

**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



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

Pham Van Hoa^{1,2*}, Tran Van Dung³, Hoang Anh Phong³, Trinh Quang Trung³, Le Van Quyen², Duong Thanh Trung¹, Tran Dinh Bao¹, Tran Quang Hieu¹, Nguyen Anh Tuan¹, Nguyen Dinh An¹, Pham Van Viet¹

¹ Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

² Center for Science and Technology of Mining and Environment, Hanoi, Vietnam

³ Vinacomin-Mining Chemical Industry Holding Corporation Limited, Hanoi, Vietnam

ABSTRACT

Drilling and blasting operations represent a critical technological stage in open-pit coal mines in the Quang Ninh region. However, traditional management practices and coordination between mining units and contractors still face significant limitations due to the lack of technological integration in operational management. The rapid development of modern technologies such as mobile communications, high-precision GNSS RTK, unmanned aerial vehicles (UAVs), WebGIS platforms, and AI-based rock fragmentation analysis has opened up opportunities to establish a unified management system for drilling and blasting operations. The integration of these technologies enables synchronization of geological and topographic data, planning, design, construction updates, and rapid prediction and evaluation of blasting outcomes. This report introduces a drilling and blasting management system that has been researched and developed specifically for large-scale open-pit coal mines in the Quang Ninh region, tailored to actual field conditions. The system incorporates high-precision GNSS RTK positioning devices for drill hole location, GNSS-RTK-based equipment for monitoring drilling speed to infer rock hardness, UAVs for mapping and volume calculation, and AI-powered modules for fragmentation analysis. All components are centrally managed through software modules designed and operated on a WebGIS platform.

Keywords:

Drilling and blasting operations management system; blasting of rocks; GNSS-RTK; drilling velocity; rock fragmentation

*Tác giả liên hệ

E - mail: phamvanhoa@humg.edu.vn



ASMES - 2025

www.khaithaclothien.edu.vn



Hệ thống quản lý công tác khoan nổ mìn – đáp ứng yêu cầu chuyển đổi số và phù hợp điều kiện thực tế cho các mỏ than lộ thiên vùng Quảng Ninh

Phạm Văn Hòa^{1,2,*}, Trần Văn Dũng³, Hoàng Anh Phong³, Trịnh Quang Trung³, Lê Văn Quyển², Dương Thành Trung¹, Trần Đình Bảo¹, Trần Quang Hiếu¹, Nguyễn Anh Tuấn¹, Nguyễn Đình An¹, Phạm Văn Việt¹

¹ Trường đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam.

² Trung tâm khoa học công nghệ Mỏ và Môi trường, Hà Nội, Việt Nam

³ Tổng công ty Công nghiệp Hóa chất Mỏ - Vinacomin, Hà Nội, Việt Nam

TÓM TẮT

Công tác khoan – nổ mìn là khâu công nghệ then chốt tại các mỏ than lộ thiên vùng Quảng Ninh, tuy nhiên việc quản lý truyền thống, sự phối hợp giữa đơn vị mỏ và đơn vị thi công vẫn còn nhiều hạn chế do chưa áp dụng nhiều giải pháp công nghệ trong công tác quản lý. Với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ mới như thông tin di động, GNSS RTK độ chính xác cao, máy bay không người lái (UAV), công nghệ WebGIS và phân tích cỡ hạt đá trên cơ sở trí tuệ nhân tạo (AI), đã mở ra khả năng xây dựng hệ thống quản lý công tác khoan – nổ mìn thông minh nhất. Việc kết hợp các công nghệ này cho phép đồng bộ hóa dữ liệu địa chất, địa hình, lập kế hoạch, thiết kế, cập nhật thi công, dự báo đánh giá kết quả nổ mìn một cách nhanh chóng. Báo cáo này giới thiệu Hệ thống quản lý công tác khoan nổ mìn đã được nghiên cứu và phát triển cho các mỏ than lộ thiên lớn vùng Quảng Ninh dựa trên điều kiện thực tế. Hệ thống này tích hợp thiết bị định vị vệ tinh độ chính xác cao GNSS RTK để định vị vị trí lỗ khoan, bộ thiết bị GNSS-RTK theo dõi tốc độ khoan, nhằm quy đổi thu thập độ cứng đất đá, UAV để đo vẽ bản đồ/tính toán khối lượng và module phân tích mức độ đập vỡ sử dụng AI,... được quản lý tập trung trên các module phần mềm thiết kế và quản lý trên nền Web GIS.

Từ khóa:

Hệ thống quản lý khoan – nổ mìn; nổ mìn phá đá, GNSS-TRK, tốc độ khoan, mức độ đập vỡ đất đá

1. Mở đầu

Khoan-nổ mìn là một trong những khâu công nghệ quan trọng nhất trên các mỏ than lộ thiên và có ảnh hưởng đến toàn bộ các khâu công nghệ tiếp sau đó. Hiện nay, với đặc điểm về sự quản lý của Tập đoàn Công nghiệp than – khoáng sản Việt Nam (TKV), công tác khoan – nổ mìn tại các mỏ than lộ thiên lớn vùng Quảng Ninh đang được thực hiện thông qua sự phối hợp: các đơn vị mỏ đảm nhận công tác thiết kế hộ chiếu khoan, nổ, đảm nhận công tác khoan nổ mìn, bàn giao bãi khoan theo hộ chiếu khoan, hộ chiếu nổ mìn, các đơn vị của Tổng công ty công nghiệp hóa

