



TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ KHOA HỌC QUỐC GIA

PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG

KHOA HỌC CÔNG NGHỆ MỎ VÀ MÔI TRƯỜNG

Sustainable Development of Mining Science, Technology and Environment



NHÀ XUẤT BẢN ĐẠI HỌC KINH TẾ QUỐC DÂN

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG MÔ HÌNH CHUỖI TRONG LỰA CHỌN PHƯƠNG ÁN MỞ VÍA: VÍ DỤ CHO MỎ CHÌ - KẼM LŨNG HOÀI, BẮC KẠN

Đinh Thị Thanh Nhân^{1*}, Ngô Thái Vinh¹

¹Trường Đại học Mỏ - Địa chất

TÓM TẮT

Hoạt động khai thác mỏ nói chung và khai thác hầm lò nói riêng không có phương án tối ưu tuyệt đối, do chịu tác động tổng hợp của nhiều yếu tố tự nhiên, kinh tế và kỹ thuật, đồng thời là tổ hợp của nhiều chuỗi sản xuất khác nhau. Trong đó, công tác mở vỉa là công đoạn đầu tiên của quá trình khai thác, có vai trò đặc biệt quan trọng trong việc kết nối mặt bằng với các thân quặng nằm trong lòng đất. Một phương án mở vỉa hợp lý sẽ bảo đảm khai thác tối đa tài nguyên, hạn chế để lại quặng làm trụ bảo vệ các công trình xây dựng cơ bản, đồng thời giảm chi phí bảo dưỡng và chi phí vận tải. Do đó, mở vỉa có thể được xem là một hệ thống gồm nhiều công việc có mối quan hệ chặt chẽ, tác động qua lại lẫn nhau, được tổ chức theo một cấu trúc và chức năng nhất định. Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng mô hình chuỗi với cách tiếp cận tập hợp điểm, trong đó mỗi công việc trong công đoạn sản xuất được xem là một điểm, còn quy trình sản xuất là tập hợp các điểm đó. Trên cơ sở này, ma trận các yếu tố ảnh hưởng được thiết lập, các yếu tố được sắp xếp theo thứ tự ưu tiên để xác định trọng số tương ứng. Kết quả nghiên cứu là cơ sở để lựa chọn phương án mở vỉa có chỉ tiêu tổng hợp phù hợp, phục vụ thi công tại mỏ chì - kẽm Lũng Hoài.

Từ khóa: chuỗi sản xuất; ma trận; phương pháp mở vỉa; điều kiện địa chất khu vực mỏ; đường lò khai thông

1. Đặt vấn đề

Sự gia tăng cạnh tranh trong nền kinh tế toàn cầu cùng với nhu cầu ngày càng lớn về nguyên liệu đã tạo ra áp lực đáng kể đối với ngành khai khoáng trong việc nâng cao sản lượng, đồng thời giảm chi phí khai thác. Điều này đã thúc đẩy các nỗ lực phát triển các phương pháp tiếp cận hiệu quả về chi phí và cải tiến kỹ thuật khai thác (Lien, 2013). Một trong những giải pháp nhằm giảm chi phí là đơn giản hóa phương án mở vỉa và khai thông mỏ thông qua việc lựa chọn các giải pháp thiết kế và thi công vừa bảo đảm hiệu quả kỹ thuật, vừa có tổng mức đầu tư thấp và chi phí vận hành hợp lý (Marcus, 2014; Leandro, 2017). Trong khai thác hầm lò, mở vỉa được hiểu là việc thiết lập các công trình nối từ mặt đất đến các mức khai thác trong mỏ. Trong khi đó, khai thông là quá trình xây dựng hệ thống đường lò liên kết giữa các công trình mở vỉa với thân quặng ở các mức khác nhau (Wilson, 2004). Hệ thống các đường lò khai thông và mở vỉa kết hợp tạo thành mạng lưới các đường lò chính và lò nhánh, phục vụ vận chuyển người, vật liệu vào khu vực khai thác và đưa quặng ra mặt bằng (Rupprecht, 2012; Leandro, 2017). Trong thực tiễn khai thác hầm lò, việc lựa chọn phương án mở vỉa phù hợp với điều kiện tự nhiên và kinh tế của từng khu vực cụ thể vẫn là một thách thức lớn đối với các nhà khai thác mỏ.

Hiện nay, có nhiều loại hình mở vỉa khác nhau, được phân loại dựa trên cách bố trí trục của các công trình tiếp cận thân quặng. Các đường lò này thường được ưu tiên bố trí trong đá vách ổn định và hạn chế đi qua thân quặng nhằm giảm tổn thất công nghệ, đồng thời bảo đảm tuổi thọ của các đường lò chính trong suốt thời gian tồn tại của mỏ. Về cơ bản, có bốn phương pháp mở vỉa chủ yếu, gồm: mở vỉa bằng lò bằng, mở vỉa bằng giếng nghiêng, mở vỉa bằng giếng đứng và phương pháp kết hợp. Đối với các khu mỏ có nhiều thân quặng phân bố phân tán, cần xây dựng các công trình kết nối các thân quặng với hệ thống mở vỉa, hình thành một mạng lưới không gian thống nhất. Trong cấu trúc này, các công trình mở vỉa đóng vai trò trung tâm của toàn bộ khu mỏ; các hoạt động khai thác, vận tải và phụ trợ được tổ chức xoay quanh trục chính đó (Marcus, 2014). Mục tiêu của khai thác mỏ là thu hồi và vận chuyển quặng từ vị trí ban đầu trong lòng đất đến khu vực chế biến, sau đó tiếp tục đưa đến nhà máy sản xuất. Đây là hoạt động

