

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA LƯU LƯỢNG GIÓ ĐẾN PHÁT TÁN BỤI TRONG GƯƠNG LÒ ĐÀO TẠI MỎ THAN DƯƠNG HUY SỬ DỤNG CFD

STUDY ON THE INFLUENCE OF MASS FLOW ON DUST DISPERSION IN THE
HEADING FACE AT THE DUONG HUY COAL MINE USING CFD

Nguyễn Văn Quang*, Nguyễn Văn Thịnh, Nguyễn Thanh Tùng, Nguyễn Thị Tuyết Mai
Trường Đại học Mở – Địa chất

TÓM TẮT

Nghiên cứu này tập trung vào vấn đề quan trọng về ô nhiễm bụi trong môi trường làm việc trong mỏ than, đặc biệt là về bụi hô hấp gây hại cho sức khỏe của người lao động. Bụi mỏ thường phát sinh trong quá trình thi công, chống giữ và vận tải trong gương lò đào, đặc biệt là trong quá trình nổ mìn, không chỉ ảnh hưởng đến tiến độ công việc mà còn đe dọa sức khỏe của người lao động. Nhằm giảm thiểu tác động của bụi đối với sức khỏe và môi trường làm việc, nghiên cứu này sử dụng mô hình số CFD (Computational Fluid Dynamics) kết hợp với dữ liệu khảo sát thực địa để nghiên cứu quá trình phát tán bụi trong không gian và thời gian tại gương lò đào mỏ than Dương Huy. Kết quả nghiên cứu cho thấy mối quan hệ giữa lưu lượng gió và nồng độ bụi trong không gian gương lò theo thời gian tỉ lệ nghịch với nhau. Điều này có ý nghĩa quan trọng trong việc hiểu và quản lý tốt hơn về phát tán bụi trong môi trường làm việc của mỏ than, nhằm bảo vệ sức khỏe của người lao động và tối ưu hóa quy trình khai thác. Khi tăng lưu lượng gió từ 150 đến 500 m³ thì lượng bụi giảm đáng kể, còn từ 500 đến 700 m³ thì lượng bụi giảm ổn định.

Từ khóa: Bụi; Mô phỏng CFD; Lưu lượng gió; Lò đào.

ABSTRACT

This study focuses on the significant issue of dust pollution in the working environment of coal mines, particularly concerning respirable dust that poses health hazards to the labor force. Dust in mines often arises during construction, support, and transportation processes within the heading face, especially during blasting. This not only impacts the progress of work but also poses a threat to the health of workers. In order to minimize the impact of dust on health and the working environment, this study employs Computational Fluid Dynamics (CFD) models in conjunction with on-site survey data to investigate the dispersion of dust in space and time at the heading face of the Dương Huy coal mine. The research results indicate a reciprocal relationship between air flow rates and dust concentrations in the heading face over time. This has significant implications for better understanding and managing dust dispersion in the coal mine working environment, aiming to protect the health of workers and optimize the extraction process. When increasing the air flow rate from 150 to 500 m³, a considerable reduction in dust is observed, and a stable decrease in dust is maintained between 500 and 700 m³.

Keywords: Dust; CFD simulation; Airflow rate; Heading face.



