

Selecting a suitable model for the closure of building material stone mines for sustainable development in Binh Duong, Vietnam



Viet Hong Phan ¹, Nam Xuan Bui ^{2,3}, Tuoc Ngoc Do ^{3,4}, Hoan Ngoc Do ^{2,3,*}

¹ Binh Duong Department of Industry and Trade, Vietnam

² Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

³ Innovations for Sustainable and Responsible Mining (ISRM) Group, Hanoi, Vietnam

⁴ Institute of Mining Science and Technology (IMSAT), Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:

Received 27th Apr. 2023

Revised 29th July 2023

Accepted 25th Aug. 2023

Keywords:

Binh duong,
Criteria,
Material stone,
Mine closure,
Model.

ABSTRACT

The closure and environmental restoration of quarry sites for construction material extraction in Vietnam in general and in Binh Duong province in particular still face various challenges that have not brought significant and sustainable development opportunities. The study aims to select a suitable model for the closure of building material stone mines to contribute to sustainable development in Binh Duong. Based on the survey of economic-social characteristics, environmental safety, and development policies of the construction material quarrying area in Binh Duong province, this study applied SMART methods to determine specific objectives as a basis for constructing measurable, achievable, relevant, and time-bound criteria for evaluating quarry closure options. The simple additive weighting method was employed to calculate the value of each option, which was optimized through the analytic hierarchy process for clear criteria or the fuzzy analytic hierarchy process method for dealing with uncertain or ambiguous criteria, to determine the reasonable option for mine closure. For criteria that was ambiguous or unclear, the fuzzy analytic hierarchy process was employed to establish reasonable options for quarry closure. Synthesizing the research results for two closure options after extraction for a typical quarrying area in Binh Duong, the study selected a viable option that effectively utilized land resources, created new residential areas for the local population, and utilized the quarry pit for solar energy extraction, which is a clean energy source that brings economic and social benefits to the region. This approach could serve as a valuable reference for mine closure decision-making processes in Vietnam and other countries facing similar challenges in sustainable development.

Copyright © 2023 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

E - mail: dongochoan@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2023.64(4).10



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



Nghiên cứu lựa chọn mô hình đóng cửa các mỏ đá vật liệu xây dựng phù hợp góp phần phát triển bền vững tại Bình Dương, Việt Nam

Phan Hồng Việt ¹, Bùi Xuân Nam ^{2,3}, Đỗ Ngọc Tước ^{3,4}, Đỗ Ngọc Hoàn ^{2,3,*}

¹ Sở Công thương tỉnh Bình Dương, Việt Nam

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

³ Nhóm Nghiên cứu mạnh ISRM, Hà Nội, Việt Nam

⁴ Viện Khoa học Công nghệ Mỏ (IMSAT), Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 27/3/2023

Sửa xong 29/7/2023

Chấp nhận đăng 25/8/2023

Từ khóa:

Bình Dương,

Đóng cửa mỏ,

Mô hình,

Tiêu chí,

Vật liệu xây dựng.

TÓM TẮT

Công tác đóng cửa mỏ và phục hồi môi trường sau khai thác cho các mỏ khai thác đá vật liệu xây dựng ở Việt Nam nói chung và tại Bình Dương nói riêng còn gặp nhiều bất cập chưa mang lại những cơ hội đáng kể và phù hợp với mục tiêu phát triển bền vững. Dựa trên cơ sở khảo sát các đặc điểm kinh tế - xã hội, đảm bảo an toàn môi trường và chính sách phát triển khu vực khai thác đá vật liệu xây dựng tại tỉnh Bình Dương. Nghiên cứu đã áp dụng các phương pháp SMART để xác định các mục tiêu cụ thể, từ đó làm cơ sở để xây dựng các tiêu chí có thể đo lường được, có thể đạt được, có liên quan, đúng thời gian đối làm cơ sở đánh giá các phương án đóng cửa mỏ. Phương pháp trọng số cộng đơn giản SAW sử dụng hàm cộng tuyến tính để tính giá trị của mỗi phương án, tối ưu bằng tiến trình phân tích cấp bậc (analytic hierarchy process) đối với các tiêu chí rõ ràng hoặc phương pháp xử lý phân cấp phân tích mờ để xử lý được sự mơ hồ hoặc không rõ ràng để làm cơ sở xác định phương án hợp lý cho công tác đóng cửa mỏ. Tổng hợp kết quả nghiên cứu cho hai phương án đóng cửa mỏ sau khai thác đối với khu mỏ điển hình cho hoạt động khai thác đá vật liệu xây dựng tại Bình Dương, nghiên cứu lựa chọn được phương án hợp lý là vừa tận dụng được quỹ đất, hình thành khu dân cư mới cho cư dân, mặt nước moong khai thác cũng được tận dụng khai thác điện mặt trời - đây là nguồn năng lượng sạch, mang lại lợi ích cả về mặt kinh tế - xã hội cho khu vực.

© 2023 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

*Tác giả liên hệ

E - mail: dongochoan@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.2023.64(4).10

1. Mở đầu

Đóng cửa mỏ được đánh giá là một trong những hoạt động rủi ro hàng đầu của khai thác mỏ, tầm quan trọng của nó ngày càng được thừa nhận, các quy định đóng cửa mỏ được yêu cầu nghiêm ngặt hơn đã được áp dụng từ những năm 1990 (Tomlins và nnk., 2007; Norouzi và nnk., 2021). Việc đóng cửa mỏ các thể gây ra các tác động tiêu cực như mất việc làm, thâm hụt nguồn thu từ thuế, ảnh hưởng tới phát triển cơ sở hạ tầng, giảm nhu cầu về hàng hóa và dịch vụ địa phương và đặc biệt là cảnh quan môi trường (Antwi và nnk., 2017; Gupta và nnk., 2012; Hancock và nnk., 2003). Các cơ hội phát triển mà các mỏ có thể mang lại cho cộng đồng địa phương sau khi đóng cửa mỏ cần được nghiên cứu cẩn trọng. Nếu được quản lý hợp lý, quá trình chuyển đổi khi đóng cửa mỏ có thể mang lại những cơ hội đáng kể phù hợp với mục tiêu phát triển bền vững (SDGs), chẳng hạn như tái định cư, phát triển cơ sở hạ tầng cho các mục đích khác tạo ra nguồn lực kinh tế mới (Monosky and Keeling, 2021; Butler và nnk., 2016).

Trên thế giới, các tổ chức như Hội đồng Quốc tế về khai thác và kim loại (ICMM), Ngân hàng thế giới đã có những báo cáo về khung đóng cửa mỏ bền vững (IIED, 2002; ICMM, 2012); các nước có nền công nghiệp mỏ phát triển như Mỹ, Úc, Canada, Nam Phi đã luật hóa công tác đóng cửa mỏ và ban hành sổ tay hướng dẫn chi tiết. Các quốc gia khác nhau có những yêu cầu một cách chi tiết khác nhau về đóng cửa mỏ, tuy nhiên một số nước không qui định nhiều về đóng cửa mỏ (IIED, 2022; ICMM, 2019; Clark, 2005). Các công trình nghiên cứu đã nhấn mạnh tầm quan trọng và hiệu quả tích cực của việc kết hợp các bên liên quan quản lý nhà nước, chủ đầu tư và chính quyền địa phương trong việc ra quyết định đối với các khu vực sau khai thác (Akbar và nnk., 2019; Doley and Audet, 2013; Worrall và nnk., 2009). Trong đó, các quan điểm của cộng đồng ít được quan tâm mà chủ yếu là các tác động xã hội, kinh tế và văn hóa (McHaina, 2001; Cooke and Johnson, 2002; Lei và nnk., 2016; Srivastava và nnk., 2014; Bielecka, 2010; Smith, 2016; Bascetin, 2007; Pavloudakis và nnk., 2009; Hoang, 2016; Mukhopadhyay, 2014).