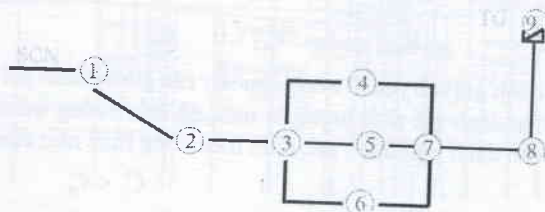
*Tác giả liên hệ

Email: dinhthithanhnhan@humg.edu.vn

đòi hỏi vốn đầu tư lớn; do đó, phương án mở vỉa – khai thông và kế hoạch khai thác cần được thiết kế tối ưu nhằm bảo đảm hiệu quả kinh tế tổng thể. Đối với các mỏ chưa khai thác, phương án vận tải quặng có ảnh hưởng đáng kể đến năng suất và hiệu quả tài chính (Musingwini, 2016; Leandro, 2017). Việc lập kế hoạch khai thác dưới mức tối ưu trong các điều kiện địa chất cụ thể có thể dẫn đến rủi ro mỏ hoạt động dưới công suất tiềm năng, kéo theo chi phí đầu tư cao và nguy cơ đóng cửa mỏ sớm. Vì vậy, các quyết định thiết kế và thi công hệ thống công trình mở vỉa giữ vai trò then chốt trong việc bảo đảm vận hành mỏ hiệu quả, đồng thời tạo cơ sở để giảm chi phí khai thác và nâng cao hiệu quả sản xuất.

2. Cơ sở lý thuyết

Về nguyên tắc chung, trong khai thác mỏ hầm lò cần thiết lập hệ thống các đường lò kết nối từ mặt bằng đến các lò chợ. Hình 1 mô tả sơ đồ chuỗi của một mỏ có nhiều diện sản xuất (diện 4, 5, 6,...), trong đó các đường lò mở vỉa được ký hiệu 1 - 2, 2 - 3... và các đường lò phụ trợ được ký hiệu 7 - 8, 8 - 9... Quá trình sản xuất trong mỏ hầm lò, từ lò chợ → lò dọc vỉa vận chuyển → lò dọc vỉa vận chuyển chính → sân ga → mặt bằng, được xem là một chuỗi sản xuất dạng nối tiếp (Hình 2a). Ví dụ, trong Hình 1, chuỗi sản xuất có thể biểu diễn dưới dạng: 4 - 3 - 2 - 1 - SCN; trong khi chuỗi thông gió được biểu diễn là: 1 - 2 - 3 - 4 - 7 - 8 - 9. Trong mỗi chuỗi tồn tại nhiều yếu tố tác động đến quy trình sản xuất; tập hợp các chuỗi cùng với các yếu tố này hình thành nên cấu trúc tổ chức sản xuất của mỏ.

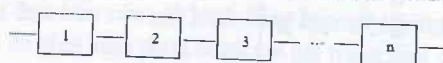


Hình 1. Mô hình chuỗi trong sản xuất

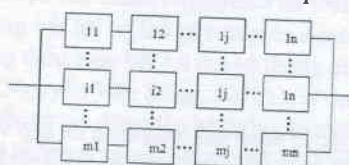
Chú thích: SCN: Mặt bằng sân công nghiệp; 1: Vị trí cửa lò; 1 - 2: Các đường lò mở vỉa; 2 - 3: Các đường lò khai thông đến các nhánh khai thác; 4, 5, 6: Các diện sản xuất; 7: Điểm nút giao thông gió; 7 - 8 - 9: Các đường lò thông gió; 9: Cửa lò thông gió; TG: Mặt bằng cửa lò thông gió

Trong trường hợp mỏ có nhiều khu vực sản xuất hoạt động độc lập, chuỗi sản xuất được mô tả dưới dạng song song (song song loại 1, Hình 2b). Ngược lại, khi các khu vực sản xuất có mối liên kết hoặc ràng buộc tại một hoặc một số công đoạn nhất định, chuỗi sản xuất được mô tả dưới dạng song song có liên kết (song song loại 2, Hình 2c). Trong các trường hợp này, điểm chung của các chuỗi là cùng sử dụng hệ thống đường lò khai thông - mở vỉa làm trục kết nối chính (Musingwini, 2016).

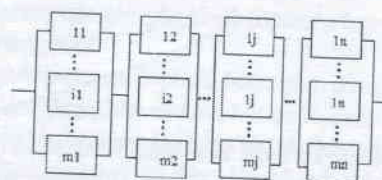
Hệ thống sản xuất tổng thể của mỏ thường là sự kết hợp giữa cấu trúc chuỗi và cấu trúc song song. Giả sử, hệ thống gồm $m \times n$ đơn vị sản xuất: trong cấu trúc chuỗi, n đơn vị được liên kết theo dạng nối tiếp để hình thành m chuỗi con; các chuỗi con này sau đó được tổ hợp thành một hệ thống song song tổng thể (sơ đồ khối logic thể hiện trên Hình 2). Ngược lại, trong cấu trúc song song, m đơn vị tạo thành n nhánh song song; các nhánh này tiếp tục được tổ hợp thành hệ thống hoàn chỉnh.