1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Theo Quy hoạch điều chỉnh phát triển ngành than Việt Nam đến năm 2020, có xét triển vọng đến năm 2030 được Thủ tướng Chính phủ phê duyệt tại Quyết định số 403/QĐ-TTg, ngày 14 tháng 03 năm 2016, sản lượng than sản xuất toàn ngành sẽ đạt 51-54 triệu tấn vào năm 2025 và 55-57 triệu tấn vào năm 2030 [4]. Điều này đồng nghĩa với việc các mỏ than sẽ phải tăng sản lượng khai thác, xây dựng thêm nhiều đường lò đào mới để phục vụ quá trình khai thác than. Mỏ than Dương Huy đã lên kế hoạch tiến hành xây dựng 10 đường lò đào mới với các tiết diện và quy mô khác nhau. Tuy nhiên, việc đào các đường lò mới sẽ tạo ra một lượng bụi đáng kể, ảnh hưởng đến tiến độ thi công và đặc biệt là sức khỏe của người lao động. Vì vậy, đã có nhiều nghiên cứu trong nước đã đề xuất giải pháp giảm nồng độ bụi trong môi trường làm việc trong mỏ than hầm lò, như sử dụng giải pháp phun sương kết hợp với thông gió [2, 3]. Một số nghiên cứu trên thế giới như: Kỹ thuật khử bụi trong gương lò đào chủ yếu bao gồm phun sương [8], phương pháp thông gió [6, 10], phun ép nước vào vỉa than [5]. Tóm lại, các nghiên cứu trước đây đã đưa ra những phương pháp khác nhau để giảm nồng độ bụi trong môi trường đào lò, nhưng phần lớn trong những nghiên cứu này đã tập trung vào việc thi công đường lò bằng cơ giới hóa. Vì vậy cần phải tiến hành nghiên cứu dựa trên đặc điểm kỹ thuật của từng mỏ than và tính chất than từng khu vực, bởi vì chúng có thể khác nhau. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã phát triển một mô hình 3D dựa trên đặc điểm đường lò dọc vỉa vận tải mức -90 V14 và tiến hành phân tích nồng độ bụi tại các vị trí 1m, 2m, 4m, 6m cách gương lò đào sau khi nổ mìn. Nghiên cứu này sử dụng mô hình CFD để mô phỏng và phân tích sự tương tác giữa lưu lượng gió và phát tán bụi, với mục tiêu cải thiện quá trình khai thác than

và bảo vệ sức khỏe của người lao động. Nghiên cứu đã tiến hành với sự thay đổi của lưu lượng gió khác nhau với $Q = 150, 300, 400, 500, 600, 700, 800 \text{ m}^3/\text{phút}$ để đánh giá mối quan hệ giữa lưu lượng gió và nồng độ bụi trong không gian đường lò theo thời gian.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH VẬT LÝ



Hình 1. Mô hình đường lò dọc vỉa vận tải mức -90 V14

Để xây dựng mô hình vật lý với tỉ lệ 1:1 so với thực tế, chúng tôi chọn kích thước phù hợp với hình 1, bao gồm chiều dài 60 m, chiều rộng 4 m và chiều cao 3,5 m. Nồng độ bụi được xác định là $0,0018 \text{ kg/s}$ và thời gian mô phỏng là 900 giây. Chúng tôi xem xét các mô hình với các lưu lượng khí (Q) khác nhau: 150, 300, 400, 500, 600, 700, 800 $\text{m}^3/\text{phút}$. Trong mô hình, chúng tôi sẽ tập trung vào sự lan truyền của bụi trong không khí dựa trên lưu lượng khí và các thông số vật lý của mô hình. Qua đó, chúng tôi sẽ phân tích ảnh hưởng của các mức lưu lượng khí khác nhau đối với sự lan truyền của bụi trong không gian đã được xây dựng. Qua quá trình mô phỏng, chúng tôi kỳ vọng có cái nhìn rõ hơn về cách mà lưu lượng gió ảnh hưởng đến sự phân tán và tích lũy của bụi trong mô hình vật lý đã xây dựng. Điều này có thể cung cấp thông tin quan trọng để đề xuất các biện pháp kiểm soát ô nhiễm không khí hiệu quả và cải thiện chất lượng không khí trong môi trường thực tế.

3. MÔ HÌNH TOÁN HỌC CỦA DÒNG KHÍ VÀ DÒNG BỤI

Phương trình liên tục có thể được biểu thị dưới dạng [7, 9]:

(1) Pha khí phương trình liên tục trong dòng chảy hai pha rắn-khí là:

$$\frac{\partial p}{\partial t} p_g + \frac{\partial}{\partial x_i} (p_g u_i) = 0 \quad (1)$$

Trong đó: t đại diện cho thời gian; ρ_g là khối lượng riêng của khí; u biểu thị vận tốc trung bình theo thời gian; i, j đại diện cho hướng trong hệ tọa độ tự do.

