

Ứng dụng công nghệ UAV trong đánh giá chỉ tiêu thuốc nổ thực tế và hệ số nở rời của đồng đá nổ mìn

Phạm Văn Hòa^{1,2,3*}, Dương Thành Trung¹, Phạm Văn Việt^{1,3}, Trần Quang Hiếu^{1,3}

¹Trường Đại học Mở - Địa chất

²Trung tâm khoa học Công nghệ Mỏ và Môi trường

³Nhóm nghiên cứu mạnh Những tiến bộ trong Khai thác mỏ bền vững và có trách nhiệm (ISRM)

TÓM TẮT

Nổ mìn trên các mỏ lộ thiên là một trong những khâu công nghệ đóng vai trò quan trọng trong việc làm toi đất đá và quặng phục vụ cho các khâu công nghệ tiếp theo. Việc nâng cao chất lượng công tác nổ mìn có ý nghĩa quan trọng nhưng khó thực hiện nếu không đánh giá một số chỉ tiêu về kết quả nổ. Bài báo này trình bày phương pháp sử dụng công nghệ máy bay UAV thu thập các dữ liệu về hình dạng đồng đá nổ mìn trước khi nổ, sau khi nổ, qua đó xây dựng mô hình 3D dùng cho đánh giá một số chỉ tiêu kết quả nổ. Kết quả của các mô hình cho phép xác định chỉ tiêu thuốc nổ thực tế, hệ số nở rời của đồng đá để làm cơ sở điều chỉnh các thông số nổ mìn nâng cao hiệu quả nổ.

Từ khóa: chỉ tiêu thuốc nổ; công nghệ UAV; hệ số nở rời đồng đá nổ mìn

1. Đặt vấn đề

Việc xác định hệ số nở rời của đồng đá nổ mìn, xác định chỉ tiêu thuốc nổ thực tế so với chỉ tiêu thuốc nổ so với thiết kế là một công việc tốn kém thời gian và chi phí nếu không có sự hỗ trợ của các công nghệ tiên tiến. Đo xác định thể tích của bãi mìn trước và sau khi nổ, thể tích đồng đá nổ mìn là các công việc quyết định đến việc xác định chỉ tiêu thuốc nổ thực tế và hệ số nở rời của đồng đá nổ mìn. Hệ số nở rời đề cập đến sự tăng lên về thể tích của khối đá sau khi nổ mìn so với thể tích khối đá nguyên khối. Đây là hệ số sử dụng nhiều trong khai thác lộ thiên và hệ số này ảnh hưởng đến hiệu quả công tác xúc bốc đất đá nổ mìn. Dưới tác dụng của năng lượng nổ, khối đá bị phá vỡ sẽ nở rộng, tạo thành các khoảng trống giữa các cục đá. Hệ số nở rời đánh giá định lượng sự nở rộng này và sử dụng hệ số này trong việc lập kế hoạch xúc bốc, vận tải, lưu kho (hoặc thải) đất đá nổ mìn. Chỉ tiêu thuốc nổ thiết kế được xác định thông qua tính toán tỷ số giữa khối lượng thuốc nổ và thể tích khối đá phá ra theo tính toán. Chỉ tiêu thuốc nổ thực tế được xác định thông qua tỷ số giữa lượng thuốc nổ thực tế sử dụng và thể tích đá phá ra thực tế. Nếu hai giá trị này bằng nhau thì kết quả thiết kế và kết quả đạt được theo mong muốn. Tuy nhiên, nếu chỉ tiêu thuốc nổ thực tế lớn hơn hoặc nhỏ hơn chỉ tiêu thuốc nổ thiết kế, thì cần có sự điều chỉnh thiết kế nổ nhằm tối ưu hóa các thông số nổ mìn. Đối với các phương pháp truyền thống, người thu thập dữ liệu đo phải tiến hành đo đạc trực tiếp tại hiện trường. Ở các khu vực hiện trường bãi nổ có địa hình phức tạp, khó tiếp cận thì phương pháp này có nguy cơ mất an toàn cao. Bên cạnh đó, do đo đạc thủ công, rất khó khảo sát toàn bộ đồng đá do địa hình phức tạp, kết quả đo đạc khó đảm bảo độ chính xác cao. Với sự phát triển của công nghệ, các phương pháp đo đạc hiện đại và chính xác đã bắt đầu xuất hiện và ứng dụng phổ biến hơn trong ngành mỏ. Khoảng 15 năm trước, hệ thống quét laser mặt đất đã được sử dụng cho mục đích này. Hệ thống quét laser thu nhận thông tin 3D của địa hình bề mặt bằng cách gửi hàng nghìn tỷ photon ánh sáng về phía một đối tượng và chỉ nhận một tỷ lệ phần trăm nhỏ các photon ánh sáng này phản xạ lại qua quang học mà chúng sử dụng. Thiết bị quét laser mặt đất thu thập các thông tin khoảng cách về các bề mặt trong trường quan sát của nó ở dạng ảnh 3D một cách nhanh chóng và chính xác. Các ảnh 3D này sau đó sẽ được xử lý để cho ra các kết quả tính toán từ mô hình 3D thu được. Để đạt được độ chính xác, một hệ thống các mốc đo được thiết lập theo hệ tọa độ quốc gia để đảm bảo tính toán chính xác các kết quả trên cùng một hệ tọa độ (Phạm Văn Hòa và nnk, 2009). Nếu như trước đây, các thiết bị quét laser mặt đất khó có điều kiện ứng dụng rộng rãi cho các mỏ, mà chỉ áp dụng cho các nghiên cứu, khảo sát chuyên sâu, thì hiện nay với sự phát triển của khoa học công nghệ, giá thành thiết bị cũng đã tương đối phù hợp để nhiều đơn vị có thể đầu tư sử dụng. Tuy nhiên, một thiết bị khác cũng có khả năng rất mạnh và khả thi trong thực hiện các công việc nêu trên chính là việc ứng dụng các thiết bị UAV trong lĩnh vực này. Sử dụng UAV cũng giúp giảm thiểu chi phí

