

Bài báo khoa học

Nghiên cứu lựa chọn hệ thống khai thác hợp lý cho khu 2 mỏ đá vôi Lam Sơn

Trần Đình Bảo^{1*}, Phạm Văn Việt¹, Vũ Đình Trọng², Hoàng Đình Nam¹

¹ Trường Đại học Mỏ-Địa chất; trandinhbao@humg.edu.vn; phamvanviet@humg.edu.vn; 2021040137@student.humg.edu.vn

² Trường Đại học Công nghiệp Quảng Ninh; trongvu.sme@gmail.com

*Tác giả liên hệ: trandinhbao@humg.edu.vn; Tel.: +84-988196996

Ban Biên tập nhận bài: 15/9/2022; Ngày phản biện xong: 23/10/2022; Ngày đăng bài: 25/10/2022

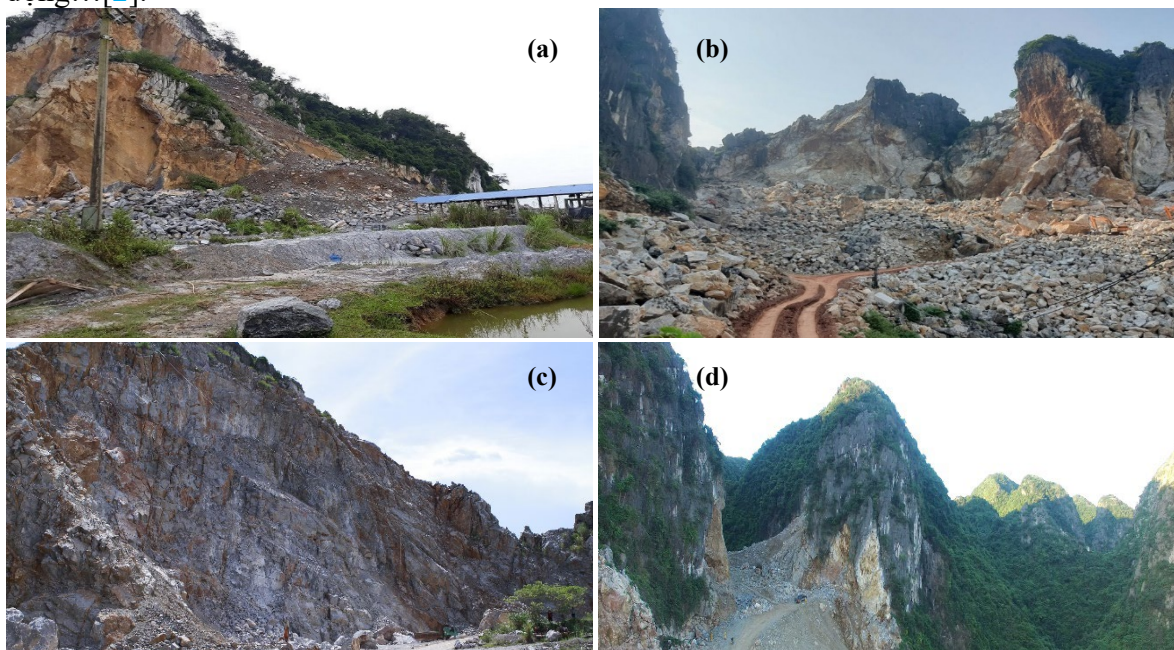
Tóm tắt: Một trong những nhiệm vụ quan trọng khai thác mỏ đá vật liệu xây dựng (VLXD) là lựa chọn hệ thống khai thác (HTKT) phù hợp vì việc lựa chọn sai có thể phát sinh nhiều vấn đề trong quá trình khai thác, dẫn đến các khoản phí phát sinh cho chủ mỏ hoặc có thể là nguyên nhân mất an toàn cho người lao động, giảm năng suất lao động, ảnh hưởng lâu dài tới toàn bộ thời gian tồn tại của mỏ thậm chí một số mỏ cần phải điều chỉnh thiết kế. Trên cơ sở phân tích toàn diện các yếu tố ảnh hưởng đến việc lựa chọn HTKT cho khu 2 mỏ đá Lam Sơn như: điều kiện địa hình, điều kiện địa chất, góc dốc sườn núi, yêu cầu về sản lượng, vốn đầu tư, ... nghiên cứu đã đề xuất 02 phương án HTKT có thể áp dụng cho mỏ, thông qua việc đánh giá các chỉ tiêu kinh tế-kỹ thuật của 02 phương án đề xuất, nhóm nghiên cứu đã lựa chọn được HTKT hợp lý cho mỏ đảm bảo hài hòa giữa các tiêu chí về an toàn-môi trường, đúng kỹ thuật, có hiệu quả kinh tế và phù hợp với thực tế sản xuất. Phương án được chọn đem lại hiệu quả hơn cho khu 2 mỏ đá Lam Sơn qua một loạt chỉ số như: chi phí khai thác thấp hơn, lợi nhuận dòng nhiều hơn 2,5 tỷ đồng và thời gian thu hồi vốn nhanh hơn 6 tháng mặc dù vốn đầu tư nhiều hơn 2,5 tỷ đồng.

Từ khóa: Lam Sơn; Hệ thống khai thác; Đá vôi; Địa hình phức tạp; An toàn lao động; Hiệu quả kinh tế.

1. Mở đầu

Thanh Hóa có trữ lượng đá vôi lớn (khoảng 29,1 tỷ m³) [1], với chất lượng tốt, phù hợp làm vật liệu xây dựng thông thường và sản xuất xi măng. Đá vôi là nguồn nguyên liệu không thể thiếu trong sản xuất xi măng, giao thông, xây dựng, Trong những năm gần đây, dưới áp lực phát triển kinh tế của tỉnh, của các địa phương lân cận, cũng như nhu cầu đá vôi ngày càng lớn, tỉnh Thanh Hóa đã đẩy mạnh việc cấp phép khai thác các mỏ đá VLXD thông thường có quy mô vừa và nhỏ. Hoạt động khai thác đá VLXD trong những năm gần đây tại tỉnh Thanh Hóa đã góp phần nâng cao đời sống người công nhân, tạo việc làm ổn định cho hàng nghìn lao động, phát triển kinh tế-xã hội của địa phương, cung cấp nguyên liệu cho các ngành kinh tế khác như xây dựng, giao thông, Bên cạnh những mặt tích cực kể trên, hoạt động khai thác đá VLXD trên địa bàn tỉnh Thanh Hóa còn tồn tại một số hạn chế sau: Các mỏ đá VLXD được cấp phép có diện tích và công suất nhỏ; Phần lớn các mỏ khai thác không đúng thiết kế được phê duyệt dẫn đến hiện tượng mất tầng, tạo thành máng trượt (khấu suất), gây mất an toàn lao động; Một số mỏ áp dụng HTKT không hợp lý, các thông số hệ thống khai thác chưa phù hợp với thiết bị mỏ, quy chuẩn, tiêu chuẩn kỹ thuật an toàn, ... gây ảnh

hướng xấu tới môi trường, tiềm ẩn những rủi ro mất an toàn lao động trong quá trình hoạt động...[2].



Hình 1. Một số dạng mỏ đá vôi có cấu trúc phân lớp phức tạp điển hình tỉnh Thanh Hóa: (a) Mỏ đá vôi tại xã Phú Nghiê, huyện Quan Hoá; (b) Mỏ đá của Công ty Minh Hương, xã Đông Nam, huyện Đông Sơn; (c) Mỏ đá núi Vức xã Đông Vinh và phường An Hưng (TP. Thanh Hóa, tỉnh Thanh Hóa); (d) Khu 2 mỏ đá Lam Sơn, xã Hà Vinh, huyện Hà Trung.