(2) Phương trình bảo toàn động lượng là:

$$\frac{\partial p}{\partial t} (p_g u_i) + \frac{\partial}{\partial x_i} (p_g u_i u_j) = \frac{\partial}{\partial x_j} (\alpha_f T_{ij}) - \frac{\partial p}{\partial x_j} + F_{fs} + p_g g \quad (2)$$

(3) Phương trình K:

$$\frac{\partial (\rho k)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho k u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right] + G_k - \rho \varepsilon \quad (3)$$

(4) Phương trình ε :

$$\frac{\partial (\rho \varepsilon)}{\partial t} + \frac{\partial (\rho \varepsilon u_i)}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\varepsilon} \right] + c_{1\varepsilon} \frac{\varepsilon}{k} G_k - C_{2\varepsilon} \rho \frac{\varepsilon^2}{k} \quad (4)$$

Trong đó:

$$G_k = \mu_t \left[\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right] \frac{\partial u_i}{\partial x_j}, \mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\varepsilon}$$

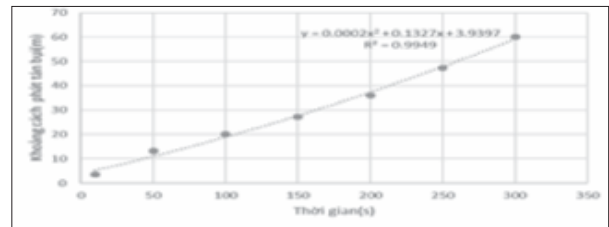
Ở đây: x_i và x_j là tọa độ theo các hướng X, Y và Z; u_i và u_j là vận tốc theo phương X, Y và Z (m/s); ρ là mật độ khí đường bộ (kg/m³); p là áp suất rối hiệu quả (pa); μ là hệ số nhớt động rối; G_k là tốc độ tạo năng lượng rối gây ra bởi gradient vận tốc trung bình theo thời gian (%); μ_t là hệ số nhớt động chảy rối; k là năng lượng rối (J); ε là tốc độ tiêu tán rối (%); $C_{1\varepsilon}$, $C_{2\varepsilon}$, C_μ , σ_k và σ_ε là các hằng số thực nghiệm.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

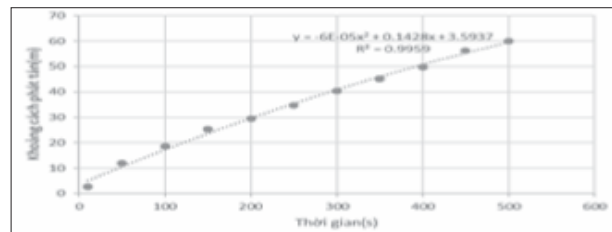
4.1. Ảnh hưởng của lưu lượng gió đến khuếch tán bụi trên toàn bộ không gian đường lò và vị trí cách nền đường lò 1,5m

Sau khi tiến hành nổ mìn tại đường lò, một lượng lớn bụi với kích thước các hạt khác nhau từ bề mặt gương lò phát ra vào khu vực đường lò. Lượng bụi phát tán bị ảnh hưởng từ quá trình nổ mìn và sau đó di chuyển trong không gian đường lò theo hướng gió di chuyển trong đường lò. Trên hình 2, 3, 4, 5, 6, 7 thể hiện kết quả phát tán bụi trong không gian đường lò và vị trí cách nền lò 1,5m (vị trí hít thở của công nhân). Kết quả cho thấy rằng quá trình phát tán bụi theo không gian và thời gian là một hàm bậc 2. Với 7 mô hình lưu lượng cho thấy quá trình phát tán bụi trong toàn bộ không gian và vị trí hít thở của công nhân cụ thể như sau.

Với lưu lượng $q = 150 \text{ m}^3/\text{phút}$: Sau thời gian 300s thì lượng bụi phát ra toàn bộ đường lò, còn tại vị trí hít thở thì 500s sẽ phát ra hết 60m đường lò, hình 2.



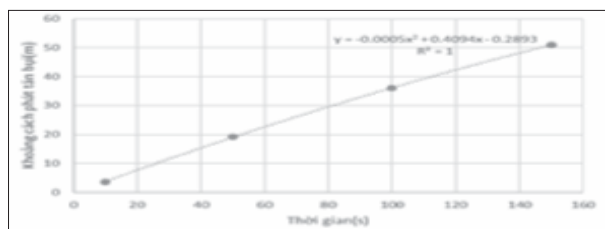
a. Trong không gian đường lò



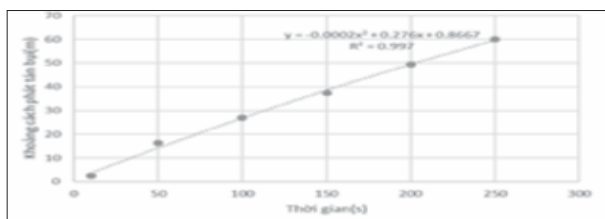
b. Tại vị trí cách nền 1,5m

Hình 2. Phát tán bụi theo thời gian và không gian đường lò với $Q = 150 \text{ m}^3/\text{phút}$

Với lưu lượng $q = 300 \text{ m}^3/\text{phút}$: Lượng bụi phát sinh trong không gian đường lò mất 150s, tại vị trí hít thở mất 250s để bụi phát sinh hết 60m đường lò, hình 3.