chất nổ - Vinacomin (MICCO) sẽ đảm nhiệm công tác nạp thuốc nổ và thi công nổ mìn. Việc phối hợp trong chia sẻ dữ liệu về địa hình bãi khoan - nổ, dữ liệu địa chất bãi nổ, hộ chiếu khoan, hộ chiếu nổ mìn cập nhật sơ đồ mạng lỗ khoan, trạng thái lỗ khoan, thường được thực hiện qua hệ thống email và được các đơn vị lưu trữ thành 02 nguồn dữ liệu của hai đơn vị trước khi được in và ký duyệt. Việc đánh giá kết quả nổ mìn, chất lượng của đồng đá nổ mìn nhìn chung còn đơn giản, dựa nhiều và đánh giá trực quan, chưa sử dụng các công cụ hiện đại trong việc đánh giá nhanh và chính xác kích thước đồng đá, khối lượng đất đá phá vỡ thực tế, đánh giá phân bố kích thước cục đá sau nổ mìn. Thông tin triển khai thi công các bãi khoan là tọa độ lỗ khoan được bộ phận trắc địa đánh dấu vị trí lỗ khoan hoặc giao cho tổ khoan đo đạc triển khai thủ công dựa trên sơ đồ mạng lỗ khoan và mốc ban đầu được cung cấp. Thông tin tốc độ khoan tương ứng với độ bền vững và đặc điểm địa chất đất đá khu vực bãi khoan - nổ chưa được tận dụng để cung cấp thông tin bổ sung về sự thay đổi độ cứng đất đá trong một lỗ khoan hoặc trong các khu vực của bãi nổ phục vụ cho việc điều chỉnh thiết kế nổ nếu cần thiết. Việc quản lý, thiết kế hộ chiếu nổ, thi công bãi khoan - nổ trên thực địa còn sử dụng các thiết bị đo đạc truyền thống, việc cập nhật thông tin bãi khoan, ranh giới giữa các bãi mìn nổ trước, bãi mìn nổ sau, hình dạng bãi mìn, tọa độ lỗ khoan, tình trạng lỗ khoan, tình trạng lỗ mìn, sơ đồ khởi nổ, dự báo các vấn đề về an toàn chấn động, đá bay, các phương pháp và công cụ đánh giá kết quả nổ mìn... còn chưa liên kết tốt với nhau. Điều này dẫn đến sự khó khăn quản lý và khai thác dữ liệu của công tác khoan nổ mìn trong việc điều chỉnh, nâng cao hiệu quả công tác nổ mìn cho các bãi nổ tiếp theo, tăng cường sử dụng hữu ích năng lượng nổ trong việc phá vỡ đất đá mỏ, nâng cao hiệu quả và giảm chi phí nổ mìn.

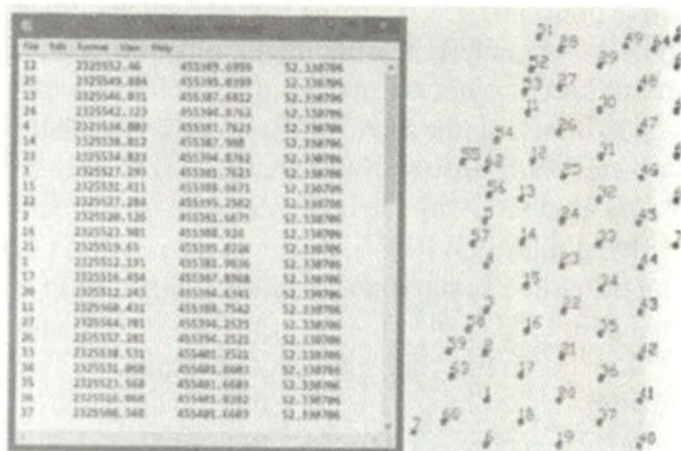
Với sự phát triển mạnh về công nghệ mới có khả năng áp dụng cho công tác khoan - nổ mìn: sự phát triển về thông tin di động, sự tiên tiến trong việc phân tích dữ liệu đến các giải pháp web ứng dụng cho việc quản lý thống nhất các hoạt động nổ mìn, những sự phát triển này cung cấp khả năng kết hợp thống nhất các công việc từ quản lý cơ sở dữ liệu địa chất, địa hình, lập kế hoạch khoan - nổ mìn, thiết kế, lập hộ chiếu khoan, hộ chiếu nổ mìn, cập nhật việc thực hiện công tác khoan, nạp thuốc nổ, dự báo, đánh giá, quản lý kết quả nổ. Các thiết bị di động thông minh cầm tay cũng được kết hợp với các thiết bị đo đạc khác như camera, các thiết bị định vị vệ tinh độ chính xác cao, máy bay không người lái (UAV) phục vụ cho việc thu thập dữ liệu hiện trường, quản lý tập trung, tự động tải dữ liệu, loại trừ sai số của con người trong quá trình truyền dữ liệu. Việc sử dụng các thiết bị để thu thập dữ liệu hiện trường khu vực nổ mìn như: địa hình khu vực nổ, các thông số địa chất khối đá cần thiết cho việc thiết kế khoan - nổ, các yêu cầu đặt ra đối với công tác khoan - nổ được kết hợp và cung cấp thống nhất sẽ giúp người kỹ sư thiết kế có được các thông tin đồng bộ và hệ thống cho việc tính toán, thiết kế bãi nổ. Hệ thống định vị-dẫn đường tích hợp dẫn đường vệ tinh (GNSS) và dẫn đường quán tính (INS) đã được các nhà khoa học trong nước nghiên cứu để ứng dụng trong điều kiện Việt Nam. Với thiết bị định vị GNSS RTK (Real-time Kinematic), độ chính xác rất cao (vài mm đến vài cm), cho phép đo đạc chi tiết, bỏ qua công đoạn lập lưới khống chế cơ sở, có độ chính xác đạt yêu cầu kỹ thuật đo vẽ bản đồ tỷ lệ lớn, đáp ứng yêu cầu của công tác tự động đo vẽ bản đồ và có nhiều tính năng ưu việt hơn so với phương pháp đo truyền thống, có thể ứng dụng hiệu quả trong thu thập dữ liệu cho khai thác mỏ nói chung và công tác nổ mìn nói riêng[1][2], máy bay không người lái UAV thu thập dữ liệu địa hình, tính toán xác định khối lượng đất đá nổ mìn, công nghệ phân tích cỡ hạt đa trên cơ sở trí tuệ nhân tạo với độ chính xác cao hơn, công tác quản lý cơ sở dữ liệu công tác khoan - nổ trên cơ sở hệ thống tin địa lý. Ứng dụng các công nghệ hiện đại này để thu thập, quản lý, cập nhật dữ liệu của công tác khoan - nổ mìn thời gian thực là hoàn toàn có khả năng và khả thi. Các thiết bị định

