếu nổ mìn và thiết lập hệ thống che chắn đa tầng (lưới B40, bao cát, tường chắn) tuân thủ QCVN 01:2019/BCT, đồng thời định hướng phát triển mô hình dự báo 3D nhằm nâng cao hiệu quả quản trị an toàn mỏ.

Từ khóa: mỏ đá Diều Phon, đá văng, mô phỏng quỹ đạo, an toàn nổ mìn, bán kính an toàn.

[1] *Trường Đại học Mỏ - Địa chất*

[2] *Trung tâm Nghiên cứu Cơ - Điện - Mỏ*

[3] *Công ty TNHH TM & XD Bảo Ngọc*

**Email: nguyenanhtuan@humg.edu.vn*

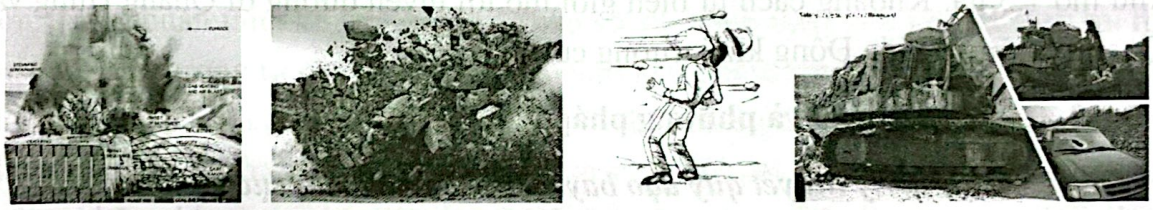
Scanned with CamScanner

1. Đặt vấn đề

Cho đến nay, vấn đề đá rơi, đá bay (đá văng) trên sườn dốc hay trên tầng đã được nhiều nhà khoa học nghiên cứu từ lý thuyết đến thực nghiệm các vấn đề liên quan đến cơ chế hình thành, phát triển, xác định bán kính ảnh hưởng của đá văng và tác động đá văng lên các công trình trong và ngoài mỏ.

Để dự đoán khu vực xảy ra tác động của đá văng, việc tích hợp các mô hình dựa trên hệ thống thông tin địa lý để xác định độ dốc, hướng dốc của địa hình sườn dốc,... từ đó tích hợp phát triển các mô hình địa kỹ thuật. Để dự đoán tác động cũng như ảnh hưởng phá hủy của đá văng tới công trình cần bảo vệ cần xác định được các yếu tố và thông số cụ thể như: kích thước, hình dạng của cục (mảnh) đá; khối lượng cục đá; gia tốc bay; lực tác động khi tiếp xúc với các công trình cần bảo vệ (Hình 1).

Trong bài báo này, nhóm tác giả đã nghiên cứu bằng lý thuyết, thí nghiệm và xác định các tham số, các yếu tố để mô phỏng quỹ đạo của đá rơi, bay, văng trên điều kiện bờ mỏ lộ thiên với từng khối đá riêng rẽ, tập hợp nhiều khối có kích thước khác nhau.

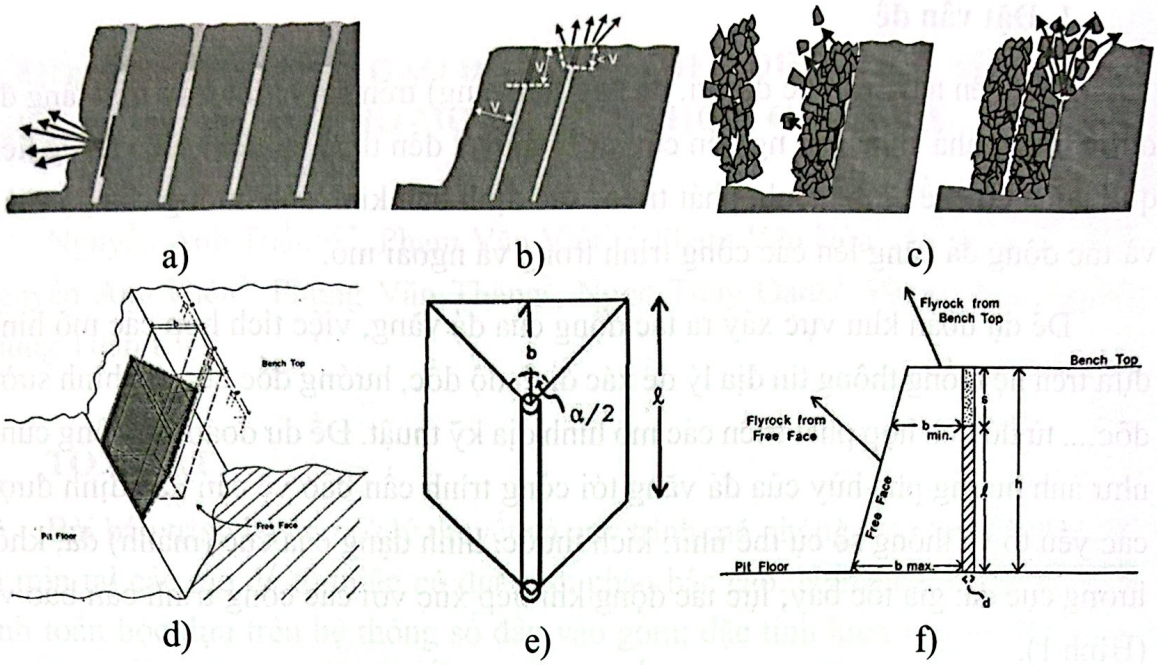


Hình 1. Hiện tượng đá văng và ảnh hưởng của đá văng tới an toàn đối với người, thiết bị và công trình

Nguồn gốc hình thành các cục đá, mảnh đá văng sau khi nổ mìn thường xuất hiện từ nguyên nhân đường cản chân tầng mỏng hoặc quá lớn, chất lượng bua và chiều cao cột bua không đảm bảo (Hình 2).

Từ các số liệu đầu vào về thông số hình học của tầng, bờ mỏ cũng như các thông số công nghệ, hệ thống khai thác khoan - nổ mìn, bài báo tiến hành phân tích, tính toán và mô phỏng quỹ đạo đá văng do hoạt động khai thác khoan - nổ mìn và do mất ổn định tự nhiên từ đó đề xuất giải pháp đối với các khu vực được bảo vệ xung quanh mỏ lộ thiên, cụ thể là các công trình trên mặt bằng sân công nghiệp.

Scanned with CamScanner



Hình 2. Vị trí hình thành các cục đá văng trên tầng nổ mìn

Điều điện tính toán áp dụng xác định bán kính an toàn đá văng cho điều kiện khai thác mỏ đá vật liệu xây dựng có địa hình núi cao như mỏ Diều Phon nằm gần quốc lộ. Mỏ có địa hình chênh lệch lớn từ 120÷130 m, diện tích biên giới trên mặt khu mỏ 1,5 ha. Khoảng cách từ biên giới mỏ tới tuyến đường đi Quang Hưng và Quang Uyên về phía Đông khai trường của mỏ.