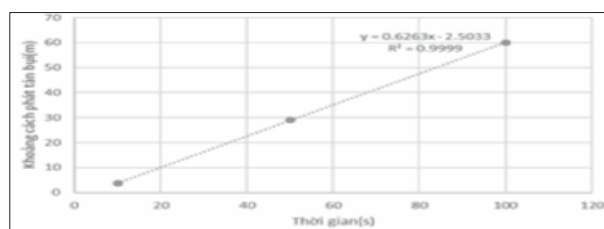
a. Trong không gian đường lò



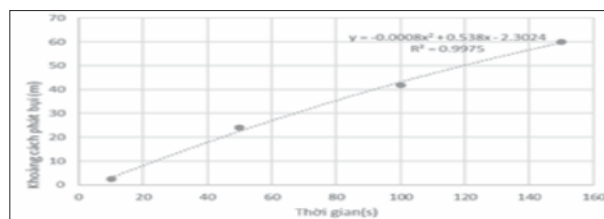
b. Tại vị trí cách nền 1,5m

Hình 3. Phát tán bụi theo thời gian và không gian đường lò với $Q = 300 \text{ m}^3/\text{phút}$

Với lưu lượng $q = 500 \text{ m}^3/\text{phút}$: Lượng bụi phát sinh trong không gian đường lò mất 100s, tại vị trí hít thở mất 150s để bụi phát sinh hết 60m đường lò, hình 5.



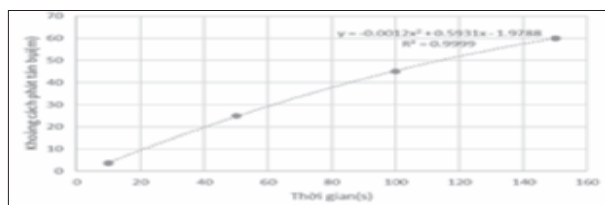
a. Trong không gian đường lò



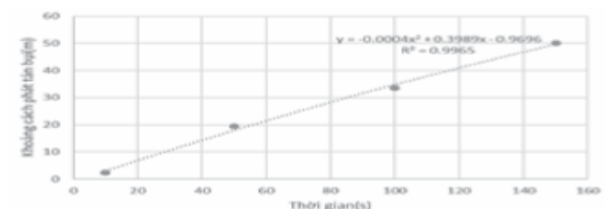
b. Tại vị trí cách nền 1,5m

Hình 5. Phát tán bụi theo thời gian và không gian đường lò với $Q = 500 \text{ m}^3/\text{phút}$

Với lưu lượng $q = 400 \text{ m}^3/\text{phút}$: Lượng bụi phát sinh trong không gian đường lò mất 150s, tại vị trí hít thở mất 150s để bụi phát sinh hết 60m đường lò, hình 4.



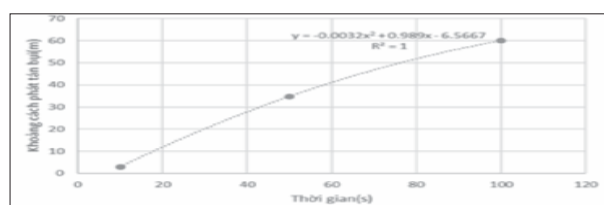
a. Trong không gian đường lò



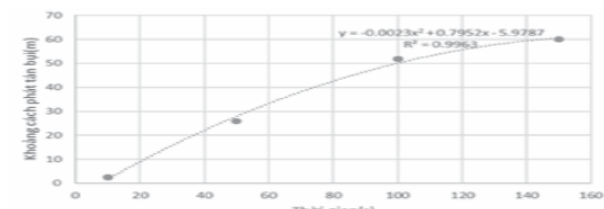
b. Tại vị trí cách nền 1,5m

Hình 4. Phát tán bụi theo thời gian và không gian đường lò với $Q = 400 \text{ m}^3/\text{phút}$

Với lưu lượng $q = 600 \text{ m}^3/\text{phút}$: Lượng bụi phát sinh trong không gian đường lò mất 100s, tại vị trí hít thở mất 150s để bụi phát sinh hết 60m đường lò, hình 6.



