

**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 Jaroopattanapong, 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, Noelie 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. Phạm 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



Run-of-mine ore quality homogenization: Application for mining conditions of block 24-122, Tan Rai bauxite mine, Tay Nguyen

Nguyen Anh Tuan^{1,2,5*}, Pham Van Viett^{1,2}, Tran Trung Anh^{1,2,5}, Nguyen Van Tinh³, Tran Dinh Bao¹, Pham Minh Tu³, Noelie Escutenaire⁴

¹ Hanoi University of Mining and Geology (HUMG), Hanoi, Vietnam

² Research Centre for Mining and Electro-Mechanical Engineering, HUMG, Hanoi, Vietnam

³ Lam Dong Aluminium Co., LTD - Vinacomin, Lam Dong, Vietnam

⁴ L'Ecole Nationale Supérieure des Mines d'Alès (IMT Mines Alès), France

⁵ Geomatics in Earth Sciences Research Group, HUMG, Hanoi, Vietnam

ABSTRACT

An important task to improve the operational efficiency of bauxite mining enterprises in the Central Highlands is to ensure homogeneity of ore composition right from the mining faces and during the formation of run-of-mine (ROM) stockpiles. The key components to be controlled include Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 , Ms , and LOI (loss on ignition). In practice, many ROM stockpiles fail to meet the required mineralogical module specifications, creating difficulties for beneficiation and downstream processing. The homogenization and blending of ore quality within one or several ROM stockpiles to form secondary stockpiles is therefore considered essential to secure a stable feed supply for the alumina refinery. The integration of quality homogenization directly at the mining faces with optimization of feed preparation in storage yards (including both ROM and secondary stockpiles) enhances flexibility and proactivity in raw material supply, ensuring continuous operation of the alumina plant and optimization of process parameters. Under constrained land clearance conditions that complicate mining operations and ore quality control at bauxite deposits in the Central Highlands, this paper proposes the application of a two-stage stockpiling scheme to replace the currently used one-stage scheme. The solution and its practical calculation conditions are demonstrated for Block 24-122, Tan Rai bauxite mine, Lam Dong Province.

Keywords:

Open-pit mining; Bauxite mine; Quality Control; Stockpile Management, Tay Nguyen.

*Tác giả liên hệ

E - mail: nguyenanhtuan@humg.edu.vn



ASMES - 2025

www.khaithaclathien.edu.vn



Trung hòa chất lượng quặng nguyên khai: Áp dụng điều kiện khai thác khối 24-122, mỏ Tây Tân Rai, Tây Nguyên

Nguyễn Anh Tuấn^{1,2,5*}, Phạm Văn Việt^{1,2}, Trần Trung Anh^{1,2,5}, Nguyễn Văn Tịnh³, Trần Đình Bảo¹, Phạm Minh Tú³, Noëlie Escutenaire⁴

¹ Trường Đại học Mỏ - Địa chất (HUMG), Hà Nội, Việt Nam

² Trung tâm Nghiên cứu Cơ Điện Mỏ, HUMG, Hà Nội, Việt Nam

³ Công ty TNHH MTV Nhóm Lâm Đồng - TKV, Lâm Đồng, Việt Nam

⁴ L'Ecole Nationale Supérieure de Mines d'Alès (IMT Mines Alès), CH Pháp

⁵ Nhóm nghiên cứu Công nghệ Địa tin học trong Khoa học Trái đất (GES), HUMG, Hà Nội, Việt Nam

TÓM TẮT

Một nhiệm vụ quan trọng nhằm nâng cao hiệu quả hoạt động của các doanh nghiệp khai thác bauxite ở Tây Nguyên là đảm bảo sự đồng nhất về thành phần khoáng của dòng quặng ngay từ khai trường và trong quá trình hình thành đồng nguyên khai. Các thành phần chính cần kiểm soát gồm Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 , Msi và MKN. Thực tế cho thấy nhiều đồng nguyên khai không đáp ứng yêu cầu về các môđun khoáng cơ bản, gây khó khăn cho công đoạn tuyển khoáng và chế biến sâu. Giải pháp trung hòa và đồng nhất chất lượng quặng trong một hoặc nhiều đồng nguyên khai để hình thành các đồng thứ cấp được coi là cần thiết, giúp đảm bảo nguồn cấp liệu ổn định cho nhà máy alumin. Sự kết hợp giữa trung hòa ngay tại gương khai thác với tối ưu hóa công tác phối liệu trong kho chứa (bao gồm cả đồng nguyên khai và thứ cấp) mang lại tính linh hoạt, chủ động trong cung cấp nguyên liệu, góp phần duy trì sản xuất liên tục và tối ưu các thông số công nghệ. Trong điều kiện giải phóng mặt bằng còn hạn chế gây khó khăn trong công tác khai thác và kiểm soát chất lượng quặng nguyên khai tại các mỏ bauxite Tây Nguyên. Bài báo đề xuất áp dụng sơ đồ chất đồng hai giai đoạn thay thế sơ đồ một giai đoạn hiện nay. Giải pháp, điều kiện tính toán thực tế được áp dụng cho khu vực khai thác khối 24-122, mỏ bauxite Tây Tân Rai, Lâm Đồng.

Từ khóa: Khai thác lộ thiên; Mỏ Bauxite, Kiểm soát chất lượng; Trung hòa chất lượng; Đồng trữ, Tây Nguyên.