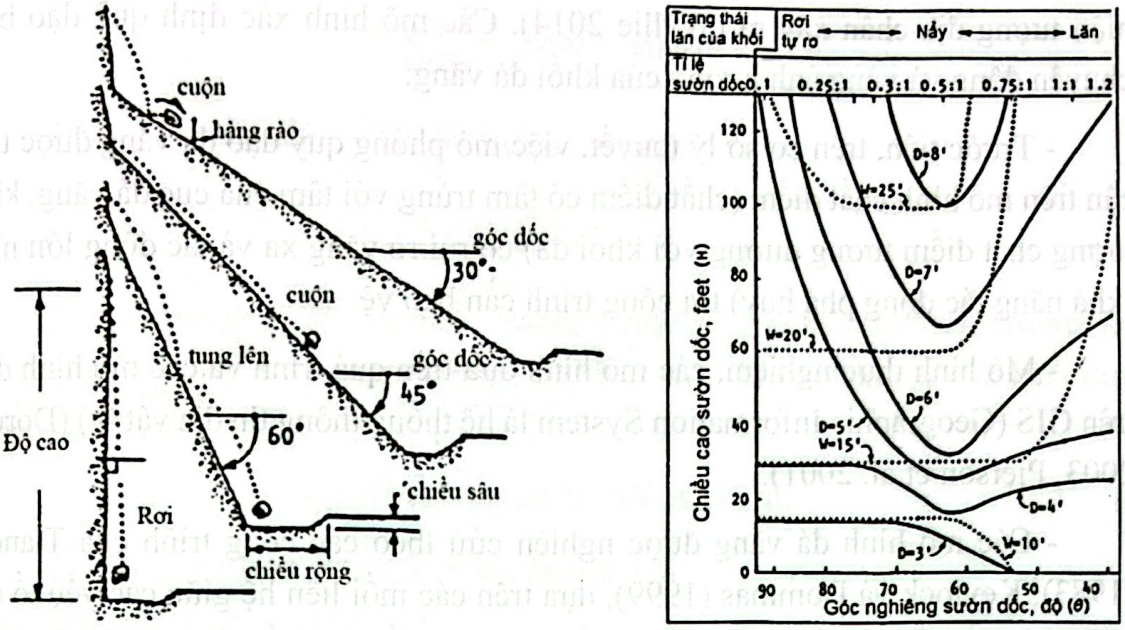
2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

2.1. Mô hình lý thuyết quỹ đạo bay, chuyển động của cục đá lý thuyết

2.1.1. Quỹ đạo bay và chuyển động của khối đá

Trên bờ mỏ lộ thiên, đá rơi là sự di chuyển của cục đá từ sườn dốc di chuyển xuống dốc có thể là rơi tự do, nảy, lăn hoặc trượt phụ thuộc vào góc dốc và độ gồ ghề bề mặt của sườn dốc. Ritchie (1963) đã xác định được các đặc điểm chuyển động của đá rơi và mối quan hệ giữa độ dốc và chiều cao sườn dốc, để xác định khoảng cách tác động dự kiến của một vụ đá rơi từ mặt tầng mỏ lộ thiên xuống chân sườn bờ mỏ (Pierson và cộng sự, 2001). Nếu không phân biệt hình dạng của đá và hướng văng đi xuống dốc của cục đá thì quỹ đạo bay của cục đá là một hàm của góc dốc (Hình 3a); mô hình quỹ đạo nảy của đá rơi sau khi va chạm và một bảng thiết kế thực nghiệm về diện tích khu vực ảnh hưởng của đá văng (Hình 3b). Nghiên cứu của Ritchie dựa trên dữ liệu thu được từ việc thống kê quan sát vài trăm cục (hay mảnh) đá văng và lăn.

Scanned with CamScanner



Hình 3. Quỹ đạo bay và chuyển động của khối đá (a) và các thông số thiết kế sườn dốc của Ritchie (b)

Các kết quả phân tích thực nghiệm rất quan trọng và hiện vẫn được sử dụng trong nhiều cơ quan kiểm soát các khu vực có nguy cơ mất an toàn giao thông của các tuyến đường có sườn ta luy đào cao, hay các bờ tầng trên các sườn dốc lớn. Tiêu chuẩn thiết kế này luôn yêu cầu và xác định diện tích khu vực có rủi ro mất an toàn tương tự cho tất cả các khu vực như chiều rộng và chiều cao của bờ dốc, góc dốc sườn tầng và góc dốc toàn bộ bờ, chiều cao và tỷ lệ dốc của sườn dốc. Ảnh hưởng ban đầu của đá rơi nằm trong phạm vi nhất định và yêu cầu tường chắn phía dưới chân bờ đốc, lưới chắn đảm bảo giữ cho phương tiện giao thông an toàn hoặc bảo vệ các công trình thoát nước và biển báo của đường do đá nảy và đá lật đổ, đá lăn.

Quá trình hình thành quỹ đạo của khối đá cụ thể, đá rơi bắt đầu với việc tách các khối đá hay tảng đá khỏi nguyên khối trên bờ mỏ, tương ứng với từng tầng. Mức độ lăn xa của đá văng phụ thuộc vào các yếu tố hình học của sườn dốc, kích thước hình học của khối đá cũng như đặc tính cơ lý của đất đá đặc trưng của sườn dốc. Sau khối đá được tách ra và bắt đầu di chuyển, nó chuyển động xuống dốc trong các kiểu chuyển động khác nhau như Hình 2, phụ thuộc chủ yếu vào độ dốc và chiều cao của sườn dốc.

Đá rơi, đá văng là mối nguy cơ mất an toàn cho người, thiết bị và hạ tầng xây dựng trong khu vực lân cận được nghiên cứu đánh giá khá toàn diện đối với cả khu vực địa hình đồi núi, có lượng mưa lớn, nhiệt độ đóng băng và có sự xuất hiện các

Scanned with CamScanner

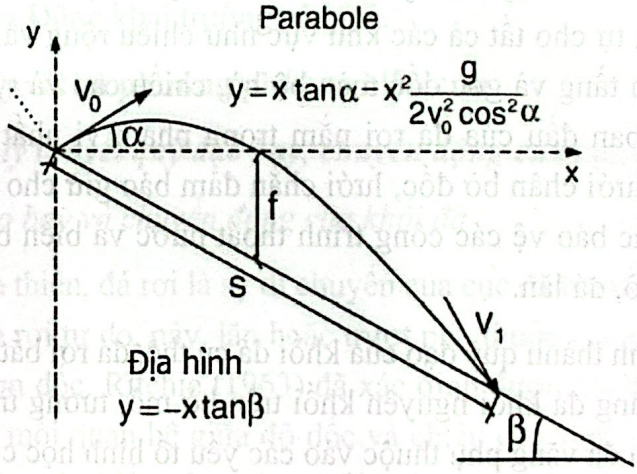
hiện tượng địa chấn xảy ra (Wyllie 2014). Các mô hình xác định quỹ đạo bay, chuyển động và vùng ảnh hưởng của khối đá văng:

- Trước tiên, trên cơ sở lý thuyết, việc mô phỏng quỹ đạo đá văng được tiếp cận trên mô hình chất điểm (chất điểm có tâm trùng với tâm của cục đá văng, khối lượng chất điểm tương đương với khối đá) có rủi ro văng xa và tác động lớn nhất (khả năng tác động phá hủy) tới công trình cần bảo vệ.

- Mô hình thực nghiệm, các mô hình dựa trên quá trình và các mô hình dựa trên GIS (Geographic Information System là hệ thống thông tin địa vật lý) (Dorren 2003, Pierson et al. 2001).

- Các mô hình đá văng được nghiên cứu theo các công trình của Tianchi (1983), Keylock và Dommas (1999), dựa trên các mối liên hệ giữa các yếu tố địa hình và chiều dài của vùng đá rơi, đá đổ theo sườn dốc đã xuất hiện một hoặc nhiều sự kiện trong lịch sử.

Trên giả thiết cụ thể, nếu bỏ qua lực cản không khí, những phương trình chuyển động của cục đá khi coi là một chất điểm tại thời điểm bất kỳ được áp dụng cho một khối xuất phát từ một điểm tương tác va chạm với vận tốc ban đầu V_0 nghiêng một góc α với phương nằm ngang (Hình 4).