(a) Mô hình chuỗi nối tiếp



(b) Mô hình hệ thống chuỗi song song 1



(c) Mô hình hệ thống chuỗi song song 2

Hình 2. Mô hình chuỗi

Trong bài viết này, mối liên hệ chuỗi sản xuất là nhiều chuỗi có liên kế với nhau, không phải là một chuỗi nối tiếp nên chỉ xét sự tác động của các chuỗi hoạt động đồng thời.

Khi các đơn vị giống nhau, mô hình toán học của hệ song song 1 là:

$$R_{bc} = 1 - [1 - R^n(t)]^m \quad (1)$$

Tương tự, mô hình toán học của hệ thống song song 2 là:

$$R_{cb} = \{1 - [1 - R(t)]^m\}^n \quad (2)$$

Vì $R_i(t)$ thường có giá trị nhỏ hơn 1 (lớn nhất là bằng 1), mà độ tin cậy của hệ thống là tích lũy của độ tin cậy của mỗi đơn vị tạo thành, do đó càng có nhiều đơn vị tạo nên hệ thống chuỗi thì độ tin cậy của hệ thống càng thấp, và khoảng thời gian trung bình xảy ra lỗi cũng ngắn hơn. Vì vậy, để tăng độ tin cậy của hệ thống chuỗi cần: (i) nỗ lực cải thiện tình tin cậy của từng đơn vị; (ii) cố gắng giảm thiểu số lượng đơn vị tổ hợp trong chuỗi hệ thống. Việc xảy ra lỗi sẽ gây ra sự thất bại của toàn bộ hệ thống chuỗi đó. Sự lệ thuộc của các giá trị trong chuỗi được xét như sau:

$$R = \begin{bmatrix} R_1 \\ R_2 \\ \vdots \\ R_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix} \quad (3)$$

Trong đó: R là ma trận đánh giá các yếu tố trong chuỗi; r các giá trị đánh giá theo từng chuỗi riêng biệt. Trọng số của các chỉ tiêu đánh giá chất lượng là mức độ ảnh hưởng quan trọng của các chỉ tiêu đó trong tập hợp các chỉ tiêu cần đánh giá, được xác định theo công thức như sau:

$$a_i = \begin{cases} 1 & C_i < v_{i1} \\ j + \frac{C_i - v_{ij}}{v_{i(j+1)} - v_{ij}} & v_{ij} \leq C_i \leq v_{i(j+1)} \\ 4 & C_i > v_{i4} \end{cases} \quad (4)$$

Trong đó: a_i - trọng số các yếu tố (chỉ tiêu); C_i - giá trị xác định (đo đạc) của các chỉ tiêu đánh giá; v_{ij} - giá trị thứ i trong cấp đánh giá thứ j . Sau khi xác định được trọng số của các chỉ tiêu đánh giá, ta thiết lập được ma trận như sau:

$$A = [a_1, a_2, \dots, a_n] \quad (5)$$

Sau khi thiết lập được hai ma trận về độ lệ thuộc của chỉ tiêu đánh giá R và ma trận về trọng số của các chỉ tiêu đánh giá A , tiến hành nhân hai ma trận với nhau, kết quả đánh giá tổng hợp B là:

$$B = A \otimes R \quad (6)$$

Tức là:

$$(b_1, b_2, \dots, b_n) = [a_1, a_2, \dots, a_m] \otimes \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1n} \\ r_{21} & r_{22} & \dots & r_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ r_{m1} & r_{m2} & \dots & r_{mn} \end{bmatrix}$$

$$\Leftrightarrow (b_1, b_2, \dots, b_n) = [\begin{matrix} a_1 r_{11} + a_2 r_{21} + \dots + a_m r_{m1}, \\ a_1 r_{12} + a_2 r_{22} + \dots + a_m r_{m2}, \\ \vdots \\ a_1 r_{1n} + a_2 r_{2n} + \dots + a_m r_{mn} \end{matrix}] \quad (7)$$

Đánh giá kỹ thuật khai thác thành phần trong chuỗi công tác là đánh giá toàn diện đa cấp về các điều kiện tác động lên chuỗi. Các yếu tố được đánh giá phản ánh giá trị theo một thuật toán nhất định. Sử dụng những giá trị này để đo lường những ưu và nhược điểm của khả năng thích ứng của cấu trúc tổ chức sản xuất đối với điều kiện địa chất, kỹ thuật mỏ.

Đặt hệ số đánh giá là μ_i ($i = 1, 2, \dots, n$), đánh giá vector tính năng chỉ tiêu x_j ($j = 1, 2, \dots, m$), và ma trận thành viên của yếu tố ảnh hưởng tương ứng là r_{ij} , trọng số cấu trúc của yếu tố ảnh hưởng là a_i ($i = 1, 2, \dots, n$). Mô hình đánh giá toàn diện sử dụng loại trung bình có trọng số, cụ thể:

$$b_j = (a_1.r_{1j}) + (a_2.r_{2j}) + \dots + (a_n.r_{nj}) \text{ với } j = 1, 2, \dots, m \quad (8)$$

Trong công thức (8) kết hợp sử dụng mô hình đánh giá toàn diện có trọng số tuyến tính. Khi $\sum_{i=1}^n a_i = 1$, nó có thể được chuyển đổi thành:

