

# GIẢI PHÁP KỸ THUẬT NÂNG CAO HIỆU QUẢ THU HỒI THAN NÓC TRONG LÒ CHỢ CƠ GIỚI HÓA ĐỒNG BỘ VĨA 7 MỎ THAN HÀ LÂM

Phạm Đức Hưng<sup>1\*</sup>, Đỗ Anh Sơn<sup>1</sup>, Nguyễn Phi Hùng<sup>1</sup>, Đào Văn Chi<sup>1</sup>, Phạm Văn Quân<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Mỏ - Địa chất

<sup>2</sup>Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin

## TÓM TẮT

Theo báo cáo kết quả khai thác than hầm lò năm 2025, ngành than Việt Nam, với nòng cốt là Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (TKV) đã duy trì đà tăng trưởng ổn định nhằm đảm bảo an ninh năng lượng quốc gia với sản lượng đạt gần 39 triệu tấn. Hiện nay, công nghệ khai thác lò chợ cơ giới hóa đồng bộ hạ trần thu hồi than nóc đang áp dụng ở một số mỏ than hầm lò thuộc TKV tại Quảng Ninh. Từ khi áp dụng loại hình công nghệ khai thác này, ngành than đã đạt được nhiều thành tựu đáng kể, góp phần không nhỏ trong việc đáp ứng nhu cầu sản lượng than lớn hàng năm phục vụ phát triển các ngành kinh tế của đất nước. Tuy nhiên, quá trình sử dụng công nghệ khai thác cơ giới hóa cho thấy hiệu quả thu hồi than nóc ở lò chợ chịu ảnh hưởng trực tiếp bởi cách thức thu hồi than nóc; tỷ lệ khấu - hạ trần; bước hạ trần than nóc... Đây là những tồn tại mà khi các lò chợ cơ giới hóa khai thác các vỉa dày dốc thoải - nghiêng chưa giải quyết được toàn diện dẫn đến chưa phát huy triệt để tính ưu việt của loại hình công nghệ tiên tiến này. Trong phạm vi bài viết, nhóm tác giả tiến hành nghiên cứu các giải pháp kỹ thuật để giải quyết các vấn đề nêu trên, đồng thời sử dụng phần mềm PFC xác định tỷ lệ khấu - hạ trần hợp lý cho vỉa 7 mỏ than Hà Lâm nhằm nâng cao hiệu quả thu hồi than nóc cho lò chợ này.

**Từ khóa:** công nghệ khai thác cơ giới hóa; tỷ lệ khấu - hạ trần than nóc; phần mềm PFC

## 1. Đặt vấn đề

Khai thác lò chợ an toàn - hiệu quả, giảm tổn thất tối đa tài nguyên là mục tiêu quan trọng trong sự phát triển của ngành công nghiệp khai thác than trên thế giới, cũng là xu hướng tất yếu của ngành khai thác than ở Việt Nam. Hiện nay, ở nước ta, phương pháp khai thác lò chợ hạ trần là một trong những giải pháp chủ yếu để khai thác vỉa dày và rất dày. Kết quả ứng dụng cho thấy, áp dụng công nghệ hạ trần không những nâng cao được sản lượng, giảm giá thành khai thác than lò chợ, mà còn nâng cao tính an toàn trong khai thác lò chợ. Theo đánh giá tổng hợp trữ lượng than tại các mỏ hầm lò vùng Quảng Ninh thuộc TKV, trữ lượng các vỉa dày dốc thoải và nghiêng chiếm khoảng 44,4% (Báo cáo tổng hợp trữ lượng địa chất vùng Quảng Ninh của Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam, 2012). Từ đó có thể thấy tính khả thi của công nghệ khai thác cơ giới hóa hạ trần thu hồi than nóc ở Việt Nam là rất lớn.

Trên thế giới, công nghệ khai thác cơ giới hóa hạ trần thu hồi than nóc đã và đang áp dụng rất phổ biến và đạt được nhiều thành tựu to lớn. Ở Trung Quốc, tại lò chợ 5318 khu Hưng Long của mỏ than Diễn Châu, tác giả Hoàng Phúc Lữ (Hoàng Lữ Phúc, 2002) đã dựa theo điều kiện địa chất mỏ của lò chợ này tiến hành nghiên cứu, lựa chọn thiết bị cơ giới hóa cho lò chợ, từ đó tiến hành phân tích, thống kê các cách thức thu hồi than hạ trần của lò chợ này. Đây là cơ sở xác định cách thức thu hồi hợp lý nhằm nâng cao hiệu quả thu hồi than nóc cho lò chợ 5318. Cũng tại Trung Quốc, tác giả Lưu Khắc Công (Liu K, 2008) cũng đã tiến hành nghiên cứu tỷ lệ hợp lý giữa khấu và hạ trần than nóc. Qua nghiên cứu, tác giả kết luận: lò chợ cơ giới hóa hạ trần thu hồi than nóc đạt hiệu quả tối ưu khi chiều cao hạ trần không vượt quá 3 lần chiều cao khấu ở lò chợ. Tuy vậy, các lò chợ cơ giới hóa hạ trần thu hồi than nóc mà các tác giả tại Trung Quốc đề cập ở đây đều có điều kiện địa chất tương đối tốt như: độ biến đổi về góc dốc và chiều dày vỉa nhỏ; vỉa gần như nằm ngang; điều kiện đá vách ổn định không có hiện tượng tụt lở gương; vỉa ít có đá kẹp. Ngoài ra, Trung Quốc đã đưa vào áp dụng khai thác lò chợ bằng công nghệ cơ giới hóa hạ trần thu hồi than nóc từ hơn 30 năm nên có nhiều kinh nghiệm quý báu. Điều này hiện ở Việt Nam