Hình 4. Quỹ đạo bay của chất điểm có dạng parabole (chất điểm có vận tốc ban đầu V_0)

Với địa hình sườn dốc ổn định với góc β so với phương nằm ngang, biểu thức mô tả dạng y = -x tanβ, chúng ta dễ dàng tìm thấy chiều dài va chạm bề mặt địa hình và nẩy S, xác định song song với sườn dốc địa hình và chiều cao bay lớn nhất f so với địa hình, được xác định là:

Scanned with CamScanner

$$S = \frac{2V_0^2 \cos^2 \alpha}{g \cos \beta} (\tan\alpha + \tan\beta) \quad (1)$$

$$f = \frac{2V_0^2 \cos^2 \alpha}{2g} (\tan\alpha + \tan\beta)^2 \quad (2)$$

$$\frac{f}{S} = \frac{(\tan \alpha + \tan \beta) \cos \beta}{4} \quad (3)$$

Các thành phần rất cần thiết và hữu dụng trong nghiên cứu các trường hợp cụ thể, đặc biệt là với các công trình cần bảo vệ. Khi đó, vận tốc của khối được biểu diễn theo phương trình sau:

$$V_x = (V_o.\cos\alpha) \text{ và } V_y = (V_0.\sin\alpha - gt) \quad (4)$$

Đầu quỹ đạo bay: $t = 0$, $V = V_0$, $\delta_0 = \alpha + \beta$

Cuối quỹ đạo bay:

$$t_1 = \frac{S \cos \beta}{V_o \cos \alpha}; V_1 = \sqrt{V_o^2 \cos^2 \alpha + (V_o \sin \alpha - g t_1)^2};$$

$$\delta_1 = 90° - \beta + arctan \frac{V_{1x}}{V_{1y}}$$

Sự vận động của tự nhiên đối với các sườn dốc, vách núi và các sườn dốc đá cứng nứt nẻ là nguyên nhân sinh ra các khối đá mất ổn định (ngẫu nhiên) và các khối hoặc tảng lăn có kích thước lớn.

Các khối riêng lẻ (từ vài centimét đến vài mét) va chạm - nẩy hoặc lăn trên sườn dốc, như trong các điều kiện tảng, khối lăn với kích thước khác nhau từ vài milimét đến vài mét khối, vật liệu sụp đổ với tốc độ lớn trên một khoảng cách tác động lớn tương ứng. Lực tương tác giữa các thành phần xuất hiện giữa khối đá và bề mặt sườn dốc sẽ dự báo quỹ đạo bay, di chuyển và nẩy (phục hồi) phức tạp, do đó quá trình mô phỏng quá trình này là rất phức tạp.

Bài báo xử lý và can thiệp vào dự đoán và xác định các rủi ro bằng kỹ thuật thăm dò, khảo sát để thu thập số liệu mỏ địa chất với các thông số đặc trưng về cấu trúc, phân lớp và độ ổn định của sườn dốc. Từ đó xác định kích thước hình dạng của các khối có khả năng mất ổn định, sụt lở có thể xảy ra trong phạm vi nghiên cứu.

2.1.2. Xác định bán kính ảnh hưởng của đá văng

Theo phương trình chuyển động Hình 2 và các biểu thức từ (1) đến (4) chúng ta có thể xác định khoảng cách đá văng khi nổ mìn:

Scanned with CamScanner

$$L = \frac{v_0^2 \sin 2\theta}{g}, \text{ m} \quad (5)$$

Trong đó:

v_0 - Vận tốc ban đầu của đá văng, m/s;

θ - Góc hợp bởi vận tốc ban đầu với mặt phẳng nằm ngang, độ;

g - Gia tốc trọng trường, m/s^2.

Từ công thức (5) suy ra bán kính ảnh hưởng ngang lớn nhất ứng với góc $\theta = 45^o$:

$$L_m = \frac{v_0^2}{g}, \text{ m} \quad (6)$$

Nếu đá văng từ độ cao h xuống mặt đất, có bán kính ảnh hưởng lớn nhất là:

$$L_m' = \frac{L_m}{2}\left(\sqrt{1 + \frac{4h}{L_m}} + 1\right), \text{ m} \quad (7)$$

với h là độ cao của khối đá bay so với mặt đất.

Khi tiến hành nổ ở sườn dốc (tầng) có độ đốc nhỏ hơn 30^o hoặc chỗ cao hơn vùng xung quanh không nhỏ hơn 30 m thì bán kính vùng nguy hiểm ở Hình 1 phải tăng lên 1,5 lần về phía xuống dốc (QCVN 01: 2019/BCT). Áp dụng quy chuẩn trên, ta tính được bán kính an toàn đá văng theo QCVN là:

$$L_m'' = 1{,}5\, L_m, \text{ m} \quad (8)$$

Dựa theo phương trình Gurney (1943), có vận tốc đá văng ban đầu trong đá khi nổ mìn là:

$$V_0 = \sqrt{2E}\ \text{f (c/m), m/s} \quad (9)$$

Trong đó:

$\sqrt{2E}$ - Hằng số Gurney;

f - Phụ thuộc vào nhóm hình dạng hệ thống với $V_0 = \sqrt{2E}$ f (c/m).

Do vậy, có giá trị vận tốc ban đầu của cục đá (Julius Roth, 1979):

$$V_0 = \sqrt{2E'}\sqrt{c/m} \quad (10)$$

- Với thuốc nổ AĐ1 thông dụng hiện nay, kết quả nghiên cứu cho thấy $\sqrt{2E'}$ = D/3, trong đó D là tốc độ kích nổ của thuốc nổ sử dụng, thì:

Scanned with CamScanner

$$V_0 = D/3\sqrt{c/m} \quad (11)$$

- Với thuốc nổ ANFO: $\sqrt{2E'} = 0{,}44D$, thì:

$$V_0 = 0{,}44D\sqrt{c/m} \quad (12)$$

Trong đó:

$\frac{c}{m} = \frac{chỉ\ tiêu\ thuốc\ nổ}{0{,}5\ mật\ độ\ đất\ đá}$ tỷ số áp dụng với tầng và bờ mỏ có địa hình núi cao (trên cao).

$\frac{c}{m} = \frac{chỉ\ tiêu\ thuốc\ nổ}{0{,}8\ mật\ độ\ đất\ đá}$ tỷ số áp dụng với tầng và bờ mỏ khai thác xuống sâu (dưới thấp).

Trong tính toán thực nghiệm nổ mìn trên tầng với các mỏ đá với thuốc nổ Anfo, vận tốc ban đầu của cục đá được xác định như sau:

- Nổ mìn trong đá granite:

$$v_o^2 = 3.487.10^6.\sqrt{c/m} - 584,(\frac{m}{giây})^2$$

- Nổ mìn trong đá dolomit và đá vôi:

$$v_o^2 = 3.10^6.\sqrt{c/m} - 200,(\frac{m}{giây})^2$$

Đối với các loại thuốc nổ thông dụng khi nổ mìn:

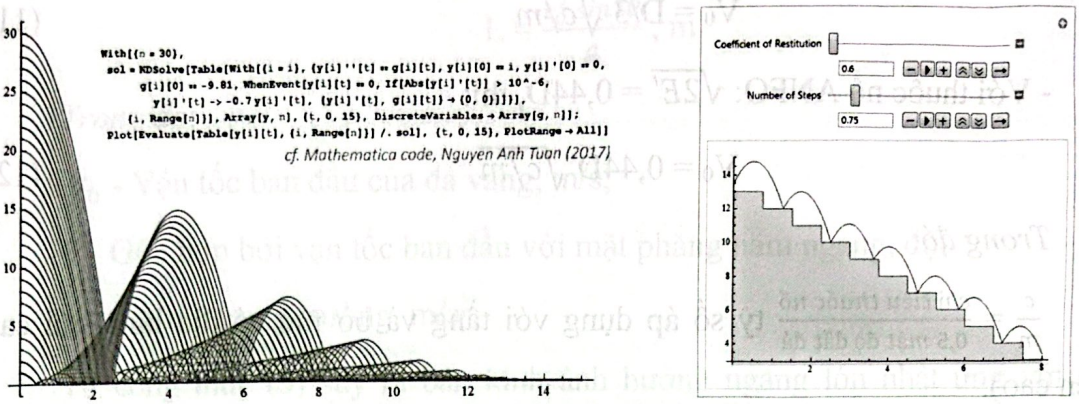
$$v_o^2 = 3.66.10^6.\sqrt{\frac{c}{m}} - 518,\left(\frac{m}{giây}\right)^2$$

2.2. Mô phỏng quỹ đạo bay của cục đá

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả giới thiệu nghiên cứu mô phỏng quỹ đạo đá bay của cục đá và bán kính cũng như phạm vi ảnh hưởng của đá bay bằng ngôn ngữ lập trình toán Mathematica và phần mềm mã nguồn mở LMGC90 (Nguyen Anh Tuan, 2015 và 2017).

