ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ THỬ NGHIỆM VÀ KHẢ NĂNG TIẾT KIỆM ĐIỆN KHI THÔNG GIÓ TRONG NGÀY NGHỈ Ở CÔNG TY THAN KHE CHÀM - TKV

Đào Văn Chi, Phạm Đức Hưng*, Vũ Thái Tiến Dũng

Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 18 Phố Viên, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO
CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học
Ngày nhận bài: 20/8/2026
Ngày nhận bài sửa: 25/9/2026
Ngày chấp nhận đăng: 05/10/2026
*Tác giả liên hệ:
Email: phamduchung@humg.edu.vn

TÓM TẮT

Tiết kiệm năng lượng trong công tác thông gió mỏ hầm lò đang là một bài toán mang tính thời sự cao, đặc biệt khi chi phí điện năng cho thông gió chiếm trên 30% tổng chi phí điện năng của toàn mỏ. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu xác định lưu lượng gió cần thiết và phương án điều chỉnh chế độ làm việc của quạt gió chính trong các ngày nghỉ tại mỏ than Khe Chàm III thuộc Công ty than Khe Chàm - TKV (mỏ Hạng II về khí mê tan). Dựa trên phương pháp tính toán nhu cầu gió thực tế khi mỏ ngừng sản xuất (không có yếu tố con người, thuốc nổ, lượng bụi sinh ra giảm, lượng khí CH_4 thoát ra tương đương lò chợ dự phòng), kết quả cho thấy lưu lượng gió yêu cầu trong ngày nghỉ tại mỏ than Khe Chàm III (Quý I/2026) chỉ ở mức 198,07 m^3/s, giảm 35,25% so với ngày làm việc bình thường (305,92 m^3/s). Nghiên cứu đã đề xuất và triển khai giải pháp sử dụng biến tần để giảm tốc độ vòng quay của quạt 2K56-No30. Kết quả đánh giá cho thấy giải pháp này không chỉ đảm bảo an toàn tuyệt đối về khí mỏ mà còn tuân thủ nguyên lý khí động học, mang lại tiềm năng tiết kiệm điện năng tương đối lớn cho mỏ trong khoảng 65 đến 117 ngày nghỉ mỗi năm.

Từ khóa: *Thông gió, biến tần, ngày nghỉ, mê tan.*

@ Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong công nghệ khai thác khoáng sản rắn bằng phương pháp hầm lò, thông gió mỏ có tầm quan trọng đặc biệt nhằm hòa loãng nồng độ các chất khí cháy nổ, độc hại và bụi, tạo điều kiện an toàn và vi khí hậu cho người lao động. Hiện nay, công tác thông gió tại Việt Nam tuân thủ theo Quy chuẩn Quốc gia QCVN 01:2011/BCT [1], trong đó yêu cầu lượng gió lớn nhất đưa vào mỏ phải đáp ứng đồng thời các yếu tố: số người làm việc lớn nhất, lượng thuốc nổ lớn nhất, độ thoát khí mê tan và yếu tố bụi. Các quạt gió chính thường phải làm việc liên tục 24/24 h.

Tuy nhiên, theo quy định, tổng số ngày làm việc của ngành mỏ là 300 ngày, tương ứng với khoảng 65 ngày nghỉ lễ, tết, chủ nhật. Nếu tính cả ngày nghỉ thứ 7, các mỏ có thể ngừng sản xuất lên tới 117 ngày/năm (chiếm gần 32% tổng thời gian hàng năm). Trong những ngày này, mọi hoạt động mang tính sản xuất như đào lò, khấu than đều dừng lại, các yếu tố gây ô nhiễm giảm thiểu rõ rệt, đặc biệt hiểm họa cháy nổ khí rất thấp. Việc tiếp tục duy trì quạt gió chạy 100% công suất như ngày làm việc là một sự lãng phí năng lượng vô cùng lớn.

Các công trình nghiên cứu về thông gió mỏ hầm lò của các nhà khoa học trên thế giới như Nga [2], [3], [4], Trung Quốc [5], [6], [7], Rumani [8],… các phương pháp tính toán lượng gió chung đã được hoàn thiện từ lâu, nhưng các chỉ dẫn cụ thể về thay đổi chế độ quạt trong ngày nghỉ vẫn chưa được hệ thống hóa chi tiết. Tại Việt Nam, thực hiện Chỉ thị số 20/CT-TTg ngày 08/6/2023 của Thủ tướng Chính phủ "Về việc tăng cường tiết kiệm điện giai đoạn 2023-2025 và các năm tiếp theo" và Công văn số 87/TKV-CV của TKV về việc sử dụng điện tiết kiệm, việc nghiên cứu điều chỉnh quạt gió chính là yêu cầu mang tính cấp thiết. Mỏ than Khe Chàm III (Công ty than Khe Chàm - TKV) là một mỏ điển hình thuộc Hạng II về khí mê tan, được lựa chọn làm cơ sở để tính toán, thử nghiệm và đánh giá nhằm thiết lập quy trình chuẩn hóa cho bài toán tiết kiệm điện năng này.

