

BẢN TIN

THÔNG TIN

KHOA HỌC CÔNG NGHỆ MỎ

MINING TECHNOLOGY BULLETIN



ISSN 1859 - 0063

SỐ 4/2026

VIỆN KHOA HỌC CÔNG NGHỆ MỎ - VINACOMIN

**VIỆN KHOA HỌC CÔNG NGHỆ MỎ HƯỚNG DẪN THỬ NGHIỆM CÔNG NGHỆ
PHUN BÊ TÔNG ƯỚT CHIỀU DÀY LỚN, KHÔNG SỬ DỤNG CỐP PHA
TẠI CÔNG TY 91 - TỔNG CÔNG TY ĐÔNG BẮC**



BẢN TIN

THÔNG TIN

KHOA HỌC

CÔNG NGHỆ MỎ

SỐ 4/2026

ISSN 1859 - 0063

BAN BIÊN TẬP

Trưởng Ban biên tập

TS. ĐÀO HỒNG QUẢNG

Phó Ban biên tập

TS. PHAN VĂN VIỆT

Thư ký thường trực

KS. ĐÀO ANH TUẤN

Các thành viên

TS. NHỮ VIỆT TUẤN

TS. ĐOÀN VĂN THANH

ThS. PHẠM CHÂN CHÍNH

ThS. NGUYỄN VĂN MINH

Trình bày bìa

KS. ĐÀO ANH TUẤN

TÒA SOẠN

Viện Khoa học Công nghệ Mỏ

Số 3 Phố Phan Đình Giót, Phường

Phương Liệt, Thành phố Hà Nội

Điện thoại: 84-024-38647675

Fax: 84-024-38641564

Email: ttkcnm@gmail.com

Website: www.imsat.vn

MỤC LỤC		
CÔNG NGHỆ KHAI THÁC HÀM LÒ		
Đánh giá kết quả áp dụng giải pháp xử lý ảnh hưởng của nước, nâng cao mức độ an toàn khi khai thác lò chợ 11-1.10 tại mỏ than Hà Lâm	TS. Dương Đức Hải TS. Đỗ Văn Hoàng KS. Vũ Bá Trượng	1
XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH NGẦM VÀ MỎ		
Đánh giá kết quả áp dụng công nghệ chống neo được thiết kế theo lý thuyết chuyển vị khối đá xung quanh biên lò tại Công ty than Dương Huy - TKV	KS. Nguyễn Khắc Hưng TS. Nguyễn Văn Công TS. Nguyễn Ngọc Giang KS. Trần Văn Long	7
Đánh giá kết quả áp dụng công nghệ cơ giới hóa đào lò than tiết diện nhỏ tại các mỏ than hầm lò thuộc TKV	ThS. Phí Văn Long KS. Trần Văn Long KS. Phạm Công Minh KS. Hoàng Phương Thảo	14
CÁCH MẠNG CÔNG NGHIỆP 4.0		
Mô hình quản trị dữ liệu lớn và vấn đề bảo mật trong lĩnh vực khai thác than- khoáng sản	ThS. Nguyễn Kim Quý KS. Phạm Văn Long KS. Phạm Vũ Hải KS. Nguyễn Thị Thái	23
TRÍ TUỆ NHÂN TẠO AI		
Nghiên cứu ứng dụng mô hình trí tuệ nhân tạo và thị giác máy tính trong giám sát an toàn tại các mỏ lộ thiên	ThS. Đỗ Văn Triều TS. Trần Đình Bảo	31
AN TOÀN MỎ		
Đề xuất, tổng hợp các giải pháp dự báo, phát hiện sớm và phòng ngừa hiện tượng than tự cháy tại các mỏ than hầm lò thuộc TKV năm 2025	TS. Nguyễn Tất Thắng ThS. Bùi Anh Tuấn ThS. Nguyễn Tiến Trọng CN. Trần Thị Nhài	38
Xu hướng phát triển đánh giá rủi ro tai nạn lao động trong khai thác mỏ hầm lò	ThS. Đặng Hồng Thắng ThS. Nguyễn Văn Bặc và NNK	44
CÔNG NGHỆ MÔI TRƯỜNG		
Đề xuất mô hình tuần hoàn và tái sử dụng nước thải mỏ tại Công ty Than Thống Nhất - TKV	ThS. Bùi Minh Đức TS. Lê Bình Dương	51
TIN TRONG NGÀNH		
Tổng Bí thư, Chủ tịch nước chủ trì làm việc về tái cơ cấu Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam; TKV nghiên cứu ứng dụng công nghệ tuyển than bằng tia X kết hợp trí tuệ nhân tạo	KS. Đào Anh Tuấn	58

ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ ÁP DỤNG GIẢI PHÁP XỬ LÝ ẢNH HƯỞNG CỦA NƯỚC, NÂNG CAO MỨC ĐỘ AN TOÀN KHI KHAI THÁC LÒ CHỢ 11-1.10 TẠI MỎ THAN HÀ LÂM

TS. Dương Đức Hải, TS. Đỗ Văn Hoàng

Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin

KS. Vũ Bá Trọng

Công ty Cổ phần Than Hà Lâm - Vinacomin

Biên tập: TS. Phan Văn Việt

Tóm tắt:

Trên bề mặt địa hình khu mỏ Hà Lâm tồn tại các moong lộ thiên đã kết thúc khai thác và được đổ thải san lấp, có khả năng tích tụ nhiều nước, đặc biệt vào mùa mưa. Nằm ngay phía dưới, ở độ sâu từ 80-140m, là các vỉa than dày, góc dốc thoải, được khai thác bởi các lò chợ hạ trần thu hồi than nóc, điều khiển đá vách bằng phá hòa toàn phần. Quá trình khai thác hình thành các vùng sập đổ, nứt nẻ trong địa tầng có khả năng dẫn nước từ trên bề mặt xuống khu vực khai thác hầm lò, tiềm ẩn nguy cơ mất an toàn. Thời gian gần đây, tại lò chợ 11-1.10 khu III vỉa 11 đã xảy ra sự cố xuất lộ nước với lưu lượng lớn đến 180 m³/giờ, buộc phải tạm dừng khai thác. Công ty Than Hà Lâm đã phối hợp với Viện KHCN Mỏ nghiên cứu triển khai các giải pháp xử lý ảnh hưởng của nước, đưa lò chợ trở lại khai thác an toàn.

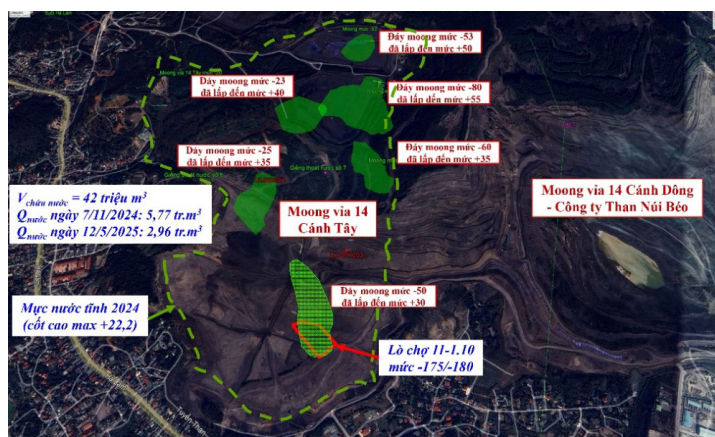
1. Đặt vấn đề

Lò chợ giá xích 11-1.10 mức -175/-180 khu III vỉa 11 bắt đầu khai thác từ ngày 21/8/2024, có chiều dài theo hướng dốc 65,5m, được chống giữ bằng 50 giá xích. Đến ca 2 ngày 07/11/2024, khi lò chợ đã khấu được 39m theo phương, xảy ra hiện tượng xuất lộ nước từ nền lò chợ tại khu vực từ giá 01 đến giá 29; từ giá 30 đến giá 50 không xuất hiện nước. Khu vực mặt gương và nóc lò chợ trên toàn tuyến vẫn khô ráo. Lưu lượng nước xuất lộ đo được dao động từ 98 ÷ 180 m³/giờ, nước trong, không mùi, không vị. Ngay sau khi xuất hiện nước, Công ty Than Hà Lâm đã tạm dừng khấu than lò chợ, đồng thời lắp đặt bổ sung hệ thống thoát nước và thực hiện khoan tháo nước trong lò với tổng chiều dài 372m/07 lỗ khoan. Tuy nhiên, sau hơn 6 tháng dừng khai thác và theo dõi từ tháng 11/2024 đến tháng 5/2025, lưu lượng nước xuất lộ tại lò chợ vẫn duy trì ở mức trung bình 101 m³/giờ, nên không thể tiếp tục khai thác. Trước yêu cầu cấp thiết bảo đảm an toàn và duy trì sản xuất, từ tháng 5 ÷ 6/2025, Công ty Than Hà Lâm đã phối hợp với Viện KHCN Mỏ thực hiện “Lập giải pháp xử lý ảnh hưởng của nước, nâng cao mức độ an toàn trong quá trình khai thác lò chợ 11-1.10 mức -175/-180 khu III vỉa 11”. Kết quả nghiên cứu đã phân tích, đánh giá nguyên nhân xuất lộ nước và lựa chọn các giải pháp kỹ thuật, công nghệ phù

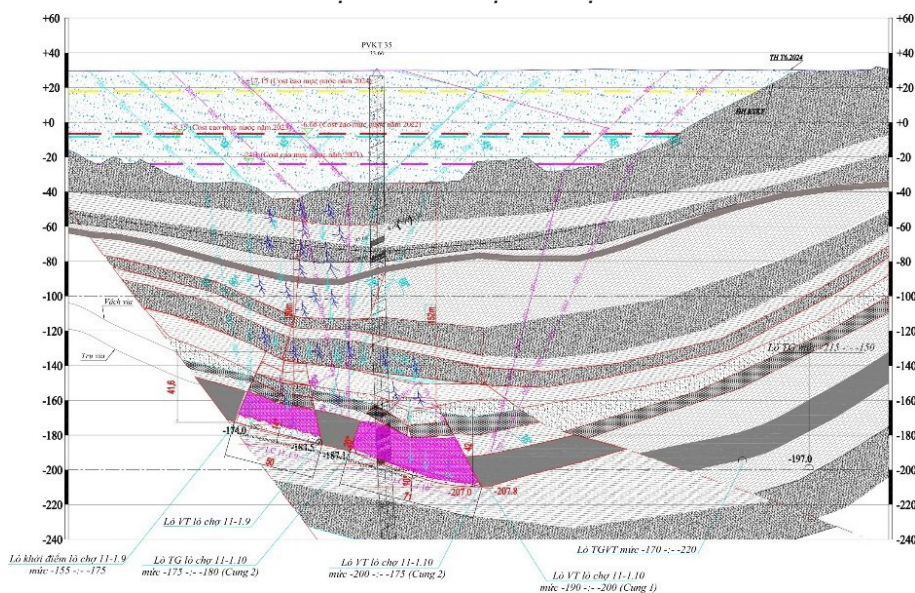
hợp để xử lý ảnh hưởng của nước trong quá trình khai thác [1]. Sau khi được Tập đoàn TKV thông qua, từ tháng 6/2025 đến ngày 15/6/2026, Công ty Than Hà Lâm và Viện KHCN Mỏ đã phối hợp triển khai áp dụng các giải pháp khôi phục và khai thác lò chợ an toàn và hiệu quả. Bài báo trình bày và đánh giá kết quả triển khai áp dụng thực tế các giải pháp xử lý ảnh hưởng của nước tại lò chợ 11-1.10 mức -175/-180 khu III vỉa 11.

2. Khái quát về đặc điểm điều kiện địa chất - kỹ thuật mỏ và hiện trạng khai thác lò chợ 11-1.10

Lò chợ 11-1.10 khai thác vỉa than có chiều dày từ 13,4 ÷ 18,2m, trong đó chiều cao khấu gương 2,2m, chiều dày than nóc thu hồi từ 12 ÷ 16m; góc dốc vỉa từ 12 ÷ 21°. Vách trực tiếp chủ yếu là bột kết; phía trên vách trực tiếp là các lớp cát kết, sạn kết có chiều dày từ 1,5 ÷ 17m. Các lớp đất đá này có khả năng chứa và dẫn nước. Tại thời điểm xảy ra sự cố xuất lộ nước, lò chợ còn khoảng 150m đến ranh giới dừng khai thác, với trữ lượng công nghiệp khoảng 200 nghìn tấn. Địa hình phía trên lò chợ là moong lộ thiên vỉa 14 cánh Tây, đã kết thúc khai thác tại mức -50 và được đổ thải hoàn nguyên đến cốt cao tự chảy mức +30 (hình 1). Theo tính toán, moong có khả năng chứa hơn 3 triệu m³ nước với cốt cao mực nước đạt tối đa +22m. Đáy moong nằm cách lò chợ 11-1.10 theo



Hình 1. Địa hình khu vực lò chơ 11-1.10



Hình 2. Mặt cắt mô phỏng cơ chế vận động của nước vào lò chợ 1.10-11

phương đứng không lớn, chỉ từ 140 ÷ 154m.

Trong phạm vi lò chợ 11-1.10 không có đứt gãy cắt qua. Tuy nhiên, nằm cách phía sau lò chợ khoảng 20 ÷ 30m theo phương tồn tại đứt gãy thuận F.M; bên cạnh còn có 02 lò chợ đã kết thúc khai thác gồm LC 11-1.8 (tháng 4/2023) và LC 11-1.9 (7/11/2024). Trong quá trình khai thác lò chợ 11-1.8 và 11-1.9 đã từng xuất hiện nước vào ngày 21/6/2023 (20 m³/h) và ngày 30/6/2023 (50 m³/h). Điều này cho thấy quá trình khai thác các lò chợ này có thể đã hình thành vùng nứt nẻ dẫn nước trong địa tầng. Khi lò chợ 11-1.10 khấu được 39m theo phương, đã đến bước gãy của vách cơ bản, tạo ra vùng nứt nẻ dẫn nước có chiều cao 180m phát triển lên đáy moong. Sau đó, nước từ moong thẩm thấu qua khe nứt và địa tầng của các lớp đất

đá chứa nước phía trên vách vữa chảy vào phía sau luồng phá hoà lò chợ 11-1.10 như minh họa tại hình 2. Kết quả phân tích cho thấy, nước xuất lộ tại lò chợ có độ pH và hàm lượng sắt tương đối cao (pH = 9, Fe = 15,30 mg/l), khá tương đồng với các chỉ số mẫu nước được lấy trong moong phía trên. Đồng thời, diễn biến mực nước giảm trong moong từ ngày 7/11/2024 đến 20/5/2025, có mối liên hệ tuyến tính với lượng nước thoát ra tại lò chợ. Đây là cơ sở bổ sung cho nhận định nước xuất lộ vào khu vực lò chợ 11-1.10 từ địa tầng bên trên có nguồn cấp là nước từ moong bên trên. Nếu tiếp tục khai thác lò chợ hạ trần thu hồi than nóc, điều khiển vách bằng phá hoà toàn phần, nguy cơ tiềm ẩn bực nước vào khu vực lò chợ rất cao, cần nghiên cứu lựa chọn các giải pháp kỹ thuật công

nghe phù hợp.

3. Đề xuất áp dụng giải pháp nâng cao mức độ an toàn khi khai thác lò chợ 11-1.10

Trên cơ sở kết quả đánh giá hiện trạng khai thác, đặc điểm điều kiện địa chất thủy văn tại lò chợ và kinh nghiệm khai thác trong điều kiện tương tự trên thế giới và trong nước, đề xuất áp dụng các giải pháp sau:

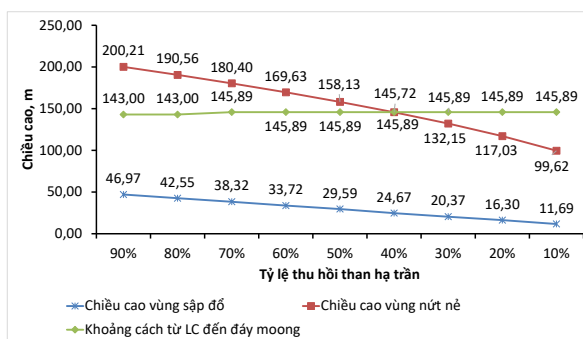
3.1. Giai đoạn 1 - Khôi phục lò chợ khai thác

Tiếp tục khai thác thường kỳ lò chợ tại khu vực không chịu ảnh hưởng của nước từ giá số 33 ÷ 50. Ngoài ra, cách vị trí lò chợ đang dừng khai thác 20m theo phương tiến hành đào hệ thống đường lò (gồm lò thượng phía trước, lò dọc vỉa trung gian và lò thượng men) trong khối than nguyên, tạo không gian an toàn thu hồi các giá đang chịu ảnh hưởng của nước (từ giá số 01 ÷ 32) và chuyển sang lắp đặt tại lò thượng phía trước để tiếp tục khai thác. Chi tiết xem tại hình 3.

Ưu điểm của giải pháp lựa chọn: Thu hồi được tối đa số lượng giá tại khu vực bị ảnh hưởng bởi việc xuất lộ nước; Cách ly được khu vực chịu ảnh hưởng của nước bằng trụ than chắn nước đảm bảo theo quy định tại khoản d Điều 115 Mục 2 Chương VII của QCVN 01:2011/BCT [2]; Lò thượng men trước gương lò chợ được giữ lại đóng vai trò là đường lò thoát nước, nâng cao mức độ an toàn khi khai thác lò chợ trong giai đoạn khấu than thường kỳ tiếp theo.

3.2. Giai đoạn 2 - Khai thác thường kỳ lò chợ

Sau khi khôi phục lò chợ, việc khai thác cần hạn chế chiều cao vùng sập đổ, nứt nẻ trong địa tầng không liên thông đến đáy moong chứa nước bên trên. Nhóm nghiên cứu đã tính toán các trường hợp khai thác lò chợ với tỷ lệ thu hồi than



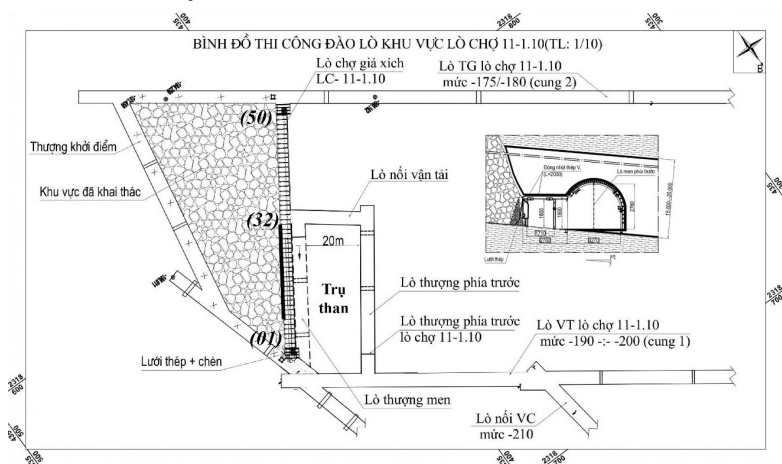
Hình 4. Chiều cao vùng sập đổ, nứt nẻ khi khai thác lò chợ 11-1.10

hạ trần khác nhau từ 10% ÷ 90% [3,4], chi tiết xem tại hình 4. Theo đó, trong giai đoạn ban đầu khi khai thác lò chợ từ giá số 33 ÷ 50, đề xuất chỉ khấu gương với chiều cao trung bình 2,0m và không thu hồi than hạ trần (chiều dài theo phương L = 20m). Đối với khoảng 35m theo phương tiếp theo (bằng bước gậy của đá vách cơ bản) chỉ thực hiện khấu gương với chiều cao từ 2,0 ÷ 2,2m và thu hồi than nóc với tỷ lệ tối đa 30%. Đối với chiều dài 35m theo phương tiếp theo, trường hợp không có nước xuất lộ ở luồng phá hỏa và gương lò chợ khấu gương với chiều cao từ 2,0 ÷ 2,2m, có thể nâng dần tỷ lệ thu hồi than nóc đến 90%. Trong quá trình thu hồi than nóc nếu xuất lộ nước có nguy cơ mất an toàn, tổ chức dừng việc thu hồi than nóc, tiến gương khi lưu lượng nước không ảnh hưởng lớn đến quá trình khai thác.

4. Đánh giá kết quả áp dụng giải pháp nâng cao mức độ an toàn khi khai thác lò chợ 11-1.10

4.1. Kết quả áp dụng giải pháp

Trên cơ sở giải pháp được phê duyệt, Viện KHCN Mỏ đã phối hợp với Công ty Than Hà Lâm



Hình 3. Sơ đồ thi công khôi phục lò chợ 1.10-11

triển khai áp dụng các công việc khôi phục lò chợ khai thác từ ngày 24/6/2025 đến ngày 17/9/2025.

- Đào lò thượng lắp giá phía trước từ ngày 25/06/2025 đến ngày 19/7/2025 ($S_d = 10,6m^2$, $S_{sd} = 8,6m^2$, chống thép SVP-22, bước chống 0,7m/vì, góc dốc 15°). Chiều dài thi công thực tế là 52,8m (so với thiết kế 48m).

- Đào lò thượng men bám trụ vỉa từ giá số 1 đến giá số 31, chiều dài 44,5m, thời gian thực hiện từ ngày 19/07/2025 đến ngày 08/8/2025 ($S_d = 9,4m^2$, $S_{sd} = 7,8m^2$, chống thép SVP-22, bước chống 0,7m/vì, góc dốc 15°).

- Đào lò dọc vỉa trung gian thông vào lò chợ 11-1.10 (điểm thông lò vào giá số 31), chiều dài 20m, thời gian thực hiện từ ngày 08/8/2025 đến ngày 23/8/2025 ($S_d = 9,4m^2$, $S_{sd} = 7,8m^2$, chống thép SVP-22, bước chống 0,7m/vì, góc dốc 5°).

- Thu hồi giá xích từ số 1 ÷ 32 và các vật tư, thiết bị tại lò chợ 11-1.10 khu III vỉa 11, thời gian thực hiện từ ngày 09/9/2025 đến ngày 17/9/2025.

- Vận chuyển và lắp đặt giá 31, 32, 30, 1 ÷ 29 tại lò thượng lắp đặt giá phía trước: Thực tế lắp đặt 39 bộ giá xích, do chiều dài lò thượng lắp đặt giá phía trước chiều dài thay đổi so với dự kiến ban đầu.

Cùng với quá trình khôi phục lò chợ, còn triển khai các công việc khoan thăm dò và thoát nước gồm:

- *Khoan thăm dò phòng ngừa bức nước*: được tiến hành từ ngày 24/6/2025 đến ngày 12/01/2026.

+ Trạm khoan số 1: (1) LK số 1 được thi công từ 25/6 ÷ 15/7/2025, đã thi công 90/90m, không có nước chảy ra; (2) LK số 2 được thi công từ 17/7

÷ 2/8/2025, đã thi công 90/90m, không có nước chảy ra.

+ Trạm khoan số 2: (1) LK số 3 được thi công từ ngày 19/8 ÷ 29/8/2025, đã thi công 90/90m không có nước chảy ra; (2) LK số 4 được thi công từ ngày 18/9 ÷ 20/9/2025, đã thi công 90/90m không có nước chảy ra.

- *Đào lò nổi thoát nước*: Thi công từ ngày 17/10/2025 ÷ 25/10/2025, đã thi công xong chiều dài 16,5m.

Một số hình ảnh triển khai áp dụng giải pháp xem tại hình 5, 6.

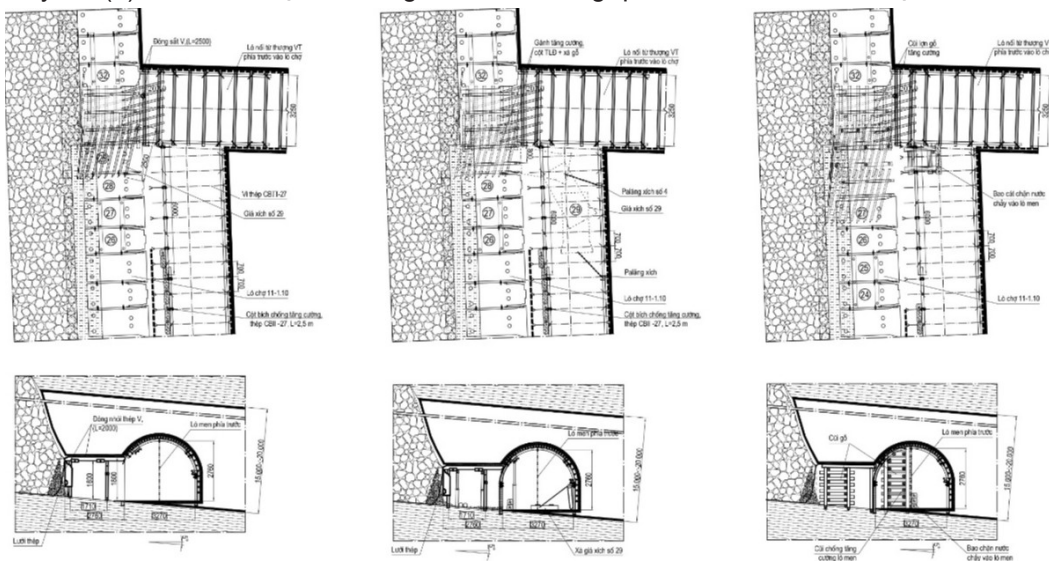
Sau khi khôi phục lò chợ, công tác khai thác được tiến hành theo các giai đoạn sau (hình 7):

- *Giai đoạn 1 - Từ ngày 7/10/2025 đến ngày 23/10/2025*: Khẩu thường kỳ lò chợ từ giá 33 ÷ 50, chiều dài theo phương 20m và không thu hồi hạ trần than nóc;

- *Giai đoạn 2 - Từ ngày 24/10/2025 đến ngày 5/12/2025*: Khẩu thường kỳ lò chợ từ giá 01 ÷ 50, chiều dài theo phương 35m và thu hồi hạ trần than tối đa 30%

- *Giai đoạn 3 - Từ ngày 5/12/2025 đến ngày 30/1/2026*: Khẩu thường kỳ lò chợ từ giá 01 ÷ 50, chiều dài theo phương 35m tiếp theo và thu hồi hạ trần than tối đa 90%.

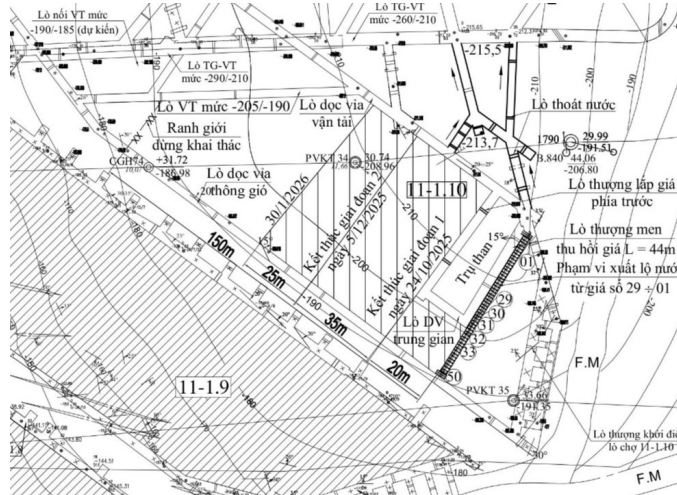
Sau đó từ ngày 1/2/2026 đến ngày 5/5/2026, lò chợ tiến hành khai thác thường kỳ, đảm bảo an toàn. Sản lượng than khai thác tại lò chợ 145.025 tấn, góp phần hoàn thành kế hoạch sản xuất kinh doanh của Công ty và đảm bảo công tác an toàn trong quá trình khai thác lò chợ.



Hình 5. Công tác thu hồi giá xích tại khu vực lò chợ chịu ảnh hưởng của nước



Hình 6. Một số hình ảnh thực tế tham gia phối hợp thu hồi giá xích tại khu vực lò chợ 11-1.10



Hình 7. Các giai đoạn khai thác lò chợ thường kỳ

4.2. Đánh giá kết quả áp dụng giải pháp nâng cao mức độ an toàn khi khai thác lò chợ 1.10-11

Sau gần một năm triển khai áp dụng các giải pháp tại vỉa 11, Công ty Than Hà Lâm đã mang lại hiệu quả an toàn cho lò chợ 11-1.10 như sau:

- Việc để lại trụ than chắn nước có chiều rộng 20m đã giúp cách ly khu vực có nguy cơ xuất lộ nước tại chân lò chợ. Điều này có ý nghĩa rất quan trọng, đảm bảo an toàn khi lò chợ khai thác thường kỳ.

- Đào lò thượng men chống sắt hình vòm trước gương đã tạo được không gian rộng rãi và an toàn, giúp thu hồi được toàn bộ giá xích tại khu vực chịu ảnh hưởng của nước. Theo tiến độ thu giá, việc xếp bao cát theo quy định đã giúp phòng tránh trường hợp nước chảy từ luồng phá hòa vào khu vực lò thượng men. Các dầm thép đỡ nóc tại các vị trí thu giá đảm bảo liên kết chắc chắn với vì chống của lò thượng men và được đánh giá tăng cường. Sau khi hoàn thành công tác thu hồi giá

xích, lò thượng men được giữ lại bằng cách xếp củi tăng cường và dựng lại cột vì chống, đóng vai trò là lò thoát nước phía sau lò chợ, tránh nguy cơ nước dồn về phía trước gương lò chợ khai thác.

- Các đường lò thi công trong khối than nguyên phía trước gương tương đối khô ráo, cứng vững nên đảm bảo an toàn cho người lao động.

- Giải pháp hạn chế chiều cao khẩu gương và không thu hồi than hạ trần trong giai đoạn đầu đã giúp hạn chế chiều cao vùng sập đổ, nứt nẻ liên thông lên phần địa tầng và đáy moong chứa nước bên trên, đảm bảo an toàn cho công tác khai thác lò chợ giai đoạn tiếp theo. Ngoài ra, các bên đã phối hợp và thực hiện hiệu quả một số biện pháp kỹ thuật - an toàn bổ sung trong quá trình khai thác lò chợ 11-1.10 như giải pháp khoan trải 02 lưới thép, thu tách nước trong quá trình khai thác... Đặc biệt, luôn theo dõi, giám sát chặt chẽ ảnh hưởng của nước đến quá trình đào lò chuẩn bị, thu hồi và lắp đặt giá chống cũng như quá trình khẩu lò chợ; chủ động các biện pháp xử lý để đảm bảo an toàn

cho sản xuất và việc kiểm soát tỷ lệ thu hồi than hạ trần đảm bảo theo biện pháp thi công.

5. Kết luận và kiến nghị

Trước hiện trạng nước xuất lộ với lưu lượng lớn tại lò chợ 11-1.10 khu III vỉa 11 mỏ Hà Lâm, Viện KHCN Mỏ đã nghiên cứu đề xuất và phối hợp triển khai đồng bộ hai nhóm giải pháp: (i) đào lò thượng men hình vòm trước gương, tạo không gian thu hồi các giá xích tại khu vực chịu ảnh hưởng của nước, đồng thời để lại trụ than chắn nước rộng 20 m nhằm cách ly khu vực xuất lộ nước tại chân lò chợ. Sau khi hoàn thành việc thu hồi thiết bị, lò thượng men được duy trì làm đường lò thu gom và thoát nước phía sau lò chợ; (ii) kiểm soát chiều cao khẩu và tỷ lệ thu hồi than nóc theo từng bước tiến gương, kết hợp khoan thăm dò, theo dõi diễn biến nước, trải lưới thép, củng cố gương và duy trì hệ thống thu, tách nước. Từ ngày 7/10/2025, lò chợ được khôi phục và đưa vào khai thác trở lại theo ba giai đoạn: không thu hồi than nóc trong 20 m đầu tiên; thu hồi tối đa 30% trong 35 m tiếp theo; sau đó nâng dần tỷ lệ thu hồi than nóc đến 90% khi điều kiện cho phép. Đến ngày 5/5/2026, tổng sản lượng than khai thác sau khi khôi phục lò chợ đạt 145.025 tấn. Kết quả thực tế cho thấy giải pháp được lựa chọn phù hợp với điều kiện của lò chợ 11-1.10, góp phần kiểm soát ảnh hưởng

của nước, bảo đảm an toàn sản xuất và nâng cao khả năng thu hồi tài nguyên than. Kết quả áp dụng tại lò chợ 11-1.10 có thể được tham khảo khi xây dựng giải pháp khai thác các vỉa than nằm dưới moong lộ thiên có tích tụ nước, nhưng cần được tính toán và điều chỉnh theo điều kiện địa chất - thủy văn, công nghệ khai thác và hệ thống thoát nước cụ thể của từng khu vực.

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin. *Báo cáo giải pháp xử lý ảnh hưởng của nước, nâng cao mức độ an toàn trong quá trình khai thác lò chợ 11-1.10 mức -175/-180 khu III vỉa 11*. Hà Nội, 2025.
- [2]. Bộ Công Thương. *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn trong khai thác than hầm lò (QCVN 01:2011/BCT)*. Hà Nội, 2011.
- [3]. Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam, *Hướng dẫn tính toán trụ bảo vệ các công trình và đối tượng thiên nhiên do ảnh hưởng của khai thác than hầm lò*, 2018.
- [4]. Shuning Dong & nnk. *Methods and Techniques for Preventing and Mitigating Water Hazards in Mines*. Professional Practice in Earth Sciences 2021.

Evaluating the Results of Applying Solutions to Address Water Impaction and Enhance Safety in Mining Longwall 11-1.10 at Ha Lam Coal Mine

Dr. Duong Duc Hai, Dr. Do Van Hoang - Vinacomin - Institute of Mining Science and Technology
Eng. Vu Ba Truong - Vinacomin - Ha Lam Coal Joint Stock Company

Abstract:

The surface topography of the Ha Lam mining area contains several open-pit mine voids where mining activities have been completed and the voids have been backfilled and leveled. These areas have the potential to accumulate large amounts of water, particularly during the rainy season. Directly beneath these areas, at depths of 80–140 m, are thick, gently dipping coal seams that are extracted using longwall panels with roof coal caving and full caving for immediate roof control. Mining operations result in caved and fractured zones within the overlying strata, which may provide pathways for water from the surface to migrate downward into the underground mining areas, posing potential safety risks. Recently, a high-volume water inrush occurred at Longwall Panel 11-1.10 in Block III of Seam 11, with a flow rate of up to 180 m³/h, forcing a temporary suspension of mining operations. Ha Lam Coal Company, in cooperation with the Institute of Mining Science and Technology, conducted research and implemented measures to mitigate the impacts of water and restore safe mining operations at the longwall panel.

ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ ÁP DỤNG CÔNG NGHỆ CHỐNG NEO ĐƯỢC THIẾT KẾ THEO LÝ THUYẾT CHUYỂN VỊ KHỐI ĐÁ XUNG QUANH BIÊN LÒ TẠI CÔNG TY THAN DƯƠNG HUY - TKV

KS. Nguyễn Khắc Hưng, TS. Nguyễn Văn Công
TS. Nguyễn Ngọc Giang, KS. Trần Văn Long
Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin

Biên tập: TS. Nhữ Việt Tuấn

Tóm tắt:

Hướng dẫn chống lò bằng vì neo hiện hành của Tập đoàn dựa trên lý thuyết vòm cân bằng tự nhiên của Protodiyakonop - T.Ximbarevich qua thời gian đã bộc lộ sự hạn chế, mô hình tính toán giản đơn, chưa đề cập đủ các yếu tố gây ra áp lực mỏ tác động lên đường lò, chưa phản ánh hết mức độ phức tạp của điều kiện địa chất, kỹ thuật mỏ thực tế tại các mỏ than hầm lò. Hiện nay tại Liên bang Nga, việc xây dựng hộ chiếu chống neo đã được tính toán theo lý thuyết chuyển vị khối đá, hầu hết các yếu tố địa chất, kỹ thuật mỏ gây ra tải trọng tác động lên đường lò đã được đề cập và lượng hóa trong công thức tính toán, hộ chiếu đảm bảo độ tin cậy, sát với thực tế và đáp ứng yêu cầu chống giữ. Bài báo này tổng hợp kết quả nghiên cứu áp dụng thử nghiệm hộ chiếu chống lò bằng vì neo được thiết kế theo lý thuyết chuyển vị khối đá tại Công ty than Dương Huy - TKV.

1. Đặt vấn đề

Hướng dẫn chống lò bằng vì neo hiện hành của Tập đoàn được xây dựng dựa trên lý thuyết vòm cân bằng tự nhiên của Protodiyakonop - T.Ximbarevich (ban hành năm 2018), đã hỗ trợ tốt cho các đơn vị sản xuất than hầm lò trong việc lập thiết kế hộ chiếu thi công đào chống lò bằng vì neo. Quá trình áp dụng, bên cạnh các đóng góp không thể phủ nhận, lý thuyết này cũng bộc lộ một số hạn chế, nhiều yếu tố gây ra tải trọng tác động lên đường lò chưa được đề cập, chưa phản ánh hết mức độ phức tạp của điều kiện địa chất, kỹ thuật mỏ thực tế tại các mỏ than hầm lò. Ở Liên bang Nga hiện nay đã chuyển dịch sang sử dụng lý thuyết thiết kế chống neo theo dịch chuyển biến dạng khối đá (lý thuyết chuyển vị khối đá), hầu hết các yếu tố gây ra tải trọng tác động lên đường lò đã được lượng hóa trong công thức tính toán nên hộ chiếu đảm bảo độ tin cậy, sát với thực tế hơn và đáp ứng yêu cầu chống giữ. Trên cơ sở đó, TKV đã giao Viện KHCN Mỏ nghiên cứu phương pháp tính toán, thiết kế chống neo theo lý thuyết chuyển vị khối đá để triển khai thử nghiệm, theo dõi, đánh giá kết quả áp dụng làm cơ sở đề nhân rộng trong TKV nhằm nâng cao hiệu quả chống giữ của vì neo. Bài báo này tổng hợp kết quả áp dụng thử nghiệm công nghệ tại Công ty than Dương Huy - TKV.