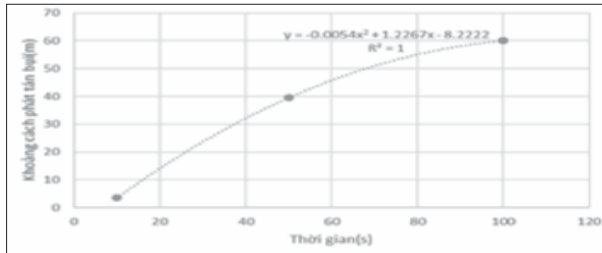
a. Trong không gian đường lò



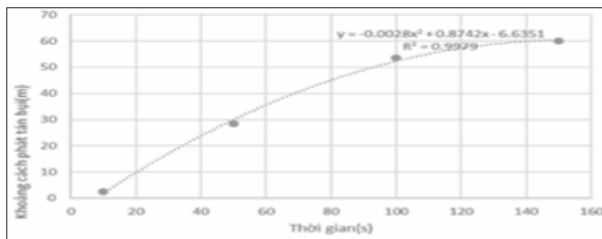
b. Tại vị trí cách nền 1,5m

Hình 6. Phát tán bụi theo thời gian và không gian đường lò với $Q = 600 \text{ m}^3/\text{phút}$

Với lưu lượng $q = 700 \text{ m}^3/\text{phút}$: Lượng bụi phát sinh trong không gian đường lò mất 100s, tại vị trí hít thở mất 150s để bụi phát sinh hết 60m đường lò, hình 7.



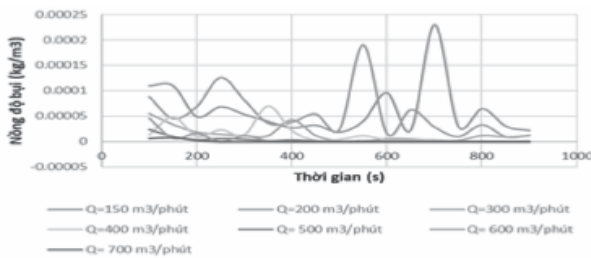
a. Trong không gian đường lò



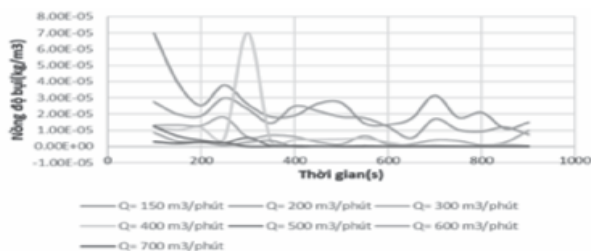
b. Tại vị trí cách nền 1,5m

Hình 7. Phát tán bụi theo thời gian và không gian đường lò với $Q = 700 \text{ m}^3/\text{phút}$

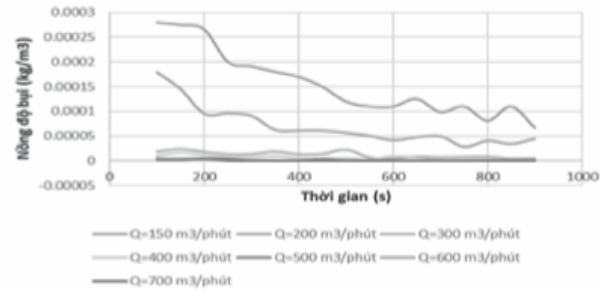
4.2. Ảnh hưởng của lưu lượng gió đến nồng độ bụi tại khu vực làm việc trước gương lò