vị sử dụng công nghệ định vị vệ tinh toàn cầu độ chính xác cao sẽ đóng vai trò thu thập nhanh dữ liệu địa hình, định vị và cập nhật vị trí lỗ khoan, mạng lỗ khoan, phục vụ cho công tác lập hồ chiếu nổ mìn bằng phần mềm chuyên dùng. Việc sử dụng các thiết bị này trong việc đánh giá kết quả nổ mìn như: phân tích cỡ hạt đá sau nổ, hình dạng đồng đá, độ văng xa của đất đá, ranh giới bãi mìn thực tế so với thiết kế,... sẽ giúp cho các kỹ sư thiết kế nổ có thể đánh giá chính xác kết quả nổ, phục vụ cho việc điều chỉnh các thông số nổ mìn nhằm sử dụng tối ưu năng lượng nổ có ích vào phá vỡ đất đá, giảm tác dụng có hại và lãng phí năng lượng nổ.

Có thể thấy việc ứng các công nghệ hiện đại và các module phần mềm nhằm xây dựng một hệ thống quản lý thông tin đồng bộ, dựa trên công nghệ hiện đại, các khâu công việc sẽ kết nối, tương tác chặt chẽ với nhau, tạo thành một hệ thống tổng thể giải quyết các vấn đề từ thu thập, quản lý cơ sở dữ liệu, xử lý dữ liệu thiết kế, thi công đến đánh giá kết quả công tác khoan – nổ, qua đó xây dựng và sử dụng cơ sở dữ liệu cho việc tối ưu hóa công tác khoan – nổ mìn.

2. Sự phát triển ứng dụng công nghệ thông tin trong công tác thiết kế và quản lý ở Việt Nam và trên thế giới

Ở Việt Nam, phần mềm Blast-desinger 1.0 được nhóm tác giả Bộ môn Khai thác lộ thiên, Trường đại học Mở - Địa chất giới thiệu vào năm 2006 nhằm mục đích quản lý cơ sở dữ liệu đất đá, thuốc nổ, tính toán thông số và lập hồ chiếu nổ mìn. Trong đó, phần mềm được thiết kế với 03 module tương ứng với 03 phương pháp nạp mìn tại các mỏ than lộ thiên vùng Quảng Ninh thời điểm đó là: nạp một loại thuốc chịu nước hoặc không chịu nước; nạp kết hợp thuốc nổ chịu nước dưới đáy lỗ và thuốc nổ không chịu nước phía trên, nạp phối hợp thuốc nổ bao gói (thỏi) với thuốc nổ rời để chèn kín toàn bộ tiết diện lỗ khoan.



Hình 1. Hiển thị tọa độ và vị trí lỗ mìn đọc từ máy toàn đạc điện tử ra bản vẽ AutoCAD bằng phần mềm lập hồ chiếu khoan – nổ mìn cho các mỏ khai thác lộ thiên vùng Cẩm Phả [4]

Sau khi lựa chọn phương pháp nổ, người thiết kế nhập dữ liệu địa chất, loại thuốc nổ, yêu cầu mức độ đập vỡ, chương trình sẽ tính toán các thông số nổ mìn và lập hồ chiếu nổ mìn [3]. Ứng dụng phần mềm tính toán lập hồ chiếu khoan nổ mìn cho đường hầm hoặc đường lò tiết diện lớn hình vòm bán nguyệt VOLVN 3.0 chạy trên nền AutoCAD cũng được giới thiệu năm 2014 cho lĩnh vực nổ mìn hầm lò và đào hầm [1]. Năm 2017, các nhà nghiên cứu thuộc Trường đại học Mở - Địa chất đã đưa vào sử dụng ứng dụng phần mềm lập hồ chiếu khoan – nổ mìn cho các mỏ than lộ thiên vùng Cẩm Phả dựa trên nền AutoCAD, với các tính năng chính như: xử lý dữ liệu từ các máy đo trắc địa ra bản vẽ AutoCAD; đọc và xác định các thông số mạng lỗ khoan từ bản vẽ

AutoCAD, quản lý thông tin đất đá, loại thuốc nổ, tính toán thông số khoan nổ mìn; tạo bản đồ mạng nổ vi sai và mô phỏng trình tự nổ, thống kê khối lượng thuốc nổ và phương tiện nổ sử dụng, tính toán bảng hộ chiếu khoan – nổ mìn và các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật của vụ nổ [4].

Trên thế giới, việc ứng dụng công nghệ thông tin trong công tác thiết kế, quản lý công tác khoan – nổ mìn đã được phát triển và cập nhật theo sự phát triển của khoa học kỹ thuật. Việc ứng dụng các phần mềm đã góp phần rút ngắn thời gian thực hiện và tận dụng khả năng của phần mềm tính toán và quản lý dữ liệu tốt hơn. Các phần mềm được sử dụng trong lĩnh vực mỏ có thể được phân loại thành các nhóm [5]:

- Nhóm các phần mềm sử dụng cho các mục đích chung: mô phỏng và thiết kế mỏ, thiết kế khai thác lộ thiên và hầm lò, có module tính toán thông số nổ mìn.
- Nhóm các phần mềm ứng dụng chuyên biệt cho việc tối ưu hóa công tác khai thác và phân tích khai thác khoáng sản.
- Nhóm các phần mềm cho các mục đích cụ thể, được thiết kế cho việc phân tích các vấn đề liên quan đến thiết kế mỏ, lập lịch kế hoạch cho các khâu công nghệ khai thác, ví dụ: phân tích chi phí khai thác, phân tích các vấn đề kỹ thuật cụ thể trong khai thác mỏ lộ thiên, thiết kế các khâu công nghệ khai thác (công tác khoan – nổ mìn, công tác xúc bốc và vận tải).

