

**PROCEEDINGS OF THE INTERNATIONAL WORKSHOP ON ADVANCES IN
SURFACE MINING FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION AND SUSTAINABLE
DEVELOPMENT 17 OCTOBER 2025, HA NOI, VIET NAM**



**THE 60th ANNIVERSARY
OF SURFACE MINING EDUCATION**

ADVANCES IN SURFACE MINING FOR ENVIRONMENTAL PROTECTION AND SUSTAINABLE DEVELOPMENT-2025 (ASMES - 2025)



TRANSPORT PUBLISHING HOUSE, HA NOI, VIET NAM

TABLE OF CONTENTS

No.	AUTHORS	PAPER	PAGES
1.	Xuan-Nam Bui, Tran Quang Hieu, Nguyen Anh Tuan, Do Ngoc Hoan, Nguyen Phu Vu, Le Van Quyen	Training and Scientific Research Orientation in Surface Mining: Steadfast Integration, Reaching New Heights in the Modern Era	1-14
• 2.	Nguyen Anh Tuan, Pham Van Viet, Pham Van Hoa, Do Ngoc Hoan, Tran Dinh Bao	Stone in Vietnam: Building stone, rock fill and armourstone in construction for Sustainable Development	15-23
3.	Xuan-Nam Bui, Carsten Drebenstedt, Nguyen Hoang, Nguyen Van Duc, Tran Quang Hieu, Nguyen Quoc Long, Le Ngoc Ninh	Smart Mining - Opportunities and Challenges for Vietnam's Mining Industry	24-41
4.	Lai Hong Thanh, Mai The Toan, Le Ngoc Ninh, Xuan-Nam Bui	Vietnam's 2024 Law on Geology and Minerals: Opportunities and Challenges for the Mining Industry	42-55
• 5.	Le Thi Thu Hoa, Nguyen Hoang, Tran Quang Hieu, Tran Dinh Bao, Le Qui Thao, Nguyen Truc Anh, Atrushkevich Victor, Xuan-Nam Bui	Some Technological Approaches, Optimization Strategies, and Sustainable Development Directions for Selective Mining in Vietnam's Open-Pit Coal Mines	56-66
6.	Le Qui Thao, Do Ngoc Le Dung, Nguyen Thi Thuc Anh, Do Ngoc Hoan, Xuan-Nam Bui	Some Technological Orientations for Safe and Environmentally Friendly Mining Technology of Coastal Placer Titanium Deposits in Vietnam	67-83
7.	Tran Quang Hieu, Nguyen Van Duc, Xuan-Nam Bui, Trinh Hai Son, Bui Hoang Bac	Sustainable Rare Earth Mining Technologies: Global Trends and a Tailored Model for Vietnam's Development	84-98
8.	Tran Quang Hieu, Xuan-Nam Bui, Le Ngoc Ninh, Bui Hong Quang, Nguyen Van Hai	The management and utilization of industrial explosives in Vietnam: Achievements, opportunities, challenges, and future development orientations.	99-110
9.	Thang Dam Trong, Duc Ngo The	Experimental investigation on the influence of water saturation on the propagation velocity of blasting stress waves	111-123
• 10.	Nguyen Dinh An , Tran Dinh Bao	Controlling Harmful Impacts of Rock Blasting for Construction Site Preparation in Ha Giang Province, Vietnam	124-136
11.	Ngo Ngoc Thuy, Dam Trong Thang	A Study on Mitigating Air Shock Wave Intensity in Surface Blasting for Rock Fragmentation Using Sand Cover Layers	137-148
12.	Van-Viet Pham, Pirat Jaroonpattanapong, Nguyen Anh Tuan, Van -Hoa Pham	Prediction of an appropriated powder factor used for blasting under the consideration of blast direction and rock mass quality	149-163
13.	Tung Lam Vu, Quang Hieu Tran, Trong Hieu Vu	Investigation and Analysis for the Selection of an Appropriate Method to determine Rock fragmentation from Experimental Data	164-175
• 14.	Do Ngoc Hoan, Tran Quang Hieu, Tran Dinh Bao	Achievements and Challenges in Occupational Safety and Health Management in the Mineral Mining industry in Vietnam	176-189
15.	Lam Kieu Anh, Tran Quang Hieu, Do Ngoc Hoan, Nguyen Anh Tho, Do Thi Lan Chi	Assessment and Control of Fire and Explosion Risks in Industrial Explosives Storage Facilities	190-209