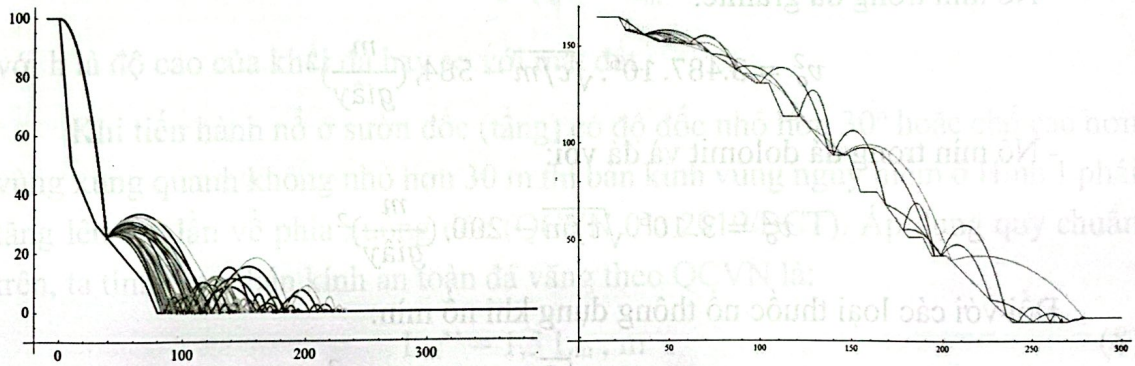
Nhóm nhiên cứu đã mô phỏng và thu được kết quả mô phỏng quỹ đạo bay của cục đá văng khi nổ mìn với thuốc nổ ANFO với vận tốc ban đầu Vo ở mép hay sườn tầng nổ mìn có kể tới hệ số tổn thất năng lượng khi cục đá nẩy và va chạm trên mặt và sườn tầng, hướng đá văng vào công trình mỏ cần bảo vệ được tính toán và mô phỏng như trên các Hình 5 và 6.

Scanned with CamScanner



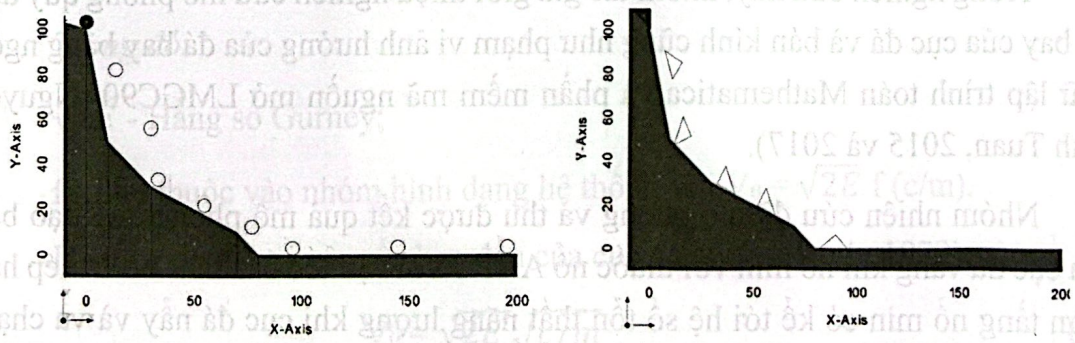
Hình 5. Kết quả mô phỏng ngẫu nhiên quỹ đạo khối đá (chất điểm) bay với vận tốc ban đầu cục đá 2 m/s, hệ số tổn năng lượng khối 0,6 trên mặt bằng (a) và trên tầng (b) trên nền mã thuật toán Mathematica 9.

Đồng thời mô phỏng trong điều kiện sườn dốc và địa hình phức tạp cũng được bài báo giới thiệu cụ thể trên Hình 4 với các giá trị mô phỏng tương ứng với Hình 3.



Hình 6. Quỹ đạo bay của cục đá ở vị trí khác nhau trên bờ mỏ với với vận tốc ban đầu khối đá 2 m/s, hệ số tổn năng lượng khối 0,6.

Khi kể tới thông số hình học của cục đá, kết quả mô phỏng được giới thiệu trên Hình 7.

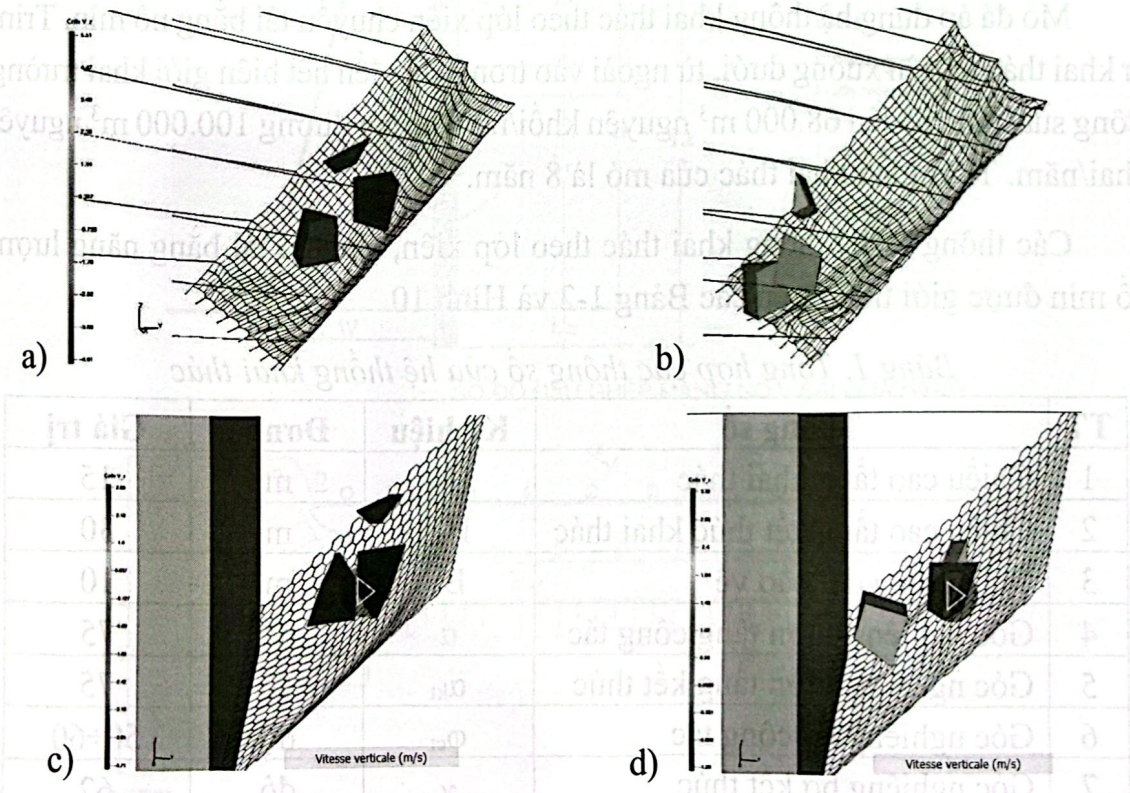


Hình 7. Quỹ đạo bay của cục đá dạng hình cầu (a) và hình tam giác (b) ở vị trí khác nhau trên bờ mỏ với với vận tốc ban đầu khối đá 2 m/s, hệ số tổn năng lượng 0,6 được lập trình bằng mã nguồn mở LMGC90.

Scanned with CamScanner

Các kết quả nghiên cứu cho thấy sự tương quan giữa khối lượng của khối đá và tỷ số của quãng đường văng, di chuyển của khối đá cũng như khoảng cách ngang tối đa ảnh hưởng của khối đá với phạm vi vùng ảnh hưởng của đá rơi, văng. Tính ngẫu nhiên với sự xuất hiện của đá rơi, đá văng có nhiều nguyên nhân và nguồn khác nhau, do đó các mô hình dự báo sự ngẫu nhiên trên máy tính được sử dụng phổ biến hiện nay. Các giá trị đầu vào ngẫu nhiên về quỹ đạo bay và chuyển động của khối đá được mô phỏng và xác định được phạm vị phân bố ảnh hưởng tương ứng với các dữ liệu đầu vào của quá trình hiện có. Các kết quả của mô hình cho phép xác định quỹ đạo bay và chuyển động của nhiều khối đá được biểu diễn trên các miền cụ thể tương ứng với các thông số của khối như kích thước, độ trôi hay văng xa, độ rộng ảnh hưởng và vận tốc cũng như lực tác động (Preh, 2015).