\*Tác giả liên hệ

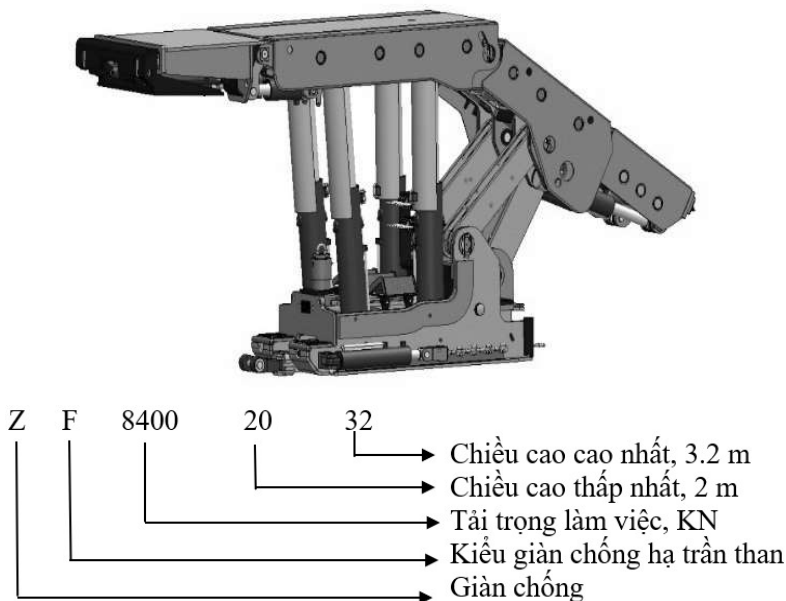
Email: phamduchung@humg.edu.vn

chưa có được do công nghệ khai thác tiên tiến này mới được đưa vào thực tế sản xuất từ năm 2015. Do đó có thể nói, tại Việt Nam, các vấn đề nêu trên hiện chưa có một nghiên cứu hoàn chỉnh nào đề cập đến, thực tế cho thấy hiện nay ở các lò chợ cơ giới hóa thu hồi than nóc, mức độ tổn thất than trong các lò chợ này còn khá cao. Nguyên nhân chủ yếu do công tác tổ chức sản xuất, công tác tổ chức thu hồi than nóc, các vấn đề liên quan đến áp lực mỏ... Vì vậy, việc áp dụng các biện pháp kỹ thuật và nghiên cứu các giải pháp nhằm giải quyết các vấn đề mấu chốt là con đường tất yếu để nâng cao hiệu quả khai thác, qua đó bảo đảm tính thành công và ưu thế của công nghệ này.

Trong phạm vi bài viết, nhóm tác giả phân tích các nguyên nhân và đề xuất giải pháp kỹ thuật xử lý các vấn đề nêu trên, qua đó nâng cao hiệu quả khai thác cho lò chợ cơ giới hóa hạ trần thu hồi than nóc của vỉa 7 mỏ than Hà Lâm trong điều kiện địa chất mỏ tại Việt Nam.

## 2. Hiện trạng khai thác vỉa 7 mỏ than Hà Lâm

Trên cơ sở thành công của dây chuyền lò chợ cơ giới hóa vỉa 11, tháng 10/2016, Công ty Than Hà Lâm tiếp tục đưa vào áp dụng dây chuyền công nghệ cơ giới hóa đồng bộ thứ hai tại lò chợ 7-2 vỉa 7 với công suất thiết kế 1,2 triệu tấn/năm. Vỉa 7 có chiều dày trung bình 18,56 m, góc dốc vỉa than từ 2° - 25°. Lò chợ sử dụng giàn chống ZF8400/20/32, máy khâu MG300/730-WD và máng cào SGZ630/264. Khu vực thiết kế có chiều dài lò chợ 154m (tương đương 102 giàn chống), chiều dài theo phương lò chợ 750m, chiều cao khâu gương 3,0m; chiều dày lớp than hạ trần trung bình 15,07m và bước thu hồi than hạ trần 0,63m (Công ty Cổ phần Tư vấn Đầu tư Công nghiệp Vinacomin, 2013).

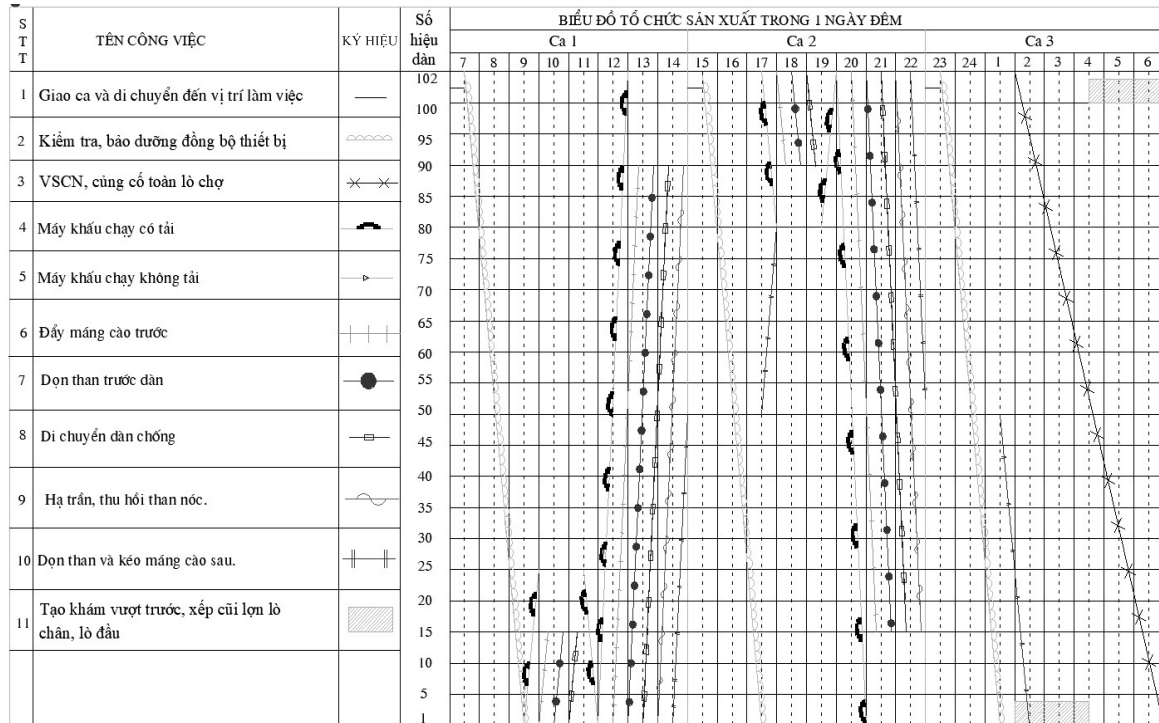


Hình 1. Giàn chống cơ giới hóa hạ trần thu hồi than nóc vỉa 7 mỏ Hà Lâm

Thiết bị giàn chống và biểu đồ tổ chức sản xuất được thể hiện như trên Hình 1 và Hình 2. Thực tế khai thác cho thấy, khi sử dụng các thông số của công nghệ khai thác ở lò chợ và biểu đồ tổ chức như vậy thì chưa phát huy hết tính ưu việt của các thiết bị cơ giới hóa. Quá trình khai thác biểu đồ tổ chức lò chợ liên tục bị phá vỡ do phát sinh những sự cố liên quan đến việc thu hồi than nóc. Điều này cần phải được giải quyết triệt để nhằm nâng cao hiệu quả khai thác cho lò chợ cơ giới hóa vỉa 7 mỏ than Hà Lâm.