* Tác giả liên hệ

Email: phamvanhoa@hmg.edu.vn

và thời gian so với các phương pháp đo đạc truyền thống. UAV có thể thu thập dữ liệu nhanh chóng và hoàn thành công việc trong thời gian ngắn, tiết kiệm chi phí nhân công và thiết bị. UAV cũng có lợi thế về khả năng tích hợp với các công nghệ như GIS, LiDAR để cải thiện độ chính xác và hiệu quả ứng dụng cho các dự án khai thác mỏ. Báo cáo trình bày khả năng ứng dụng công nghệ UAV trong việc đánh giá chi tiêu thuốc nổ thực tế và hệ số nở ròi của đồng đá nổ mìn trong lĩnh vực khai thác mỏ.

2. Sự phát triển của UAV ứng dụng trong ngành mỏ

Trong những năm gần đây, cùng với sự phát triển nhanh chóng của khoa học kỹ thuật, nhiều công nghệ tiên tiến đã được áp dụng trong ngành mỏ nhằm đáp ứng xu hướng chuyển đổi số của ngành, trong đó không thể không kể đến công nghệ UAV. Tiềm năng ứng dụng UAV trong ngành công nghiệp mỏ, đặc biệt trong khai thác lộ thiên là rất lớn, chi phí thiết bị, thời gian thu thập dữ liệu, xử lý dữ liệu, độ chính xác cũng được cải thiện dẫn đến xu hướng ứng dụng các thiết bị này ngày càng trở nên phổ biến (Dang Tuyet Minh và Nguyen Ba Dung, 2023; T. Bamford và nnk 2016). UAV có tiềm năng to lớn để giảm đến mức thấp nhất các công việc thủ công liên quan đến thu thập dữ liệu, khảo sát, vẽ bản đồ, theo dõi an toàn, theo dõi máy móc, theo dõi cơ sở hạ tầng,..(I. Rathore và nnk, 2015). Những ưu điểm của UAV như: khả năng tiếp cận các khu vực nguy hiểm và khó tiếp cận cho người công nhân.