Giải pháp kỹ thuật an toàn giảm thiểu tác hại của đá văng được nghiên cứu mô phỏng tối ưu hóa hộ chiếu nổ mìn, sử dụng các lớp che chắn (lưới B40, bao cát, chăn bông), và thiết lập quy trình canh gác nghiêm ngặt trước khi nổ. Hình 8, giới thiệu mô hình lưới B40 và kết hợp với tường chắn bảo vệ công trình cũng như tuyến đường giao thông có hướng đá văng.



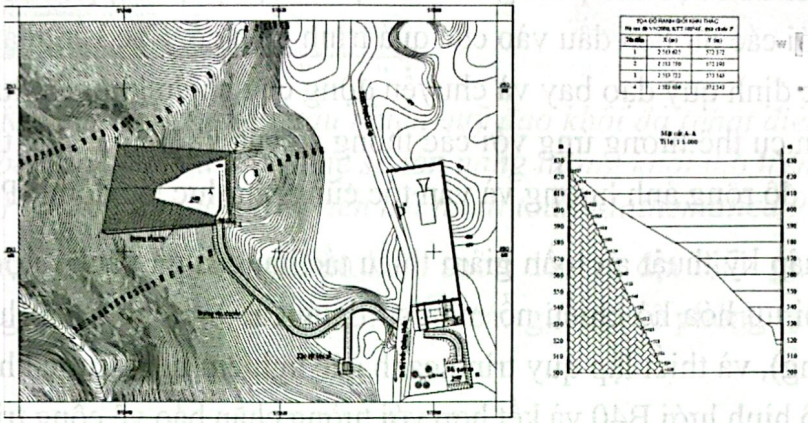
Hình 8. Mô hình mô phỏng sử dụng lưới B40 (a) và lưới B40 kết hợp tường chắn nhằm bảo vệ đá văng được lập trình trên nền tảng mã nguồn mở LMGC90

Scanned with CamScanner

3. Tính toán thực nghiệm áp dụng cho mỏ đá Diều Phon

3.1. Điều kiện khai thác mỏ đá Diều Phon

Khu vực mỏ đá có diện tích 1,5 ha thuộc điểm đá Diều Phon, xã Quảng Hưng, huyện Quảng Hòa, tỉnh Cao Bằng. Mỏ nằm về phía Đông Bắc của tỉnh Cao Bằng, phía Bắc giáp xã Trung Phúc, phía Đông giáp xã Bình Lăng, phía Nam giáp xã Độc Lập, phía Tây giáp xã Quốc Phong (thông tin hành chính trước sáp nhập) (Hình 9).



Hình 9. Bản đồ tổng thể mặt bằng khu vực mỏ đá Diều Phon với cao độ khai thác và mặt cắt địa hình

Mỏ đá áp dụng hệ thống khai thác theo lớp xiên chuyển tải bằng nổ mìn. Trình tự khai thác từ trên xuống dưới, từ ngoài vào trong cho đến hết biên giới khai trường. Công suất của mỏ lên 68.000 m^3 nguyên khối/năm tương đương 100.000 m^3 nguyên khai/năm. Thời gian khai thác của mỏ là 8 năm.

Các thông số hệ thống khai thác theo lớp xiên, chuyển tải bằng năng lượng nổ mìn được giới thiệu trên các Bảng 1-2 và Hình 10.

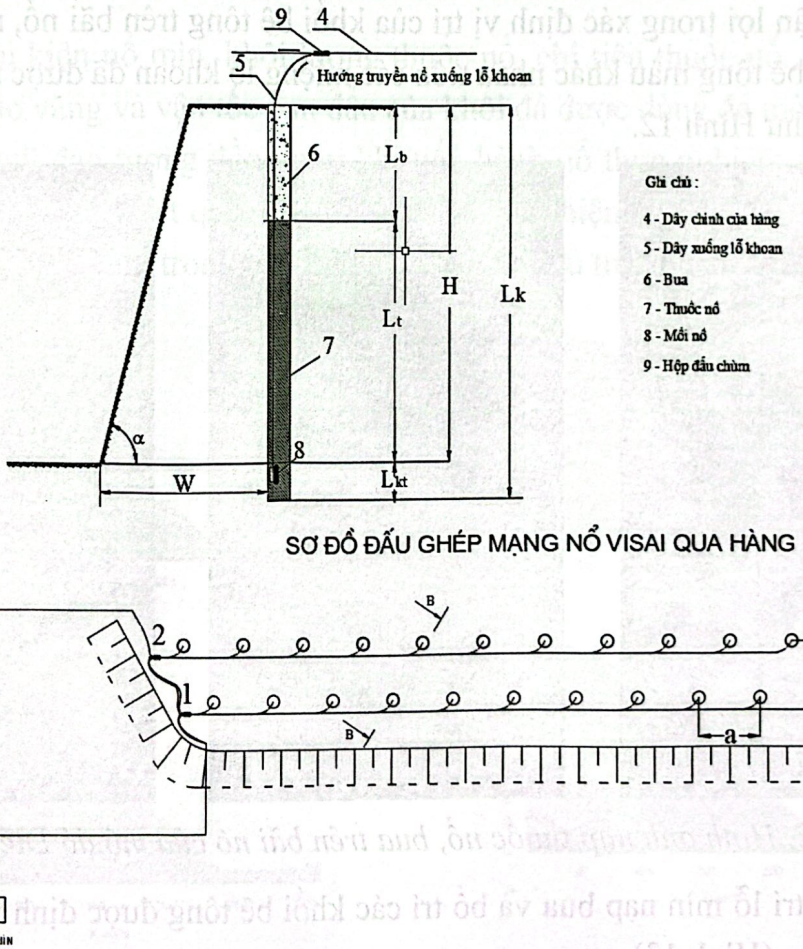
Bảng 1. Tổng hợp các thông số của hệ thống khai thác

TT	Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
1	Chiều cao tầng khai thác	H_{ct}	m	15
2	Chiều cao tầng kết thúc khai thác	H_{kt}	m	30
3	Chiều rộng đai bảo vệ	B_v	m	10
4	Góc nghiêng sườn tầng công tác	α	độ	75
5	Góc nghiêng sườn tầng kết thúc	α_{kt}	độ	75
6	Góc nghiêng bờ công tác	φ_{ct}	độ	50÷60
7	Góc nghiêng bờ kết thúc	γ	độ	62
8	Chiều rộng mặt tầng công tác	B	m	5÷7
9	Chiều rộng dải khấu	A	m	3,7

Scanned with CamScanner

Bảng 2. Bảng chỉ tiêu công tác khoan - nổ mìn lần 1

TT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Khối lượng
1	Chiều sâu lỗ khoan	m	15
2	Chiều sâu lỗ khoan thêm	m	1,14
3	Đường kính lỗ khoan	mm	76
4	Khoảng cách các lỗ khoan	m	3,7
5	Chỉ tiêu thuốc nổ	kg/m^3	0,38
6	Lượng thuốc trong 1 m lỗ khoan	kg/m	4,8
7	Lượng thuốc nổ trong một lỗ	kg	78
8	Chiều dài nạp thuốc	m	13,38
9	Chiều dài nạp bua	m	2,76
10	Suất phá đá	m^3/m	12,72
11	Độ cứng của đá vôi	$f = \sigma_n/100$	9÷10



SƠ ĐỒ ĐẤU GHÉP MẠNG NỔ VISAI QUA HÀNG

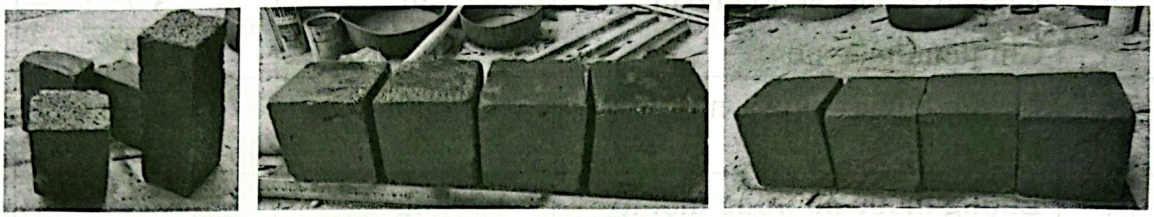
Hình 10. Sơ đồ cấu tạo lượng thuốc nổ trong lỗ khoan và sơ đồ đấu ghép mạng nổ visai qua hàng