• 16.	Do Van Trieu, Tran Dinh Bao, Dang Tien Anh, Dinh Ba Lam, Nguyen Van Hoang	Overview of Carbon Storage Technologies in Mine Waste Rock: Opportunities and Challenges for TKV Open-Pit Mines	210-223
17.	Do Thi Lan Chi, Vu Van Thu, Do Ngoc Hoan	Safety Culture In Enterprises: An Assessment And Intervention Framework Based On A Multi-Model Approach	224-233
18.	Xuan-Nam Bui, Thi-Tam Nguyen, Ngoc-Ninh Le, Duc-Tin Quach, Quang-Hieu Tran, Chang-Woo Lee, Van-Trieu Do, Van-Duc Nguyen	Decarbonizing Vietnam's Open-Pit Coal Mining: A Life Cycle Case Study of Emissions and Mitigation Pathways	234-248
19.	Tuan-Ngoc Le, Nguyen Truc Anh, Hoang Nguyen, Xuan-Nam Bui	Predicting PM2.5 Concentrations in an Open-Pit Copper Mine Using Advanced AI Techniques: Insights from the Sin Quyen Copper Mine, Vietnam	249-268
20.	Léopold Dupuy, Nguyen Mai Anh, Hoang Nguyen	Soil Organic Carbon Assessment and Prediction in Rehabilitated Open-Pit Mining Areas Using GIS and Machine Learning: Insights from France	269-290
• 21.	Tran Dinh Bao, Vu Van Thu	Analysis, evaluation, and proposal of solutions to enhance the effectiveness of occupational safety and health practices in Vietnam in the current period	291-312
22.	Do Duc Thanh, Ngo Thanh Tuan	Impact of large capacity solar power sources when connected near high-voltage power system supplying electricity to mining areas	315-320
23.	Nguyen Hoang Long, Xuan-Nam Bui, Tran Thi Hai Van, Dinh Bao Ngoc, Tran Truong Giang	Development of a Management and Monitoring System for Production Activities in Open-Pit Quarries in Vietnam	321-328
24.	Dam Trong Thang, Nguyen Chi Ta, Vu Chong Hieu, Le Hong Hai	Improvement of the Method for Determining the Specific Explosive Consumption for Rock Destruction under Water by a Charge in a Borehole, Based on the Rock Failure Mechanism Induced by Reflected Stress Waves	329-342
25.	Nguyen Van Tinh, Dam Trong Thang, Le Sy Thuong, Tran Quang Hieu	Study of the calculation, design, and fabrication of rational small explosive charges for experimental research on soil and rock blasting using miniature models	343-358
26.	Nguyen V.H, Dam T.T, Nguyen V.I, Tatarinov V.V, Tran V.L	Experimental Study of Noise Reduction Solutions in an Electric Explosion Device Model	359-374
27.	Nguyen Manh Thuong, Dam Trong Thang, Ta Quang Yen	Esearch, Fabrication and Testing of an Assembled Floating Working Platform for Underwater Drilling of Blast Holes in Marine Conditions in Quang Ninh Province	375-385
28.	Nguyen Anh Tuan, Do Ngoc Hoan, Pham Van Viet, Tran Quang Hieu	Proposing fundamental criteria for open-pit mining to ensure efficiency, sustainability, and climate change adaptation in Vietnam	386-395
29.	Tran Quang Hieu, Nguyen Anh Tuan, Do Ngoc Hoan, Xuan -Nam Bui, Nguyen Van Duc	The future of open-pit mining in Vietnam: opportunities, challenges, and pathways to sustainability	396-412
30.	Le Duc Phuong , Do Ngoc Hoan, Phi Trung Kien	Methodology for rational determination of ultimate pit limits for monometallic and polymetallic mines managed by TKV	413-422
• 31.	Nguyen Anh Tuan, Pham Van Viet, Tran Trung Anh, Nguyen Van Tinh, Tran Dinh Bao, Pham Minh Tu, Noelie Escutenaire	Run-of-mine ore quality homogenization: Application for mining conditions of block 24-122, Tan Rai bauxite mine, Tay Nguyen	423-431

- 32. Nguyen Anh Tuan, Pham Van Viet, Tran Trung Anh, Tran Dinh Bao, Pham Van Hoa Hoa, Pham Minh Tu, Noelle Escutenaire Bauxite ore grade model: construction of a resource and grade distribution map for block 24-122, Tan Rai bauxite mine 432-440
- 33. Khuong The Hung, Bui Hoang Bac Vu The Thu Sustainable development of apatite ore at the Coc mine, Lao Cai province based on a comprehensive assessment of geological conditions and mining status 441-447
- 34. Le Ba Phuc, Do Van Trieu, Dang Tien Anh, Tran Dinh Bao Study on developing a method for monitoring the load model on dump trucks transporting overburden at open-pit mines for digital transformation 448-459
- 35. Do Ngoc Tuoc, Nhu Viet Tuan, Trinh Thi Phuong Assessment of the Potential for Microbial Underground Coal Biogasification in the Red River Delta Coal Basin 460-469
- 36. Dam Quang Sang, Nguyen Van Tinh, Hoang Trung Huu, Nguyen Ngan, Tran Van Dung, Tran Quang Hieu Method for Determining Detonator Parameters for Blasting in Open-Pit Mines in Vietnam 470-479
- 37. Pham Van Hoa, Tran Van Dung, Hoang Anh Phong, Trinh Quang Trung, Le Van Quyen, Duong Thanh Trung, Tran Dinh Bao, Tran Quang Hieu, Nguyen Anh Tuan, Nguyen Dinh An, Pham Van Vie Drilling and blasting operations management system – designed to meet digital transformation requirements and adapted to practical conditions of Open-Pit coal mines in Quang Ninh region 480-490
- 38. Doan Van Thanh, Do Van Trieu, Dinh Ba Lam, Tran Dinh Bao Study on simulating the propagation of blasting stress waves in water-saturated rock and soil conditions at coal mines under TKV 491-500
- 39. Hoang Manh Thang, Doan Van Thanh, Dinh Ba Lam, Dang Tien Anh Research on Non-Explosive Rock Breaking Methods for Open-Pit Mines in Vietnam 501-510
- 40. Luu Van Thuc, Do Van Trieu, Le Ba Phuc, Le Thi Thu Hoa The necessity of researching and developing a monitoring database and a slope stability warning program for pit walls and waste dumps using digital models integrated with artificial intelligence (AI) for open-pit mines under TKV 511-520
- 41. Dao Van Chi , Vu Thai Tien Dung, Phan Mai Linh International experience in mainstreaming environmental protection into mineral resource development and implications for Vietnam 521-527
- 42. Pham Anh Hai , Nguyen Anh Tuan, Trinh Van Hiep, Pham Hong Thai, Dang Anh Duc Application of CCUS Technology in TKV Thermal Power Plants: Potentials and Prospects (Part I) 528-538
- 43. Nguyen Anh Tuan, Nguyen Xuan Tu, Pham Van Viet, Do Anh Son, Ngo Thanh Tuan, Nguyen Tien Hung. Impact assessment of open-pit mining on underground mine structures: A case study of coking coal mining, Bac Lang Cam, Thai Nguyen provinc 539-556
- 44. Nguyen Dinh An , Nhu Van Bach, Tran Dinh Bao Real - Time Blasting Plans Generation Using Artificial Intelligence: Improving Efficiency and Safety in Mining Blasting Operations 557-564



ASMES - 2025

www.khaithaclathien.edu.vn



Study on simulating the propagation of blasting stress waves in water-saturated rock and soil conditions at coal mines under TKV

Doan Van Thanh¹, Do Van Trieu¹, Dinh Ba Lam¹, Tran Dinh Bao²

¹ Institute of Mining Science and Technology, Ha Noi, Vietnam

² Hanoi University of Mining and Geology, Ha Noi, Vietnam

ABSTRACT

Among the production technologies applied in open-pit coal mining, rock fragmentation by drilling and blasting remains an effective method in terms of both economic and technical aspects. However, the variation in geotechnical and hydrogeological conditions at deeper mining levels is a factor that directly affects blasting efficiency and increases associated costs. Therefore, by conducting simulations of blasting responses under various water-saturated rock and soil conditions using a 2D LS-DYNA model—incorporating the geomechanical properties and hydrogeological characteristics specific to the Cao Son open-pit coal mine—a more intuitive understanding of the propagation and attenuation of stress waves in deep rock layers can be obtained. Based on the simulation results, a set of technical solutions will be proposed to improve safety in deep open-pit coal mining operations.