Hình 1. Mô hình địa hình mỏ xây dựng từ ảnh chụp UAV ở độ cao 80m (J. M.L. C. Neto, 2020)

Ứng dụng UAV trong công tác khảo sát cho mỏ được sử dụng phổ biến. Phổ biến nhất là sử dụng cho công tác lập kế hoạch khai thác mỏ, tính toán khối lượng khoáng sản, khối lượng đất đá khai thác, giám sát tiến độ và hiệu quả công việc, sử dụng UAV để đánh giá các khu vực nguy hiểm, giảm thiểu rủi ro cho người lao động, UAV cũng có thể được sử dụng để theo dõi và đánh giá tác động của nổ mìn đến môi trường xung quanh như: biến đổi địa hình, tác động đến hệ sinh thái và ô nhiễm không khí. Các mô hình 3D địa hình mỏ được thành lập trên cơ sở sử dụng UAV ngày càng trở nên quan trọng. Công nghệ UAV có thể thu nhận các ảnh chụp có độ phân giải cao, sau đó các ảnh này được chuyển đổi thành các mô hình địa hình bề mặt 3D ở dạng mô hình số độ cao (DEM, mô hình số bề mặt (DSM) mô hình số địa hình (DTM). Các mô hình này được sử dụng để tạo ra các bản đồ địa hình, để tính toán thể tích đào đắp, biểu diễn địa hình dạng 3D của mỏ (Pham Van Hoa và nnk, 2009). Bên cạnh đó, các ứng dụng của UAV trong khảo địa hình mỏ cũng được sử dụng phổ biến. Khi so sánh với các phương pháp về chi phí và hiệu quả thì UAV có những lợi thế đáng kể trong việc xây dựng mô hình địa hình bề mặt và đánh giá độ chính xác, một số nghiên cứu đã giới thiệu các kết quả xây dựng mô hình DEM cho các mỏ lộ thiên sử dụng UAV (Dang Tuyet Minh và Nguyen Ba Dung, 2023; T. Bamford và nnk 2016). Để nâng cao độ chính xác trong đo đạc địa hình, các UAV hoạt động dựa trên một số nguyên lý cơ bản như: chụp ảnh bề mặt mỏ bằng các máy ảnh có độ phân giải cao và xử lý ảnh bằng các phần mềm đo ảnh để tạo ra các mô hình DEM và ảnh trực giao; sử dụng các điểm kiểm soát mặt đất (GCP) để hiệu chỉnh và nâng cao độ chính xác của mô hình 3D và DSM; tích hợp các hệ thống định vị (GPS) và cảm biến quán tính để đảm bảo độ ổn định và chính xác của quỹ đạo bay để thu thập dữ liệu chính xác; xử lý và phân tích dữ liệu 3D bằng các phần mềm chuyên dụng để tạo ra các mô hình 3D chi tiết phục vụ cho các mục đích đánh giá sự thay đổi của địa hình, độ ổn định của bờ dốc, đánh giá khối lượng đất đá nổ mìn; và đánh giá kiểm tra độ chính xác của các mô hình tạo ra từ UAV khi so sánh với các phương pháp truyền thống. Nhiều nghiên cứu đã chỉ ra UAV có thể cung cấp dữ liệu với độ chính xác cao và ít nhiễu hơn so với các phương pháp khác (I. Rathore và nnk, 2015). Việc sử dụng công nghệ UAV ứng dụng trong đo xác định khối lượng nhằm đánh giá chi tiêu thuốc nổ thực tế và hệ số nở ròi của bãi nổ giúp khắc phục được hạn chế của các phương pháp truyền thống, cung cấp dữ liệu toàn diện, nhanh chóng và chính xác, góp phần cung cấp các thông tin nhanh chóng phục vụ cho việc tối ưu hóa các thiết kế nổ mang lại hiệu quả cho mỏ.