Để xảy ra những hậu quả trên, một phần do các doanh nghiệp được cấp phép khai thác không đúng thiết kế được phê duyệt, theo kiểu ăn xối “dễ làm, khó bỏ”, ... nguyên nhân khác là trong quá trình thiết kế chưa đưa ra HTKT hợp lý, phù hợp với điều kiện địa hình, địa chất, công suất mỏ.

Hiện nay, việc lựa chọn HTKT cho các mỏ đá VLXD vẫn chủ yếu dựa vào kinh nghiệm của người thiết kế, căn cứ vào điều kiện địa hình, tài liệu địa chất mỏ mà đơn vị tư vấn sẽ đưa ra các phương án mở mỏ và HTKT sẽ áp dụng cho mỏ. Như vậy, việc lựa chọn HTKT vẫn chưa phân tích cụ thể các chỉ tiêu kinh tế, mức đầu tư, quy mô khai thác, cũng như các vấn đề liên quan tới an toàn trong quá trình khai thác.

Đã từ lâu, việc nghiên cứu công nghệ khai thác đá đã được các tác giả người Nga, Mỹ, Australia, Canada... thực hiện. Trong đó, các giả người Nga là một trong những người đi tiên phong mở đường cho khoa học công nghệ khai thác mỏ ra đời và phát triển [3–9], với nhiều công trình nghiên cứu khoa học sáng tạo. Tuy nhiên, đa phần các nghiên cứu này đều sử dụng một số dấu hiệu như: vị trí bãi thải (bãi thải trong, bãi thải ngoài, bãi thải hỗn hợp), hướng phát triển của công trình mỏ theo mặt cắt đứng (xuống sâu, không xuống sâu), số lượng bờ công tác (một hoặc hai bờ công tác), hướng phát triển của tuyến công tác trên bình đồ (dọc, ngang, rẽ quạt, vành khuyên), vị trí tương đối của trạm nghiền so với biên giới mỏ (trạm nghiền đặt trong mỏ, ngoài mỏ, đặt trên bờ mỏ và trạm nghiền tự hành theo máy xúc), Như vậy, các nghiên cứu này đã xây dựng các mô hình công nghệ mỏ phù hợp với điều kiện địa hình, đặc điểm địa chất, thiết bị khai thác mỏ, nơi mà các tác giả nghiên cứu một cách tỉ mỉ.. Dấu hiệu phân loại công nghệ thông qua HTKT chủ yếu dựa vào đối tượng bóc chính trên mỏ lộ thiên là đất đá thải. Vì hầu hết các mỏ này đều có lớp đất phủ dày, khối lượng đất đá bóc lớn, bãi thải và vị trí của nó đóng một vai trò quan trọng trong hoạt động khai thác của dạng mỏ này. Vì thế, mà các phân loại công nghệ khai thác thông qua HTKT của các công trình nghiên cứu ngoài nước chưa đủ để có thể áp dụng vào các dạng mỏ đá VLXD của Việt Nam. Để có thể lựa chọn HTKT hợp lý áp dụng cho các mỏ đá VLXD có điều kiện địa hình phức tạp ở Việt Nam, cần có nghiên cứu lựa chọn và kế thừa những mặt đạt được của các

ngiên cứu về HTKT của các tác giả trong nước và nước ngoài, loại bỏ những yếu tố không phù hợp đồng thời bổ sung các yếu tố còn thiếu để có được HTKT phù hợp đáp ứng yêu cầu phát triển bền vững nguồn đá VLXD ở nước ta hiện nay.

Ở Việt Nam, ngành công nghiệp khai thác nói chung, khai thác đá VLXD nói riêng bắt đầu phát triển từ thập niên 60 nhưng thực sự khởi sắc khi đất nước bước vào thời kỳ đổi mới. Thời gian đầu, các mỏ khai thác đá khai thác theo kinh nghiệm mà chưa có thiết kế. Xuất phát từ các yêu cầu của thực tế của sản xuất, rất nhiều các công trình nghiên cứu về khai thác mỏ nói chung, công nghệ và kỹ thuật khai thác đá VLXD nói riêng đã được các nhà khoa học trong nước đưa ra, góp phần vào việc nâng cao hiệu quả khai thác đá, giảm thiểu các rủi ro mất an toàn, cũng như giảm giá thành khai thác, Các công trình này khá đa dạng về số lượng cũng như khía cạnh nghiên cứu, bao gồm các bài giảng, giáo trình, sách tham khảo, sách chuyên khảo, các luận án tiến sĩ, luận văn thạc sĩ và các đề tài các cấp,[10–16].

Trong nghiên cứu [10], tác giả đã trình bày khá chi tiết các vấn đề liên quan tới các khâu công nghệ khai thác, công tác chế biến cũng như các vấn đề liên quan đến kinh tế–tổ chức doanh nghiệp khai thác đá. Tuy nhiên, công trình chỉ là sự tổng hợp, kế thừa các nghiên cứu ở nước ngoài về lĩnh vực khai thác đá VLXD mà chưa đi sâu nghiên cứu, đề xuất các công nghệ kỹ thuật mới phù hợp với các điều kiện khai thác cụ thể ở Việt Nam.

Trong nghiên cứu [11], trên cơ sở phân tích các phương án HTKT có thể áp dụng cho các mỏ đá vôi điều kiện địa hình đồi núi, tác giả chỉ ra: Phương án HTKT khâu tự do, HTKT khâu theo lớp đứng cắt tầng nhỏ là các phương pháp tồn tại nhiều rủi ro về an toàn cho người lao động và không có khả năng cơ giới quá trình sản xuất, không thể tăng năng suất mỏ khi cần thiết; Phương án HTKT khâu theo lớp bằng xúc (gạt) chuyên và HTKT khâu theo lớp bằng vận tải trực tiếp là các phương án có khả năng cơ giới các khâu công nghệ cũng như an toàn cho người lao động và có thể tăng công suất khai thác khi cần thiết. Tuy nhiên, HTKT hợp lý cho các mỏ đá VLXD có điều kiện địa hình phức tạp vẫn chưa được đề cập trong nghiên cứu này.

Dựa trên kết quả tổng kết và đánh giá hiện trạng khai thác đá vôi xi măng ở Miền Bắc, [12] đã đưa ra bảng phân loại HTKT cho các mỏ kiểu sườn núi với 3 nhóm chính (Bảng 1) cũng như đã xây dựng đồng bộ thiết bị với 2 nhóm mỏ theo công suất (các mỏ có công suất dưới 200.000 m³/năm và các mỏ có công suất trên dưới 1 triệu m³/năm). Tuy nhiên, phạm vi của nghiên cứu này chỉ giới hạn cho các mỏ đá vôi xi măng kiểu đồi núi ở Miền Bắc mà chưa đưa ra được HTKT hợp lý cho các mỏ đá VLXD có điều kiện địa hình núi cao, dốc đứng, diện tích khai thác nhỏ hẹp trên toàn quốc.

Bảng 1. Phân loại HTKT các mỏ đá vôi của Lê Thị Thu Hoa [12].