Keywords:

Blasting simulation, Blasting-induced stress waves, Open-pit and underground relationship.

*Corresponding author.

E-mail address: trandinhbao@humg.edu.vn

Nghiên cứu mô phỏng lan truyền sóng ứng suất nổ mìn trong điều kiện đất đá ngậm nước tại các mỏ than thuộc TKV

Đoàn Văn Thanh¹, Đỗ Văn Triều¹, Đinh Bá Lâm, Trần Đình Bảo²

¹ Viện Khoa học Công nghệ Mỏ - Vinacomin, Hà Nội, Việt Nam

² Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

TÓM TẮT

Trong các công nghệ phục vụ sản xuất của mỏ than lộ thiên, việc làm tơi đất đá bằng khoan – nổ mìn là một giải pháp công nghệ hiệu quả về cả yếu tố kinh tế, kỹ thuật. Tuy nhiên, với điều kiện ĐCCT – ĐCTV thay đổi tại các tầng sâu là một yếu tố ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả đập vỡ đất đá và làm tăng chi phí trong khâu nổ mìn. Theo đó, với việc nghiên cứu, mô phỏng phản ứng nổ mìn trong các điều kiện đất đá ngậm nước khác nhau trên mô hình 2D LS-Dyna có thông số cơ lý đá, tính chất thủy văn đặc trưng của các mỏ than lộ thiên Cao Sơn, sẽ có cái nhìn trực quan về tác động của nước ngầm đến việc, suy giảm sóng ứng suất trong môi trường đất đá tầng sâu. Đồng thời, từ kết quả mô phỏng trên, đề xuất nhóm các giải pháp kỹ thuật nâng cao an toàn cho các mỏ than lộ thiên xuống sâu.

Từ khóa: Mô phỏng nổ mìn, sóng ứng suất nổ mìn, quan hệ lộ thiên hầm lò.

1. Mở đầu

Trong điều kiện khai thác xuống sâu tại các mỏ than lộ thiên, sự thay đổi của môi trường địa chất công trình – địa chất thủy văn (ĐCCT–ĐCTV) như giảm độ nứt nẻ, tăng độ cứng, độ nguyên khối và sự hiện diện của nước ngầm đã làm gia tăng khối lượng đất đá cần khoan nổ và ảnh hưởng rõ rệt đến hiệu quả nổ mìn. Dưới tác động của nước trong lỗ khoan, tỷ lệ đá quá cỡ, chất lượng đập vỡ và chi phí nổ mìn đều có xu hướng gia tăng. Số liệu thực tế từ các mỏ than vùng Quảng Ninh cho thấy, tỷ lệ thuốc nổ chịu nước hiện nay dao động từ 40–60% và tăng trung bình từ 8–15% mỗi năm; đặc biệt tại các tầng sâu có thể lên tới 70–100%.

Trên thế giới, nhiều nghiên cứu đã sử dụng mô hình phần tử hữu hạn động (DFEM) trong LS-DYNA để mô phỏng ảnh hưởng của nước đến phản ứng nổ mìn. Jing Gao (2020) sử dụng mô hình DFEM 2D để đánh giá sự biến đổi áp lực nổ giữa hai môi trường đất đá khô và ngậm nước, trong khi Hesam Dehghani (2019) sử dụng mô phỏng DFEM 3D cho thấy tỷ lệ đá quá cỡ khi nổ trong lỗ khoan có nước tăng khoảng 15%. Các nghiên cứu khác như của Yingguo Hu (2016) và Wenbo Lu (2016) cho thấy hiệu quả của việc điều chỉnh phương pháp nổ mìn (như tạo biên hoặc thay đổi khối lượng thuốc nổ theo thời gian vi sai) trong việc giảm sóng chấn động và đảm bảo ổn định bờ mỏ.

Dựa trên cơ sở lý luận đó, nghiên cứu này tiến hành xây dựng mô hình lai giữa phương pháp SPH (Smoothed Particle Hydrodynamics) và DFEM trong môi trường 2D sử dụng phần mềm LS-DYNA. Mô hình mô phỏng được thiết lập dựa trên các thông số địa kỹ thuật, điều kiện thủy văn và loại thuốc nổ đặc trưng của mỏ Cao Sơn, kết hợp với thư viện vật liệu chuẩn hóa trong Ansys. Kết quả mô phỏng là cơ sở để đánh giá định lượng ảnh hưởng của nước

trong lỗ khoan đến hiệu quả nổ mìn thông qua các chỉ tiêu như biến đổi sóng ứng suất, áp lực nổ và mức độ đập vỡ đất đá trong hai kịch bản: lỗ khoan khô và lỗ khoan ngập nước.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Mô hình lai SPH và DFEM

Phương pháp phần tử hữu hạn động (DFEM) mô tả vật thể liên tục thông qua sự xấp xỉ bằng các phần tử hữu hạn có kích thước xác định, được liên kết với nhau qua các nút. Sau khi thiết lập quan hệ ứng suất – biến dạng của phần tử, trạng thái ứng suất – biến dạng của toàn hệ có thể xác định (Dũng, 2009). Trong khi đó, phương pháp thủy động lực học hạt mịn (SPH) được Lucy, Gingold và Monaghan phát triển nhằm khắc phục hạn chế của phương pháp phần tử hữu hạn trong các bài toán biến dạng cực trị. Khác với DFEM, SPH không sử dụng nút mà thay thế bằng các hạt, mỗi hạt đại diện cho đối tượng với đặc trưng riêng và chung theo khai báo. Phương pháp này đòi hỏi một cơ chế tính toán mới, được biểu diễn ngắn gọn bằng công thức (Thung, 2017):

$$\Pi^h f(x) = \int f(y)W(x-y, h)dy \text{ với } W \text{ là hàm hạt nhân } i \quad (1)$$