Nhìn chung, các quy định về đóng cửa mỏ chủ yếu tập trung vào các khía cạnh môi trường và vật lý cụ thể là cải tạo và phục hồi, khía cạnh xã hội ít được kể tới (Monosky, 2021; Vivoda và nnk.,

2019; Clark, 2005). Trên thế giới chỉ một số quốc gia và các tỉnh hoặc bang riêng lẻ đã ban hành và thực thi các luật hoặc quy định thực tế về đóng cửa mỏ như: Vương quốc Anh, Chile, Peru, Manitoba và Ontario - Canada và bang Nevada, Hoa Kỳ, hầu hết các quốc gia đều có các yêu cầu đóng cửa mỏ lồng ghép trong luật khai thác mỏ hoặc trong luật môi trường (IIED, 2002; Vivoda và nnk., 2019; Clark, 2005). Cách tiếp cận hiện đại để đóng cửa là tuân thủ các yêu cầu lập pháp ở mức tối thiểu và vượt quá những yêu cầu này bất cứ khi nào có thể (ANZMEC, 2000).

Trong những năm gần đây, các hướng dẫn thực hành tốt nhất của các tổ chức quốc tế đã khuyến khích các công ty khai thác cam kết thực hiện các nguyên tắc phát triển bền vững trong việc lập kế hoạch đóng cửa mỏ (Asr và nnk., 2019; Bainton và Holcombe, 2018). Các tổ chức phát triển quốc tế đã thiết lập các hướng dẫn và đề xuất các tiêu chuẩn về đóng cửa mỏ. Một số chủ đề chính trong các hướng dẫn và tiêu chuẩn này bao gồm lập kế hoạch đóng cửa tích hợp xem xét bối cảnh môi trường, tài chính, vật chất và kinh tế xã hội của một khai trường cụ thể, kết hợp quan điểm của các bên liên quan bao gồm các mục tiêu cộng đồng và các khía cạnh của phúc lợi xã hội, quản lý môi trường dựa trên tối ưu hóa công tác bảo vệ, sử dụng đất và cơ sở hạ tầng (Bainton và Holcombe, 2018; ICMM, 2019). Một số đạo luật đưa ra bao gồm các thực hành sử dụng đất bền vững theo khuôn khổ luật định như sau: i) Việc đóng cửa phải bắt đầu khi bắt đầu giai đoạn hoạt động và tiếp tục cho đến khi bắt đầu giai đoạn đóng cửa; ii) Phải đạt được việc định lượng và quản lý các rủi ro môi trường; iii) Các quy định về An toàn và Sức khỏe Mỏ phải được tuân thủ; iv) Phải đạt được việc xác định và định lượng các tác động môi trường còn sót lại; v) Đất phải được phục hồi về trạng thái tự nhiên hoặc về trạng thái xác định trước theo thỏa thuận bởi chính phủ đưa vào khái niệm phát triển bền vững; vi) Hoạt động khai thác phải được đóng lại một cách hiệu quả và tiết kiệm chi phí (Bui và nnk., 2015; Ho và nnk., 2010).

Việt Nam có khoảng 5000 điểm mỏ khai thác trên 60 loại hình khoáng sản khác nhau. Trong đó, một số loại khoáng sản có tiềm năng, trữ lượng đủ để khai thác như: Bauxit, Titan-zircon, đất hiếm, than đá, đá vôi, apatit, đá hoa trắng,(Ho và nnk., 1996; 2009; Phung, 2005) Khoáng sàng đá vôi là vật liệu xây dựng (VLXD) thông thường ở Việt

Nam rất đa dạng và phong phú về nguồn gốc thành tạo, phân bố từ nam ra bắc với trữ lượng lớn. Đây là điều kiện thuận lợi cho các địa phương khai thác và sử dụng tại chỗ nguồn đá vật liệu xây dựng tại chỗ để tạo nguồn thu và phát triển cơ sở hạ tầng địa phương. Tuy nhiên, chính điều này cũng tạo ra việc khai thác và quản lý với quy mô nhỏ mang tính cục bộ từng mỏ, từng địa phương mà không được xem xét quy hoạch kỹ cũng như đồng bộ về quy hoạch khai thác và đóng cửa mỏ (Ho và nnk., 2010; Hoang 2016; Bui và nnk., 2015). Trong lịch sử, việc đóng cửa mỏ không phù hợp đã gây ra những hậu quả tiêu cực lâu dài (Nguyen và Nguyen, 2010; Hoang and Huynh 2001; Phan and Do, 2020). Ví dụ như việc rất nhiều mỏ đá VLXD sau khi kết thúc khai thác không thực hiện công tác cải tạo phục hồi môi trường và đóng cửa mỏ do sự quản lý yếu kém ở địa phương dẫn tới những nguy hiểm khi để lại các vách đá thẳng đứng có khả năng gây sạt lở, các hố nước sâu vài chục tới hàng trăm mét gây những tai nạn đuối nước thương tâm, các hố rãnh không được san lấp,... gây ra nhiều nguy cơ mất an toàn cho con người (Hoang và nnk., 2012; Phan và Do 2020). Việc quản lý và quy hoạch không đồng bộ cũng gây ra hậu quả là khó khăn cho công tác chuyển đổi mục đích sử dụng đất sau khai thác. Do các mỏ thường được cấp với quy mô khai thác, diện tích nhỏ, việc cấp phép được thực hiện độc lập và có thời gian cấp phép và khai thác là khác nhau dẫn tới thiếu đồng bộ trong quy hoạch đóng cửa mỏ.

Tại Việt Nam, các qui định đóng cửa mỏ được xác định là sau khi kết thúc khai thác đưa mỏ về trạng thái ổn định: san gạt, cải tạo tầng, tháo dỡ công trình,... Lập kế hoạch đóng cửa mỏ và trình các cơ quan chức năng khi chuẩn bị kết thúc khai thác. Hoạt động đóng cửa mỏ mới quan tâm chủ yếu về ổn định vật lý của công trình, chưa tích hợp các yếu tố kinh tế, xã hội vào việc đóng cửa mỏ. Mặt bằng sử dụng đất sau đóng cửa mỏ liên quan trực tiếp tới xã hội, nhưng mới định hướng sử dụng làm hồ chứa nước, trồng cây không có hướng dẫn cụ thể về tính ổn định vật lý, hóa học... Chi phí đóng cửa mỏ phải sử dụng kinh phí của dự án mà với mỗi mô hình sử dụng đất sau khai thác khác nhau chi phí đóng cửa mỏ sẽ khác nhau ảnh hưởng tới hiệu quả của nhà đầu tư. Khi đó, cần xem xét tuổi thọ, biên giới kết thúc, các giải pháp đảm bảo ổn định khác nhau để đảm bảo dự án hiệu quả sau đóng cửa. Sử dụng đất sau đóng cửa các

mỏ chưa hiệu quả, định hướng sử dụng các mặt bằng được nêu trong báo cáo đánh giá tác động môi trường (ĐTM) thường mang tính đối phó, đơn giản, càng ít chi phí cải tạo càng tốt, chưa thực sự phù hợp với đặc điểm tự nhiên và kinh tế xã hội của khu vực.

Các mỏ trong cùng khu vực chưa có sự liên kết trong một tổng thể chung, chưa có mô hình đóng cửa tích hợp để việc sử dụng mặt bằng sau đóng cửa tối ưu nhất. Các công trình nghiên cứu hiện có mới tập trung vào việc sử dụng mặt bằng sau đóng cửa trên cơ sở các tiêu chí đảm bảo mục tiêu đề ra mà chưa có các nghiên cứu về ổn định cho từng mô hình.