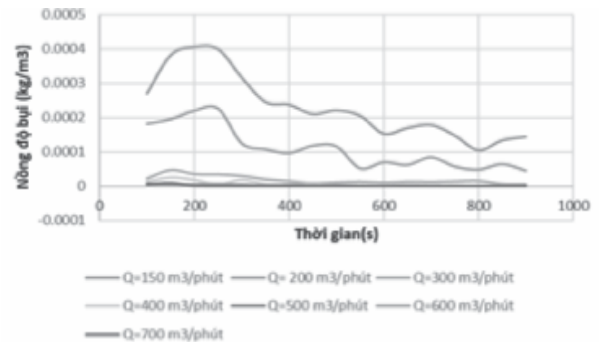
a. Tại vị trí cách gương 1m



b. Tại vị trí cách gương 2m



c. Tại vị trí cách gương 4m



d. Tại vị trí cách gương 6m

Hình 8. Nồng độ bụi tại các vị trí cách gương 1m, 2m, 4m, 6m

Để đánh giá hiệu quả giảm nồng độ bụi tại khu vực làm việc của công nhân tại gương lò đào. Bài báo lựa chọn các vị trí cách gương 1m, 2m, 4m, 6m với các lưu lượng gió khác nhau để đánh giá nồng độ bụi theo thời gian. Kết quả đánh giá tại thời điểm 100s-900s.

Tại vị trí 1m trước gương đào: Với $q = 150 \text{ m}^3/\text{phút}$ nồng độ bụi lớn nhất là 230 mg/m^3 , $q = 300 \text{ m}^3/\text{phút}$ là $54,75 \text{ mg/m}^3$, $q = 400 \text{ m}^3/\text{phút}$ là $69,5 \text{ mg/m}^3$, $q = 500 \text{ m}^3/\text{phút}$ là $23,17 \text{ mg/m}^3$, $q = 600 \text{ m}^3/\text{phút}$ là $46,13 \text{ mg/m}^3$, $q = 700 \text{ m}^3/\text{phút}$ là $8,07 \text{ mg/m}^3$.

Tại vị trí 2m trước gương đào: Với $q = 150 \text{ m}^3/\text{phút}$ nồng độ bụi lớn nhất là 70 mg/m^3 , $q = 300 \text{ m}^3/\text{phút}$ là $18,2 \text{ mg/m}^3$, $q = 400 \text{ m}^3/\text{phút}$ là $70,4 \text{ mg/m}^3$, $q = 500 \text{ m}^3/\text{phút}$ là $12,5 \text{ mg/m}^3$, $q = 600 \text{ m}^3/\text{phút}$ là $8,63 \text{ mg/m}^3$, $q = 700 \text{ m}^3/\text{phút}$ là $2,63 \text{ mg/m}^3$.

Tại vị trí 4m trước gương đào: Với $q = 150 \text{ m}^3/\text{phút}$ nồng độ bụi lớn nhất là 280 mg/m^3 , $q = 300 \text{ m}^3/\text{phút}$ là $24,6 \text{ mg/m}^3$, $q = 400 \text{ m}^3/\text{phút}$ là $16,9 \text{ mg/m}^3$, $q = 500 \text{ m}^3/\text{phút}$ là $4,88 \text{ mg/m}^3$, $q = 600 \text{ m}^3/\text{phút}$ là $4,16 \text{ mg/m}^3$, $q = 700 \text{ m}^3/\text{phút}$ là $4,17 \text{ mg/m}^3$.

Tại vị trí 6m trước gương đào: Với $q = 150 \text{ m}^3/\text{phút}$ nồng độ bụi lớn nhất là 407 mg/m^3 , $q = 300 \text{ m}^3/\text{phút}$ là $46,5 \text{ mg/m}^3$, $q = 400 \text{ m}^3/\text{phút}$ là $24,2 \text{ mg/m}^3$, $q = 500 \text{ m}^3/\text{phút}$ là $8,23 \text{ mg/m}^3$, $q = 600 \text{ m}^3/\text{phút}$ là $6,45 \text{ mg/m}^3$, $q = 700 \text{ m}^3/\text{phút}$ là $8,76 \text{ mg/m}^3$.

Kết quả cho thấy rằng, trong các mô hình lưu lượng gió với $q = 150-400 \text{ m}^3/\text{phút}$ thì nồng độ bụi trong khoảng thời gian đánh giá 100-900s vẫn còn khá cao, hiệu quả giảm bụi thấp; với $q = 500-700 \text{ m}^3/\text{phút}$ được cải thiện nhiều so với các lưu lượng gió trên.