Cả hai thông số chi tiêu thuốc nổ thực tế và hệ số nở ròi đều cần xác định thể tích khối đá trước khi nổ,

thể tích vùng đập vỡ sau khi nổ (đối với chỉ tiêu thuốc nổ thực tế), và xác định thể tích đồng đá nổ mìn (đối với hệ số nổ rời).

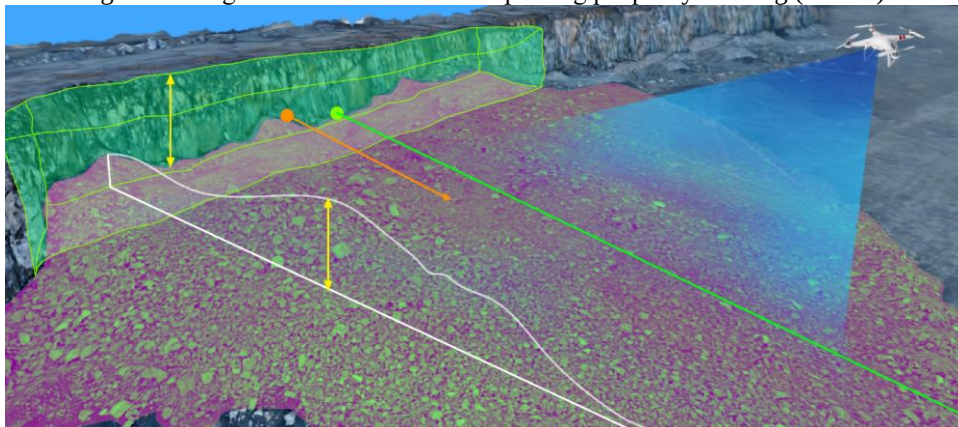


Hình 2. Ảnh 3D đồng đá nổ mìn được xây dựng từ ảnh UAV độ phân giải cao (N. J. M.L. Correia, 2020)

3. Ứng dụng công nghệ UAV trong đánh giá chỉ tiêu thuốc nổ thực tế

Chỉ tiêu thuốc nổ được xác định thông qua tỷ số giữa khối lượng chất nổ yêu cầu để đập vỡ một đơn vị thể tích đất đá thành các cục có kích thước yêu cầu. Đây là thông số quan trọng được sử dụng trong thiết kế và tối ưu hóa công tác nổ mìn, và thông số này ảnh hưởng trực tiếp đến chi phí, hiệu suất, hiệu quả của công tác nổ mìn. Chỉ tiêu thuốc nổ cao thường xác định cho các vụ nổ mạnh, ngược lại, chỉ tiêu thuốc nổ thấp có thể dẫn đến năng lượng thuốc nổ không đủ để phá vỡ đất đá hiệu quả. Việc xác định chỉ tiêu thuốc nổ phụ thuộc vào nhiều yếu tố như: tính chất cơ lý của đất đá, loại thuốc nổ sử dụng, kích thước cỡ hạt đá yêu cầu. Chỉ tiêu thuốc nổ thiết kế, được xác định khi thiết kế bãi nổ, là tỷ số giữa khối lượng thuốc nổ tính toán và thể tích đất đá phá vỡ theo thiết kế. Chỉ tiêu thuốc nổ thực tế là tỷ số giữa khối lượng thuốc nổ sử dụng thực tế và thể tích đá phá vỡ theo thực tế. Nếu chỉ tiêu thuốc nổ thiết kế và chỉ tiêu thuốc nổ thực tế bằng nhau, có nghĩa bãi nổ đã được thiết kế đạt mục đích. Nếu chỉ tiêu thuốc nổ thực tế cao hơn chỉ tiêu thuốc nổ thiết kế thì bãi nổ phá được thể tích đá ít hơn so với thiết kế. Khi chỉ tiêu thuốc nổ thực tế thấp hơn chỉ tiêu thuốc nổ thiết kế thì bãi nổ phá được thể tích đá lớn hơn so với thiết kế. Dựa trên kết quả đánh giá chỉ tiêu thuốc nổ thực tế, người kỹ sư nổ có thể điều chỉnh thiết kế và năng lượng nổ phù hợp để đạt được kết quả nổ mong muốn.