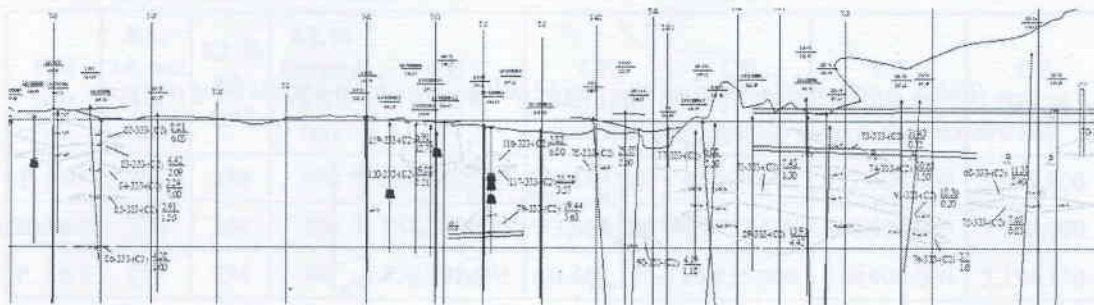
$$b_j = \sum_{i=1}^n a_i r_{ij} \text{ với } j = 1, 2, \dots, m \quad (9)$$

Trong đó: b_j - Giá trị đánh giá toàn diện.

3. Nghiên cứu lựa chọn phương án mở vỉa hợp lý cho mỏ quặng chì - kẽm Lũng Hoài

3.1. Điều kiện cơ bản mỏ chì - kẽm Lũng Hoài

Khu vực Lũng Hoài bao gồm 2 thân quặng chính nằm trong 2 đứt gãy theo hướng Đông Bắc - Tây Nam, bao gồm 43 khối quặng. Trong đó có 29 khối quặng Sunfua trong cân đối (19 khối của TQ1 và 10 khối của TQ2), thể hiện trong Hình 3.



Hình 3. Mặt cắt đặc trưng của thân các thân quặng

3.2. Giải bài toán lựa chọn phương án mở vỉa cho mỏ Lũng Hoài

Từ Hình 1, nếu coi khoảng cách các đoạn 1 - 2, 2 - 3, ... 8 - 9 là chiều dài của các đoạn lò khác nhau thì tổng chiều dài từ 1 - 9 chính là tổng chiều dài lò cần đào. Giá trị hàm số tính khối lượng của mỗi đoạn lò tương ứng là $f(l_i)$, tổng khối lượng các đường lò là $f(L) = \sum f(l_i)$ (10)

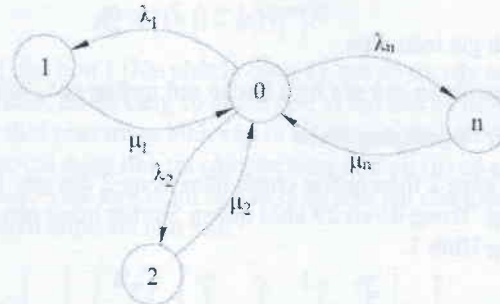
Giá trị xây dựng của từng đường lò là G_i , thì tổng số tiền cần để hoàn thành giai đoạn xây dựng cơ bản $G_{CB} = \sum G_i$, hàm số biểu thị chi phí: $f(C) = f(G) + f(C_{VH}) + f(C_K)$ (11)

Trong đó: $f(G)$ là chi phí giai đoạn xây dựng cơ bản; $f(C_{VH})$ là chi phí giai đoạn vận hành; $f(C_K)$ là chi phí khác.

Từ sơ đồ chuỗi đã trình bày ở Hình 2 thấy rằng, cách thức bố trí sản xuất chính là cách thức vận hành của từng chuỗi đơn lẻ. Trong mỗi chuỗi, nếu bất cứ điểm nút nào xảy ra lỗi phải dừng sản xuất thì sẽ gia tăng chi phí để sửa chữa lỗi đó đưa về trạng thái bình thường. Coi các chi phí này là chi phí phát sinh C_{PS} . Nếu C_{PS} càng lớn và tần suất xảy ra càng nhiều thì hệ thống mở vỉa và sản xuất bị lỗi nghiêm trọng, cần phải cải tiến quy trình sản xuất. Bài viết đưa C_{PS} tổ hợp vào $f(C_K)$. Cấu trúc tổ chức sản xuất cho các giai đoạn dựa trên các mô hình tổng hợp xây dựng đã bao hàm các yếu tố kinh tế, kỹ thuật và những yếu tố tiềm ẩn phát sinh chưa đánh giá hết trong giai đoạn xây dựng dự án. Mô hình đánh giá lỗi và sửa chữa lỗi như sau: Khi xem xét hệ thống đã hội tụ đủ sự phù hợp kỹ thuật, thì cần xét đến những yếu tố tiềm ẩn tác động tiêu cực lên chuỗi (Nguyễn Văn Dũng, 2019b). Trạng thái của các yếu tố dù trực tiếp hay gián tiếp theo hướng bất lợi có thể gây ra gián đoạn hoặc làm giảm năng suất.