Nhóm	Phương pháp khâu	Phương thức vận tải
1	Khâu theo lớp bằng	Vận tải trực tiếp bằng cơ giới Vận tải qua sườn núi (giếng, máng)
2	Khâu theo lớp đứng (không vận tải trên tầng)	Chuyển tải bằng năng lượng nổ mìn Chuyển tải bằng cơ giới
3	Khâu hỗn hợp	Phối hợp giữa hai nhóm 1 và 2

Trong nghiên cứu [13–16], tác giả đã chỉ ra những mặt hạn chế, chưa phù hợp của HTKT khâu theo lớp đứng, cắt tầng nhỏ, chuyển tải bằng năng lượng chất nổ. Qua đó, tác giả đề xuất phương pháp xác định các thông số làm việc của HTKT khâu theo lớp đứng, chuyển tải bằng năng lượng nổ mìn dưới sự hỗ trợ bởi phần mềm Rocfall. Tuy nhiên, nghiên cứu này mới chỉ tập trung xác định các thông số HTKT mỏ đá theo tiêu chí an toàn mà chưa đưa ra được HTKT hợp lý dựa trên việc đánh giá toàn diện các yếu tố ảnh hưởng đến việc lựa chọn HTKT cho mỏ đá VLXD.

Như vậy, có rất nhiều nghiên cứu khác nhau về HTKT mỏ đá VLXD trong và ngoài nước. Việc lựa chọn HTKT cho các mỏ đá VLXD vẫn chủ yếu dựa vào kinh nghiệm của người thiết kế, điều kiện địa hình, tài liệu địa chất thăm dò của mỏ. Như vậy, việc lựa chọn HTKT vẫn chưa phân tích cụ thể các chỉ tiêu kinh tế, mức đầu tư, quy mô khai thác, cũng như các vấn đề liên quan tới an toàn trong quá trình khai thác. Cũng như, chưa có công trình nghiên cứu nào đưa ra các tiêu chí cụ thể và đầy đủ để là cơ sở lựa chọn đúng HTKT nhằm đảm bảo an toàn và nâng cao hiệu quả khai thác cho các mỏ đá VLXD phức tạp ở nước ta hiện nay. Trước thực tế trên, nhóm tác giả đã tiến hành nghiên cứu lựa chọn HTKT hợp lý cho các mỏ đá VLXD dựa trên cơ sở phân tích, đánh giá đầy đủ các yếu tố: địa hình khu mỏ, điều kiện địa chất, sản lượng đá yêu cầu, đồng bộ thiết bị của mỏ, các yêu cầu về an toàn, ... Thông qua việc đánh giá các chỉ tiêu kinh tế-kỹ thuật của các phương án HTKT được đề xuất cho mỏ, nghiên cứu sẽ lựa chọn được HTKT hợp lý cho mỏ đảm bảo các tiêu chí về an toàn, đúng kỹ thuật và có hiệu quả kinh tế. Kết quả của nghiên cứu được áp dụng để lựa chọn HTKT hợp lý cho khu 2 mỏ đá vôi Lam Sơn.

2. Phương pháp nghiên cứu

Trong phần này, tác giả sẽ tiến hành đánh giá tổng quan các yếu tố ảnh hưởng đến việc lựa chọn HTKT cho các mỏ đá VLXD. Trên cơ sở phân tích điều kiện khai thác khu 2 mỏ đá Lam Sơn, nhóm nghiên cứu đề xuất các phương án HTKT có thể áp dụng theo điều kiện địa hình, địa chất khu mỏ, sản lượng mỏ yêu cầu, ... thông qua việc đánh giá bổ sung các chỉ tiêu kinh tế của các phương án HTKT có thể áp theo điều kiện kể trên, sẽ lựa chọn được HTKT hợp lý cho khu 2 mỏ đá vôi Lam Sơn đáp ứng được các tiêu chí đề ra và góp phần phát triển bền vững trong khai thác đá VLXD.

2.1. Phân tích các yếu tố ảnh hưởng tới hiệu quả hệ thống khai thác

Sự thành công của một dự án khai thác mỏ đá VLXD là việc lựa chọn chính xác HTKT, việc lựa chọn sai sẽ dẫn đến hệ quả lớn trong quá trình khai thác như: thiếu an toàn, năng suất lao động kém, ảnh hưởng lâu dài tới toàn bộ thời gian của dự án. HTKT mỏ phụ thuộc các yếu tố như: điều kiện địa hình, độ cao và mức độ phức tạp của địa hình, vị trí của khu mỏ, chiều dày các lớp đá vôi, hệ thống nứt nẻ, góc cắm của thân khoáng, đồng bộ thiết bị mỏ, quy mô sản lượng, quy mô và mức độ đầu tư của chủ doanh nghiệp,....

2.1.1. Ảnh hưởng của địa hình tới việc lựa chọn HTKT

a. Ảnh hưởng của điều kiện địa hình đến lựa chọn hệ thống khai thác

Điều kiện địa hình khu mỏ là một yếu tố quan trọng hàng đầu ảnh hưởng đến việc lựa chọn HTKT mỏ. Các mỏ đá VLXD ở nước ta có điều kiện địa hình khá đa dạng và có sự sai khác về độ chênh cao, độ dốc sườn núi, diện tích đỉnh núi, Điều kiện địa hình cụ thể là độ chênh cao của núi đá vôi, góc dốc, hình dạng và kích thước của mỏ đá vôi là yếu tố cơ bản nhất ảnh hưởng đến việc lựa chọn HTKT. Đối với các mỏ đá VLXD dạng đồi núi, để tiến hành khai thác các mỏ này ta cần tiến hành khai thác theo các tầng, trình tự khai thác có thể theo từng mức khai thác (khai thác theo lớp bằng) hoặc có thể khai thác đồng thời trên nhiều mức (khẩu theo lối đứng). Do đó, để khai thác được ta cần đưa thiết bị như máy khoan, máy xúc, thiết bị vận tải lên vị trí khai thác. Độ chênh cao của mỏ, độ dốc của sườn núi ảnh hưởng đến việc làm đường đưa thiết bị lên tiến hành khai thác. Với các điều kiện địa hình cụ thể thì theo điều kiện kỹ thuật có thể áp dụng các HTKT tương ứng như sau:

Đối với các mỏ núi cao, địa hình dốc, diện tích hẹp: do chiều cao lớn rất khó đưa các thiết bị tiếp cận lên đỉnh núi để bật ngọn. Do đó, HTKT phù hợp cho các mỏ dạng này là HTKT cắt tầng nhỏ đất đá sau nổ mìn được chuyển tải bằng năng lượng chất nổ hoặc HTKT khẩu theo lối xiên-xúc chuyển (gạt chuyển) đá sau khi làm tơi bằng máy xúc, hay máy gạt.

Đối với các mỏ núi cao trung bình, địa hình dốc vừa, diện tích trung bình: căn cứ vào đặc điểm địa hình cụ thể thì HTKT có thể được sử dụng cho các mỏ này là HTKT hỗn hợp: Phần phía trên của mỏ đá lựa chọn HTKT cắt tầng nhỏ đất đá sau nổ mìn được chuyển tải bằng năng lượng chất nổ; HTKT khẩu theo lớp xiên, xúc chuyển đất đá qua sườn núi; HTKT lớp bằng xúc chuyển; Phần phía dưới của mỏ đá thường áp dụng HTKT khẩu theo lớp bằng, đá sau khi được làm to sẽ được vận chuyển trực tiếp từ gương khai thác tới vị trí chế biến bằng thiết bị vận tải.