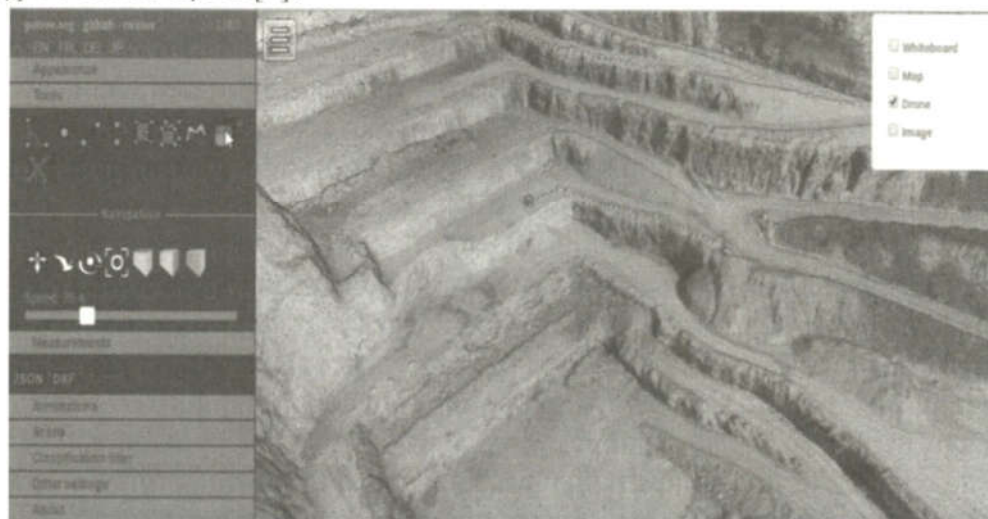
Trong lĩnh vực khoan – nổ mìn, có một số lượng khá lớn các phần mềm cho mục đích thiết kế khoan nổ, nhìn chung các phương pháp tính toán của các phần mềm khá giống nhau và thường hay dựa vào dữ liệu ảnh khu vực khai trường, thiết kế khu vực nổ, tối ưu hóa các thông số khoan – nổ mìn... Một số phần mềm như BlastMetriX 3D (3DSM) được phát triển trên cơ sở hệ thống phần mềm JointMetriX3D xuất hiện vào năm 2005, hệ thống này cho phép các ảnh 3D được chụp ở phạm vi gần phục vụ cho việc thu thập dữ liệu mỏ. Phiên bản năm 2024 là hệ thống phần mềm BlastMetriX 3D để sử dụng cho việc vẽ bề mặt tầng khai thác và thiết kế hộ chiếu nổ trên cơ sở dữ liệu ảnh 3D. Ở hệ thống này, các máy ảnh cầm tay đã được hiệu chỉnh thu thập dữ liệu ảnh khu vực nổ mìn, kết hợp với phần mềm chuyên dùng thiết kế khoan – nổ. Sau khi cắm các mốc tại khu vực nổ, người sử dụng cần chụp ít nhất hai ảnh, các ảnh này sau đó được sử dụng để tạo ra bề mặt tầng dưới dạng 3D bằng phần mềm. Sử dụng phần mềm này cho phép lập kế hoạch và tối ưu hóa sơ đồ mạng nổ để đưa vào tính toán kích thước thực tế của tầng, điều chỉnh thông số nổ mìn phù hợp vào địa hình bãi nổ. Phiên bản Blast MetriX UAV cho phép tạo ra ảnh 3D qua việc sử dụng UAV để thu các ảnh chụp khu vực tầng nổ, chức năng thiết kế và phân tích nổ [6]. Phần mềm O – Pitblast được giới thiệu gần đây ứng dụng cho việc lập kế hoạch, kiểm soát và tối ưu hóa công tác khoan và nổ mìn. O – Pitblast đáp ứng được các yêu cầu của các kỹ sư nổ mìn trong việc tối ưu hóa, kiểm soát, giảm chi phí và tăng mức độ an toàn trong quá trình nổ mìn. Nền tảng phần mềm cho phép người sử dụng đưa vào dữ liệu địa hình ở dạng dữ liệu bề mặt và đặc điểm khối đá dùng cho thiết kế nổ. Bên cạnh các module tính toán, O-pitblast còn cho phép quản lý các dữ liệu nổ mìn, phát triển kế hoạch và báo cáo công tác, hiển thị đồ họa, công nghệ giám sát, quản lý người dùng và quản lý dự án, cho phép phân tích một số thông số ảnh hưởng đến các kết quả nổ mìn [2]. Sử dụng phần mềm này cho phép lập kế hoạch và tối ưu hóa sơ đồ mạng nổ để đưa vào tính toán kích thước thực tế của tầng, điều chỉnh thông số nổ mìn phù hợp vào địa hình bãi nổ [2]. Phiên bản Blast MetriX UAV cho phép tạo ra ảnh 3D qua việc sử dụng UAV để thu các ảnh chụp khu vực tầng nổ, chức năng thiết kế và phân tích nổ. Phần mềm O – Pitblast được giới thiệu gần đây được ứng dụng cho việc lập kế hoạch, kiểm soát và tối ưu hóa công tác khoan và nổ mìn. O – Pitblast đáp ứng được các yêu cầu của các kỹ sư nổ mìn trong việc tối ưu hóa, kiểm

soát, giảm chi phí và tăng mức độ an toàn trong quá trình nổ mìn. Nền tảng của phần mềm cho phép người sử dụng đưa vào dữ liệu địa hình ở dạng dữ liệu bề mặt và đặc điểm khối đá dùng cho thiết kế nổ. Bên cạnh các module tính toán, phần mềm còn cho phép quản lý các dữ liệu nổ mìn, phát triển kế hoạch và báo cáo công tác, hiển thị đồ họa, công nghệ giám sát, quản lý người dùng và quản lý đa dự án [2].