Những điều kiện bất lợi mà hệ thống đã thiết lập không thể vượt qua được thì buộc phải dừng sản xuất để xử lý (Nguyễn Văn Dũng, 2019a), ví dụ như sự cố mất điện, tắc nghẽn vận tải, hỏng máy, sập lò... Nếu coi mỗi yếu tố tác động lên hệ thống là một bộ phận, thì n yếu tố tác động lên cấu trúc tổ chức sản xuất sẽ có một hệ thống N trạng thái tác động. Coi trạng thái 0 là tất cả n yếu tố tác động lên hệ thống không ảnh hưởng tiêu cực (hoặc ảnh hưởng không đáng kể), hệ thống hoạt động bình thường. Trạng thái j là bộ phận thứ j đang trong tình trạng tác động gây bất lợi cho cấu trúc, các bộ phận còn lại bình thường $j = 1, 2, \dots$,

n ; nếu tại thời điểm t , $X(t) = j$ biểu hiện hệ thống đang trong trạng thái j , do đó $X(t)$, $t \geq 0$ là thời gian thực hiện quá trình (Lien, 2013; Nguyễn Văn Dũng, 2019b). Nếu như bộ phận thứ j xảy ra ảnh hưởng tiêu cực, thì trạng thái cấu trúc tổ chức được chuyển sang trạng thái j ($j = 1, 2, \dots, n$). Khi đó, xác suất chuyển đổi trạng thái a_{0j} thì λ_j chính là tần suất sự cố của bộ phận thứ j . Để cấu trúc tổ chức sản xuất đưa về trạng thái hoạt động bình thường là trạng thái 0 thì hướng chuyển tiếp j phải được kích hoạt sửa chữa. Sau khi sửa chữa từ trạng thái j sang trạng thái 0 thì xác suất sửa chữa, phục hồi là μ_j (Hình 4).



Hình 4. Sơ đồ chuyển đổi trạng thái của hệ thống sản xuất khi gặp tác động tiêu cực

Ma trận xác suất chuyển đổi trạng thái như sau:

$$f(A) = \begin{bmatrix} -\lambda & \lambda_1 & \lambda_2 & \dots & \lambda_n \\ \mu_1 & -\mu_1 & 0 & \dots & 0 \\ \mu_2 & 0 & -\mu_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_n & 0 & 0 & \dots & -\mu_n \end{bmatrix} \quad (12)$$

Trong đó: 0 – trạng thái làm việc bình thường; λ_j – tần suất xảy ra sự cố của bộ phận thứ j ; μ_j – Khả năng sửa chữa, phục hồi lỗi thứ j về trạng thái 0. Trong công thức trên có tổng hợp tác động tiêu cực:

$$\lambda = \sum_{j=1}^n \lambda_j \quad (13)$$

Xác suất để chuyển tiếp từ trạng thái j đến trạng thái 0 phụ thuộc vào thông số định hướng trạng thái cố định $\pi = (\pi_0, \pi_1, \dots, \pi_n)$, khi chuyển các trạng thái tiêu cực về trạng thái hoạt động bình thường nghĩa là:

$$\begin{cases} -\lambda \cdot \pi_0 + \mu_1 \cdot \pi_1 + \dots + \mu_n \cdot \pi_n = 0 \\ \lambda_1 \cdot \pi_0 - \mu_1 \cdot \pi_1 = 0 \\ \dots \\ \lambda_n \cdot \pi_0 - \mu_n \cdot \pi_n = 0 \end{cases} \quad (14)$$

Để lựa chọn phương án mở via hợp lý cho một mỏ đánh giá trên nhiều tiêu chí kinh tế, kỹ thuật, an toàn, phụ trợ, vận hành..., kết hợp các công thức (3), (6), (12), (14) đơn giản hóa cách giải bài toán như sau:

$$F = \begin{cases} f(L) = \sum f(li) \Rightarrow_{min} \\ f(C) = f(G) + f(CVH) + f(CK) \Rightarrow_{min} \\ f(A) = \begin{bmatrix} -\lambda & \lambda_1 & \lambda_2 & \dots & \lambda_n \\ \mu_1 & -\mu_1 & 0 & \dots & 0 \\ \mu_2 & 0 & -\mu_2 & \dots & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \mu_n & 0 & 0 & \dots & -\mu_n \end{bmatrix} = 0 \end{cases} \quad (15)$$

Từ công thức (15) thấy rằng, hàm $f(L)$ đại diện cho các yếu tố khối lượng thi công xây dựng phải đạt được hiệu quả max với khối lượng min. Hàm $f(C)$ đại diện cho các tiêu chí về chi phí, giá thành của mỗi phương án. Hàm $f(A)$ đại diện cho các yếu tố vận hành. Với mỗi phương án khác nhau sẽ có những chi tiêu kinh tế khác nhau, để định lượng là rất khó; do vậy, phương án nào có hàm F tối ưu nhất sẽ là phương án ưu tiên được lựa chọn. Trọng số a_i phản ánh mức độ quan trọng của từng tiêu chí đánh giá trong hàm

tổng hợp F và được xác định theo phương pháp so sánh cặp đôi (pairwise comparison). Cụ thể, nhóm chuyên gia kỹ thuật mỏ thực hiện so sánh mức độ ưu tiên giữa từng cặp tiêu chí (khối lượng thi công, chi phí xây dựng cơ bản, chi phí vận hành, chi phí thiết bị, chi phí bảo vệ công trình) theo thang điểm từ 1 đến 5, trong đó: 5 - rất quan trọng hơn; 3 - quan trọng hơn; 1 - tương đương nhau.