Đối với các mỏ núi thấp, địa hình thoải, diện tích lớn: do điều kiện địa hình thuận lợi cho việc làm đường đưa thiết bị lên khai thác. Do đó, HTKT phù hợp cho các mỏ có điều kiện địa hình này là HTKT lớp bằng vận chuyển trực tiếp trên tầng..

b. Ảnh hưởng của điều kiện địa hình đến công tác mở mỏ

Để khai thác các mỏ đá VLXD dạng đồi núi tùy thuộc vào phương thức vận tải đá sau nổ mìn mà cần xây dựng tuyến đường vận tải trực tiếp hoặc đường thiết bị tiếp cận vị trí khai thác đầu tiên của mỏ. Các yếu tố địa hình mỏ đá ảnh hưởng rất lớn tới các thông số của tuyến đường vận tải trong mỏ cũng như khối lượng đất đá cần phải bóc, chi phí xây dựng cơ bản,.... Đường trên mỏ được đặc trưng bởi các thông số chính như: độ dốc không chế, chiều rộng, chiều dài, số lần đổi hướng, bán kính cong tối thiểu, đoạn dài chuyển tiếp, trắc ngang, Các thông số này chịu ảnh hưởng lớn bởi điều kiện địa hình khu mỏ như sau:

Độ dốc không chế của tuyến đường vận mỏ được xác định theo điều kiện công suất động cơ của ô tô và phải đảm bảo khối lượng vận chuyển qua hào chính, được tính theo biểu thức sau:

$$i_0 = \frac{270 \cdot N \cdot \eta}{K_b \cdot W_c \cdot L_a} - \omega_0 \quad (1)$$

Trong đó N là công suất động cơ, Kw; η là hiệu suất truyền động của động cơ (0,85÷0,90); K_b là hệ số bị của ô tô; W_c là khối lượng đất đá vận chuyển qua đường hào, t/ca; L_a là khoảng cách an toàn giữa các ô tô khi chuyển động, m; ω_0 là sức cản chuyển động cơ bản của ô tô.

Tuy nhiên, trong thực tế độ dốc không chế của tuyến đường vận tải trực tiếp bằng ô tô thường được lấy theo $i_0 = 100\%$, theo điều kiện an toàn thì $i_0 = 60\div 80\%$. Việc lựa chọn giá trị độ dốc của tuyến đường phụ thuộc rất lớn vào điều kiện địa hình khu mỏ, phương thức vận chuyển và sự thay đổi giá trị này sẽ làm ảnh hưởng đến khối lượng công tác mở mỏ của một HTKT, chiều dài tuyến đường vận tải, cũng như chi phí khai thác của mỏ.

Mặt khác, địa hình khu mỏ (độ dốc của sườn núi) có ảnh hưởng rất lớn đến tiết diện cũng như chiều cao của tuyến đường vận tải. Chiều cao của hào bán hoàn chỉnh ở một vị trí bất kỳ của tuyến đường hào được xác định theo biểu thức:

$$H = \frac{b_0}{\text{Cot}\gamma - \text{Cot}\alpha_0}, \text{ m.} \quad (2)$$

Tiết diện của hào là:

$$S = \frac{0,5 \cdot b_0^2}{\text{Cot}\gamma - \text{Cot}\alpha_0}, \text{ m}^2. \quad (3)$$

Khối lượng hào chuẩn bị dạng bán hoàn chỉnh đào theo sườn núi được tính theo biểu thức sau:

$$S = \frac{L \cdot b^2}{2(\text{Cot}\gamma - \text{Cot}\alpha_0)}, \text{ m}^3. \quad (4)$$

Trong đó b_0 là chiều rộng tuyến đường hào, m; α_0 là góc nghiêng sườn hào, độ; γ là góc nghiêng sườn núi, độ.

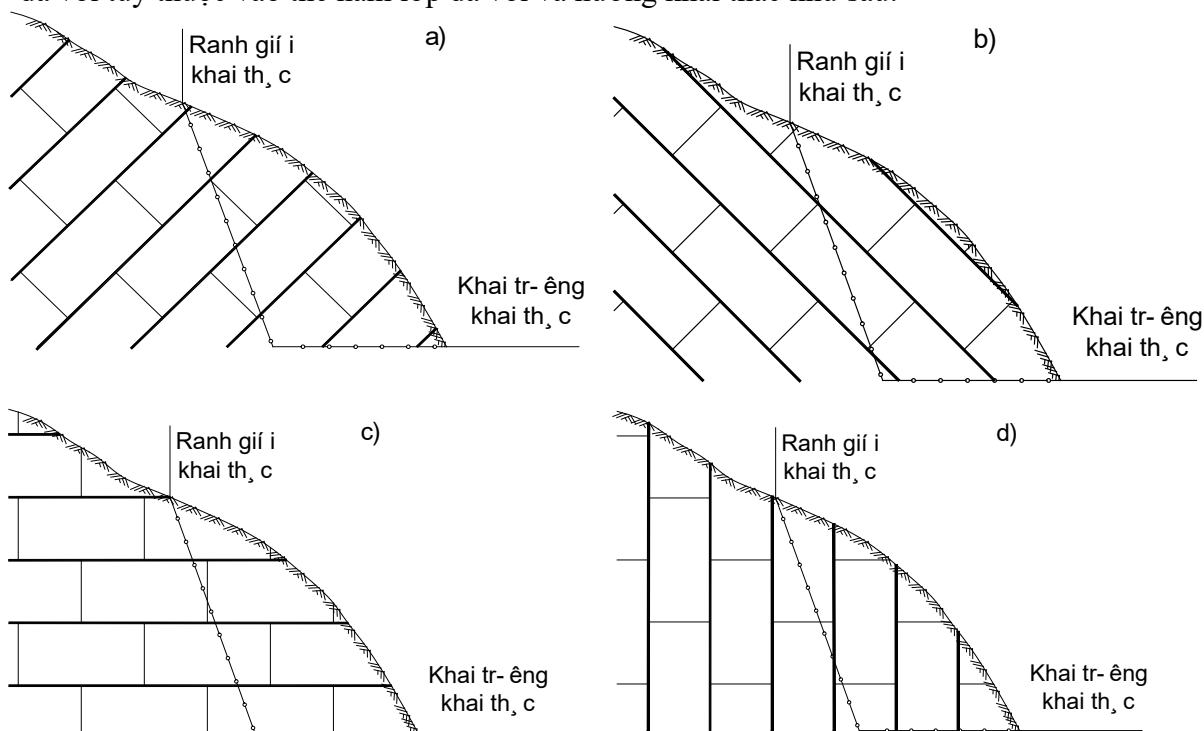
Theo biểu thức (2), (3), (4) thì chiều cao, tiết diện ngang, khối lượng đào của tuyến đường vận tải phụ vào điều kiện địa hình mà cụ thể hơn là góc nghiêng sườn núi.

Như vậy, điều kiện địa hình khu mỏ sẽ có ảnh hưởng đến việc lựa chọn HTKT áp dụng cho mỏ, chi phí mở mỏ cũng như chi phí khai thác của các phương án HTKT.