Với biểu tổ chức này, một ngày đêm được bố trí 3 ca, khai thác theo 2 luồng, tương ứng với 2 chu kỳ khâu thực hiện trong ca 1 và ca 2. Một luồng khâu khai thác bao gồm các công việc: khâu, chống giữ, hạ trần thu hồi than nóc lò chợ với tiến độ 0,6 m/luồng; thu hồi vỉ chống tại lò vận tải và lò thông gió.

Công tác kiểm tra, bảo dưỡng thiết bị cơ giới hóa lò chợ được thực hiện vào đầu mỗi ca và toàn bộ ca 3. Nội dung công việc bao gồm kiểm tra tình trạng kỹ thuật, bảo dưỡng và sửa chữa, thay thế phụ tùng (nếu cần) đối với máy khâu than, giàn chống, máng cào, máy chuyển tải, máy nghiền, băng tải, hệ thống thiết bị điện, hệ thống bơm dung dịch nhũ hóa, hệ thống lọc bụi, hệ thống cung cấp điện, hệ thống cấp nước, hệ thống cảnh báo khí mê-tan, kiểm tra áp lực giàn chống... nhằm bảo đảm điều kiện làm việc trước khi tiến hành khâu than.



Hình 2. Biểu đồ tổ chức sản xuất của lò chợ cơ giới hóa vỉa 7 mỏ than Hà Lâm

### 3. Các yếu tố kỹ thuật ảnh hưởng đến hiệu quả khai thác lò chợ cơ giới hóa vỉa 7 mỏ than Hà Lâm

#### 3.1. Cách thức thu hồi than hạ trần

Hiện nay, lò chợ sử dụng công nghệ khai thác cơ giới hóa hạ trần thu hồi than nóc trên thế giới đang dùng cách thức hạ trần như: hạ trần nhiều lần theo thứ tự liên tục của dàn chống; hạ trần nhiều lần theo thứ tự so le của dàn chống; hạ trần một lần theo thứ tự liên tục của dàn chống; hạ trần một lần theo thứ tự so le của dàn chống (Phạm Đức Hưng và cộng sự, 2018); (Balasubrahmanyam N, Budi G, 2022).

##### a) Cách thức tháo than hạ trần liên tục nhiều lần

Đối với phương thức hạ trần than nóc nhiều lần liên tục, quá trình được thực hiện theo thứ tự các giàn chống 1, 2, 3... Cụ thể, mỗi lần hạ trần chỉ thu hồi khoảng 1/2 đến 1/3 lượng than nóc, do đó sau 2 - 3 lần hạ trần sẽ hoàn thành quá trình thu hồi. Phương pháp này cho tỷ lệ thu hồi than nóc cao do hạn chế lẫn đá vách; tuy nhiên, thao tác kỹ thuật phức tạp và tốc độ thu hồi chậm (Bui Manh Tung và cộng sự, 2021; Wang J. và cộng sự, 2021; Vakili A., 2009).

Phương thức thu hồi than nóc này thường được áp dụng trong điều kiện chiều dày than nóc lớn và khả năng sập đổ tự nhiên của than nóc kém. Quy trình thu hồi được thực hiện lần lượt từ giàn chống đầu lò chợ đến giàn chống cuối lò chợ; trong mỗi giàn chống, than được hạ và thu hồi từng lần cho đến khi gặp đá phá hỏa thì tiến hành đóng cửa thu hồi.

##### b) Cách thức tháo than hạ trần lần lượt một lần

Sự khác nhau giữa phương thức tháo hạ nhiều lần và tháo hạ một lần thể hiện ở mức độ kiểm soát ranh giới giữa than và đá phá hỏa. Đối với phương thức tháo hạ nhiều lần, ranh giới than - đá được hạ xuống

tương đối đồng đều; đá phá hóa ở lần hạ đầu của giàn chống thứ nhất sẽ tiến vào cửa tháo ở các lần sau chậm hơn, qua đó làm giảm tỷ lệ lần đá phá hóa trong than thu hồi và nâng cao hệ số thu hồi than. Tuy nhiên, phương pháp này có nhược điểm là tốc độ tháo than chậm, đồng thời thao tác hạ trần phức tạp và khó khăn hơn.

Ngược lại, phương thức thu hồi than nóc một lần được thực hiện tuần tự theo thứ tự các giàn chống (1, 2, 3...). Toàn bộ quá trình thu hồi than nóc được tiến hành trong một lần liên tục. Ưu điểm của phương pháp này là thao tác đơn giản, dễ tổ chức thi công; tuy nhiên, nhược điểm là tỷ lệ thu hồi than nóc thấp hơn do mức độ lần đá phá hóa cao hơn.

*c) Cách thức thu hồi than nóc so le một lần*

Loại hình thu hồi than nóc một lần và so le được thực hiện theo trình tự 1, 3, 5... của dàn chống. Quá trình thu hồi than nóc được thực hiện một lần sau đó thao tác này được lặp lại ở trình tự 2, 4, 6 của giàn chống. Kinh nghiệm khai thác ở lò chợ áp dụng loại hình công nghệ khai thác và trình tự hạ trần than nóc này cho thấy thao tác tương đối đơn giản và có tỷ lệ thu hồi than nóc cao.

**3.2. Tỷ lệ khấu - hạ trần**

Tỷ lệ khấu - hạ trần là tỷ số giữa chiều cao khấu M1 và chiều cao lớp than hạ trần M2. Hiện nay, trong công nghệ khai thác tiên tiến, tỷ lệ này thường được áp dụng theo các mức 1:1, 1:2 và 1:3 (Liu K., 2008). Trước đây, việc xác định tỷ lệ khấu - hạ trần chủ yếu dựa trên hệ số rời rạc Ks của than để xác định chiều cao khấu hợp lý. Có giả thuyết cho rằng, đối với các vỉa than dày đến rất dày, chiều cao khấu càng lớn thì khả năng sập đổ và thu hồi than nóc càng thuận lợi, qua đó làm tăng tỷ lệ thu hồi chung của lò chợ. Tuy nhiên, do bị giới hạn bởi kích thước thiết bị như giàn chống và máy khấu, chiều cao khấu không thể tăng tùy ý. Vì vậy, trong điều kiện địa chất cụ thể, việc lựa chọn hợp lý tỷ lệ khấu - hạ trần nhằm nâng cao hiệu quả thu hồi vẫn là vấn đề cần tiếp tục nghiên cứu.