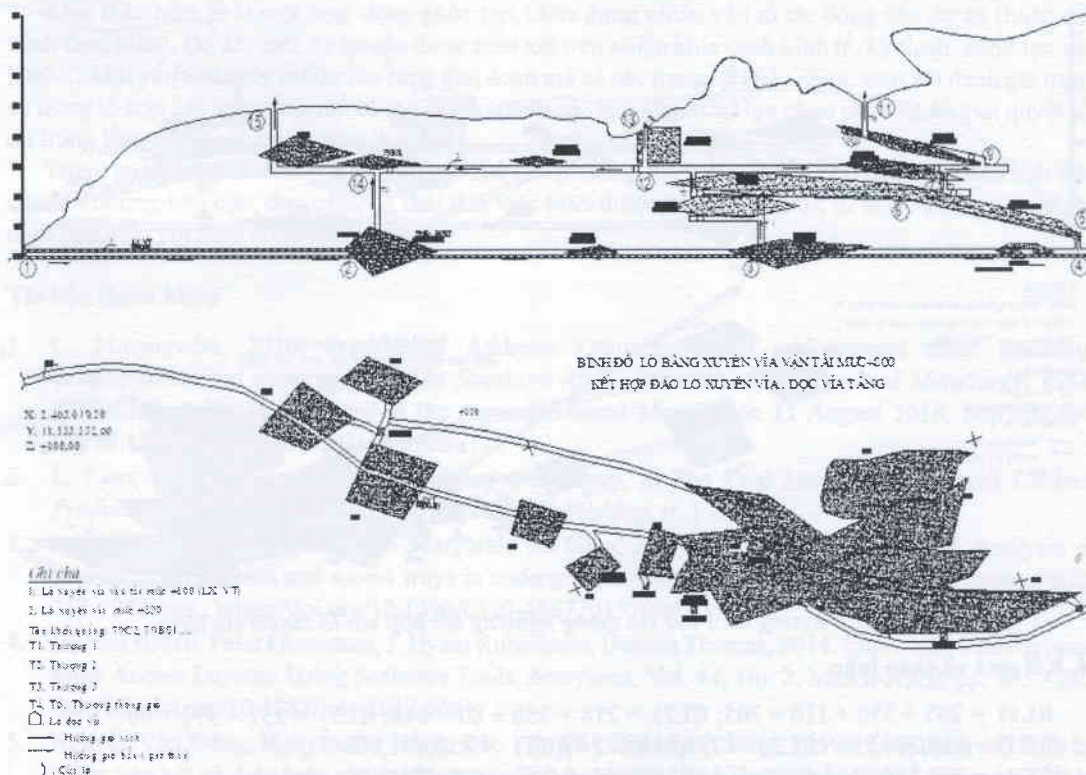
Kết quả so sánh được tổng hợp thành ma trận đánh giá, sau đó chuẩn hóa để xác định bộ trọng số a_i , thỏa mãn điều kiện:

$$\sum_{i=1}^n a_i = 1, a_i > 0$$

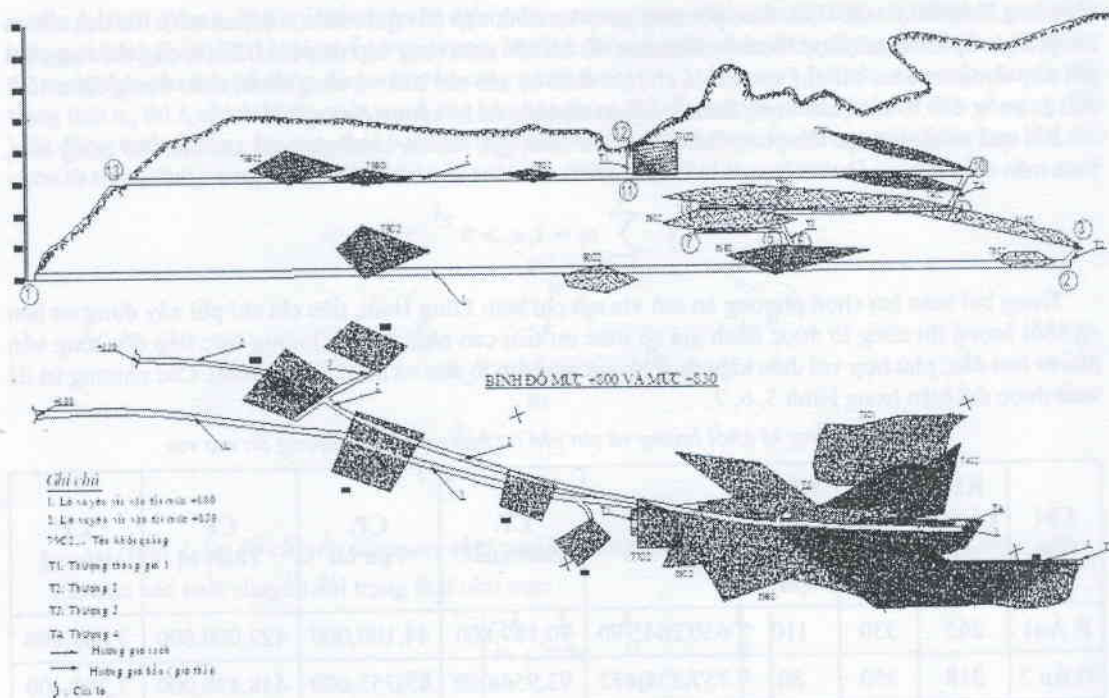
Trong bài toán lựa chọn phương án mở vỉa mỏ chì kẽm Lũng Hoài, tiêu chí chi phí xây dựng cơ bản và khối lượng thi công lò được đánh giá có mức ưu tiên cao nhất do ảnh hưởng trực tiếp đến tổng vốn đầu tư ban đầu, phù hợp với điều kiện thực tế của mỏ hầm lò vừa và nhỏ tại Việt Nam. Các phương án đề xuất được thể hiện trong Hình 5, 6, 7.