Để tiến hành xác định chỉ tiêu thuốc nổ thực tế, UAV được sử dụng để thu thập dữ liệu địa hình bãi nổ trước khi nổ. Sau khi nổ sẽ tiếp tục sử dụng UAV để thu thập dữ liệu địa hình đồng đá nổ mìn để xác định thể tích đồng đá nổ mìn. Để xác định chính xác thể tích đá nguyên khối phá vỡ, sau khi xúc bóc xong đồng đá, tiếp tục sử dụng UAV tiến hành bay thu thập dữ liệu địa hình khu vực đồng đá nổ mìn đã xúc bóc xong. Từ các dữ liệu địa hình thu thập được, sử dụng các phần mềm xử lý ảnh để tiến hành xác định thể tích đá nguyên khối phá vỡ thực tế để sử dụng xác định chỉ tiêu thuốc nổ thực tế. Khi xác định được thể tích đồng đá nổ mìn, sẽ dễ dàng xác định được hệ số nổ rời của đồng đá nổ mìn khi tiến hành so sánh thể tích này với thể tích đá nguyên khối của bãi nổ. Như vậy, công việc quan trọng nhất của việc đánh giá chỉ tiêu thuốc nổ thực tế và hệ số nổ rời là thu thập dữ liệu địa hình bãi nổ và đồng đá nổ mìn đã được UAV đảm nhiệm một cách nhanh chóng và dễ dàng hơn rất nhiều so với các phương pháp truyền thống (Hình 2).



Hình 2. Sử dụng UAV đo thể tích khối đá trước khi nổ và sau khi nổ mìn (T.Camara và nnk, 2013)

4. Ứng dụng công nghệ UAV trong đánh giá hệ số nở rời

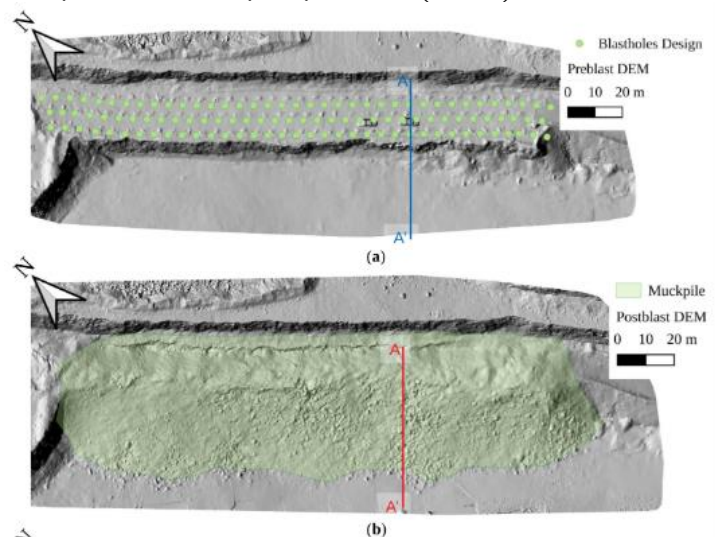
Hệ số nở rời (f_s) được xác định giữa tỷ số thể tích khối đá bị phá vỡ tăng lên so với thể tích ban đầu của nó. Khi đất đá bị phá vỡ, các cục đá vỡ có xu hướng chiếm một thể tích lớn hơn thể tích của khối đá đặc do sự tạo khoảng trống giữa các cục đá. Hệ số nở rời lớn có nghĩa là thể tích đá phá vỡ tăng lên lớn hơn và có thể ảnh hưởng đến công tác xúc bốc, vận tải. Thông số này giúp các kỹ sư tối ưu hóa việc sử dụng thuốc nổ, giảm các chi phí và đạt được mức độ đập vỡ đất đá mong muốn. Bên cạnh đó, hệ số nở rời cũng giúp các kỹ sư quản lý hình dạng, kích thước và sự dịch chuyển của đồng đá nổ mìn, đảm bảo hiệu quả xúc bốc và vận tải của mỏ. Hệ số nở rời được xác định theo công thức (Sang Ho Cho và nnk, 2003):