Thông thường, đối với các vỉa than mềm yếu, khả năng phá hủy và sập đổ của đá vách tốt nhưng điều kiện chống giữ hai đầu lò chợ khó khăn, hiện tượng tụt nóc và lở gương dễ xảy ra; do đó cần giảm tỷ lệ khấu - hạ trần. Ngược lại, đối với các vỉa có độ cứng trung bình trở lên, cần tăng chiều cao khấu và mở rộng không gian thu hồi phía sau để nâng cao tỷ lệ thu hồi than nóc. Trong công nghệ khai thác cơ giới hóa hạ trần thu hồi than nóc, chiều cao khấu và tỷ lệ khấu - hạ trần có ảnh hưởng trực tiếp đến quy luật sập đổ của than nóc và đá vách. Các nghiên cứu cho thấy quá trình thu hồi than nóc chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố, bao gồm: chiều rộng dầm vách trực tiếp, chiều cao khấu (tỷ lệ khấu - hạ trần), bước hạ trần, lực làm việc của giàn chống, góc sập đổ của than nóc và phương thức thu hồi than nóc... Những yếu tố này ảnh hưởng trực tiếp đến cả tỷ lệ thu hồi và chất lượng than thu hồi. Việc tăng chiều cao khấu đồng nghĩa với việc giảm chiều cao than nóc thu hồi, tuy nhiên có thể làm gia tăng áp lực lò chợ, thậm chí ảnh hưởng đến quá trình phá vỡ và sập đổ của than nóc. Quan hệ giữa chiều cao khấu và hệ số bị phá vỡ của than nóc được thể hiện qua hàm số:

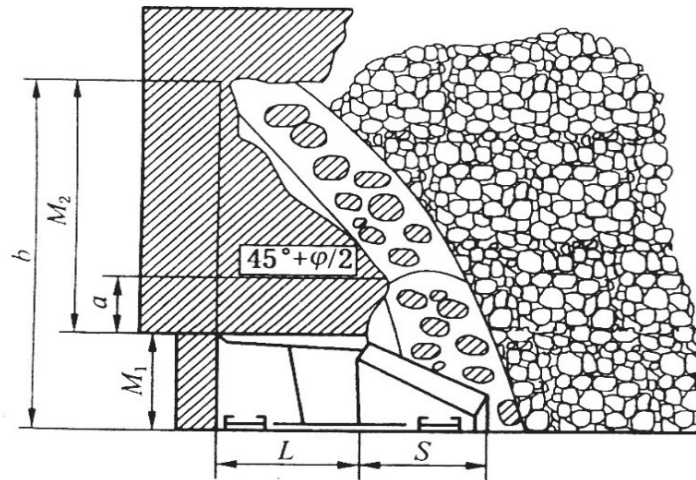
$$Y = 1,8728.e^{0,2494.Mk} \quad (1-1)$$

Trong đó:

Y: Hệ số bị phá vỡ của than nóc;

M<sub>k</sub>: Chiều cao khấu ở lò chợ.

Việc tăng chiều cao khấu làm gia tăng mức độ phá vỡ của than nóc và mở rộng phạm vi ảnh hưởng của dầm vách trực tiếp, qua đó thúc đẩy quá trình phá hủy và làm vụn than nóc. Do đó, lựa chọn tăng chiều cao khấu một cách hợp lý có thể tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình thu hồi than nóc. Tuy nhiên, khi chiều cao khấu tăng quá mức, hiện tượng tụt nóc tại gương lò chợ có thể xảy ra do áp lực đá vách tăng, đồng thời góc gãy của than nóc cũng có xu hướng lớn hơn. Điều này không thuận lợi cho quá trình thu hồi than, bởi than nóc có xu hướng trượt về phía gương lò chợ, trong khi đá phá hóa chiếm phần không gian phía sau giàn chống. Hệ quả là không chỉ làm giảm chất lượng than thu hồi do lẫn tạp chất đá, mà còn tiềm ẩn nguy cơ mất ổn định giàn chống, như hiện tượng xô dịch hoặc giàn chống làm việc không tải, gây bất lợi cho quá trình khai thác. Quá trình này được minh họa trên Hình 3 (Yuan Y, 2011).



Hình 3. Quan hệ giữa tỷ lệ khẩu - hạ trần than nóc

Khi đó, chiều cao tối hạn bị sập đổ của phần than nóc thông qua thực nghiệm tại hiện trường khai thác thống kê được xác định bằng công thức:

$$M_{\max} = M_1 + \frac{S}{2f_1} + L \tan(45^\circ + \phi/2) \quad (1-2)$$

Trong đó:

$M_1$ : Chiều cao khẩu gương, m;

$S$ : Chiều rộng của khu vực thu hồi than nóc phía sau lò chợ, m;

$L$ : Chiều rộng của xà dầm chống, m;

$f_1$ : Hệ số góc nội ma sát của cục than;

$\phi$ : Hệ số nở rời của cục than;

$A$ : Chiều cao của cửa tháo than, m;

$M_2$ : Chiều cao tối hạn bị sập đổ của phần than nóc, m.

Như vậy, vấn đề xác định cách thức thu hồi than nóc và xác định giữa tỷ lệ khẩu - hạ trần hợp lý sẽ góp phần nâng cao hiệu quả khai thác cho lò chợ cơ giới hóa vỉa 7 mỏ than Hà Lâm.

#### 4. Nghiên cứu xác định tỷ lệ khẩu - hạ trần hợp lý cho lò chợ cơ giới hóa vỉa 7 mỏ than Hà Lâm

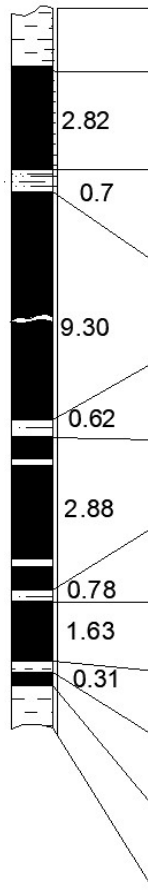
##### 4.1. Cơ sở giải quyết

Phần mềm PFC 3.1 là công cụ mô phỏng phù hợp cho việc phân tích môi trường vật liệu rời không liên tục của đất đá, được mô tả trong không gian hai chiều dưới tác động của tải trọng tĩnh hoặc động thông qua các phần tử rời rạc. Trong lĩnh vực khai thác mỏ, đặc biệt là công nghệ cơ giới hóa hạ trần thu hồi than nóc, PFC 3.1 được sử dụng hiệu quả trong việc dự báo quá trình sập đổ của đá vách và than nóc trong lò chợ (Yuan Y., 2011; Shi Y., Ning Y., Qi Q., 2006). Trong phạm vi nghiên cứu này, nhóm tác giả sử dụng phần mềm PFC 3.1 để xây dựng mô hình số. Các mô hình được thiết lập với các giá trị chiều cao khẩu khác nhau nhằm phân tích quá trình làm việc tại gương lò chợ và tỷ lệ tổn thất than nóc trong quá trình thu hồi. Quá trình mô phỏng được thực hiện từ thời điểm bắt đầu hạ trần than nóc đến khi quá trình thu hồi than nóc đạt trạng thái ổn định. Trong điều kiện vỉa than rất dày, các mô hình số được xây dựng với các chiều cao khẩu khác nhau nhằm phân tích mối quan hệ giữa chiều cao khẩu và chiều cao hạ trần, cũng như ảnh hưởng của chúng đến quá trình thu hồi và chất lượng than nóc thu hồi, với các thông số mô hình được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Tham số của mô hình lò chợ cơ giới hóa via 7 mỏ than Hà Lâm