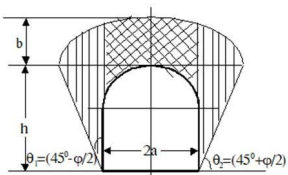
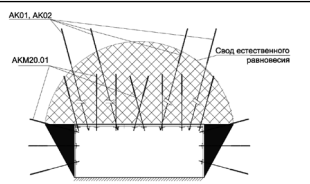
2. Khái quát về phương pháp thiết kế lò neo

theo lý thuyết chuyển vị khối đá

Tại Hướng dẫn chống neo hiện hành của TKV (ban hành năm 2018), áp lực mỏ để xây dựng hộ chiếu chống neo được tính toán dựa trên lý thuyết vòm cân bằng tự nhiên của Protodiyakonop - T.Ximbarevich, môi trường đất đá xung quanh đường lò được lý tưởng hóa ở trạng thái đồng nhất, đẳng hướng, có ưu điểm là dễ tính toán, nhưng hiện nay đã có sự lạc hậu so với thế giới, nhiều yếu tố gây ra tải trọng tác động lên đường lò như áp lực tựa lò chợ, ảnh hưởng khai thác các vỉa gần nhau, chiều sâu bố trí đường lò, thời gian sử dụng đường lò, ảnh hưởng của yếu tố thủy văn,... chưa được đề cập, dẫn đến hộ chiếu chống neo được xây dựng trong một số trường hợp bị thiếu về mật độ cũng như chiều dài cần thiết của các thanh neo, khả năng chống giữ của kết cấu chống bị thiếu so với yêu cầu thực tế.

Để khắc phục các tồn tại kể trên, các nhà khoa học Liên bang Nga nghiên cứu, phát triển phương pháp tính toán thiết kế kết cấu chống neo theo chuyển vị đất đá biên nóc đường lò trên cơ sở kế thừa lý thuyết vòm cân bằng tự nhiên và nguyên lý treo, đồng thời bổ sung cơ sở tính toán phạm vi cần chống giữ và áp lực mỏ tác động lên đường lò theo mức độ, cường độ chuyển vị của khối đá xung quanh đường lò. Phương pháp được áp dụng tại các mỏ than hầm lò của Liên bang Nga từ năm 2000 và liên tục được hoàn thiện, phiên bản

Bảng 1. So sánh giữa các phương pháp tính toán thiết kế neo

Căn cứ	Lý thuyết tính toán áp lực	Ưu, nhược điểm
Hướng dẫn chống neo hiện hành của TKV theo QĐ số 102/QĐ -TKV ngày 23/01/2018	 Vòm áp lực theo Protodinaconop	Ưu điểm: Đơn giản, đã quen thuộc Nhược điểm: chưa đề cập đến nhiều yếu tố ảnh hưởng đến đường lò như áp lực tựa, nước ngầm, chiều sâu đường lò,...
Quy định hiện hành của Nga (ban hành 2021)	 Chuyển vị khối đá xung quanh lò	Ưu điểm: đã đề cập đến nhiều yếu tố ảnh hưởng như áp lực tựa, chiều sâu đường lò, nước ngầm, chiều dày và góc nghiêng phân lớp đá, chiều rộng trụ than bảo vệ, phương pháp đào lò, và không giới hạn góc dốc, chiều dày vỉa. Nhược điểm: tính toán phức tạp

mới nhất được ban hành năm 2021. Theo phương pháp này, các thông số của hệ kết cấu chống neo, gồm chiều dài neo, mật độ neo và khả năng chịu tải, được xác định trên cơ sở chuyển vị tính toán của khối đá biên nóc đường lò. Phạm vi khối đá chuyển vị được lấy bằng chiều rộng đường lò (B), hoặc bằng 1,5Bc đối với khu vực giao cắt đường lò (Bc là chiều rộng tính toán vùng giao cắt), lớn hơn rất nhiều so với chiều cao vùng sập lở theo lý thuyết vòm cân bằng tự nhiên. Việc tính toán đồng thời xem xét các yếu tố ảnh hưởng như điều kiện địa chất - địa cơ học, tính chất cơ lý của đất đá, chiều sâu khai thác, điều kiện nước ngầm, áp lực tựa, kích thước đường lò và ảnh hưởng của các công trình lân cận. Bản chất của phương pháp là sử dụng hệ thống neo để liên kết các lớp đất đá trong phạm vi chuyển vị thành một khối chịu lực thống nhất nhằm hạn chế biến dạng và duy trì ổn định đường lò. Trong đó, neo chất dẻo cốt thép có cường độ thấp (CDCT) gia cường và liên kết các lớp đá phía dưới tạo thành dầm đá chịu lực; neo cáp treo khối đá đã được gia cường lên tầng đá ổn định phía trên, hình thành hệ kết cấu chống neo hai lớp, tạo nên sự phối hợp làm việc giữa hệ neo ngắn - neo ngắn và neo ngắn - neo cáp, từ đó hình thành vùng gia cường nhiều cấp, bảo đảm các phần tử vì chống neo làm việc đồng bộ trong toàn bộ phạm vi khối đá cần chống giữ.

Trên cơ sở kinh nghiệm thế giới và phân tích nêu trên, Viện KHCN Mỏ đã đề xuất Tập đoàn cho phép sử dụng phương pháp tính toán hộ chiếu chống neo theo lý thuyết chuyển vị khối đá để triển khai áp dụng thử nghiệm. Sơ đồ nguyên lý và

ưu, nhược điểm cơ bản của hai phương pháp tính toán, thiết kế neo thể hiện trong bảng 1.

3. Đánh giá kết quả áp dụng công nghệ chống neo thiết kế theo lý thuyết chuyển vị khối đá tại Công ty than Dương Huy

3.1. Tóm tắt thiết kế

Căn cứ kết quả đánh giá các đường lò dọc vỉa than có tiềm năng áp dụng hộ chiếu chống giữ bằng vì neo theo phương pháp tính toán mới, nhóm thực hiện đã lựa chọn 02 đường lò áp dụng thử nghiệm là (1) lò dọc vỉa vận tải lò chợ TT-9-10 vỉa 10 khu Trung Tâm và (2) lò dọc vỉa thông gió lò chợ TT-12-7 vỉa 12 khu Trung Tâm. Đặc điểm điều kiện địa chất, kỹ thuật 02 đường lò áp dụng như sau:

- Đối với lò dọc vỉa vận tải lò chợ TT-9-10 vỉa 9:

+ Điều kiện địa chất: Lò được đào trong vỉa 9 có chiều dày vỉa thay đổi từ 2,07÷2,4m, trung bình 2,2m, không tồn tại đá kẹp; Góc dốc vỉa thay đổi từ 4°÷8°, trung bình 6°; Đá vách trực tiếp là lớp bột kết dày trung bình 8,1m, cấu tạo phân lớp mỏng đến trung bình, phía trên lớp bột kết là các tập đá cát kết chiều dày từ 1,0÷2,9m, trung bình 1,4m. Đá trụ trực tiếp là lớp bột kết dày trung bình 10,2m, cấu tạo phân lớp mỏng đến trung bình; Độ sâu bố trí đường lò khoảng 300m so với bề mặt địa hình, khu vực hầu như không chịu ảnh hưởng bởi nước xuất lộ và phay phá, đứt gãy.

+ Điều kiện kỹ thuật: đường lò được khai đào từ lò thượng thông gió -250/-100 vỉa 9 khu Trung tâm có chiều dài dự kiến là 416,0m được đào giữ hướng, bám trụ cứng. Kế hoạch ban đầu đường lò được đào hình vòm có tiết diện đào $S_d=16,1 \text{ m}^2$,

tiết diện chống $S_c=12,5 \text{ m}^2$, chống giữ bằng vì thép SVP-27, bước chống 0,5m/vì.

- Đối với lò dọc vỉa thông gió lò chợ TT-12-7 vỉa 12:

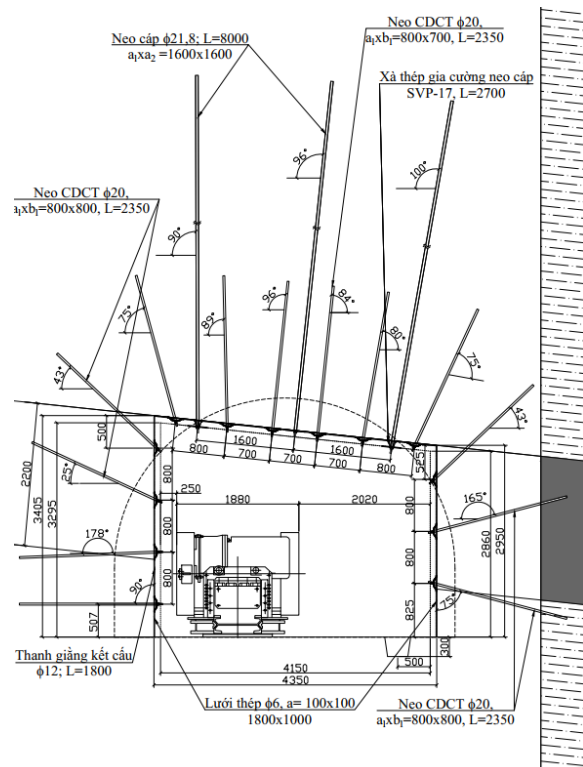
+ Điều kiện địa chất: Lò được đào trong vỉa 12 có chiều dày vỉa thay đổi từ 2,1÷2,7m, trung bình 2,3m, không tồn tại đá kẹp; Góc dốc vỉa thay đổi từ $10^\circ \div 18^\circ$, trung bình 16° ; Đá vách trực tiếp là lớp bột kết dày từ 1,2 ÷ 3,66m trung bình 2,7m, cấu tạo phân lớp mỏng đến trung bình, phía trên lớp bột kết là các tập đá cát kết chiều dày từ 19,8÷28,0m. Đá trụ trực tiếp là lớp sét kết màu xám tối, xám đen có chiều dày từ 11,5 ÷ 13,2m, trung bình 12,7m; Độ sâu bố trí đường lò khoảng 233m so với bề mặt địa hình, khu vực lân cận ghi nhận hiện tượng nước nhỏ giọt từ nóc lò với lưu lượng tương đối nhỏ, không liên tục. Quá trình đào lò dự kiến sẽ đi qua 01 đứt gãy nhỏ.

+ Điều kiện kỹ thuật: đường lò được khai đào từ lò thượng thông gió -100/+38 vỉa 12 khu Trung tâm có chiều dài dự kiến là 310,0m được đào giữ hướng, bám trụ cứng. Kế hoạch ban đầu đường lò được đào hình vòm có tiết diện đào $S_d=11,2 \text{ m}^2$, tiết diện chống $S_c=8,5 \text{ m}^2$, được chống giữ bằng vì

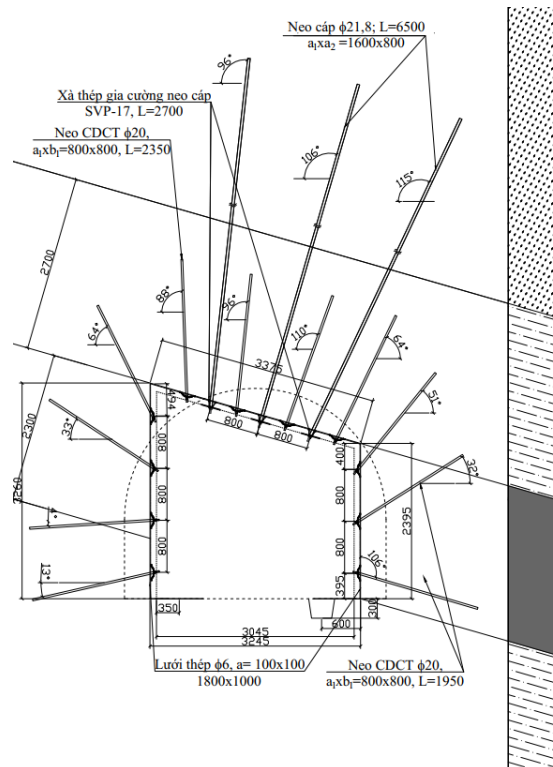
thép SVP-22, bước chống 0,7m/vì.

Trên cơ sở hiện trạng trang thiết bị đào chống lò bằng vì neo của Công ty than Dương Huy, đối chiếu với điều kiện địa chất, kỹ thuật đường lò thiết kế, nhóm thực hiện đề xuất áp dụng thử nghiệm 02 mô hình công nghệ đào chống lò bằng vì neo là: (i) Sơ đồ công nghệ đào lò bằng khoan – nổ mìn, thi công neo CDCT bằng máy khoan MQT/ MYT, thi công neo cáp bằng xe khoan neo CMM1-18Y hiện có của đơn vị, áp dụng tại lò DVVT lò chợ TT-9-10 vỉa 9 khu Trung Tâm; (ii) Sơ đồ công nghệ đào lò bằng khoan – nổ mìn, thi công khoan lỗ neo và lắp đặt neo bằng các thiết bị máy khoan thủ công cầm tay, áp dụng tại lò DVTG lò chợ TT-12-7 vỉa 12 khu Trung Tâm.

Để phù hợp với công nghệ áp dụng, thiết kế đã tính toán và lựa chọn hộ chiếu chống giữ đường lò theo lý thuyết chuyển vị khối đá. Cùng với đó, hình dạng tiết diện được thiết kế theo dạng hình thang lệch, lò đào bám vách nhằm giảm diện tích đào và tỷ lệ cắt đá trên gương. Chi tiết hộ chiếu chống giữ bằng kết cấu vì neo CDCT kết hợp neo cáp xem tại hình 1, các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật chủ yếu của công nghệ xem tại bảng 2.



a) Lò DVVT LC TT-9-10



b) Lò DVTG LC TT-12-7

Hình 1. Hộ chiếu chống giữ lò hai đường lò áp dụng thử nghiệm công nghệ

Bảng 2. Tổng hợp chỉ tiêu KTKT chủ yếu của công nghệ chống lò bằng vì neo tại 02 đường lò đề xuất áp dụng công nghệ

TT	Tên chỉ tiêu, ký hiệu	Đơn vị	Giá trị	
			Lò DVVT LC TT-9-10	Lò DVVT LC TT-12-7
1	Chiều dày trung bình vỉa than	m	2,20	2,30
2	Góc dốc trung bình vỉa than	độ	6,00	16,00
3	Diện tích đào	m ²	13,85	9,40
4	Diện tích sử dụng	m ²	12,80	8,50
5	Neo CDCT			
-	Khoảng cách giữa các vòng neo CDCT	m	0,80	0,80
-	Số thanh neo CDCT phần nóc trong một vòng	thanh	6,00	4,00
-	Chiều dài neo CDCT phần nóc	m	2,35	2,35
-	Khoảng cách giữa vì neo CDCT phần nóc trong một vòng	m	0,70	0,80
-	Số thanh neo CDCT phần hông trong một vòng	thanh	7,00	7,00
-	Chiều dài neo CDCT phần hông	m	2,35	1,95
-	Khoảng cách giữa vì neo CDCT phần hông trong một vòng	m	0,80	0,80
6	Neo cáp			
-	Chiều dài neo cáp		8,00	6,50
-	Số thanh neo cáp trong một vòng		3(2)	3,00
-	Khoảng cách giữa vì neo cáp trong một vòng		1,60	0,80
-	Khoảng cách giữa các vòng neo cáp		1,60	1,60
7	Tốc độ đào chống lò một ngày đêm	m	2,8	3,2
8	Số ngày làm việc trong một tháng	ngày	25	25
9	Tốc độ đào lò một tháng	m	70	80
10	Nhân lực một ca làm việc	người	7	6
11	Nhân lực một ngày đêm	người	21	18
12	NSLĐ trực tiếp	m/công.ca	0,133	0,178

3.2. Quá trình và kết quả triển khai áp dụng công nghệ

Để triển khai áp dụng công nghệ chống lò bằng vì neo vào thực tế sản xuất, Viện KHCN Mỏ đã phối hợp với Công ty Than Dương Huy lập thiết kế thi công, trình xin ý kiến và được TKV thông qua tại văn bản số 565/TKV-KCM ngày 29/01/2026. Trên cơ sở đó, Viện KHCN Mỏ đã phối hợp với Công ty Than Dương Huy lập, ban hành biện pháp thi công, tổ chức phổ biến, hướng dẫn công nghệ cho cán bộ, công nhân các đơn vị trực tiếp thi công (Phân xưởng Đào lò 1, Phân xưởng Đào lò 6), chi tiết quá trình và kết quả thi công neo tại các đường lò thiết kế như sau:

- Tại lò DVTG chợ TT-9-10 ($S_d = 13,85 \text{ m}^2$): thi công từ ca 1 ngày 27/02/2026 – ngày 29/4/2026 do Phân xưởng Đào lò 1 thực hiện. Tổng số vòng neo thi công là 172 vòng, tương ứng chiều dài 137,6 m.

- Tại lò DVVT chợ TT-12-7 ($S_d = 9,4 \text{ m}^2$): thi công từ ca 1 ngày 23/2/2026 – ngày 29/4/2026 do Phân xưởng Đào lò 6 thực hiện. Tổng số vòng neo thi công là 262 vòng, tương ứng chiều dài 209,6 m.

3.3. Đánh giá kết quả triển khai

- Về điều kiện địa chất: tại lò DVVT LC TT-9-10, phạm vi thi công có điều kiện địa chất thực tế có nhiều khác biệt theo hướng bất lợi hơn so với tài liệu lập thiết kế, đặc biệt là chiều dày vỉa và phạm vi đá vách trực tiếp ngay sát vỉa than. Chiều dày vỉa than trung bình thực tế từ $2,5 \div 2,8 \text{ m}$, cao hơn so với thiết kế (thiết kế $2,2 \text{ m}$). Vách trực tiếp là các tập sét than mềm bở, bột kết phân lớp mỏng, chiều dày từ $1,0 \div 1,5 \text{ m}$, liên kết yếu, dễ bóc tách theo mặt lớp. Quá trình thi công nóc lò dễ xảy ra tụt gây rỗng nóc cục bộ, phải xử lý làm tăng thời gian và hạn chế tốc độ thi công; Đối với lò DVTG LC TT-12-7, điều kiện địa chất cơ bản không sai

Bảng 3. Tổng hợp kết quả tốc độ và NSLĐ thi công thực tế

TT	Các chỉ tiêu	Đơn vị	Lò DVTG chợ TT-9-10	Lò DVVT chợ TT-12-7
1	Diện tích đào	m ²	13,85	9,4
2	Tổng mét lò thi công	m	137,60	209,60
3	Tổng số ngày thi công khoan chống neo thực tế	ngày	51,00	52,00
4	Tốc độ đào bình quân một ngày (m/ngày)	m/ngày	2,70	4,03
5	Tốc độ đào quy đổi bình quân một tháng	m/tháng	67,45	100,77
6	Tốc độ đào một tháng theo thiết kế	m/tháng	70,00	80,00
7	Tốc độ đào một tháng theo hệ chiều chống thép đơn vị đang áp dụng	m/tháng	65,00	80,00
8	Tỷ lệ giữa tốc độ đào thực tế và thiết kế (%)	%	96,36%	125,96%
9	Tỷ lệ giữa tốc độ đào thực tế và tốc độ theo công nghệ đơn vị đang áp dụng	%	103,77%	125,96%
10	NSLĐ			
-	NSLĐ trung bình theo thực tế	m/công.ca	0,135	0,264
-	NSLĐ theo thiết kế	m/công.ca	0,133	0,178
-	NSLĐ theo công nghệ đơn vị đang áp dụng	m/công.ca	0,124	0,178

quả tổng hợp vật tư tiêu hao tại hai đường lò cho thấy, đa phần khối lượng các vật tư tiêu hao đều tương đương so với thiết kế.

Chi tiết kết quả về năng suất và tốc độ thi công tại hai đường lò xem hình 2, hình 3 và bảng 3.

- *Về mức độ ổn định của đường lò sau thi công:* tổ giám sát bố trí các trạm đo dịch động dọc theo phạm vi hai đường lò áp dụng thử nghiệm, đối với lò DVVT LC TT-9-10 bố trí 03 trạm đo (tại vị trí IIK10, IIK40, IIK70), đối với lò DVTG LC TT-12-7 bố trí 04 trạm đo dịch động (tại vị trí IIK10, IIK40, IIK80, IIK130). Việc xác định các kích thước quan trắc được thực hiện kết hợp giữa đo thủ công kích thước chiều rộng, chiều cao hông lò và quan trắc dịch động nóc lò bằng bộ đo chỉ thị màu. Tổng hợp kết quả theo dõi dịch động nóc và biến dạng biên lò tại hai đường lò cho thấy dịch động biến dạng lớn nhất trong khoảng từ 10 ÷ 30 ngày sau thi công, sau đó ổn định và đi ngang. Cả biến dạng dịch động nóc lò và biến dạng chiều rộng đường lò bằng đo thực tế đều cho thấy giá trị biến dạng < 50mm, kết hợp cùng thực tế quan sát cho thấy đường lò được giữ ổn định, kết cấu chống neo làm việc an toàn, hiệu quả.

- *Về công tác an toàn trong quá trình thi công:* Quá trình thi công áp dụng công nghệ được diễn ra đảm bảo an toàn. Các nguy cơ mất an toàn phát sinh trong quá trình thi công như tụt lở nóc do điều

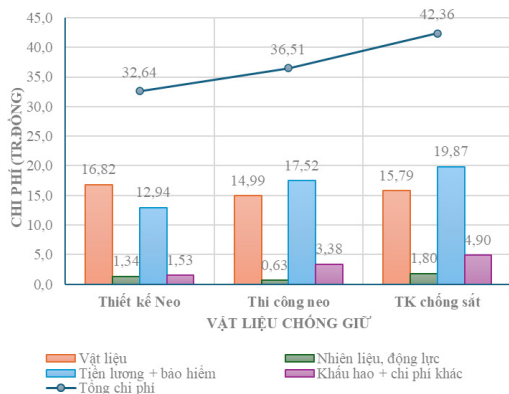
kiện địa chất nóc lò yếu, hình thành các búi than, đá cục bộ tại một số vị trí cũng được xử lý, đảm bảo yêu cầu kỹ thuật - an toàn. Trong quá trình thi công vào theo dõi áp dụng thử nghiệm không ghi nhận tai nạn lao động nào xảy ra. Nhìn chung, công tác an toàn đã được thực hiện tốt.

- *Về hiệu quả kinh tế của công nghệ:* bên cạnh hiệu quả về mặt an toàn và kỹ thuật, cũng như các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật chủ yếu, báo cáo tiến hành tính toán hiệu quả về mặt kinh tế khi triển khai áp dụng công nghệ trong thực tế. Kết quả tính toán như sau:

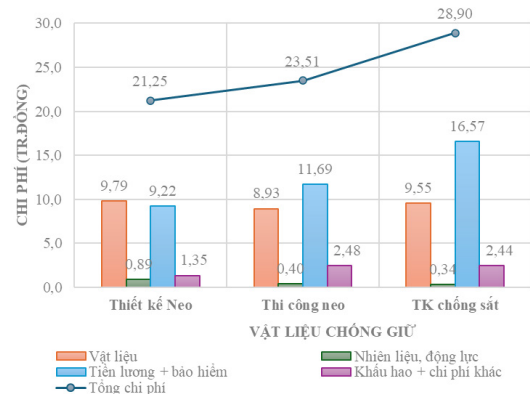
+ Đối với lò DVVT LC TT-9-10: giá thành chống neo thực tế là 36.514.573 đồng/mét, cao hơn giá thành tính toán theo thiết kế là 3.875.691 đồng/mét (tương ứng 11,87%) và thấp hơn giá thành thi công 1 mét lò chống thép theo phương án đơn vị đang áp dụng là 5.844.777 đồng/mét (tương ứng 13,8%).

+ Đối với lò DVTG LC TT-12-7: giá thành chống neo thực tế là 23.513.886 đồng/mét, cao hơn giá thành tính toán theo thiết kế là 2.268.300 đồng/mét (tương ứng 10,70%) và thấp hơn giá thành thi công 1 mét lò chống thép theo phương án đơn vị đang áp dụng là 5.386.014 đồng/mét (tương ứng 18,6%).

Như vậy, công nghệ chống neo thiết kế theo phương pháp mới đảm bảo hiệu quả kinh tế cho đơn vị áp dụng. Chi tiết giá thành thi công đào chống lò theo các yếu tố chi phí xem tại biểu đồ hình 4.



a) Lò DVVT LC TT-9-10



b) Lò DVTG LC TT-12-7

Hình 4. Biểu đồ so sánh giá thành thi công tại các đường lò áp dụng thử nghiệm

4. Kết luận

Hệ chiếu chống giữ đường lò bằng vì neo được tính toán, thiết kế theo lý thuyết chuyển vị khối đá áp dụng thử nghiệm tại Công ty than Dương Huy đã đạt thành công bước đầu, đường lò duy trì tốt mức độ ổn định, đáp ứng yêu cầu chống giữ. Các chỉ tiêu về tốc độ, năng suất lao động, giá thành cũng như các chỉ tiêu khác về cơ bản đã đạt và vượt so với thiết kế. Quá trình triển khai đảm bảo an toàn, và cường độ lao động được cải thiện. Nhìn chung, kết quả áp dụng tại Công ty than Dương Huy đã cho thấy tính khả thi và hiệu quả kỹ thuật

công nghệ chống neo sử dụng lý thuyết chuyển vị khối đá, là tiền đề cho việc nhân rộng công nghệ ra các đơn vị sản xuất than hầm lò khác trong TKV./.

Tài liệu tham khảo:

[1]. Báo cáo “Rà soát, đánh giá hiện trạng và đề xuất hệ chiếu chống giữ bằng vì neo cho các đường lò dọc vỉa than dày trung bình, góc dốc thoải đến dốc nghiêng tại các mỏ than hầm lò TKV”, Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin (2026).

Evaluating the results of applying anchor support technology designed based on the theory of rock mass displacement around the mine boundary at Duong Huy Coal Company - TKV

Eng. Nguyen Khac Hung, Dr. Nguyen Van Cong, Dr. Nguyen Ngoc Giang, Eng. Tran Van Long
Vinacomin - Institute of Mining Science and Technology

Abstract:

The current guidelines of the Group for roadway support using rock bolts are based on the natural equilibrium arch theory developed by Protodiakonov and Tsimbarovich. Over time, this approach has revealed certain limitations, as its calculation model is relatively simplified, does not adequately account for the factors contributing to mine pressure acting on roadways, and does not fully reflect the complexity of actual geological and mining conditions in underground coal mines. Currently, in the Russian Federation, rock bolt support passports are designed based on the rock mass displacement theory, in which most geological and mining factors contributing to the loads acting on roadways are considered and quantified in the calculation formulas. The resulting support passports provide reliable designs that closely correspond to actual conditions and meet roadway support requirements. This paper summarizes the results of a pilot application of roadway support using a rock bolt support system designed based on the rock mass displacement theory at Duong Huy Coal Company - TKV.

ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ ÁP DỤNG CÔNG NGHỆ CƠ GIỚI HÓA ĐÀO LÒ THAN TIẾT DIỆN NHỎ TẠI CÁC MỎ THAN HÀM LÒ THUỘC TKV

ThS. Phí Văn Long, KS. Trần Văn Long
KS. Phạm Công Minh, KS. Hoàng Phương Thảo
Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin

Biên tập: TS. Nhữ Việt Tuấn

Tóm tắt:

Để nâng cao hiệu quả đào lò than tiết diện nhỏ, Tập đoàn Công nghiệp Than – Khoáng sản Việt Nam (TKV) đã giao cho Viện KHCN Mỏ chủ trì thực hiện đề tài “Nghiên cứu công nghệ cơ giới hóa đào lò than tiết diện nhỏ tại các mỏ than hầm lò thuộc TKV”, trong đó Công ty than Thống Nhất là đơn vị phối hợp triển khai kết quả nghiên cứu. Đến nay công nghệ đã kết thúc áp dụng thử nghiệm tại lò DVTG LC II-2B-1 phân vỉa 2B và lò DVTG LC II-3C-1 số 2 phân vỉa 3C khu Lộ Trí – Công ty than Thống Nhất, đã đạt được kết quả bước đầu rất khả quan, là cơ sở cho việc nhân rộng công nghệ ra các đơn vị sản xuất than hầm lò khác trong Tập đoàn. Bài báo này tổng hợp và đánh giá kết quả áp dụng thử nghiệm công nghệ.

1. Đặt vấn đề

Từ năm 2019, Công ty than Vàng Danh bắt đầu đưa vào áp dụng máy combai loại siêu nhẹ EBH-45 để đào các đường lò trong than, đến nay đã được nhân rộng ra 11/13 mỏ than hầm lò, với tổng số 17 dây chuyền. Kết quả áp dụng thời gian qua cho thấy, máy combai EBH-45 khá phù hợp với điều kiện địa chất - kỹ thuật của các mỏ than hầm lò thuộc TKV, tốc độ, năng suất đạt tốt hơn so với công nghệ khoan nổ mìn. Tuy nhiên, thực tế áp dụng thời gian qua cũng cho thấy, máy combai EBH-45 cơ bản chỉ thi công tại các đường lò có tiết diện trên 10,0 m², hiệu quả hơn tại các gương lò có tiết diện từ 12,0 m² và chiều dài từ 200m trở lên. Trong khi đó, các đường lò than có tiết diện nhỏ (từ 8,0 ÷ 10,0 m², thậm chí đến 11,0 m²) và các đường lò thuận lợi về tiết diện, nhưng chiều dài hạn chế (dưới 100÷200m) lại chiếm tỷ trọng lớn tại các mỏ than hầm lò mà chưa có công nghệ CGH phù hợp để thi công, dẫn đến tỷ trọng mét lò than thi công bằng CGH của Tập đoàn thời gian qua mặc dù có tốc độ tăng trưởng cao, nhưng tỷ trọng còn thấp. Xuất phát từ các hạn chế này, Viện KHCN Mỏ đã đề xuất và được TKV giao thực hiện đề tài “Nghiên cứu công nghệ cơ giới hóa đào lò than tiết diện nhỏ tại các mỏ than hầm lò thuộc TKV” nhằm tìm kiếm công nghệ, thiết bị phù hợp để thi công hiệu quả các đường lò than có tiết diện nhỏ và/hoặc có chiều dài hạn chế để mở rộng

phạm vi và tăng tỷ trọng mét lò thi công bằng CGH trong Tập đoàn.

2. Giới thiệu về công nghệ cơ giới hóa đào lò than tiết diện nhỏ trên thế giới

Trên thế giới, song song với việc cơ giới hóa đào lò than tiết diện lớn cũng nghiên cứu phát triển các loại máy combai và máy đào lò đa năng có kích thước nhỏ, gọn để thi công các gương lò hạn chế về tiết diện.

Tại Trung Quốc, thiết bị được phát triển theo 03 loại hình, gồm máy combai tay khâu thẳng như EBZ35, EBZ55, EBZ75, EBZ90; máy combai tay khâu hai khớp có khả năng kéo dài như EBH-35, EBH-45L; máy đào xúc đa năng dòng WPZ. Đã cho phép thi công hiệu quả các đường lò có tiết diện nhỏ nhất đến 7,0 ÷ 7,3 m² và từ 9,5 ÷ 11,0 m², tốc độ thi công và NSLĐ đạt kỷ lục tới 450 m/tháng, 2,29 m/công.ca, phổ biến đều tăng hơn hai lần về tốc độ và NSLĐ so với đào lò bằng khoan nổ mìn [4].

Tại Liên bang Nga, các dòng máy combai cỡ nhỏ như GPKS, KP-21 cũng được sử dụng để thi công các đường lò than có tiết diện chỉ từ 7,2 ÷ 9,0 m², tốc độ trung bình đạt phổ biến từ 120÷150 m/tháng, tăng từ 15÷30% so với đào lò bằng khoan nổ mìn. Khi ứng dụng tổ hợp đào lò nhanh KN-5N “Kuzbass” gồm máy combai đào lò, hệ thống giàn chống tạm di động để thi công đường lò diện tích tiết diện đào từ 7÷13 m² tại vùng Kuzbass đã đạt

tốc độ đào kỷ lục 675 m/tháng, năng suất lao động đạt 1,8 m/người/ca [6].

Tại Mỹ các dòng máy combai đào lò chuyên dụng, tối giản về chiều cao như Komatsu 14 CM được sử dụng để thi công các đường lò đào trong vỉa than mỏng, thực hiện đồng thời chức năng khai thác và đào lò trong công nghệ buồng - cọt, tốc độ đào lò đã đạt đến 1.200 m/tháng [5].

Qua đó có thể thấy, việc nghiên cứu ứng dụng các loại hình thiết bị, công nghệ cơ giới hóa đào lò than có tiết diện nhỏ đã được các nước có nền công nghiệp khai thác than trên thế giới quan tâm từ sớm và đã đạt được nhiều thành công. Các kinh nghiệm này sẽ là kinh nghiệm quan trọng cho việc nghiên cứu đề xuất công nghệ trong điều kiện các mỏ than hầm lò của TKV.

3. Thiết kế công nghệ CGH đào lò đề xuất tại Công ty than Thống Nhất

Viện đã cùng Công ty than Thống Nhất khảo sát, lập thiết kế công nghệ cơ giới hóa đào lò than sử dụng máy đào xúc đa năng WPZ-5/150 để thi công cho điều kiện đường lò tiết diện nhỏ và/hoặc chiều dài hạn chế tại (1) lò dọc DVTG LC II-2B-1 phân vỉa 2B và (2) lò DVTG LC II-3C-1 số 2 phân vỉa 3C khu Lộ Trĩ.

3.1. Đặc điểm điều kiện địa chất khu vực thiết kế

- Lò dọc DVTG LC II-2B-1 phân vỉa 2B có chiều

dài dự kiến 138m, thi công trong phân vỉa 2B có chiều dày từ 6,7÷10,5m, trung bình 8,6m, trong vỉa tồn tại 2÷4 lớp đá kẹp chiều dày 0,2÷0,5m; góc dốc vỉa trung bình 30°; vách trực tiếp là lớp bột kết có chiều dày trung bình 2÷3m, tiếp đến là lớp vách cơ bản gồm chủ yếu các lớp cát kết và bột kết rắn cứng; trụ vỉa là các lớp đá bột kết, đôi chỗ là cát kết; khu vực thi công không chịu ảnh hưởng của nước; cấu tạo vỉa phức tạp, đường phương và hướng dốc vỉa không ổn định.

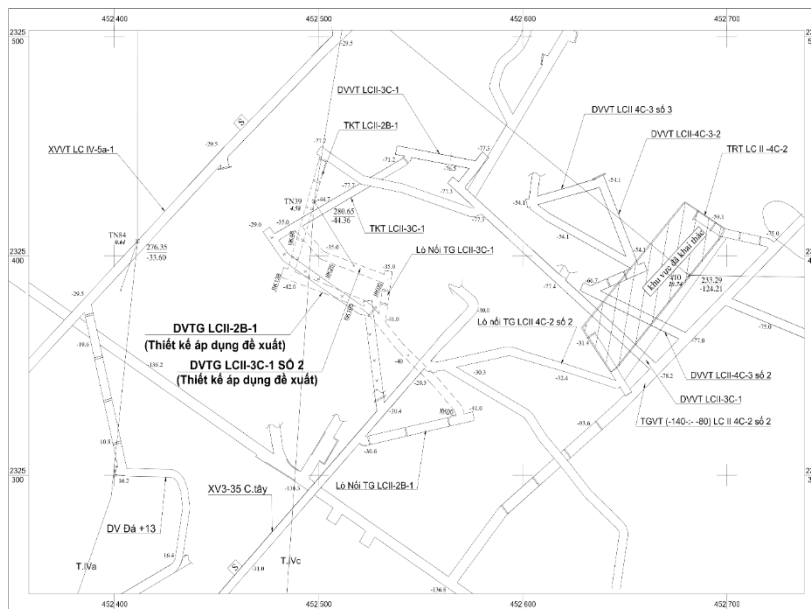
- Lò DVTG LC II-3C-1 số 2 phân vỉa 3C có chiều dài dự kiến là 48m, thi công trong phân vỉa 3C có chiều dày từ 3,86÷4,30m, trung bình 4,0m, trong vỉa tồn tại 01 đá kẹp chiều dày từ 0,1÷0,3m, trung bình 0,2m; góc dốc vỉa thay đổi từ 25°÷41°, trung bình 33°; vách trực tiếp là lớp bột kết dày trung bình 2÷3m, tiếp đến là lớp vách cơ bản gồm chủ yếu các lớp cát kết và bột kết rắn cứng; trụ vỉa là các lớp đá bột kết, đôi chỗ là cát kết; cấu tạo vỉa phức tạp, đường phương và hướng dốc vỉa không ổn định.

Chi tiết vị trí áp dụng xem hình 1.

3.2. Sơ đồ công nghệ, đồng bộ thiết bị và hệ chiếu thi công đường lò

Theo hiện trạng và kế hoạch đào lò của Công ty than Thống Nhất:

- Lò DVTG LC II-2B-1 phân vỉa 2B: tổng chiều dài lò 138m, trong đó từ IIK0 ÷ IIK105 (105m), lò chống tiết diện hình vòm, tường thẳng, diện tích



đào 13,0 m², chống vì thép SVP-27, bước chống 0,5 m/vì, chèn lò bằng tấm chèn BTCT (nóc chèn kín, hông chèn so le); từ IIK105 ÷ IIK138 (33,0m), lò chống tiết diện hình vòm, tường thẳng, diện tích đào 8,3 m², chống vì thép SVP-22, bước chống 0,5 m/vì, chèn bằng tấm chèn thép.

- Lò DVTG LC II-3C-1 số 2 phân vỉa 3C: **tổng chiều dài lò 48m**, trong đó từ IIK0 ÷ IIK25 (25m), lò chống tiết diện hình vòm, tường thẳng, diện tích đào 13,0 m², chống vì thép SVP-27, bước chống 0,5 m/vì, chèn lò bằng tấm chèn BTCT (nóc chèn kín, hông chèn so le); từ IIK25 ÷ IIK48 (23,0m), lò chống tiết diện hình vòm, tường thẳng, diện tích đào 8,3 m², chống vì thép SVP-22, bước chống 0,5 m/vì, chèn bằng tấm chèn thép.

Sơ đồ công nghệ theo thiết kế sử dụng máy đào xúc đa năng WPZ-5/150 có khả năng lắp hoán đổi giữa đầu khâu và gầu xúc để thực hiện chức năng đào phá gương hoặc xúc bốc than đá tại gương. Thông số kỹ thuật cơ bản của máy đào xúc đa năng WPZ-5/150 như sau: trọng lượng máy 5,0 tấn; kích thước DxRxH = 6,3x0,9x1,46m; chiều rộng x chiều cao khâu tối đa = 6,25 x 4,157m; công suất 37 kW; độ dốc di chuyển đến 20°. Theo tính toán, tốc độ thi công và năng suất lao động với tiết diện đào 8,3 m² là 100 m/tháng, 0,223 m/công-ca, với tiết diện đào 13,0 m² là 80 m/tháng, 0,177 m/công-ca. Chi tiết hệ chiếu chống giữ, thông số kỹ thuật thiết bị và các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật chủ yếu của công nghệ xem hình 2 và các bảng 1, 2.