Hình 2. Địa hình mỏ được thu thập bằng thiết bị UAV và sử dụng để thiết kế bãi nổ trong phần mềm Blades [7]

Phần mềm Blades dùng cho thiết kế khoan nổ chuyên biệt của công ty MineExcellence đưa vào các dữ liệu về tọa độ bãi mìn, đường kính lỗ khoan, sơ đồ mạng lỗ khoan, thể tích bãi nổ, đặc điểm khối đá nổ mìn, hình dạng bề mặt, các loại thuốc nổ sử dụng, các loại phương tiện nổ và các điều kiện giới hạn kiểm soát môi trường xung quanh. Phần mềm sẽ tính toán các thông số mạng nổ, lượng thuốc nạp cho mỗi lỗ mìn, sơ đồ khởi nổ nhằm mục tiêu phá vỡ và đạt được mục tiêu mức độ đập vỡ đất đá đặt ra [7].



Hình 3. Mô hình một tầng được sử dụng để thiết kế hệ chiếu nổ mìn bằng BlastMetriX 3D [7]

Một số phần mềm cũng ứng dụng các công nghệ mới như SHOTPlus 5 Premier của hãng Orica, cung cấp cho các kỹ sư nổ mìn các công cụ để thiết kế, phân tích và tối ưu hóa vụ nổ. Phần

mềm BlastmapTMIII của công ty BME cung cấp các công cụ để thiết kế các bãi nổ trong thời gian ngắn nhất có thể, trong đó có các công cụ tối ưu hóa thông số khoan, thông số nổ mìn, lập kế hoạch, thiết kế và phân tích công tác nổ mìn. Phần mềm JKSimBlast thuộc công ty JKTech cũng được thiết kế trong một hệ thống phần mềm đa mục đích nhằm mô phỏng và quản lý dữ liệu nổ mìn tại các mỏ [7][8][9].

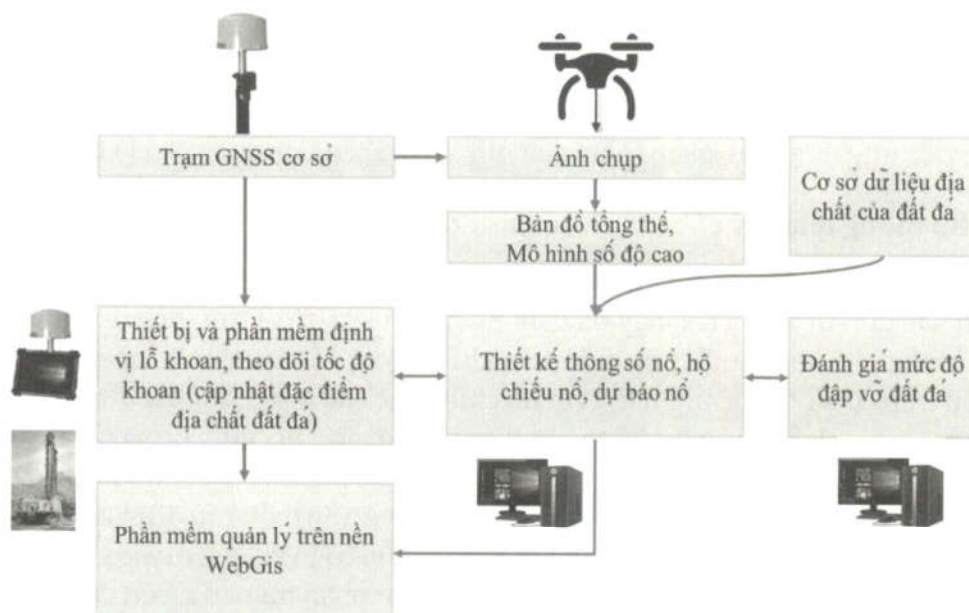
Có thể nhận thấy, các phần mềm phát triển cho lĩnh vực thiết kế và quản lý công tác khoan – nổ mìn đã cung cấp các giải pháp chuẩn bị sản xuất, chuẩn bị các báo cáo, xuất bản báo cáo hoàn thiện và các quả trong một thời gian ngắn và hiệu quả hơn. Tuy nhiên, các phần mềm trong nước vẫn trong giai đoạn phát triển và cần có sự cập nhật các phương pháp tính toán dựa trên các định mức được ban hành, các công nghệ thu thập dữ liệu hiện đại hơn nhằm đáp ứng yêu cầu thực tiễn. Các phần mềm của nước ngoài mặc dù hiện đại, nhưng thường có giá thành, yêu cầu công nghệ hỗ trợ chi phí cao, ngôn ngữ sử dụng tiếng Anh, thuật ngữ, phương pháp tính không phù hợp với phương pháp tính toán đã và đang áp dụng cho các mỏ than vùng Quảng Ninh. Điều này làm hạn chế việc ứng dụng các phần mềm của nước ngoài cho các mỏ than lộ thiên nước ta.