STT	Chiều dày vỉa, m	Chiều cao khẩu gương, m	Chiều dày than nóc hạ trần, m	Tỷ lệ khẩu - hạ trần, m
Phương án 1 (P.A1)	20	2.8	17.2	1: 6.14
Phương án 2 (P.A2)	20	3.2	16.8	1: 5.25

Thiết lập mô hình lò chợ khai thác hạ trần thu hồi than nóc với chiều cao mô hình 40m, chiều dài của mô hình là 80m, mặt bên của mô hình là điều kiện dịch động ngang, phía dưới là điều kiện dịch động thẳng đứng. Căn cứ vào kết quả quan trắc thực tế ở hiện trường mỏ, phân than nóc được chia thành 03 lớp: lớp trên, lớp giữa và lớp dưới, bán kính các khối than nóc sau khi phá hủy tương ứng là 0,08m, 0,09m, 0,1m. Chiều dày vách trực tiếp lấy theo trung bình thực tế của vỉa than là 20m, phân thành hai lớp đất đá, theo đó lớp đất đá trên và lớp đất đá dưới với mỗi lớp là 10m, bán kính khối than nóc sau phá hủy của lớp trên và lớp dưới lần lượt là 0,14m và 0,16m, bán kính các khối than nóc lấy trung bình là 0,14m. Tham số cơ lý của đất đá và điều kiện địa tầng của khu vỉa 7 mỏ than Hà Lâm thể hiện trong Hình 4 và Bảng 2 (Pham Duc Hung và cộng sự, 2025).

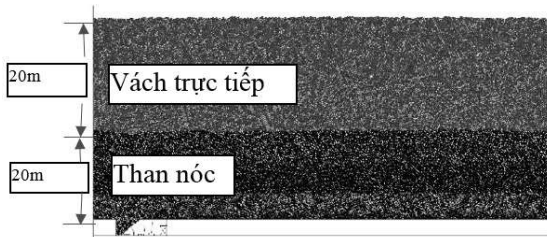


	Sét kết	Chiều dày M = 20m, Cường độ kháng nén $\sigma = 1595.5\text{kG/cm}^2$ ; Góc nội ma sát $\varphi = 34^\circ$ ; Mật độ $\gamma = 2.67\text{T/m}^3$
2.82	Coal	Chiều dày M = 2.82m, Cường độ kháng nén $\sigma = 222.27\text{kG/cm}$ ; Góc nội ma sát $\varphi = 32$ ; Mật độ $\gamma = 1.41\text{T/m}$
0.7	Sét kết	Chiều dày M = 0.7m, Cường độ kháng nén $\sigma = 1595.5\text{kG/cm}$ ; Góc nội ma sát $\varphi = 34$ ; Mật độ $\gamma = 2.67\text{T/m}$
9.30	Coal	Chiều dày M = 9.3m, Cường độ kháng nén $\sigma = 222.27\text{G/cm}$ ; Góc nội ma sát $\varphi = 32$ ; Mật độ $\gamma = 2.41\text{T/m}$
0.62	Sét kết	Chiều dày M = 0.47m, Cường độ kháng nén $\sigma = 1595.5\text{kG/cm}$ ; Góc nội ma sát $\varphi = 34$ ; Mật độ $\gamma = 2.67\text{T/m}$
2.88	Via than	Chiều dày M = 2.88m, Cường độ kháng nén $\sigma = 1595.5\text{kG/cm}$ ; Góc nội ma sát $\varphi = 32$ ; Mật độ $\gamma = 1.41\text{T/m}$
0.78	Sét kết	Chiều dày M = 0.78m, Cường độ kháng nén $\sigma = 1595.5\text{kG/cm}$ ; Góc nội ma sát $\varphi = 34$ ; Mật độ $\gamma = 2.67\text{T/m}$
1.63	Via than	Chiều dày M = 1.63m, Cường độ kháng nén $\sigma = 1595.5\text{kG/cm}$ ; Góc nội ma sát $\varphi = 32$ ; Mật độ $\gamma = 1.41\text{T/m}$
0.31	Bột kết	Chiều dày M = 0.41m, Cường độ kháng nén $\sigma = 521\text{kG/cm}$ ; Góc nội ma sát $\varphi = 32$ ; Mật độ $\gamma = 2.67\text{T/m}$
	Via than	Chiều dày M = 0.31m, Cường độ kháng nén $\sigma = 1595.5\text{kG/cm}$ ; Góc nội ma sát $\varphi = 34$ ; Mật độ $\gamma = 2.67\text{T/m}$
	Sét kết	Chiều dày M = 20m, Cường độ kháng nén $\sigma = 1595.5\text{kG/cm}$ ; Góc nội ma sát $\varphi = 34$ ; Mật độ $\gamma = 2.67\text{T/m}$

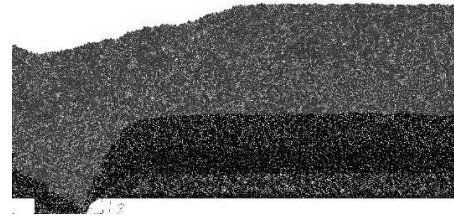
Hình 4. Lỗ khoan địa tầng LK1765 via 7 mỏ than Hà Lâm