Trên cơ sở các đặc điểm tự nhiên kinh tế xã hội khu vực mỏ, sử dụng phương pháp phân tích đa tiêu chí (MCA) xây dựng bộ tiêu chí và sử dụng kỹ thuật tiến trình phân cấp bậc (AHP) để lựa chọn hình thức sử dụng mặt bằng sau khai thác (MBSKT) mỏ hợp lý nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng đất cũng như tính tích cực của hoạt động khoáng sản. Trong báo cáo các thông tin của cụm mỏ Tân Đông Hiệp, huyện Dĩ An, tỉnh Bình Dương được sử dụng và đánh giá bằng phương pháp MADA và kỹ thuật AHP để lựa chọn hướng sử dụng hợp lý MBSKT mỏ (Hoang và nnk., 2012). Đặc thù các mỏ đá VLXD khu vực Đông Nam Bộ là khai thác dưới mức thoát nước tự chảy. Khi kết thúc khai thác tạo thành những không gian chứa nước mặt và nước ngầm. Phụ thuộc các yếu tố địa hình, địa chất, qui hoạch của địa phương có thể xem xét các mô hình đóng cửa và sử dụng mặt bằng: hồ nước nuôi trồng thủy sản, khu công viên giải trí, hồ chứa nước và bãi chứa chất thải... Việc xem xét hiệu quả các tiêu chí kỹ thuật, môi trường, kinh tế và xã hội đã được xác định là cơ sở quan trọng lựa chọn tối ưu mô hình đóng cửa đã xác định, sử dụng quy trình phân tích thứ bậc (AHP) và phương pháp tổ chức xếp hạng ưu tiên (PROMETHEE) để đánh giá cho thấy thấy mô hình nuôi trồng thủy sản được lựa chọn phù hợp nhất cho các mỏ đá xây dựng Bình Dương cũng đã được nghiên cứu (Phan và Do, 2020). Nhận diện các vấn đề hiện trạng sử dụng tài nguyên đất sau đóng cửa mỏ đá để đề xuất phương án cải tạo, phục hồi môi trường phù hợp bối cảnh địa phương theo xu hướng phát triển bền vững. Quá trình phân tích cho thấy những ưu điểm của việc tận dụng tiềm năng mỏ đá sau khai thác đảm bảo quỹ đất, góp phần phát triển kinh tế gắn liền cải tạo, phục hồi

môi trường (Saaty, 2008). Các nghiên cứu trước đây giải quyết vấn đề tồn tại liên quan đến các phân tích kịch bản đóng cửa và sử dụng đất sau đóng cửa mỏ có sự tham gia hỗ trợ việc đưa ra quyết định trước. Các mỏ đá khai thác xuống sâu tại Bình Dương có đặc điểm: Khai thác xuống sâu, gần các công trình cần bảo vệ, khu vực có tốc độ đô thị hóa nhanh,... Để đảm bảo công tác đóng cửa mỏ bền vững, nghiên cứu đi sâu nghiên cứu, phát triển các vấn đề như sau:

- Xây dựng cơ sở khoa học đóng cửa mỏ bền vững cho các mỏ đá khai thác xuống sâu:

+ Lựa chọn mục tiêu đóng cửa mỏ phù hợp với đặc điểm, tính chất đất đá và khả năng sử dụng mặt bằng sau khi đóng cửa trên cơ sở đóng cửa mỏ tích hợp các vấn đề kinh tế, xã hội, môi trường;

+ Xây dựng mô hình tính toán tuổi thọ mỏ tối ưu khi tính toán tới phương án đóng cửa mỏ và sử dụng mặt bằng sau khi đóng cửa;

+ Cân bằng nước và dự báo khối lượng, chất lượng nước tại các khu vực sau khai thác làm hồ chứa;

+ Nghiên cứu ổn định hồ khi tính đến động đất kích thích.

- Xây dựng khung tiêu chí đóng cửa mỏ bền vững dựa trên các trụ cột: môi trường, kinh tế, xã hội; trên cơ sở kinh nghiệm của các nước, các mỏ trong nước và ý kiến chuyên gia;

- Xây dựng các mô hình đóng cửa mỏ phù hợp với mỏ đá khai thác xuống sâu; sử dụng lý thuyết tiện ích đa thuộc tính để xác định mô hình đóng cửa mỏ với kết quả bền vững nhất về mặt kinh tế, môi trường và xã hội.

- Xây dựng quy trình đóng cửa mỏ cho các mỏ: chuẩn bị, đang khai thác và chuẩn bị kết thúc.

2. Khảo sát khu vực nghiên cứu

2. 1. Khu vực nghiên cứu

Bình Dương là một tỉnh công nghiệp đi đầu trong cả nước. Cùng với sự phát triển kinh tế và xây dựng cơ sở hạ tầng thì nhu cầu về đá VLXD ngày càng lớn. Hiện trên địa bàn tỉnh có 32 điểm mỏ đã được cấp giấy phép thăm dò đá VLXD với tổng diện tích đã thăm dò hơn 1.046 ha, trữ lượng đã được phê duyệt hơn 710 triệu m³. Toàn tỉnh có 26 mỏ đá đã được cấp giấy phép khai thác đá xây dựng đang hoạt động với tổng diện tích 777 ha, trữ lượng được phép khai thác 377,1 triệu m³. Theo quy hoạch đã được duyệt, các mỏ đá ở huyện Bắc

Tân Uyên cho phép thăm dò, khai thác đến độ sâu -70 m và được thông giữa các mỏ liền kề nhau. Riêng mỏ đá Thường Tân III và Thường Tân IV được cấp phép thăm dò, khai thác đến độ sâu -100m. Hiện vẫn còn một số mỏ chỉ mới bóc tầng phủ và xây dựng cơ bản, chưa đi vào hoạt động khai thác, như các mỏ đá của Công ty TNHH Hưng Thịnh. Một số mỏ chưa đi vào hoạt động như mỏ đá Thường Tân VII khu II (chưa được cấp phép) của Công ty Cổ phần Miền Đông và mỏ đá Thường Tân VII khu I của Công ty TNHH Bảo Thành. Nhìn chung, các mỏ đá khu vực Bình Dương đến nay khai thác đến độ sâu không đồng đều, nhưng đều có xu hướng xin phép thăm dò đánh giá trữ lượng đến độ sâu cho phép là -70 m và dự kiến còn sâu hơn nữa. Hiện tại, có một số mỏ đang trong giai đoạn kết thúc khai thác và đóng cửa mỏ.



Hình 1. Cụm mỏ đá VLXD Thường Tân - Tân Mỹ, Bình Dương.



Hình 2. Cụm mỏ đá VLXD Phú Giáo, Bình Dương.

2. 2. Khảo sát thực địa

Để khảo sát khu vực khai thác và dân cư xung quanh làm cơ sở để cập nhật hiện trạng khai thác, tình hình sử dụng đất và xây dựng các phương án

cải tạo phục hồi môi trường và đóng cửa mỏ cho hai khu vực cụm mỏ khai thác đá VLXD trên địa bàn tỉnh Bình Dương. Nhóm nghiên cứu đã sử dụng thiết bị không người lái UAV để thu thập dữ liệu và xử lý trong năm 2020.

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Phương pháp SMART

Phương pháp SMART dựa trên đánh giá tiêu chuẩn các tiêu chí: cụ thể, có thể đo lường được, có thể đạt được, có liên quan, đúng thời gian.