3. Mô hình hệ thống quản lý công tác khoan – nổ mìn

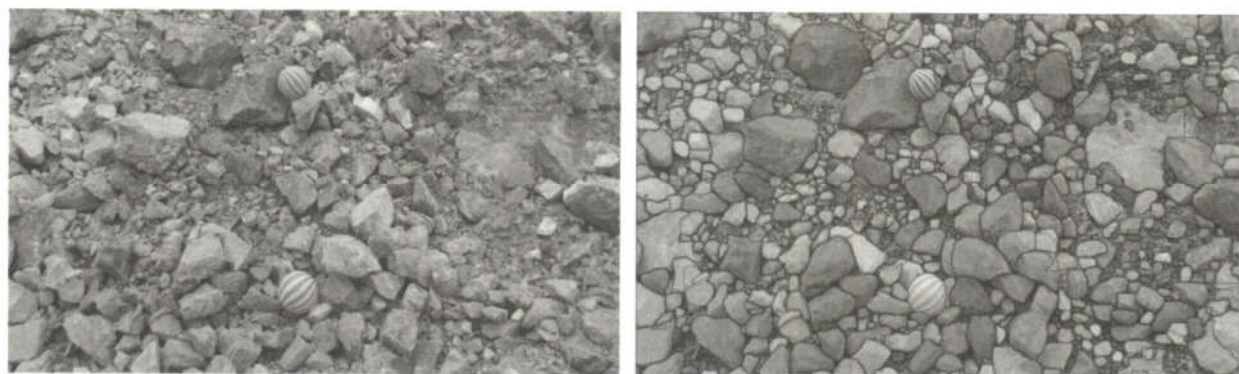
Với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ thông tin cùng các công nghệ định vị vệ tinh toàn cầu độ chính xác các (GNSS RTK), máy bay không người lái (UAV) thu thập dữ liệu địa hình làm cơ sở cho việc thiết kế khoan-nổ mìn, tính toán khối lượng đất đá nổ mìn, phân tích đánh giá cỡ hạt đá nổ mìn trên cơ sở trí tuệ nhân tạo với độ chính xác cao hơn, công tác quản lý cơ sở dữ liệu công tác khoan – nổ mìn trên cơ sở hệ thống thông tin địa lý, việc ứng dụng các công nghệ hiện đại này để thu thập, quản lý, cập nhật dữ liệu của công tác khoan – nổ là hoàn toàn có khả năng và khả thi. Các thiết bị định vị sử dụng công nghệ định vị vệ tinh toàn cầu độ chính xác cao sẽ đóng vai trò thu thập nhanh dữ liệu địa hình, định vị, cập nhật vị trí lỗ khoan, mạng lỗ khoan, các thông tin lỗ khoan, phục vụ công tác lập hồ chiếu bằng module phần mềm chuyên dùng, cập nhật việc điều chỉnh thông tin lỗ mìn qua các thiết bị di động thông minh cầm tay giúp cho công tác này chủ động và dễ dàng. Dữ liệu thu thập từ các thiết bị này giúp việc đánh giá các kết quả nổ mìn như: phân tích cỡ hạt đá sau nổ mìn, hình dạng đồng đá, độ văng xa của đất đá, ranh giới bãi mìn thực tế đạt được so với thiết kế.... sẽ giúp cho các kỹ sư thiết kế nổ đánh giá chính xác kết quả nổ, phục vụ cho việc điều chỉnh các thông số nổ mìn nhằm sử dụng tối ưu năng lượng nổ có ích vào phá vỡ đất đá, giảm các tác dụng có hại của nổ mìn như chấn động, sóng đập không khí, đá bay, hậu xung do việc sử dụng lãng phí năng lượng nổ gây ra.

Trong khuôn khổ đề tài nghiên cứu khoa học cấp nhà nước thuộc quản lý của Bộ Công thương, Nhóm nghiên cứu thuộc Trung tâm khoa học công nghệ mỏ và môi trường (thuộc Trường đại học Mỏ - Địa chất), đã xây dựng Hệ thống quản lý công tác khoan nổ mìn cho các mỏ than lộ thiên lớn vùng Quảng Ninh bao gồm các thiết bị thu thập dữ liệu hiện trường: 1) thiết bị định vị thời gian thực GNSS-RTK sử dụng trong đo vẽ hiện trường nhằm định vị vị trí lỗ khoan, cập nhật vị trí lỗ mìn, vẽ sơ đồ mạng nổ, thiết bị kết nối với thiết bị di động thông minh cài đặt module phần mềm tương tác với thiết bị GNSS-RTK; 2) bộ thiết bị GNSS-RTK định vị vị trí lỗ khoan tích hợp chức năng theo dõi tốc độ khoan có cài đặt module phần mềm thu thập và truyền thông tin tốc độ khoan theo chiều sâu (phục vụ cho việc thu thập bổ sung thêm thông tin mức độ khó khoan trong mối liên hệ với độ cứng của các lớp đá trong khu vực nổ); 3) Ứng dụng UAV trong đo vẽ bản đồ khu vực nổ, tính toán khối lượng đất đá sau nổ; 4) module phần mềm phân tích mức độ đập vỡ đất đá sau nổ trên cơ sở công nghệ xử lý ảnh kỹ thuật số sử dụng trí tuệ nhân tạo; 5) module phần mềm thiết kế khoan – nổ; 6) hệ thống phần mềm trên nền webgis quản lý

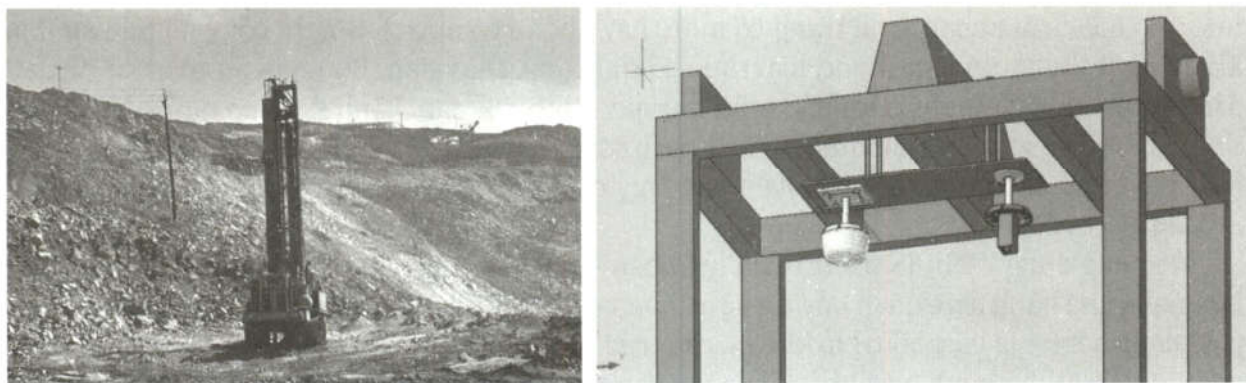
cơ sở dữ liệu và thực hiện công tác khoan – nổ mìn. Sơ đồ mô hình của hệ thống trình bày trong hình 4. Một số máy khoan trên các mỏ than lộ thiên vùng Quảng Ninh có thiết bị theo dõi tốc độ khoan được trang bị kèm theo hoặc đã hỏng chức năng này theo thời gian, tuy nhiên chức năng theo dõi tốc độ khoan này phục vụ riêng cho người thợ khoan quan sát để điều chỉnh thông số chế độ khoan, không kết nối được với hệ thống chung để thu thập dữ liệu. Do vậy, hệ thống đề xuất đã thiết kế riêng thiết bị định vị và theo dõi tốc độ khoan nhằm thu thập dữ liệu này phục vụ cho việc quản lý và thiết kế khoan nổ cho các bãi nổ tại mỏ, mô hình và vị trí lắp đặt trình bày trong hình 5. Hình 6 trình bày một kết quả kích thước cục đá nổ mìn từ module phân tích mức độ đập vỡ đất đá của hệ thống.