4. Đánh giá kết quả triển khai công nghệ

4.1. Quá trình và kết quả triển khai

Viện KHCN Mỏ phối hợp cùng Công ty than Thống Nhất triển khai lắp đặt, vận hành máy đào lò đa năng WPZ-5/150, thi công đào chống tại lò DVTG LC II-2B-1 và lò DVTG LC II-3C-1 số 2. Thời gian triển khai từ ngày 19/10/2025 đến ngày 21/7/2026, trong đó:

- Thời gian thực hiện công tác lắp đặt, chạy thử hướng dẫn vận hành thiết bị trên mặt bằng từ ngày 19/10-23/10/2025.

- Công tác vận chuyển, lắp đặt và chạy thử thiết bị trong lò: từ ngày 12/04 - 16/04/2026 (tại lò DVTG LC II-2B-1).

- Công tác vận hành đào lò sử dụng máy đào lò đa năng WPZ-5/150: từ ngày 17/04/2026 đến hết ngày 21/07/2026, tổng chiều dài lò thi công bằng máy là **111,0 m**, trong đó:

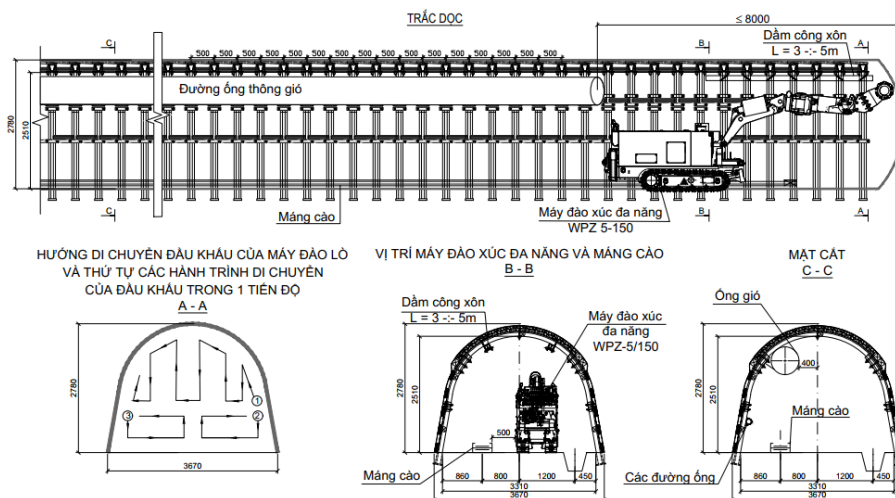
* Tại lò DVTG LC II-2B-1 phân vỉa 2B

Công tác thi công lò DVTG LC II-2B-1 từ ngày 01/04/2026 đến hết ngày 9/6/2026, trong đó:

- Từ ngày 01/04 ÷ 16/04/2026: thi công đào chống lò bằng công nghệ khoan nổ mìn kết hợp xúc bốc thủ công lên máng cào. Khối lượng thi công 36,0 mét (từ IIK00 ÷ IIK36).

- Từ ngày 17/04 ÷ 04/06/2026: thi công đào chống lò theo tiết diện đào 13,0 m² sử dụng máy khoan xúc đa năng WPZ-5/150. Khối lượng thi công 69,0 mét (từ IIK36 ÷ IIK105).

- Từ ngày 05/06 ÷ 09/06/2026: thi công đào chống lò theo tiết diện đào 8,3 m² sử dụng máy khoan xúc đa năng WPZ-5/150. Khối lượng thi công 10,0 mét (từ IIK105 ÷ IIK115). Đến thời điểm này, do gương lò thi công cắt đá 100% nên công



Hình 2. Sơ đồ công nghệ thi công sử dụng máy đào - xúc đa năng (Sđ = 8,3 m²)

Bảng 1. Thông số kỹ thuật chi tiết máy đào xúc đa năng WPZ-5/150

TT	Các thông số kỹ thuật	Đơn vị	Trị số
1	Trọng lượng máy	tấn	5,0
2	Kích thước ngoài (DxRxC)	m	6,3x0,9x1,46
3	Chiều cao khẩu tối đa	mm	3.657±500
4	Chiều rộng khẩu lớn nhất	mm	6200±50
9	Chiều sâu khẩu nền	mm	1500±50
5	Độ cứng đất đá cho phép	MPa	≤ 45
6	Áp suất làm việc định mức	MPa	24
7	Tốc độ đầu cắt	v/ph	150
8	Góc xoay ngang tay công tác	độ	±10
10	Năng suất khẩu của máy	m ³ /h	50
11	Tổng công suất máy	kW	37
12	Áp lực nước phun sương ngoài	MPa	2
13	Áp lực nền	MPa	0,1
14	Độ dốc lớn nhất có thể di chuyển	độ	±10
15	Tốc độ di chuyển của máy	m/ph	32
16	Áp lực làm việc hệ thống thủy lực chính	MPa	≥ 24
17	Động cơ điện phòng nổ	-	-
-	Điện áp	V	640/1140

Bảng 2. Tổng hợp chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật cho dây chuyền công nghệ sử dụng máy đào xúc đa năng WPZ-5/150

TT	Các chỉ tiêu	Đơn vị	Giá trị	
			Sđ=8,3m ²	Sđ=13,0m ²
1	Hệ số hoàn thành chu kỳ	-	0,89	0,91
2	Tốc độ đào chống lò một ngày đêm	m	4,50	3,50
3	Số ngày làm việc trong một tháng	ngày	25,00	25,00
4	Thời gian một chu kỳ	giờ	24,00	24,00
5	Số chu kỳ một ngày đêm	chu kỳ	1,00	1,00
6	Tốc độ đào một tháng	m	100	80
7	Nhân lực một ca	người	6,00	6,00
8	Nhân lực một ngày đêm	người	18,00	18,00
9	Năng suất lao động trực tiếp	m/n.ca	0,223	0,177

ty quyết định dừng gương và đội hợp long với mũi thi công lò thượng khai thác LC II-2B-1 đang thi công từ phía lò DVVT LC II-2B-1 lên trên để phục vụ công tác chuẩn bị lò chợ.

*** Tại lò DVTG LC II-3C-1 số 2 phân vỉa 3C**

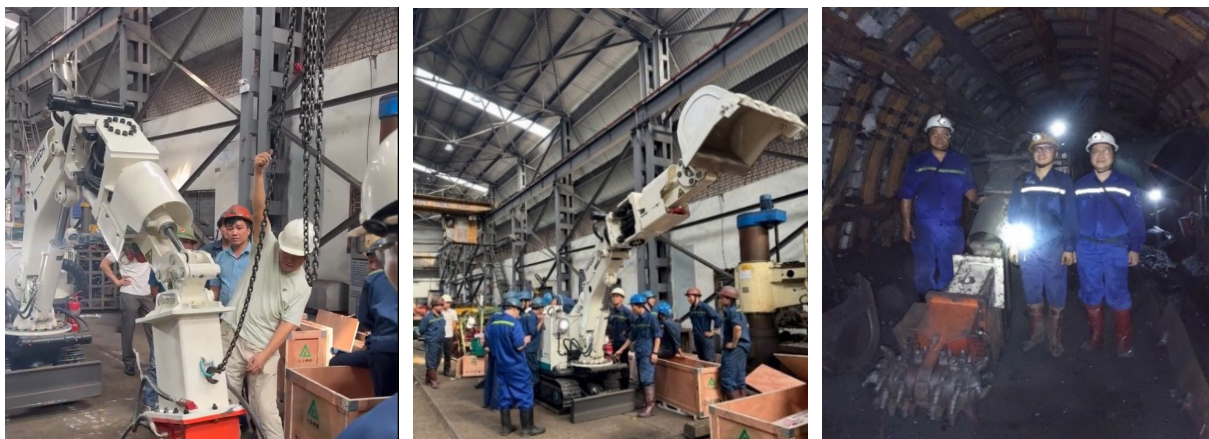
Công tác thi công lò DVTG LC II-3C-1 số 2 từ ngày 25/06/2026 đến hết ngày 21/7/2026, trong đó:

- Từ ngày 25/06 ÷ 6/07/2026: thi công điểm mở lò DVTG LC II-3C-1 từ lò nối thông gió LC II-3C-1 theo tiết diện 13,0 m² bằng công nghệ khoan nổ mìn kết hợp xúc bốc thủ công lên máng cào.

Khối lượng thi công 19,5 mét (từ IIK00 ÷ IIK19,5).

- Từ ngày 7/7 ÷ 16/07/2026: thi công đào chống lò theo tiết diện đào 8,3 m² sử dụng máy khoan xúc đa năng WPZ-5/150. Khối lượng thi công 32,0 mét (từ IIK19,5 ÷ IIK51,5).

- Từ ngày 17/7 ÷ 21/07/2026: Đường lò đào cắt qua lò cũ (lò DVTG LC II-3C-1 cũ đã nén bẹp), quá trình thi công phải tháo dỡ vì cũ, tách phá than đá bằng căn cước thủ công kết hợp nổ mìn nên máy đào lò đa năng WPZ-5/150 không thực hiện chức năng cắt mà chuyển sang chức năng xúc gạt đất



Hình 3. Hình ảnh quá trình triển khai triển khai công nghệ tại Công ty than Thống Nhất

đá tại gương. Khối lượng thi công phạm vi này là 6,5 m (từ IIK51,5 ÷ IIK58,0).

Một số hình ảnh trong quá trình triển khai công nghệ xem hình 3.

4.2. Đánh giá kết quả triển khai

*** Về điều kiện địa chất:** Trong phạm vi 111,0 mét thi công áp dụng công nghệ tại đường lò DVTG LC II-2B-1 và lò DVTG LC II-3C-1 số 2, điều kiện địa chất thay đổi theo hướng phức tạp hơn so với tài liệu lập thiết kế, đặc biệt là chiều dày vỉa than, thực tế chỉ từ 1,1 ÷ 2,5m, trung bình từ 1,1 ÷ 1,5m, nhiều đoạn gương lò đào 100% qua đá, tỷ lệ cát đá trên gương trung bình từ 60% ÷ 70% đã gây khó khăn cho quá trình áp dụng công nghệ.

*** Về hộ chiếu chống giữ:** Về cơ bản, hộ chiếu chống giữ được thực hiện tuân thủ theo thiết kế, tuy nhiên phạm vi đào chống của các tiết diện 8,3 m² có sự thay đổi. Chiều dài thi công tiết diện 8,3 m² tại lò DVTG LC II-2B-1 là 10m (từ IIK105 ÷ IIK115) so với thiết kế là 33m. Đối với lò DVTG LCII-3C-1, tiết diện 8,3m² thực tế thi công là 32 m (từ IIK19,5÷IIK51,5) so với 23m theo thiết kế.

*** Về quy trình công nghệ thi công:** Về cơ bản thực hiện theo đúng biện pháp đã lập, tuy nhiên do điều kiện địa chất gương lò thay đổi, chiều dày vỉa mỏng cùng tỷ lệ cát đá trên gương lớn dẫn đến khả năng làm việc của đầu khâu còn hạn chế ở một số vị trí (phạm vi từ IIK105÷IIK115 lò DVTG LC II-2B-1 và từ IIK19,5÷IIK25 lò DVTG LC II-3C-1). Khi đó, đơn vị thi công phải thực hiện công tác nổ mìn tách phá gương, máy đào xúc đa năng chỉ được sử dụng để khâu một phần than và thực hiện nhiệm vụ gạt xúc than đá lên máng cào là chủ yếu.

*** Về công tác an toàn trong quá trình thi công:** Quá trình thi công áp dụng công nghệ đào chống lò sử dụng máy đào xúc đa năng WPZ-5/150 được diễn ra đảm bảo an toàn. Các nguy cơ mất an toàn như công tác khoan nổ mìn om hay xung đột giữa các thiết bị máy đào xúc đa năng với thiết bị vận tải như máng cào,... đều được xử lý tốt, đảm bảo yêu cầu kỹ thuật - an toàn. Trong quá trình thi công và theo dõi áp dụng thử nghiệm không ghi nhận.

*** Về các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật chủ yếu của công nghệ:**

a) Tại lò DVTG LC II-2B-1 phân vỉa 2B

Công tác thi công thực hiện từ ngày 01/4/2026 ÷ 09/6/2026, tổng mét lò đào là 115m/tổng số 138m dự kiến. Công tác thi công bằng máy đào lò đa năng WPZ-5/150 thực hiện từ ngày 17/4/2026 ÷ 09/6/2026, tổng mét lò đào bằng máy là 79m, trong đó 69m đào tiết diện 13,0 m² (từ IIK36 ÷ IIK105), 10m đào tiết diện 8,3 m² (từ IIK105 ÷ IIK115). Quá trình áp dụng thử nghiệm, do điều kiện địa chất gương lò biến động phức tạp, vỉa nhiều đá kẹp, đường phương uốn lượn, nên nhiều thời điểm gương lò phải cắt nhiều đá kẹp, đá vách hoặc đá trụ, thậm chí nhiều thời điểm gương lò đặc đá, dẫn đến các chỉ tiêu tốc độ và năng suất lao động chưa đạt cao như kỳ vọng. Mặt khác, trùng với thời điểm thi công công nghệ, Phân xưởng Đào lò 2 đang được Công ty than Thống Nhất giao thực hiện nhiều gương lò trọng điểm phục vụ phương án xuống sâu mỏ Lộ Trí, dẫn đến thời gian thi công thực tế bị gián đoạn, nhân lực bố trí trong ca phổ biến chỉ từ 4-5 người/ca, thấp hơn yêu cầu là 06 người/ca, cũng làm giảm tốc độ

thi công. Để việc đánh giá các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật phản ánh đúng bản chất của công nghệ, đề tài tiến hành đánh giá theo 02 giai đoạn phân chia theo điều kiện tiết diện gương lò cụ thể. Chi tiết từng giai đoạn như sau:

* **Giai đoạn 1 (từ 17/04 ÷ 04/06/2026, thi công tiết diện 13,0 m²):** Tổng khối lượng mét lò thi công giai đoạn này là 69m (từ IIK36÷ IIK105). Tốc độ thực tế trong quá trình thi công đạt từ 1,0 ÷ 4,0 m/ngày, bình quân 2,86 m/ngày, tương ứng tốc độ một tháng (25 ngày làm việc) là 71,5 m/tháng, đạt 89,38% so với tốc độ theo thiết kế (trung bình 80 m/tháng) và 102,14% so với tốc độ theo công nghệ đơn vị đang áp dụng trong cùng điều kiện (khoan nổ mìn + xúc bốc bằng máy lên máng cào, tốc độ trung bình 70 m/tháng). Tính quy đổi trong trường hợp bố trí đủ nhân lực thi công theo thiết kế, tốc độ bình quân đào lò sẽ đạt 85,26 m/tháng, bằng 106,58% thiết kế và 121,8% so với công nghệ đơn vị đang áp dụng trong cùng điều kiện. Năng suất lao động bình quân cả giai đoạn là 0,189 m/công.ca, đạt 103,30% so với thiết kế (trung bình 0,183 m/công.ca) và đạt 119,63% so với năng suất khi thi công theo công nghệ đơn vị đang áp dụng (trung bình 0,158 m/công ca).

* **Giai đoạn 2 (từ 05/06 ÷ 09/06/2026, thi công tiết diện 8,3 m²):** Phạm vi đường lò thi công với tiết diện 8,3 m² có chiều dài 10 m (từ IIK105÷ IIK115) đi hầu như hoàn toàn trong đá, máy WPZ-5/150 không thể tách phá gương mà chỉ làm việc với chức năng xúc-gạt nên không phản ánh đúng bản chất công nghệ. Do đó, báo cáo không đề cập, đánh giá chỉ tiêu tốc độ thi công của đoạn lò này.

b) Tại lò DVTG LC II-3C-1 số 2 phân vỉa 3C

Công tác thi công thực hiện từ ngày 25/6/2026 đến ngày 21/7/2026. Do đường phương của vỉa biến động, gương lò thường xuyên cắt đá vách, đá trụ và/hoặc 1÷2 lớp đá kẹp trong vỉa dày trung bình 0,2 m, từ đó cũng làm giảm năng suất của đầu khâu, nhiều vị trí phải bắn mìn om hỗ trợ để làm mềm đất đá trên gương. Tổng mét lò đào là 58,0 m/tổng số 48 m dự kiến, quá trình thi công chia làm 3 giai đoạn như sau:

* **Giai đoạn 1 (từ 25/06/2026 ÷ 06/07/2026, thi công tiết diện 13,0 m²):** Thi công điểm mở lò DVTG LC II-3C-1 từ lò nối thông gió LC II-3C-1, đào chống lò theo tiết diện đào 13,0 m² bằng công nghệ khoan nổ mìn kết hợp xúc bốc thủ công lên máng cào,

khối lượng thi công 19,5 m (từ IIK00÷ IIK19,5).

* **Giai đoạn 2 (từ 07/07/2026 ÷ 16/07/2026, thi công tiết diện 8,3 m²):** Thi công đào chống lò theo tiết diện đào 8,3 m² sử dụng máy đào lò đa năng WPZ-5/150. Khối lượng thi công 32 mét (từ IIK19,5 ÷ IIK51,5). Tốc độ thực tế trong quá trình thi công đạt từ 3,0 ÷ 5,5 m/ngày, bình quân 4,187 m/ngày, tương ứng tốc độ một tháng (25 ngày làm việc) là 104,67 m/tháng, đạt 104,67% so với tốc độ theo thiết kế (trung bình 100 m/tháng) và 123,14% so với tốc độ theo công nghệ đơn vị đang áp dụng trong cùng điều kiện (khoan nổ mìn + xúc bốc bằng máy lên máng cào, tốc độ trung bình 85m/tháng). Năng suất lao động bình quân cả giai đoạn là 0,249 m/công.ca, đạt 112,15% so với thiết kế (trung bình 0,222 m/công.ca) và đạt 131,94% so với năng suất khi thi công theo công nghệ đơn vị đang áp dụng (trung bình 0,189 m/công ca).

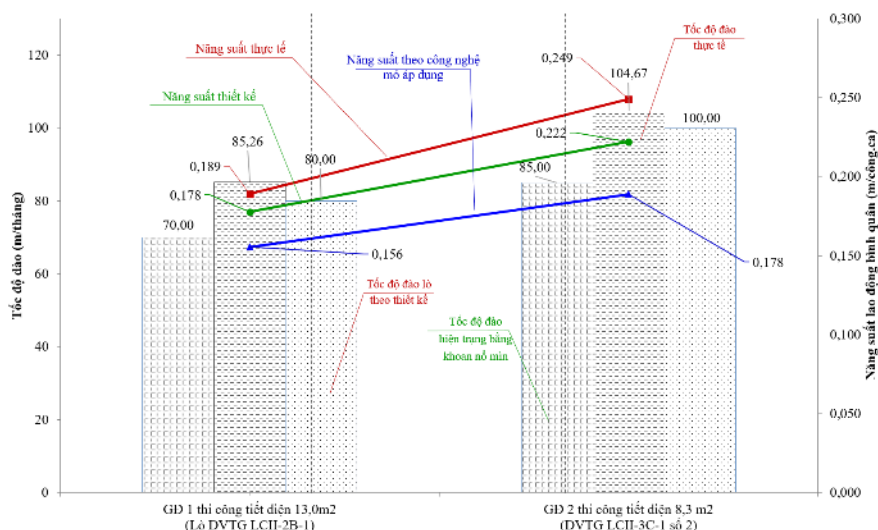
* **Giai đoạn 3 (từ 17/07/2026 ÷ 21/07/2026, thi công gặp lò cũ):** Đường lò đào cắt qua lò cũ (lò DVTG LC II-3C-1 cũ đã nén bẹp), quá trình thi công phải tháo dỡ vì cũ, tách phá than đá bằng căn cuốc thủ công kết hợp nổ mìn nên máy đào lò đa năng WPZ-5/150 không thực hiện chức năng cắt mà chuyển sang chức năng xúc gạt đất đá tại gương. Khối lượng thi công phạm vi này là 6,5 m từ IIK51,5 ÷ IIK58,0).

Do giai đoạn 1 và giai đoạn 3 không phản ánh đúng bản chất công nghệ nên kết quả thi công công nghệ bằng máy đào lò đa năng tại lò DVTG LC II-3C-1 được nhóm đề tài đánh giá theo giai đoạn 2.

Chi tiết tổng hợp kết quả áp dụng và một số chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật tại lò DVTG LC II-2B-1 (Giai đoạn 1) và lò DVTG LC II-3C-1 số 2 (giai đoạn 2) xem tại biểu đồ hình 4.

*** Về hiệu quả kinh tế khi áp dụng công nghệ**

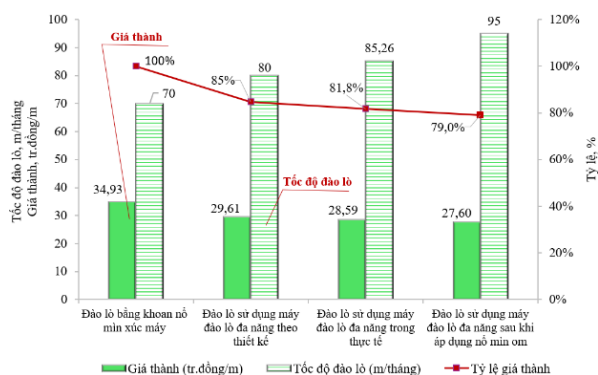
Bên cạnh những hiệu quả về mặt kỹ thuật cũng như các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật chủ yếu (tốc độ, năng suất,...), việc áp dụng công nghệ còn đem lại hiệu quả về mặt kinh tế cho đơn vị. Cụ thể giá thành thi công đào chống 1 mét lò trong thực tế theo tổng hợp quyết toán thực tế tại đơn vị là 28.588.426 đồng/mét lò, thấp hơn 1.024.861 đồng/mét (tương ứng 3,4%) so với giá thành khi áp dụng công nghệ theo thiết kế (29.613.288 đồng/m); thấp hơn 6.340.432 đồng/mét (tương ứng 18,1%) so với giá thành thi công đào chống 1 mét theo công nghệ đơn vị đang thực hiện (khoan nổ mìn, xúc máy,



Hình 4. Diễn biến khối lượng, năng suất đào chống thực tế khi sử dụng máy đào lò đa năng

đơn giá 34.928.588 đồng/m). Chi tiết hiệu quả kinh tế xem tại biểu đồ hình 5.

4.3. Đề xuất một số giải pháp hoàn thiện công nghệ



Hình 5. Biểu đồ so sánh giá thành khi đào lò sử dụng máy đào lò đa năng WPZ-5/150

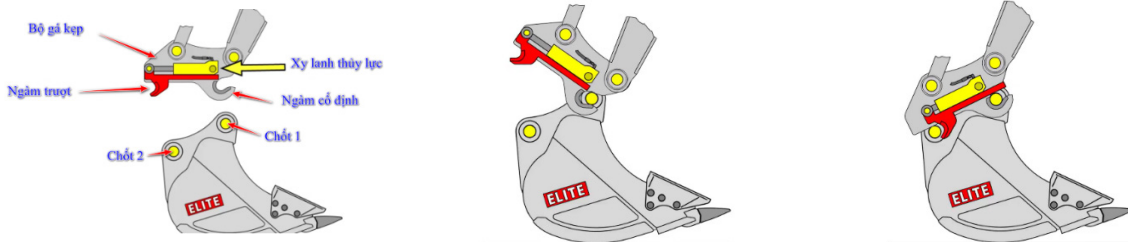
Xuất phát từ tồn tại của thiết bị, công nghệ được phát hiện trong quá trình áp dụng thử nghiệm, nhóm tác giả đề xuất một số giải pháp hoàn thiện công nghệ như sau:

- **Thay đổi kết cấu hoán đổi đầu khẩu và gầu xúc:** Quá trình thi công thực tế cho thấy, xuất phát từ các nguyên nhân: (i) kẹt chốt cơ khí do biến dạng, bụi bẩn; (ii) phải sử dụng búa tay để hoán đổi thủ công trong không gian chật hẹp nên thời gian hoán đổi đầu khẩu và đầu xúc lên tới 30 phút ảnh hưởng tới thời gian tổ chức thi công gương lò. Đối với vấn đề này, nhóm đề tài đề xuất cải tiến cơ cấu chốt cơ khí sang khớp nối nhanh thủy lực tự

động. Khớp nối nhanh bao gồm: bộ gá kẹp, ngàm cố định, ngàm trượt và xy lanh thủy lực (hình 6). Khi cần tháo các đầu chức năng, xy lanh co lại kéo ngàm trượt về gần ngàm cố định, đầu chức năng sẽ tự rơi ra. Sau đó sử dụng ngàm cố định để móc vào chốt 1 đầu chức năng mới, điều khiển xoay bộ gá để ngàm trượt khớp với vị trí chốt 2, điều khiển xy lanh đẩy ngàm trượt ra để khóa cứng và cố định đầu chức năng. Từ đó, loại bỏ hoàn toàn việc hoán đổi thủ công, thời gian khóa/mở chốt cơ khí giảm từ 35÷45 phút xuống còn 1÷3 phút.

- **Bổ sung hệ thống dập bụi:** Do máy đào lò đa năng WPZ-5/150 không tích hợp sẵn hệ thống dập bụi ở đầu khẩu, dẫn đến trong quá trình khấu gương, lượng bụi phát sinh khá lớn, từ đó gây cản trở tầm nhìn trong quá trình làm việc của thợ lái máy cũng như công nhân trong gương, về lâu dài sẽ ảnh hưởng đến sức khỏe của người lao động. Do đó cần thiết phải tích hợp hệ thống phun sương dập bụi trực tiếp tại đầu cắt của máy hoặc hệ thống riêng lẻ tại gương (hình 7). Hệ thống dập bụi cần vận hành đồng bộ với đầu khẩu, khi máy hoạt động, hệ thống phun sương sẽ hoạt động đồng thời, khi máy dừng sẽ tự ngắt để tiết kiệm nước, tránh chảy tràn ra nền lò, gây sũng nước và lún nền khi máy hoạt động.

- **Bổ sung hệ thống chiếu sáng cho máy đào lò:** Do máy đào lò không tích hợp sẵn hệ thống chiếu sáng trên thân máy, quá trình làm việc trên gương dựa hoàn toàn vào ánh sáng từ đèn chiếu sáng cá nhân của công nhân vận hành



Hình 6. Mô hình khớp nối nhanh dạng gá kẹp thủy lực



Hình 7. Hệ thống phun sương dập bụi tại đầu khẩu máy đào lò

máy. Với ánh sáng hạn chế, người lái sẽ rất khó quan sát được tình trạng toàn bộ gương lò, khó phát hiện kịp thời các nguy cơ mất an toàn trong quá trình thi công. Do đó cần tích hợp đèn chiếu xa lắp đặt trên thân máy (hình 8) hướng về phía gương lò để soi rõ vị trí cắt và gom than, đá. Bổ sung thêm các đèn cảnh báo phía sau và 2 bên sườn máy để cảnh báo cho các thợ lò khác khi máy lùi hoặc quay trong quá trình khấu.

- **Bổ sung cơ cấu nâng xà vịn chống:** Đối với công tác đào chống lò sử dụng vịn thép hiện nay,



Hình 8. Hệ thống chiếu sáng lắp đặt trên thân máy đào lò

công tác lên dựng vịn chống đang được thực hiện

thủ công. Trong đó, công tác lên xà được thực hiện bằng nâng thủ công lên hai thanh dầm thép (dầm công sơn) treo trên các xà vịn chống liền kề đã dựng trước đó. Công tác dựng cột cũng được thực hiện thủ công vào lỗ chân cột sau đó ép ghép vào xà để lắp đặt liền kết. Như vậy có thể thấy, việc vận chuyển và lắp dựng vịn chống thép ở phạm vi gương lò thực hiện thủ công như hiện nay là rất nặng nhọc, tiềm ẩn rủi ro và gây khó khăn không nhỏ cho việc giữ chân và thu hút thợ lò. Do đó, có thể đầu tư thêm đầu chức năng có cơ cấu nâng hạ vịn chống (hình 9) để nâng cao mức độ an toàn, cải thiện đáng kể mức độ nặng nhọc cho người lao động trong quá trình lắp đặt kết cấu chống.



Hình 9. Cơ cấu nâng xà vịn chống

5. Kết luận

Việc sử dụng máy đào xúc đa năng WPZ-5/150 tại Công ty than Thống Nhất để tách phá gương đã cho phép cơ giới hóa công tác thi công đường lò có tiết diện nhỏ, cũng như đường lò có tiết diện thuận lợi nhưng chiều dài hạn chế, nâng cao mức độ an toàn, giảm cường độ làm việc và mức độ nặng nhọc cho người lao động, tốc độ thi công và năng suất lao động cơ bản đã đạt và vượt so với thiết kế cũng như công nghệ đào lò tiến gương bằng khoan nổ mìn trong cùng điều kiện. Các tồn tại về kết cấu thiết bị, hộ chiếu thi công đã được các bên liên quan theo dõi sát sao, cùng đưa ra

các giải pháp hoàn thiện để nâng cao hiệu quả áp dụng. Trong đó, có các giải pháp hoàn thiện đã được thực hiện ngay trong quá trình triển khai công nghệ, có các giải pháp được đưa ra làm cơ sở để khắc phục cho Công ty than Thống Nhất cũng như các đơn vị khác khi tiến hành đầu tư dây chuyền thiết bị tiếp theo. Kết quả áp dụng tại Công ty than Thống Nhất đã cho thấy tính khả thi và hiệu quả kỹ thuật, kinh tế của công nghệ cơ giới hóa đào lò sử dụng máy đào lò đa năng WPZ-5/150, là tiền đề cho việc nhân rộng công nghệ ra các đơn vị sản xuất than hầm lò khác trong TKV./.

Tài liệu tham khảo:

[1]. Vũ Thành Lâm và nnk (2020), “Cơ giới hóa đào lò – những thành tựu và định hướng phát triển tại các mỏ than hầm lò TKV”, Tuyển tập báo cáo “Khoa học và công nghệ mỏ - Những thành tựu và phương hướng phát triển”, Hội khoa học Công nghệ Mỏ Việt Nam (11/2020).

[2]. Báo cáo nghiên cứu, xây dựng định hướng

phát triển áp dụng công nghệ cơ giới hóa đào lò giai đoạn 2021+2025 tại các mỏ than hầm lò TKV, do Viện KHCN Mỏ - Vinacomin lập.

[3]. Báo cáo khối lượng mỏ các năm từ 2019-2025 của Tập đoàn Công nghiệp Than – Khoáng sản Việt Nam.

[4]. Từ Xuân Giang, Trương Kiểm, Giải Chấn Vĩnh. *Cải tiến máy đào lò kiểu EBZ-75[J]*. Khoa học Công nghệ Than, 1995, (08): 8-9+16. DOI: 10.13199/j.cst.1995.08.8.xuchj.003.

[5]. Pushpam Soni, *Continuous Miner Operations in Coal Mining*. Sardar Patel University Dongariya school of Engineering and Technology, 1999.

[6]. Разработка методики оценки фактического технического состояния проходческих комбайнов избирательного действия, Мухортиков сергей григорьевич, 2014.

Evaluating the results of applying mechanized technology for driving small-section coal roadways at underground coal mines under TKV

MSc. Phi Van Long, Eng. Tran Van Long, Eng. Pham Cong Minh, Eng. Hoang Phuong Thao
Vinacomin - Institute of Mining Science and Technology

Abstract:

To improve the efficiency of driving small-section coal roadways, Vietnam National Coal and Mineral Industries Holding Corporation Limited (TKV) assigned the Institute of Mining Science and Technology to lead the research project entitled “Research on Mechanized Technology for Driving Small-Section Coal Roadways at Underground Coal Mines under TKV,” with Thong Nhat Coal Company serving as the collaborating unit for implementation of the research results. To date, the technology has completed its pilot application at the DVTG LC II-2B-1 roadway in Sub-seam 2B and the DVTG LC II-3C-1 No. 2 roadway in Sub-seam 3C, Lo Tri area, Thong Nhat Coal Company. The pilot application has achieved highly promising initial results, providing a basis for replicating the technology at other underground coal mining units within TKV. This paper summarizes and evaluates the results of the pilot application of the technology.

MÔ HÌNH QUẢN TRỊ DỮ LIỆU LỚN VÀ VẤN ĐỀ BẢO MẬT TRONG LĨNH VỰC KHAI THÁC THAN- KHOÁNG SẢN

ThS. Nguyễn Kim Quý, KS. Phạm Văn Long
KS. Phạm Vũ Hải, KS. Nguyễn Thị Thái
Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin

Biên tập: TS. Nhữ Việt Tuấn

Tóm tắt:

Tại các mỏ than-khoáng sản, nhằm đảm bảo an toàn cho con người, thiết bị và phục vụ hoạt động khai thác hiệu quả, những hệ thống giám sát, quan trắc khí mỏ, cảnh báo, điều khiển cần phải hoạt động liên tục ngày đêm. Các hệ thống này liên tục thu thập, hiển thị và lưu trữ dữ liệu dưới nhiều phương thức khác nhau để có thể truy xuất dữ liệu phục vụ công tác tổng hợp, điều phối, cải thiện, nâng cấp hệ thống hoặc xử lý sự cố. Tuy nhiên, việc lưu trữ dữ liệu tự do và chưa có tiêu chuẩn trong việc quản lý cây dữ liệu dẫn tới khó khăn khi truy xuất hoặc bảo đảm tính toàn vẹn của dữ liệu. Khi số lượng thiết bị đầu cuối ngày càng nhiều, dữ liệu được thu thập càng lớn khiến cho nhu cầu quản lý dữ liệu lớn trở nên cấp thiết. Sự ra đời của dữ liệu lớn (Big Data) và điện toán đám mây và phát triển mạnh mẽ trong giai đoạn chuyển đổi số đã trở thành nền tảng công nghệ quan trọng của cuộc cách mạng công nghiệp 4.0. Sự bùng nổ của Internet khiến việc lưu trữ và truy cập dữ liệu theo phương thức vật lý truyền thống gặp nhiều hạn chế, đặc biệt là khi truy cập từ xa. Dữ liệu phân tán dạng đám mây (Cloud) ra đời như một giải pháp tất yếu, cho phép kết nối và truy cập dữ liệu mọi lúc, mọi nơi thông qua giao thức Internet. Quản trị dữ liệu lớn sẽ giúp tiêu chuẩn hóa toàn bộ các dữ liệu số tại các mỏ than- khoáng sản, giúp thiết lập cây quản trị, khung dữ liệu để hệ thống hóa dữ liệu có tổ chức, trật tự. Từ đó, có thể tối ưu không gian lưu trữ dữ liệu, tăng tốc truy xuất và áp dụng những giải pháp bảo mật vào hệ thống dữ liệu một cách hiệu quả.

1. Đặt vấn đề

Lịch sử phát triển văn minh nhân loại cho thấy ngành công nghiệp khai khoáng luôn giữ vai trò trụ cột trong việc cung cấp nguyên liệu nền tảng cho mọi ngành sản xuất. Tuy nhiên, trước yêu cầu bức thiết của lộ trình giảm phát thải bằng 0 (Net Zero) và sự bùng nổ của cuộc cách mạng công nghiệp 4.0, ngành mỏ hiện nay đang đứng trước áp lực phải thực hiện song hành chuyển đổi số và chuyển đổi xanh. Bối cảnh này buộc các doanh nghiệp mỏ phải tái cấu trúc mô hình vận hành hướng tới “Mỏ Xanh – Mỏ Thông minh”. Đây là mô hình toàn diện, nơi việc ứng dụng công nghệ số để tối ưu hóa chi phí, đảm bảo an toàn lao động và giảm thiểu phát thải khí nhà kính được đặt làm mục tiêu chiến lược, song hành cùng nhiệm vụ đảm bảo sản lượng [1], [2].

Sự bùng nổ của hạ tầng kết nối (cáp quang, Wi-Fi, 3G/4G) cùng các hệ thống cảm biến IoT lắp đặt rộng khắp trong các mỏ khai thác than-khoáng sản tạo ra lượng dữ liệu khổng lồ theo thời gian thực. Dù vậy, phần lớn dữ liệu này hiện vẫn bị

phân mảnh và tồn tại dưới dạng hệ thống lưu trữ dữ liệu độc lập (data silos) giữa các hệ thống tự động hóa riêng lẻ. Đa số các công ty khai thác mỏ vẫn chưa xây dựng được một hạ tầng quản lý dữ liệu lớn đủ mạnh để tích hợp chuỗi vận hành chính (đào lò, khai thác, vận tải) với các hệ thống phụ trợ (khí gió, trạm bơm, khí nén). Việc này dẫn đến thiếu đi cái nhìn tổng thể cho công tác điều hành, quản trị khai thác mỏ, chưa phản ánh được mối tương quan giữa sản lượng khai thác, chỉ số an toàn và mức độ tiêu thụ năng lượng.

Mặc dù toàn ngành than - khoáng sản hiện nay bao gồm cả 5 loại hình hoạt động chính là: khai thác than hầm lò; khai thác than lộ thiên, khoáng sản, sàng tuyển - chế biến và điện lực; nghiên cứu này lựa chọn tập trung phân tích chuyên sâu cho loại hình khai thác than hầm lò. Quyết định này trước hết xuất phát từ thực tế sản lượng khai thác than hầm lò luôn chiếm tỷ trọng áp đảo, đóng vai trò là nguồn cung chủ lực và có sức ảnh hưởng quyết định đến kết quả sản xuất cũng như sự phát triển bền vững của toàn ngành than. Hơn thế nữa,



Hình 1. Sơ đồ mô hình hệ thống tự động hóa trong mỏ than hầm lò

mỏ hầm lò cũng là nơi có điều kiện khai thác phức tạp nhất, sở hữu hàng loạt hệ thống tự động hóa, giám sát và cảnh báo an toàn vận hành độc lập, rời rạc. Việc giải quyết thành công bài toán tích hợp dữ liệu lớn và bảo mật thông tin cho khối hầm lò không chỉ giúp tối ưu hóa hiệu quả điều hành, bảo vệ an toàn cho con người và thiết bị trước các nguy cơ tấn công mạng, mà còn tạo ra một mô hình quản trị dữ liệu mẫu để từ đó áp dụng, nhân rộng cho các loại hình sản xuất còn lại của TKV.