Scanned with CamScanner

3.2. Mô phỏng và thực nghiệm trên mỏ xác định quỹ đạo và bán kính đá văng

3.2.1. Chuẩn bị mẫu để tiến hành thực nghiệm

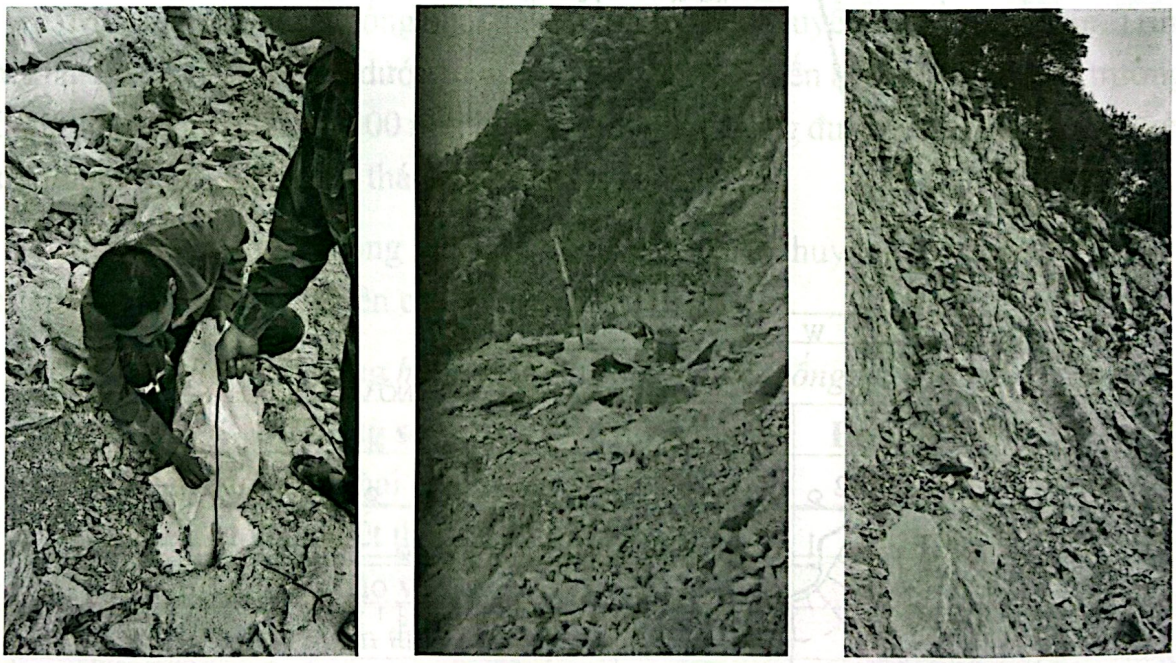
Mẫu thực nghiệm được chuẩn bị là các mẫu bê tông khối lập phương chuẩn có kích thước 0,2 m x 0,2 m x 0,2 m. Các mẫu được sơn màu khác nhau (như Hình 11.



Hình 11. Hình ảnh mô hình các khối mẫu đươc chuẩn bị để thực nghiệm trên mỏ đá Diều Phon

3.2.2. Bố trí mẫu trên bãi nổ và tiến hành nổ thực nghiệm xác định bán kính đá văng

Để thuận lợi trong xác định vị trí của khối bê tông trên bãi nổ, nhóm tác giả đặt các khối bê tông màu khác nhau trên các miệng lỗ khoan đã được nạp thuốc nổ và nạp bua như Hình 12.



Hình 12. Hình ảnh nạp thuốc nổ, bua trên bãi nổ của mỏ đá Diều Phon

Các vị trí lỗ mìn nạp bua và bố trí các khối bê tông được định vị theo hàng cùng một màu (Hình 13).

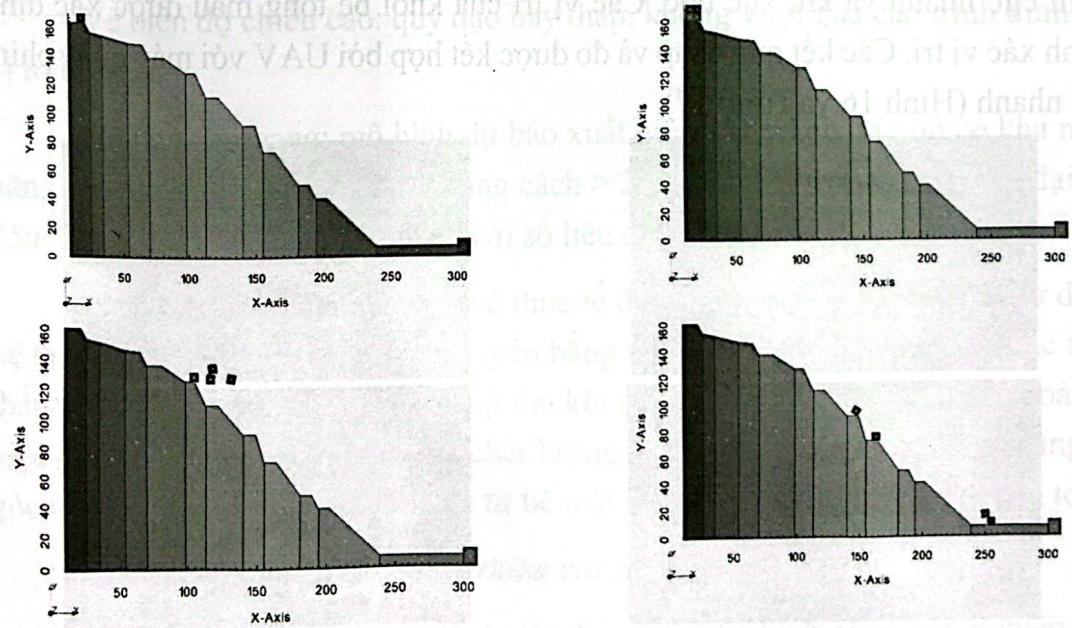
Scanned with CamScanner



Hình 13. Hình ảnh đặt các mẫu đá tại mép tầng, gần lỗ khoan hàng ngoài trên bãi nổ mỏ đá Diều Phon

3.2.3. Mô phỏng quỹ đạo mẫu đá trên bãi nổ và tiến hành phỏng quỹ đạo bay

Các điều kiện nổ mìn, khối lượng thuốc nổ, chỉ tiêu thuốc nổ... kích thước khối đá dự báo văng và vận tốc ban đầu của khối đá được dùng để mô phỏng, cho phép chỉ ra quỹ đạo tương đồng như khi tiến hành nổ thực nghiệm với các điều kiện nổ mìn trên mỏ. Kết quả mô phỏng được thực hiện cho 4 khối mẫu có kích thước tương đương như trong mô hình được giới thiệu trên Hình 14.

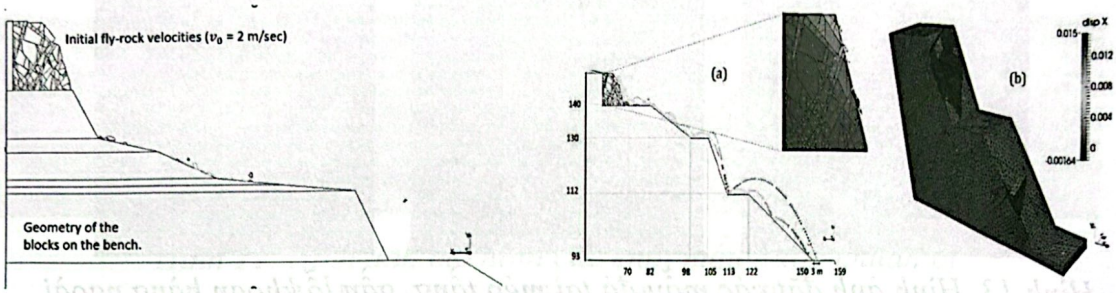


Hình 14. Vị trí, quỹ đạo và khoảng cách đá văng được mô phỏng như trong điều kiện nổ mìn thực nghiệm trên mỏ Diều Phon với mô hình 1, 4 khối lập phương

Scanned with CamScanner

Kết quả phân tích khoảng cách đá văng trên mô hình cho thấy quỹ đạo bay của các cục đá là không cao nhưng khoảng cách xa nhất có thể đạt 250÷260 m.