2.1.2. Ảnh hưởng của địa chất tới hiệu quả áp dụng HTKT lộ thiên

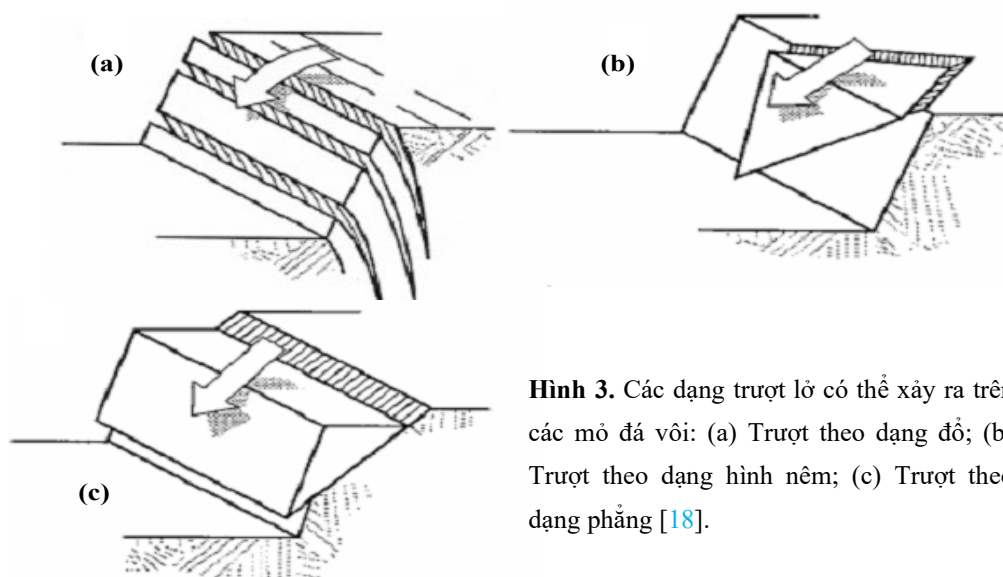
Các mỏ phân bố không tập trung mà phân tán theo từng khu vực trong khu vực địa hình có đồi núi cao, sườn dốc đứng, phân cắt phức tạp. Trong đá vôi tồn tại nhiều hang hốc Karst, khe nứt thường cắm vuông góc với mặt phân lớp, tồn tại nhiều đứt gãy; Đá vôi thường phân lớp mỏng, dày trung bình có góc cắm từ 20–50°;

Tùy vào điều kiện thể nằm của các lớp đá vôi, độ bền cắt của các mặt phân lớp, hướng khai thác thì có thể xảy ra trượt theo mặt phân lớp. Hình 2 đưa ra một số dạng mỏ của các mỏ đá vôi tùy thuộc vào thể nằm lớp đá vôi và hướng khai thác như sau:



Hình 2. Một số dạng mỏ của các mỏ đá khu vực Bắc Trung Bộ: (a) dạng mỏ với cấu trúc các lớp đá vôi cắm nghiêng sâu vào phía núi; (b) dạng mỏ với cấu trúc các lớp đá vôi cắm nghiêng về phía khai trường; (c) dạng mỏ với cấu trúc các lớp đá vôi phân lớp nằm ngang; (d) dạng mỏ với cấu trúc các lớp đá vôi phân lớp thẳng đứng [17].

Qua đây thấy rằng dạng mỏ hình 2a với cấu trúc các lớp đá cắm nghiêng sâu vào núi. Việc mất ổn định của mỏ dạng này không phụ thuộc vào mặt phân lớp mà phụ thuộc chủ yếu vào góc cắm của lớp đá vôi. Nếu các lớp đá vôi cắm dốc quá có thể xảy ra trượt theo dạng đồ (hình 3a). Ta thấy rằng dạng mỏ hình 3b là dạng mỏ với cấu trúc các lớp đá cắm về phía khai trường. Đối với dạng mỏ này thì việc mất ổn định xảy ra chủ yếu theo mặt phân lớp và trượt có thể xảy ra khi mà góc nghiêng của mặt phân lớp nhỏ hơn góc nghiêng của góc bờ công tác. Các dạng trượt có thể xảy ra là trượt dạng nêm (hình 3b) và trượt dạng phẳng (hình 3c). Còn đối với dạng mỏ hình 2c và hình 2d với các lớp đá phân lớp nằm ngang và phân lớp thẳng đứng. Mặt phân lớp không ảnh hưởng gì đến việc mất ổn định.



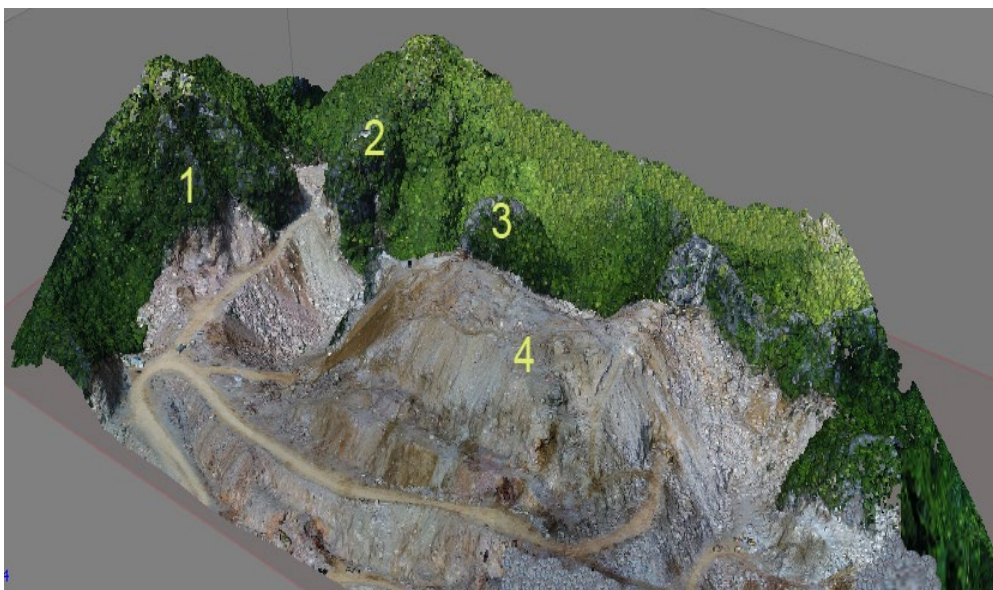
Hình 3. Các dạng trượt lở có thể xảy ra trên các mỏ đá vôi: (a) Trượt theo dạng đồ; (b) Trượt theo dạng hình nêm; (c) Trượt theo dạng phẳng [18].

Do đó với thể nằm của các lớp đất đá ảnh hưởng đến việc lựa chọn vị trí khai thác, trình tự khai thác trên mỏ. Khi mặt phân lớp của đá vôi cắm dốc đứng vào khai trường với góc nghiêng của mặt phân lớp dao động trong khoảng 500, còn góc nghiêng sườn tầng từ 700–750. Khi đó các lớp đá vôi bị cắt chân nên rất nguy hiểm xảy ra trượt theo mặt phân lớp gây nguy hiểm cho người và thiết làm việc trên tầng và dưới chân tuyến. Lúc này, cần lựa chọn hướng khai thác của các gương tầng nên khâu đuôi theo các phân lớp đá vôi, qua đó góp phần khắc phục tình trạng các lớp đá vôi trượt vào phía khai trường và đất đá nổ ra mức độ đập vỡ kém. Tiến hành khai thác theo một số lớp (theo trình tự lớp ngoài khâu trước, lớp trong khâu sau) và phát triển dọc theo đường phương của lớp sao cho khi một lần khâu đủ chiều rộng để bố trí một hàng mìn hợp lý.