Tại các mỏ than hầm lò, hệ thống thông tin liên lạc và tự động hóa của mỏ (Hình 1) bao gồm các hạng mục chính: (1) Hệ thống điện thoại nội bộ; (2) Hệ thống định vị nhân sự, điện thoại di động và trạm thu phát wifi; (3) Hệ thống giám sát điều khiển tập trung; (4) Hệ thống điều khiển giám sát băng tải; (5) Hệ thống cảnh báo khí mê tan; (6) Hệ thống điều khiển giám sát hầm bơm; (7) Hệ thống điều khiển giám sát trạm quạt gió chính; (8) Hệ thống điều khiển, giám sát trạm khí nén; (9) Hệ thống camera giám sát; (10) Hệ thống màn hình led tại phòng điều khiển. Các hệ thống này liên tục cập nhật dữ liệu thu thập từ cảm biến hiện trường, camera giám sát, bộ điều khiển logic khả trình (PLC), hệ thống điều khiển và giám sát (SCADA) cùng nhiều thiết bị công nghiệp khác. Trước tiên, dữ liệu được thu thập và truyền về trung tâm điều hành thông qua hạ tầng mạng công nghiệp. Dữ liệu của các hệ thống này thường được lưu trữ tại

các máy chủ vật lý hoặc máy chủ ảo riêng biệt và độc lập giữa các hệ thống với nhau. Việc tái sử dụng dữ liệu vận hành giữa các hệ thống chưa được thực hiện, dữ liệu còn rời rạc và việc bảo vệ an toàn thông tin không cao. Điều này dẫn đến rào cản cho việc khai thác, phân tích dữ liệu từ các hệ thống để phát hiện bất thường, dự báo sự cố và hỗ trợ ra quyết định trong quá trình vận hành. Các hệ thống điều khiển tự động hiện hữu tại các mỏ khai thác hoạt động độc lập, lưu trữ dữ liệu tự do và không được tổ chức theo tiêu chuẩn.

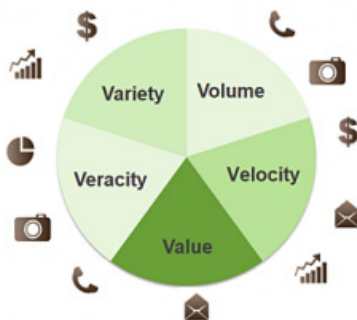
Do đó, việc nghiên cứu giải pháp tích hợp Big Data gắn liền với bài toán an toàn bảo mật mạng và tối ưu hóa năng lượng là yêu cầu cấp thiết, đóng vai trò quyết định cho sự phát triển bền vững của ngành than- khoáng sản hiện đại. Bằng cách phân tích giải pháp tích hợp dây chuyền sản xuất chính và các hệ thống phụ trợ dựa trên mô hình tham chiếu ISA-95, nghiên cứu chỉ ra cách thức big data thúc đẩy chuyển đổi xanh thông qua tối ưu hóa năng lượng và kiểm soát phát thải theo thời gian thực, đồng thời đề xuất các giải pháp kỹ thuật nhằm bảo đảm an toàn bảo mật cho công nghệ vận hành (Operational Technology - OT) và công nghệ thông tin (Information Technology - IT) trong các mỏ khai thác than-khoáng sản.

2. Dữ liệu lớn và mô hình ISA95

Dưới sự bùng nổ của cách mạng công nghiệp 4.0 khiến nhu cầu kết nối dữ liệu mọi lúc, mọi nơi

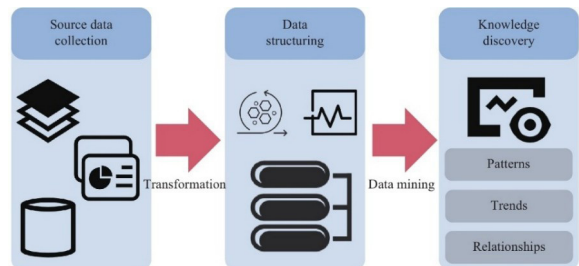
đem lại nhiều lợi ích và càng trở nên cấp thiết, số lượng thiết bị đầu cuối được trang bị công nghệ mới như IoT ngày càng nhiều đòi hỏi cần có cấu trúc xử lý dữ liệu ở quy mô lớn hiệu quả hơn. Dữ liệu lớn ra đời như một thành phần không thể thiếu của cách mạng 4.0, Big Data là các tài sản thông tin có khối lượng lớn, tốc độ cao và/hoặc sự đa dạng cao, đòi hỏi các phương thức xử lý thông tin sáng tạo và hiệu quả về chi phí nhằm mang lại những hiểu biết sâu sắc hơn, hỗ trợ ra quyết định và tự động hóa quy trình. Bản chất của dữ liệu lớn không chỉ dừng lại ở quy mô dung lượng đơn thuần, mà là một hệ sinh thái toàn diện bao gồm các công nghệ, hạ tầng và phương pháp luận tiên tiến nhằm thu thập, lưu trữ, xử lý và phân tích các tập dữ liệu phức tạp. Tiến trình tiến hóa của big data bắt đầu từ các hệ thống xử lý dữ liệu thủ công, cơ khí đến điện tử, trước khi chứng kiến bước bứt phá mạnh mẽ nhờ sự bùng nổ của kết nối mạng và các thiết bị số [1].

Ban đầu, Big Data được Doug Laney đề xuất năm 2001 thông qua mô hình 3V, bao gồm dung lượng dữ liệu (Volume), tốc độ xử lý (Velocity) và tính đa dạng dữ liệu (Variety). Tuy nhiên, cùng với sự phát triển của công nghệ số và nhu cầu khai thác giá trị từ dữ liệu, các tổ chức nghiên cứu đã mở rộng mô hình này. Năm 2012, Gartner – một công ty nghiên cứu và tư vấn công nghệ hàng đầu thế giới – bổ sung thêm các khía cạnh về tính xác thực (Veracity) và giá trị khai thác (Value), hình thành mô hình 5V (Hình 2) được sử dụng rộng rãi hiện nay. Trong kỷ nguyên chuyển đổi số, sự kết hợp giữa big data với hệ sinh thái internet kết nối mọi vật (IoT), điện toán đám mây (Edge Computing) và các khung xử lý luồng dữ liệu thời gian thực (như Apache Spark, Storm) đã tạo nên nền tảng hạ tầng vững chắc cho trí tuệ nhân tạo (AI) và học máy (Machine Learning) phát triển [2], [3].



Hình 2. Mô hình 5Vs – năm tính chất của Big data [4]

Dưới góc độ quản trị và điều hành công nghiệp, dữ liệu lớn tạo ra bước ngoặt nhờ khả năng khép kín chuỗi giá trị dữ liệu (Data Value Chain): chuyển hóa các luồng dữ liệu thô phân mảnh thành thông tin minh bạch (Information), khai thác tri thức chuyên sâu (Insight) và định hình tư duy quản trị dựa trên dữ liệu (Data-driven Decision Making). Thông qua việc kết nối chuỗi dữ liệu này, Big Data hỗ trợ cấp điều hành ra quyết định thời gian thực, tối ưu hóa quy trình sản xuất, dự báo sớm rủi ro vận hành và nâng cao năng lực cạnh tranh cho doanh nghiệp mở trong kỷ nguyên Công nghiệp 4.0.



Hình 3. Quy trình ứng dụng dữ liệu lớn [3]

Quy trình ứng dụng dữ liệu lớn được thể hiện trên hình 3, quy trình chuyển đổi dữ liệu từ cấp hiện trường thành tri thức phục vụ điều hành sản xuất. Về mặt kỹ thuật, quy trình này được triển khai thông qua một đường ống dữ liệu (Data Pipeline) liên tục, bao gồm ba giai đoạn chính: (1) thu thập dữ liệu đa nguồn (Source data collection); (2) tiền xử lý và cấu trúc hóa dữ liệu (Data structuring); và (3) phân tích, khai phá tri thức (Knowledge discovery). Đối với dữ liệu chuỗi thời gian (Time-series Data) được tạo ra từ hệ thống PLC và SCADA, các giá trị đo đã được tổ chức theo cấu trúc «thời gian – giá trị», do đó quá trình cấu trúc hóa được đơn giản hóa đáng kể và dữ liệu có thể được đưa trực tiếp vào các hệ thống xử lý thời gian thực sau khi hoàn thành bước tiền xử lý. Ngược lại, các nguồn dữ liệu phi cấu trúc như video từ camera giám sát hoặc tín hiệu âm thanh thiết bị vẫn cần trải qua các bước phân loại, trích xuất đặc trưng và lưu trữ trên các nền tảng dữ liệu có khả năng mở rộng linh hoạt, chẳng hạn như hồ dữ liệu (Data Lake) và các hệ thống tính toán phân tán.

Mặc dù Big Data cung cấp năng lực lưu trữ và xử lý khối lượng dữ liệu rất lớn, bản thân công nghệ này chưa quy định cách thức tổ chức, phân cấp và trao đổi thông tin giữa các hệ thống trong doanh nghiệp công nghiệp. Trong môi trường sản xuất, nơi đồng thời tồn tại nhiều hệ thống điều

hiển, giám sát và quản trị độc lập, việc triển khai dữ liệu lớn không thể thực hiện một cách tự phát mà cần dựa trên một kiến trúc chuẩn hóa nhằm bảo đảm tính liên thông và nhất quán của dữ liệu.

Trong bối cảnh đó, tiêu chuẩn ISA-95 (Enterprise-Control System Integration) do Hiệp hội Tự động hóa Quốc tế (International Society of Automation - ISA) phát triển được sử dụng như một mô hình tham chiếu để chuẩn hóa quá trình tích hợp giữa hệ thống điều hành sản xuất và hệ thống quản trị doanh nghiệp. Tiêu chuẩn này xác định rõ vai trò của từng cấp chức năng, cũng như luồng trao đổi dữ liệu giữa công nghệ vận hành (OT) và công nghệ thông tin (IT), tạo nền tảng cho việc triển khai các ứng dụng dữ liệu lớn trong môi trường công nghiệp.

Về bản chất, ISA-95 phân chia hệ thống doanh nghiệp thành 5 tầng kiến trúc chức năng (từ Level 0 đến Level 4), tạo ra một mô hình hoạt động thống nhất, mang lại nhiều lợi ích: (1) Chuẩn hóa điểm thu thập và phân luồng dữ liệu: ISA-95 xác định rõ dữ liệu thời gian thực (Time-series Data) từ các cảm biến, PLC dưới hầm lò thuộc tầng 0-2 (Field & Control) sẽ được tổng hợp qua tầng 3 (MES - Điều hành sản xuất) trước khi đẩy lên tầng 4 (ERP & Big Data Warehouse) để phân tích chiến lược [5], [6], [7]; (2) Tháo gỡ các hệ thống dữ liệu độc lập (Data Silos): Thông qua việc định nghĩa chung bộ thuật ngữ và giao thức trao đổi thông tin chuẩn hóa, ISA-95 cho phép tích hợp dữ liệu vận hành (OT) với dữ liệu quản trị (IT). Đây là tiền đề bắt buộc để hạ tầng Big Data có thể tổng hợp toàn bộ dữ liệu phân mảnh từ chuỗi sản xuất chính đến các hệ thống phụ trợ; (3) Định hướng kiến trúc quản trị dữ liệu (Data Governance): ISA-95 giúp xác định rõ quyền sở hữu, tính chu kỳ và mức độ ưu tiên của dữ liệu (dữ liệu an toàn cần xử lý tức thời ở tầng biên và dữ liệu hiệu suất cần lưu trữ dài hạn ở Tầng đám mây) [8].

Việc kết hợp giữa năng lực xử lý của Big Data và khung phân tầng chuẩn hóa của ISA-95 sẽ tạo nên một mô hình quản trị dữ liệu toàn diện. Đây chính là nền tảng lý luận quan trọng để xây dựng mô hình tích hợp dữ liệu lớn phục vụ bài toán vận hành, an toàn và chuyển đổi xanh cho các mỏ khai thác than-khoáng sản hiện đại.

3. Xây dựng mô hình quản trị dữ liệu lớn cho các mỏ khai thác than-khoáng sản

Như đã đề cập trong phần 1, phần lớn các hệ thống trong mỏ than hầm lò đã được kết nối về

trung tâm điều hành, tuy nhiên dữ liệu vẫn tồn tại dưới dạng các kho dữ liệu độc lập (Data Silos), sử dụng nhiều giao thức và định dạng khác nhau. Điều này dẫn đến tình trạng dữ liệu bị phân mảnh, gây khó khăn trong việc đánh giá tổng thể mối quan hệ giữa năng suất khai thác, mức tiêu thụ năng lượng, trạng thái thiết bị và các chỉ tiêu an toàn của toàn mỏ. Công tác quản lý hiện nay chủ yếu dựa trên các báo cáo theo ca hoặc theo ngày, chưa phản ánh được mối quan hệ giữa hiệu quả sản xuất, mức tiêu thụ năng lượng và các chỉ tiêu an toàn. Do đó, việc xây dựng một kiến trúc quản trị dữ liệu thống nhất nhằm tích hợp dữ liệu từ các dây chuyền sản xuất và các hệ thống phụ trợ là yêu cầu cần thiết để triển khai các ứng dụng phân tích dữ liệu lớn và hỗ trợ ra quyết định theo thời gian thực.

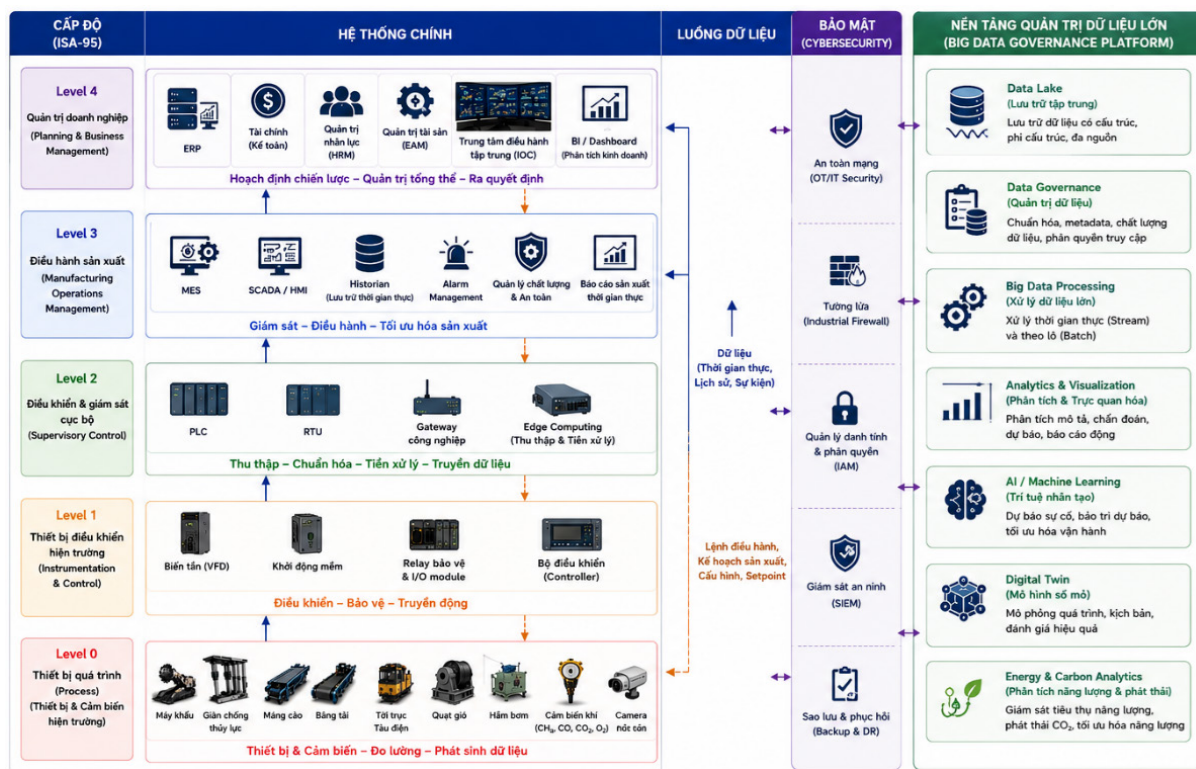
Trên cơ sở khung kiến trúc ISA-95 đã trình bày ở mục trước, bài báo đề xuất mô hình quản trị dữ liệu lớn dành cho các mỏ khai thác than-khoáng sản nhằm tích hợp dữ liệu giữa các hệ thống sản xuất, hệ thống phụ trợ và các ứng dụng quản trị doanh nghiệp. Đây là tiền đề để hình thành kho dữ liệu thống nhất, phục vụ phân tích dữ liệu lớn, hỗ trợ ra quyết định và triển khai các ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong tương lai.

Kiến trúc quản trị dữ liệu lớn cho mỏ than hầm lò được thể hiện trên hình 4, kiến trúc này được xây dựng trên cơ sở mô hình tham chiếu ISA-95. Kiến trúc được phân thành năm cấp chức năng, từ lớp thiết bị hiện trường đến lớp quản trị doanh nghiệp, tạo thành một nền tảng tích hợp thống nhất giữa công nghệ vận hành và công nghệ thông tin.

Ở cấp hiện trường (Level 0 và Level 1), dữ liệu được thu thập trực tiếp từ các cảm biến, PLC, hệ thống đo khí mỏ, camera giám sát, máy đào lò, máy khâu, băng tải và các thiết bị phụ trợ. Tầng này chịu trách nhiệm điều khiển thiết bị theo thời gian thực và bảo đảm hoạt động sản xuất diễn ra liên tục, an toàn.

Tại cấp giám sát (Level 2), dữ liệu được tập trung thông qua các hệ thống SCADA, gateway công nghiệp và các thiết bị tính toán biên. Ngoài chức năng truyền thông, tầng này còn thực hiện các tác vụ tiền xử lý như lọc nhiễu, đồng bộ thời gian và chuẩn hóa dữ liệu trước khi chuyển lên các cấp quản lý cao hơn.

Tại cấp điều hành sản xuất (Level 3), dữ liệu được tổng hợp để phục vụ công tác quản lý sản lượng, điều phối sản xuất, giám sát năng lượng và cảnh báo an toàn. Cuối cùng, ở cấp quản trị doanh



Hình 4. Kiến trúc quản trị dữ liệu lớn điển hình tại mỏ than hầm lò dựa trên kiến trúc ISA95

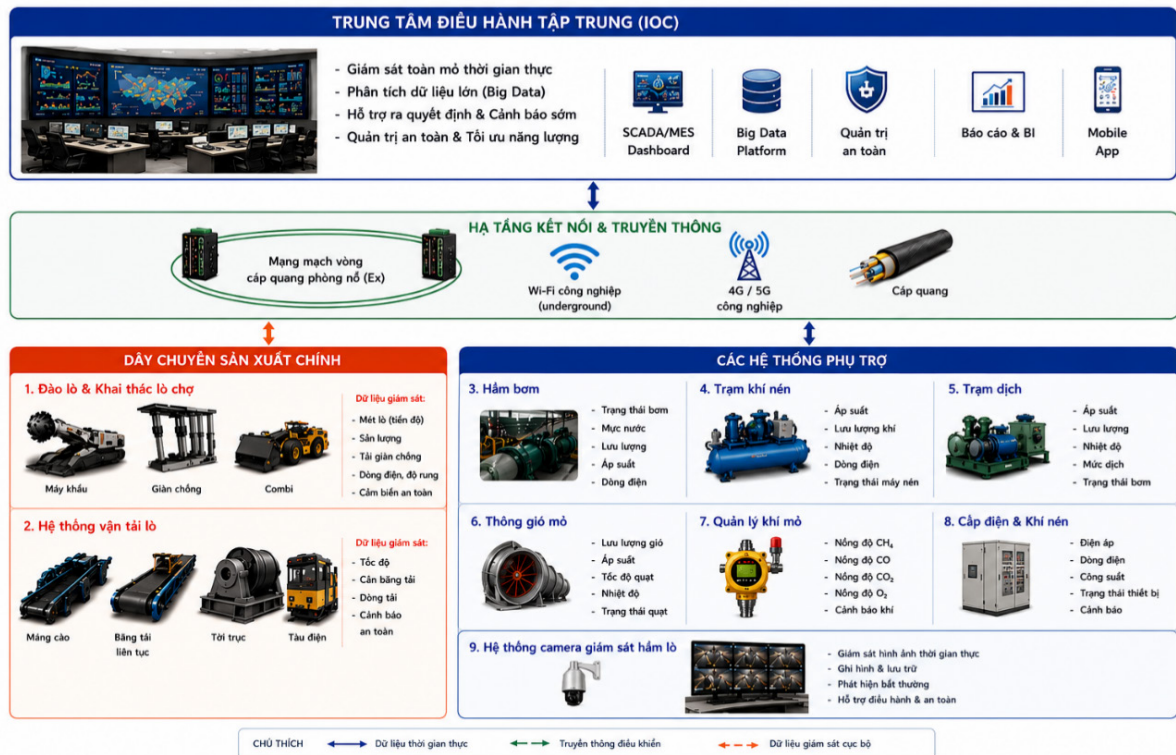
ngành (Level 4), dữ liệu được tích hợp với các hệ thống ERP, EAM và IOC để hỗ trợ lập kế hoạch, đánh giá hiệu quả sản xuất và ra quyết định chiến lược.

Việc phân tầng theo ISA-95 không chỉ giúp chuẩn hóa luồng dữ liệu giữa các hệ thống mà còn tạo điều kiện thuận lợi cho việc triển khai các ứng dụng dữ liệu lớn, trí tuệ nhân tạo và mô hình mỏ thông minh. Khác với mô hình ISA-95 truyền thống, kiến trúc đề xuất bổ sung một nền tảng quản trị dữ liệu lớn hoạt động xuyên suốt giữa các cấp chức năng. Nền tảng này bao gồm các thành phần như Data Lake, hệ thống quản trị dữ liệu, công cụ xử lý dữ liệu lớn, nền tảng phân tích và trực quan hóa, trí tuệ nhân tạo, mô hình song sinh số (Digital Twin) và các công cụ phân tích năng lượng, phát thải. Nhờ đó, dữ liệu từ các hệ thống vốn tồn tại độc lập được tích hợp vào một kho dữ liệu thống nhất, tạo điều kiện triển khai các ứng dụng phân tích nâng cao như dự báo hư hỏng thiết bị, tối ưu hóa tiêu thụ năng lượng, đánh giá mức độ an toàn và hỗ trợ ra quyết định theo thời gian thực. Bên cạnh cấu trúc phân tầng, mô hình còn mô tả hai luồng thông tin chính trong hệ thống. Luồng dữ liệu (Data Flow) được truyền từ cấp hiện trường lên các tầng quản trị, phản ánh

trạng thái vận hành của toàn bộ mỏ theo thời gian thực. Ngược lại, luồng điều hành (Control Flow) truyền các kế hoạch sản xuất, thông số vận hành và giá trị đặt từ cấp quản lý xuống hệ thống điều khiển để thực thi. Sự kết hợp giữa hai luồng thông tin này tạo thành một vòng lặp khép kín, giúp kết nối hiệu quả giữa hoạt động sản xuất và công tác quản trị doanh nghiệp. Mặc dù trên Hình 4 mô tả kiến trúc logic của hệ thống quản trị dữ liệu lớn dựa trên ISA-95, việc triển khai trong điều kiện thực tế tại các mỏ than hầm lò, cũng như các mỏ than-khoáng sản khác cần phải tận dụng tối đa hạ tầng tự động hóa hiện có, đồng thời bổ sung các thành phần tích hợp dữ liệu và nền tảng phân tích phù hợp với điều kiện sản xuất trong nước. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất mô hình triển khai thực tế cho doanh nghiệp khai thác than hầm lò như được trình bày trong hình 5.

Mô hình hệ thống quản trị dữ liệu lớn cho mỏ than hầm lò được thể hiện trên hình 5, phương án triển khai hệ thống quản trị dữ liệu lớn trong điều kiện thực tế của các đơn vị khai thác than hầm lò thuộc TKV. Tại lớp hiện trường, dữ liệu được thu thập từ hai nhóm nguồn chính, bao gồm dây chuyền sản xuất (đào lò, khai thác lò chợ và vận

Hình 5. MÔ HÌNH TRIỂN KHAI HỆ THỐNG IOC CHO MỎ THAN HÀM LÒ



Hình 5. Mô hình hệ thống quản trị dữ liệu lớn cho mỏ than hàm lò

tài than) và các hệ thống phụ trợ như thông gió, quản lý khí mỏ, trạm bơm, trạm khí nén, trạm nhũ hóa và camera giám sát. Toàn bộ dữ liệu được truyền tải thông qua hạ tầng cáp quang phòng nổ kết hợp với mạng truyền thông không dây công nghiệp để đưa về trung tâm điều hành tập trung. Trong mô hình đề xuất, trung tâm điều hành tập trung (IOC) không chỉ thực hiện chức năng giám sát trạng thái thiết bị như các hệ thống SCADA truyền thống mà còn đóng vai trò là trung tâm tích hợp dữ liệu của toàn mỏ. Thông qua việc kết nối dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau, IOC cho phép theo dõi đồng thời các chỉ tiêu về sản xuất, năng lượng và an toàn, giúp người vận hành có cái nhìn tổng thể về trạng thái hoạt động của toàn bộ hệ thống thay vì chỉ quan sát từng phân hệ riêng lẻ.

Trên nền tảng dữ liệu tập trung, các công cụ phân tích dữ liệu lớn và trí tuệ nhân tạo có thể được triển khai nhằm phát hiện bất thường, dự báo sự cố thiết bị, đánh giá hiệu quả vận hành và tối ưu hóa tiêu thụ năng lượng. Đây cũng là cơ sở để từng bước triển khai các ứng dụng tiên tiến như bảo trì dự đoán, mô hình song sinh số và xây dựng mô hình mỏ thông minh trong tương lai.

Việc áp dụng kiến trúc quản trị dữ liệu lớn không chỉ nâng cao hiệu quả điều hành sản xuất mà còn góp phần thúc đẩy quá trình chuyển đổi số và phát triển bền vững trong ngành than tại Việt Nam.

4. Vấn đề bảo mật thông tin

Do thiếu cấu trúc quản lý dữ liệu số, hiện nay các mỏ khai thác than- khoáng sản mới chỉ dừng lại ở việc trang bị phần mềm diệt virus cho các máy vi tính. Tuy nhiên, vấn đề bảo mật không chỉ dừng lại ở việc chống xâm nhập từ bên ngoài, mà còn bao gồm phân cấp, phân quyền truy cập nội bộ, chống lại việc truy cập trái phép, đảm bảo mọi hoạt động truy cập dữ liệu cần phải được cấp quyền và có người chịu trách nhiệm.

Mặc dù mô hình quản trị dữ liệu lớn dựa trên ISA-95 mang lại nhiều lợi ích trong công tác quản lý và điều hành sản xuất, quá trình triển khai tại các mỏ than- khoáng sản vẫn còn đối mặt với nhiều thách thức. Thách thức đầu tiên là sự không đồng nhất về nền tảng công nghệ giữa các hệ thống tự động hóa hiện có. Các hệ thống được đầu tư ở nhiều thời điểm khác nhau, sử dụng nhiều giao thức truyền thông và định dạng dữ liệu khác nhau, gây khó khăn cho việc tích hợp và chuẩn

hóa dữ liệu trên một nền tảng thống nhất. Do đó, việc xây dựng các chuẩn trao đổi dữ liệu, áp dụng các giao thức mở và phát triển các bộ chuyển đổi (Gateway) là yêu cầu cần thiết. Việc sử dụng đồng thời thiết bị của nhiều nhà sản xuất khác nhau với nhiều giao thức truyền thông và các hệ thống được xây dựng qua nhiều giai đoạn cũng làm gia tăng những lỗ hổng bảo mật tiềm ẩn. Việc kết nối các mạng công nghiệp truyền thống với nền tảng điện toán đám mây và hệ thống dữ liệu lớn đòi hỏi phải xây dựng cơ chế bảo vệ nhiều lớp, bao gồm phân vùng mạng, xác thực người dùng, mã hóa dữ liệu, giám sát truy cập và phát hiện bất thường theo thời gian thực. Do đó, bên cạnh việc đầu tư hạ tầng lưu trữ và phân tích dữ liệu, các doanh nghiệp khai thác than cần xây dựng chiến lược bảo đảm an ninh mạng cho hệ thống công nghiệp, coi đây là một thành phần không thể tách rời trong quá trình chuyển đổi số và phát triển mô hình mỏ thông minh.

Theo tiêu chuẩn IEC 62443, việc tích hợp hệ thống công nghệ vận hành (OT) và công nghệ thông tin (IT) đòi hỏi phải áp dụng các cơ chế bảo mật nhiều lớp, bao gồm phân vùng mạng, xác thực truy cập, mã hóa dữ liệu và giám sát an ninh mạng theo thời gian thực [9]. Quá trình tích hợp dữ liệu giữa các hệ thống điều khiển công nghiệp (OT) và hệ thống công nghệ thông tin (IT) giúp nâng cao năng lực giám sát, điều hành và khai thác dữ liệu lớn, nhưng đồng thời cũng làm gia tăng các nguy cơ mất an toàn thông tin và tấn công mạng. Khi dữ liệu từ các hệ thống PLC, SCADA, camera giám sát và trung tâm điều hành được kết nối trên cùng một hạ tầng mạng, phạm vi ảnh hưởng của các sự cố an ninh mạng không chỉ dừng lại ở việc mất dữ liệu mà còn có thể tác động trực tiếp đến quá trình sản xuất và an toàn lao động.

Các hình thức tấn công phổ biến đối với hệ thống công nghiệp bao gồm tấn công từ chối dịch vụ (DoS), mã độc tống tiền (Ransomware), truy cập trái phép vào hệ thống điều khiển, giả mạo dữ liệu cảm biến hoặc chiếm quyền điều khiển các thiết bị đầu cuối. Đối với các mỏ than- khoáng sản, những cuộc tấn công này có thể làm gián đoạn hoạt động của hệ thống thông gió, trạm bơm, hệ thống giám sát khí mỏ hoặc trung tâm điều hành, gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến hoạt động sản xuất và công tác bảo đảm an toàn.

Ngoài các yếu tố kỹ thuật, việc triển khai mô hình quản trị dữ liệu lớn còn đòi hỏi nguồn nhân lực có kiến thức liên ngành về khai thác mỏ, tự

động hóa và công nghệ thông tin. Vì vậy, đào tạo nguồn nhân lực và xây dựng quy trình quản trị dữ liệu phù hợp là những yếu tố quan trọng quyết định hiệu quả triển khai mô hình trong thực tế.

5. Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng thành công giải pháp quản trị dữ liệu lớn và bảo mật thông tin cho ngành khai thác mỏ. Các kết luận chính được rút ra như sau:

Phương thức quản lý dữ liệu hiện hữu tại các mỏ than còn phân mảnh, lưu trữ độc lập giữa các hệ thống tự động hóa riêng lẻ và chưa có tiêu chuẩn chung. Điều này gây cản trở lớn cho việc truy xuất, phân tích và hỗ trợ ra quyết định kịp thời.

Mô hình quản trị dữ liệu lớn đề xuất dựa trên khung tham chiếu ISA-95 giúp chuẩn hóa 5 cấp chức năng từ hiện trường đến quản trị doanh nghiệp. Sự bổ sung nền tảng Big Data xuyên suốt giúp loại bỏ các kho dữ liệu độc lập và tối ưu quy trình vận hành.

Nghiên cứu giải quyết vấn đề an ninh mạng khi tích hợp OT và IT bằng cách tuân thủ tiêu chuẩn IEC 62443. Hệ thống thiết lập cơ chế bảo vệ nhiều lớp, giúp ngăn chặn hiệu quả các cuộc tấn công gây gián đoạn sản xuất và mất an toàn lao động.

Mô hình hoàn toàn phù hợp và có tính khả thi cao đối với các mỏ than hầm lò của TKV. Giải pháp cho phép kết nối an toàn các dây chuyền sản xuất chính và phụ trợ về trung tâm IOC nhằm tối ưu sản lượng lẫn an toàn khai thác.

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Thủ tướng chính phủ, “Quyết định số 749/QĐ-TTg ngày 03/6/2020 về Chương trình Chuyển đổi số quốc gia đến năm 2025, định hướng đến năm 2030,” Chính phủ, Hà Nội, 2020.
- [2]. Bộ công thương, “Chiến lược phát triển ngành công nghiệp than Việt Nam đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045,” Hà Nội, 2024.
- [3]. CMC Global, “Evolution of Big Data: Learn Big Data Definition and How It Evolved,” 28 July 2025. [Online]. Available: <https://cmcglobal.com.vn/digital-transformation/data-analytics-ai/evolution-of-big-data-learn-big-data-definition-and-how-it-evolved/>.
- [4]. Y. Demchenko, P. Membrey, P. Grosso and C. d. Laat, “Addressing Big Data Issues in Scientific Data Infrastructure,” in First International Symposium on Big Data and Data Analytics in Collaboration (BDDAC 2013). Part of The 2013 International Conference on Collaboration Technologies and Systems (CTS 2013), San

Diego, California, USA, May 20-24, 2013.

[5]. D. Laney, "3D Data Management: Controlling Data Volume, Velocity and Variety," Meta, 2001.

[6]. V. Mayer-Schönberger and K. Cukier, "Big Data: A Revolution that Will Transform how We Live, Work, and Think," John Murray Publishers, 01 October 2013.

[7]. C.-c. Qi, "Big data management in the mining industry," Springer Nature, vol. 27, pp. 131-139, 06 February 2020.

[8]. ANSI/ISA 95.00.01-2025 (IEC 62264-1 Mod), "Enterprise-Control System Integration - Part 1: Models and Terminology," ANSI, 2025.

[9]. International Electrotechnical Commission,

"IEC 62264-1:2013 Enterprise-control system integration - Part 1: Models and terminology," International Electrotechnical Commission, 22-05-013.

[10]. MESA White Paper #06, "MESA International," 2007. [Online]. Available: <https://www.pathlms.com/mesa/courses/24315>. [Accessed August 2007].

[11]. Dama International, DAMA-DMBOK: Data Management Body of Knowledge (2nd Edition), Technics Publications, LLC14 Elm StDenvilleNJUnited States, 05 July 2017, p. 644.

Big Data Governance Model and Security Issues in the Coal and Mineral Mining Sector

MSc. Nguyen Kim Quy, Eng. Pham Van Long, Eng. Pham Vu Hai, Eng. Nguyen Thi Thai
Vinacomin - Institute of Mining Science and Technology

Abstract:

At coal and mineral mines, in order to ensure the safety of people and equipment and to serve efficient mining operations, mine gas monitoring, warning, monitoring, and control systems must operate continuously day and night. These systems continuously collect, display, and store data in various forms to enable data retrieval for data aggregation, coordination, system improvement and upgrading or incident handling. However, the free-form storage of data and the lack of standards for managing the data tree lead to difficulties in data retrieval and ensuring data integrity. As the number of terminal devices continues to increase, the amount of collected data also increases, making the need for Big Data management increasingly urgent. The emergence of Big Data and cloud computing, and their strong development during the digital transformation period, have become important technological foundations of the Fourth Industrial Revolution. The explosive growth of the Internet has resulted in many limitations in storing and accessing data using traditional physical methods, especially for remote access. Distributed cloud-based data (Cloud) has emerged as an inevitable solution, allowing data to be connected and accessed anytime and anywhere through Internet protocols. Big Data governance will help standardize all digital data at coal and mineral mines, helping to establish a governance tree and data framework to systematize data in an organized and orderly manner. Thereby, data storage space can be optimized, data retrieval can be accelerated, and security solutions can be effectively applied to the data system.

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG MÔ HÌNH TRÍ TUỆ NHÂN TẠO VÀ THỊ GIÁC MÁY TÍNH TRONG GIÁM SÁT AN TOÀN TẠI CÁC MỎ LỘ THIÊN

ThS. Đỗ Văn Triều

Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin

TS. Trần Đình Bảo

Trường Đại học Mỏ - Địa chất

Biên tập: TS. Đoàn Văn Thanh

Tóm tắt:

Việc ứng dụng thị giác máy tính trong giám sát an toàn tại mỏ lộ thiên đòi hỏi khả năng quan sát liên tục trong không gian sản xuất rộng, nhiều thiết bị cơ giới, người lao động phân tán và điều kiện hình ảnh thường xuyên biến đổi do bụi, ánh sáng, ... Bài báo đề xuất một khung ứng dụng trí tuệ nhân tạo và thị giác máy tính theo kiến trúc mô-đun để tự động nhận diện, theo dõi và phát hiện trạng thái không tuân thủ quy định an toàn từ camera giám sát. Hệ thống sử dụng YOLOv8n tiền huấn luyện trên COCO để phát hiện và theo dõi người, kết hợp YOLOv8n tinh chỉnh để nhận diện; quan hệ người – bảo hộ lao động được xác lập bằng chỉ số IoA. Kết quả huấn luyện cho thấy mức độ chính xác đạt 93%. Thử nghiệm trên video giám sát 1.409 khung hình cho thấy hệ thống duy trì được định danh, phân loại trạng thái tuân thủ bảo hộ lao động và hiển thị cảnh báo. Kết quả thử nghiệm là cơ sở để phát triển các mô-đun giám sát an toàn bằng camera tại mỏ lộ thiên.

1. Đặt vấn đề

Khai thác lộ thiên được tổ chức trong không gian sản xuất rộng, nơi người lao động đồng thời tương tác với ô tô, máy xúc, thiết bị khoan, khu vực nổ mìn, tầng công tác, bờ mỏ và nhiều nguồn nguy hiểm khác. Công tác an toàn vì vậy không chỉ phụ thuộc vào thiết kế kỹ thuật và quy trình vận hành mà còn khả năng phát hiện kịp thời nguy cơ mất an toàn. Kiểm tra trực tiếp tại hiện trường vẫn giữ vai trò quyết định, nhưng khó duy trì quan sát liên tục đối với nhiều khu vực và nhiều ca sản xuất cùng lúc. Dữ liệu camera hiện có tại khai trường tạo điều kiện bổ sung một lớp giám sát tự động, giúp sàng lọc tình huống cần cán bộ an toàn xem xét.

Sự phát triển của học sâu và thị giác máy tính cho phép nhận diện người, phương tiện, trang bị bảo vệ cá nhân và một số hành vi từ ảnh hoặc video với tốc độ ngày càng phù hợp cho giám sát công nghiệp. Các nghiên cứu về phát hiện nguy cơ mất an toàn đã chứng minh khả năng của mạng nơ-ron sâu trên video giám sát xa [1], trong khi các nghiên cứu về nhận diện nhấn mạnh yêu cầu phải liên kết đúng trang bị với từng người thay vì chỉ phát hiện các đối tượng độc lập [2], [10]. Dòng mô hình YOLO tạo nền tảng thuận lợi cho bài toán này nhờ khả năng phát hiện một giai đoạn và triển khai [3]. Theo đó, hướng nghiên cứu giám sát vi phạm

an toàn trong khai thác mỏ cũng chuyển từ phát hiện đối tượng đơn lẻ sang phân tích quy tắc và hành vi trên camera giám sát [9], cho thấy nhu cầu về kiến trúc có thể tích hợp đồng thời nhận diện, theo dõi, logic an toàn và lưu vết sự kiện.