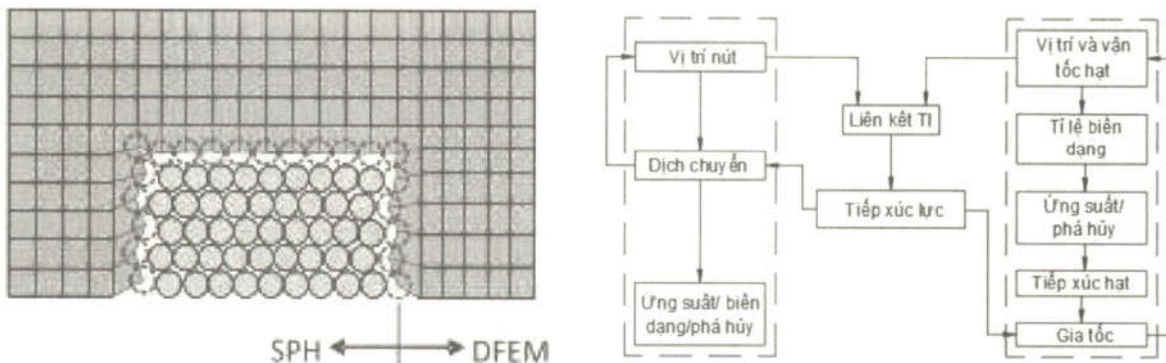
Hàm hạt nhân W được xác định bằng cách sử dụng hàm θ qua mối liên hệ [3]:

$$W(x, h) = \frac{1}{h(x)^d} \theta(x) \quad (2)$$

Với d là số chiều không gian, h là độ dài được làm mịn thay đổi theo thời gian và trong không gian $W(x, h)$ phải là hàm trung tâm.

Đối với bài toán mô phỏng nổ mìn, DFEM truyền thống không dự báo chính xác phát triển hệ khe nứt, mức độ đập vỡ đất đá, biến dạng khu vực nổ và khí nổ. SPH khắc phục được những hạn chế của DFEM nhưng lại gặp khó khăn trong việc tính toán các điều kiện hữu hạn (Wang, 2005). Do đó, việc kết hợp DFEM và SPH là một giải pháp hiệu quả để mô phỏng chính xác toàn bộ quá trình nổ mìn và đưa ra các dự báo về phát triển của các nứt nẻ thứ phát.

Trong nghiên cứu của bài báo, kỹ thuật ghép nối “ràng buộc bề mặt - tied interface - TI” được sử dụng (Zhou, 2015). Kỹ thuật trên liên kết các hạt của SPH theo từng nút của DFEM (hình 1). Trong đó, các hạt SPH được định nghĩa là các nút phụ của DFEM, các phần tử hữu hạn DFEM đóng vai trò bề mặt chính.



a, Các hạt SPH liên kết với phần tử hữu hạn DFEM

b, Quy trình thực hiện kỹ thuật ghép TI

Hình 1. Mô hình lai SPH - DFEM

Với mô hình lai SPH - DFEM, các hạt và các nút khi liên kết sẽ có cùng gia tốc được xác định bởi khối lượng và lực của hạt và nút phần tử. Vận tốc và vị trí của các nút phần tử và hạt

được thay đổi theo bảo toàn động lượng và vận tốc của hạt trên bề mặt tổng thể tại điểm tiếp xúc.

2.2. Đặc tính vật liệu sử dụng trên mô hình mô phỏng

Vật liệu được sử dụng trên mô hình bao gồm: Đất đá khu vực nổ; thuốc sử dụng và nước. Với việc sử dụng phần mềm LS - Dyna là phần mềm chuyên dụng để mô phỏng động lực học tường minh (Explicit dynamics). Các đặc tính của vật liệu trong mô phỏng đã được công thức hóa để tương thích với các bài toán mô phỏng động.

a. Đất đá khu vực nổ

Đặc tính của đá là một loại vật liệu giòn (Đàm Trọng Thắng, 2015). Do đó, vật liệu hợp phù phỏng trong LS-Dyna là vật liệu Riedel Hiermaier Thoma - RHT, được phát triển bởi Riedel, Hiermaier và Thoma (Jing Gao, 2020). RHT bao gồm 03 bề mặt phụ thuộc áp suất trong không gian ứng suất, là các trạng thái giới hạn khác nhau, cụ thể là giới hạn phá hủy, giới hạn đàn hồi và phá hủy thứ phát.

b. Thuốc nổ sử dụng

Bản chất vật liệu nổ trong LS-Dyna được phản ánh qua phương trình trạng thái JWL, mối quan hệ giữa áp suất - thể tích - năng lượng của các sản phẩm nổ. Các tính chất trên có đặc tính thực nghiệm, được xác định qua thử nghiệm thực tế đối với từng loại chất nổ.

c. Nước trong lỗ khoan

Các đặc tính vật lý của nước trong mô phỏng được thể hiện qua đa thức tuyến tính sau (Jing Gao, 2020):

$$p = C_0 + C_1\mu + C_2\mu^2 + C_3\mu^3 + (C_4 + C_5\mu + C_6\mu^2).E \quad (3)$$

Trong đó: C_i - tham số của phương trình được xác định trên thực nghiệm; E - nội năng ban đầu của một đơn vị thể tích tương đối $\mu = (1/V) - 1$, V - thể tích tương đối.

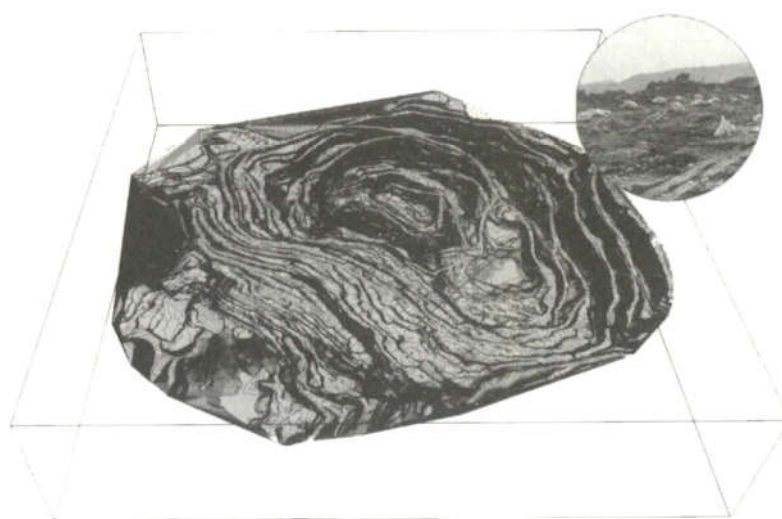
3. Nội dung và kết quả đạt được

3.1. Đặc điểm khu vực nghiên cứu

Mỏ than Cao Sơn là một mỏ than lộ thiên lớn của tập đoàn TKV. Tính đến 31/12/2024, sản lượng than nguyên khai sản xuất đạt 4,31 triệu tấn, đất đá bốc xúc đạt 49,24 triệu m^3 .