Bảng 2. Thông số cơ lý của đá và than vỉa 7 mỏ than Hà Lâm

Tên lớp	Độ cứng pháp tuyến/ Gpa	Độ cứng tiếp tuyến/ Gpa	Dung trọng/N/ m <sup>3</sup>	Bán kính hạt/m	Tỷ lệ độ rỗng	Hệ số ma sát
Lớp than dưới	4	4	1400	0.08	0.35	0.5
Lớp than giữa	4	4	1400	0.09	0.35	0.5
Lớp than trên	4	4	1400	0.10	0.35	0.5
Lớp trên vách trực tiếp	12	12	2550	0.14	0.35	0.7
Lớp dưới vách trực tiếp	12	12	2550	0.16	0.35	0.7



a) Trạng thái ban đầu của mô hình

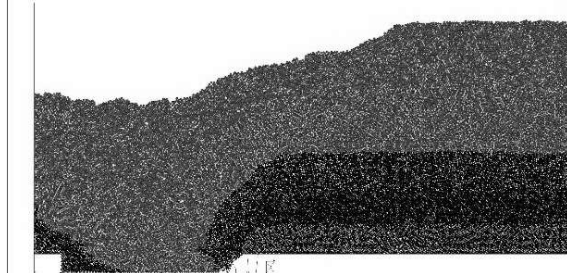


b) Trạng thái của mô hình sau lần thu hồi than nóc đầu tiên

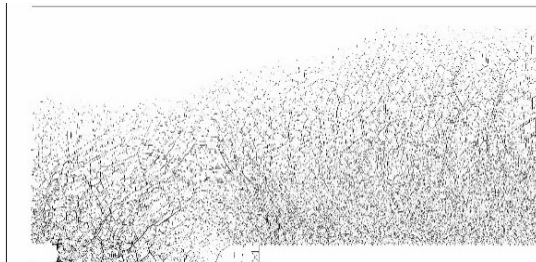
Hình 5. Mô hình tính toán

#### 4.2. Phân tích mô hình số

So với khai thác các vỉa dày trung bình bằng phương pháp hạ trần, khi khai thác các vỉa rất dày, do chiều dày than nóc lớn nên khoảng cách từ lớp than nóc phía trên đến cửa tháo than xa hơn so với khu vực đá phá hỏa phía sau giàn chống. Vì vậy, đá phá hỏa phía sau có xu hướng chảy vào cửa tháo than trước, gây cản trở quá trình thu hồi than và làm tăng tổn thất tài nguyên trong quá trình hạ trần.

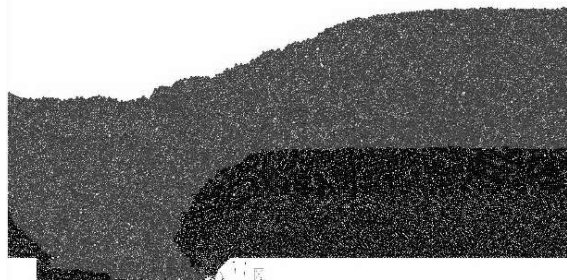


Trạng thái sập đổ của vách khi tỷ lệ khâu - hạ 1:6,14

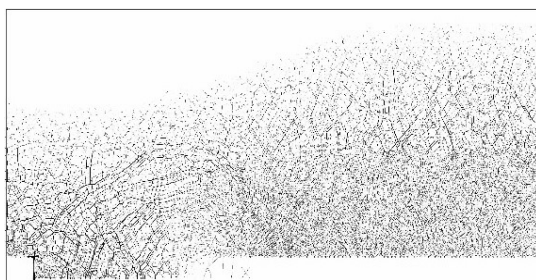


Vùng ứng suất tiếp xúc của than và đất đá phá hỏa khi tỷ lệ khâu - hạ 1:5,25

a) Khi chiều cao khâu gương lò chợ là 2,8m



Trạng thái sập đổ của vách khi tỷ lệ khâu - hạ 1:5,25



Vùng ứng suất tiếp xúc của than và đất đá phá hỏa khi tỷ lệ khâu - hạ 1:5,25

b) Khi chiều cao khâu gương lò chợ là 3,2m

Hình 6. Trạng thái khu vực lò chợ cơ giới hóa vỉa 7 Hà Lâm ở hai phương án khai thác

Từ trạng thái ứng suất tiếp xúc có thể thấy, phía sau giàn chống hình thành một vùng rời rạc có dạng elip nghiêng. Trong vùng này, ứng suất tiếp xúc giữa than và đá phá hỏa tương đối nhỏ. Lấy cửa tháo than làm trung tâm, trạng thái phân bố này gần tương đương với dạng hình vòm; càng tiến gần cửa tháo than, ứng suất tiếp xúc càng giảm. Điều đó cho thấy, khu vực gần cửa tháo than có mức độ dịch động của than và đá phá hỏa gần như ở trạng thái rời rạc tự do, tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình thu hồi than. Qua Hình 6 có thể thấy, trong quá trình hạ trần than nóc, ranh giới giữa than và đá phá hỏa được hình thành tương đối rõ ràng. Quá trình tổn thất than không xảy ra đồng đều trong từng chu kỳ tháo than, mà mang tính tích lũy qua nhiều chu kỳ hạ trần. Sau một số chu kỳ nhất định, có thể xảy ra hiện tượng tổn thất tập trung với khối lượng lớn trong vùng phá hỏa; trong một số trường hợp, một số giàn chống có tỷ lệ thu hồi cục bộ vượt mức bình thường do hiệu ứng tích lũy dòng chảy vật liệu. Do đó, quy luật hạ trần thể hiện tính chu kỳ rõ rệt. Trong mỗi chu kỳ tổn thất, độ nghiêng của ranh giới giữa than và đá phá hỏa có xu hướng tăng dần, chuyển từ dạng góc nhọn sang góc tù. Khi đạt đến một ngưỡng nhất định, đá phá hỏa có thể xâm nhập vào vùng than đã bị dịch động, gây ra tổn thất cục bộ lớn; đồng thời ranh giới giữa than và đá phá hỏa lại được tái thiết lập theo xu hướng góc nhọn.

Kết quả phân tích từ mô hình số cho thấy tỷ lệ thu hồi than nóc và tỷ lệ lẫn đá trong than thu hồi đối với các phương án khai thác có bước thu hồi 0,6m được trình bày trong Bảng 3 dưới đây.

*Bảng 3. Kết quả thu hồi than hạ trần tại hai phương án khai thác với bước hạ trần 0,6m/chu kỳ*