- **Cụ thể:** các tiêu chí phải liên quan trực tiếp đến các mục tiêu và các hoạt động đóng cửa riêng lẻ. Hoạt động đóng cửa hoặc nhóm đóng cửa các hoạt động không có tiêu chí liên quan chỉ ra lỗ hổng; một tiêu chí không có biện pháp liên quan hoặc các biện pháp có thể chỉ ra tiêu chí quá chung chung.

- **Có thể đo lường:** nếu một tiêu chí không thể đo lường được thì không có cách nào để chứng minh với cơ quan quản lý hoặc các bên liên quan rằng nó đã được đáp ứng. Trong khi phương pháp đo lường thường rõ ràng đối với số tiêu chí (chẳng hạn như nồng độ hoặc tỷ lệ xả thải), các tiêu chí có thể yêu cầu các hình thức đo lường thay thế (chẳng hạn như hoàn thành một nhiệm vụ nhất định được thực hiện thông qua các bản vẽ đã xây dựng hoặc kiểm tra thực địa). Một số mục tiêu có thể yêu cầu sự kết hợp của phép đo định tính và định lượng

- **Có thể đạt được:** nếu muốn bàn giao hoặc trả lại sự đảm bảo tài chính, điều quan trọng là các tiêu chí phải thực tế và có thể đạt được. Các tiêu chí không thực tế hoặc kém xác thực có thể trì hoãn hoặc ngăn cản việc từ bỏ, hoặc kéo dài thời gian theo dõi một cách không cần thiết.

- **Có liên quan:** các tiêu chí phải phù hợp với các mục tiêu đóng cửa và bối cảnh xã hội, môi trường và quy định của địa phương.

- **Đúng thời gian:** tiêu chí sẽ có một thành phần thời gian, rõ ràng hoặc ngầm định. Một số có thể được coi là hoàn thành ngay sau khi thực hiện các hoạt động đóng cửa liên quan trong khi những người khác sẽ yêu cầu một thời gian theo dõi. Đối với các tiêu chí sẽ yêu cầu một giai đoạn giám sát, điều quan trọng là phải sớm làm rõ trong việc lập kế hoạch thời gian theo dõi sẽ được xác định rõ ràng.

3.2. Phương pháp SAW

Phương pháp trọng số cộng đơn giản là một trong nhiều phương pháp phổ biến, dễ hiểu, dễ sử dụng. Phương pháp này dựa trên lý thuyết giá trị đa thuộc tính (Multiple Attribute Value Theory (MAVT)) và dựa trên giả thiết về sự độc lập của các thuộc tính. Phương pháp SAW sử dụng hàm cộng tuyến tính để tính giá trị của mỗi phương án dưới dạng Value Theory (MAVT) và dựa trên giả thiết về sự độc lập của các thuộc tính. Phương pháp SAW sử dụng hàm cộng tuyến tính để tính giá trị của mỗi phương án.

Quy trình tính trọng số theo phương pháp thứ tự:

- Xác định nhiệm vụ phân tích, mục tiêu phân tích, các phương án cần so sánh để quyết định;
- Cụ thể hóa mục tiêu thành mục tiêu thành phần, mục tiêu thành phần thành các tiêu chí và chỉ thị đo, đơn vị đo;
- Xác định tiêu chí làm căn cứ chọn và các chỉ thị đo (định tính, định lượng);
- Chuẩn hóa dữ liệu, đưa dữ liệu về cùng thứ nguyên:

$$S_i = (S - S_{max}) / (S_{max} - S_{min}) \quad (1)$$

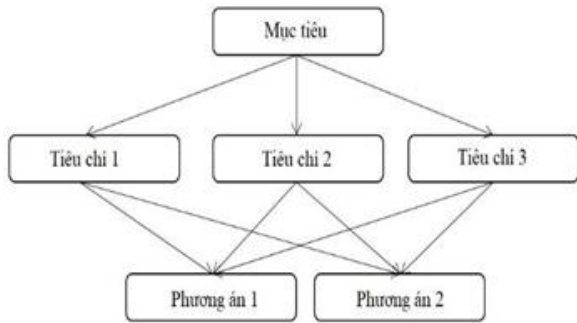
- Tính trọng số cho các tiêu chí;
- Tính điểm đánh giá và so sánh các phương án.

3.3. Phương pháp AHP

Lựa chọn mô hình tối ưu bằng tiến trình phân tích cấp bậc (Analytic Hierarchy Process - AHP). Đây là một trong những kỹ thuật nổi tiếng nhất và được sử dụng rộng rãi nhất trong phân tích đa tiêu chí để giải quyết các quyết định phức tạp. AHP cung cấp một khung toàn diện và hợp lý để cấu trúc một quyết định, để đại diện và định lượng các yếu tố của quyết định, để liên hệ các yếu tố với mục tiêu tổng thể và để đánh giá các giải pháp. AHP được sử dụng trên khắp thế giới trong các lĩnh vực như chính phủ, kinh doanh, y tế, công nghiệp và giáo dục (Che, 2012; Lechner và nnk., 2017).

Mục đích của AHP là giúp mọi người tổ chức các suy nghĩ và phán đoán của họ để đưa ra quyết định hiệu quả hơn. AHP cung cấp thuật toán khách quan để xử lý các thể tách rời khỏi chủ quan và các sở thích riêng tư của một cá nhân hoặc nhóm

trong việc đưa ra quyết định (Guillet và nnk., 2010). Sơ đồ cấu trúc thứ bậc AHP ở Hình 3.



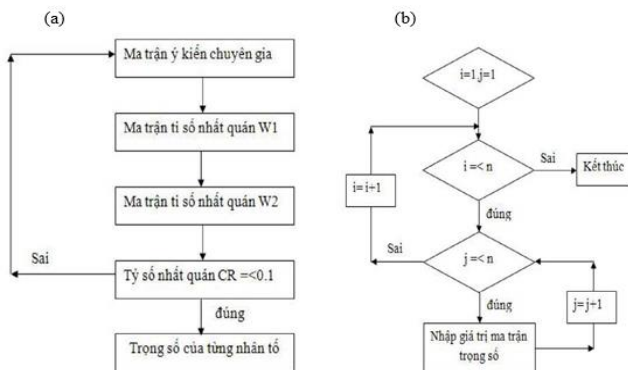
Hình 3. Sơ đồ cấu trúc thứ bậc AHP.

Phương pháp giải bài toán AHP gồm 4 bước cơ bản sau (Hinton và nnk., 2011):

a) Thiết lập thứ bậc: Phân tích là khả năng của con người trong nhận thức phức tạp, phân biệt trao đổi thông tin. Để nhận thức được thực tiễn phức tạp, con người phân chia ra làm nhiều thành phần cấu thành, các phần này lại được phân thành nhỏ hơn và như vậy thành các thứ bậc.

b) So sánh các thành phần thông qua so sánh cặp là so sánh cặp dùng để xác định tầm quan trọng tương đối của mỗi nhân tố. Kết quả cuối cùng được phát triển thành một ma trận so sánh. Ma trận này được sử dụng thể hiện mối quan hệ của các nhân tố với nhau. Sau đó tổng hợp số liệu về độ ưu tiên để có trị số chung của mức độ ưu tiên, cần tổng hợp các số liệu duy nhất về độ ưu tiên. Sử dụng phương pháp xác định chuẩn hoá vector w . Cuối cùng là kiểm tra tính nhất quán của các so sánh cặp.

Căn cứ vào bảng khảo sát đề tài đã sử dụng kỹ thuật AHP xác định tính nhất quán và đề xuất bộ tiêu chí với các trọng số thể hiện trên các bảng.