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Thực trạng hệ thống thông gió tại mỏ than Khe Chàm III (Công ty than Khe Chàm - TKV)

Hiện nay, Công ty than Khe Chàm - TKV quản lý và khai thác khu vực mỏ Khe Chàm III, tiến hành đào lò và khai thác tại các vỉa 14.5, 14.4, 14.2 từ mức -300 trở lên [9].

Phương pháp thông gió chung của mỏ là phương pháp thông gió hút với sự làm việc liên hợp của 02 trạm quạt gió chính kiên cố, đảm bảo thông gió thường xuyên cho khoảng 10 lò chợ, hơn 20 gương lò đào và 04 hầm bơm.

Trạm quạt số 1 được đặt tại cửa lò thông gió mức +112, sử dụng bộ quạt 2K56-No30 (1 quạt làm việc, 1 quạt dự phòng) có công suất động cơ 1250 kW. Quạt hoạt động với góc lắp cánh 30°, tần số f = 41 Hz. Trạm quạt số 2 được đặt tại cửa lò thông gió mức +35, sử dụng bộ quạt 2K56-No30 (1 quạt làm việc, 1 quạt dự phòng) có công suất động cơ 1200 kW. Quạt số 1 chạy với góc lắp cánh 30°, tần số f = 43 Hz.

Đặc tính kỹ thuật của dòng quạt 2K56-No30 là dòng quạt hướng trục 2 cấp do Trung Quốc sản xuất, gồm 2 bánh công tác gắn trên cùng một trục quạt và được điều khiển bởi một động cơ chung. Một điểm vô cùng thuận lợi là cả hai trạm quạt tại Khe Chàm III đều đã được đầu tư trang bị hệ thống tủ biến tần đồng bộ. Mỏ có hệ thống quan trắc khí tập trung, tự động đo CH_4, CO với ngưỡng cắt điện tự động an toàn.

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Cơ sở khoa học để giảm lưu lượng gió trong ngày nghỉ xuất phát từ việc phân tích sự biến mất của các yếu tố sinh khí và bụi. Trong ngày nghỉ, lưu lượng gió cần thiết của các hộ tiêu thụ gió được tính toán dựa theo các nguyên tắc sau:

- Yếu tố con người và thuốc nổ bằng 0.

- Lượng gió cho gương lò chuẩn bị chỉ cần tính toán dựa trên vận tốc gió tối thiểu (V_{min}) để duy trì điều kiện thông thoáng theo Quy chuẩn [10], [11].

- Tại lò chợ, dù ngừng khai thác, khí CH4 vẫn thoát ra từ gương và khoảng không đã khai thác. Trạng thái này tương đương với "lò chợ dự phòng", do đó lượng gió yêu cầu lấy tối thiểu bằng 50% lượng gió tính theo độ thoát khí CH_4 của ngày làm việc [11], [12], [13].

Để thực hiện giảm lưu lượng Q, giải pháp can thiệp cơ điện được phân tích dựa trên "Định luật của quạt". Phương trình toán học thể hiện mối quan hệ:

$$\frac{Q_a}{Q_b} = \frac{n_a}{n_b} \quad (1)$$

và

$$\frac{P_a}{P_b} = \left(\frac{n_a}{n_b}\right)^3 \quad (2)$$

Theo định luật này, công suất tiêu thụ điện (P) tỷ lệ thuận với lũy thừa bậc 3 của tốc độ vòng quay (n). Do 2K56-No30 là dòng quạt dùng một động cơ điều khiển cả 2 bánh công tác, không thể áp dụng phương án "tắt 1 động cơ" như dòng FBCDZ. Việc sử dụng hệ thống biến tần (đã được lắp đặt sẵn tại mỏ) để thay đổi tần số điện áp, từ đó giảm tốc độ vòng quay, là phương pháp tối ưu, êm, bảo vệ tuổi thọ động cơ và mang lại hiệu quả tiết kiệm điện lớn nhất.

2.3. Tính toán lưu lượng gió cần thiết trong ngày nghỉ

Tổng lưu lượng gió ngày nghỉ ($Q_{m,n}$) cho mỏ Khe Chàm III được xác định theo phương pháp tính từ trong ra ngoài (tổng hợp từ các hộ tiêu thụ) bằng công thức:

$$Q_{m,n} = 1{,}1.[0{,}5.\sum Q_{lc.CH4} + \Sigma Q_{cb.Vmin} + \Sigma Q_{ht} + \Sigma Q_{rm.n}] \quad (3)$$

Áp dụng cho Quý I/2026 tại Công ty than Khe Chàm - TKV, dữ liệu tính toán như sau:

+ Đối với ngày làm việc bình thường: Lò chợ cần 159,4 m^3/s; Lò chuẩn bị cần 65,3 m^3/s; Hầm trạm cần 15 m^3/s; Rò gió là 22,47 m^3/s. Tổng lưu lượng yêu cầu toàn mỏ ($Q_{m,l}$) là 305,92 m^3/s.