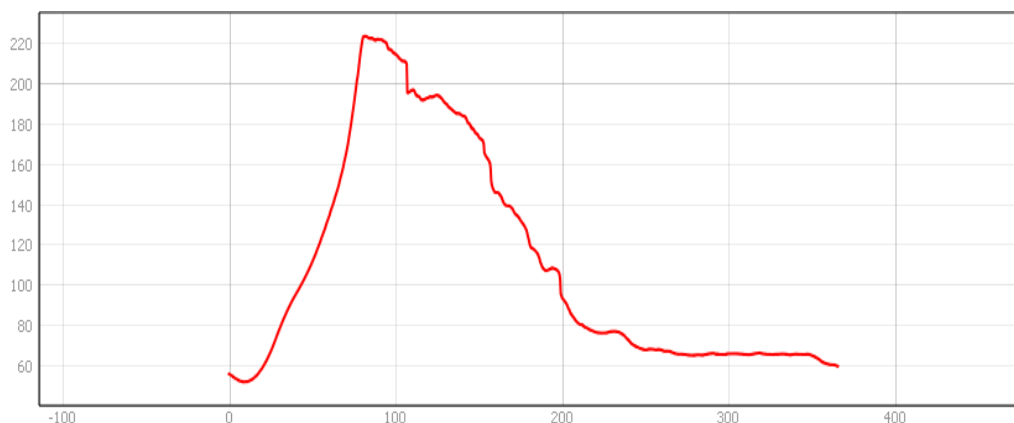
2.2. Nghiên cứu lựa chọn hệ thống khai thác hợp lý cho khu 2 mỏ đá vôi Lam Sơn

2.2.1. Đặc điểm địa hình, địa chất khu vực nghiên cứu [19]

Khu vực nghiên cứu là khu 2 mỏ vôi Lam Sơn có diện tích 6,9 ha thuộc xã Hà Vinh, huyện Hà Trung, tỉnh Thanh Hóa, được xác định trên Hình 4.



Hình 4. Mô hình 3D của khu 2 mỏ đá vôi Lam Sơn đo vẽ bằng UAV.



Hình 5. Mặt cắt đặt trung khu 2 mỏ đá Lam Sơn.

Khu 2 nằm về phía Bắc khu mỏ đá vôi Lam Sơn có địa hình tương đối phức tạp thấp nhất là +25 m và cao nhất là +200 m, diện tích khoảng 6,9 ha. Chiều dài khu mỏ là 283 m, chiều rộng khu mỏ là 278 m. Độ dốc từ đỉnh mức xuống thể hiện Hình 6.

Dạng địa hình chính tại khu vực này là địa hình núi đá lởm chởm, bao gồm những đỉnh núi cao, nhọn, sườn dốc xếp liên tiếp nhau kéo dài theo hướng Tây Bắc–Đông Nam, xen giữa các đỉnh núi là các khe hẻm và phếu karst. Các đỉnh núi nhọn, sườn dốc xếp sát bên nhau tạo ra một dạng địa hình đặc biệt hiểm trở.

Khu vực nghiên cứu bao gồm các thành tạo địa chất có nguồn gốc, thành phần và phân bố từ trên xuống như sau:

- Cát, bột, sét thuộc hệ đệ tứ (Q) phân bố ở các thung lũng nhỏ giữa núi, khu vực có địa hình trung thuộc trung tâm khu thăm dò và ở ven các chân núi đá, chiều dày thay đổi từ 1,0 đến 5,0m. Đất có màu xám nâu, xám đen. Trạng thái đất bờ rời, khi gặp nước dễ sụt lún và trượt lở.

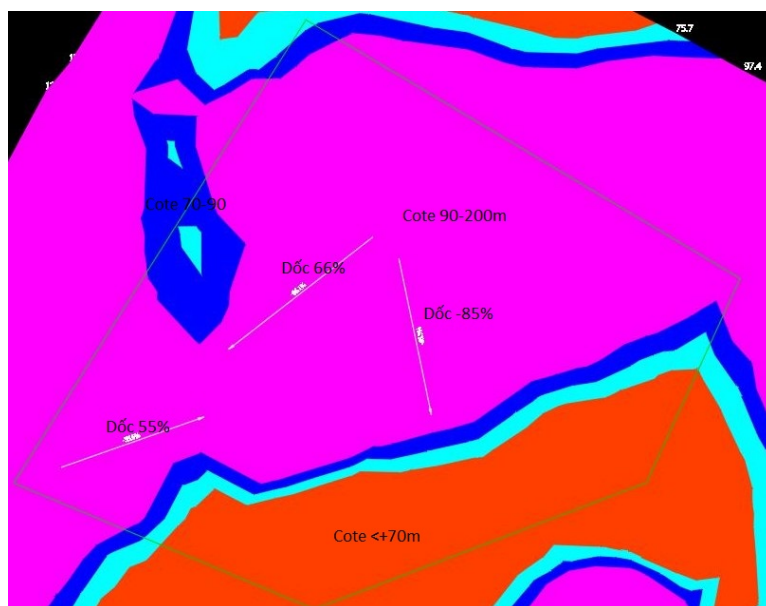
- Đá vôi thuộc hệ tầng Đồng Giao (T2đg) phân bố trên phần lớn diện tích thăm dò. Đá có cấu tạo phân lớp dày đến dạng khối, thể nằm đơn nghiêng, thể nằm thay đổi $210^{\circ}\div 220^{\circ} \angle 45^{\circ}\div 70^{\circ}$ chúng tạo thành dải núi cao trung bình. Trạng thái của đá khá rắn chắc, bị nứt nẻ mạnh, ít có hang hốc Karst, nhưng vẫn dễ bị sạt lở theo mặt lớp trong quá trình khai thác sau này.

Mặc dù trong quá trình thăm dò không phát hiện được hiện tượng trượt lở nào đáng kể, song qua quy mô phân bố và đặc điểm địa chất nêu trên cho thấy hiện tượng sạt có thể xảy ra trong quá trình khai thác sau này. Do tác động của hoạt động nổ mìn khai thác gây nứt nẻ đất đá, cùng ảnh hưởng của trọng lực và nước mưa làm giảm mức độ liên kết của đất đá gây ra hiện tượng trượt lở bờ moong khai thác, hay có hiện tượng tăng lún cục bộ, để khắc phục vấn đề này khi khai thác góc dốc bờ moong phải nhỏ hơn giới hạn cho phép.

2.2.2. Nghiên cứu áp dụng hệ thống khai thác cho khu 2 mỏ đá vôi Lam Sơn

2.2.2.1. Phương án hệ thống khai thác

Khu 2 mỏ đá vôi Lam Sơn cách 450 m vào đến khu vực nghiền đập, đầu đường kết nối với khu vực nghiền đập là +32 m tại vị trí cách cụm nghiền đập là 30 m, địa hình chênh cao đến khu vực đỉnh cao nhất là +200 m, địa hình tương đối dốc từ mức +80 m đến +200 m là từ 66–85% (Hình 5). Do đó không thể đủ chiều dài, độ dốc để bố trí tuyến đường vận tải đến mức cao được. Khu 2 được giao khai thác đạt sản lượng khoảng 1 triệu tấn/năm. Do vậy, mô lựa chọn HTKT hỗn hợp gồm HTKT khẩu theo lớp bằng vận tải trực tiếp phần dưới và HTKT khẩu theo lớp bằng, xúc (gạt) chuyển phần trên. Trên cơ sở nghiên cứu địa hình khu mỏ, khả năng áp dụng của HTKT với khả năng công suất của mỏ, đề xuất hai mức áp dụng chuyển đổi HTKT.



Hình 6. Mô hình phân tích độ dốc, cao độ khu 2.

- Phương án 1: Sử dụng HTKT khẩu theo lớp bằng xúc (gạt) chuyển từ mức +170 m đến mức +100 m và HTKT khẩu theo lớp bằng vận tải trực tiếp từ mức +100 m đến mức kết thúc khai thác +80 m.

- Phương án 2: Sử dụng HTKT khẩu theo lớp bằng xúc (gạt) chuyển từ mức +170 m đến mức +120 m và HTKT khẩu theo lớp bằng vận tải trực tiếp từ mức +120 m đến mức kết thúc khai thác +80 m.

2.2.2.2. Trình tự khai thác hai phương án HTKT hỗn hợp

Trình tự khai thác của 02 phương án HTKT cho khu 2 mỏ đá Lam Sơn được thể hiện tại Bảng 2.

Bảng 2. Trình tự khai thác của hai phương án HTKT cho khu 2 mỏ đá Lam Sơn.