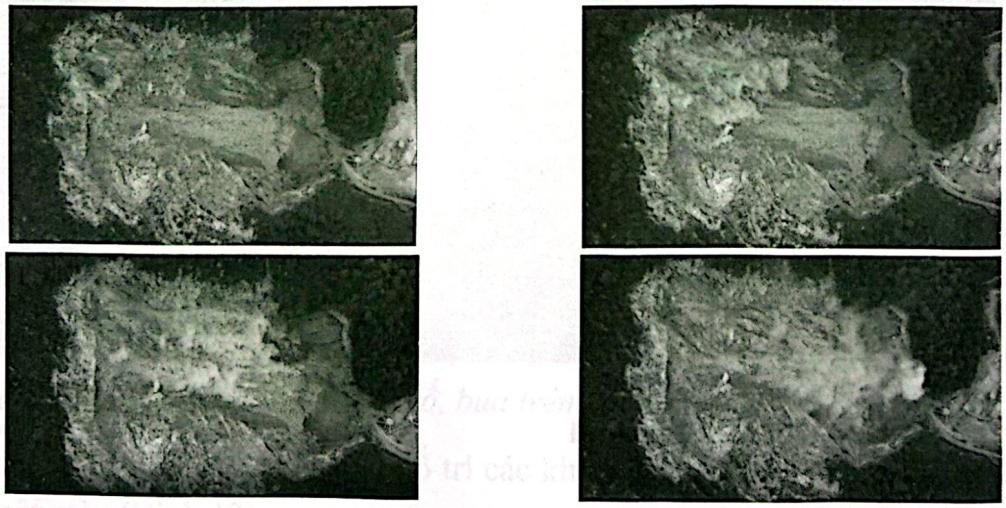
Với điều kiện địa chất của mỏ Diều Phon như độ cứng của đá, phân cấp nứt nẻ khối đá, các thông số hệ thống khai thác, các thông số khoan - nổ mìn, bài báo đã tiến hành mô phỏng kết quả vụ nổ như Hình 15.



Hình 15. Mô phỏng vị trí đá văng với mô phỏng ngẫu nhiên trên tầng khai thác của mỏ đá Diều Phon

3.3. Kết quả nổ mìn thử nghiệm xác định quỹ đạo và khoảng đá văng trên mỏ Diều Phon

Xuất phát từ các thông số nổ mìn theo hộ chiếu nổ mìn đã có (Bảng 2), khối lượng nổ thử nghiệm để xác định vị trí văng xa của khối đá màu thử nghiệm và các khối đá bố trí trên bãi nổ, nhóm tác giả đã xác định được vị trí của khối đá trên sườn dốc và dưới chân núi khi tiến hành đo đạc vị trí các khối văng và lăn khi quay phim cực nhanh và khi xúc bốc. Các vị trí của khối bê tông mẫu được xác định chính xác vị trí. Các kết quả chụp và đo được kết hợp bởi UAV với máy quay phim cực nhanh (Hình 16 và Hình 17).



Hình 16. Ảnh giám sát vụ nổ, quá trình nổ mìn trên mỏ đá Diều Phon từ trên cao bằng UAV

Scanned with CamScanner



Hình 17. Ảnh giám sát nổ mìn trên mỏ đá Diều Phon bằng máy quay phim cực nhanh dưới chân tuyến

4. Kết quả và thảo luận

4.1. Phân tích kết quả mô phỏng và thực nghiệm

Kết quả mô phỏng chuyển động của đá văng dựa trên thuật toán động lực học cho thấy quỹ đạo chuyển động của các khối đá chủ yếu tập trung trong phạm vi khai trường và bãi xúc.

- Về biên độ chiều cao: quỹ đạo bay thấp, không vượt quá cao trình đỉnh của vị trí nổ mìn.

- Về tầm xa ngang: mô hình dự báo xuất hiện các mảnh đá nhỏ có khả năng văng xa tới khu vực chế biến (khoảng cách > 200 m). Giá trị tính toán cực đại đạt 250÷260 m, có sự tương đồng cao với số liệu đo đạc thực tế (≤ 250 m).

Sự sai biệt nhỏ giữa mô hình và thực tế được lý giải bởi đặc thù mỏ sử dụng hệ thống khai thác lớp xiên, vận chuyển bằng năng lượng nổ mìn và cấu trúc tầng thấp. Một phần năng lượng được hấp thụ khi đá lăn trên các đai bảo vệ. Ngoài ra, việc đảm bảo kỹ thuật nạp bua và chất lượng vật liệu bua tốt đã hạn chế đáng kể góc văng, giữ khoảng cách đá văng từ bề mặt và mép tầng trong giới hạn an toàn.

4.2. Giải pháp kỹ thuật giảm thiểu rủi ro

Để đảm bảo an toàn tuyệt đối trong điều kiện địa hình phức tạp, nghiên cứu đề xuất hệ thống giải pháp che chắn đa lớp và quy trình vận hành nghiêm ngặt.

Scanned with CamScanner

4.2.1. Hệ thống che chắn đa tầng

Hệ thống được thiết kế nhằm triệt tiêu động năng của mảnh văng và sóng xung kích, bao gồm các lớp từ dưới lên trên:

- Lớp đập chắn: sử dụng máy đào đắp bờ đất hoặc bao tải cát cao 1÷1,5 m bao quanh khu vực nổ.

- Lớp lưới B40 (sơ cấp): ngăn chặn các khối đá kích thước > 4 cm.

- Lớp đệm bao cát: xếp kín trên mặt lưới để hấp thụ năng lượng và ngăn mảnh nhỏ < 4 cm.

- Lớp lưới B40 (thứ cấp): liên kết với lớp sơ cấp để cố định hệ thống bao cát, chống khi chịu áp lực nổ.

- Lớp chăn đệm (3÷5 cm): giảm sóng xung kích, hạn chế bụi và ngăn ngừa các mảnh văng xuyên qua.

4.2.2. Quy trình gác mìn và kiểm soát vùng nguy hiểm

Công tác an toàn phải tuân thủ nghiêm ngặt QCVN 01:2019/BCT, tập trung vào các nội dung:

- Thiết lập vành đai: xác định giới hạn vùng nguy hiểm, đặt trạm gác có biển báo tại mọi ngả đường tiếp cận.

- Nhân sự canh gác: phải được huấn luyện chuyên môn, sử dụng tín hiệu đồng bộ (còi, cờ hiệu) và duy trì liên lạc thông suốt.

- Quy trình kích nổ: chỉ khởi nổ sau khi người chỉ huy kiểm tra lần cuối và phát tín hiệu an toàn.

- Hậu nổ mìn: chỉ giải tán trạm gác sau ít nhất 15 phút và có xác nhận bãi mìn không còn mìn câm (tín hiệu báo yên).

4.2.3. Quy chuẩn kỹ thuật an toàn về đá văng

Bài báo đã thực hiện một số nghiên cứu quỹ đạo đá rơi, đá văng khi phân tích ổn định bờ mỏ và sườn dốc. Về vấn đề an toàn trong khai thác mỏ lộ thiên được quy định rất cụ thể trong QCVN 01:2019/BCT, thì khoảng cách an toàn đảm bảo cho người tránh khỏi các mảnh đất đá văng ra được xác định theo thiết kế. Trong thiết kế nổ mìn, khoảng cách an toàn cho người và thiết bị do đá văng được tính toán theo thiết kế hoặc phương án nổ mìn.