+ Đối với ngày nghỉ:

Lò chợ: Tính theo 50% yếu tố CH_4 (giá trị chuẩn là 155,4 m^3/s).

Lò chuẩn bị: Tính theo V_{min} là 65,3 m^3/s.

Hầm trạm: Giữ nguyên 15 m^3/s.

Rò gió: Lấy 10% của tổng (Lò chợ tính theo yếu tố CH_4 + Lò chuẩn bị tính theo yếu tố V_{min}) = 22,07 m^3/s.

Tổng lưu lượng ngày nghỉ ($Q_{m,n}$) là 198,07 m^3/s.

Như vậy, hệ số giảm lượng gió (P_g) của ngày nghỉ so với ngày làm việc là:

$$P_g = \frac{305{,}92 - 198{,}07}{305{,}92} \times 100\% = 35{,}25\%. \quad (4)$$

Như vậy, nhu cầu gió thực tế trong ngày nghỉ tại Khe Chàm III có thể giảm tới 35,25% mà vẫn đảm bảo cung cấp đủ gió cho các vị trí trong ò.

2.4. Đề xuất phương án triển khai thử nghiệm

Để có thể đề xuất phương án điều chỉnh lưu lượng gió trong ngày nghỉ một cách hiệu quả và an toàn, quá trình lựa chọn phải được xây dựng dựa trên sự phân tích khắt khe giữa nhu cầu gió thực tế của mỏ (198,07 m^3/s, tức giảm 35,25% so với ngày làm việc bình thường) và cấu tạo cơ điện của các hệ thống quạt gió đang vận hành tại mỏ than Khe Chàm III.

Hiện tại, mỏ than Khe Chàm III (Công ty than Khe Chàm - TKV) sử dụng 02 trạm quạt gió chính đều thuộc loại 2K56-No30 do Trung Quốc sản xuất. Đặc điểm cốt lõi về mặt kết cấu của quạt hướng trục 2 cấp 2K56-No30 là hai bánh công tác

của quạt được gắn chung trên cùng một trục truyền động và được điều khiển bởi một động cơ điện duy nhất. Đặc tính này hoàn toàn khác biệt so với các dòng quạt FBCDZ (sử dụng 2 động cơ độc lập cho 2 bánh công tác). Do đó, giải pháp "tắt bớt 1 động cơ" để giảm 30% lưu lượng gió – vốn là một phương pháp khá phổ biến, dễ áp dụng ở nhiều mỏ khác – lại hoàn toàn bất khả thi và bị loại bỏ ngay từ đầu tại mỏ Khe Chàm III.

Từ thực trạng không thể tắt bớt động cơ, các phương án lý thuyết khác được đề xuất để kiểm soát lưu lượng gió đưa vào mỏ bao gồm:

- Tăng sức cản chung của mỏ: Phương pháp này được thực hiện bằng cách đóng bớt các cửa sổ gió hoặc điều chỉnh hệ thống cửa thông gió trong mạng mạng đường lò nhằm tạo thêm lực cản khí động học. Tuy nhiên, việc tăng sức cản sẽ ép quạt phải làm việc với hạ áp lớn hơn, khiến dòng điện tăng cao và lượng điện năng tiêu thụ không hề giảm so với làm việc bình thường. Giải pháp này đi ngược lại hoàn toàn với mục tiêu tiết kiệm năng lượng của nghiên cứu nên bị loại bỏ.

- Phương án thay đổi góc lắp cánh của quạt: Về mặt lý thuyết, việc giảm góc lắp cánh của các cánh quạt gắn trên bánh công tác (dòng 2K56 có thể chỉnh từ 20° đến 50°) sẽ kéo đường đặc tính hạ áp tĩnh của quạt xuống thấp, từ đó giảm lưu lượng. Tuy nhiên, trên thực tế hiện trường, thao tác này cực kỳ tốn công sức, đòi hỏi thời gian dừng quạt lâu để can thiệp cơ khí. Quan trọng hơn, việc thay đổi góc lắp cánh liên tục (giữa ngày làm việc và ngày nghỉ) sẽ phá vỡ trạng thái cân bằng động của quạt, gây hiện tượng rung lắc mạnh, ảnh hưởng nghiêm trọng đến tuổi thọ của cụm vòng bi và kết cấu trục. Do đó, phương án này cũng không được lựa chọn.