$$f_s = \frac{V_f}{V_o} \quad (1)$$

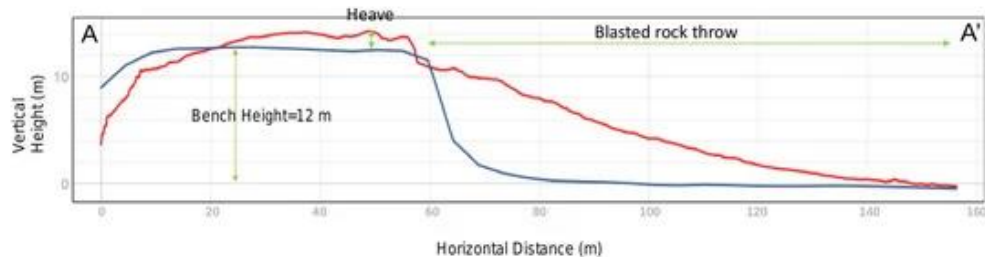
Trong đó: V_f thể tích bãi nổ sau khi nổ, m^3

V_o thể tích ban đầu của bãi nổ, m^3

Để đo đánh giá thể tích ban đầu của bãi nổ, UAV được sử dụng để bay chụp thu thập dữ liệu địa hình của bãi nổ đã được thiết kế. Để đảm bảo độ chính xác của phương pháp, đất đá đã nổ mìn từ các bãi nổ trước đó cần được xúc dọn sạch nhằm đảm bảo thu được dữ liệu địa hình ban đầu của bãi nổ chính xác nhất. Thể tích bãi nổ sau khi nổ (thể tích khối đá nguyên khối bị phá vỡ thực tế) và thể tích đồng đá nổ mìn cũng được UAV thu thập. Các dữ liệu thu thập sau đó được các phần mềm xử lý ảnh số chuyên dụng, xây dựng mô hình địa hình khu vực khảo sát, qua đó xác định được các thông số hình học của khối đá, đồng đá nổ mìn làm cơ sở cho việc tính toán xác định hệ số nở rời (Hình 3).



Hình 2. Thu thập dữ liệu địa hình ban đầu bãi nổ, địa hình đồng đá nổ mìn bằng UAV (T. Bamford và nnk, 2020)



Hình 3. Mặt cắt qua đồng đá biểu diễn địa hình DEM trước khi nổ và sau khi nổ trong hình 2 (T. Bamford và nnk, 2020)

5. Kết luận

Việc xác định chỉ tiêu thuốc nổ thực tế và hệ số nở rời của đồng đá nổ mìn là một trong những công việc khó khăn, tốn kém thời gian, chi phí đối với cả công tác nghiên cứu và công tác đánh giá chất lượng nổ thường xuyên ở mỏ. Các phương pháp truyền thống hoàn toàn có tính khả thi nhưng khó áp dụng, độ chính xác chưa cao. Với sự phát triển nhanh chóng của các công nghệ đo đạc mới trong những năm qua, đặc biệt sự xuất hiện nhanh chóng và hiệu quả ứng dụng UAV trong lĩnh vực mỏ, việc sử dụng UAV trong đo đánh giá xác định chỉ tiêu thuốc nổ thực tế và hệ số nở rời hoàn toàn có thể được thực hiện nhanh chóng, chính

xác, tin cậy với chi phí rẻ, có thể áp dụng phổ biến cho các mỏ, nhất là các mỏ lộ thiên.