Hiện nay, mỏ than Cao Sơn đang khai thác các tầng sâu, đáy moong đạt mức - 175 m tại Đông Cao Sơn và - 150 m tại Trung Tâm Cao Sơn (hình 2). Đất đá trong moong gồm lớp đá xen kẽ nhau có tính chất không đồng nhất, góc cắm của các phân lớp thay đổi, với khối lượng trung bình từ $2,67 \div 2,75 \text{ g/cm}^3$; góc nội ma sát từ $31^{\circ}48' \div 34^{\circ}28'$.

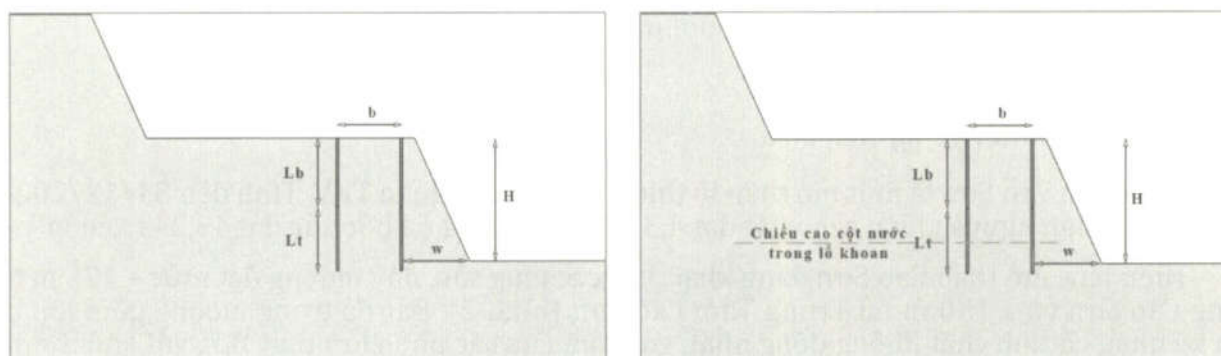
Đất đá trên mỏ được làm tơi chủ yếu bằng KNM với lỗ khoan đường kính lớn $d = 250 \text{ mm}$, sử dụng phương pháp nổ vi sai toàn phần, thuốc nổ Anfo thường cho lỗ khoan khô và thuốc nổ nhũ tương kết hợp Anfo thường dùng cho lỗ khoan chứa nước.



Hình 2. Mô hình 3D hiện trạng đáy moong mức -145 và vị trí mô phỏng thử nghiệm trên mỏ than Cao Sơn

3.2. Mô hình mô phỏng

Để đánh giá ảnh hưởng của nước trong lỗ khoan đến hiệu quả nổ mìn, bài báo xây dựng mô hình 2D lai SPH - DFEM trong phần mềm LS-Dyna dựa trên đặc điểm bãi nổ thực tế tại mức + 65 trên mỏ than Cao Sơn (hình 2). Mô hình xây dựng theo 02 trường hợp: Lỗ khoan khô sử dụng thuốc nổ Anfo thường (hình 3a) và lỗ khoan có nước sử dụng thuốc nổ nhũ tương kết hợp Anfo thường với chiều cao cột nước trong lỗ là 3 m (hình 3b). Thời gian giãn cách giữa 2 đợt nổ: 25 ms.



a, Trường hợp 01

b, Trường hợp 02

Hình 3. Mô hình 2D mô phỏng nổ mìn trong hai trường hợp lỗ khoan khô và lỗ khoan có nước

Thông số KNM sử dụng trên mô hình, xem bảng 1.

Xét theo ĐCCT tại bãi nổ mức + 65 mỏ Cao Sơn, đất đá thuộc nhóm cát kết, kết cấu rắn chắc khó phá vỡ, $f = 12$, khối lượng riêng $2,72 \text{ g/cm}^3$; lực kháng kéo $103,96 \text{ kG/cm}^2$; lực kháng nén $1023,03 \text{ kG/cm}^2$, góc nội ma sát $34^{\circ}16'$.

Bảng 1. Thông số KNM sử dụng trên 02 mô hình mô phỏng

Stt	Thông số	Ký hiệu	Đơn vị	Giá trị
1	Chiều cao tầng công tác	H	m	15
2	Đường kính lỗ khoan	d_k	mm	250
3	Chiều sâu lỗ khoan	L_{lk}	m	17,5
4	Chiều sâu khoan thêm	L_{kt}	m	2,5
5	Đường kháng chân tầng	w	m	8,5
6	Khoảng cách giữa các hàng lỗ khoan	b	m	7
7	Chiều cao cột bua	L_b	m	8,0
8	Chiều cao cột thuốc	L_t	m	9,5

Để phù hợp với các thông số khai báo tính chất vật liệu RHT dùng trong mô phỏng. Bên cạnh các tính chất của đá cát kết theo ĐCCT của mỏ Cao Sơn, kết hợp thêm các tính chất khác đối với đá cát kết từ thư viện vật liệu của Ansys (Ansys, 2020).

Ngoài ra, các tính chất của thuốc nổ Anfo, thuốc nổ nhũ tương và nước được khai thác tương tự như vật liệu RHT. Các thông số của vật liệu xem bảng 2.

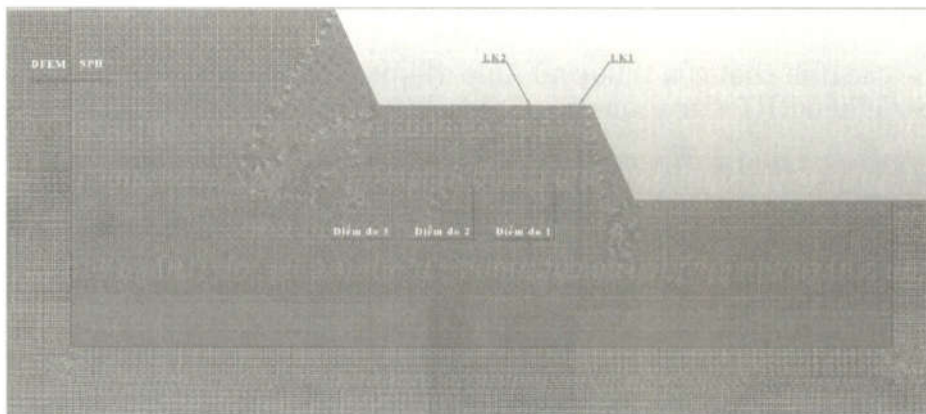
Bảng 2. Thông số vật liệu sử dụng trong mô phỏng