Tuy nhiên, việc chuyển một mô hình nhận diện ảnh thành hệ thống giám sát an toàn trên camera phát sinh nhiều vấn đề kỹ thuật. Thứ nhất, định danh người, vật thể cần được duy trì qua chuỗi khung hình để tránh đếm trùng và phục vụ truy vết. Thứ hai, kết quả nhận diện có thể dao động do góc nhìn hoặc mất phát hiện tạm thời, nếu tạo cảnh báo theo từng khung hình riêng lẻ sẽ làm tăng cảnh báo giả. Thứ ba, dữ liệu huấn luyện công khai thường khác điều kiện mỏ thực tế và có thể mất cân bằng hoặc thiếu nhân ở một số lớp. Thứ tư, logic an toàn phải được tách khỏi lớp phát hiện để có thể hiệu chỉnh theo từng quy định, khu vực và điều kiện vận hành mà không phải huấn luyện lại toàn bộ chuỗi xử lý.

Trên cơ sở đó, nghiên cứu xây dựng một khung giám sát an toàn bằng trí tuệ nhân tạo và thị giác máy tính theo cấu trúc mô-đun gồm: theo dõi phát hiện và theo dõi đối tượng trên camera giám sát; liên kết không gian giữa các đối tượng; ổn định trạng thái theo thời gian; duy trì định danh; kích hoạt cảnh báo và ghi nhật ký. Để kiểm chứng khả

Bảng 1. Quy mô và phân bố nhãn của bộ dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu

Tập dữ liệu	Số ảnh	Head	Helmet	Person	Tổng nhãn
Huấn luyện	4.000	4.654	15.005	608	20.267
Kiểm định	1.000	1.131	3.961	143	5.235
Tổng	5.000	5.785	18.966	751	25.502

năng làm việc của khung đề xuất, nghiên cứu lựa chọn bài toán xác định trạng thái sử dụng bảo hộ lao động trên khai trường. Cách tiếp cận này cho phép đánh giá định lượng mô hình phát hiện và kiểm tra vận hành của chuỗi xử lý, đồng thời tạo nền tảng kỹ thuật để bổ sung các quy tắc giám sát khác khi có dữ liệu gắn nhãn phù hợp.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Dữ liệu và chuẩn hóa dữ liệu huấn luyện

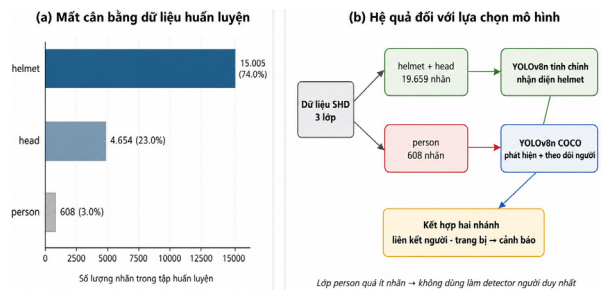
Bộ dữ liệu dùng để huấn luyện mô-đun nhận diện được tổ chức ban đầu theo định dạng Pascal VOC. Dữ liệu được ghép cặp ảnh - tệp XML, chia ngẫu nhiên thành tập huấn luyện và tập kiểm định theo tỷ lệ 80/20 với seed = 42, sau đó chuyển sang định dạng YOLO bằng cách chuẩn hóa tâm và kích thước hộp giới hạn theo chiều rộng, chiều cao ảnh. Tổng số nhãn ba lớp head, helmet và person trong dữ liệu sử dụng khớp với bộ Safety Helmet Detection gồm 5.000 ảnh. Phân bố sau khi chia dữ liệu được thể hiện tại bảng 1.

Bảng 1 cho thấy: Dữ liệu mất cân bằng rõ rệt: helmet chiếm 74,37% tổng số đối tượng, head chiếm 22,68%, còn person chỉ chiếm 2,95%. Riêng trong tập huấn luyện, số nhãn helmet lớn hơn person khoảng 24,7 lần và số nhãn head lớn hơn person khoảng 7,7 lần (Hình 1a). Vì vậy, các chỉ tiêu mAP trung bình của mô hình ba lớp phải được xem xét cùng kết quả theo từng lớp. Chênh lệch này đồng thời là cơ sở để nghiên cứu tách bài toán thành hai nhánh: mô hình tinh chỉnh đảm nhiệm nhận diện trang bị bảo hộ, còn phát hiện và theo dõi người sử dụng YOLOv8n tiền huấn luyện trên COCO (Hình 1b).

2.2. Huấn luyện mô hình AI nhận diện đối tượng an toàn

Bảng 2. Tham số chính của quá trình huấn luyện YOLOv8n

Tham số	Giá trị	Tham số	Giá trị
Mô hình nền	YOLOv8n pretrained	Epoch	30
Kích thước ảnh	640 × 640	Batch	8
Thiết bị huấn luyện	CPU	Optimizer	Auto
Seed	0; deterministic	IoU validation	0,70
Weight decay	0,0005	Momentum	0,937
Augmentation	HSV, scale, flip, mosaic	Close mosaic	10 epoch cuối

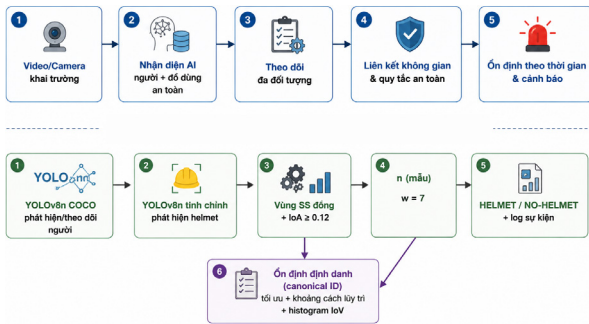


Hình 1. Mất cân bằng dữ liệu huấn luyện và cơ sở lựa chọn kiến trúc tách mô hình phát hiện người và nhận diện trang bị bảo hộ

Mô hình nền được lựa chọn là YOLOv8n với trọng số tiền huấn luyện. Quá trình huấn luyện thực hiện 30 epoch trên CPU, kích thước ảnh 640×640 pixel, batch = 8. Cấu hình ghi nhận optimizer ở chế độ Auto, weight decay = 0,0005, momentum = 0,937; các phép tăng cường gồm biến đổi HSV, scale, flip và mosaic, trong đó mosaic được đóng trong 10 epoch cuối. Các tham số chính được tổng hợp tại bảng 2.

Trong giai đoạn suy luận, nghiên cứu tổ chức hai mô hình có chức năng khác nhau. YOLOv8n tiền huấn luyện trên COCO được dùng để phát hiện và theo dõi lớp person; mô hình YOLOv8n tinh chỉnh chỉ cung cấp lớp helmet cho mô-đun kiểm tra trang bị bảo hộ. Việc tách nguồn phát hiện người khỏi mô hình ba lớp giúp tránh lan truyền hạn chế của lớp person trong bộ dữ liệu huấn luyện sang toàn bộ chuỗi giám sát. Đồng thời, kiến trúc này cho phép thay thế độc lập mô-đun phát hiện người hoặc mô-đun đối tượng an toàn khi có dữ liệu mới.

2.3. Kiến trúc mô hình trí tuệ nhân tạo và thị



Hình 2. Kiến trúc mô hình AI - thị giác máy tính và mô-đun giám sát an toàn
giác máy tính cho giám sát an toàn

Kiến trúc đề xuất được tổ chức theo chuỗi: video/camera → nhận diện AI → theo dõi đa đối tượng → liên kết không gian và áp dụng quy tắc an toàn → ổn định trạng thái theo thời gian → cảnh báo và lưu sự kiện (Hình 2).

Trong cấu trúc này, lớp phát hiện và theo dõi là hạt nhân dùng chung, quy tắc an toàn được tổ chức thành mô-đun có thể hiệu chỉnh độc lập. Trường hợp kiểm chứng của nghiên cứu sử dụng hai nhánh song song: nhánh thứ nhất phát hiện, theo dõi người và duy trì ID; nhánh thứ hai nhận diện bảo hộ lao động. Hai nhánh được liên kết với đối tượng, sau đó kết quả được làm trơn theo thời gian trước khi tạo trạng thái cảnh báo.

Với hộp giới hạn người $P = [x_1, y_1, x_2, y_2]$, đặt $w = x_2 - x_1$, $h = y_2 - y_1$ và tỷ số hình học $q = h/w$. Vùng động R_h được xác định theo:

$$r = 0,30 \text{ nếu } q \geq 1; r = 0,22 \text{ nếu } q < 1; p = 0,22w \quad (1)$$

$$R_h = [x_1 + p_{y_1, y_2} - p_{y_1} + r.h] \quad (2)$$

Quy tắc trên giảm chiều cao vùng đầu khi đối tượng có tỷ số h/w nhỏ, đồng thời thu hẹp theo phương ngang để hạn chế gán nhầm đối tượng

Bảng 3. Các ngưỡng chính của mô-đun giám sát an toàn trên Camera

Nhóm	Tham số	Giá trị	Ý nghĩa
Phát hiện người	conf_person	0,35	Ngưỡng tin cậy YOLOv8n COCO
Phát hiện mũ	conf_ppe	0,25	Ngưỡng tin cậy mô hình PPE
Hình học người	min height	60 pixel	Loại hộp người quá nhỏ
Hình học mũ	min area	18×18 pixel	Loại phát hiện mũ quá nhỏ
Liên kết	loA	$\geq 0,12$	Gán mũ vào vùng đầu
Thời gian	vote_window	7	Làm trơn trạng thái
Cảnh báo	grace frames	6	Số khung hình NO HELMET liên tiếp
Ghép ID	gap	≤ 30 frame	Khoảng mất track tối đa
Ghép ID	hist correlation	$\geq 0,85$	Ngưỡng tương đồng HSV

lân cận. Một hộp H được liên kết với người khi tỷ lệ diện tích giao trên diện tích hộp mũ đạt ngưỡng:

$$I_{oA(H, R_h)} = \frac{|H \cap R_h|}{|H|} \geq 0,12 \quad (3)$$

So với IoU, IoA phù hợp hơn khi hộp mũ nhỏ nằm chủ yếu trong vùng đầu lớn hơn, vì đại lượng này đánh giá trực tiếp phần diện tích của mũ được vùng đầu bao phủ.

2.4. Ổn định trạng thái và định danh theo thời gian

Để giảm trạng thái bất lợi khi phát hiện lỗi trong nhận diện đối tượng trên từng khung hình, hệ thống sử dụng trọng số $W = 7$. Gọi $z_t = 1$ khi có đối tượng ở khung hình t và $z_t = 0$ khi không phát hiện đối tượng; trạng thái làm trơn được xác định theo:

$$\hat{z}_t = 1 \text{ nếu } \sum z_k > \left\lceil \frac{W}{2} \right\rceil ;$$

$$\text{ngược lại } \hat{z}_t = 0, k = t-W+1, \dots, t \quad (4)$$

Cảnh báo được kích hoạt khi trạng thái NO HELMET duy trì liên tiếp ít nhất 6 khung hình sau bước bỏ phiếu. Cơ chế trễ này nhằm loại bỏ nhiễu ngắn hạn do mất phát hiện trong một số khung hình, thay vì coi mỗi lần mất nhận diện mũ là một vi phạm độc lập.

Trong theo dõi đa đối tượng, một người có thể bị cấp ID mới sau khi bị che khuất hoặc đi ra - vào vùng quan sát. Nghiên cứu bổ sung canonical ID để thử ghép lại các track bị đứt. Hai track được đưa vào xét ghép khi khoảng mất không vượt quá 30 khung hình và thỏa điều kiện $IoU \geq 0,10$ hoặc khoảng cách tâm $d \leq 120$ pixel. Độ tương đồng ngoại quan được tính từ histogram HSV của phần thân trên. Hệ số tương quan histogram được xác định:

$$C(H_1, H_2) = \frac{\sum (H_{1i} - \bar{H}_1) \cdot (H_{2i} - \bar{H}_2)}{\sqrt{[\sum (H_{1i} - \bar{H}_1)^2 \sum (H_{2i} - \bar{H}_2)^2]}} \quad (5)$$

Chỉ chấp nhận ứng viên khi $C \geq 0,85$. Điểm ghép cuối cùng dùng kết hợp tương quan màu và khoảng cách tâm:

$$S = 0,7.C + 0,3. \left[1 - \min\left(\frac{d}{d_{\max}}, 1\right) \right],$$

$$d_{\max} = 120 \text{ pixel} \quad (6)$$

Ứng viên có S lớn nhất và thỏa ngưỡng tương quan được gán lại canonical ID cũ. Đây là cơ chế ghép ID nhẹ, minh bạch và phù hợp với nguyên mẫu; nó không thay thế một mô hình Re-ID sâu và chưa được xem là kết quả theo dõi định danh đã kiểm chứng theo chuẩn MOT.

2.5. Chỉ tiêu đánh giá

Hiệu năng phát hiện được đánh giá bằng Precision (P), Recall (R), Average Precision (AP) và mean Average Precision (mAP). Với TP, FP và FN lần lượt là số phát hiện đúng, phát hiện sai và đối tượng bị bỏ sót:

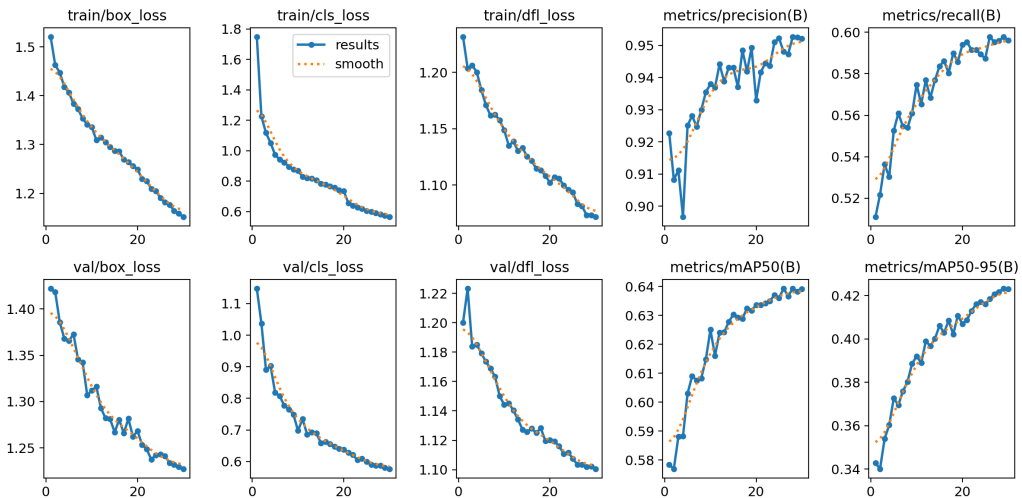
$$P = \frac{TP}{(TP + FP)} ; R = \frac{TP}{(TP + FN)} \quad (7)$$

$$AP = \int_0^1 P.R.D_R ; m_{AP} = \frac{1}{C} \cdot \sum AP.c \quad (8)$$

Ngoài mAP@0,5, nghiên cứu sử dụng mAP = 0,5@0,95 để phản ánh đồng thời khả năng phân lớp và độ chính xác định vị hộp giới hạn. Đối với chuỗi xử lý video, nghiên cứu thống kê số bản ghi cảnh báo, số canonical ID liên quan và số đoạn cảnh báo liên tục thành.

3. Kết quả xây dựng và kiểm chứng mô hình

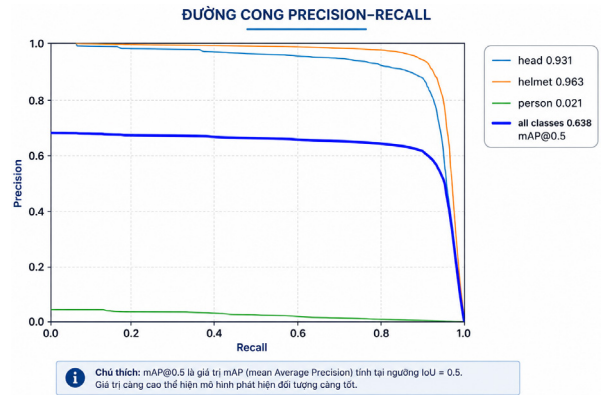
3.1. Diễn biến huấn luyện



Hình 3. Diễn biến loss và các chỉ tiêu đánh giá trong 30 epoch huấn luyện

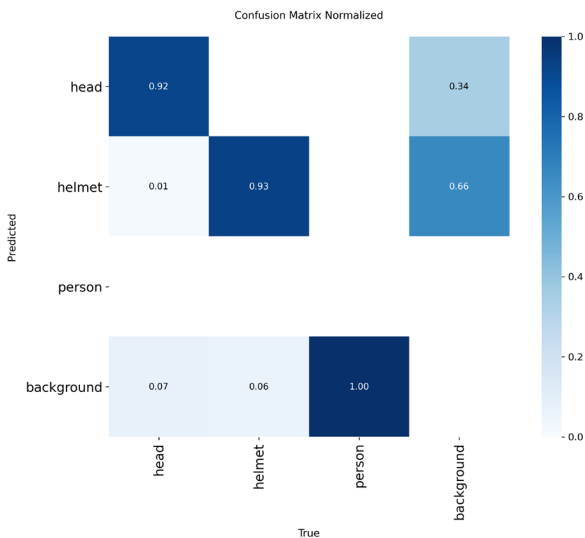
Sau 30 epoch, các hàm loss huấn luyện và kiểm định giảm tương đối ổn định. Checkpoint tốt nhất theo mAP@0,5:0,95 xuất hiện tại epoch 29. Tại epoch này, Precision tổng hợp đạt 0,9525; Recall đạt 0,5978; mAP@0,5 đạt 0,6382 và mAP@0,5:0,95 đạt 0,4232. Tổng thời gian huấn luyện ghi trong log là khoảng 10,68 giờ trên CPU. Diễn biến loss và các chỉ tiêu đánh giá được thể hiện tại hình 3.

3.2. Kết quả nhận diện đối tượng an toàn và ảnh hưởng của mất cân bằng dữ liệu



Hình 4. Đường Precision-Recall của mô hình trên tập kiểm định

Đường Precision-Recall tại hình 4 cho thấy chênh lệch lớn giữa ba lớp. AP@0,5 của helmet đạt 0,963, head đạt 0,931, trong khi person chỉ đạt 0,021; do đó mAP@0,5 trung bình ba lớp còn 0,638. Kết quả này phản ánh trực tiếp cấu trúc dữ liệu mất cân bằng và cho thấy không phù hợp nếu sử dụng lớp person của cùng mô hình làm nguồn



Hình 5. Ma trận chuẩn hóa trên tập kiểm định duy nhất để theo dõi người. Ngược lại, hai lớp gần trực tiếp với bài toán nhận diện trang bị bảo vệ đầu đạt kết quả cao và đủ cơ sở để sử dụng làm mô-đun phát hiện trong nguyên mẫu.

Ma trận chuẩn hóa tại hình 5 cho thấy tỷ lệ nhận đúng theo lớp thật của head và helmet lần lượt xấp xỉ 0,92 và 0,93; lớp person hầu như không được nhận diện. Từ ma trận chưa chuẩn hóa, riêng lớp helmet có Precision xấp xỉ 0,905 và Recall xấp xỉ 0,933 tại ngưỡng dùng để lập ma trận. Kết quả cũng cố lựa chọn kiến trúc hai mô hình: mô hình tinh chỉnh đảm nhiệm nhận diện trang bị, còn phát hiện người được lấy từ mô hình COCO độc lập.

3.3. Kiểm chứng hệ thống giám sát trên

Bảng 4. Một số chỉ tiêu đánh giá chính của mô hình

Chỉ tiêu	Head	Helmet	Person	Toàn bộ
AP@0,5	0,931	0,963	0,021	mAP = 0,638
Recall từ ma trận	0,916	0,933	0,000	-
Precision từ ma trận	0,835	0,905	0,000	-
mAP@0,5:0,95 tại epoch tốt nhất	-	-	-	0,423

Bảng 5. Thống số chạy thử nghiệm trên camera giám sát

Chỉ tiêu	Giá trị
Độ phân giải video	1.280 × 720 pixel
Tốc độ danh định	30 frame/s
Số khung hình	1.409
Thời lượng video	46,97 s
Bản ghi NO_HELMET cấp khung hình	335
Canonical ID xuất hiện trong nhật ký	22
Đoạn cảnh báo liên tục (nhóm theo frame liền kề)	38

camera giám sát

Hệ thống được kiểm chứng trên video khai trường có độ phân giải 1.280×720 pixel, tốc độ danh định 30 khung hình/s, tổng cộng 1.409 khung hình tương ứng 46,97 s. Đầu ra giữ nguyên kích thước và số khung hình, đồng thời bổ sung hộp người, vùng đầu, canonical ID, trạng thái HELMET/NO HELMET, số người trong khung hình và thẻ cảnh báo. Các khung hình ở những thời điểm khác nhau cho thấy hệ thống có thể hoạt động khi số người và tư thế thay đổi trong cảnh.

Kết quả chạy thử nghiệm tại bảng 5 cho thấy, tệp nhật ký ghi 335 bản ghi NO_HELMET ở cấp khung hình, liên quan đến 22 canonical ID. Khi nhóm các bản ghi liên tiếp theo cùng ID có 38 đoạn cảnh báo. Các con số này chỉ phản ánh đầu ra của thuật toán, không đồng nghĩa với 335 hoặc 38 vi phạm độc lập đã được xác nhận thủ công.

Hình 6 ghi nhận kết quả tại ba thời điểm trong chuỗi video. Hệ thống đồng thời theo dõi nhiều người, gán trạng thái HELMET/NO HELMET, duy trì canonical ID và hiển thị cảnh báo khi chuỗi NO HELMET vượt ngưỡng thời gian. Việc quan sát nhiều khung hình thay vì một ảnh đơn lẻ thể hiện rõ vai trò của theo dõi đa đối tượng và làm trơn trạng thái trong bài toán giám sát an toàn.

4. Đánh giá khả năng ứng dụng trong khai thác lộ thiên

Kết quả cho thấy đóng góp chính của nghiên cứu không nằm ở việc sử dụng riêng một mô hình YOLOv8, mà ở cách tổ chức chuỗi AI - thị giác máy tính thành các mô-đun tương ứng với nghiệp vụ



Hình 6. Kết quả giám sát tại ba thời điểm của video khai trường: nhận diện người, trạng thái trang bị bảo hộ lao động

giám sát an toàn. Dữ liệu SHD cho kết quả tốt đối với helmet và head nhưng rất yếu ở person; nếu sử dụng trực tiếp một mô hình ba lớp cho toàn bộ hệ thống, sai số của lớp person sẽ ảnh hưởng đồng thời đến theo dõi, liên kết và cảnh báo. Kiến trúc hai mô hình tách hai nguồn sai số và cho phép thay thế từng thành phần khi điều kiện dữ liệu thay đổi.

Ở lớp quy tắc, vùng đầu động và loA tạo quan hệ người - trang bị theo cách đơn giản, có thể kiểm tra và hiệu chỉnh bằng tham số. Với ngưỡng 7 khung hình và duy trì 6 khung hình biến kết quả nhận diện tức thời thành trạng thái theo thời gian, qua đó phù hợp hơn với logic cảnh báo an toàn. Canonical ID tiếp tục giảm nguy cơ đếm trùng khi tracker tái cấp ID bằng cách kết hợp IoU, khoảng cách tâm và histogram HSV. Cấu trúc này cho thấy một nguyên tắc quan trọng: mô-đun nhận diện cung cấp bằng chứng thị giác, còn quyết định cảnh báo phải được hình thành từ quan hệ không gian, thời gian và quy tắc nghiệp vụ.

Đối với mỏ lộ thiên, mô hình có thể được bố trí thử nghiệm tại các điểm camera có trường nhìn tương đối ổn định như nhà giao ca, khu sửa chữa, trạm nghiền, khu tập kết, khu vực khoan, xúc bốc, vận tải hoặc các vị trí bắt buộc sử dụng phương tiện bảo vệ. Nhật ký cảnh báo có thể liên kết với thời gian, camera và khu vực để cán bộ an toàn rà soát ảnh/video minh chứng trước khi xử lý. Về mặt kiến trúc, cùng chuỗi nhận diện - theo dõi - quy tắc - cảnh báo có thể mở rộng cho các đối tượng hoặc quy tắc khác như xâm nhập vùng hạn chế hoặc khoảng cách người - thiết bị,...

Một số hạn chế cần được xem xét. Thứ nhất, bộ dữ liệu huấn luyện chủ yếu phản ánh môi trường công trường và chưa đại diện đầy đủ cho điều kiện của mỏ như bụi, ngược sáng, mưa, khoảng cách xa, che khuất bởi thiết bị,... Thứ hai, cấu hình CPU cần bảo đảm tốc độ xử lý bằng tốc độ video 30 frame/s; triển khai thời gian thực cần tối ưu mô hình, ONNX/TensorRT hoặc phần cứng GPU/edge phù hợp.

Hướng nghiên cứu tiếp theo nên tập trung vào bốn nhóm công việc: xây dựng bộ dữ liệu chuyên biệt cho các mỏ lộ thiên và nhiều điều kiện thời tiết - ánh sáng; gán nhãn video ở cả cấp khung hình và cấp sự kiện để đánh giá end-to-end; kiểm chứng khả năng duy trì ID và thời gian xử lý trên phần cứng triển khai; và chuẩn hóa lớp quy tắc an toàn để có thể bổ sung các mô-đun mới mà không thay đổi kiến trúc lõi. Khi các bước này được hoàn thiện, hệ thống có thể đóng vai trò lớp sàng lọc tự động hỗ trợ cán bộ an toàn, thay vì thay thế quyết định chuyên môn tại hiện trường.

5. Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng được khung ứng dụng mô hình trí tuệ nhân tạo và thị giác máy tính cho giám sát an toàn từ camera tại mỏ lộ thiên, trong đó các chức năng thu nhận, nhận diện, theo dõi, liên kết quy tắc, ổn định trạng thái, duy trì định danh và ghi sự kiện được tổ chức thành các mô-đun. Bài toán sử dụng trang bị bảo hộ lao động được lựa chọn để kiểm chứng chuỗi xử lý. Kiến trúc hai mô hình sử dụng YOLOv8n COCO cho phát hiện/theo dõi người và YOLOv8n tinh chỉnh cho nhận diện helmet đã khắc phục trực tiếp hạn chế của lớp person trong dữ liệu huấn luyện.

Mô hình tinh chỉnh đạt $AP@0,5 = 0,963$ đối với helmet và $0,931$ đối với head; $mAP@0,5$ trung bình ba lớp bằng $0,638$ và $mAP@0,5:0,95$ tốt nhất bằng $0,423$. Trên video khai trường 1.409 khung hình, hệ thống thực hiện được nhận diện trạng thái, theo dõi đa đối tượng, duy trì canonical ID, hiển thị cảnh báo và ghi nhật ký NO_HELMET.

Kết quả cho thấy giải pháp có cơ sở để phát triển thành mô-đun hỗ trợ giám sát an toàn bằng camera tại các mỏ lộ thiên. Giá trị mở rộng nằm ở kiến trúc tách mô hình nhận diện khỏi lớp quy tắc và cảnh báo. Tuy nhiên việc áp dụng cho các hành vi hoặc nguy cơ khác phải được xây dựng dữ liệu, thiết lập quy tắc và kiểm chứng riêng. Để chuyển từ nguyên mẫu sang vận hành sản xuất, cần ưu tiên dữ liệu đặc thù mỏ, đánh giá end-to-end trên

video đã gán nhãn và tối ưu tốc độ xử lý trên phần cứng triển khai.

Tài liệu tham khảo:

[1] Fang, Q., Li, H., Luo, X., Ding, L., Luo, H., Rose, T.M., An, W. (2018). *Detecting non-hardhat-use by a deep learning method from far-field surveillance videos*. Automation in Construction, 85, 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2017.09.018>.

[2] Wójcik, B., Źarski, M., Książek, K., Miszczak, J.A., Skibniewski, M.J. (2021). *Hard hat wearing detection based on head keypoint localization*. arXiv:2106.10944.

[3] Redmon, J., Divvala, S., Girshick, R., Farhadi, A. (2016). *You Only Look Once: Unified, Real-Time Object Detection*. Proceedings of CVPR 2016, 779-788.

[4] Otgonbold, M.-E., Gochoo, M., Alnajjar, F., Ali, L., Tan, T.-H., Hsieh, J.-W., Chen, P.-Y. (2022). *SHEL5K: An Extended Dataset and Benchmarking for Safety Helmet Detection*. Sensors, 22(6), 2315. <https://doi.org/10.3390/s22062315>.

[5] Andrew MVD. (2020). *Safety Helmet*

Detection. Public dataset, 5,000 images; classes: helmet, person, head.

[6] Ultralytics. *YOLO model validation and tracking documentation: Precision, Recall, mAP50, mAP50-95 and multi-object tracking workflow*.

[7] Zhang, Y., Sun, P., Jiang, Y., Yu, D., Weng, F., Yuan, Z., Luo, P., Liu, W., Wang, X. (2022). *ByteTrack: Multi-Object Tracking by Associating Every Detection Box*. European Conference on Computer Vision (ECCV).

[8] Bradski, G. (2000). *The OpenCV Library*. Dr. Dobb's Journal of Software Tools.

[9] Wu, J., Wu, S., Ma, Y., Yu, G., Xu, H., Zheng, L., Duan, J. (2025). *MonitorVLM: A Vision Language Framework for Safety Violation Detection in Mining Operations*. arXiv:2510.03666.

[10] Chen, Z., Chen, H., Imani, M., Chen, R., Imani, F. (2024). *Vision Language Model for Interpretable and Fine-grained Detection of Safety Compliance in Diverse Workplaces*. arXiv:2408.07146.

Research on the Application of Artificial Intelligence and Computer Vision Models for Safety Monitoring at Open-Pit Mines

MSc. Do Van Trieu *Vinacomin - Institute of Mining Science and Technology*

Dr. Tran Dinh Bao *Hanoi University of Mining and Geology*

Abstract:

The application of computer vision in safety monitoring at open-pit mines requires continuous observation over large production areas, with numerous pieces of mechanized equipment, dispersed workers, and frequently changing imaging conditions due to dust, lighting, and other factors. This paper proposes an application framework for artificial intelligence and computer vision based on a modular architecture to automatically identify, track, and detect non-compliant safety conditions from surveillance cameras. The system uses a YOLOv8n model pretrained on COCO to detect and track people, combined with a fine-tuned YOLOv8n model for recognition; the person-personal protective equipment relationship is established using the IoA index. The training results show an accuracy of 93%. Testing on surveillance video comprising 1,409 frames demonstrated that the system maintained identification, classification of personal protective equipment compliance status, and warning display. The test results provide a basis for developing camera-based safety monitoring modules at open-pit mines.

ĐỀ XUẤT, TỔNG HỢP CÁC GIẢI PHÁP DỰ BÁO, PHÁT HIỆN SỚM VÀ PHÒNG NGỪA HIỆN TƯỢNG THAN TỰ CHÁY TẠI CÁC MỎ THAN HÀM LÒ THUỘC TKV NĂM 2025

TS. Nguyễn Tất Thắng, ThS. Bùi Anh Tuấn
ThS. Nguyễn Tiến Trọng, CN. Trần Thị Nhài
Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin

Biên tập: ThS. Phạm Chân Chính

Tóm tắt:

Trong năm 2025, các mỏ than hầm lò thuộc Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (TKV) chỉ ghi nhận 01 sự cố liên quan đến hiện tượng than tự cháy tại Công ty Than Mạo Khê, giảm đáng kể so với các năm trước. Kết quả này đạt được nhờ sự chỉ đạo quyết liệt của TKV cùng với việc các đơn vị nghiêm túc triển khai và tuân thủ đầy đủ các chỉ thị, quy định của TKV về dự báo, phát hiện sớm và phòng ngừa hiện tượng than tự cháy trong quá trình đào lò, khai thác.

1. Mở đầu

Sự cố liên quan đến hiện tượng than tự cháy gây ảnh hưởng rất nghiêm trọng đối với hoạt động khai thác than hầm lò, do có thể gây cháy mỏ, phát sinh khí độc, làm gián đoạn sản xuất và đe dọa trực tiếp đến an toàn của người lao động. Trong bối cảnh các mỏ hầm lò ngày càng khai thác xuống sâu, điều kiện địa chất - kỹ thuật ngày càng phức tạp, nguy cơ phát sinh hiện tượng than tự cháy có xu hướng gia tăng, đòi hỏi phải áp dụng các giải pháp dự báo, phát hiện sớm và kiểm soát hiệu quả. Để chủ động phòng ngừa hiện tượng than tự cháy, trong năm 2025, các đơn vị khai thác than hầm lò thuộc Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (TKV) đã triển khai đồng bộ các giải pháp kỹ thuật và quản lý theo các chỉ thị, quy định của TKV. Việc thực hiện nghiêm túc các giải pháp này đã góp phần nâng cao hiệu quả phát hiện sớm các dấu hiệu tự cháy, kịp thời áp dụng các biện pháp xử lý phù hợp, qua đó hạn chế nguy cơ phát sinh sự cố, bảo đảm an toàn sản xuất và duy trì hoạt động khai thác ổn định. Bài báo tổng hợp, đề xuất các giải pháp dự báo, phát hiện sớm và kiểm soát hiện tượng tự cháy than tại các mỏ hầm lò thuộc TKV trong năm 2025.

2. Các giải pháp dự báo, phát hiện sớm và kiểm soát hiện tượng than tự cháy ở các mỏ than hầm lò

2.1. Các giải pháp dự báo, phát hiện sớm hiện tượng than tự cháy

Dự báo, phát hiện sớm hiện tượng tự cháy được coi là vấn đề quan trọng trong các hoạt động

khai thác mỏ, dựa vào các dấu hiệu phát sinh trong quá trình phát triển của hiện tượng than tự cháy, căn cứ vào các chỉ tiêu chuẩn sinh ra trong quá trình ôxi hóa, các tham số về nhiệt độ và sự thay đổi nhiệt, cùng với các hiện tượng khác, đưa ra dự báo, kịp thời phát hiện các nguy hiểm về tự cháy. Các giải pháp dự báo, phát hiện sớm hiện tượng tự cháy được đề xuất áp dụng bao gồm:

1. Dự báo cháy dựa trên kết quả đo khí và các dấu hiệu cháy:

Hiện tượng tự cháy trong mỏ hầm lò làm phát sinh nhiều hiện tượng phụ thuộc vào các giai đoạn của quá trình tự cháy. Phân tích và hiểu được quá trình phát sinh và phát triển hiện tượng tự cháy sẽ làm cơ sở để dự báo hiện tượng tự cháy và từ đó đưa ra các giải pháp ứng phó phù hợp, giảm thiểu thiệt hại. Theo các nghiên cứu cho thấy, hiện tượng tự cháy trong các mỏ hầm lò thường xảy ra theo các trạng thái tuần tự như sau: Thay đổi nhiệt độ - mùi lạ - khí sinh ra do phản ứng hóa học. Theo đó, tùy thuộc vào các trạng thái của đám cháy sẽ có sự liên quan đến sự thay đổi nhiệt, mùi và khí.

Nhận biết đám cháy xảy ra có thể dựa vào các chỉ tiêu đánh giá cháy với biểu hiện là các dấu hiệu vật lý liên quan đến cháy, hiện tượng than tự cháy thường được đi kèm với sự xuất hiện liên tục của khói, xuất hiện hơi ẩm trong vỉa than, mùi hôi hoặc mùi hôi của lửa, âm thanh, khói lửa.

Trong tự nhiên, than ngoài thành phần cacbon chúng còn chứa hợp chất hiđrô cacbon và khoáng chất, nước, quá trình cháy của than được chia ra làm nhiều giai đoạn. Giai đoạn đầu trước khi cháy

than nóng lên, làm bốc hơi nước, thoát phần chất bốc và biến đổi các hợp chất hữu cơ, sau đó sinh ra hiđrô, metan, hiđrô cacbon và cuối cùng là phần hắc ín. Với các thiết bị đo khí điện tử cầm tay cũng như máy sắc ký khí cho phép xác định thành phần cũng như hàm lượng các chất khí sinh ra trong từng giai đoạn của sự cố liên quan đến than tự cháy.

2. Dự báo tự cháy bằng phương pháp đo nhiệt độ:

Hiện tượng than tự cháy xảy ra kèm theo các hiện tượng thay đổi về thành phần không khí, nhiệt độ, mùi... Trong các thay đổi nêu trên, thông số nhiệt độ được coi là một trong các giải pháp hiệu quả để dự báo hiện tượng tự cháy. Tuy nhiên để đo được nhiệt độ nhằm phát hiện tự cháy cần phải có các thiết bị có độ chính xác cao cũng như phương pháp đo hợp lý, do nhiệt độ của than tự cháy có các đặc điểm như: nhiệt ban đầu có thể là thấp; tính dẫn nhiệt của than kém nên không đo được nhiệt độ chính xác của đám cháy nếu bố trí dụng cụ không đúng vị trí tâm cháy. Dự báo hiện tượng tự cháy bằng cảm biến nhiệt độ bao gồm việc đo đạc hoặc quan trắc nhiệt độ được tiến hành ở những vị trí có nguy cơ hình thành cháy nội sinh cao như: trụ than bảo vệ, vùng phá hỏa, vùng đã được bịt kín... Với phương pháp này, những cảm biến nhiệt độ sẽ được đặt trong một ống bảo vệ và được đưa vào khu vực nguy hiểm qua lỗ khoan.

Trước khi đám cháy thực sự xảy ra trong mỏ hầm lò, nhiệt độ trong mỏ hầm lò cho thấy một số xu hướng gia tăng do sự nóng lên tự nhiên của than. Vì vậy, kiểm tra tính hệ thống về sự gia tăng nhiệt độ ở các khu vực dễ bị ảnh hưởng như các đường lò cũ, các khu vực trụ bảo vệ, trụ bảo vệ nhỏ có các vết nứt và các vết nứt, những nơi tích tụ than, hoặc các đường lò gần lò chợ dài có thể giúp dự báo hiện tượng tự cháy. Ngoài ra, nhiệt

độ thậm chí còn tăng nhẹ do dòng khí thải có thể làm nóng lên, mặc dù điều này đã được bổ sung bằng các phương pháp khác phát hiện. Giải pháp đo nhiệt độ bao gồm: Đo nhiệt độ bằng cảm biến nhiệt trong lỗ khoan, sau khu phá hỏa lò chợ; Đo nhiệt độ thủ công bằng súng bắn nhiệt độ, nhiệt kế thủy ngân; Đo nhiệt độ thông qua hệ thống kiểm soát nhiệt độ trung tâm Minescanda, Viza.