Bảng 1. Thống kê khối lượng và chi phí cơ bản của các phương án mở vỉa

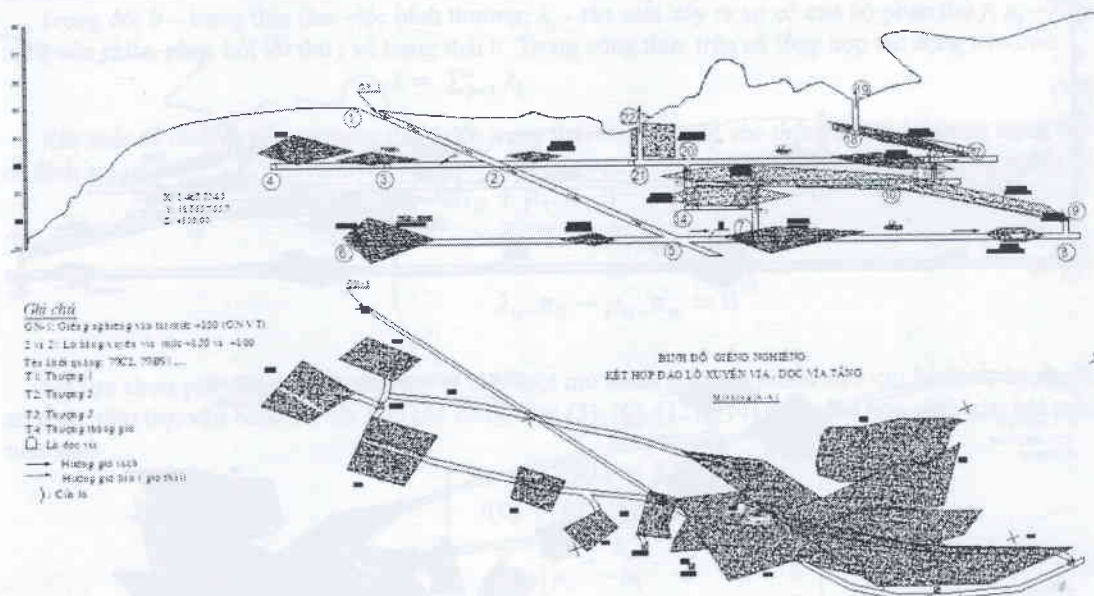
Chỉ tiêu	KL. Lò mở vỉa (m)	KL lò XV (m)	KL lò thượng và TG (m)	CP. XDCB	CP. Sản xuất	CP. Vận tải	CP. Thiết bị	CP. Bảo vệ
P. Án 1	265	330	110	630,264,790	90,189,800	44,100,000	422,000,000	3,089,800
P. Án 2	218	350	80	757,238,472	93,954,000	85,753,600	448,490,000	3,200,400
P. Án 3	257	394	60	850,891,895	90,689,130	86,835,000	510,000,000	3,154,130



Hình 5. Phương án 1 mở vỉa lò bằng kết hợp với lò xuyên vỉa tầng



Hình 6. Phương án 2 mở vỉa hè bằng kết hợp với lộ thượng đi trong thân quảng



Hình 7. Phương án 3 mở vỉa hè bằng kết hợp với lộ xuyên vỉa tầng

4. Kết quả và thảo luận

$$\begin{aligned}
 f(L1) &= 265 + 330 + 110 = 705; f(L2) = 218 + 350 + 80 = 648; f(L3) = 257 + 394 + 60 = 711 \\
 f(C1) &= 630,264,790 < f(C2) = 757,238,472 < f(C3) = 850,891,895 \\
 f(G1) &= 559,379,600; f(G2) = 631,398,000; f(G3) = 690,678,260 \\
 f(L2) &< f(L3) < f(L1); f(C1) < f(C2) < f(C3); f(G1) < f(G2) < f(G3)
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

Từ công thức (16) đưa về tổ hợp của công thức (15) thấy rằng, phương án 1 là phương án có chỉ số tổng hợp tốt hơn hai phương án còn lại. Phương án 1 là phương án ưu tiên được lựa chọn. Kết quả so sánh các phương án thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 2. Tổng hợp so sánh các chỉ tiêu đánh giá ba phương án mở vỉa