Số chu kỳ thu hồi than nóc	1	2	3	4	5	6
Tỷ lệ thu hồi than nóc P.A1; %	575.9	37.8	20.2	29.9	27.4	27.6
Tỷ lệ đá lẫn P.A1; %	3.86	48.45	62.9	54.9	52.7	56.27
Tỷ lệ thu hồi than nóc P.A2; %	735.33	47.13	44.93	47.63	50.71	42.66
Tỷ lệ đá lẫn P.A2; %	1.89	39.83	41.45	39.56	39.05	43.1
Số chu kỳ thu hồi than nóc	7	8	9	10	11	12
Tỷ lệ thu hồi P.A1; %	33.7	41.2	61.2	34.2	29.9	50.4
Tỷ lệ đá lẫn P.A1; %	47.4	54.5	43.6	34.1	51.73	37.58
Tỷ lệ thu hồi P.A2; %	43.21	31.19	62.08	53.96	24.63	30.94
Tỷ lệ đá lẫn P.A2; %	42.62	50.15	34.39	36.6	57.21	50.06
Số chu kỳ thu hồi than nóc	13	14	15	16	17	18
Tỷ lệ thu hồi P.A1; %	40.4	31.1	68.9	100.9	88.3	69.7
Tỷ lệ đá lẫn P.A1; %	46.05	49.93	31.58	23.54	26.07	31.59
Tỷ lệ thu hồi P.A2; %	48	74.03	84.31	73.72	30.1	55.81
Tỷ lệ đá lẫn P.A2; %	39.96	30.94	26.82	32.05	51.87	35.83
Số chu kỳ thu hồi than nóc	19	20	21	22	23	24
Tỷ lệ thu hồi P.A1; %	40.52	25.63	78.1	130.1	199.86	146.3
Tỷ lệ đá lẫn P.A1; %	40.52	25.63	28.32	18.86	13.2	18.48
Tỷ lệ thu hồi P.A2; %	73.55	73.81	69.17	64.32	79.76	88
Tỷ lệ đá lẫn P.A2; %	30.21	29.72	32.3	33.57	29.56	29.31
Số chu kỳ thu hồi than nóc	25	26	27	28	29	30
Tỷ lệ thu hồi P.A1; %	145.2	238.2	68.9	134.0	95.6	82.51
Tỷ lệ đá lẫn P.A1; %	18.26	11.63	31.5	19.5	22.5	17.6
Tỷ lệ thu hồi P.A2; %	95.7	64.19	90.72	89.67	91.06	133.1
Tỷ lệ đá lẫn P.A2; %	25.52	33.38	26.47	27.07	26.64	19.32

Số liệu trong Bảng 3 cho thấy, khi điều kiện khai thác với chiều cao khẩu gương 2,8m và 3,2m, cùng bước hạ trần 0,6m, thì tỷ lệ thu hồi than nóc và tỷ lệ đá lẫn trung bình lần lượt đạt 77,46% và 35,24%

đối với phương án 2,8m; tương ứng 89,03% và 33,52% đối với phương án 3,2m. Như vậy, có thể thấy rằng, với tỷ lệ khẩu - hạ trần 1:6,14, phương án khai thác có chiều cao khẩu gương 3,2m cho tỷ lệ thu hồi than nóc cao hơn so với phương án có chiều cao khẩu gương 2,8m. Tiếp tục thay đổi bước hạ trần của hai phương án khai thác lên 1,2m, kết quả thu được được trình bày trong Bảng 4 dưới đây.

*Bảng 4. Kết quả thu hồi than hạ trần tại hai phương án khai thác với bước hạ trần 1,2m/chu kỳ*

Số chu kỳ thu hồi than nóc	1	2	3	4	5	6
Tỷ lệ thu hồi than nóc P.A1; %	550.6	36.8	21.2	29.6	25.6	26.6
Tỷ lệ đá lẫn P.A1; %	4.86	49.45	64.9	55.9	53.8	57.27
Tỷ lệ thu hồi than nóc P.A2; %	377.56	38.78	45.22	50.05	48.16	76.47
Tỷ lệ đá lẫn P.A2; %	2.9	31.69	25.75	24.53	17.75	13.04
Số chu kỳ thu hồi than nóc	7	8	9	10	11	12
Tỷ lệ thu hồi P.A1; %	31.7	40.2	61.5	32.6	29.6	50.8
Tỷ lệ đá lẫn P.A1; %	48.4	55.65	43.68	34.19	52.78	38.59
Tỷ lệ thu hồi P.A2; %	106.98	99.23	86.84	70.94	82.18	126.1
Tỷ lệ đá lẫn P.A2; %	13.55	7.72	8.31	16.5	6.66	8.52
Số chu kỳ thu hồi than nóc	13	14	15	16	17	18
Tỷ lệ thu hồi P.A1; %	41.8	33.1	65.6	103.9	90.3	70.1
Tỷ lệ đá lẫn P.A1; %	46.05	49.93	31.58	23.54	26.07	31.59
Tỷ lệ thu hồi P.A2; %	8.72	15.61	18.22	18.24	14.83	22.21
Tỷ lệ đá lẫn P.A2; %	23	24	25	26	27	28
Số chu kỳ thu hồi than nóc	19	20	21	22	23	24
Tỷ lệ thu hồi P.A1; %	48.9	41.2	79.1	129.1	200.1	145.6
Tỷ lệ đá lẫn P.A1; %	41.56	26.66	69.9	136	96.6	83.58
Tỷ lệ thu hồi P.A2; %	55.88	42.79	124.66	74.16	112.5	105.3
Tỷ lệ đá lẫn P.A2; %	40.52	26.81	11.42	17.4	12.56	14.14
Số chu kỳ thu hồi than nóc	25	26	27	28	29	30
Tỷ lệ thu hồi P.A1; %	111.6	239.2	69.9	135	95.6	70.8
Tỷ lệ đá lẫn P.A1; %	19.26	13.63	32.5	19.8	22.8	19.6
Tỷ lệ thu hồi P.A2; %	113.7	173	214.2	99.2	77.9	74.1
Tỷ lệ đá lẫn P.A2; %	12.36	8.67	7.14	13.92	17.23	17.6

Kết quả trong Bảng 4 cho thấy, với bước hạ trần 1,2m, tỷ lệ thu hồi than nóc và tỷ lệ đá lẫn trung bình lần lượt đạt 91,99% và 16,37% đối với phương án chiều cao khẩu gương 2,8m; tương ứng 89,88% và 18,48% đối với phương án chiều cao khẩu gương 3,2m. Với tỷ lệ khẩu - hạ trần 1:5,25, có thể thấy phương án khai thác với chiều cao khẩu gương 3,2m cho tỷ lệ thu hồi than nóc cao hơn so với phương án chiều cao khẩu gương 2,8m.

## 5. Kết luận

Việc tăng chiều cao khẩu làm gia tăng mức độ phá vỡ của than nóc và mở rộng phạm vi ảnh hưởng của dầm vách trực tiếp, qua đó thúc đẩy quá trình phá hủy than nóc. Tuy nhiên, khi chiều cao khẩu tăng quá mức, hiện tượng tụt nóc tại gương lò chợ có thể xảy ra do áp lực đá vách gia tăng, kéo theo sự gia tăng góc gãy của than nóc. Khi đó, than nóc có xu hướng trượt về phía gương lò chợ, trong khi đá phá hòa chiếm không gian phía sau giàn chống. Điều này không chỉ làm giảm chất lượng than thu hồi do lẫn tạp chất đá, mà còn tiềm ẩn nguy cơ mất ổn định giàn chống, như hiện tượng xô dịch hoặc giàn chống làm việc không tải, gây bất lợi cho quá trình khai thác. Hiện nay, mỏ than Hà Lâm đang khai thác hai tổ

hợp lò chợ cơ giới hóa hạ trần thu hồi than nóc tại vỉa 11 và vỉa 7. Để khắc phục hiện tượng tụt nóc, lở gương, đồng thời đảm bảo mức độ phá vỡ than nóc hợp lý, tại lò chợ vỉa 11 đã áp dụng chiều cao khẩu 2,6m, chiều cao thu hồi 9,4m, tương ứng tỷ lệ khẩu - thu hồi 1:4,6; bước hạ trần 1,2m/chu kỳ. Kết quả thống kê cho thấy tỷ lệ thu hồi than nóc trong quá trình khai thác luôn đạt trên 90% tại lò chợ vỉa 11 mỏ Hà Lâm (Công ty Than Hà Lâm, 2016).