3. Kiểm soát tự cháy từ thiết lập vị trí các trạm đo, lấy mẫu khí:

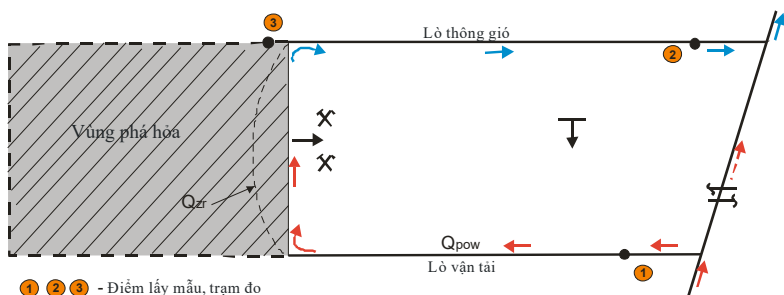
Phần than để lại trong khu vực phá hỏa lò chợ là nguy cơ dẫn đến cháy nội sinh. Trên dọc chiều dài gương lò chợ đều có hiện tượng thẩm thấu không khí vào vùng phá hỏa phía sau lò chợ, hàm lượng oxy trong khu vực phá hỏa có thể lên đến trên 19%. Hàm lượng oxy cao có thể dẫn đến quá trình oxy hóa than, làm than tự nóng lên trong vùng phá hỏa sẽ sinh ra sản phẩm khí và chúng đi ra khu vực gương lò chợ, theo dọc vỉa thông gió đi ra ngoài.

Bên cạnh đó, trong quá trình đào lò chuẩn bị tồn tại nguy cơ xảy ra cháy nội sinh trong khe nứt tại hông và nóc lò dọc các đường lò dọc vỉa trong than hoặc tại gương lò đào. Nếu trong không khí mỏ xuất hiện hàm lượng khí như etilen, propilen và axetilen thì có thể định hướng vị trí lấy mẫu khí nhằm xác định hiểm họa cháy nội sinh khe nứt.

Giải pháp kiểm soát tự cháy dựa vào việc tiến hành đo khí bằng thiết bị đo khí cầm tay hàng ca tại các vị trí được xác lập làm trạm đo, điểm lấy mẫu khí theo dõi. Các trạm đo, điểm lấy mẫu khí được lựa chọn tại lò dọc vỉa thông gió, dọc vỉa vận tải cho phép tính toán được các hàm lượng các chất khí sinh ra trong khu vực theo dõi (Hình 1).

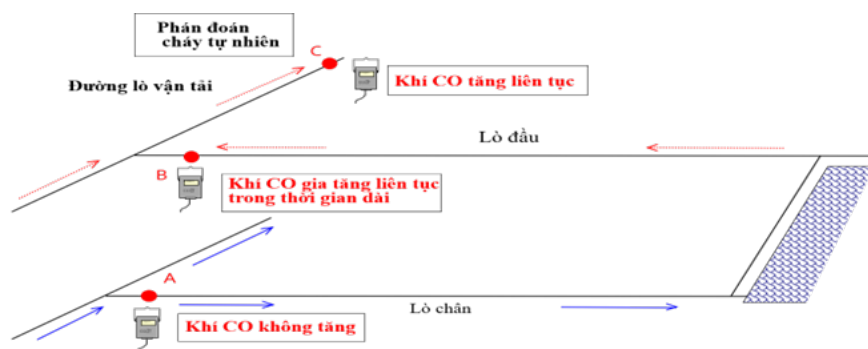
4. Giải pháp sử dụng hệ thống giám sát an toàn, giám sát môi trường mỏ bằng các đầu đo cảm ứng tự động, hệ thống hút khí tự động:

Các mỏ hầm lò thuộc TKV hiện đã được trang



① ② ③ - Điểm lấy mẫu, trạm đo

Hình 1. Sơ đồ bố trí trạm đo kiểm soát cháy trong lò chợ thông gió hình chữ „U” dọc than nguyên khối
Trạm đo số 1 - trong luồng gió sạch đưa vào lò chợ; Trạm đo số 2 - trong luồng gió bắn ra từ lò chợ;
Trạm đo số 3 - trong vùng phá hỏa tại khu vực giao nhau giữa lò chợ và lò thông gió



Hình 2. Sơ đồ bố trí hệ thống đầu đo kiểm soát khí CO

bị các hệ thống giám sát khí mỏ tập trung tự động với các loại đầu đo khí đặc trưng cho hiện tượng tự cháy. Các đầu đo khí được bố trí tại các vị trí nghi ngờ có hiện tượng tự cháy để đo liên tục và kiểm soát (Hình 2). Khi có sự bất thường về khí do than tự cháy, hàm lượng và loại khí phát hiện được sẽ giúp đưa ra các giải pháp kiểm soát phù hợp như dùng nước hoặc dùng bột, hóa chất... Ngoài ra, các hệ thống quan trắc không chỉ tập trung vào việc đo hàm lượng các loại khí trong mỏ mà còn các thiết bị khác như đo nhiệt độ, mùi được tích hợp vào hệ thống để phản ánh toàn cảnh hiện tượng tự cháy, để đưa ra giải pháp kiểm soát hiệu quả.

Hệ thống giám sát khí tiêu chuẩn dưới lò thường dùng các đầu đo cảm ứng kết nối với đường ống. Các thiết bị phân tích khí được lắp đặt trong lò, gần điểm cần giám sát, các thiết bị phân tích khí sẽ trực tiếp lấy mẫu thông qua ống hút, sau đó kết quả phân tích được truyền theo dây dẫn lên trung tâm giám sát trên mặt đất, từ đó thực hiện được mục tiêu dự báo cháy. Mỗi một phân trạm của hệ thống này có thể lấy mẫu phân tích của nhiều điểm cần theo dõi, có thể giám sát được các chất khí CH_4 , CO, O_2 và các loại khí khác.

2.2. Các giải pháp kiểm soát hiện tượng than tự cháy

Để chủ động phòng ngừa than tự cháy và phù hợp với thực tế sản xuất của từng đơn vị cũng như phù hợp với từng loại hình công nghệ, nhằm phát hiện và xử lý phòng ngừa than tự cháy theo phương châm "từ sớm - từ xa", các nhóm giải pháp phòng ngừa than tự cháy để áp dụng tại các đơn vị sản xuất than hầm lò thuộc TKV như sau:

1. Giải pháp về thông gió:

Khu vực tiềm ẩn nguy cơ dẫn đến hiện tượng than tự cháy tại các lò chợ tập trung chủ yếu tại khu vực phá hỏa (Hình 3) và khu vực tiếp giáp

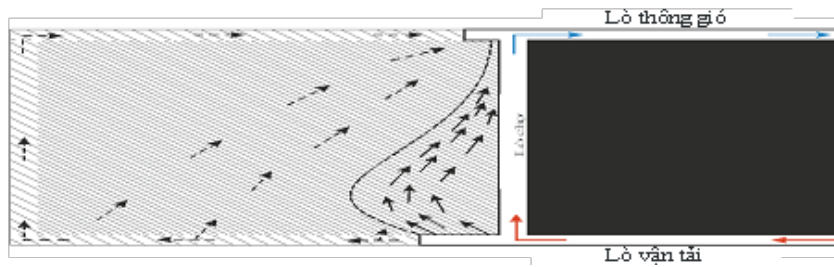
giữa khu phá hỏa của mức trên với mức dưới, phụ thuộc chủ yếu vào lượng gió rò từ đường lò, lò chợ vào khu phá hỏa. Nguyên nhân hiện tượng rò gió chủ yếu được tạo ra do có sự chênh lệch áp suất giữa khu vực phá hỏa với hai khu vực nêu trên. Vì vậy, việc giảm mức độ chênh lệch áp suất tại nơi có áp suất lớn (lò dọc vỉa vận tải) và nơi có áp suất thấp (lò dọc vỉa thông gió) là giải pháp quan trọng để tránh gió rò qua khu vực phá hỏa. Với giải pháp về thông gió cần thực hiện các yêu cầu sau:

- Thông gió cho các khu khai thác, các gương lò chợ phải được thực hiện bằng sơ đồ thông gió nghịch (sơ đồ khẩu dật);
- Khi cần thiết phải bổ sung gió sạch vào luồng gió thải từ lò khẩu than ra, cho phép áp dụng sơ đồ thông gió thuận với các khu vực khẩu than nhưng phải đảm bảo cách ly tốt khoảng không gian đã khai thác bằng các tường chắn cách ly đặc biệt.
- Sử dụng bạt để điều chỉnh hướng gió tại vị trí ngã ba tiếp giáp giữa lò dọc vỉa vận tải với lò chợ và vị trí ngã ba tiếp giáp giữa lò chợ với lò dọc vỉa thông gió (chiều dài bạt tại lắp đặt ở trong lò chợ luôn duy trì từ 3 - 5 mét và ở lò dọc vỉa thông gió, dọc vỉa vận tải luôn duy trì từ 8 - 10 mét).

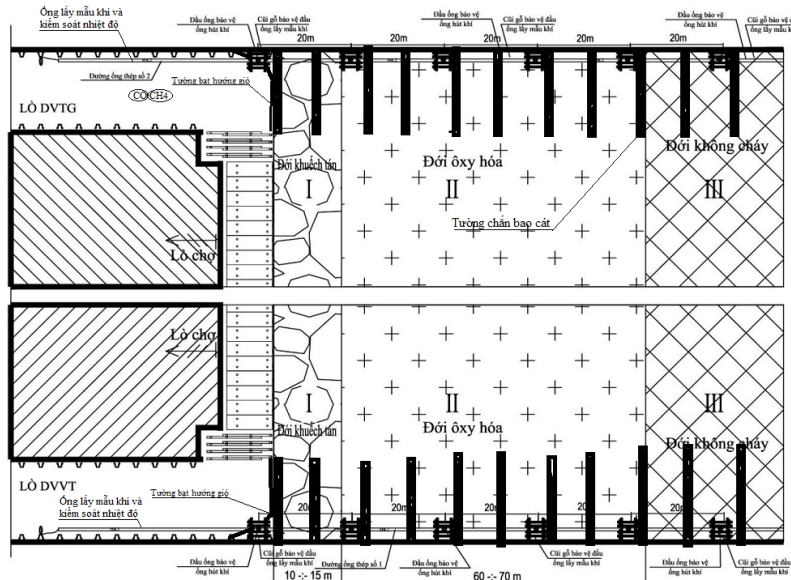
- Thường xuyên phải kiểm soát, tính toán, điều chỉnh cân bằng hạ áp:

- + Tính cân bằng hạ áp trong và ngoài tường chắn cách ly;
- + Tính cân bằng hạ áp giữa lò chợ (luồng khai thác) với trong luồng phá hỏa (khu vực phía sau lò chợ)
- + Đối với các khu vực không sử dụng tường chắn thì việc cân bằng hạ áp sẽ được thực hiện tính toán cân bằng hạ áp cho khu vực này bằng quạt cục bộ.

- Tính toán, điều chỉnh phân phối lưu lượng gió phù hợp cho các gương đào lò, lò chợ thuộc các vỉa than có tính tự cháy.



Hình 3. Sơ đồ thẩm thấu không khí trong phá hỏa lò chợ thông gió hình chữ "U" dọc than nguyên khối



Hình 4. Sơ đồ thể hiện các giải pháp ngăn ô xy thẩm thấu vào vùng phá hỏa phía sau lò chợ

2. Giải pháp ngăn ô xy thẩm thấu vào vỉa than và vùng khai thác (Hình 4):

- Thường xuyên kiểm tra, san lấp làm kín bề mặt địa hình bị sụt lún do khai thác than phía dưới gây ra;

- Phun trám làm kín thành lò thuộc các đường lò xuyên vỉa, lò dọc vỉa than;

- Làm các tường chắn cách ly bằng xỉ tro tại các cúp, lò nổi, lò dọc vỉa thông gió, dọc vỉa vận tải khi kết thúc khai thác lò chợ; Làm các tường chắn cách ly bằng gạch tại các đường lò (dọc vỉa, xuyên vỉa, các cúp nổi)

- Làm các tường chắn tạm bằng bao cát với khoảng cách 10 mét/tường trên đường lò song song/hoặc lò dọc vỉa vận tải theo tiến độ khấu của lò chợ để ngăn khí ô xy thẩm thấu vào vùng đã khai thác.

- Làm tường chắn tạm bằng vách ngăn (khung bạnh gỗ + bạt) với khoảng cách 10 mét/tường (tường tạm bằng vách ngăn nằm giữa 2 tường tạm bằng bao cát) trên các đường lò dọc vỉa thông

gió, dọc vỉa vận tải theo tiến độ khấu của lò chợ;

- Đối với công nghệ khai thác không để lại trụ bảo vệ hoặc trụ bảo vệ có chiều dày < 5 mét và các đường lò dọc vỉa, xuyên vỉa có mức độ nứt lè lớn, than bờ rời thì cần phải: (i) Sử dụng bạt để che toàn bộ tiết diện đường lò trên dọc tuyến đường lò dọc vỉa thông gió, dọc vỉa vận tải (để thay thế cho vật liệu phun trám làm kín thành lò bằng hỗn hợp xi măng cát); (ii) Làm tường chắn cách ly bằng vải bạt (khung bạnh gỗ + vải bạt) trên tuyến đường lò dọc vỉa thông gió, dọc vỉa vận tải với khoảng cách giữa các tường chắn từ 25 ÷ 50 mét/tường (để thay thế cho vật liệu làm tường chắn cách ly cố định xây bằng gạch).

3. Giải pháp kiểm soát khí CO và sự ủ nhiệt của vỉa than:

- Kiểm soát nhiệt độ, hàm lượng khí của vỉa than: Tắt cả các đường lò đào trong than (đường lò dọc vỉa thông gió, lò dọc vỉa vận tải và đường lò xuyên vỉa thông gió, xuyên vỉa vận tải, lò ngầm, lò giếng đoạn cắt qua vỉa than) phải thực hiện:

+ Khoan lên nóc lò với khoảng cách giữa các lỗ khoan $L = 10$ mét/lỗ, chiều sâu của mỗi lỗ khoan $LLK = 2,5$ mét ÷ $3,0$ mét/lỗ;

+ Lắp đặt dây cảm biến nhiệt độ và đường ống lấy mẫu $\Phi 6$ vào đáy lỗ khoan; đo kiểm tra nhiệt độ khối than và hàm lượng khí CO trong lỗ khoan hàng ca; khi phát hiện nhiệt độ trong lỗ khoan tăng dần đến 600°C thì thực hiện ngay việc khoan các lỗ khoan có chiều sâu $L \geq 10$ mét/lỗ, chống ống lỗ khoan và thực hiện bơm ép nước/hoặc giải pháp khác (hóa chất) để loại trừ sự tăng nhiệt độ khối than;

- Kiểm soát khí, nhiệt độ trong luồng phá hỏa phía sau lò chợ: Lắp đặt đường ống hút khí $\Phi 6$ và dây cảm biến nhiệt độ vào vùng phá hỏa phía sau lò chợ (trên các đường lò dọc vỉa thông gió, dọc vỉa vận tải và lò dọc vỉa các mức (đối với lò chợ dọc vỉa phân tầng, ngang nghiêng, buồng thượng); thực hiện đo kiểm tra khí CO, nhiệt độ hàng ca; khi phát hiện có khí CO hoặc nhiệt độ có dấu hiệu gia tăng ở trong vùng phá hỏa cần phải thực hiện ngay việc bơm xả khí ni tơ tích cực để phòng ngừa sự cháy;

- Lắp đặt đủ đầu đo khí CO của hệ thống giám sát khí mỏ tập trung tự động ở các gương lò đào trong than và lò dọc vỉa vận tải, dọc vỉa thông gió của lò chợ; Trang bị đủ máy đo khí đa năng cầm tay đo được 04 loại khí (CO, CO₂, CH₄) cho các đối tượng theo quy định số 1643/QĐ-TKV ngày 05/9/2017 của Tổng giám đốc Tập đoàn TKV.

- Lắp đặt hệ thống kiểm soát nhiệt độ, hàm lượng khí tập trung tự động Minescanda để kiểm soát nhiệt độ, hàm lượng khí mỏ tự động của vỉa than, trong vùng phá hỏa phía sau lò chợ, trong các tường chắn cách ly (hiện nay đã có 03 đơn vị đang kiểm soát nhiệt độ tự động gồm Hà Lâm, Thống Nhất, Uông Bí).

- Ngoài ra, hiện nay ở Công ty Khánh Hòa – Tổng Công ty Công nghiệp mỏ Việt Bắc đang sử dụng 01 hệ thống phòng ngừa than tự cháy đồng bộ bao gồm (01 hệ thống hút khí tập trung tự động để phân tích, kiểm soát hàm lượng khí liên tục; 01 hệ thống bơm bùn và 01 hệ thống bơm xả khí ni tơ).

4. Giải pháp bơm xả khí ni tơ vào vùng đã khai thác:

Lắp đặt so le 02 đoạn tuyến đường ống sắt $\Phi 42$ trên đường lò dọc vỉa vận tải, lò dọc vỉa thông gió (hoặc lò song song chân, song song đầu), lò dọc vỉa các mức (đối với lò chợ ngang nghiêng, lò dọc vỉa phân tầng, buồng thượng) theo tiến độ khấu của lò chợ để phục vụ bơm xả khí ni tơ.

3. Một số giải pháp đã được thực hiện tại

các mỏ than hầm lò thuộc TKV năm 2025

Trong năm 2025, các đơn vị khai thác than hầm lò trong TKV đã triệt để thực hiện các các giải pháp dự báo, phát hiện sớm và kiểm soát hiện tượng than tự cháy, nhờ đó đảm bảo an toàn cho người lao động và ổn định cho hoạt động sản xuất. Các giải pháp được thực hiện tại các mỏ như sau:

- Lấy mẫu than phân tích xác định mức độ tự cháy của vỉa than

- Lắp đặt các đầu đo khí CO tại các đường lò dọc vỉa thông gió

- Kiểm soát khí hàng ca bằng cách sử dụng máy đo khí điện tử đo nhanh

- Khoan các lỗ khoan vào nóc và hông lò để kiểm soát nhiệt độ vỉa than bằng nhiệt kế thủy ngân;

- Lắp đặt dây cảm biến nhiệt độ trong khu vực phá hỏa sau lò chợ để kiểm soát nhiệt độ trong khu vực phá hỏa; lắp đặt đường ống lấy mẫu

- Xây tường chắn bao cát, gạch, xỉ tro bay cách ly khu vực đã kết thúc khai thác; Phun trám vữa xi măng vào biên lò

- Bơm khí Ni tơ vào khu vực phía sau phá hỏa lò chợ

- Bồi dưỡng công nhân về công tác lấy mẫu than xác định mức độ tự cháy của vỉa than, mẫu khí trong tường chắn, khu phá hỏa

- Lắp đặt hệ thống kiểm soát nhiệt độ Trung tâm để quan trắc tập trung Vinza 230215

- Lắp đặt hệ thống đường ống lấy mẫu, dây cảm biến nhiệt độ và tổ chức lấy mẫu khí, đo nhiệt độ bằng máy TW8K theo dõi phía sau phá hỏa lò chợ

- Bơm hóa chất làm mát vào khu vực phá hỏa lò chợ; Bơm ép nước vào các lỗ khoan

- Xây tường chắn bao cát, gạch, xỉ tro bay cách ly khu vực đã kết thúc khai thác;

- Phun nhám vữa xi măng vào các đường lò đào trong than

- Khoan các lỗ khoan vào nóc và hông lò để kiểm soát nhiệt độ vỉa than bằng nhiệt kế thủy ngân;

- Lắp đặt đường ống lấy mẫu khí và lấy mẫu khí sau phá hỏa lò chợ

- Lắp đặt hệ thống kiểm soát nhiệt độ Trung tâm MineScada, tự động kiểm soát nhiệt độ trong các lỗ khoan và trong khu vực cách ly, trong khu vực phá hỏa lò chợ cần theo dõi

- Làm các vách ngăn bằng vải bạt tại hông, nóc lò dọc vỉa thông gió ngăn rò gió vào nóc và hông lò tại các khu vực khai thác không để lại trụ bảo vệ

- Bơm khí Ni tơ vào khu vực phía sau phá hỏa lò chợ

4. Kết luận

Năm 2025, các đơn vị khai thác than hầm lò thuộc Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam đã triển khai đồng bộ, nghiêm túc và hiệu quả các giải pháp dự báo, phát hiện sớm và kiểm soát hiện tượng than tự cháy theo các chỉ thị, quy định và hướng dẫn kỹ thuật của Tập đoàn. Việc áp dụng đồng thời các giải pháp như: Lấy mẫu than phân tích xác định mức độ tự cháy của vỉa than; lấy mẫu khí trong khu vực phá hỏa lò chợ phân tích xác định hàm lượng các chất khí; quan trắc khí CO và các khí chỉ thị cháy; giám sát nhiệt độ bằng cảm biến và hệ thống kiểm soát nhiệt độ tự động; kiểm soát thông gió; xây tường chắn cách ly vùng đã kết thúc khai thác ... *góp phần nâng cao hiệu quả phòng ngừa cháy nội sinh tại các mỏ than hầm lò.*

Kết quả thực tế cho thấy, trong năm 2025 toàn Tập đoàn chỉ ghi nhận một sự cố liên quan đến hiện tượng than tự cháy tại Công ty Than Mạo Khê, giảm đáng kể so với các năm trước, khẳng định hiệu quả của việc thực hiện đồng bộ các giải pháp dự báo, phát hiện sớm và kiểm soát nguy cơ than tự cháy. Điều này góp phần bảo đảm an toàn cho người lao động, giảm thiểu thiệt hại về kinh tế, duy trì hoạt động sản xuất ổn định và nâng cao

mức độ an toàn trong khai thác than hầm lò.

Trên cơ sở kết quả đạt được, các đơn vị khai thác than hầm lò cần duy trì và hoàn thiện hệ thống giám sát, cảnh báo sớm hiện tượng than tự cháy; *đưa vào áp dụng hệ thống hút khí và phân tích khí tự động*, hệ thống kiểm soát nhiệt độ tập trung, đồng thời nghiên cứu hoàn thiện các chỉ số và ngưỡng đánh giá nguy cơ tự cháy phù hợp với điều kiện các vỉa than antraxit Việt Nam. Việc tiếp tục triển khai các giải pháp theo phương châm **“phòng ngừa từ sớm, từ xa”** sẽ góp phần nâng cao hơn nữa hiệu quả công tác phòng chống cháy nội sinh, bảo đảm sản xuất an toàn, bền vững và đáp ứng yêu cầu phát triển của ngành than trong giai đoạn tới.

Tài liệu tham khảo:

[1]. Báo cáo: *“Xây dựng biểu đồ các vỉa than có tính tự cháy tại các mỏ than hầm lò thuộc TKV” năm 2023.*

[2]. Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (2019), Trung tâm ĐHSX tại Quảng Ninh, *Chỉ thị số: 69/CT-TTĐHSX, ngày 21/05/2019 về việc “Thực hiện các giải pháp, phòng ngừa than tự cháy”.*

Proposal and synthesis of forecasting solutions, early detection, and prevention of spontaneous coal combustion at underground coal mines under TKV in 2025

Dr. Nguyen Tat Thang, MSc. Bui Anh Tuan, MSc. Nguyen Tien Trong, BSc. Tran Thi Nhai
Vinacomin - Institute of Mining Science and Technology

Abstract:

In 2025, underground coal mines under Vietnam National Coal and Mineral Industries Holding Corporation Limited (TKV) recorded only one incident related to spontaneous coal combustion at Mao Khe Coal Company, representing a significant reduction compared with previous years. This result was achieved through the strong direction of TKV, together with the serious implementation and full compliance by the units with TKV's directives and regulations on forecasting, early detection, and prevention of spontaneous coal combustion during roadway development and mining operations.

XU HƯỚNG PHÁT TRIỂN ĐÁNH GIÁ RỦI RO TAI NẠN LAO ĐỘNG TRONG KHAI THÁC MỎ HÀM LÒ

**ThS. Đặng Hồng Thắng, ThS. Nguyễn Văn Bặc
Và NNK**

Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin

Biên tập: TS. Phan Văn Việt

Tóm tắt:

Đánh giá rủi ro là một trong những nội dung cốt lõi của công tác quản lý an toàn trong khai thác than hầm lò, nhằm nhận diện các mối nguy, xác định mức độ rủi ro và đề xuất các biện pháp kiểm soát phù hợp trước khi xảy ra tai nạn. Cùng với sự phát triển của khoa học công nghệ và quá trình chuyển đổi số, các phương pháp đánh giá rủi ro đã có sự chuyển dịch từ các phương pháp định tính, bán định lượng dựa trên kinh nghiệm sang các mô hình định lượng dựa trên xác suất và dữ liệu. Bài báo tổng quan quá trình phát triển của các phương pháp đánh giá rủi ro trong khai thác than hầm lò, từ các phương pháp truyền thống như Bảng kiểm (Checklist), Phân tích an toàn công việc (Job Safety Analysis - JSA), Phân tích dạng sai hỏng và ảnh hưởng (Failure Mode and Effects Analysis - FMEA), Phân tích cây sự cố (Fault Tree Analysis - FTA), Phân tích cây sự kiện (Event Tree Analysis - ETA), Ma trận đánh giá rủi ro (Risk Matrix) đến Mạng Bayesian (Bayesian Network), Machine Learning (ML), Deep Learning (DL) và Mô hình ngôn ngữ lớn (Large Language Models - LLM). Tổng hợp hiện trạng đánh giá rủi ro và xem xét khả năng áp dụng các công nghệ AI trong đánh giá rủi ro của các mỏ than hầm lò Việt Nam.

1. Đặt vấn đề

Khai thác mỏ hầm lò là một trong những nghề công việc đặc biệt nặng nhọc, độc hại, nguy hiểm do môi trường sản xuất chật hẹp, thiếu dưỡng khí, luôn tiềm ẩn nhiều yếu tố nguy hiểm và có hại như khí mê-tan, bụi than, cháy nổ, bức nước, sập đổ lò, sự cố thiết bị... Các yếu tố này thường tồn tại đồng thời, có mối quan hệ tương tác phức tạp và biến đổi liên tục theo điều kiện địa chất, công nghệ khai thác và tổ chức sản xuất. Chỉ cần một yếu tố mất an toàn xuất hiện hoặc nhiều yếu tố bất lợi xảy ra đồng thời cũng có thể dẫn đến các sự cố nghiêm trọng như sập đổ lò, cháy nổ khí mê-tan, bức nước, cháy mỏ, tai nạn vận tải hoặc điện giật... Vì vậy, đánh giá rủi ro không chỉ là yêu cầu của hệ thống quản lý an toàn mà còn là giải pháp quan trọng nhằm phòng ngừa tai nạn và nâng cao hiệu quả sản xuất.

Trong nhiều thập kỷ, các doanh nghiệp khai thác hầm lò trên thế giới chủ yếu sử dụng các phương pháp đánh giá rủi ro truyền thống như Bảng kiểm, Phân tích an toàn công việc, Phân tích dạng sai hỏng và ảnh hưởng, Phân tích cây sự cố, Phân tích cây sự kiện và Ma trận đánh giá rủi ro. Các phương pháp này giúp nhận diện tương đối đầy đủ các mối nguy và hỗ trợ lựa chọn biện

pháp kiểm soát phù hợp đối với từng công việc hoặc từng khu vực sản xuất. Tuy nhiên, việc đánh giá chủ yếu dựa trên kinh nghiệm của chuyên gia, dữ liệu lịch sử và các giả định định tính, do đó khó phản ánh kịp thời sự thay đổi liên tục của điều kiện sản xuất cũng như chưa đáp ứng yêu cầu dự báo nguy cơ theo thời gian thực.

Sự phát triển của chuyển đổi số trong ngành khai khoáng đã tạo ra nguồn dữ liệu ngày càng phong phú từ các hệ thống SCADA, mạng truyền thông công nghiệp, cảm biến khí mỏ, cảm biến thiết bị, hệ thống định vị, Camera AI và Internet vạn vật công nghiệp (IIoT). Khối lượng dữ liệu này tạo điều kiện để áp dụng các phương pháp phân tích dựa trên dữ liệu nhằm nâng cao chất lượng đánh giá rủi ro. Trong đó, Machine Learning (học máy) và Deep Learning (học sâu) được sử dụng để xây dựng các mô hình dự báo nguy cơ từ dữ liệu lịch sử và dữ liệu thời gian thực; Mạng Bayesian cho phép mô hình hóa mối quan hệ nhân quả giữa các yếu tố nguy hiểm và cập nhật xác suất xảy ra tai nạn khi có dữ liệu mới; còn Mô hình ngôn ngữ lớn (Large Language Models - LLM) hỗ trợ khai thác tri thức từ báo cáo tai nạn, quy trình kỹ thuật và tài liệu an toàn nhằm hỗ trợ xây dựng cơ sở tri thức phục vụ đánh giá rủi ro.

Xu hướng hiện nay trên thế giới không phải là thay thế các phương pháp đánh giá rủi ro truyền thống bằng trí tuệ nhân tạo mà là tích hợp dữ liệu từ nhiều nguồn với các mô hình phân tích khác nhau để hình thành các hệ thống đánh giá rủi ro động (Dynamic Risk Assessment). Trong các hệ thống này, SCADA, IIoT, Camera AI và các cơ sở dữ liệu an toàn đóng vai trò là nguồn dữ liệu đầu vào; Machine Learning và Deep Learning thực hiện phân tích, nhận dạng và dự báo; Mạng Bayesian đảm nhiệm suy luận xác suất; và LLM hỗ trợ khai thác và tổ chức tri thức từ dữ liệu phi cấu trúc. Sự kết hợp này giúp nâng cao độ chính xác của đánh giá rủi ro và hỗ trợ hiệu quả cho quá trình ra quyết định trong quản lý an toàn.

Xuất phát từ yêu cầu nâng cao hiệu quả quản lý an toàn và định hướng chuyển đổi số của ngành than Việt Nam, bài báo tập trung tổng quan quá trình phát triển của các phương pháp đánh giá rủi ro trong khai thác than hầm lò; phân tích xu hướng ứng dụng các phương pháp dựa trên xác suất và trí tuệ nhân tạo trong đánh giá rủi ro; đồng thời đánh giá khả năng áp dụng tại các mỏ than hầm lò Việt Nam, làm cơ sở đề xuất định hướng nghiên cứu và triển khai trong giai đoạn tới.

2. Các phương pháp đánh giá rủi ro tai nạn trong khai thác mỏ hầm lò

Cùng với sự phát triển của khoa học công nghệ, các phương pháp đánh giá rủi ro đã trải qua quá trình chuyển đổi từ các phương pháp định tính, bán định lượng dựa trên kinh nghiệm sang các mô hình định lượng dựa trên xác suất và dữ liệu. Xu hướng này phản ánh yêu cầu ngày càng cao về khả năng nhận diện, phân tích và dự báo rủi ro trong điều kiện sản xuất hiện đại, đồng thời tạo nền tảng cho sự hình thành các hệ thống đánh giá rủi ro động dựa trên trí tuệ nhân tạo.

2.1. Các phương pháp định tính và bán định lượng

Các phương pháp đánh giá rủi ro truyền thống trong khai thác than hầm lò chủ yếu dựa trên kinh nghiệm chuyên gia, các quy định kỹ thuật và số liệu thống kê tai nạn để nhận diện mối nguy, đánh giá mức độ rủi ro và đề xuất biện pháp kiểm soát. Đây là những phương pháp đặt nền tảng cho công tác quản lý an toàn và hiện vẫn được sử dụng rộng rãi trong ngành khai khoáng.

Bảng kiểm (Checklist) là phương pháp đơn giản và được áp dụng sớm nhất. Phương pháp

này sử dụng danh mục các tiêu chí hoặc câu hỏi được xây dựng từ tiêu chuẩn kỹ thuật, quy trình an toàn và kinh nghiệm thực tiễn nhằm kiểm tra tình trạng thiết bị, môi trường làm việc và quá trình sản xuất. Checklist có ưu điểm là dễ xây dựng, dễ áp dụng và phù hợp với công tác kiểm tra hiện trường, tuy nhiên khả năng đánh giá còn phụ thuộc nhiều vào nội dung bảng kiểm và kinh nghiệm của người thực hiện.

Phân tích an toàn công việc (Job Safety Analysis - JSA) được sử dụng để phân tích từng bước của một công việc, nhận diện các mối nguy có thể phát sinh và đề xuất biện pháp kiểm soát tương ứng. Trong khai thác than hầm lò, JSA thường được áp dụng đối với các công việc có nguy cơ cao như đào lò, chống giữ, khoan nổ mìn, vận tải và sửa chữa thiết bị.

Phân tích dạng sai hỏng và ảnh hưởng (Failure Mode and Effects Analysis - FMEA) là phương pháp đánh giá rủi ro dựa trên việc phân tích các dạng sai hỏng có thể xảy ra đối với thiết bị hoặc quy trình công nghệ. Mức độ ưu tiên của rủi ro được xác định thông qua Chỉ số ưu tiên rủi ro (Risk Priority Number - RPN), được tính từ ba yếu tố: mức độ nghiêm trọng (Severity), khả năng xảy ra (Occurrence) và khả năng phát hiện (Detection). FMEA được sử dụng rộng rãi trong đánh giá độ tin cậy của thiết bị và lập kế hoạch bảo trì, tuy nhiên việc xác định các tham số của RPN vẫn phụ thuộc nhiều vào đánh giá chủ quan của chuyên gia.

Phân tích cây sự cố (Fault Tree Analysis - FTA) và Phân tích cây sự kiện (Event Tree Analysis - ETA) được sử dụng để phân tích mối quan hệ giữa nguyên nhân và hậu quả của sự cố. FTA phân tích các nguyên nhân dẫn đến một sự cố theo cấu trúc cây logic, trong khi ETA mô tả các kịch bản có thể xảy ra sau một sự kiện khởi đầu. Hai phương pháp này được áp dụng rộng rãi trong đánh giá độ an toàn của các hệ thống thông gió, cung cấp điện, vận tải và phòng chống cháy nổ trong mỏ.

Để đơn giản hóa việc đánh giá mức độ rủi ro trong thực tế sản xuất, Ma trận đánh giá rủi ro (Risk Matrix) được xây dựng trên cơ sở kết hợp giữa khả năng xảy ra và mức độ hậu quả của sự cố.

Nhìn chung, các phương pháp định tính và bán định lượng có ưu điểm là đơn giản, dễ triển khai và phù hợp với điều kiện sản xuất khi dữ liệu còn

hạn chế. Tuy nhiên, do phụ thuộc nhiều vào kinh nghiệm chuyên gia và dữ liệu lịch sử, các phương pháp này chưa phản ánh đầy đủ mối quan hệ giữa các yếu tố nguy hiểm và chưa có khả năng cập nhật mức độ rủi ro theo sự thay đổi của điều kiện sản xuất. Đây cũng là cơ sở thúc đẩy sự phát triển của các phương pháp đánh giá rủi ro dựa trên xác suất, tiêu biểu là Mạng Bayesian.

2.2. Các mô hình xác suất và Mạng Bayesian

Để khắc phục những hạn chế của các phương pháp truyền thống, các nhà nghiên cứu trên thế giới bắt đầu áp dụng các mô hình xác suất trong đánh giá rủi ro. Trong số đó, Mạng Bayesian (Bayesian Network) được xem là một trong những phương pháp hiệu quả nhất nhờ khả năng mô hình hóa mối quan hệ nhân quả giữa các yếu tố nguy hiểm và cập nhật xác suất khi có thông tin mới.

Khác với FTA hay ETA, Mạng Bayesian không chỉ mô tả quan hệ logic giữa các sự kiện mà còn lượng hóa xác suất xảy ra của từng sự kiện và sự phụ thuộc giữa chúng. Khi một thông tin mới được bổ sung, mô hình sẽ tự động cập nhật xác suất của toàn bộ hệ thống theo định lý Bayes. Điều này đặc biệt phù hợp với môi trường khai thác than hầm lò, nơi các điều kiện địa chất, thông gió, khí mỏ và trạng thái thiết bị luôn thay đổi trong quá trình sản xuất.

Trong khoảng mười năm trở lại đây, Mạng Bayesian đã được áp dụng để đánh giá nhiều loại rủi ro trong khai thác mỏ như nguy cơ cháy nổ khí mê-tan, sập đổ lò, bụi nước, hư hỏng thiết bị và đánh giá mức độ an toàn tổng hợp của mỏ. Các nghiên cứu cho thấy việc kết hợp dữ liệu lịch sử với tri thức chuyên gia giúp nâng cao độ chính xác của mô hình và hỗ trợ xác định các yếu tố có ảnh hưởng lớn nhất đến nguy cơ tai nạn. Đây cũng là cơ sở để xây dựng các hệ thống hỗ trợ ra quyết định trong quản lý an toàn.

Một ưu điểm nổi bật của Mạng Bayesian là khả năng tích hợp với các phương pháp khác như FMEA, Logic mờ (Fuzzy Logic), Machine Learning và dữ liệu thời gian thực từ hệ thống SCADA hoặc IIoT. Nhờ đó, việc đánh giá rủi ro không còn là một quá trình thực hiện định kỳ mà có thể được cập nhật liên tục theo diễn biến của điều kiện sản xuất.

2.3. Xu hướng chuyển sang Machine Learning, Deep Learning và LLM

Sự phát triển của chuyển đổi số và công nghệ cảm biến đã tạo điều kiện cho việc áp dụng các phương pháp đánh giá rủi ro dựa trên dữ liệu (Data-driven Risk Assessment) trong khai thác than hầm lò. Dữ liệu từ các hệ thống SCADA, IIoT, cảm biến môi trường, cảm biến thiết bị, hệ thống định vị và Camera AI ngày càng phong phú, cho phép các mô hình trí tuệ nhân tạo nhận diện quy luật, dự báo nguy cơ và hỗ trợ đánh giá rủi ro theo thời gian thực, thay vì chỉ dựa trên kinh nghiệm chuyên gia và số liệu thống kê lịch sử.

Song song với sự phát triển của các mô hình xác suất, các phương pháp học máy (Machine Learning) bắt đầu được nghiên cứu nhằm khai thác dữ liệu lịch sử và dữ liệu thời gian thực phục vụ đánh giá rủi ro. Các thuật toán như Artificial Neural Network (ANN), Support Vector Machine (SVM), Random Forest, XGBoost và Gradient Boosting được sử dụng để dự báo nguy cơ cháy nổ khí mê-tan, sập đổ đường lò, hư hỏng thiết bị và phân loại mức độ rủi ro của khu vực sản xuất. So với các phương pháp truyền thống, Machine Learning có khả năng xử lý đồng thời nhiều yếu tố có quan hệ phi tuyến, nhờ đó nâng cao độ chính xác của mô hình khi khối lượng dữ liệu lớn và điều kiện sản xuất biến động.