- Phương án sử dụng biến tần điều khiển tốc độ quay: Một lợi thế vô cùng lớn của Công ty than Khe Chàm - TKV là cả 02 trạm quạt 2K56-No30 đều đã được TKV đầu tư nâng cấp, trang bị đồng bộ các hệ thống tủ biến tần hiện đại. Theo định luật tương quan về khí động học, lưu lượng gió tỷ lệ thuận bậc nhất với tốc độ quay ($Q \sim n$), trong khi công suất điện tiêu thụ giảm theo lũy thừa bậc ba của tốc độ quay ($P \sim n^3$). Bằng cách thay đổi tần số điện áp qua biến tần, tốc độ vòng quay của động cơ sẽ được giảm xuống một cách êm ái, từ đó hạ lưu lượng gió đúng theo yêu cầu [14].

2.5. Quá trình triển khai thực tế

Quá trình triển khai thử nghiệm điều chỉnh chế độ làm việc của quạt gió chính trong ngày nghỉ tại Công ty than Khe Chàm - TKV được thực hiện dựa trên nền tảng pháp lý và các quy định kỹ thuật nghiêm ngặt. Việc thử nghiệm được căn cứ vào Biên bản làm việc ngày 26/01/2026 giữa Công ty than Khe Chàm – TKV và Trung tâm Khoa học Công nghệ Mỏ và Môi trường, cùng Công văn số 08–2026/CV-TTM ngày 21/01/2026 về việc xây dựng phương án kỹ thuật điều chỉnh quạt gió chính.

Để đảm bảo kết quả đánh giá khách quan và an toàn tuyệt đối, lịch trình thử nghiệm được tiến hành trọn vẹn trong khoảng 3 đến 4 giờ của một ca sản xuất vào ngày mỏ ngừng hoạt động. Quá trình hạ lưu lượng gió được thực hiện thông qua hệ thống biến tần với nguyên tắc điều chỉnh giảm dần tần số theo từng bước 5Hz/lần nhằm tránh các cú sốc khí động học và sốc cơ điện cho hệ thống. Cụ thể, thông số điều chỉnh tại 02 trạm quạt (đều sử dụng dòng quạt 2K56-No30) diễn ra như sau:

- Tại Trạm quạt số 1 (mặt bằng mức +112): Quạt đang vận hành ở góc lắp cánh 30° với tần số dòng điện là 41 Hz, tạo ra lưu lượng ban đầu khoảng 157 m^3/s. Lịch trình điều chỉnh giảm tần số (5Hz mỗi bước) để đưa lưu lượng gió hạ theo 2 mức kịch bản: Mức 1 giảm 20% (mục tiêu đạt 125,6 m^3/s) và Mức 2 giảm 35% (mục tiêu đạt 102,5 m^3/s).

- Tại Trạm quạt số 2 (mặt bằng mức +35): Quạt số 1 và số 2 đang vận hành ở góc lắp cánh 30° với tần số tương ứng là 43 Hz, lưu lượng ban đầu đạt 159 m^3/s. Hệ thống biến tần được lập trình hạ từng nấc 5Hz để giảm lưu lượng gió xuống Mức 1 (127,7 m^3/s) và Mức 2 (103,5 m^3/s) [9].

Việc điều chỉnh giảm tần số theo từng mức được diễn ra đồng thời ở cả 02 trạm quạt. Tổng lưu lượng gió 02 trạm quạt tạo ra sau khi điều chỉnh ở Mức 2 là 206 m^3/s (dự kiến), tiệm cận mức mục tiêu 198,07 m^3/s cần cung cấp cho ngày nghỉ như tính toán từ trên.

Quá trình thử nghiệm là sự phối hợp liên hoàn, đồng bộ và kỷ luật của nhiều bộ phận chuyên môn trong Công ty than Khe Chàm. Chức năng, nhiệm vụ và đóng góp của từng bộ phận được quy định rõ ràng nhằm kiểm soát rủi ro:

- Ban Giám đốc Công ty: Nắm quyền chỉ huy tối cao, lệnh vận hành trạm quạt gió chính theo chế độ điều chỉnh giảm tần số chỉ được phép thực hiện khi có lệnh trực tiếp từ Ban Giám đốc và Phòng Điều khiển (ĐK).

- Phân xưởng Trạm mạng (PXTM): Trực tiếp thực hiện thao tác đóng cắt, điều chỉnh biến tần theo đúng quy trình an toàn dưới sự chỉ đạo của Phòng Cơ điện – Vận tải (CV). Xuyên suốt 3-4 giờ thử nghiệm, nhân viên của phân xưởng liên tục đo đạc, ghi chép các thông số: dòng điện, điện áp, nhiệt độ cuộn dây, nhiệt độ gối đỡ, lưu lượng và hạ áp của quạt.

- Phân xưởng Thông gió – Thoát nước (PXTG-TN): Đóng vai trò giám sát an toàn khí mỏ tại hiện

trường hầm lò. Phân xưởng phối hợp với PXTM để theo dõi sát sao sự sụt giảm của hạ áp và lưu lượng gió. Đặc biệt, phân xưởng bố trí công nhân đo khí thường trực, sử dụng máy đo khí đa năng để kiểm tra khí CO_2, CO, CH_4 tại các vị trí yết hầu. Đồng thời, cắt cử người trực gác quạt gió cục bộ tại các gương lò đào (đảm bảo quạt có 2 nguồn điện riêng biệt và ống gió chữ Y), sẵn sàng khởi động quạt dự phòng hoặc tổ chức tháo khí nếu phát sinh tích tụ khí do lưu lượng gió chính giảm.