Do vỉa 7 và vỉa 11 có các điều kiện về đá vách, trụ, cấu tạo vỉa than tương đồng nhau, kết hợp với kết quả thu được trong thời gian khai thác vỉa 11 và quá trình điều chỉnh chiều cao khẩu trong 4 tháng đầu năm 2017 tại lò chợ vỉa 7 mỏ Hà Lâm cho thấy, với tỷ lệ khẩu hạ trần 1/5,25 cho hiệu quả thu hồi than nóc rất khả quan.

Từ kết quả thống kê cho thấy, khi áp dụng các tỷ lệ khẩu - hạ trần khác nhau, tỷ lệ thu hồi than nóc cũng biến động tương ứng. Đồng thời, tổn thất theo chu kỳ không đồng đều, dẫn đến khối lượng than thu hồi trong từng chu kỳ có sự chênh lệch. Điều này chỉ ra quá trình hạ trần giữa các chu kỳ chưa cân bằng, phản ánh sự thiếu đồng bộ giữa công tác khẩu và hạ trần. Trên cơ sở đó, có thể sử dụng phương sai của tỷ lệ thu hồi than nóc làm chỉ tiêu đánh giá mức độ ổn định và cân đối trong quá trình hạ trần.

Kinh nghiệm áp dụng công nghệ cơ giới hóa hạ trần tại Trung Quốc cho thấy, tỷ lệ khẩu - hạ trần thường không vượt quá 1/3. Điều này khác biệt so với các lò chợ áp dụng tại vỉa 11 và vỉa 7 của mỏ Hà Lâm. Sự khác biệt này chủ yếu do điều kiện địa chất: tại các mỏ ở Trung Quốc, hàm lượng đá kẹp trong vỉa than thấp hơn, do đó chiều cao khẩu gương có thể đạt giá trị lớn hơn (tối đa khoảng 6,3m), trong khi tại Việt Nam, chiều cao khẩu gương thường không vượt quá 3,0m. Bên cạnh đó, khả năng triệt tiêu áp lực tựa tại các lò chợ ở Trung Quốc tốt hơn, giúp hạn chế hiện tượng tụt nóc và lở gương, qua đó đảm bảo an toàn khai thác. Ngược lại, tại Việt Nam, hiện tượng này vẫn chưa được kiểm soát triệt để. Ngoài ra, điều kiện than và đá vách tại Việt Nam chủ yếu thuộc loại cứng trung bình, có xu hướng dễ sập đổ, điều này vừa tạo thuận lợi cho công nghệ hạ trần thu hồi than nóc, vừa làm cho quá trình kiểm soát ổn định lò chợ trở nên phức tạp hơn. Những yếu tố trên là nguyên nhân chủ yếu dẫn đến sự khác biệt về tỷ lệ khẩu - hạ trần tại lò chợ cơ giới hóa vỉa 7 và vỉa 11 mỏ than Hà Lâm so với các mỏ áp dụng cùng công nghệ trên thế giới.

Kết quả từ Bảng 3 và Bảng 4 cho thấy, phương án khai thác với chiều cao khẩu gương 3,2m và bước hạ trần thu hồi than nóc 1,2m/chu kỳ cho tỷ lệ thu hồi than nóc cao hơn so với các phương án còn lại. Trong thực tế, lò chợ cơ giới hóa vỉa 7 mỏ than Hà Lâm đang áp dụng chiều cao khẩu gương 3,0m và bước hạ trần 0,6m/chu kỳ. Tỷ lệ thu hồi thực tế tại lò chợ này đạt khoảng 85% - 87%. Như vậy, chiều cao khẩu gương thực tế 3,0m (phù hợp với điều kiện làm việc tối ưu của giàn chống đã lựa chọn) và chiều cao khẩu theo mô hình đề xuất 3,2m không tạo ra sự khác biệt đáng kể về tỷ lệ thu hồi và chất lượng than nóc thu hồi. Tuy nhiên, bước hạ trần 0,6 m/chu kỳ tại lò chợ hiện tại chưa thực sự tối ưu theo kết quả mô phỏng. Đây có thể là một trong những nguyên nhân khiến tổ hợp cơ giới hóa lò chợ vỉa 7 mỏ Hà Lâm chưa đạt được hiệu quả khai thác tối ưu. Do đó, cần tiếp tục nghiên cứu và hiệu chỉnh chế độ khai thác, trong đó xem xét lựa chọn chiều cao khẩu khoảng 3,0m và bước hạ trần 1,2m/chu kỳ nhằm hướng tới tối ưu hóa hiệu quả thu hồi than nóc cho lò chợ này.

### Tài liệu tham khảo

1. Công ty Cổ phần Tư vấn Đầu tư Công nghiệp - Vinacomin, 2013, *Dự án đầu tư và khai thác mỏ than Hà Lâm cấp độ dưới -50*.
2. Công ty Than Hà Lâm, 2018. *Báo cáo về tình hình công nghệ khai thác cơ giới hóa mỏ than Hà Lâm*.
3. Đinh Văn Cường, 2022. Nghiên cứu về việc sử dụng công nghệ xây dựng trụ nhân tạo thay thế trụ than truyền thống cho đường hầm trong khai thác than ngầm tại Quảng Ninh. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất*.
4. Hoàng Lữ Phúc, 2002. *Công nghệ khai thác cơ giới hóa hạ trần thu hồi than nóc*. Đại học Mỏ và Công nghệ Trung Quốc.
5. Phạm Đức và cộng sự, 2016. Phân tích các yếu tố kỹ thuật ảnh hưởng đến hiệu quả khai thác than ở lò chợ cơ giới hóa. *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất*.
6. Phạm Đức Hưng và cộng sự, 2018. Giải pháp khai thác an toàn cho lò chợ vỉa 11 mỏ Hà Lâm cạnh mỏ mong lộ thiên. *Hội nghị toàn quốc Khoa học Trái đất và Tài nguyên phát triển bền vững ERSD*.
7. Liu K. 2008. *Tự động hóa trong công nghệ khai thác cơ giới hóa*. Đại học Mỏ và Công nghệ Trung Quốc.