Trình tự khai thác theo HTKT hỗn hợp phương án 1	Trình tự khai thác theo HTKT hỗn hợp phương án 2
Sau khi hoàn thành công tác xây dựng cơ bản, quá trình khai thác chia làm 2 giai đoạn: – Giai đoạn 1: Áp dụng HTKT khẩu theo lớp bằng, xúc (gạt) chuyển, đá vôi được nổ mìn trên tầng, được máy xúc (máy gạt) xúc chuyển đổ xuống bãi xúc +100m. Ở đây máy xúc sẽ tiến hành xúc lên phương tiện vận tải vận chuyển về khu nghiền đập. – Giai đoạn 2: Sau khi khai thác đến mức +100, mở áp dụng hoàn toàn HTKT khẩu theo lớp bằng vận tải trực tiếp. Sau khi đá vôi được phá vỡ, được xúc lên phương tiện vận tải và trở về khu nghiền đập.	Sau khi hoàn thành công tác xây dựng cơ bản, quá trình khai thác chia làm 2 giai đoạn: – Giai đoạn 1: Áp dụng HTKT khẩu theo lớp bằng, xúc (gạt) chuyển, đá vôi được nổ mìn trên tầng, được máy xúc (máy gạt) xúc chuyển đổ xuống bãi xúc +120m. Ở đây máy xúc sẽ tiến hành xúc lên phương tiện vận tải vận chuyển về khu nghiền đập. – Giai đoạn 2: Sau khi khai thác đến mức +120m, mở áp dụng hoàn toàn HTKT khẩu theo lớp bằng vận tải trực tiếp. Sau khi đá vôi được phá vỡ, được xúc lên phương tiện vận tải và trở về khu nghiền đập.

Để Đánh giá và lựa chọn phương án khai thác hợp lý, tác giả đã tiến hành tính toán và đánh giá hiệu quả kinh tế các phương án HTKT theo các chỉ tiêu kinh tế như tổng mức đầu tư, giá thành khai thác, lợi nhuận, giá trị hiện tại thuần, thời gian hoàn vốn,... Đây là cơ sở quan trọng trong việc lựa chọn HTKT hợp lý cho mỏ. Hiệu quả kinh tế của HTKT khai thác hỗn hợp theo phương án 1 và 2 được xác định trong bảng tổng hợp kinh tế Bảng 3.

Bảng 3. Bảng tổng hợp kinh tế kỹ thuật phương án.

Chỉ tiêu	Đơn vị	Phương án 1	Phương án 2
Tổng sản lượng đá vôi nguyên khai	103 tấn	4.700	4.700
Tổng mức đầu tư	103 đồng	76.904.811	79.460.534
Tổng doanh thu	106 đồng	459.399	459.399
Tổng chi phí SX-KD	106 đồng	432.580	429.634
Giá đá vôi	đ/m ³	260.000	260.000
Giá thành bình quân	đ/m ³	244.822	243.154
Lợi nhuận trước thuế	106 đồng	26.819	29.766
Lợi nhuận ròng (Pn)	106 đồng	17.294	19.814
Giá trị hiện tại thuần (NPV)	106 đồng	1.917	2.792
Tỷ suất hoàn vốn nội bộ (IRR)	%	15,8%	16,4%
Lãi vay ngân hàng	%/năm	6%	6%
Thời hạn hoàn vốn (T)	năm	1,51	1,46

Qua đánh giá về kỹ thuật chọn được 2 phương án phù hợp với HTKT hỗn hợp phù hợp với điều kiện địa hình, công suất mỏ. Qua đánh giá về kỹ thuật nhận thấy phương án 2 là phương án đem lại hiệu quả hơn qua một loạt chỉ số. Mặc dù vốn đầu tư nhiều hơn 2,5 tỷ đồng, nhưng chi phí khai thác thấp hơn, dẫn tới lợi nhuận ròng nhiều hơn 2,5 tỷ đồng và thời gian thu hồi vốn nhanh hơn 6 tháng.

3. Kết quả và thảo luận

Sự thành công của một dự án khai thác mỏ đá VLXD là việc lựa chọn chính xác HTKT, việc lựa chọn sai sẽ dẫn đến hệ quả lớn trong quá trình khai thác như: thiếu an toàn, năng suất lao động kém, ảnh hưởng lâu dài tới toàn bộ thời gian của dự án. Hiện nay có rất nhiều HTKT khác nhau đã được nghiên cứu trong và ngoài nước có thể áp dụng cho các mỏ đá VLXD ở nước ta hiện nay. Tuy nhiên, chưa có một công trình nghiên cứu nào đưa ra các tiêu chí cụ thể và đầy đủ để là cơ sở lựa chọn đúng hệ thống khai thác nhằm đảm bảo an toàn và nâng cao hiệu quả khai thác cho các mỏ đá có điều kiện địa hình núi cao, dốc đứng, diện khai thác nhỏ hẹp.

Nghiên cứu đã phân tích đầy đủ các yếu tố ảnh hưởng đến việc lựa chọn HTKT cho các mỏ đá núi cao, địa hình phức tạp như các điều kiện địa hình, các điều kiện địa chất của mỏ, các yêu cầu về an toàn-môi trường trong quá trình khai thác, các yêu cầu về sản lượng mỏ, mức đầu tư của doanh nghiệp mỏ....Qua đó đưa ra cách tính chọn HTKT có khả năng áp dụng dựa trên địa hình, công suất và hiệu quả kinh tế đem lại khi áp dụng các HTKT.

Trên cơ sở phân tích toàn diện các yếu tố ảnh hưởng đến việc lựa chọn HTKT cho khu 2 mỏ đá Lam Sơn như: điều kiện địa hình, điều kiện địa chất, góc dốc sườn núi, yêu cầu về sản lượng, tỷ suất đầu tư, ... nghiên cứu đã đề xuất 02 phương án HTKT có thể áp dụng cho mỏ, thông qua việc đánh giá các chỉ tiêu kinh tế-kỹ thuật của 02 phương án đề xuất, nhóm nghiên cứu đã lựa chọn được HTKT hợp lý cho mỏ đảm bảo hài hòa giữa các tiêu chí về an toàn-môi trường, đúng kỹ thuật, có hiệu quả kinh tế và phù hợp với thực tế sản xuất là phương án mở sử dụng HTKT khẩu theo lớp bằng xúc (gạt) chuyển từ mức +170 m đến mức +120 m và HTKT khẩu theo lớp bằng vận tải trực tiếp từ mức +120 m đến mức kết thúc khai thác +80 m là phương án đem lại hiệu quả hơn cho khu 2 mỏ đá Lam Sơn qua một loạt chỉ số. Mặc dù vốn đầu tư nhiều hơn 2,5 tỷ đồng, nhưng chi phí khai thác thấp hơn, dẫn tới lợi nhuận ròng nhiều hơn 2,5 tỷ đồng và thời gian thu hồi vốn nhanh hơn 6 tháng.

Phát triển bền vững ngành công nghiệp khai thác đá VLXD là tất yếu trong bối cảnh suy thoái môi trường như hiện nay, việc lựa chọn HTKT cho mỏ đá VLXD cần hướng tới đảm bảo hài hòa các mục tiêu phát triển bền vững về kinh tế-xã hội-môi trường. Tuy nhiên, việc

lựa chọn HTKT cho các mỏ đá VLXD ở nước ta hiện nay vẫn chủ yếu dựa vào kinh nghiệm của đơn vị thiết kế, điều kiện địa hình, tài liệu địa chất, mức độ đầu tư, yêu cầu về sản lượng mỏ, ... mà chưa đánh giá toàn diện là cơ sở lựa chọn đúng HTKT nhằm đảm bảo an toàn và nâng cao hiệu quả khai thác cho các mỏ đá có điều kiện địa hình núi cao, dốc đứng, diện khai thác nhỏ hẹp.