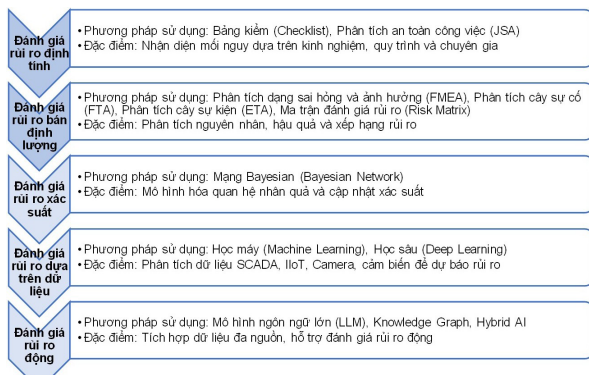
Deep Learning mở rộng khả năng của Machine Learning trong xử lý dữ liệu hình ảnh, chuỗi thời gian và dữ liệu phi cấu trúc. Các mô hình Convolutional Neural Network (CNN) được sử dụng để phân tích hình ảnh từ Camera AI hoặc các thiết bị quan sát hiện trường; các mô hình Long Short-Term Memory (LSTM) và Transformer được sử dụng để dự báo diễn biến các thông số môi trường như nồng độ khí mê-tan, nhiệt độ, lưu lượng gió và trạng thái thiết bị theo thời gian.

Bên cạnh dữ liệu cảm biến, Large Language Models (LLM) mở ra khả năng khai thác tri thức từ các báo cáo điều tra tai nạn, quy trình kỹ thuật, tiêu chuẩn an toàn và các tài liệu chuyên ngành. LLM có thể tự động trích xuất các mối nguy, nguyên nhân, điều kiện phát sinh tai nạn và biện pháp kiểm soát, từ đó hỗ trợ xây dựng cơ sở tri thức và mạng quan hệ nhân quả phục vụ đánh giá rủi ro. Nghiên cứu của Du và cộng sự (2025) đã kết hợp LLM, thuật toán Apriori và Mạng Bayesian để phân tích hơn 700 báo cáo tai nạn mỏ than tại Trung

Quốc, qua đó xây dựng mạng quan hệ nhân quả giữa các yếu tố nguy hiểm và hỗ trợ đánh giá xác suất xảy ra tai nạn.

Nhìn chung, xu hướng phát triển của các phương pháp đánh giá rủi ro hiện nay không phải thay thế các phương pháp truyền thống mà là tích hợp Machine Learning, Deep Learning, LLM với Mạng Bayesian để xây dựng các hệ thống đánh giá rủi ro động (Dynamic Risk Assessment). Trong các hệ thống này, dữ liệu từ SCADA, IIoT, Camera AI và cơ sở dữ liệu tai nạn được sử dụng làm đầu vào để hỗ trợ nhận diện nguy cơ, dự báo rủi ro và ra quyết định trong quản lý an toàn.

Từ các phương pháp định tính ban đầu, đánh giá rủi ro đã phát triển sang các mô hình xác suất và hiện nay là các hệ thống kết hợp Machine Learning, Deep Learning, LLM và Mạng Bayesian nhằm xây dựng hệ thống đánh giá rủi ro động có khả năng nhận diện, dự báo và cảnh báo sớm tai nạn trong khai thác than hầm lò (Hình 1).



Hình 1. Quá trình phát triển các phương pháp đánh giá rủi ro

2.4. Ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong đánh giá rủi ro tai nạn lao động mỏ hầm lò

Trong những năm gần đây, nhiều nghiên cứu đã ứng dụng trí tuệ nhân tạo nhằm nâng cao chất lượng đánh giá rủi ro trong khai thác than hầm lò. Các nghiên cứu này chủ yếu tập trung vào việc xây dựng mô hình dự báo nguy cơ dựa trên dữ liệu cảm biến, dữ liệu vận hành và dữ liệu tai nạn. Thay vì thay thế vai trò của chuyên gia an toàn, AI được sử dụng như một công cụ hỗ trợ giúp xử lý khối lượng dữ liệu lớn, nhận diện các quy luật tiềm ẩn và cập nhật mức độ rủi ro khi điều kiện sản xuất thay đổi.

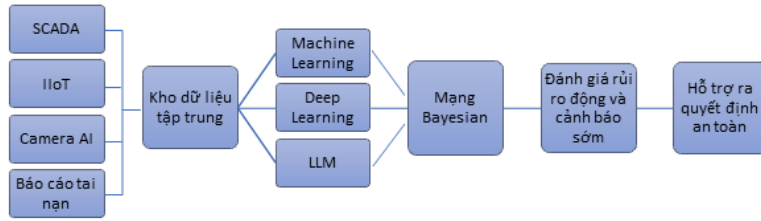
Một trong những nghiên cứu tiêu biểu là mô hình

PSO-BP Neural Network của Mulumba và cộng sự (2023). Nghiên cứu sử dụng dữ liệu thu thập tại mỏ than Guotun (Tập đoàn Shandong Energy, Trung Quốc) để đánh giá các yếu tố ảnh hưởng đến an toàn sản xuất. Mô hình kết hợp thuật toán tối ưu bầy đàn (Particle Swarm Optimization - PSO) với mạng nơ-ron lan truyền ngược (Back Propagation Neural Network - BP) nhằm nâng cao khả năng học và hội tụ của mô hình. Kết quả cho thấy việc kết hợp dữ liệu về con người, thiết bị, môi trường và quản lý giúp nâng cao độ chính xác của đánh giá rủi ro so với các phương pháp truyền thống.

Song song với các nghiên cứu về Machine Learning, nhiều mỏ thông minh tại Trung Quốc đã triển khai hệ thống SCADA, IIoT, Camera AI và các nền tảng phân tích dữ liệu phục vụ quản lý sản xuất. Các hệ thống này chủ yếu thực hiện chức năng thu thập dữ liệu thời gian thực về môi trường, thiết bị và hoạt động của người lao động. Trong bối cảnh đánh giá rủi ro, các dữ liệu này đóng vai trò là nguồn dữ liệu đầu vào cho các mô hình Machine Learning, Deep Learning hoặc Mạng Bayesian nhằm cập nhật trạng thái rủi ro của hệ thống. Vì vậy, cần phân biệt rõ giữa hệ thống giám sát an toàn (Safety Monitoring) và hệ thống đánh giá rủi ro (Risk Assessment). Hệ thống giám sát chỉ cung cấp dữ liệu hoặc cảnh báo tức thời, trong khi hệ thống đánh giá rủi ro thực hiện phân tích xác suất, dự báo nguy cơ và hỗ trợ ra quyết định.

Một hướng nghiên cứu mới là tích hợp Large Language Models với Mạng Bayesian để khai thác tri thức từ các báo cáo điều tra tai nạn, quy trình kỹ thuật và tiêu chuẩn an toàn. LLM có khả năng tự động trích xuất nguyên nhân trực tiếp, nguyên nhân gián tiếp, điều kiện phát sinh tai nạn và các biện pháp kiểm soát, từ đó hỗ trợ xây dựng mạng quan hệ nhân quả và cập nhật xác suất rủi ro. Mặc dù các nghiên cứu ban đầu cho thấy nhiều triển vọng, việc ứng dụng LLM trong đánh giá rủi ro mỏ than hiện vẫn chủ yếu ở mức nghiên cứu và chưa được triển khai trong sản xuất.

Xu hướng phát triển hiện nay là xây dựng các hệ thống tổng hợp (hình 2), trong đó nhiều công nghệ được tích hợp để tận dụng ưu điểm của từng phương pháp. Dữ liệu từ SCADA, IIoT, Camera AI và cơ sở dữ liệu tai nạn được tập trung trong một kho dữ liệu thống nhất; Machine Learning và Deep Learning thực hiện nhận dạng, phân loại và dự báo nguy cơ; Mạng Bayesian thực hiện suy luận xác



Hình 2. Kiến trúc hệ thống đánh giá rủi ro mỏ than hầm lò

Bảng 1. Tổng hợp các phương pháp đánh giá rủi ro trong khai thác hầm lò

Stt	Phương pháp	Mức độ ứng dụng	Chức năng chính	Mục đích sử dụng trong khai thác mỏ hầm lò	Đơn vị, tổ chức áp dụng hoặc nghiên cứu
1	Bảng kiểm (Checklist)	Đã áp dụng rộng rãi	Nhận diện mối nguy tại nơi làm việc	Kiểm tra gương lò, chống giữ, thông gió, khí CH ₄ , thiết bị trước ca sản xuất	TKV (Việt Nam); Anglo American (Nam Phi); MSHA
2	Phân tích an toàn công việc (JSA)	Đã áp dụng rộng rãi	Nhận diện mối nguy theo từng bước công việc và đề xuất biện pháp kiểm soát	Đào lò, chống lò, khoan nổ mìn, vận tải, sửa chữa thiết bị	TKV; MSHA và NIOSH (Hoa Kỳ); Anglo American
3	Phân tích dạng sai hỏng và ảnh hưởng (FMEA)	Đã áp dụng	Phân tích dạng hư hỏng và đánh giá mức độ rủi ro của thiết bị, hệ thống	Quạt gió, bơm thoát nước, băng tải, tời trục, máy đào lò	Các mỏ than Trung Quốc, Ba Lan (đánh giá độ tin cậy thiết bị)
4	Phân tích cây sự cố (FTA)	Đã áp dụng	Phân tích nguyên nhân tai nạn	Cháy nổ khí CH ₄ , bụi nước, sập đổ đường lò, sự cố điện	NIOSH (Hoa Kỳ); các mỏ than Trung Quốc
5	Phân tích cây sự kiện (ETA)	Đã áp dụng	Phân tích diễn biến và hậu quả sau sự cố	Cháy, nổ khí, bụi nước, mất điện, mất thông gió	Các nghiên cứu an toàn mỏ tại Hoa Kỳ, Úc và Trung Quốc
6	Ma trận đánh giá rủi ro (Risk Matrix)	Đã áp dụng rộng rãi	Đánh giá và xếp hạng mức độ rủi ro	Đánh giá rủi ro trước thi công, phân loại mức rủi ro công việc	TKV; Anglo American; Glencore;
7	Mạng Bayesian (Bayesian Network)	Đã được nghiên cứu và thử nghiệm	Phân tích quan hệ nhân quả, tính toán xác suất và cập nhật rủi ro động	Đánh giá nguy cơ cháy nổ khí, sập đổ đường lò, tai nạn thiết bị	Các nghiên cứu tại Trung Quốc, Ba Lan, Iran; Khakzad và cộng sự
8	Học máy (Machine Learning)	Đã được nghiên cứu và thử nghiệm	Dự báo nguy cơ từ dữ liệu lịch sử và thời gian thực	Dự báo nồng độ CH ₄ , hư hỏng thiết bị, phân loại mức rủi ro	Các nghiên cứu tại China University of Mining and Technology và một số mỏ than thông minh ở Trung Quốc.
9	Học sâu (Deep Learning)	Đã được nghiên cứu và thử nghiệm	Phân tích dữ liệu hình ảnh, chuỗi thời gian và dữ liệu cảm biến phục vụ đánh giá rủi ro	Dự báo CH ₄ , nhận dạng trạng thái thiết bị, phân tích dữ liệu Camera AI làm đầu vào đánh giá rủi ro	Các nghiên cứu tại China University of Mining and Technology và một số mỏ than thông minh ở Trung Quốc.



Stt	Phương pháp	Mức độ ứng dụng	Chức năng chính	Mục đích sử dụng trong khai thác mỏ hầm lò	Đơn vị, tổ chức áp dụng hoặc nghiên cứu
10	Mô hình ngôn ngữ lớn (LLM)	Đang nghiên cứu	Khai thác tri thức từ báo cáo tai nạn, quy trình kỹ thuật và tài liệu an toàn để hỗ trợ đánh giá rủi ro	Trích xuất mối nguy, nguyên nhân và biện pháp phòng ngừa; xây dựng cơ sở tri thức phục vụ Mạng Bayesian	Du và cộng sự (2025), phân tích hơn 700 báo cáo tai nạn mỏ than tại Trung Quốc; chưa triển khai tại mỏ

suất; còn LLM hỗ trợ khai thác tri thức từ dữ liệu phi cấu trúc. Sự kết hợp này tạo thành hệ thống đánh giá rủi ro động có khả năng cập nhật liên tục theo diễn biến của điều kiện sản xuất, hỗ trợ người quản lý lựa chọn biện pháp kiểm soát phù hợp và nâng cao hiệu quả quản lý an toàn trong khai thác than hầm lò. Tổng hợp các phương pháp đánh giá rủi ro trong khai thác hầm lò đã nghiên cứu, áp dụng trên thế giới xem bảng 1.

3. Công tác đánh giá rủi ro tai nạn lao động tại các mỏ than hầm lò Việt Nam

Công tác đánh giá rủi ro tai nạn lao động tại các mỏ hầm lò Việt Nam ngày càng được quan tâm và từng bước trở thành một nội dung quan trọng trong hệ thống quản lý an toàn của Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (TKV). Các văn bản chỉ đạo, thông báo kết luận về an toàn vệ sinh lao động của Tập đoàn đều yêu cầu các đơn vị sản xuất phải: (1) Xây dựng hệ thống quản lý rủi ro phù hợp với đặc thù của đơn vị và được rà soát, bổ sung hằng năm; các đơn vị sản xuất than thực hiện nhận diện nguy cơ, rủi ro hằng tháng đối với từng công việc, từng vị trí làm việc và tăng cường phổ biến, quán triệt tới người lao động; triển khai nhận diện nguy cơ, rủi ro và biện pháp loại trừ dưới dạng trả lời các phương án trắc nghiệm có thường một cách thường xuyên nhằm thu hút sự quan tâm và tạo hiệu ứng tích cực của người lao động (theo Chương trình hành động số 48/CTr-TKV ngày 05/4/2021 của TKV về triển khai Nghị quyết số 08-NQ/ĐU ngày 25/02/2021 của Đảng ủy Tập đoàn). (2) Nhật lệnh sản xuất của Quản đốc, Phó Quản đốc phải giao rõ người, rõ vị trí công việc, rõ khối lượng công việc và kèm theo nội dung nhận diện nguy cơ, rủi ro, biện pháp ngăn ngừa sự cố, tai nạn. (3) Vào đầu ca sản xuất phải phổ biến cho công nhân tại nhà giao ca (ngắn gọn, dễ hiểu) về nhận diện nguy cơ, rủi ro và các biện pháp phòng ngừa sự cố, tai nạn đối với từng công việc cụ thể. (4) Hằng quý tổ chức huấn luyện tăng cường cho công nhân và cán bộ về nhận diện

nguy cơ, rủi ro, các biện pháp ngăn ngừa sự cố, tai nạn đối với từng công việc cụ thể theo Công văn số 2911/TKV-AT ngày 20/5/2024.

Bên cạnh hoạt động quản lý của doanh nghiệp, công tác nghiên cứu về đánh giá rủi ro trong khai thác than hầm lò cũng sớm được triển khai. Từ năm 2009, nhiều đề tài nghiên cứu đã tập trung phân tích nguyên nhân tai nạn lao động, xây dựng phương pháp đánh giá rủi ro và đề xuất các giải pháp kỹ thuật, công nghệ nhằm giảm thiểu tai nạn. Giai đoạn 2013–2017, đã xây dựng và triển khai thí điểm hệ thống quản lý an toàn, quản lý rủi ro và kế hoạch ứng cứu khẩn cấp tại một số đơn vị sản xuất theo quy định của Bộ Công Thương. Trên cơ sở kết quả nghiên cứu, phương pháp đánh giá rủi ro bằng ma trận 5×5 đã được hoàn thiện và áp dụng trong nhiều hoạt động đánh giá an toàn, tạo nền tảng cho việc chuẩn hóa quy trình nhận diện mối nguy trong khai thác than hầm lò.

Song song với đó, nhiều mỏ than hầm lò của TKV đã đầu tư các hệ thống tự động hóa như quan trắc khí mỏ, điều khiển băng tải, trạm quạt gió, trạm bơm, và trung tâm giám sát điều hành sản xuất. Các hệ thống này liên tục thu thập dữ liệu về môi trường mỏ, trạng thái thiết bị và quá trình sản xuất. Tuy nhiên, phần lớn các nguồn dữ liệu hiện vẫn được sử dụng phục vụ điều hành sản xuất và giám sát an toàn. Dữ liệu còn phân tán giữa các hệ thống, chưa được chuẩn hóa đầy đủ và chưa hình thành cơ sở dữ liệu tập trung phục vụ phân tích tổng hợp.

Từ thực trạng trên có thể thấy, các mỏ than hầm lò thuộc TKV đã có những tiền đề để phát triển các hệ thống đánh giá rủi ro dựa trên dữ liệu, bao gồm hệ thống quan trắc môi trường, sản xuất, cơ sở dữ liệu an toàn và kinh nghiệm trong công tác đánh giá rủi ro. Tuy nhiên, để triển khai các mô hình đánh giá rủi ro động, cần tiếp tục chuẩn hóa dữ liệu, xây dựng kho dữ liệu tập trung và phát triển các mô hình phân tích phù hợp với điều

kiện khai thác than hầm lò ở Việt Nam. Trong giai đoạn đầu, hướng nghiên cứu khả thi là tích hợp dữ liệu từ cơ sở dữ liệu tai nạn và dữ liệu quản lý thiết bị với các mô hình Machine Learning và Mạng Bayesian nhằm hỗ trợ dự báo nguy cơ và đánh giá rủi ro theo thời gian thực. Trên cơ sở đó, có thể từng bước nghiên cứu ứng dụng Deep Learning và Large Language Models để khai thác dữ liệu hình ảnh và dữ liệu văn bản, hướng tới xây dựng hệ thống đánh giá rủi ro động phục vụ quản lý an toàn trong khai thác than hầm lò.

4. Kết luận

Đánh giá rủi ro trong khai thác than hầm lò đã có sự phát triển từ các phương pháp định tính và bán định lượng dựa trên kinh nghiệm như Checklist, JSA, FMEA, FTA, ETA và ma trận đánh giá rủi ro đến các mô hình định lượng dựa trên xác suất và dữ liệu. Trong đó, Mạng Bayesian đánh dấu bước chuyển từ đánh giá rủi ro tĩnh sang đánh giá rủi ro dựa trên suy luận xác suất, tạo nền tảng cho việc tích hợp các công nghệ trí tuệ nhân tạo trong quản lý an toàn.

Các nghiên cứu quốc tế cho thấy Machine Learning, Deep Learning và Large Language Models đang mở ra hướng phát triển mới cho công tác đánh giá rủi ro. Machine Learning được sử dụng để xây dựng các mô hình dự báo nguy

cơ từ dữ liệu lịch sử và dữ liệu thời gian thực; Deep Learning hỗ trợ khai thác dữ liệu hình ảnh và chuỗi thời gian nhằm nâng cao độ chính xác của mô hình đánh giá rủi ro; Large Language Models cho phép khai thác tri thức từ báo cáo tai nạn, quy trình kỹ thuật và các tài liệu an toàn. Khi được kết hợp với Mạng Bayesian, các công nghệ này tạo cơ sở cho việc xây dựng các hệ thống đánh giá rủi ro động có khả năng cập nhật mức độ rủi ro theo sự thay đổi của điều kiện sản xuất.

Đối với Việt Nam, hướng phát triển phù hợp trong giai đoạn tới là kế thừa các phương pháp đánh giá rủi ro hiện có, đồng thời nghiên cứu từng bước tích hợp dữ liệu từ cơ sở dữ liệu tai nạn và các hệ thống quản lý với Machine Learning, Deep Learning, Mạng Bayesian và Large Language Models để xây dựng hệ thống đánh giá rủi ro động, phù hợp với điều kiện kỹ thuật và lộ trình chuyển đổi số của ngành than Việt Nam.

Tài liệu tham khảo:

[1] Khakzad, N., Khan, F., Amyotte, P. *Safety analysis in process facilities: Comparison of fault tree and Bayesian network approaches*. Reliability Engineering & System Safety, 2011.

[2] Du, G., Chen, A. *Coal Mine Accident Risk Analysis with Large Language Models and Bayesian Networks*. Sustainability, 2025.

Development trends in occupational accident risk assessment in underground mining

MSc. Dang Hong Thang, MSc. Nguyen Van Bac and Others

Vinacomin - Institute of Mining Science and Technology

Abstract:

Risk assessment is one of the core components of safety management in underground coal mining, aiming to identify hazards, determine risk levels, and propose appropriate control measures before accidents occur. Along with the development of science and technology and the digital transformation process, risk assessment methods have shifted from experience-based qualitative and semi-quantitative methods to quantitative models based on probability and data. This paper reviews the development of risk assessment methods in underground coal mining, from traditional methods such as Checklists, Job Safety Analysis (JSA), Failure Mode and Effects Analysis (FMEA), Fault Tree Analysis (FTA), Event Tree Analysis (ETA), and Risk Matrix to Bayesian Networks, Machine Learning (ML), Deep Learning (DL), and Large Language Models (LLM). The current status of risk assessment is summarized, and the applicability of AI technologies to risk assessment at Vietnamese underground coal mines is considered.

ĐỀ XUẤT MÔ HÌNH TUẦN HOÀN VÀ TÁI SỬ DỤNG NƯỚC THẢI MỎ TẠI CÔNG TY THAN THỐNG NHẤT - TKV

ThS. Bùi Minh Đức, TS. Lê Bình Dương
Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin

Biên tập: TS. Phan Văn Việt

Tóm tắt:

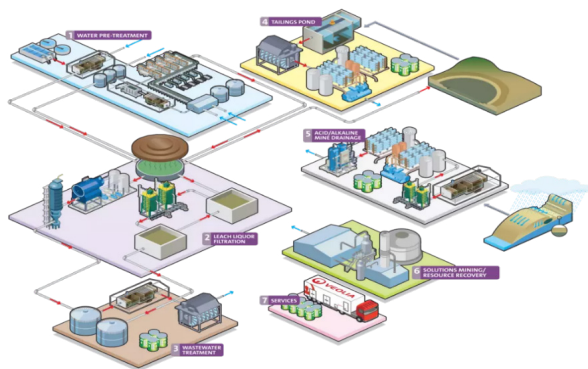
Khai thác than là ngành công nghiệp sử dụng lượng nước lớn, đồng thời phát sinh lượng nước thải đáng kể cần được xử lý trước khi xả ra môi trường. Trong bối cảnh tài nguyên nước ngày càng chịu áp lực do nhu cầu sử dụng gia tăng và nguy cơ ô nhiễm, việc tái sử dụng nước sau xử lý trong khai thác than là giải pháp cần được nghiên cứu nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên. Nghiên cứu này đánh giá hiện trạng phát sinh, xử lý nước thải tại Công ty Than Thống Nhất - TKV thông qua khảo sát thực địa, thu thập số liệu vận hành và phân tích kết quả quan trắc giai đoạn 2024 - 2025. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đề xuất mô hình tuần hoàn nước bán khép kín, sử dụng nước sau xử lý cho các mục đích như dập bụi, vệ sinh đường lò, làm mát thiết bị và phòng cháy chữa cháy.

1. Mở đầu

Trong những năm gần đây, cùng với sự gia tăng nhu cầu năng lượng và nguyên liệu phục vụ phát triển kinh tế, hoạt động khai thác khoáng sản nói chung và khai thác than hầm lò nói riêng ngày càng phát triển theo hướng khai thác xuống sâu. Điều này làm gia tăng đáng kể lượng nước ngầm xâm nhập vào hệ thống đường lò, dẫn đến phát sinh lượng lớn nước thải mỏ cần được bơm thoát và xử lý trước khi thải ra môi trường. Đặc trưng của nước thải mỏ than hầm lò là hàm lượng chất rắn lơ lửng cao, giàu sắt, mangan và có thể chứa các kim loại hòa tan khác, gây ảnh hưởng đến chất lượng nguồn tiếp nhận nếu không được xử lý phù hợp.

Trên thế giới, nhiều quốc gia có ngành khai khoáng phát triển như Úc, Đức và Trung Quốc đã chuyển từ mô hình xử lý nước thải đơn thuần sang quản lý tổng hợp tài nguyên nước, trong đó nước thải sau xử lý được xem như một nguồn tài nguyên thứ cấp (Hình 1). Các mô hình này tập trung vào cân bằng nước toàn mỏ, phân loại nước theo mục đích sử dụng, tuần hoàn nội bộ và giảm thiểu lượng nước xả thải, qua đó góp phần nâng cao hiệu quả khai thác và giảm chi phí sản xuất [5] [6].

Tại Việt Nam, Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam đã đầu tư nhiều công trình xử lý nước thải mỏ với công nghệ trung hòa, keo tụ, lắng và lọc mangan. Một số đơn vị đã từng bước tận dụng nước sau xử lý cho hoạt động sản xuất như dập bụi, sàng tuyển than và vệ sinh thiết



Hình 1. Mô hình tuần hoàn và tái sử dụng nước trong khai thác mỏ [5]

bị. Tuy nhiên, việc tái sử dụng chủ yếu vẫn mang tính cục bộ, chưa được thiết kế theo mô hình tuần hoàn đồng bộ dựa trên cân bằng nước và nhu cầu sử dụng của toàn hệ thống khai thác [4]

Công ty Than Thống Nhất - TKV là một trong những đơn vị sản xuất than hầm lò có lưu lượng nước thải lớn tại khu vực Cẩm Phả. Nguồn nước sau xử lý hiện chủ yếu được xả ra môi trường trong khi nhu cầu sử dụng nước cho dập bụi, vệ sinh đường lò, làm mát thiết bị và các hoạt động phụ trợ vẫn phải sử dụng nguồn nước cấp bổ sung. Điều này cho thấy tiềm năng lớn trong việc xây dựng mô hình tuần hoàn nước nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên và giảm chi phí khai thác [2]

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm đánh giá hiện trạng phát sinh, thu gom và xử lý nước thải

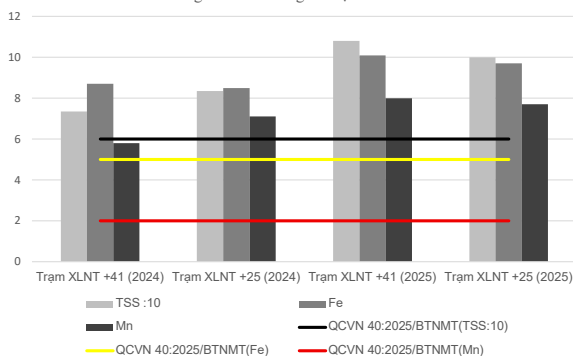
tại Công ty Than Thống Nhất - TKV, đồng thời đề xuất mô hình tuần hoàn - tái sử dụng nước phù hợp với điều kiện thực tế của mỏ. Kết quả nghiên cứu có thể làm cơ sở tham khảo cho việc áp dụng mô hình quản lý nước theo hướng kinh tế tuần hoàn tại các mỏ than hầm lò khác của Việt Nam.

2. Hiện trạng quản lý, công nghệ xử lý nước thải mỏ than hầm lò

2.1. Đánh giá đặc trưng nước thải mỏ than hầm lò

Kết quả quan trắc chất lượng nước thải mỏ tại Công ty Than Thống Nhất - TKV trong những năm gần đây cho thấy nước thải mang các đặc trưng điển hình của nước thải khai thác than hầm lò, với sự hiện diện của các thông số ô nhiễm chủ yếu như chất rắn lơ lửng (TSS), sắt (Fe), mangan (Mn) và các chỉ tiêu hóa lý khác (Hình 2). Các thông số này có sự biến động nhất định theo thời gian, phụ thuộc vào điều kiện khai thác, lưu lượng nước thải và yếu tố mùa vụ.

Trung bình đầu vào giai đoạn 2024-2025



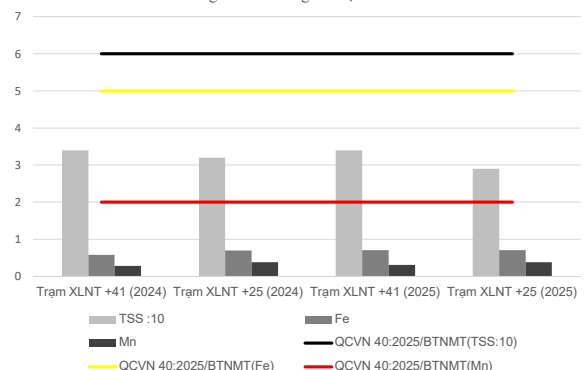
Hình 2. Biểu đồ biểu thị các thông số đặc trưng nước thải đầu vào [2] [3]

Từ kết quả quan trắc chất lượng nước thải đầu vào trong giai đoạn 2024 - 2025, có thể thấy rằng nước thải mỏ tại Công ty than Thống Nhất có các thông số ô nhiễm chính là TSS, Fe và Mn. Các thông số này không chỉ có giá trị cao mà còn có xu hướng gia tăng và biến động theo mùa, đặc biệt trong điều kiện thời tiết mưa lớn. Trong đó, Mn là thông số khó kiểm soát nhất, đóng vai trò là yếu tố hạn chế trong việc nâng cao hiệu quả xử lý và tái sử dụng nước thải mỏ. Do đó, công ty đã thực hiện xử lý nước thải để giảm thiểu các chất gây ô nhiễm môi trường.

Từ kết quả quan trắc chất lượng nước thải sau xử lý tại hai trạm xử lý nước thải trong giai đoạn 2024 - 2025 cho thấy hệ thống xử lý nước thải mỏ đã phát huy hiệu quả trong việc giảm nồng độ các

chất ô nhiễm đặc trưng (Hình 3). So sánh giữa nước thải đầu vào và nước thải đầu ra cho thấy hầu hết các thông số ô nhiễm đều giảm một cách đáng kể, đạt quy chuẩn môi trường và phản ánh tính ổn định trong vận hành của các trạm xử lý nước thải.

Trung bình đầu ra giai đoạn 2024-2025



Hình 3. Biểu đồ biểu thị các thông số đặc trưng nước thải đầu ra [2] [3]

Chất lượng nước sau xử lý hiện nay hoàn toàn đáp ứng yêu cầu tái sử dụng cho hầu hết các mục đích sản xuất tại mỏ như đập bụi, tưới đường, rửa thiết bị, cấp nước kỹ thuật và nước chữa cháy. Nguồn nước sau xử lý có tiềm năng đáp ứng toàn bộ nhu cầu nước sản xuất của mỏ, là cơ sở thuận lợi để mở rộng hệ thống tuần hoàn, tái sử dụng nước theo hướng giảm sử dụng nước sạch và nâng cao hiệu quả quản lý tài nguyên nước trong hoạt động khai thác than hầm lò.

2.2. Hiện trạng các trạm xử lý nước thải mỏ

Trong quá trình khai thác than hầm lò, có một lượng lớn nước thải phát sinh từ các hoạt động sản xuất, bao gồm nước ngâm thấm vào đường lò, nước phục vụ khai thác và nước rửa trôi đất đá. Và để khai thác được than thì cần thực hiện bơm thoát nước ra khỏi khu vực, từ đó xuất hiện nước thải mỏ. Nước thải sau khi bơm thoát nước sẽ được đưa về các hầm bơm, sau đó được dẫn về các trạm xử lý nước thải tập trung.

Trạm xử lý nước thải mỏ +41 khu Lộ Trí (Hình 4) công suất xử lý 300 m³/h do Công ty Môi trường - TKV quản lý, vận hành đáp ứng QCVN 40:2011/BTNMT (cột B) - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nước thải công nghiệp, và được dẫn xả ra suối Ngô Quyền theo phương thức tự chảy, xả mặt ven bờ (Theo giấy phép số 814/GP-BTNMT ngày 14/4/2017 với lưu lượng xả thải tối đa 7.200 m³/ngày đêm). Chất lượng nước sau xử lý được



Hình 4. Trạm xử lý nước thải mỏ khu +41 Lộ Trĩ



Hình 5. Trạm xử lý nước thải mỏ khu +25 Núi Nhện

Cơ sở quan trắc định kỳ hàng năm (3 tháng/lần). Ngoài ra, Công ty Môi trường cũng đã đầu tư Trạm quan trắc tự động, liên tục để theo dõi chất lượng nước thải trước khi xả ra môi trường tuân thủ Nghị định 08/2022/NĐ-CP ngày 10/01/2022 với 5 thông số lưu lượng, pH, nhiệt độ, TSS và COD [1]

Trạm xử lý nước thải mỏ +25 Núi Nhện (Hình 5) công suất xử lý 1.200 m³/h và một trạm công suất 600 m³/h do Công ty Môi trường - TKV quản lý, vận hành đáp ứng QCVN 40:2011/BTNMT (cột B) - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về nước thải công nghiệp và được dẫn xả ra suối Cầu 2 theo phương thức tự chảy, xả mặt ven bờ (Theo Giấy phép môi trường số 327/GPMT-BTNMT ngày 23/8/2024 với lưu lượng xả thải lớn nhất 43.200 m³/ngày đêm). Chất lượng nước sau xử lý được Cơ sở quan trắc định kỳ hàng năm (3 tháng/lần). Ngoài ra, Công ty Môi trường cũng đã đầu tư Trạm quan trắc tự động, liên tục để theo dõi chất lượng nước thải trước khi xả ra môi trường tuân thủ Nghị định 08/2022/NĐ-CP ngày 10/01/2022 với 5 thông số lưu lượng, pH, nhiệt độ, TSS và COD [1]

Từ thực tế vận hành và kết quả quan trắc chất lượng nước thải hầm lò, có thể nhận thấy công

nghệ hiện tại vẫn tồn tại một số hạn chế. Hiệu quả xử lý đối với mangan chưa thực sự ổn định, do đây là nguyên tố khó oxy hóa và kết tủa trong điều kiện thông thường, đòi hỏi phải kiểm soát chặt chẽ các yếu tố như pH và hàm lượng oxy hòa tan. Ngoài ra, hệ thống xử lý còn phụ thuộc nhiều vào việc sử dụng hóa chất trong các công đoạn keo tụ và điều chỉnh pH, dẫn đến chi phí vận hành tương đối cao, đặc biệt trong điều kiện lưu lượng nước thải biến động theo mùa. Trong các thời điểm mưa lớn, lưu lượng nước tăng đột ngột có thể làm giảm thời gian lưu trong các bể xử lý, ảnh hưởng đến hiệu quả lắng và khả năng tách cặn của hệ thống. Bên cạnh đó, mặc dù nước thải sau xử lý đã đạt quy chuẩn môi trường, nhưng việc tái sử dụng nước chưa được khai thác hiệu quả, chủ yếu vẫn xả ra nguồn tiếp nhận, dẫn đến chưa tận dụng được nguồn tài nguyên nước.

2.3. Khả năng tuần hoàn - tái sử dụng nước phục vụ cho hoạt động khai thác mỏ

Hiện nay, nguồn cung cấp nước cơ bản vẫn được giữ nguyên theo Quyết định số 2985/QĐ-TKV ngày 22/12/2009, được lấy từ hệ thống cấp nước thành phố Cẩm Phả. Nguồn nước này đáp

ứng đủ nhu cầu sử dụng nước cho mỏ trong giai đoạn trước mắt cũng như về lâu dài. Từ nhu cầu sử dụng nước của Công ty, có thể thấy tổng lượng nước cần thiết cho sinh hoạt và sản xuất khoảng 513 m³/ngày đêm, trong đó nhu cầu nước sản xuất khoảng 210 m³/ngày đêm, chiếm tỷ trọng đáng kể. Nếu tái sử dụng nước thải sau xử lý cho các mục đích sản xuất thì có thể giảm thiểu được 30 ÷ 40% lượng nước cấp mới từ hệ thống cấp nước.

Trong khi đó, các mục đích sử dụng nước trong sản xuất chủ yếu là các hoạt động vệ sinh đường lò, cấp nước cho máy khoan, rửa thiết bị và tưới đường đập bụi trên mặt bằng. Đây là những mục đích không yêu cầu chất lượng nước ở mức cao như nước sinh hoạt, do đó nguồn nước thải hầm lò sau xử lý hoàn toàn phù hợp để tái sử dụng. Giải pháp này không chỉ góp phần đảm bảo tính chủ động trong cấp nước phục vụ sản xuất mà còn tận dụng hiệu quả nguồn nước thải sau xử lý, vốn chủ yếu xả ra môi trường. Đặc biệt, đối với các nhu cầu như tưới bụi trong lò (10 ÷ 15 m³/ngày đêm) và tưới đường trên mặt bằng (30 m³/ngày đêm), việc tái sử dụng nguồn nước này là hoàn toàn phù hợp và có ý nghĩa thực tiễn cao. Xét trên tổng thể nhu cầu sử dụng nước của mỏ, việc tái sử dụng nước thải cho các hoạt động sản xuất là vô cùng thực tiễn, có thể thay thế được phần lớn nguồn nước cấp mới từ hệ thống nước của địa phương [1] [2]

3. Đề xuất mô hình tuần hoàn nước

Trên cơ sở kết quả đánh giá hiện trạng và phân tích cân bằng nước, nghiên cứu đề xuất mô hình tuần hoàn nước bán khép kín (Hình 6) cho Công ty Than Thống Nhất - TKV. Nguyên tắc xây dựng

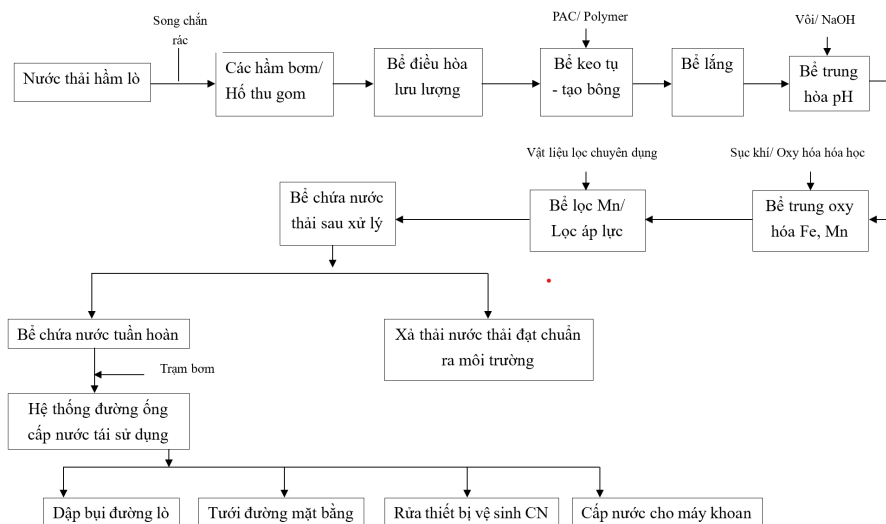
mô hình gồm (1) Ưu tiên sử dụng nước sau xử lý cho các mục đích không yêu cầu chất lượng nước sinh hoạt; (2) Hạn chế tối đa lượng nước sạch cấp mới; (3) Bảo đảm chất lượng nước tái sử dụng phù hợp từng mục đích; (4) Không làm ảnh hưởng đến an toàn khai thác; (5) Giảm tối đa lượng nước xả ra môi trường.