Hình 4. Sơ đồ thuật giải (a) và sơ đồ thuật toán (b)

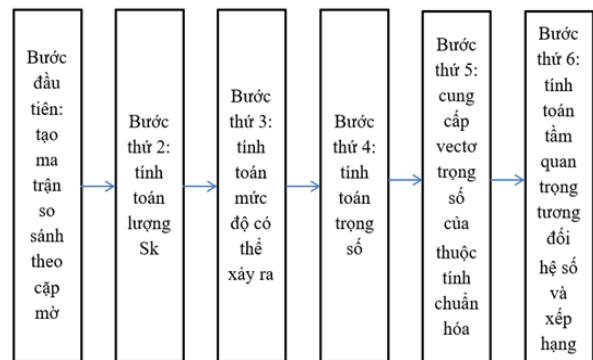
Dữ liệu nghiên cứu được đồng bộ, tính toán trị số trung bình hình học và các trọng số (W_i). Các số liệu thu thập phân tích thống kê và xử lý bằng phần mềm Excel 2016 và SPSS 16.0.

3.4. Phương pháp FAHP

Phương pháp AHP tạo điều kiện thuận lợi cho các phán đoán và ưu tiên tính toán bằng cách sử dụng so sánh theo cặp. Đây cũng là quy trình tốt nhất để thực hiện so sánh phán đoán theo cặp (Akbar và nnk., 2019; Worrall và nnk., 2009). Tuy nhiên, các phán đoán của con người hoàn toàn không chính xác do đó các ưu tiên không được xác định bằng số lượng chính xác (Akbar và nnk., 2019). Lý thuyết mờ được phát triển bởi Zadeh (1965) để khắc phục những phán đoán và sở thích không chính xác. Nhiều phương pháp cân đo các thuộc tính và các phương án thay thế được thực hiện một cách thông minh bằng các thang đo định tính, trong khi việc xác định logic các ưu tiên là khó khăn đối với những người ra quyết định nói chung (Hinton và nnk., 2011). Do đó, để thực hiện các phép so sánh phán đoán theo cặp chính xác và ra quyết định, lý thuyết tập mờ và phương pháp AHP được kết hợp cho kết quả tốt (Norouzi và nnk., 2021). Sau đó, các phương pháp khác đã được trình bày thông qua việc kết hợp hai cách tiếp cận này (Lei và nnk., 2016). Vì tính mơ hồ và mơ hồ là những đặc điểm chung trong nhiều vấn đề ra quyết định, nên phương pháp xử lý phân cấp phân tích mờ (FAHP) sẽ có thể xử lý được sự mơ hồ hoặc không rõ ràng (Monosky và Keeling, 2021).

Các bước của thuật toán FAHP xem Hình 5.

Bước 1: bao gồm việc tạo ma trận so sánh theo cặp mờ. Trong bước này, ma trận so sánh theo cặp khôn ngoan được thiết lập thông qua suy nghĩ mờ và FTN sử dụng phương pháp AHP.



Hình 5. Các bước thực hiện quy trình FAHP

Bước 2: tính toán lượng S_k . Trong này bước, lượng S_k là TFN và được tính cho mỗi hàng của ma trận so sánh theo cặp theo biểu thức (1).

$$S_k = \sum_{j=1}^n M_{kl} \cdot \left[\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n M_{ij} \right]^{-1} ; i = 1, 2, \dots, m; j = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

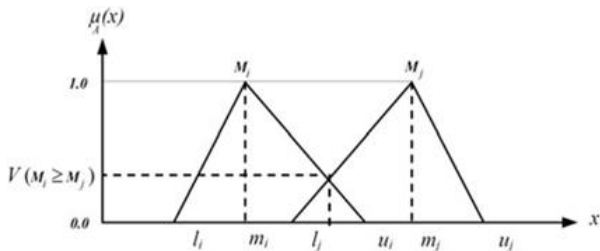
Trong đó: k- số lượng của mỗi hàng; i, j- lần lượt là chỉ số của thay thế và thuộc tính.

Bước 3: bao gồm tính toán mức độ khả thi. Trong bước này, mức độ có thể xảy ra của các S_k khác nhau được tính toán. Nếu M_i và M_j là hai FTN, mức độ khả năng của M_i đến M_j được biểu thị theo biểu thức (2).

$$V(M_i \geq M_j) = \begin{cases} 1, & m_i \geq m_j \\ \frac{u_i - l_j}{(u_i - l_j) + (m_j - m_i)}, & l_j < m_i < u_j \\ 0, & \text{nếu không thì} \end{cases} \quad (2)$$

$\leq u_i, i, j = 1, 2, \dots, n; j \neq i$

Trong đó: $M_i = (l_i, m_i, n_i)$; $M_j = (l_j, m_j, n_j)$; $V(M_i \geq M_j)$ - mức độ khả dĩ của M_i thành M_j , Hình 6 minh họa mức độ có thể xảy ra.



Hình 6. Mức độ khả năng của V, M_i, M_j .

Mức độ khả năng xảy ra FTN từ k FTN khác được tính theo công thức (3).

$$V(M_1 \geq M_2, \dots, M_k) = [V(M_1 \geq M_2), \dots, V(M_1 \geq M_k)] \quad (3)$$

Trong đó: k - chỉ số của FTN cuối cùng.

Bước 4: bao gồm tính toán trọng lượng. Trọng số được tính theo công thức (4).

$$W'(x_1) = \text{Min}\{V(S_i \geq S_k)\}, i = 1, 2, \dots, k; k = 1, 2, \dots, n; i \neq k \quad (4)$$

Trong đó: S - trọng lượng mong muốn. Vectơ của trọng lượng đạt được theo phương trình (5).

$$W' = [W'_{(c_1)}, W'_{(c_2)}, \dots, W'_{(c_n)}]^T \quad (5)$$

Trong đó: W' - vectơ trọng số của các thuộc tính.

Bước 5: bao gồm để có được vectơ trọng số của các thuộc tính chuẩn hóa. Vectơ trọng số của các thuộc tính chuẩn hóa được thực hiện theo công thức (6).

$$W_i = \frac{W'_i}{\sum_{j=1}^n W'_j} \quad i, j = 1, 2, \dots, n \quad (6)$$

Trong đó: i - chỉ số của mỗi thuộc tính và n là số lượng các thuộc tính

Bước 6: bao gồm tính toán các hệ số quan trọng tương đối của các mô hình đóng cửa mỏ và xếp hạng của chúng. Ở bước 6 hệ số quan trọng tương đối được tạo ra bằng cách sử dụng để nhân trọng số của các thuộc tính với trọng số đạt được của các mô hình đề xuất đối với từng thuộc tính.

Mô hình đóng cửa mỏ được chọn khi có hệ số quan trọng tương đối lớn hơn.

4. Kết quả nghiên cứu

Dựa trên phương pháp SAW nghiên cứu chọn ra 9 tiêu chuẩn quan trọng dùng để đánh giá trọng số và được tóm tắt ở Bảng 1. Trong đó: i) Phù hợp đặc điểm tự nhiên của khu vực mỏ - 7 tiêu chí; ii) Phù hợp đặc điểm kinh tế - xã hội khu vực - 5 tiêu chí; iii) Đảm bảo an toàn môi trường - 4 tiêu chí; iv) Hiệu quả kinh tế - 3 tiêu chí.

Bảng 1. Khung tiêu chí lựa chọn mô hình đóng cửa mỏ.