4. Kết luận

Một trong những nhiệm vụ quan trọng khai thác mỏ đá VLXD là lựa chọn HTKT phù hợp vì việc không chú ý đến vấn đề này có thể phát sinh nhiều vấn đề trong quá trình khai thác, dẫn đến các khoản phí phát sinh cho chủ mỏ hoặc có thể là nguyên nhân mất an toàn cho người lao động, giảm năng suất lao động, ảnh hưởng lâu dài tới toàn bộ thời gian tồn tại của mỏ. Do đó, việc lựa chọn HTKT mỏ đá VLXD được coi là một quyết định chiến lược về mặt kinh tế, kỹ thuật và an toàn vì lựa chọn phù hợp sẽ mang lại nhiều lợi nhuận hơn và ngược lại. Để lựa chọn được HTKT hợp lý cho mỏ cần dựa trên các đặc điểm của mỏ và thỏa mãn mục tiêu phát triển bền vững ngành công nghiệp khai thác. Do sự phức tạp về hình học và địa chất của các mỏ đá vôi, nên không thể sử dụng một phương pháp lựa chọn duy nhất cho tất cả các loại hình mỏ đá vôi, vì vậy trong mỗi điều kiện cụ thể của mỏ cần linh hoạt và phân tích đầy đủ các tiêu chí lựa chọn HTKT để đưa ra phương án tối ưu nhất cho mỏ.

Tuy nhiên, trong nghiên cứu này chưa giải quyết được bài toán là xây dựng bộ tiêu chí, các yếu tố ảnh hưởng đến phương án hệ thống khai thác mỏ đá VLXD cũng như chưa đánh giá, so sánh được mức độ quan trọng của từng tiêu chí. Việc lựa chọn phương án HTKT cho các mỏ đá vôi bằng phương pháp đánh giá đa tiêu chí kết hợp với phương pháp phân tích thứ bậc sẽ là hướng nghiên cứu mới trong tương lai.

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

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được thực hiện dưới sự tài trợ của đề tài nghiên cứu khoa học cấp Đại học Mỏ-Địa chất, mã số T22-38.

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. Báo cáo điều chỉnh, bổ sung quy hoạch, thăm dò, khai thác, chế biến đá làm vật liệu xây dựng thông thường tỉnh Thanh Hóa đến năm 2020 do Sở Xây Dựng Thanh Hóa lập.
2. Báo cáo hoạt động khoáng sản (2013–2019). Tổng Cục địa chất và Khoáng sản Việt Nam.
3. Арсентьев, А.И. Разработка месторождений твёрдых полезных ископаемых открытым способом// СПб.: РИЦ СПГГИ, 2010, pp. 117.
4. Баженов, Ю.М. Проектирование предприятий по производству строительных материалов и изделий // Учебник. М.: Издательство АСВ, 2005, pp. 472.
5. Лигоцкий, Д.Н. Организация проектирования и строительства рудных и угольных карьеров: Учебное пособие/ Д.Н. Лигоцкий, С.И. Фомин// СПГГИ (ТУ) им. Г.В. Плеханова, 2010, pp. 86.
6. Фомин, С.И. Производительность карьеров и спрос на минеральное сырьё// СПГГИ (ТУ), 1999, pp. 169.
7. Фомин, С.И. Производительность карьеров и спрос на минеральное сырьё// СПб.: Изд-во Тема, 1999, pp. 167.

8. Ржевский, В.В. Открытые горные работы. Производственные процессы: Учебник для вузов/ В.В. Ржевский// М.: Недра, Часть 1985, 1, pp. 509.
9. Ржевский, В.В. Открытые горные работы. Технология и комплексная механизация: Учебник для вузов/ В.В. Ржевский// М.: Недра, Часть 1985, 2, pp.549.
10. Giao, H.S. Kỹ Thuật khai thác đá vôi, Nhà xuất bản công nhân kỹ thuật, 1981.
11. Tuân, N.T. Nghiên cứu chọn phương pháp khai thác hợp lý cho khoáng sàng đá vôi Việt Nam có địa hình dạng núi cao. Luận án phó tiến sĩ khoa học, Trường Đại học Mỏ-Địa chất, 1985.
12. Hoa, L.T.T. Phân tích đánh giá công nghệ khai thác đá vôi ở các mỏ đá phía Bắc Việt Nam, Luận văn thạc sĩ, Trường Đại học Mỏ – Địa chất, 1998.
13. Bão, T.Đ. Hoàn thiện các thông số của hệ thống khai thác khẩu theo lớp đứng chuyển tải bằng năng lượng chất nổ ở những mỏ vật liệu xây dựng dạng địa hình núi cao. Luận văn thạc sĩ, Trường Đại học Mỏ – Địa chất, 2013.
14. Vu, T.; Bao, T.D.; Drebenstedt, C.; Hien, P.; Hoai, N.; Duc, N. Optimisation of long-term quarry production scheduling under geological uncertainty to supply raw materials to a cement plant. Trans. Inst. Min. Metall., Sect. A: Min. Technol. 2021.
15. ЧАН ДИНЬ БАО. Обоснование параметров технологических схем открытой разработки сложноструктурных месторождений цементного сырья Вьетнама, Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук, Санкт-Петербургский горный университет, 2019.
16. Igorevich, F.S.; Bao, T.D.; Hoan, D.N. Определение параметров берм безопасности для горнотехнических условий карьеров Вьетнама. Горный информационно-аналитический бюллетень, 2019.
17. Tuấn, N.A.; Việt, P.V.; Minh, L.Đ. Đề xuất mô hình khai thác hợp lý cho các mỏ đá vôi tỉnh Bắc Kạn. Tạp chí Công nghiệp Mỏ 2010, 4, 24–27.
18. Tuấn, N.A.; Hiếu, V.Đ. Kích thước hình học các khối đá và nguy cơ mất ổn định bờ mỏ và sườn dốc. Tạp chí Công nghiệp Mỏ 2016, 2, 53–58.
19. Báo cáo thăm dò đá vôi làm nguyên liệu sản xuất xi măng đến cốt +10m tại xã Hà Vinh, huyện Hà Trung, tỉnh Thanh Hóa do Công ty CP Khảo sát và Xây dựng lập tháng 7 năm 2015.

Research on selection of reasonable mining system for the zone II at Lam Son limestone quarry

Tran Dinh Bao^{1*}, Pham Van Viet¹, Vu Dinh Trong², Hoang Dinh Nam¹

¹ Hanoi University of Mining and Geology; trandinhbao@humg.edu.vn; phamvanviet@humg.edu.vn; 2021040137@student.humg.edu.vn

² Quang Ninh University of Industry; trongvu.sme@gmail.com

Abstract: Selection of a reasonable mining system is one of the most important problems in raw materials quarries. Wrong selection can cause many serious issues such as cost increase, unsafety, labour efficiency reduction, lowering quarry life, or eventually changing quarry mining design. This research analyzes completely the influencing factors on mining system including terrain, geological conditions, hill slope, production requirements, investment capital to propose two possible mining systems. Also, the economic and technical comparisons between those two mining systems have been done in detail to select the optimal one. The chosen method for the Zone II of Lam Son quarry is proven to be more efficient with lower mining cost, more 2,5 billion VND of profit and a faster time of capital recovery, etc.

Keywords: Lam Son; Mining system; Limestone quarry; Complex terrain; Labour safety; Economical efficiency.