Mô hình được xây dựng theo hướng tích hợp giữa hệ thống xử lý nước thải hiện hữu với mạng lưới cấp nước kỹ thuật trong mỏ, bảo đảm khả năng vận hành ổn định, dễ mở rộng và phù hợp với điều kiện thực tế của doanh nghiệp.

3.1. Giải pháp kỹ thuật

Trong quy trình trên, nước thải sau khi xử lý đạt yêu cầu sẽ không xả hoàn toàn ra môi trường mà được dẫn về bể chứa trung gian phục vụ tuần hoàn. Tại đây, nước được kiểm soát các chỉ tiêu đặc trưng như TSS, Fe, Mn trước khi cấp trở lại cho các khu vực sử dụng. Đối với các nhu cầu yêu cầu hạn chế cặn lơ lửng như hệ thống phun sương đập bụi, nước sau xử lý sẽ được bổ sung công đoạn lọc tinh nhằm hạn chế tắc nghẽn béc phun và đường ống. Phần nước không sử dụng hết tiếp tục được xả ra môi trường theo quy định hiện hành.

Để nâng cao hiệu quả xử lý và đảm bảo khả năng tái sử dụng ổn định, cần tối ưu hóa công nghệ xử lý nước thải hiện có, đặc biệt đối với các thông số đặc trưng như Fe và Mn. Trong đó, việc nâng cao hiệu quả quá trình oxy hóa và kiểm soát pH tại các công đoạn xử lý là yếu tố then chốt nhằm tăng khả năng kết tủa và loại bỏ mangan ổn định. Đồng thời, cần xem xét cải tiến bể lọc mangan thông



Hình 6. Sơ đồ đề xuất hệ thống tuần hoàn nước bán khép kín

qua việc sử dụng vật liệu lọc chuyên dụng có khả năng hấp phụ và oxy hóa mangan tốt hơn, kết hợp với việc điều chỉnh chế độ vận hành, tốc độ lọc và chu kỳ rửa lọc phù hợp nhằm nâng cao hiệu quả xử lý lâu dài.

Bên cạnh đó, cần nghiên cứu bổ sung bể điều hòa lưu lượng nhằm hạn chế ảnh hưởng của sự biến động lưu lượng và chất lượng nước thải theo mùa, đặc biệt trong thời điểm mưa lớn khi lưu lượng nước mỏ tăng cao và hàm lượng cặn biến động mạnh. Việc bổ sung bể điều hòa không chỉ giúp ổn định tải lượng cho hệ thống xử lý mà còn góp phần nâng cao hiệu quả của các công đoạn keo tụ, lắng và lọc phía sau.

Sau xử lý, nước đạt yêu cầu sẽ được dẫn về bể chứa trung gian phục vụ tuần hoàn. Việc xây dựng thêm các bể chứa trung gian với dung tích phù hợp có vai trò quan trọng trong việc điều hòa giữa nguồn nước sau xử lý và nhu cầu sử dụng thực tế tại các khu vực sản xuất. Giải pháp này giúp duy trì khả năng cấp nước ổn định ngay cả trong thời điểm nhu cầu sử dụng tăng cao hoặc lưu lượng nước xử lý biến động.

Đồng thời, hệ thống đường ống cấp nước tái sử dụng cần được mở rộng và bố trí hợp lý đến các khu vực tiêu thụ chính như khu vực khai thác trong lò, mặt bằng sản xuất và các tuyến đường vận chuyển. Đối với các hạng mục như hệ thống tưới bụi trong lò và phun sương chống bụi, cần ưu tiên bố trí tuyến cấp nước tuần hoàn riêng nhằm tận dụng tối đa nguồn nước sau xử lý. Ngoài ra, cần phân tách rõ ràng giữa hệ thống cấp nước sạch phục vụ sinh hoạt và hệ thống cấp nước tái sử dụng phục vụ sản xuất nhằm tránh nhầm lẫn trong quá trình vận hành và đảm bảo yêu cầu chất lượng nước cho từng mục đích sử dụng cụ thể.

Mô hình tuần hoàn và tái sử dụng nước thải mỏ phân bổ nước tuần hoàn cho từng hạng mục có thể đề xuất như sau:

- Tưới bụi trong lò: Là hạng mục ưu tiên sử dụng nước tuần hoàn do nhu cầu lớn và sử dụng liên tục. Có thể bố trí cấp khoảng $40 \div 50 \text{ m}^3/\text{ngày}$ đêm từ nguồn nước sau xử lý cho hệ thống dập bụi trong lò. Nước sử dụng cần kiểm soát tốt hàm lượng cặn lơ lửng nhằm tránh tắc nghẽn béc phun.
- Tưới đường, tưới bụi trên mặt bằng: Đây là hạng mục có yêu cầu chất lượng nước không quá cao, phù hợp để tận dụng nguồn nước tuần hoàn. Có thể sử dụng khoảng $15 \div 20 \text{ m}^3/\text{ngày}$ đêm từ nguồn nước sau xử lý cho hoạt động này.

- Rửa thiết bị và vệ sinh công nghiệp: Có thể sử dụng khoảng $10 \div 15 \text{ m}^3/\text{ngày}$ đêm nước tuần hoàn sau xử lý. Nước cần được kiểm soát hàm lượng cặn và dầu mỡ nhằm hạn chế ảnh hưởng đến thiết bị và khu vực vận hành.

- Cấp nước cho máy khoan và hệ thống kỹ thuật phụ trợ: Có thể tận dụng khoảng $5 \div 10 \text{ m}^3/\text{ngày}$ đêm nếu chất lượng nước sau xử lý đảm bảo hạn chế cặn và kim loại gây đóng bám thiết bị.

Để hệ thống tuần hoàn vận hành ổn định và hiệu quả, cần đầu tư bổ sung một số hạng mục hạ tầng kỹ thuật như bể chứa nước tuần hoàn, trạm bơm trung gian, tuyến ống cấp nước tái sử dụng riêng biệt và hệ thống quan trắc chất lượng nước định kỳ. Đồng thời, cần xây dựng quy trình vận hành và giám sát phù hợp nhằm kiểm soát chất lượng nước theo từng mục đích sử dụng cụ thể. Trong đó, các chỉ tiêu như TSS, Fe và Mn cần được theo dõi thường xuyên do đây là các thành phần đặc trưng dễ gây lắng cặn, tắc nghẽn hoặc ảnh hưởng đến tuổi thọ thiết bị.

3.2. Giải pháp quản lý

Để hệ thống tuần hoàn và tái sử dụng nước thải của mỏ vận hành hiệu quả trong thực tế, cần triển khai đồng bộ các giải pháp quản lý gắn trực tiếp với điều kiện vận hành tại mỏ than hầm lò. Các giải pháp không chỉ tập trung vào kiểm soát chất lượng nước mà còn phải đảm bảo khả năng vận hành ổn định, hạn chế thất thoát và nâng cao hiệu quả khai thác nguồn nước sau xử lý. Trước hết, cần bố trí bộ phận hoặc cán bộ phụ trách riêng đối với hệ thống nước tuần hoàn nhằm theo dõi thường xuyên lưu lượng nước thải phát sinh, lưu lượng nước tái sử dụng và chất lượng nước sau xử lý. Trong thực tế, nhiều hệ thống xử lý nước thải mỏ hoạt động chưa ổn định do chưa có cơ chế quản lý và theo dõi riêng cho nguồn nước tái sử dụng, dẫn đến tình trạng nước sau xử lý vẫn đạt yêu cầu xả thải nhưng chưa đáp ứng tốt cho mục đích tuần hoàn sản xuất. Vì vậy, việc phân công trách nhiệm cụ thể cho bộ phận quản lý vận hành là cần thiết nhằm đảm bảo hệ thống hoạt động liên tục và ổn định.

Cần xây dựng chế độ kiểm tra định kỳ đối với các công trình xử lý và hệ thống cấp nước tuần hoàn, đặc biệt là bể lọc mangan, bể chứa nước tuần hoàn, máy bơm và hệ thống béc phun dập bụi. Trong điều kiện vận hành thực tế tại mỏ, hàm lượng cặn sắt và mangan còn sót lại có thể gây đóng bám đường ống, giảm áp lực phun hoặc tắc

ngheén béc phun sau thời gian dài sử dụng. Do đó, cần thực hiện súc rửa đường ống, vệ sinh bể chứa và rửa vật liệu lọc định kỳ nhằm duy trì hiệu quả vận hành hệ thống.

Đối với hệ thống lọc mangan và lọc áp lực, cần xây dựng kế hoạch thay thế vật liệu lọc theo chu kỳ phù hợp thay vì chỉ thay khi hệ thống xảy ra sự cố. Trong thực tế, hiệu quả xử lý mangan thường giảm dần theo thời gian sử dụng vật liệu lọc, đặc biệt khi lưu lượng nước lớn và tải lượng kim loại biến động mạnh vào mùa mưa. Việc chủ động kiểm tra và thay thế vật liệu lọc sẽ giúp duy trì chất lượng nước sau xử lý ổn định hơn cho mục đích tái sử dụng.

Ngoài ra, cần ưu tiên sử dụng nước tuần hoàn cho các hạng mục tiêu thụ nước lớn nhưng yêu cầu chất lượng nước ở mức trung bình như tưới bụi trong lò, tưới đường vận chuyển và rửa thiết bị. Đây là các khu vực có khả năng sử dụng ổn định nguồn nước tuần hoàn và dễ triển khai trong thực tế. Đối với nước cấp cho máy khoan hoặc hệ thống nhũ hóa, chỉ nên sử dụng khi chất lượng nước sau xử lý được kiểm soát ổn định nhằm hạn chế nguy cơ đóng cặn hoặc ảnh hưởng đến thiết bị.

Cần lắp đặt đồng hồ đo lưu lượng riêng cho tuyến nước tuần hoàn để theo dõi chính xác lượng nước tái sử dụng hằng ngày. Việc này giúp đánh giá hiệu quả thực tế của hệ thống, xác định tỷ lệ nước được tuần hoàn và làm cơ sở điều chỉnh phương án vận hành phù hợp. Trong giai đoạn đầu, có thể ưu tiên triển khai tái sử dụng ở quy mô nhỏ đối với một số khu vực như hệ thống tưới bụi trong lò và tưới đường vận chuyển; sau khi hệ thống vận hành ổn định sẽ tiếp tục mở rộng sang các hạng mục khác.

Bên cạnh đó, cần xây dựng phương án vận hành linh hoạt theo mùa. Trong mùa mưa, lưu lượng nước thải mỏ thường tăng mạnh kéo theo hàm lượng cặn lơ lửng biến động lớn, do đó cần ưu tiên tăng thời gian lắng, tăng tần suất rửa lọc và kiểm soát chặt chẽ chất lượng nước trước khi đưa vào tái sử dụng. Ngược lại, trong mùa khô khi nhu cầu đập bụi tăng cao, cần ưu tiên tối đa nguồn nước tuần hoàn cho các khu vực sản xuất nhằm giảm lượng nước cấp mới khai thác từ bên ngoài.

Đồng thời, cần tăng cường công tác tuyên truyền và đào tạo đối với công nhân vận hành nhằm nâng cao nhận thức về sử dụng tiết kiệm nước và hiệu quả của hệ thống tuần hoàn nước. Trong thực tế, tình trạng thất thoát nước do rò rỉ

đường ống, vận hành không hợp lý hoặc sử dụng vượt nhu cầu vẫn xảy ra khá phổ biến tại các khu vực sản xuất. Vì vậy, việc nâng cao ý thức sử dụng nước và kiểm tra thường xuyên hệ thống cấp nước sẽ góp phần nâng cao hiệu quả khai thác nguồn nước sau xử lý.

Việc áp dụng các giải pháp quản lý thực tế nêu trên sẽ góp phần nâng cao hiệu quả vận hành của hệ thống tuần hoàn nước, giảm lượng nước cấp mới phải khai thác, đồng thời giảm lưu lượng nước thải xả ra môi trường. Đây là giải pháp có tính khả thi cao trong điều kiện khai thác than hầm lò hiện nay, phù hợp với định hướng sử dụng hiệu quả tài nguyên nước và phát triển sản xuất theo hướng bền vững.

4. Kết luận

Mô hình tuần hoàn và tái sử dụng nước thải mỏ đề xuất tập trung vào việc tổ chức lại dòng nước theo hướng có kiểm soát, thông qua việc bổ sung các công trình trung gian và thiết lập vòng tuần hoàn nước rõ ràng. Sự khác biệt cốt lõi không nằm ở bản thân công nghệ xử lý, mà ở cách thức quản lý và khai thác nguồn nước sau xử lý, từ đó nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên nước trong toàn bộ hoạt động của mỏ. Giải pháp đề xuất không thay đổi hoàn toàn quy trình xử lý hiện có mà tập trung vào việc hoàn thiện và nâng cấp hệ thống theo hướng tích hợp chức năng tuần hoàn nước. Điểm khác biệt chính là việc bổ sung các công trình thu hồi, lưu trữ và cấp lại nước sau xử lý, đồng thời nâng cao tính ổn định của quá trình xử lý nhằm đáp ứng yêu cầu tái sử dụng. Qua đó, hệ thống được chuyển từ mô hình xử lý đơn thuần sang mô hình xử lý kết hợp tuần hoàn tài nguyên.

Giải pháp tận dụng hệ thống xử lý nước thải hiện có kết hợp bổ sung các hạng mục phục vụ tuần hoàn, tái sử dụng nước được đánh giá là có mức đầu tư hợp lý và phù hợp với điều kiện thực tế của Công ty than Thống Nhất. Thay vì xây dựng một dây chuyền xử lý mới, Giải pháp chỉ tập trung đầu tư bổ sung các công trình cần thiết như bể chứa nước sau xử lý, bể chứa nước tuần hoàn, trạm bơm cấp nước tái sử dụng, hệ thống đường ống phân phối và các thiết bị quan trắc, điều khiển. Việc tận dụng tối đa cơ sở hạ tầng hiện có giúp giảm đáng kể chi phí đầu tư ban đầu, rút ngắn thời gian triển khai và hạn chế ảnh hưởng đến hoạt động sản xuất của mỏ.

Tài liệu tham khảo:

[1] Công ty Than Thống Nhất (2025), Báo cáo



đề xuất cấp lại giấy phép môi trường của Cơ sở: Khai thác hầm lò xuống sâu dưới mức -35 khu Lộ Trí - Công ty Than Thống Nhất - TKV (điều chỉnh).

[2] Viện Khoa học Công nghệ Mỏ (2024), Báo cáo tổng kết dự án “Rà soát bổ sung, điều chỉnh định mức kinh tế kỹ thuật xử lý nước thải mỏ trong TKV”.

[3] Viện Khoa học Công nghệ Mỏ (2024-2025), Báo cáo kết quả quan trắc môi trường tại Công ty Than Thống Nhất - TKV.

[4] Nguyễn Tiến Dũng, Bùi Thanh Hoàng, Nguyễn Văn Hậu (2019), “Nghiên cứu, đánh giá

thực trạng và đề xuất một số giải pháp nâng cao hiệu quả cho các trạm xử lý nước thải mỏ than thuộc TKV”, Thông tin Khoa học Công nghệ Mỏ, số 5, tr. 27-32.

[5] Veolia Water Technologies (2023), *Mining Water Treatment Solutions*.

[6] Geller, W., Schultze, M., Kleinmann, R. và Wolkersdorfer, C. (2013), *Acidic Pit Lakes: The Legacy of Coal and Metal Surface Mines*, Springer, Berlin Heidelberg.

Proposal of a Mine Wastewater Circulation and Reuse Model at Thong Nhat Coal Company - TKV

MSc. Bui Minh Duc, Dr. Le Binh Duong - Vinacomin - Institute of Mining Science and Technology
Abstract:

Coal mining is an industry that uses large amounts of water and generates significant quantities of wastewater that require treatment before being discharged into the environment. In the context of increasing pressure on water resources due to growing demand and the risk of pollution, the reuse of treated water in coal mining is a solution that needs to be studied to improve resource utilization efficiency. This study assesses the current status of wastewater generation and treatment at Thong Nhat Coal Company - TKV through field surveys, collection of operational data, and analysis of monitoring results for the period 2024–2025. Based on this, the study proposes a semi-closed water circulation model that uses treated water for purposes such as dust suppression, roadway cleaning, equipment cooling, and fire prevention and firefighting.

Tổng Bí thư, Chủ tịch nước chủ trì làm việc về tái cơ cấu Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam

Chiều 29/7, tại Trụ sở Trung ương Đảng, Tổng Bí thư, Chủ tịch nước Tô Lâm chủ trì buổi làm việc với các cơ quan về tái cơ cấu Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam



Tổng Bí thư, Chủ tịch nước chủ trì làm việc về tái cơ cấu Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam (Ảnh: TTXVN)

Tại buổi làm việc, lãnh đạo Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam báo cáo về tình hình hoạt động sản xuất - kinh doanh; đại diện Chính phủ báo cáo về định hướng tái cơ cấu Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam; đại diện lãnh đạo các cơ quan phát biểu.

Phát biểu kết luận buổi làm việc, Tổng Bí thư, Chủ tịch nước Tô Lâm nhấn mạnh Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam đã giữ vững vai trò là một tập đoàn kinh tế nhà nước nòng cốt, đóng góp thiết thực vào ổn định kinh tế vĩ mô, an ninh năng lượng, an ninh nguyên liệu, đóng góp cho ngân sách nhà nước và việc làm của người lao động.

Đánh giá cao và biểu dương những nỗ lực cố gắng của tập đoàn và các thể hệ lãnh đạo, người lao động của Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam trong thời gian vừa qua, Tổng Bí thư, Chủ tịch nước cũng chỉ rõ một số hạn chế, điểm nghẽn cần phải sớm khắc phục. Tổng Bí thư, Chủ tịch nước nêu rõ Nghị quyết số 79-NQ/TW, ngày 6/1/2026 của Bộ Chính trị về phát triển kinh tế nhà nước đã đặt ra yêu cầu cao hơn đối với các tập đoàn kinh tế nhà nước, đó không chỉ là nắm giữ những lĩnh vực thiết yếu mà phải tiên phong dẫn dắt công nghiệp hóa, hiện đại hóa, lấy khoa học công nghệ, đổi mới sáng tạo, chuyển đổi số và quản trị hiện đại làm động lực.

Tổng Bí thư, Chủ tịch nước nhấn mạnh phải tái định vị Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam thành tập đoàn công nghiệp năng lượng, vật liệu hiện đại; trước mắt phải bảo đảm đủ than cho nền kinh tế, chủ động nhập khẩu, pha trộn, dự trữ, khai thác ở trong nước an toàn, tiết kiệm và hiệu quả. Đa dạng hóa các nguồn cung than nhập khẩu; phải tạo đột phá về khoa học, công nghệ, chuyển đổi số và nâng cao năng suất lao động, để có hiệu quả cao, giảm phát thải, giảm ảnh hưởng đến môi trường. Cơ cấu lại đầu tư và tài chính, mở rộng hợp tác phát triển, nâng cao năng lực quản trị.

Tổng Bí thư, Chủ tịch nước yêu cầu phải đặt an toàn và đời sống của người lao động ở vị trí trung tâm, gắn khai thác tài nguyên với phục hồi môi trường và phát triển bền vững ở địa phương. Cùng với đó là phải chăm lo về nhà ở, về y tế, về phúc lợi, về điều kiện làm việc và cơ hội nghề nghiệp. Đặc biệt, quan tâm tuyển dụng, đào tạo và giữ chân thợ lò, đẩy mạnh cơ giới hóa, tự động hóa để giảm lao động tại các vị trí nặng nhọc, nguy hiểm. Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam cũng phải đẩy mạnh kinh tế tuần hoàn, coi đất, đá thải, nước thải mỏ, khí mỏ, tro xỉ và bùn đỏ là nguồn tài nguyên thứ cấp để thu hồi, tái sử dụng, giảm phát thải. Hoạt động khai thác phải gắn với chuyển đổi sinh kế, phát triển hạ tầng và tạo nền tảng kinh tế lâu dài cho các địa phương sau khi khai thác.

Tổng Bí thư, Chủ tịch nước nhấn mạnh xây dựng Đảng bộ Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam trong sạch, vững mạnh, năng lực cao, đủ sức lãnh đạo một tập đoàn kinh tế nhà nước chiến lược. Vai trò lãnh đạo của Đảng phải thể hiện ở chỗ lựa chọn đúng chiến lược, xây dựng đội ngũ cán bộ đủ phẩm chất, năng lực, kiểm soát quyền lực và phòng, chống tham nhũng, lãng phí. Cấp ủy không thể làm thay điều hành nhưng phải bảo đảm các quyết định lớn đúng chủ trương, đúng pháp luật và vì lợi ích chung. Cán bộ lãnh đạo phải có bản lĩnh chính trị, trách nhiệm với tài sản quốc gia và năng lực quản trị hiện đại, có tư duy chiến lược, dám nghĩ, dám làm, dám chịu trách nhiệm vì lợi ích chung. Quan tâm xây dựng đội ngũ chuyên gia, các nhà khoa học, kỹ sư và công nhân kỹ thuật trình độ cao đáp ứng yêu cầu phát triển của một tập đoàn kinh tế nhà nước hiện đại. Đảng ủy Chính phủ, lãnh đạo Chính phủ chỉ đạo các bộ, ngành khẩn trương tháo gỡ những vướng mắc cho tập đoàn. Tổng Bí thư, Chủ tịch

nước lưu ý, Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam đang đứng trước thời điểm mang tính bước ngoặt, nhu cầu về năng lượng, nguyên liệu rất lớn. Nhưng chuyển đổi năng lượng, giảm phát thải, tiến bộ công nghệ và cạnh tranh khoáng sản chiến lược đang làm thay đổi căn bản môi trường hoạt động. Nếu tiếp tục cách làm cũ, tập đoàn có thể hoàn thành mục tiêu trước mắt nhưng khó có thể tạo dựng năng lực cạnh tranh lâu dài. Nếu quyết tâm đổi mới, tập đoàn có đủ nền tảng để trở thành tập đoàn công nghiệp năng lượng khoáng sản hiện đại, giữ vai trò nòng cốt trong bảo đảm an ninh năng lượng, an ninh nguyên liệu và xây dựng nền công nghiệp tự chủ. Mỗi cán bộ, đảng viên, người lao động phải nhận thức rõ, tài nguyên là tài sản quốc gia của nhân dân và các thế hệ mai sau. Mỗi tấn than, mỗi tấn quặng phải được sử dụng tiết kiệm hơn, tạo ra giá trị cao hơn, giảm tác động đến môi trường hơn. Nhấn mạnh truyền thống “Kỷ luật và Đồng tâm” trong giai đoạn mới phải được thể hiện bằng kỷ luật công nghệ, đầu tư, tài chính, an toàn, môi trường và sự đồng lòng đổi mới, Tổng Bí thư, Chủ tịch nước tin tưởng Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam sẽ cơ cấu lại thực chất, phát triển nhanh, bền vững, xứng đáng là tập đoàn kinh tế nhà nước nòng cốt, một trụ cột của nền công nghiệp và an ninh năng lượng quốc gia.

Tác giả: Theo TTXVN

TKV nghiên cứu ứng dụng công nghệ tuyển than bằng tia X kết hợp trí tuệ nhân tạo

Sáng ngày 14/8, tại trụ sở TKV, Phó Tổng giám đốc Tập đoàn Phan Xuân Thủy chủ trì chương trình làm việc với Tập đoàn Tianjin Meiteng Technology (Thiên Tân, Trung Quốc) và Công ty Cổ phần Bateco Việt Nam về giới thiệu giải pháp tuyển than bằng tia X kết hợp trí tuệ nhân tạo (AI). Tham dự chương trình có đại diện các Ban chuyên môn Tập đoàn; Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin và các đơn vị Công ty Than Thống Nhất, Tuyển than Cửa Ông, Tuyển than Hòn Gai

Phát biểu khai mạc, Phó Tổng giám đốc TKV Phan Xuân Thủy cho biết, với quy mô sản xuất khoảng 40 triệu tấn than/năm, TKV đang vận hành hệ thống các nhà máy sàng tuyển, chế biến than,

trong đó có những dây chuyền đã được đầu tư từ nhiều năm trước và nhiều dự án đang tiếp tục được nghiên cứu, đầu tư mới. Do đó, lựa chọn công nghệ sàng tuyển, chế biến phù hợp, đặc biệt đối với than cục, có ý nghĩa quan trọng trong nâng cao hiệu quả sản xuất, tỷ lệ thu hồi sản phẩm và giá trị kinh tế.



Phó Tổng giám đốc TKV Phan Xuân Thủy phát biểu khai mạc, định hướng các nội dung trọng tâm tại chương trình làm việc

TKV đặc biệt quan tâm đến các công nghệ tuyển tiên tiến, trong đó có giải pháp tuyển bằng tia X kết hợp AI, không chỉ đối với than mà còn có khả năng nghiên cứu ứng dụng trong lĩnh vực khoáng sản. Chương trình làm việc nhằm giúp các Ban chuyên môn và đơn vị trực tiếp quản lý, vận hành các nhà máy tuyển tiếp cận, tìm hiểu sâu về nguyên lý, hiệu quả và khả năng ứng dụng công nghệ; từ đó làm cơ sở nghiên cứu đầu tư các hệ thống mới hoặc cải tạo, thay thế các dây chuyền hiện hữu.

Tại chương trình, đại diện Tập đoàn Tianjin Meiteng Technology giới thiệu về công nghệ tuyển sử dụng tia X kết hợp trí tuệ nhân tạo (AI), khả năng nhận diện, phân tách vật liệu, các mô hình ứng dụng trong thực tế và những giải pháp kỹ thuật có thể áp dụng đối với từng loại nguyên liệu. Đại diện Công ty Cổ phần Bateco Việt Nam tham gia trao đổi, làm rõ các nội dung liên quan đến giải pháp công nghệ và khả năng nghiên cứu, triển khai tại TKV. Đại diện các Ban chuyên môn, Viện Khoa học Công nghệ Mỏ và các đơn vị sản xuất của TKV trao đổi, làm rõ nhiều nội dung liên quan đến đặc tính nguyên liệu, năng suất thiết bị, tỷ lệ thu hồi, khả năng giảm nhân công, điều kiện bố trí dây chuyền, suất đầu tư và hiệu quả kinh tế.

Phó Tổng giám đốc TKV Phan Xuân Thủy đánh giá cao tính thiết thực của các nội dung được trao

đổi và khả năng phát triển của công nghệ tuyển bằng tia X. Việc TKV nghiên cứu những công nghệ mới, hiện đại hơn là cần thiết nhằm nâng cao hiệu quả sản xuất, giảm lao động thủ công và tăng khả năng thu hồi sản phẩm. TKV sẽ tiếp tục nghiên cứu, đánh giá cụ thể để có định hướng lựa chọn ứng dụng phù hợp, trong đó có thể xem xét đưa một số nội dung vào kế hoạch đầu tư, cải tạo công nghệ từ năm 2027.

Để sớm đánh giá khả năng ứng dụng trong thực tế, Phó Tổng giám đốc giao các đơn vị liên quan phối hợp tổ chức khảo sát tại một số mỏ, nhà máy tuyển. Trước mắt, đoàn công tác sẽ khảo sát tại mỏ than Na Dương, tiếp đó nghiên cứu thực tế tại Than Vàng Danh, Tuyển than Cửa Ông và Than Thống Nhất. Ban Kỹ thuật Công nghệ Mỏ (KCM) phối hợp các đơn vị chuẩn bị tài liệu, số liệu và điều kiện thực địa phục vụ công tác khảo sát.

Đồng thời giao Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin làm đầu mối chuyên môn, phối hợp với Ban KCM và các Ban liên quan đánh giá tổng

thể hệ thống tuyển hiện có; nghiên cứu vị trí, dây chuyền có khả năng cải tạo hoặc áp dụng công nghệ tuyển tia X; sơ bộ tính toán hiệu quả về tỷ lệ thu hồi than, giảm nhân lực và suất đầu tư cho từng phương án. Đối với lĩnh vực khoáng sản như đồng, chì, kẽm, bô-xít..., giao Ban Khoáng sản - Điện lực - Hóa chất tiếp tục phối hợp lựa chọn đối tượng phù hợp để nghiên cứu khả năng ứng dụng công nghệ.

Trong đó lưu ý, mọi phương án đầu tư công nghệ của TKV phải bảo đảm hiệu quả, có suất đầu tư hợp lý và tuân thủ đầy đủ các quy định pháp luật về đầu tư, đấu thầu. Việc khảo sát, nghiên cứu công nghệ ở giai đoạn hiện nay là bước chuẩn bị quan trọng để TKV có thêm cơ sở lựa chọn các giải pháp sàng tuyển, chế biến tiên tiến, từng bước hiện đại hóa công nghệ và nâng cao hiệu quả sản xuất trong những năm tới.

Tác giả: Truyền thông TKV

Contents	Page
Dr. Duong Duc Hai, Dr. Do Van Hoang, Eng. Vu Ba Truong - <i>Evaluating the Results of Applying Solutions to Address Water Impaction and Enhance Safety in Mining Longwall 11-1.10 at Ha Lam Coal Mine</i>	1
Eng. Nguyen Khac Hung, Dr. Nguyen Van Cong, Dr. Nguyen Ngoc Giang, Eng. Tran Van Long - <i>Evaluating the results of applying anchor support technology designed based on the theory of rock mass displacement around the mine boundary at Duong Huy Coal Company - TKV</i>	7
MSc. Phi Van Long, Eng. Tran Van Long, Eng. Pham Cong Minh, Eng. Hoang Phuong Thao - <i>Evaluating the results of applying mechanized technology for driving small-section coal roadways at underground coal mines under TKV</i>	14
MSc. Nguyen Kim Quy, Eng. Pham Van Long, Eng. Pham Vu Hai, Eng. Nguyen Thi Thai - <i>Big Data Governance Model and Security Issues in the Coal and Mineral Mining Sector</i>	23
MSc. Do Van Trieu, Dr. Tran Dinh Bao - <i>Research on the Application of Artificial Intelligence and Computer Vision Models for Safety Monitoring at Open-Pit Mines</i>	31
Dr. Nguyen Tat Thang, MSc. Bui Anh Tuan, MSc. Nguyen Tien Trong, BSc. Tran Thi Nhai - <i>Proposal and synthesis of forecasting solutions, early detection, and prevention of spontaneous coal combustion at underground coal mines under TKV in 2025</i>	38
MSc. Dang Hong Thang, MSc. Nguyen Van Bac and Others - <i>Development trends in occupational accident risk assessment in underground mining</i>	44
MSc. Bui Minh Duc, Dr. Le Binh Duong - <i>Proposal of a Mine Wastewater Circulation and Reuse Model at Thong Nhat Coal Company - TKV</i>	51

Hội đồng khoa học công nghệ Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam nghiệm thu đề tài do Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin chủ trì thực hiện

Ngày 7/8/2026, Tại trụ sở Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam, Hội đồng Khoa học Công nghệ cấp Tập đoàn đã tổ chức đánh giá, nghiệm thu 02 Đề tài do Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin chủ trì thực hiện trong lĩnh vực xây dựng công trình ngầm và mỏ



Với mục tiêu nâng cao chất lượng và mở rộng phạm vi áp dụng vỏ chống lò bằng bê tông, đề tài “Nghiên cứu áp dụng công nghệ thi công vỏ chống lò bằng phun bê tông ướt chiều dày lớn tại các mỏ than hầm lò thuộc TKV” đã nghiên cứu các yếu tố ảnh hưởng đến công nghệ và chất lượng phun bê tông ướt, thiết kế cấp phối cho các mác bê tông phổ biến là M250, M300, M350, M400 và tiến hành thí nghiệm xác định cường độ kháng nén, kháng uốn của mẫu, từ đó đề xuất được 03 sơ đồ công nghệ thi công phun bê tông ướt có khả năng áp dụng tại các đơn vị sản xuất than hầm lò. Quá trình áp dụng thử nghiệm công nghệ tại ngã ba lò vòng khu Tây Nam, mỏ Trảng Bạch - Công ty than Uông Bí, cho thấy vỏ chống bê tông phun khu vực thi công đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật, an

toàn. Công tác vận chuyển bê tông phun từ khâu trộn đến khối đổ đã được cơ giới hóa bằng công tác phun tự hành của máy phun, cho phép tăng năng suất, giảm mức độ nặng nhọc và cải thiện điều kiện làm việc cho người lao động. Cùng với hiệu quả về kỹ thuật, việc áp dụng công nghệ cũng mang lại hiệu quả kinh tế, giá thành đào lò giảm khoảng 16,33% so với công nghệ đổ bê tông tại chỗ đơn vị đang áp dụng.



Đề tài “Nghiên cứu, áp dụng phương pháp tính toán hộ chiếu khoan nổ mìn theo kích thước vùng phá hủy, nứt nẻ của đất đá xung quanh lỗ mìn tại các mỏ than hầm lò thuộc TKV” đã áp dụng lý thuyết mới tính toán hộ chiếu khoan nổ mìn theo vùng phá hủy, nứt nẻ của đất đá xung quanh lỗ mìn, cho phép xác định số lượng và vị trí lỗ khoan dựa trên đặc trưng vùng phá hủy, vùng nứt nẻ do lỗ mìn tạo ra, có xét đến tính chất cơ lý, cấu trúc khối đá, đường kính lỗ khoan và đặc tính thuốc nổ giúp tối ưu hóa công tác xây dựng hộ chiếu để giảm số lượng lỗ mìn, tiêu hao vật liệu nổ, chi phí nhân công, nâng cao hiệu quả công tác khoan nổ mìn và giảm giá thành đào lò. Quá trình triển khai áp dụng thử nghiệm tại 02 gương lò do Công ty Xây lắp mỏ thi công tại Công ty than Dương Huy, với chiều sâu lỗ khoan từ 1,2÷1,7 m, kết quả nổ mìn đạt tốt, hệ số sử dụng lỗ mìn đạt trên 90%; chỉ tiêu sử dụng vật liệu nổ giảm 30%, tỉ lệ đá quá cỡ gần như không có hoặc chiếm tỉ lệ rất nhỏ; hạn chế được lượng đá văng xa; không xảy ra hiện tượng mìn câm; chất lượng tạo biên tốt. Thời gian hoàn thành một chu kỳ đào lò giảm và tăng được tốc độ thi công (từ 24÷31,2%), tăng năng suất lao động, giảm giá thành đào lò.

Hội đồng đánh giá các đề tài đã được triển khai đúng mục tiêu, nội dung theo hợp đồng. Kết quả áp dụng thử nghiệm cho thấy các giải pháp công nghệ được đề xuất phù hợp với nhu cầu, giải quyết được những vấn đề cấp thiết của sản xuất, có thể đưa vào áp dụng rộng rãi trong thực tế.

P.A.





Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin

TKV nghiệm thu kết quả thực hiện đề tài do Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin chủ trì thực hiện

Ngày 19/8/2026, Tại trụ sở Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam, Hội đồng KHCN cấp Tập đoàn đã tổ chức đánh giá, nghiệm thu đề tài do Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin chủ trì thực hiện trong lĩnh vực khai thác, sàng tuyển, chế biến than



Với mục tiêu lựa chọn trình tự và công nghệ khai thác, chế biến than phù hợp nhằm khai thác tối đa tài nguyên, đảm bảo ổn định bờ trụ, an toàn cho các nhà máy nhiệt điện, đề tài “Nghiên cứu cấu trúc địa chất bờ trụ, giải pháp công nghệ khai thác, chế biến, pha trộn than phù hợp cho mỏ than Na Dương để đảm bảo thu hồi tối đa tài nguyên, ổn định bờ trụ, an toàn cho các nhà máy nhiệt điện phía trên và đáp ứng cung cấp than ổn định cho các nhà máy nhiệt điện” đã làm rõ mối quan hệ giữa cấu trúc địa tầng bờ trụ và nền móng các công trình nhà máy nhiệt điện. Đề tài xác định các công trình trọng yếu của Nhà máy nhiệt điện Na Dương I và II đều được đặt trên địa tầng Trias có cấu trúc bền chặt, có mối liên hệ với địa tầng Trias phân bố phía dưới bờ trụ mỏ. Các hiện tượng dịch chuyển, trượt lở bờ trụ chủ yếu xuất hiện trong địa tầng Neogen tại khu vực bờ trụ cách hàng rào Nhà máy Nhiệt điện khoảng 85÷150 m, liên quan đến các lớp đất đá phong hóa và các mặt tiếp xúc yếu giữa đất đá với vỉa than. Đề tài đã cho thấy khi khai thác xuống mức +18 m, hệ số ổn định bờ trụ đạt từ 1,32÷1,48, lớn hơn hệ số yêu cầu $n = 1,3$ đối với bờ mỏ có thời gian tồn tại trên 20 năm theo TCVN 5326:2008.

Từ các kết quả nghiên cứu, đề tài đề xuất tiếp tục đưa Khu II trở lại khai thác xuống dưới mức +150 m đến mức +18 m, đồng thời duy trì khai thác cả ba khu nhằm điều hòa sản lượng và chất lượng than nguyên khai. Theo phương án, Khu I được ưu tiên khai thác và kết thúc trước; sau khi kết thúc Khu I sẽ đẩy nhanh khai thác Khu II;



Khu III khai thác sau cùng nhằm tạo điều kiện sử dụng không gian Khu I và Khu II đã kết thúc khai thác để đổ thải trong. Phương án này vừa tận thu tài nguyên, vừa giảm cung độ vận tải và diện tích chiếm dụng đất phục vụ đổ thải.



Cùng với các giải pháp về khai thác, đề tài đã nghiên cứu công nghệ sàng phù hợp với đặc tính than mỏ Na Dương. Đối với than chất lượng thấp, đề tài nghiên cứu tuyển bằng thiết bị băng tải dốc nhằm nâng cao khả năng tận thu tài nguyên (đối với than chất lượng thấp có độ tro từ 50÷60%, có thể thu được than sạch độ tro khoảng 38,50%, với tỷ lệ 26,50%).



Hội đồng Khoa học Công nghệ cấp TKV đánh giá các giải pháp được đề xuất phù hợp với nhu cầu, giải quyết được những vấn đề cấp thiết của sản xuất, có thể đưa vào áp dụng trong thực tế, là cơ sở để tham khảo phục vụ điều chỉnh dự án mở rộng nâng công suất mỏ than Na Dương. Nhóm thực hiện đã tiếp thu đầy đủ những ý kiến đóng góp của Hội đồng khoa học đã chỉ ra để chỉnh sửa, hoàn thiện, nâng cao hơn nữa chất lượng Đề tài.

P.A.