- Phòng Điều khiển (ĐK): Là trung tâm đầu não trực ban. Phòng ĐK có trách nhiệm theo dõi liên tục dữ liệu truyền về từ Hệ thống giám sát khí mỏ tập trung tự động 24/24h. Đây là đầu mối liên lạc khẩn cấp (qua điện thoại nội bộ 3 số) để tiếp nhận cảnh báo từ hầm lò và phát lệnh ngưng thử nghiệm nếu hàm lượng khí chạm ngưỡng cắt điện.

- Phòng Kỹ thuật Công nghệ Mỏ (KCM) và Phòng Cơ điện - Vận tải (CV): Đóng vai trò cố vấn chuyên môn. Hai phòng ban này túc trực tại trung tâm giám sát điều hành sản xuất cùng để tiếp nhận báo cáo diễn biến từ các đơn vị liên quan trong quá trình thử nghiệm (Hình 1). Trong trường hợp lưu lượng gió giảm vượt quá giới hạn cho phép hoặc thông số vi khí hậu biến động xấu, Phòng KCM và Phòng CV sẽ đánh giá rủi ro, đưa ra các giải pháp xử lý sự cố kịp thời, đảm bảo an toàn tuyệt đối cho toàn bộ cấu trúc mỏ.



Hình 1. Giám sát quá trình thử nghiệm tại Trung tâm giám sát điều hành sản xuất của Công ty Than Khe Chàm - TKV

Nhờ sự phân công nhiệm vụ rõ ràng và thiết lập hệ thống giám sát đa tầng (từ thiết bị đo cầm tay dưới hầm lò đến hệ thống giám sát tự động), quá trình thử nghiệm giảm tần số biến tần tại mỏ than Khe Chàm III đã thu thập được chuỗi số liệu có độ tin cậy cao, loại trừ hoàn toàn các nguy cơ rủi ro về an toàn trong ngày mỏ ngừng sản xuất.

2.6. Đánh giá kết quả thử nghiệm

2.6.1. Đánh giá về các thông số đo đạc thực tế

Quá trình vận hành thử nghiệm giảm lưu lượng gió tại 02 trạm quạt chính 2K56-No30 (mặt bằng +112 và +35) thông qua biến tần đã cung cấp một chuỗi dữ liệu thực chứng đặc biệt quan trọng về đáp ứng cơ điện và khí động học của hệ thống. Khi tiến hành giảm dần tần số dòng điện (với bước giảm 5Hz/lần) từ mức vận hành định mức, các thông số động cơ thể hiện sự chuyển tuyến vô cùng êm ái. Nhờ đặc tính khởi động và điều tốc mềm của bộ biến tần, hệ thống hoàn toàn không ghi nhận các hiện tượng sốc điện, không có sự gia tăng đột biến của dòng điện stator, và điện áp lưới vẫn được duy trì ổn định ở mức 6000V (Hình 2,3,4). Các chỉ số về nhiệt độ cuộn dây động cơ và nhiệt độ gối đỡ của 2 trục quạt đều nằm trong giới hạn cho phép, cấu trúc cơ khí không phát sinh hiện tượng rung lắc hay tiếng ồn bất thường khi làm việc ở tần số thấp.



Hình 2. Hiển thị số hiệu trên đồng hồ của tủ điện tại thời điểm 8h18'



Hình 3. Hiển thị số liệu trên đồng hồ của tủ điện tại thời điểm 8h44'



Hình 4. Hiển thị số liệu trên đồng hồ của tủ điện tại thời điểm 10h04'

Về mặt khí động học mạng gió, khi tần số giảm để đạt "Mức 2" (tương ứng mục tiêu giảm 35% lưu lượng), thông số đo đạc tại cửa lấy gió cho thấy tổng lưu lượng gió chung cấp vào mỏ đã giảm đều từ 316 m^3/s xuống sát mức mục tiêu 206 m^3/s (tiệm cận với mức yêu cầu lý thuyết là 198,07 m^3/s). Sự sụt giảm lưu lượng này kéo theo sự suy giảm của hạ áp mạng mỏ theo quy luật bậc hai ($Q \sim H^2$). Việc hạ áp chung của mỏ giảm đi đáng kể giúp làm giảm áp lực khí động học lên toàn bộ các công trình thông gió (cửa gió, tường chắn), qua đó trực tiếp làm giảm tỷ lệ rò rỉ gió nội bộ. Các số liệu đo đạc thực tế khẳng định rằng: sử dụng biến tần để điều tiết tốc độ vòng quay là giải pháp vận hành tối ưu nhất cho dòng quạt 2K56-No30, bảo vệ an toàn cho thiết bị cơ điện và mạng gió.