Nguyên tắc 1: Phù hợp đặc điểm tự nhiên của khu vực mỏ	Nguyên tắc 2: Phù hợp đặc điểm kinh tế - xã hội khu vực	Nguyên tắc 3: Đảm bảo an toàn môi trường	Nguyên tắc 4: Hiệu quả kinh tế
TC 1: địa hình khu mỏ	TC 8: dân cư	TC 13: môi trường nước	TC 17: lợi ích kinh tế cho chủ đầu tư

TC 2: nước mặt	TC 9: điều kiện cơ sở hạ tầng	TC 14: môi trường đất	TC 18: lợi ích cho cộng đồng
TC 3: nước dưới đất	TC 10: công nghiệp	TC 15: môi trường không khí	TC 19: lợi ích cho địa phương
TC 4: khí hậu	TC 11: sử dụng đất trước khai thác	TC 16: rủi ro	
TC 5: hệ động thực vật khu mỏ trước khi khai thác	TC 12: khu giải trí		
TC 6: Quy mô mỏ			
TC 7: Thông tin địa chất			

Trên cơ sở các tiêu chí nêu trên, các kinh nghiệm đóng cửa mỏ tại các nước trên thế giới, có thể đề xuất 2 phương án cải tạo phục hồi môi trường sau khai thác cho mỏ đá có: diện tích mặt mỏ: 50 ha, chiều sâu mỏ: 150 m. Khi kết thúc khai thác sẽ thực hiện đóng cửa theo các mục tiêu sử dụng đất sau đóng cửa:

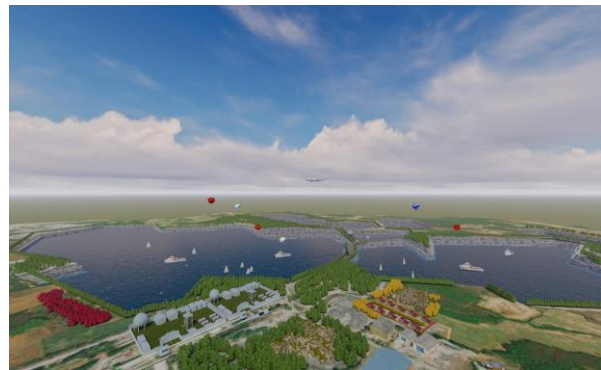
Phương án 1: cải tạo thành khu du lịch, nghỉ dưỡng, phù hợp với những mỏ có địa hình âm, có nguồn nước mặt và nước dưới đất dồi dào, gần các khu dân cư. Tuy nhiên, biện pháp này cần có vốn đầu tư và chuyên môn, thời gian thực hiện lâu nhưng mang lại hiệu quả kinh tế;

Phương án 2: cải tạo thành khu dân cư kết hợp tận dụng mặt nước moong khai thác lấp đặt pin mặt trời nổi, cung cấp điện cho khu dân cư. Phương án này phù hợp với những mỏ đá có địa hình âm, nguồn nước mặt và nước dưới đất dồi dào, gần các khu dân cư, giảm thiểu ô nhiễm, dân cư xung quanh được hưởng lợi từ dự án, hiệu quả kinh tế cao. Tuy nhiên vốn đầu tư cao, thời gian thực hiện dài và cần trình độ chuyên môn kỹ thuật cao.

Trong nghiên cứu này, phương án 1 xây dựng và phát triển khu du lịch cho khu vực Thường Tân (Hình 7), tiến hành xác định trọng số các nguyên tắc đối với phương án bằng phương pháp trung bình hình học (Geomean) tính trọng số (w) được thể hiện Bảng 2.

Đánh giá tổng hợp trên cơ sở các trọng số của nguyên tắc và các tiêu chí có kết hợp với điểm số của các chuyên gia trong vấn đề khoáng sản, quản

lý sử dụng đất và bảo vệ môi trường đối với phương án 1 - cải tạo thành khu du lịch đạt tổng số 69,14 điểm (Bảng 3).



Hình 7. Phối cảnh cải tạo thành khu du lịch, nghỉ dưỡng du lịch sau khi kết thúc khai thác.

Bảng 2. Tính trọng số W cho các nguyên tắc của phương án 1 (khu du lịch).

Mục tiêu	Tự nhiên	Kinh tế - xã hội	ATMT	Hiệu quả	W
Tự nhiên	1,00	2,00	2,00	2,00	0,39
Kinh tế - xã hội	0,50	1,00	2,00	2,00	0,28
An toàn môi trường	0,50	0,50	1,00	2,00	0,20
Hiệu quả	0,50	0,50	0,50	1,00	0,14
Tỷ số CR = 0,062 < 0,1 (chấp nhận)					1,00

Bảng 3. Đánh giá tổng hợp phương án 1 - khu du lịch.

W nguyên tắc	Tiêu chuẩn	Diễn giải tiêu chuẩn	W tiêu chuẩn	Điểm ĐGT, BCG	Điểm tiêu chuẩn	Điểm nguyên tắc
0,39	Địa hình mỏ	Địa hình mỏ phù hợp với hình thức SDĐSKT	0,36	70	25,2	26,25
	Nước mặt	Hồ chứa nước phù hợp với SDĐSKT	0,17	65	11,05	
	Nước dưới đất	Nước dưới đất cung cấp cho hồ chứa nước	0,07	65	4,55	
	Khí hậu	Khí hậu ảnh hưởng đến mục đích SDĐSKT	0,21	70	14,70	
	Hệ động thực vật	Hệ động thực vật phong phú hay không	0,04	50	2,00	
	Quy mô mỏ	Quy mô mỏ có diện tích phù hợp không	0,08	70	5,60	
	Thông tin địa chất	Cấu trúc địa chất ổn định	0,07	60	4,20	
0,28	Dân số	Mật độ dân số đồng để tham gia SDĐSKT	0,53	65	34,45	19,33
	Cơ sở hạ tầng xã hội	Điều kiện giao thông, mạng lưới điện, nước thuận lợi	0,19	80	15,20	
	Công nghiệp	Các hoạt động công nghiệp hỗ trợ hình thức SDĐSKT	0,12	75	9,00	
	Sử dụng đất trước khai thác	Sử dụng đất trước khai thác có phù hợp với hình thức SDĐSKT	0,08	70	5,60	
	Khu giải trí	Khu vui chơi, giải trí xung quanh mỏ ảnh hưởng đến phương án	0,08	60	4,80	
0,20	Môi trường nước	Hình thức SDĐSKT có ảnh hưởng đến nguồn nước	0,47	70	32,90	13,26
	Môi trường đất	Hình thức SDĐSKT có gây ô nhiễm môi trường đất	0,17	60	10,20	
	Môi trường không khí	Hình thức SDĐSKT có ảnh hưởng đến không khí xung quanh	0,19	55	10,45	
	Rủi ro	Hình thức SDĐSKT có giảm thiểu được khả năng rủi ro	0,17	75	12,75	
0,14	Lợi ích cho chủ đầu tư	Chi phí và lợi nhuận cho chủ đầu tư	0,63	75	47,25	10,30
	Lợi ích cho cộng đồng	Mang lại lợi ích cho chủ đầu tư	0,28	70	19,60	
	Lợi ích địa phương	Thu được thuế từ hình thức sử dụng đất	0,09	75	6,75	
						69,14

Điểm thành phần đối với các nguyên tắc phù hợp điều kiện tự nhiên, đặc điểm kinh tế - xã hội, an toàn môi trường và hiệu quả kinh tế lần lượt tương ứng 26,25; 19,33; 13,26 và 10,30 điểm.

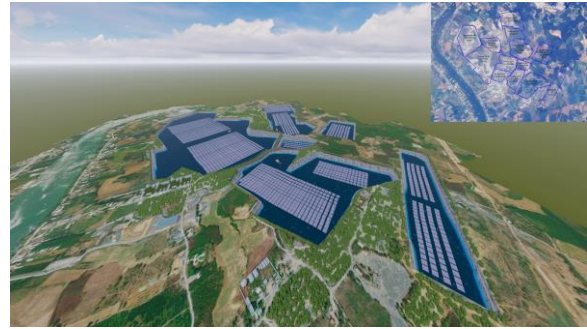
Liên quan đến phương án 2 được lựa chọn cải tạo thành khu dân cư kết hợp tận dụng mặt nước moong khai thác lắp đặt pin mặt trời nổi, cung cấp điện cho khu dân cư, kết quả xác định trọng số thể hiện trong Bảng 4.