Stt	Thuộc tính	Giá trị	Stt	Thuộc tính	Giá trị
I Vật liệu RHT					
1.1	Khối lượng riêng, g/cm ³	2,73	1.8	Áp lực phá vỡ, Pa	1,25e ⁺⁸
1.2	Lực kháng kéo, kG/cm ²	103,96	1.9	Tốc độ biến dạng kéo	3e ⁺²⁵
1.3	Lực kháng nén, kG/cm ²	1023,03	1.10	Tốc độ phá vỡ	3e ⁺²⁵
1.4	Góc nội ma sát	34°16'	1.11	Độ lỗ rỗng ban đầu	1,1
1.5	Biến dạng phá hủy tối thiểu	0,015	1.12	Tốc độ truyền âm, m/s	2.610÷2.800
1.6	Thông số bề mặt phá hủy (A)	2,44	1.13	Tốc độ biến dạng kéo tham chiếu	3.0.e ⁻⁵
1.7	Tốc độ biến dạng nén tham chiếu	3.0e ⁻⁵	1.14	Thông số bề mặt ứng suất nén	0,53
II Anfo thường					
2.1	Khối lượng riêng, kg/cm ³	931	2.6	Hệ số trạng thái (R ₁)	3,907
2.2	Tốc độ nổ, m/s	4.200	2.7	Hệ số trạng thái (R ₂)	1,118
2.3	Áp lực nổ, Pa	5,15.e ⁺⁹	2.8	Hệ số trạng thái (ω)	0,33
2.4	Hệ số trạng thái (A), Pa	4,95e ⁺¹⁰	2.9	Năng lượng nổ trên 1 đơn vị thể tích, Pa/m ³	2,48e ⁺⁹
2.5	Hệ số trạng thái (B), Pa	1,89e ⁺⁹	2.10	Khối lượng thực, m ³ /m ³	1
III Nhũ tương chịu nước					
3.1	Khối lượng riêng, kg/cm ³	1.180	3.6	Hệ số trạng thái (R ₁)	4,933
3.2	Tốc độ nổ, m/s	5.866	3.7	Hệ số trạng thái (R ₂)	1,962
3.3	Áp lực nổ, Pa	1,10.e ⁺¹⁰	3.8	Hệ số trạng thái (ω)	0,52
3.4	Hệ số trạng thái (A), Pa	2,86.e ⁺¹⁰	3.9	Năng lượng nổ trên 1 đơn vị thể tích, Pa/m ³	3,18.e ⁺⁹

Stt	Thuộc tính	Giá trị	Stt	Thuộc tính	Giá trị
3.5	Hệ số trạng thái (B), Pa	6,72.e ⁺⁹	3.10	Khối lượng thực, m ³ /m ³	1
IV Nước trong lỗ khoan					
4.1	Khối lượng riêng, kg/cm ³	1.025	4.6	Hệ số S ₂	1,9859
4.2	Áp lực cắt, Pa	0.01	4.7	Hệ số S ₃	0,2286
4.3	Hệ số nhớt	8,58.e ⁻¹⁰	4.8	Gama	0,35
4.4	Hệ số C, m/s	1.480	4.9	Hệ số A	1
4.5	Hệ số S ₁	25.599	4.10	Năng lượng ban đầu, J/m ³	1,98.e ⁺⁶

3.3. Kết quả mô phỏng

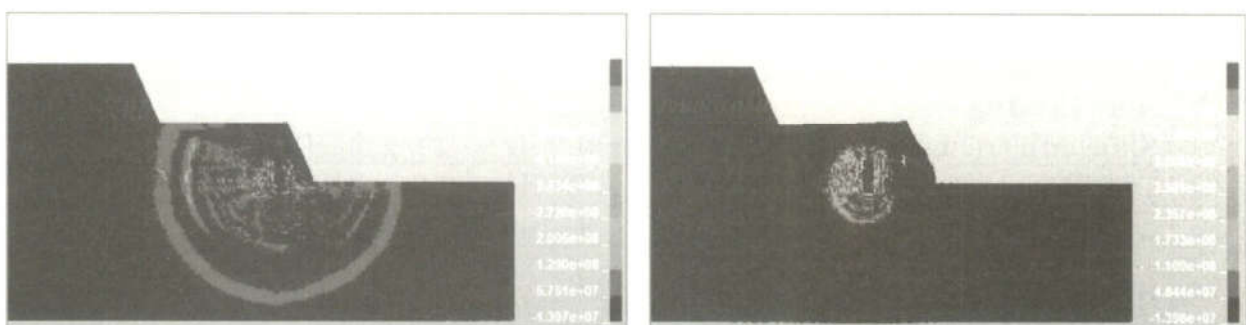
Từ mô hình 2D SPH-DFEM theo 02 trường hợp đánh giá (hình 3a, b) và các thuộc tính của vật liệu mô hình. Thực hiện mô phỏng quá trình nổ mìn và ghi nhận số liệu trên 03 điểm (hình 4) trong phần mềm LS-Dyna với thời gian 0,1 giây.



Hình 4. 03 điểm khảo sát quá trình nổ mìn trên mô hình DFEM-SPH

Kết quả mô phỏng của 02 trường hợp, xem hình 5 ÷ 6.