2.6.2 Đánh giá về mức độ an toàn thực tế trong quá trình thử nghiệm

Yếu tố tiên quyết trong mọi kịch bản điều chỉnh thông gió là phải đảm bảo tuyệt đối an toàn về khí

mỏ. Việc cắt giảm 35,25% lưu lượng gió vào ngày nghỉ ban đầu đặt ra thách thức về khả năng tích tụ khí mê tan (CH_4). Tuy nhiên, dữ liệu thực tế trích xuất từ Hệ thống giám sát khí mỏ tập trung tự động của Công ty than Khe Chàm – TKV đã chứng minh mức độ an toàn hoàn hảo của phương án. Trong suốt thời gian thử nghiệm, khi lưu lượng gió chung giảm xuống ~206 m^3/s, nồng độ khí CH4, CO, CO_2 tại mọi điểm nút trọng yếu (như luồng gió thải lò chợ vỉa 14.5, 14.4 và các gương lò đào mức -300) đều được kiểm soát chặt chẽ, nằm rất sâu dưới ngưỡng an toàn theo Quy chuẩn QCVN 01:2011/BCT [1].

Cụ thể, nồng độ CH_4 tại gió thải chung của toàn mỏ và gió thải các khu vực đều thấp hơn ngưỡng cảnh báo 0,75%, tại luồng gió thải lò chợ hoàn toàn không chạm tới ngưỡng 1%. Điều này minh chứng cho lập luận khoa học: trong ngày nghỉ, khi máy móc ngừng hoạt động và không nổ mìn, lượng khí mê tan thoát ra chủ yếu chỉ còn dạng thẩm thấu từ vỉa và khoảng không đã khai thác, tương đương trạng thái "lò chợ dự phòng" (chỉ cần cấp 50% lưu lượng gió). Đồng thời, công tác quản lý thông gió cục bộ được duy trì nghiêm ngặt; các quạt cục bộ tại tại các gương lò đào vẫn được cấp điện bằng 2 nguồn độc lập và chạy liên tục 24/24h, loại trừ triệt để nguy cơ quẩn khí tại các gương lò cụt. Môi trường vi khí hậu trong mỏ vẫn duy trì thông thoáng, đáp ứng tiêu chuẩn vệ sinh lao động cho các tổ trực gác, tuần tra mỏ.

2.6.3 Đánh giá kết quả tiết kiệm điện năng

Kết quả nổi bật và mang lại giá trị thực tiễn lớn nhất của thử nghiệm là hiệu quả tiết kiệm điện năng khổng lồ, được chứng minh qua mô hình toán học và thông số đo đạc thực tế. Cơ sở cốt lõi của giải pháp nằm ở "Định luật của Quạt", trong đó công suất tiêu thụ điện (*P*) tỷ lệ thuận với lũy thừa bậc ba của tốc độ vòng quay và lưu lượng ($\frac{P_a}{P_b} = \left(\frac{Q_a}{Q_b}\right)^3$).

Dựa trên số liệu khảo sát định mức, khi mỏ hoạt động bình thường, 02 trạm quạt 2K56-No30 tại mặt bằng +35 và +112 (có công suất động cơ lớn 1200 - 1250 kW) có tổng điện năng tiêu thụ trong 1 giờ là 1349,4 kW (bao gồm 630,7 kW cho trạm +112 và 718,7 kW cho trạm +35). Khi áp dụng biến tần để giảm lưu lượng gió xuống Mức 2, tổng điện năng tiêu thụ giảm xuống còn 754,4 kW (bao gồm 354,9 kW cho trạm +112 và 399,5 kW cho trạm +35). Tổng chênh lệch điện năng tiêu thụ giữa 2 chế độ vận hành là 615 kW (Bảng 1).

Bảng 1. Kết quả thử nghiệm và hiệu quả đạt được

TT	Vị trí trạm quạt	Thông số vận hành ở chế độ bình thường (ngày mỏ làm việc)			Thông số vận hành ở chế độ điều chỉnh tần số (ngày nghỉ sản xuất)			Chênh lệch điện năng tiêu thụ trong 1 giờ (kW)
		Tần số (Hz)	Lưu lượng (m^3/s)	Điện năng tiêu thụ trong 1 giờ (kW)	Tần số (Hz)	Lưu lượng (m^3/s)	Điện năng tiêu thụ trong 1 giờ (kW)	
1	Quạt 2K56-$N_0$30 mặt bằng +112	41	115,5	630,7	31	90,2	354,9	275,8
2	Quạt 2K56-$N_0$30 mặt bằng +35	43	115,5	718,7	33	90,2	399,5	319,2
3	**Tổng cộng**	-	-	-	-	-	-	**615,022**

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Hiện trạng thông gió tại các mỏ hầm lò hiện nay cho thấy rằng, nhu cầu gió thực tế khi mỏ tạm ngừng sản xuất thì lưu lượng gió đặt ra cho quạt gió làm việc nhỏ hơn rất nhiều so với khi mỏ tiến hành các hoạt động khai thác. Do vậy, để đảm bảo tiết kiệm năng lượng thì việc nghiên cứu lắp đặt biến tần giảm tốc độ vòng quay cho quạt gió chính là giải pháp hữu hiệu cần được hoàn thiện và áp dụng rộng rãi.