Bảng 4. Tính trọng số W cho các nguyên tắc của phương án 2 (khu dân cư).

	Tự nhiên	KTXH	ATMT	Hiệu quả	W
Tự nhiên	1,00	3,00	3,00	2,00	0,45
KTXH	0,33	1,00	2,30	2,00	0,25
ATMT	0,33	0,50	1,00	2,00	0,17
Hiệu quả	0,33	0,50	0,50	1,00	0,13
Tỷ số CR = 0,012 < 0,1 (chấp nhận)					1,00

Đánh giá tổng hợp trên cơ sở các trọng số của nguyên tắc và các tiêu chí có kết hợp với điểm số của các chuyên gia trong vấn đề khoáng sản, quản lý sử dụng đất và bảo vệ môi trường thì phương án 2 - Cải tạo thành khu dân cư kết hợp tận dụng mặt nước moong khai thác lắp đặt pin mặt trời nổi, cung cấp điện cho khu dân cư

(Hình 8) cho khu vực Thường Tân có tổng số 73,27 điểm (Bảng 5). Điểm số thành phần đối với các nguyên tắc phù hợp điều kiện tự nhiên (32,38 điểm), đặc điểm kinh tế - xã hội (18,26 điểm), yếu tố an toàn môi trường (12,70 điểm) và tính hiệu quả (9,93 điểm).



Hình 8. Cải tạo tận dụng mặt nước moong khai thác lắp đặt pin mặt trời.

Bảng 5. Đánh giá tổng hợp phương án 2 - khu dân cư kết hợp tận dụng mặt nước moong khai thác lắp đặt pin mặt trời nổi.

W nguyên tắc	Tiêu chuẩn	Diễn giải tiêu chuẩn	W tiêu chuẩn	Điểm ĐGT, BCG	Điểm tiêu chuẩn	Điểm nguyên tắc
0,45	Địa hình mỏ	Địa hình mỏ phù hợp với hình thức SDĐSKT	0,24	75	18,00	32,38
	Nước mặt	Hồ chứa nước phù hợp với SDĐSKT	0,18	70	12,60	
	Nước dưới đất	Nước dưới đất cung cấp cho hồ chứa nước	0,05	65	3,25	
	Khí hậu	Khí hậu ảnh hưởng đến mục đích SDĐSKT	0,11	75	8,25	
	Hệ động thực vật	Hệ động thực vật phong phú hay không	0,04	70	2,80	
	Quy mô mỏ	Quy mô mỏ có diện tích phù hợp không	0,29	70	20,30	
	Thông tin địa chất	Cấu trúc địa chất ổn định	0,09	75	6,75	
0,25	Dân số	Mật độ dân số đồng để tham gia SDĐSKT	0,53	70	37,10	18,26
	Cơ sở hạ tầng xã hội	Điều kiện giao thông, mạng lưới điện, nước thuận lợi	0,19	85	16,15	
	Công nghiệp	Các hoạt động công nghiệp hỗ trợ hình thức SDĐSKT	0,12	65	7,80	
	Sử dụng đất trước khai thác	Sử dụng đất trước khai thác có phù hợp với hình thức SDĐSKT	0,08	75	6,00	
	Khu giải trí	Khu vui chơi, giải trí xung quanh mỏ ảnh hưởng đến phương án	0,08	75	6,00	

0,17	Môi trường nước	Hình thức SDĐSKT có ảnh hưởng đến nguồn nước	0,47	80	37,60	12,70
	Môi trường đất	Hình thức SDĐSKT có gây ô nhiễm môi trường đất	0,17	65	11,05	
	Môi trường không khí	Hình thức SDĐSKT có ảnh hưởng đến không khí xung quanh	0,19	70	13,30	
	Rủi ro	Hình thức SDĐSKT có giảm thiểu được khả năng rủi ro	0,17	75	12,75	
0,13	Lợi ích cho chủ đầu tư	Chi phí và lợi nhuận cho chủ đầu tư	0,63	75	47,25	9,93
	Lợi ích cho cộng đồng	Mang lại lợi ích cho chủ đầu tư	0,28	80	22,40	
	Lợi ích địa phương	Thu được thuế từ hình thức sử dụng đất	0,09	75	6,75	
Tổng						73,27

5. Kết luận và kiến nghị

Việc lựa chọn mô hình đóng cửa mỏ đá khai thác xuống sâu hiệu quả cần dựa trên các phân tích đánh giá đặc điểm tự nhiên, kinh tế xã hội, quy hoạch sử dụng đất và ý kiến cộng đồng. Phương pháp tiến trình phân cấp thứ bậc (AHP, FAHP) là công cụ phù hợp để lựa chọn theo từng giai đoạn lập kế hoạch đóng cửa mỏ. Tổng hợp kết quả nghiên cứu của đề tài cho thấy phương án cải tạo thành khu dân cư kết hợp tận dụng mặt nước moong khai thác lấp đặt pin mặt trời nổi, cung cấp điện cho khu dân cư với tổng điểm nguyên tắc là 73,27 là phương án đóng cửa mỏ và sử dụng mặt bằng sau đóng cửa phù hợp cho mỏ đá. Phương án vừa tận dụng được quỹ đất, hình thành khu dân cư mới cho cư dân, mặt nước moong khai thác cũng được tận dụng khai thác điện mặt trời - đây là nguồn năng lượng sạch, mang lại lợi ích cả về mặt kinh tế - xã hội cho khu vực.

Tuy nhiên, bên cạnh những kết quả đạt được vẫn còn những vấn đề cần quan tâm nghiên cứu để hoàn thiện hơn về quản lý tài nguyên và môi trường trong hoạt động khai thác khoáng sản nói chung và mỏ đá nói riêng. Trong đó, cần tiến hành áp dụng triệt để phương án vừa cải tạo vừa khai thác nhằm giảm thiểu thời gian cũng như kinh phí cải tạo sau kết thúc khai thác.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin cảm ơn Trung tâm Nghiên cứu Cơ điện mỏ của Trường Đại học Mỏ - Địa chất đã cung cấp số liệu thực tế cho bài báo.

Đóng góp của tác giả

Phan Hồng Việt - lên ý tưởng, xây dựng phương pháp luận, viết bài; Bùi Xuân Nam - hoàn thiện ý tưởng nghiên cứu, lựa chọn phương pháp nghiên cứu; Đỗ Ngọc Tước - phát triển ý tưởng nghiên cứu và phương pháp nghiên cứu; Đỗ Ngọc Hoàn - liên hệ, viết bài, chỉnh sửa và hoàn thiện bài báo.

Tài liệu tham khảo

- Akbar, D., Rolfe, J., Rahman, A., Schrobback, P. Kinnear, S., and Bhattarai, S., (2019). Stakeholder collaboration models for exporting agricultural commodities in Asia: Case for Avocado, Lychee and Mango. *Milestones* 11-13 Report for CRCNA. CQUniversity Australia, Rockhampton, 74 pages.
- Antwi, E. K., Owusu-Banahene, W., Boakye-Danquah, J., Mensah, R., Tetteh, J. D., Nagao, M., & Takeuchi, K. (2017). Sustainability assessment of mine-affected communities in Ghana: towards ecosystems and livelihood restoration. *Sustainability Science*, 12, 747-767.