- Trường hợp 01

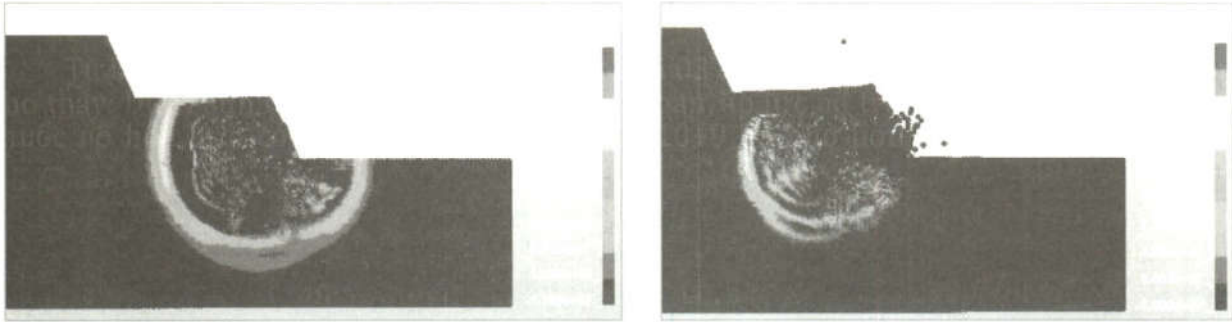


a, Áp lực nổ lan truyền sau khi kích nổ cột thuốc thứ nhất

b, Áp lực nổ lan truyền sau khi kích nổ cột thuốc thứ hai

Hình 5. Mô phỏng nổ mìn trong lỗ khoan khô nạp Anfo thường

- Trường hợp 02

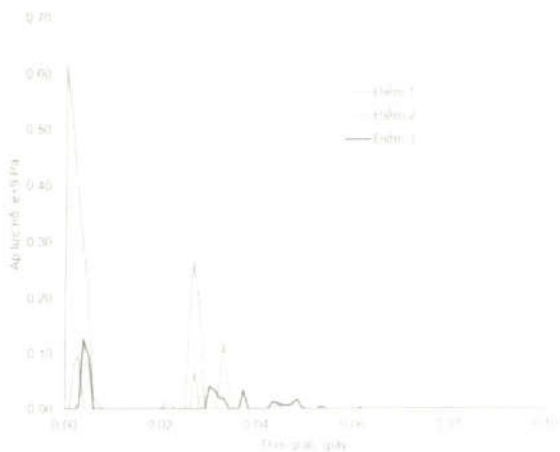


a, Áp lực nổ lan truyền sau khi kích nổ cột thuốc thứ nhất

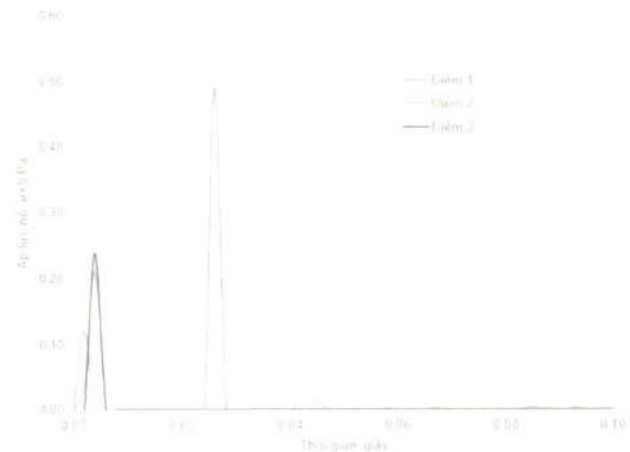
b, Áp lực nổ lan truyền sau khi kích nổ cột thuốc thứ hai

Hình 6. Mô phỏng nổ mìn trong lỗ khoan có nước nạp thuốc hỗn hợp

Tại 03 điểm đo trên mô hình, áp lực nổ và sóng ứng suất được ghi nhận xuyên suốt thời gian mô phỏng. Kết quả đo được xem hình 7 ÷ 8.

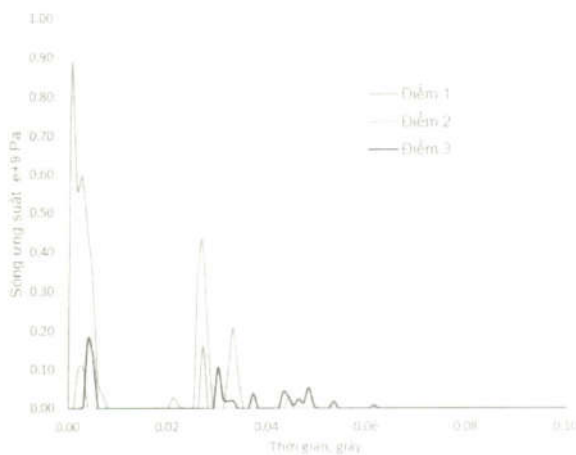


a, Trường hợp 01

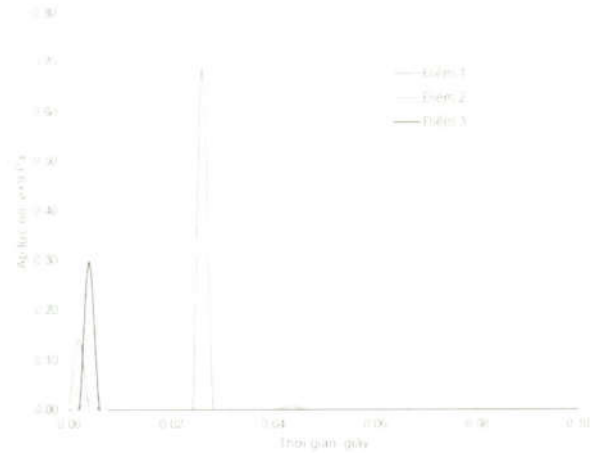


b, Trường hợp 02

Hình 7. Áp lực nổ tại 03 điểm đo trên mô hình nổ mìn



a, Trường hợp 01



b, Trường hợp 02

Hình 8. Sóng ứng suất tại 03 điểm đo trên mô hình nổ mìn

Từ kết quả đo áp lực nổ và sóng ứng suất tại 03 điểm đo theo 02 trường hợp mô phỏng cho thấy: Dưới ảnh hưởng của nước trong lỗ khoan, áp lực nổ trong trường hợp 2 sử dụng thuốc nổ hỗn hợp có giá trị lớn nhất đạt $0,49.10+9$ Pa nhỏ hơn trường hợp 1 có giá trị

0,61.10+9 Pa. Đồng thời sóng ứng suất lớn nhất lan truyền trong đất đá của trường hợp 02 (0,69.10+9 Pa) nhỏ hơn trường hợp 01 (0,88.10+9 Pa) 0,78 lần. Do đó, sự xuất hiện của nước trong khu vực khoan - nổ sẽ làm giảm năng lượng của sóng ứng suất và áp lực nổ, ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả đập vỡ đất đá của phương pháp nổ mìn.