5. KẾT LUẬN

Quy luật phát tán bụi trong đường lò bị ảnh hưởng bởi lưu lượng gió cung cấp cho gương lò, quá trình phát tán bụi trong đường lò theo không gian và thời gian là hàm bậc 2 có dạng $y = ax^2 + bx + c$. Với lưu lượng $q = 150-400 \text{ m}^3/\text{phút}$ thì hiệu quả giảm bụi thấp, $q = 500-700 \text{ m}^3/\text{phút}$ hàm lượng giảm bụi hiệu quả đảm các tiêu chuẩn theo quy phạm, khi tăng lưu lượng gió từ $150-500 \text{ m}^3/\text{phút}$ thì hàm lượng bụi giảm đáng kể còn từ $500-700 \text{ m}^3/\text{phút}$ hàm lượng giảm ổn định. Kết quả $q = 700 \text{ m}^3/\text{phút}$ hiệu quả giảm bụi tốt nhất tại các vị trí trước gương nồng độ bụi $< 10 \text{ mg/m}^3$. Vậy, việc thay đổi lưu lượng gió có ảnh hưởng rất lớn đến hiệu quả giảm bụi tại khu vực làm việc trước gương lò đào khi không sử dụng các biện pháp giảm bụi khác.

Lời cảm ơn:

Nghiên cứu này được tài trợ bởi Bộ Giáo dục và Đào tạo, mã số đề tài: B2022-MDA-11. ❖

Ngày nhận bài: 28/9/2023

Ngày phản biện: 26/10/2023

Tài liệu tham khảo:

- [1]. Đào Văn Chi, Lê Tiến Dũng, Đỗ Văn Linh (2022); *Nghiên cứu công nghệ lắp đặt và đánh giá hiệu quả chống bụi của thiết bị hút bụi dạng ướt trong quá trình đào lò ở mỏ than Vàng Danh*. Tạp chí Công nghiệp Mỏ, số 2, tr 47-52.
- [2]. Đinh Thị Thanh Nhân, Nguyễn Văn Thịnh, Lê Mạnh Cường (2021); *Nghiên cứu giải pháp giảm nồng độ bụi tại lò chợ cơ giới hóa VM-L(7)-1 mỏ than Mông Dương*. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ – Địa chất, Tập 62, kỳ 5a, tr 54-61.
- [3]. Nguyễn Văn Quang, Nguyễn Văn Thịnh (2019); *Nghiên cứu các giải pháp giảm thiểu nồng độ bụi và cải thiện điều kiện vi khí hậu tại các gương lò đào của mỏ than Núi Béo*, Tạp chí Công nghiệp Mỏ, số 2, tr 60-64.
- [4]. Thủ tướng Chính phủ (2016); Quyết định số 403/QĐ-TTg, ngày 14 tháng 03 năm 2016 về việc Điều chỉnh quy hoạch phát triển ngành than Việt Nam đến năm 2020, có xét triển vọng đến năm 2030, Hà Nội.
- [5]. Cheng, W.-m., Nie, W., Zhou, G., Yu, Y., Ma, Y., and Xue, J. (2012). *Research and Practice on Fluctuation Water Injection Technology at Low Permeability Coal Seam*. Saf. Sci. 50 (4), 851–856. doi:10.1016/j.ssci.2011.08.021.
- [6]. Guo, L., Nie, W., Yin, S., Liu, Q., Hua, Y., Cheng, L., et al. (2020). *The Dust Diffusion Modeling and Determination of Optimal Airflow Rate for Removing the Dust Generated during Mine Tunneling*. Building Environ. 178, 106846. doi:10.1016/j.buildenv.2020.106846.
- [7]. N.A. Patankar, D.D. Joseph, *Modeling and numerical simulation of particulate flows by the Eulerian-Lagrangian approach*, Int. J. Multiph. Flow 27 (10) (2001) 1659–1684.
- [8]. Nie, W., Liu, Y., Wang, H., Wei, W., Peng, H., Cai, P., et al. (2017). *The Development and Testing of a Novel External-Spraying Injection Dedusting Device for the Heading Machine in a Fully-Mechanized Excavation Face*. Process Saf. Environ. Prot. 109, 716–731. doi:10.1016/j.psep.2017.06.002.
- [9]. T. Ren, Z. Wang, G. Cooper, *CFD modelling of ventilation and dust flow behavior above an underground bin and the design of an innovative dust mitigation system*, Tunn. Undergr. Space Technol. 41 (2014) 241–254.
- [10]. Toraño, J., Torno, S., Menéndez, M., and Gent, M. (2011). *Auxiliary Ventilation in Mining Roadways Driven with Roadheaders: Validated CFD Modelling of Dust Behaviour*. Tunnelling Underground Space Technol. 26 (1), 201–210. doi:10.1016/j.tust.2010.07.005.