Tại mỏ công ty than Khe Chàm quá trình áp dụng biến tần để giảm tốc độ vòng quay của dòng quạt 2K56-No30 cho thấy giải pháp này không những đảm bảo an toàn tuyệt đối về khí mỏ mà còn mang lại tiềm năng tiết kiệm điện năng tương đối lớn cho mỏ.

Kết quả triển khai cho thấy toàn bộ quỹ thời gian nghỉ trong năm của mỏ (bao gồm các ngày lễ, tết, chủ nhật, ước tính khoảng 65 ngày), tổng lượng điện năng tiết kiệm được đạt mức 885.600 kWh/năm. Với việc mỏ có thể mở rộng nghỉ thứ 7 (lên 117 ngày/năm), con số này còn lớn hơn nhiều. Không chỉ tiết kiệm chi phí năng lượng lên tới hàng tỷ đồng, việc giảm tải thông qua biến tần còn giúp cải thiện hệ số công suất (*cosφ*), giảm hao phí tổn thất điện năng do dòng khởi động, đóng góp trực tiếp vào mục tiêu giảm giá thành 1 tấn than nguyên khai của Công ty than Khe Chàm - TKV.

4. KẾT LUẬN

Quá trình thử nghiệm đã chứng minh tính khả thi, đúng đắn và hiệu quả vượt trội của giải pháp sử dụng biến tần để giảm lưu lượng gió trong ngày nghỉ. Khi các hoạt động sản xuất ngưng trệ, việc điều chỉnh giảm 35,25% lưu lượng gió (từ định mức 305,92 m^3/s xuống ngưỡng tiệm cận 198,07 m^3/s) cho hai trạm quạt 2K56-No30 đã hoàn toàn đáp ứng được nhu cầu thông gió duy trì. Hệ thống không chỉ đảm bảo tuyệt đối các thông số an toàn về khí cháy nổ (CH_4, CO) và vi khí hậu theo đúng QCVN 01:2021/BCT, mà còn mang lại hiệu quả tiết kiệm điện năng khổng lồ dựa trên nguyên lý công suất tỷ lệ thuận với bậc ba của tốc độ vòng quay. Đây là chìa khóa then chốt để tiết giảm chi phí sản xuất, hạ giá thành than nguyên khai.

Mặc dù số liệu đo đạc thực tế cho thấy hệ thống cơ điện hoạt động ổn định và mức độ khí mỏ an toàn tuyệt đối, tuy nhiên một điểm hạn chế là thời gian vận hành thử nghiệm thực tế mới chỉ gói gọn trong khoảng thời gian ngắn (từ 3 đến 4 giờ của một ca sản xuất). Mức độ tin cậy của thông số trong khung thời gian này là rất cao, nhưng chưa thể bao quát và phản ánh được toàn bộ động học phức tạp của quá trình thẩm thấu, tích tụ khí mê tan trong những chu kỳ nghỉ dài hạn (như nghỉ trọn vẹn 24 - 48 giờ cuối tuần, hoặc kéo dài nhiều ngày vào các dịp lễ, Tết). Sự biến thiên của áp suất thông gió tự nhiên theo chu kỳ ngày đêm và theo mùa cũng chưa được đưa vào đánh giá chi tiết trong thời lượng thử nghiệm ngắn hạn này.

Để khắc phục các hạn chế trên, nghiên cứu cần được tiếp tục mở rộng thông qua các đợt thử nghiệm mô phỏng toàn thời gian (đo đạc liên tục 24/24h trong các ngày mỏ nghỉ) nhằm xác lập biểu đồ thoát khí toàn diện nhất. Hướng phát triển công nghệ lõi tiếp theo là xây dựng cơ chế tự động hóa khép kín: nghiên cứu các thuật toán thông minh để liên kết trực tiếp dữ liệu nồng độ CH_4, CO thời gian thực từ Hệ thống giám sát khí mỏ tập trung với bộ điều khiển vi xử lý của tủ biến tần trạm quạt. Cơ chế này sẽ cho phép quạt gió tự động nội suy và nâng/hạ tần số linh hoạt theo nồng độ khí thực tế dưới hầm lò mà không cần sự can thiệp thủ công của con người ❐

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Bộ Công thương. *Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về an toàn trong khai thác than hầm lò (QCVN 01:2011/BCT)*. Nhà xuất bản Lao động, Hà Nội, 2011.