Scanned with CamScanner

Theo QCVN 01:2019/BCT thì "tính toán nổ mìn trong thiết kế (hướng nổ, chỉ số nổ, đường cản, các hệ số tính toán...), phải tính sao cho hạn chế đến mức thấp nhất các thiệt hại do chấn động, sóng không khí hoặc các mảnh đá văng do nổ mìn gây ra cho các công trình nằm trong vùng nguy hiểm. Nếu không thực hiện được yêu cầu này thì phải thỏa thuận với tổ chức, cá nhân quản lý, sở hữu công trình đó về các biện pháp bảo vệ, che chắn hoặc phương án khắc phục các thiệt hại do nổ mìn (nếu có) gây ra". Tính bán kính vùng nguy hiểm có mảnh đất đá văng xa, khi nổ mìn định hướng và nổ mìn văng xa bán kính nguy hiểm (khoảng cách tối thiểu đảm bảo an toàn) do mảnh đất đá văng đối với người và thiết bị, công trình phụ thuộc vào chỉ số tác động (n) của phát mìn và trị số đường cản ngắn nhất (W). Khi tiến hành nổ ở sườn đồi có độ dốc nhỏ hơn 30^{o} hoặc chỗ cao hơn vùng xung quanh không nhỏ hơn 30 m thì bán kính vùng nguy hiểm ở Bảng 1 phải tăng lên 1,5 lần về phía xuống dốc.

5. Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng thành công mô hình dự báo quỹ đạo đá văng cho mỏ lộ thiên có địa hình chênh cao lớn thông qua việc tích hợp đặc tính động lực học và dữ liệu địa chất thực tế. Kết quả mô phỏng số bằng Mathematica và LMGC90 cho thấy sự tương đồng cao với dữ liệu thực nghiệm (tầm xa ngang cực đại 250÷260 m so với thực tế ≤ 250 m). Sai lệch nhỏ được xác định do ảnh hưởng của cấu trúc tầng và biến số kỹ thuật nạp bua trong thi công. Từ kết quả này, bài báo đề xuất hệ giải pháp bảo vệ đa tầng (tường chắn, lưới B40, vật liệu đệm) và hiệu chỉnh bán kính an toàn gấp 1,5 lần về phía xuống dốc theo QCVN 01:2019/BCT. Đây là cơ sở khoa học quan trọng để tối ưu hóa hộ chiếu nổ mìn và quản trị rủi ro tại các khu vực địa hình phức tạp. Định hướng tiếp theo, nhóm tác giả sẽ tập trung phát triển mô hình 3D hoàn chỉnh để xác định chính xác năng lượng va đập, từ đó đưa ra các thông số thiết kế chi tiết (độ bền lưới, quy cách tường chắn) cho hệ thống công trình bảo vệ.

Lời cảm ơn

Các tác giả ghi nhận những đóng góp của Trung tâm Nghiên cứu Cơ - Điện - Mỏ thuộc Trường Đại học Mỏ - Địa chất trong việc phối hợp với Công ty TNHH XD & TM Bảo Ngọc, hỗ trợ nhóm tác giả tiến hành nghiên cứu và triển khai thực nghiệm để hoàn thành nghiên cứu này.

Scanned with CamScanner

Tài liệu tham khảo

[1] Bộ Công Thương (2019). *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn trong vận chuyển, bảo quản, sử dụng và tiêu hủy vật liệu nổ công nghiệp*.

[2] Nguyễn Anh Tuấn, nnk. (2016). *Kích thước hình học các khối đá và nguy cơ mất ổn định bờ mỏ và sườn dốc*. Tạp chí Công nghiệp Mỏ, số 2/2016. Hội Khoa học và Công nghệ mỏ Việt Nam. Tr. 53 - 58.

[3] Công ty TNHH XD & TM Bảo Ngọc (2018). *Dự án đầu tư - Thiết kế cơ sở và Đánh giá tác động môi trường của dự án mỏ Diều Phon, Cao Bằng, Việt Nam.*

[4] Faradonbeh, R. S., Armaghani, D. J., Monjezi, M., & Mohamad, E. T. (2016). *Genetic programming and gene expression programming for flyrock assessment due to mine blasting*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 88, pp. 254 - 264. https://doi.org/10.1016/j.ijrmms.2016.07.028.

[5] Giao, H. S., Nam, B. X., & Tuấn, N. A. (2009). *Khai thác khoáng sản rắn*. Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật.

[6] Nguyen, T. A. (2016). *Stability conditions of jointed rock slope with contact dynamics method*. *56*, pp. 11 - 19.

[7] Shankar, S., Choudhary, K., & Ranjan, R. (2013). *Blast vibration monitoring in opencast mines*.

[8] Choudhary, S.S.K., Ranjan, R., (2014). *Blast vibration monitoring in opencast mines*.

[9] Faradonbeh, R.S. et al., (2016). *Genetic programming and gene expression programming for flyrock assessment due to mine blasting*. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 88, pp. 254 - 264.

[10] Nguyen, T.A. (2016). *Stability conditions of jointed rock slope with contact dynamics method*, 56, pp. 11 - 19.

[11] Nguyen, T.A. & Nguyen, A.D. (2017). *Simulation (2D and 3D) of randomization orbit and radius affected of rockfall on open pit mines*, 58(3), pp. 58 - 65.

Scanned with CamScanner

[12] Raina, A.K., Murthy, V.M.S.R. & Soni, A.K., (2015). *Estimating flyrock distance in bench blasting through blast induced pressure measurements in rock.* International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 76, pp. 209 - 216.

[13] Srikanth, M., (2015). *Analysis of Rockfall Trajectories and Evaluation of Concrete.*

[14] Trivedi, R., Singh, T.N. & Raina, A.K., (2014). *Prediction of blast-induced flyrock in Indian limestone mines using neural networks.* Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering, 6(5), pp. 447 - 454.

[15] Yang, P. et al., (2017). *Analysis of potential rockfalls on a highway at high slopes in cold-arid areas (Northwest Xinjiang, China).* Sustainability (Switzerland), 9(3).

Scanned with CamScanner

NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI
Số 8 phố Tăng Bạt Hổ, P. Cửa Nam, TP. Hà Nội
Điện thoại: 024.39423346, 024.39424620 * Fax: 024.38224784
Website: www.nxbgtvt.vn

CHỊU TRÁCH NHIỆM XUẤT BẢN - NỘI DUNG:

GIÁM ĐỐC - TỔNG BIÊN TẬP: **Nguyễn Minh Nhật**

BIÊN TẬP: **Ngô Thị Bích Diệp**

TRÌNH BÀY: **Vương Thị Mai**

Scanned with CamScanner

ĐỐI TÁC LIÊN KẾT

Công ty cổ phần In Bản Việt

Thôn Hậu Ái, Xã Sơn Đồng, Thành phố Hà Nội

In 300 cuốn, khổ 19x27 cm, tại Công ty cổ phần In Bản Việt.
Địa chỉ: Thôn Hậu Ái, Xã Sơn Đồng, Thành phố Hà Nội.
Số xác nhận đăng ký xuất bản: 5184-2025/CXBIPH/1-107/GTVT.
Mã số sách tiêu chuẩn quốc tế - ISBN: 978-604-76-3270-1
Quyết định xuất bản số: 41 LK/QĐ-XBGT ngày 19 tháng 3 năm 2026.
In xong và nộp lưu chiểu năm 2026.

Scanned with CamScanner

ĐỐI TÁC LIÊN KẾT

Công ty cổ phần In Bản Việt

Thôn Hậu Ái, Xã Sơn Đồng, Thành phố Hà Nội

In 300 cuốn, khổ 19x27 cm, tại Công ty cổ phần In Bản Việt.
Địa chỉ: Thôn Hậu Ái, Xã Sơn Đồng, Thành phố Hà Nội.
Số xác nhận đăng ký xuất bản: 5184-2025/CXBIPH/1-107/GTVT.
Mã số sách tiêu chuẩn quốc tế - ISBN: 978-604-76-3270-1
Quyết định xuất bản số: 41 LK/QĐ-XBGT ngày 19 tháng 3 năm 2026.
In xong và nộp lưu chiểu năm 2026.

Scanned with CamScanner



ISBN: 978-604-76-3270-1

SÁCH KHÔNG BÁN

Scanned with CamScanner