Tiêu chí đánh giá	Đơn vị	Phương án 1	Phương án 2	Phương án 3	Phương án tốt nhất
Khối lượng lò mở vỉa	m	265	218	257	PA2
Khối lượng lò xuyên vỉa	m	330	350	394	PA1
Khối lượng lò thông gió	m	110	80	60	PA3
Tổng khối lượng thi công - $f(L)$	m	1.005	648	701	PA2
Chi phí XDCB - $f(G)$	đồng	559.379.600	631.398.000	690.678.260	PA1
Chi phí sản xuất - $f(C_{SX})$	đồng	90.189.800	93.954.000	90.689.130	PA1
Chi phí vận tải - $f(C_{VT})$	đồng	44.100.000	85.753.600	86.835.000	PA1
Chi phí thiết bị - $f(C_{TB})$	đồng	422.000.000	448.490.000	510.000.000	PA1
Chi phí bảo vệ - $f(C_{BV})$	đồng	3.089.800	3.200.400	3.154.130	PA1
Tổng chi phí - $f(C)$	đồng	630.264.790	757.238.472	850.891.895	PA1

5. Kết luận

Khai thác hầm lò là một hoạt động phức tạp, chứa đựng nhiều yếu tố tác động đến dự án (hoặc quá trình thực hiện). Do đó, mỗi dự án cần được xem xét trên nhiều khía cạnh kinh tế, kỹ thuật, năng lực vận hành... Mỗi yếu tố đó tùy thuộc vào từng giai đoạn mà có các trọng số khác nhau, xem xét đánh giá trọng số trong tổ hợp bài toán tổng thể cả mô sẽ cho phép các nhà khai thác lựa chọn phương án giải quyết tối ưu trong tầm nhìn ngắn hạn, trung dài hạn.

Trong quá trình triển khai dự án, các hạn chế của phương án chọn cần được đưa về trạng thái triệt tiêu các ảnh hưởng tiêu cực, duy trì trạng thái làm việc bình thường (trạng thái 0), từ đó có thể lựa chọn các định phí, biến phí theo đó là tối ưu nhất.

Tài liệu tham khảo

1. C. Musingwini, 2016. Presidential Address: Optimization in underground mine planning-developments and opportunities. *The Southern African Institute of Mining and Metallurgy*, ISSN 2225-6253. Address presented at the Annual General Meeting on 11 August 2016, <http://dx.doi.org/10.17159/2411-9717/2016/v116n9a1>
2. L. Lien, 2013. Advances in coal mining technology, in *The Coal Handbook: Towards Cleaner Production*, Dave Osborne, Editor Woodhead Publishing. tr. 193-225.
3. Leandro de Vilhena Costa, José Margarida da Silva, Hernani Mota de Lima, 2017. Analysis of options of production and access ways in underground mines. *REM, Int. Eng. J., Ouro Preto*, 70(2), 237 - 242, apr., <https://doi.org/10.1590/0370-44672015700030> ;
4. Marcus Brazil, Peter Grossman, J. Hyam Rubinstein, Doreen Thomas, 2014. Improving Underground Mine Access Layouts Using Software Tools. *Interfaces*, Vol. 44, No. 2, March-April, pp. 195 - 203 <http://dx.doi.org/10.1287/inte.2013.0691>
5. Nguyễn Văn Dũng, Nguyễn Phi Hùng, Đào Văn Chi, Bùi Mạnh Tùng, 2019a. Ứng dụng mô hình hệ thống liên kết có điều kiện phân tích và xác định trạng thái làm việc của cấu trúc tổ chức sản xuất lò chợ cơ giới hóa. *Tạp chí Công nghiệp Mỏ*, tr. 35 - 40.

6. Nguyễn Văn Dũng, Nguyễn Phi Hùng, Vũ Thái Tiến Dũng, 2019b. Các yếu tố ảnh hưởng và phương pháp tính thời gian làm việc hiệu quả trong cấu trúc tổ chức sản xuất lò chợ cơ giới hóa, *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, tr. 40 - 48.
7. S. M. Rupprecht, 2012. Mine development - access to deposit. *The Southern African Institute of Mining and Metallurgy Platinum*. pp 101 - 120.
8. Wilson, R.B., Willis, R.P.H., and Du Plessis, A.G, 2004. Considerations in the choice of primary access and transportation options in platinum mines. *First International Platinum Conference 'Platinum Adding Value', Sun City, South Africa, 3 - 7 October 2004. Symposium Series S38. The South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg. pp. 269 - 274.*

RESEARCH ON THE APPLICATION OF A CHAIN MODEL FOR SELECTING MINE OPENING METHODS: A CASE STUDY OF THE LUNG HOAI LEAD-ZINC MINE, BAC KAN

Dinh Thi Thanh Nhan^{1,*}, Ngo Thai Vinh¹

¹Hanoi University of Mining and Geology

ABSTRACT

Mining in general, and underground mining in particular, does not have a universally optimal solution due to its complex nature, involving the interaction of multiple natural, economic, and technical factors, and comprising various interrelated production chains. Mine opening is the initial stage of the mining process and plays a critical role in connecting the surface with underground ore bodies. A well-designed mine opening method ensures maximum resource recovery, minimizes the need to leave ore as protective pillars for development roadways, and reduces maintenance and transportation costs. Therefore, mine opening can be considered as a system of interrelated tasks that influence one another and are organized into a structured and functionally linked whole. In this study, a chain model is applied, in which each task in the production process is represented as a node, and the overall process is considered as a set of interconnected nodes. Based on this approach, a matrix of influencing factors is established, and the factors are prioritized to determine appropriate weights. The results indicate that Opening Method No. 1 is the most suitable option for the Lung Hoai lead-zinc mine based on the selected evaluation criteria.

Keywords: production chain, matrix; ore body; mine opening method; geological conditions; access roadway