[2] Ф.А Абрамов, В.А Бойко, Н.Ф Гращенков. *Справочник по рудничной вентиляции*. Недра, Mockba, 1977 - 328 с.

[3] К.З. Ушаков, А.С. Бурчаков, Л.А. Пучков, И.И. Медведев. *Аэрология горных предприятий*. Недра, Mockba, 1987- 421 с.

[4] А.М.Кирин và nnk. *Руководстьо по проектированию ветиляции угольньх шахт*. Недра, Mockba, 1989.

[5] Trương Quốc Quyền. *Thông gió và An toàn (tiếng Trung)*. NXB Đại học Mỏ và Công nghệ Trung Quốc, 1999.

[6] Hoàng Nguyên Bình. *Thông gió mỏ (tiếng Trung)*. Nhà xuất bản đại học Mỏ và công nghệ Trung Quốc, 2003.

[7] Vương Đức Minh. *Thông gió và an toàn mỏ hầm lò (tiếng Trung)*. Nhà xuất bản đại học Mỏ và công nghệ Trung Quốc, 2009.

[8] A.I. Ksenofontova và nnk. *Indrumator pentu aerajul minelor*. Editura tehnica. Bucuresti, 1966.

[9] Trung tâm Khoa học Công nghệ Mỏ và Môi Trường. *Báo cáo tổng kết đề tài "Nghiên cứu xây dựng phương pháp xác định đường đặc tính hạ áp thực tế và đề xuất quy trình xác định chế độ làm việc hợp lý của quạt gió chính ở các mỏ than hầm lò thuộc TKV"*. Hà Nội, 2021.

[10] Công ty cổ phần phát triển khoa học xanh. *Báo cáo tổng kết công trình "Nghiên cứu kiểm định mạng gió và xây dựng phương án thông gió khi khai thác xuống sâu mức -350 của khu mỏ Khe Chàm I-Công ty than Hạ Long"*. Hà Nội, 2018.

[11] PGS. TS. Trần Xuân Hà và nnk. *Cẩm nang thông gió mỏ hầm lò các đường hầm giao thông và quạt gió*. Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội, 2019.

[12] Trường quản trị kinh doanh – Vinacomin. *Tài liệu bồi dưỡng nghiệp vụ công tác thông gió và quản lý khí mỏ*. Hà Nội, 2017.
[13] Trần Xuân Hà, Đặng Vũ Chí, Nguyễn Cao Khải, Nguyễn Văn Thịnh. *Giáo trình Thông gió mỏ*. Nhà xuất bản Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội, 2014.
[14] Phạm Trung Sơn, Nguyễn Đình Tiến. Điều khiển bằng bộ biến tần cho các hệ thống truyền động nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng điện năng và tối ưu hóa các dây chuyền công nghệ trong các mỏ than hầm lò. *Tạp chí Công nghiệp mỏ*, số 1, 2025.

LỜI CẢM ƠN

Nội dung bài báo được hỗ trợ từ đề tài nghiên cứu cấp Tập đoàn Công nghiệp Than - Khoáng sản Việt Nam của Trung tâm KHCN Mỏ và Môi trường, mã số: KC.01.Đ07-25/21-25.

EVALUATION OF TEST RESULTS AND ELECTRICITY SAVINGS FROM VENTILATION DURING NON-WORKING DAYS AT KHE CHAM COAL COMPANY – VINACOMIN

Van Chi Dao, Duc Hung Pham*, Thai Tien Dung Vu

Hanoi University of Mining and Geology, 18 Vien Str., Ha Noi, Vietnam

ARTICLE INFOR
TYPE: Research Article
Received: 20/8/2026
Revised: 15/9/2026
Accepted: 05/10/2026
* Corresponding author:
Email: phamduchung@humg.edu.vn

ABSTRACT

Energy conservation in underground mine ventilation is a pressing issue, particularly given that ventilation-related electricity costs account for over 30% of the mine's total power expenditure. This paper presents research findings on determining the required airflow and strategies for adjusting the operating mode of the main ventilation fans during non-working days at the Khe Cham III coal mine (operated by Khe Cham Coal Company – Vinacomin; classified as a Category II mine regarding methane hazards). Based on calculations of actual airflow requirements during production shutdowns–accounting for the absence of personnel and blasting, reduced dust generation, and methane emission levels comparable to those of a standby longwall face–the study determined that the required airflow for Khe Cham III during non-working days (projected for the first quarter of 2026) is 198.07 m³/s. This represents a 35.25% reduction compared to the airflow required on normal working days (305.92 m³/s). The study proposed and implemented a solution utilizing variable frequency drives to reduce the rotational speed of the 2K56-No30 fan series. Evaluation results indicate that this solution not only ensures absolute safety regarding mine gases but also adheres to aerodynamic principles, offering significant potential for electricity savings during the 65 to 117 non-working days observed annually at the mine.

Keywords: *ventilation, variable frequency drive, day off, methane.*

@ Vietnam Mining Science and Technology Association