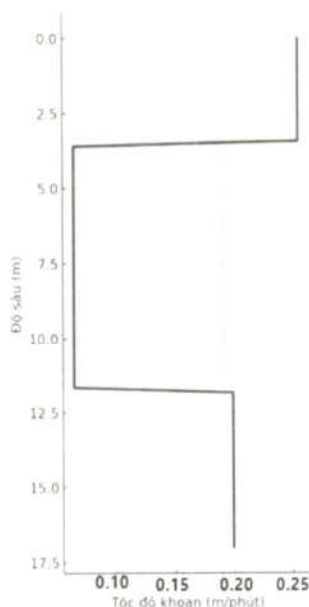
Hình 4. Sơ đồ tổng thể kết nối hệ thống quản lý công tác khoan – nổ mìn cho các mỏ than lộ thiên vùng Quảng Ninh



Hình 5. Ví dụ nhận diện ảnh phân tích kích thước cục đá nổ mìn từ phân tích mức độ đập vỡ từ module HUMG Frag thuộc hệ thống quản lý công tác khoan-nổ mìn cho các mỏ than lộ thiên vùng Quảng Ninh



a) b)
Hình 5. Bộ thiết bị định vị và theo dõi tốc độ khoan DVM_{RTK} của hệ thống được gắn trên giá khoan cập nhật thời gian thực, trong đó tốc độ khoan sử dụng trong mối tương quan với hệ số độ kiên cố để hỗ trợ việc thiết kế hộ chiếu nổ mìn



Hình 6. Sơ đồ biểu diễn sự thay đổi tốc độ khoan theo chiều sâu lỗ khoan

Hệ thống quản lý dữ liệu khoan – nổ mìn công nghệ Web GIS (Geographic Information System) cho phép thu thập, lưu trữ, quản lý và phân tích dữ liệu không gian trong môi trường web. Đặc điểm nổi bật của WebGIS là khả năng chia sẻ và truy cập dữ liệu từ xa, hỗ trợ nhiều người dùng đồng thời và tích hợp các nguồn dữ liệu khác qua API. Trong quản lý khoan – nổ mìn, WebGIS đóng vai trò như nền tảng kết hợp thông tin bản đồ mỏ với các dữ liệu thuộc tính: vị trí lỗ khoan, thông số thuốc nổ, lớp địa chất, hộ chiếu nổ, kết quả phân tích sau nổ. Hệ thống trang bị thêm module cập nhật trực tiếp tình trạng lỗ khoan được cài đặt trên điện thoại di động thông minh giúp người được phân quyền (kỹ sư hoặc thợ khoan) cập nhật tình trạng lỗ mìn trực tuyến lên hệ thống.

Hệ thống được thiết kế để phục vụ cho toàn bộ các bộ phận tham gia và chu trình khoan – nổ mìn tại mỏ lộ thiên. Phạm vi hoạt động từ khâu thiết kế, thi công, giám sát đến đánh giá kết quả và lưu trữ dữ liệu lịch sử. Đội khoan sử dụng để thực hiện khảo sát thiết kế, nhập dữ liệu

thực tế (chiều sâu khoan, tình trạng có nước hay không có nước). Đội thi công nổ mìn sử dụng để cập nhật thông tin nạp thuốc, loại thuốc, khối lượng, thời gian. Bộ phận an toàn sử dụng để giám sát vùng nguy hiểm, đảm bảo tuân thủ quy trình an toàn. Lãnh đạo mỏ dùng để xem báo cáo tổng hợp, phân tích hiệu quả, lập kế hoạch sản xuất. Việc xác định phạm vi và đối tượng sử dụng giúp định hình chức năng, quyền hạn truy cập phù hợp, đảm bảo hệ thống phục vụ đúng nhu cầu thực tế.

Việc ứng dụng WebGIS trong quản lý khoan – nổ mìn giúp nâng cao hiệu quả lập kế hoạch thông qua khả năng trực quan hóa dữ liệu khoan – nổ trên bản đồ, giúp kỹ sư và các cán bộ quản lý dễ dàng đánh giá việc bố trí lỗ khoan, cấu trúc tầng đất đá và các yếu tố địa chất, trợ giúp hỗ trợ ra quyết định nhanh hơn nhờ khả năng cập nhật dữ liệu từ công trường và tăng cường an toàn sản xuất khi dữ liệu vật liệu nổ và hộ chiếu nổ được quản lý tập trung, truy vết rõ ràng. Bên cạnh đó, hệ thống quản lý khoan – nổ còn hỗ trợ phân tích và dự báo kết quả nổ, từ đó tối ưu hóa chi phí thuốc nổ, giảm tác động môi trường và cải thiện năng suất khai thác.