Tương lai của việc ứng dụng UAV hứa hẹn nhiều triển vọng. Các xu hướng phát triển trong lĩnh vực này như: nâng cao độ chính xác và chi tiết, tích hợp xử lý và phân tích dữ liệu tự động, giám sát toàn diện và liên tục, cải thiện độ an toàn và tiết kiệm chi phí,... sẽ nhanh chóng tạo điều kiện cho công tác chuyển đổi số trong quản lý mỏ nham chóng hơn.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin cảm ơn đề tài mã số 011.2023 ĐT.CNKK.QG/HĐKHCN do Bộ Công thương quản lý đã hỗ trợ kinh phí giúp chúng tôi thực hiện nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

- Pham Van Hoa, C. Drebenstedt, and J. Ortuta, 2009. "Advanced technologies in monitoring blast results in surface mines," in *Resource and Environmental Technologies Chances of German Vietnamese Cooperation*, pp. 70–76.
- Dang Tuyet Minh and Nguyen Ba Dung, 2023. "Applications of UAVs in mine industry: A scoping review," *J. Sustain. Min.*, vol. 22, no. 2.
- Bamford, T., Esmaeili, K., and Shoellig, A. P., 2016. "A real-time analysis of rock fragmentation using UAV technology," *Engineering, Environmental Science*.
- Rathore, I and Kumar NP, 2015. "Unlocking the potentiality of uavs in mining industry and its implications," *J Innov Res Sci Eng Technol*, vol. 4, no. 3, pp. 852–855.
- N. J. M. L. Correia, M. J. L. Valença, S. J. César, and Rocha Suelen, 2020. "Elaboration of planimetric model of open pit with multiple benches through the conventional methodology and the use of unmanned aerial vehicles (UAV)", *Tecnol. em Metal. Mater. e Mineração*, vol. 16, pp. 439–446.
- Camara, T, L. RS, P. R, and Capponi L., 2013. "Controlling dilution and mine planning"
- Sang Ho Cho, M. Nishi, M. Yamamoto, and Katshuhiko Kaneko, 2003. "Fragment size distribution in Blasting," *Mater. Trans.*, vol. 44, no. 5, pp. 951–956.
- Nguyen Viet Nghia, 2020. "Building DEM for deep open-pit coal mines using DJI Inspire 2," *J Min Earth Sci*, vol. 61, no. 1, pp. 1–10.
- EquipmentGuide.com Construction, 2024. "BMX Fragmenter Delivers 3D Muckpile Fragmentation Analysis From Drone Imagery for Greater Accuracy".
- Strayos, 2024. "After The Blast: Measuring Blast Performance with Drones and AI". <https://blog.strayos.com/webinar-summary-after-the-blast-measuring-blast-performance-with-drones-and-ai/>.
- W. A. Hustrulid, 1999. *Blasting Principles for Open Pit Mining: Theoretical Foundation* Vol.2.
- T. Bamford, F. Medinac, and K. Esmae, 2020. "Continuous Monitoring and Improvement of the Blasting Process in Open Pit Mines Using Unmanned Aerial Vehicle Techniques," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 17.

ABSTRACT

Application of UAV in estimating practical powder factor and swelling factor of muckpile

Pham Van Hoa^{1,2,3*}, Duong Thanh Trung¹, Pham Van Viet^{1,3}, Tran Quang Hieu^{1,3}

¹Hanoi University of Mining and Geology

²Center for Science and Technology of Mining and Environment

³Innovations for Sustainable and Responsible Mining (ISRM)

Blasting in surface mines is one of technological stage that plays an important role in breaking rocks and ore for the next downstream procedures. Improving the quality blasting is important but difficult to do without evaluating several blasting results criteria. This paper presents the methods of using UAV technology for collecting the information of geometry of muckpile before and after the blasts, then establishing 3D model used for estimating practical powder factor and swelling factor. These parameters then will be used for adjusting blasting parameters for increase the blasting efficiency.

Keywords: practical powder factor; swelling factor; UAV technology