3.4. Đề xuất các giải pháp nâng cao hiệu quả nổ mìn cho các mỏ lộ thiên sâu

Dựa trên kết quả phân tích, một hệ thống các giải pháp kỹ thuật đồng bộ được đề xuất, có thể được nhóm lại thành một chiến lược "tích hợp" gồm ba lớp: Loại bỏ/Kiểm soát nguyên nhân gốc rễ, Thích ứng một cách thông minh với điều kiện không thể tránh khỏi và Phòng ngừa các rủi ro phát sinh (Hình 9)



Hình 9. Giải pháp kỹ thuật đồng bộ nâng cao hiệu quả nổ mìn cho mỏ lộ thiên sâu

- Nhóm giải pháp về Công nghệ Nổ mìn (Thích ứng)

Khi việc loại bỏ hoàn toàn nước là không khả thi, cần phải "sống chung với lũ" một cách thông minh bằng cách cải tiến công nghệ nổ mìn, bao gồm: Lựa chọn vật liệu nổ phù hợp, sử dụng 100% các loại thuốc nổ chịu nước hiệu suất cao; Tối ưu hóa thông số mạng nổ, giảm khoảng cách giữa các lỗ khoan trong hàng và khoảng cách giữa các hàng.

- Nhóm giải pháp về Kỹ thuật và Quản lý Mỏ (Loại bỏ/Kiểm soát và Phòng ngừa)

Đây là nhóm giải pháp mang tính nền tảng và phòng ngừa, giải quyết nguyên nhân gốc rễ và các rủi ro liên quan, bao gồm: (i) *Tăng cường công tác thoát nước chủ động (Loại bỏ/Kiểm soát)*: Đây là giải pháp căn cơ và hiệu quả nhất. Cần đầu tư mạnh mẽ vào các hệ thống thoát nước chủ động để hạ thấp mực nước ngầm trong khu vực sắp khai thác, tạo điều kiện "khô" nhất có thể cho công tác nổ mìn; (ii) *Tối ưu hóa thiết kế bờ mỏ (Kiểm soát)*: Áp dụng các kết quả nghiên cứu về khai thác tầng sâu như thiết kế bờ mỏ dạng lồi, tính toán và áp dụng góc dốc sườn tầng tối ưu; (iii) *Hiện đại hóa công tác giám sát an toàn (Phòng ngừa)*: Việc nổ mìn trong điều kiện đất đá bão hòa nước có thể làm gia tăng đột ngột áp lực nước lỗ rỗng, một trong những yếu tố nguy hiểm hàng đầu gây mất ổn định và có thể dẫn đến trượt lở bờ mỏ. Do đó, việc trang bị các hệ thống quan trắc ổn định bờ mỏ bằng radar là cực kỳ cần thiết. Hệ thống này có khả năng phát hiện các dịch động bề mặt rất nhỏ và đưa ra cảnh báo sớm trước nhiều ngày, cho phép mỏ có đủ thời gian để lên kế hoạch xử lý hoặc di chuyển người và thiết bị đến nơi an toàn, đảm bảo an toàn tuyệt đối trong sản xuất.

4. Kết luận

Phương pháp mô phỏng đã trở thành giải pháp đáng tin cậy trong việc nghiên cứu, phân tích và đánh giá mô hình tác động cơ học. Kết quả mô phỏng trên mô hình lai giữa SPH - DFEM 2D quá trình nổ mìn theo 02 trường hợp lỗ khoan khô và lỗ khoan có nước cho thấy, ảnh hưởng của nước trong khu vực khoan - nổ sẽ làm giảm năng lượng của sóng ứng suất và áp lực nổ, giảm hiệu quả đập vỡ đất đá. Do đó, để nâng cao hiệu quả nổ mìn tại khu vực

tầng sâu, cần áp dụng đồng bộ cả ba lớp giải pháp trên sẽ tạo thành một chiến lược toàn diện, giúp các mỏ lộ thiên của TKV vượt qua thách thức khi khai thác xuống sâu, đảm bảo cả về hiệu quả kinh tế và an toàn lao động.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn TS. Nguyễn Văn Đức, Đại học Đông A Hàn Quốc đã giúp đỡ trong quá trình chạy mô hình mô phỏng nổ mìn bằng phần mềm bản quyền LS-Dyna/Ansys.

Tài liệu tham khảo

- Ansys. (2020). *Ansys Granta Materials Properties Database for Simulation*.
- Đàm Trọng Thắng, B. X. (2015). *Nổ mìn trong ngành mỏ và công trình*. Hà Nội: NXB Khoa học tự nhiên và công nghệ.
- Dũng, N. T. (2009). *Phương pháp phần tử hữu hạn*. Hà Nội: Đại học xây dựng Hà Nội.
- Hesam Dehghani, N. B. (2019). Blast-Induced Rock Fragmentation in Wet Holes. *Mining, Metallurgy & Exploration*.
- Jing Gao, S. X. (2020). Study on the 2D optimization simulation of complex five-hole cutting blasting under different lateral pressure coefficients. *Hindawi Complexity, Volume 2020, Article ID 4639518*, 12 pages.
- Jose A. SANCHIDRIÁN*, R. C. (2015). Determination of the JWL constants for ANFO and Emulsion explosives from Cylinder test data. *Central European Journal of Energetic Materials*, 177-194.
- Peng, J., Zhang, F., Du, C., & Yang, X. (2020). Effects of confining pressure on crater blasting in rock-like materials under electric explosion load. *Impact Eng.*
- Riedel, W. T. (1999). Numerical analysis using a new macroscopic concrete model for hydrocodes. *In Proceedings of 9th international symposium on interaction of the effects of munitions with structures*, 315–322.
- Thung, T. T. (2017). *Study of the SPH method for Simulation in LS-Dyna*.
- Wang, Z. Q. (2005). A full coupled numerical analysis approach for buried structures subjected to subsurface blast. *Computers & Structures*, 339–356.
- Wenbo Lu, Z. L. (2016). Experimental and numerical investigation of the effect of blast-generated free surfaces on blasting vibration. *European Journal of Environmental and Civil Engineering*, 2116-7214.
- Yingguo Hu, W. L. (2016). Comparison of Blast-Induced Damage Between Presplit and Smooth Blasting of High Rock Slope. *Rock Mech Rock Eng*, 1307–1320.
- Zhou, H. Y. (2015). Experimental investigations on loading-rate dependency of compressive and tensile mechanical behaviour of hard rocks. *European Journal of Environmental & Civil Engineering*, s70–s82.

60 Years
1965 - 2025

THE 60th ANNIVERSARY
OF SURFACE MINING EDUCATION

ISBN: 978-604-76-3193-3



9 786047 631933

NOT FOR SALE