4. Thảo luận

Hệ thống quản lý khoan – nổ mìn với mục tiêu quản lý dựa trên chuyển đổi số tích hợp các module thiết kế và dự báo nổ không chỉ là công cụ lưu trữ, quản lý thông minh mà còn đóng vai trò như là một hệ thống điều hành và phân tích thông minh. Các chức năng của hệ thống hình thành một khu tổng thể, đảm bảo hệ thống đáp ứng được các mục tiêu: quản lý tập trung, đồng bộ dữ liệu, hỗ trợ phân tích kỹ thuật, dự báo rủi ro và nâng cao an toàn vận hành. Điểm nổi bật của hệ thống là khả năng liên tục so sánh và tối ưu hóa giữa thiết kế - dự báo – thực tế. Nhờ đó các sai lệch trong quá trình thi công có thể được phát hiện sớm và điều chỉnh kịp thời, góp phần giảm thiểu rủi ro, tiết kiệm chi phí và nâng cao chất lượng đập vỡ đất đá. Bên cạnh những ưu điểm, cần lưu ý rằng hệ thống chỉ phát huy hiệu quả khi đảm bảo hạ tầng mạng ổn định, dữ liệu đầu vào chính xác và đội ngũ vận hành được đào tạo đầy đủ.

5. Kết luận

Trên thế giới, việc ứng dụng công nghệ trong chuyển đổi số áp dụng trong công tác quản lý khoan – nổ mìn đã và đang diễn ra mạnh mẽ. Điều này đặc biệt thuận lợi đối với các doanh nghiệp có điều kiện đầu tư các thiết bị, máy móc mới được cập nhật các tính năng phục vụ công tác chuyển đổi số một cách nhanh chóng. Với điều kiện các mỏ than lộ thiên vùng Quảng Ninh, các máy móc, thiết bị được đầu tư ở nhiều giai đoạn khác nhau, vì vậy việc quản lý công tác khoan – nổ mìn theo định hướng chuyển đổi số cần được xuất phát triển cơ sở phù hợp với điều kiện thực tế.

Hệ thống quản lý công tác khoan – nổ mìn cho các mỏ than lộ thiên vùng Quảng Ninh giới thiệu trong báo cáo này được xây dựng dựa vào điều kiện thực tế về công nghệ, thiết bị, cơ sở hạ tầng công nghệ thông tin tại các mỏ. Hệ thống quản lý công tác khoan – nổ mìn xây dựng cho các mỏ than lộ thiên vùng Quảng Ninh đóng vai trò là một công cụ tích cực, phục vụ toàn bộ các bộ phận tham gia vào chu trình khoan – nổ mìn. Việc ứng dụng hệ thống giúp nâng cao hiệu quả lập kế hoạch thông qua khả năng trực quan hóa dữ liệu khoan – nổ mìn trên bản đồ, trợ giúp việc ra quyết định nhanh hơn nhờ khả năng cập nhật dữ liệu từ công trường, tăng cường công tác an toàn sản xuất do dữ liệu vật liệu nổ cùng hộ chiếu nổ được quản lý tập trung và truy vết rõ ràng. Thông qua việc hỗ trợ phân tích và dự báo kết quả nổ, hệ thống còn mang ý nghĩa kinh tế và môi

trường khi giúp tối ưu hóa chi phí thuốc nổ, giảm tác động môi trường, và cải thiện năng suất khai thác.

Lời cảm ơn

Nhóm tác giả trân trọng cảm ơn, Bộ Công thương cơ quan quản lý đề tài cấp quốc gia mã số ĐT.CNKK.011/23; Trung tâm Khoa học Công nghệ Mỏ và Môi trường (thuộc Trường đại học Mỏ - Địa chất), Tổng công ty công nghiệp hóa chất mỏ - Vinacomin (MICCO), Công ty Cổ phần than Đèo Nai, Công ty cổ phần than Cao Sơn, Viện khoa học công nghệ Mỏ - Vinacomin... các bạn đồng nghiệp đã hỗ trợ chúng tôi trong quá trình nghiên cứu.

Đóng góp của tác giả

Ghi rõ đóng góp của từng tác giả với nội dung của bài báo.

Tác giả Phạm Văn Hòa - Phương pháp luận, Thiết kế hệ thống, Viết bản thảo bài báo; Tác giả Trần Văn Dũng, Hoàng Anh Phong, Trịnh Quang Trung, Lê Văn Quyền, Dương Thành Trung, Trần Đình Bảo, Trần Quang Hiếu, Nguyễn Anh Tuấn - Phân tích dữ liệu; Điều tra, khảo sát; Tác giả Nguyễn Đình An, Phạm Văn Việt - Đánh giá và chỉnh sửa.

Tài liệu tham khảo

- [1] 3GSM Gmbh, "BlastMetrix 3D," 2020. .
- [2] O-Pitblast, "User Manual," 2021. .
- [3] Lê Văn Quyền, Phạm Văn Hòa, and Nguyễn Tiến Hải, "Tính toán các thông số và lập hệ chiếu khoan nổ mìn bằng phần mềm Blast-Designer 1.0," *Tạp chí KHKT Mỏ - Địa chất*, vol. 14, pp. 33–36, 2006.
- [4] Trần Quang Hiếu and Bùi Xuân Nam, "Xây dựng phần mềm lập hệ chiếu khoan - nổ mìn cho các mỏ khai thác lộ thiên vùng Cẩm Phả, Quảng Ninh," *Tạp chí Công nghiệp mỏ*, vol. 1, pp. 14–17, 2017.
- [5] M. et al. Miladinovic, "Computer programs for design and modelling in mining," *Podzemn. Rad.*, vol. 19, pp. 109–124, 2011.
- [6] 3GMS, "BlastMetriX," 2025. <https://3gsm.at/blastmetrix/>.
- [7] MineExcellence, "Blades," 2021. <https://www.mineexcellence.com/>.
- [8] JKTech, "JK Sim Blast," 2021. .
- [9] BME, "Blastmap III," 2021. <http://www.bme.co.za/products%0A/software/blast-map3>.

60 Years
1965 - 2025

THE 60th ANNIVERSARY
OF SURFACE MINING EDUCATION

ISBN: 978-604-76-3193-3



9 786047 631933

NOT FOR SALE