- Asr, E. T., Kakaie, R., Ataei, M., & Mohammadi, M. R. T., (2019). A review of studies on sustainable development in mining life cycle. *Journal of Cleaner Production*, 229, 213-231.
- Bainton, N., & Holcombe, S., (2018). A critical review of the social aspects of mine closure. *Resources Policy*, 59, 468-478.
- Bascetin, A., (2007). A decision support system using analytical hierarchy process (AHP) for the optimal environmental reclamation of an open-pit mine. *Environmental Geology*, 52, 663-672.
- Bui Xuan Nam (editor), (2015). Improving the exploitation efficiency of construction stone quarries in the Southern region. *Construction Publishing House*, Hanoi.
- Butler, C. R., Hynds, R. E., Gowers, K. H., Lee, D. D. H., Brown, J. M., Crowley, C., ... & Janes, S. M., (2016). Rapid expansion of human epithelial stem cells suitable for airway tissue engineering. *American journal of respiratory and critical care medicine*, 194(2), 156-168.
- Che Dinh Ly, (2012). Process of hierarchical analysis. *Master's Lecture*, Vietnam National University, Ho Chi Minh City.
- Clark, A. L.; Clark, J.C. VIII, (2005). An International Overview of Legal Frameworks for Mine Closure; *Environmental Law Alliance Worldwide: Eugene, OR, USA*.
- Cooke, J. A., Johnson, M. S., (2002). Ecological restoration of land with particular reference to the mining of metals and industrial minerals: A review of theory and practice. *Environmental Reviews*, 10(1), 41-71.
- Doley, D., Audet, P., (2013). Identifying natural and novel ecosystem goals for rehabilitation of postmining landscapes. *Responsible Mining: Case Studies in Managing Social and Environmental Risks in the Developed World*, 609-638.
- Guillet, C., Join-Lambert, O., Le Monnier, A., Leclercq, A., Mechä, F., Mamzer-Bruneel, MF, ... & Lecuit, M., (2010). Listeriosis in humans is caused by *Listeria ivanovii*. *Emerging infectious diseases*, 16 (1), 136.
- Gupta, S.; Kumar, U., (2012). An Analytical Hierarchy Process (AHP)-Guided Decision Model for Underground Mining Method Selection. *Int. J. Min. Reclam. Environ.* 2012, 26, 324-336.
- Hancock, G. R., Loch, R. J., & Willgoose, G. R., (2003). The design of post-mining landscapes using geomorphic principles. *Earth Surface Processes and Landforms: The Journal of the British Geomorphological Research Group*, 28(10), 1097-1110.
- Hinton, G. E., Krizhevsky, A., & Wang, S. D., (2011). Automatic encoder switching. In *Artificial Neural Networks and Machine Learning-ICANN 2011: 21st International Conference on Artificial Neural Networks, Espoo, Finland, 14-17 June 2011, Proceedings, Part I* 21 (pages 44-51). Springer Berlin Heidelberg.
- Ho Si Giao, (1996). Technology base of quarrying. *Education Publishing House*, Hanoi.
- Ho Si Giao (ed.), (2009). Mining of solid minerals by open-pit mining. *Science and Technology Publishing House*, Hanoi.
- Ho Si Giao (ed.), (2010). Environmental protection in mining. *Hanoi Polytechnic Dictionary Publishing House*. Hanoi.
- Hoang Cao Phuong, (2016). Research on technology and management solutions for sustainable development of construction material mining mines in Vietnam. *Thesis of Doctor of Engineering*. Hanoi University of Mining and Geology.
- Hoang Thi Hong Hanh, (ed.), (2012). Application of multi-criteria analysis method and process of hierarchical analysis to orient the use of post-mining site. *Journal of Natural Resources and Environment*, No. 22, p.156.
- Hoang Thi Hong Hanh, Huynh Thi Minh Hang, (2001). Types of return and ground use after mining construction quarries, Collection of reports of Vietnam Mining Science and Technology Conference Hutchison, I.; Dettore, R. Statistical and Probabilistic Closure Cost Estimating. *In Proceedings of the*

- Tailings and Mine Waste 2011*, Vancouver, BC, Canada, 6-9 November 2011.
- International Council on Mining and Metals – ICMM, (2012). *The role of mining in national economies- London, UK*.
- International Institute for Environment and Development - IIED (2002). Minerals and Sustainable Development Mining for the Future Appendix B: *Mine Closure Working Paper*; WBCSD: Geneva, Switzerland.
- Lechner, A. M., McIntyre, N., Witt, K., Raymond, C. M., Arnold, S., Scott, M., & Rifkin, W. (2017). Challenges of integrated modelling in mining regions to address social, environmental and economic impacts. *Environmental modelling & software*, 93, 268-281.
- Lei, K., Pan, H., & Lin, C., (2016). A landscape approach towards ecological restoration and sustainable development of mining areas. *Ecological Engineering*, 90, 320-325. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.01.080>.
- McHaina, D. M., (2001). Environmental planning considerations for the decommissioning, closure and reclamation of a mine site. *International Journal of Surface Mining, Reclamation and Environment*, 15(3), 163-176.
- Monosky, M., & Keeling, A., (2021). Planning for social and community-engaged closure: A comparison of mine closure plans from Canada's territorial and provincial North. *Journal of Environmental Management*, 277, 111324.
- Mukhopadhyay, S. C., (2014). Wearable sensors for human activity monitoring: A review. *IEEE sensors journal*, 15(3), 1321-1330.
- Nguyen Duc Quy, Nguyen Van Hanh, (2001). Restoring Vietnam's mining environment. *Collection of Scientific Conference on Natural Resources and Environment*.
- Norouzi Masir, R., Ataei, M., Khalo Kakaei, R., & Mohammadi, S., (2021). Sustainable Development Assessment in Underground Coal mining by Developing a Novel Index. *International Journal of Mining and Geo-Engineering*, 55(1), 11-17.
- Pavloudakis, F., Galetakis, M., & Roumpos, C., (2009). A spatial decision support system for the optimal environmental reclamation of open-pit coal mines in Greece. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 23(4), 291-303.
- Phan Hong Viet, Do Ngoc Tuoc, (2020). Method of selecting closure model for construction quarries in Binh Duong province. *Mining Industry Magazine* No. 4/2020.
- Phung Manh Dac, (2005), Research and assess the impact of the Law on Minerals on the development of Vietnam's mining industry, *Vietnam Union of Science and Technology Associations*, Hanoi.
- Saaty, T. L. (2008). Decision making with the analytic hierarchy process. *International journal of services sciences*, 1(1), 83-98.
- Srivastava, N. K., Ram, L. C., & Masto, R. E., (2014). Reclamation of overcrowded and lowland soils in coal mining areas with fly ash and selective planting: An ecologically sustainable approach. *Ecological Engineering*, 71, 479-489.
- Tomlins, S. A., Laxman, B., Dhanasekaran, S. M., Helgeson, B. E., Cao, X., Morris, D. S., ... & Chinnaiyan, A. M., (2007). Distinct classes of chromosomal rearrangements create oncogenic ETS gene fusions in prostate cancer. *Nature*, 448(7153), 595-599
- Vivoda, V., Kemp, D., & Owen, J., (2019). Regulating the social aspects of mine closure in three Australian states. *Journal of Energy & Natural Resources Law*, 37(4), 405-424.
- Worrall, R., Neil, D., Brereton, D., & Mulligan, D., (2009). Towards a sustainability criteria and indicators framework for legacy mine land. *Journal of cleaner production*, 17(16), 1426-1434.
- Zadeh, L. A. (1965). Fuzzy sets. *Information and control*, 8(3), 338-353.