1. Mở đầu

Một trong những nhiệm vụ quan trọng nhằm nâng cao hiệu quả hoạt động của các doanh nghiệp khai khoáng bauxite ở khu vực Tây Nguyên nói chung là đảm bảo mức độ đồng nhất cao về hàm lượng các thành phần khoáng như Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 , Msi, MKN của dòng quặng khi khai thác tại các khai trường (các vùng, khu vực, block, các gương khai thác cụ thể) trong quá trình hình thành các đồng quặng nguyên khai [1]. Trong nhiều trường hợp chất lượng các môđun (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , môđun Al_2O_3/SiO_2) trong đồng quặng nguyên khai không đảm bảo chất lượng trước khi đưa vào tuyển khoáng. Do đó, các kỹ sư khai thác và tuyển khoáng cần tiến hành trung

hòa và đồng nhất trong 1 hoặc nhiều đồng quặng nguyên khai để hình thành đồng quặng thứ cấp nhằm đảm bảo các môđun cơ bản trong quặng bauxite nguyên khai có thể đưa vào khâu tuyển và chế biến sâu hiệu quả. Tỷ lệ và khối lượng các đồng thứ cấp cần được trung hòa và đồng nhất một cách ổn định [2].

Giải pháp kết hợp giữa trung hòa chất lượng quặng tại các gương khai thác và tối ưu hóa quá trình chuẩn bị phối liệu tại các đồng trong kho trữ quặng nguyên khai và các đồng quặng nguyên khai thứ cấp đảm bảo tính linh hoạt và chủ động trong cung cấp nguyên liệu cho nhà máy nhôm hoạt động liên tục và tối ưu hóa các thông số công nghệ [3, 4, 5]. Trong điều kiện giải phóng mặt bằng khó khăn như ở các mỏ bauxite khu vực Đắk Nông và Lâm Đồng thì giải pháp tối ưu được đề xuất là áp dụng sơ đồ chất đồng 2 giai đoạn thay thế cho sơ đồ 1 giai đoạn hiện đang sử dụng cho mỏ [1].

2. Phương pháp

Trước khi xuất quặng tới nhà máy nhôm, quặng bauxite nguyên khai được tập kết và tạm thời lưu trữ tại kho phối liệu. Quặng từ từng khu vực khai thác riêng lẻ (các block khai thác khác nhau, các gương ở vị trí có chất lượng quặng chênh lệch lớn) được vận chuyển bằng ô tô về kho quặng trung tâm. Tại đây, dòng bauxite từ nhiều block và các các gương khai thác mỏ khác nhau được gom lại, tạo thành các đồng quặng bauxite nguyên khai nhiều tầng. Sau khoảng 3-4 ngày, một đồng quặng nguyên khai được hình thành hoàn chỉnh; trong quá trình đó, quặng từ các block khác nhau, hay gương tại các khu vực khai thác mỏ khác nhau được trộn lẫn, hình thành đồng quặng nguyên khai đảm bảo chất lượng và khối lượng (yêu cầu). Mỗi đồng quặng bauxite nguyên khai sau đó được bốc dỡ theo kế hoạch và vận chuyển tới nhà máy nhôm để cung cấp cho các khâu tuyển, luyện khác nhau [6,7].

Thông thường, quá trình xuất quặng kéo dài trong 2-3 ngày, tức là trong khoảng thời gian này, chất lượng quặng nguyên khai (nguyên liệu thô) cần được duy trì ổn định. Khoảng thời gian này gọi là chu kỳ ổn định chất lượng quặng bauxite nguyên khai.

Các nghiên cứu và khảo sát cụ thể tại nhà máy Công ty Nhôm Đắk Nông – TKV và Công ty TNHH MTV Nhôm Lâm Đồng - TKV (LDA) hoặc một số nhà máy nhôm trên thế giới [2] cho thấy, để quá trình sản xuất nhôm đạt hiệu quả cao, cần duy trì thành phần chất lượng ổn định của đồng quặng nguyên khai trong khoảng thời gian dài hơn, tối ưu là từ 5-6 ngày.

Để hình thành dòng quặng ổn định và nâng cao độ chính xác trong dự báo chất lượng bauxite đưa vào chế biến, đề xuất công nghệ xử lý sơ bộ tại kho phối liệu. Theo đó, bằng cách sử dụng các nhóm ô tô chuyên dụng, hình thành các đồng quặng bauxite nguyên khai đơn (đồng quặng nguyên khai sơ bộ) từ đó hình thành các đồng quặng nguyên khai thứ cấp từ từng block và gương khai thác riêng biệt. Sau khi các đồng quặng nguyên khai sơ bộ được hình thành, các bước tiếp theo là dùng máy xúc, máy bốc gạt và chất lên bãi chứa quặng nguyên khai mới và ở đây ta gọi là đồng quặng nguyên khai thứ cấp. Các đồng lớn được tạo ra từ quá trình này được gọi chung là đồng thứ cấp. Từ các đồng nguyên khai sơ bộ, bằng cách phối hợp chộn trung hòa hợp lý, sẽ hình thành các đồng quặng nguyên khai thứ cấp có chu kỳ ổn định kéo dài khoảng 4-5 ngày [8,9].

Nếu chất lượng phối liệu, được tạo ra từ quá trình phối trộn các đồng thứ cấp, không đáp ứng yêu cầu về thành phần hóa học (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2), thì có thể điều chỉnh bằng cách tái phân phối. Tức là, một phần quặng từ mỗi đồng thứ cấp sẽ được đưa vào phối liệu mới theo tỷ lệ $q_1 : q_2 : \dots : q_n$, trong đó q_i là khối lượng quặng trong đồng thứ cấp thứ i , và n là số đồng thứ cấp được sử dụng.

Nếu hàm lượng của một thành phần nào đó trong quặng xuất ra vượt quá giới hạn cho phép, thì tỷ lệ phân phối cần được điều chỉnh. Trong trường hợp này, việc cấp bauxite từ các đồng thứ

cấp có thể được hoàn trả một phần để tái phối trộn, đảm bảo thành phần hóa học phù hợp với yêu cầu công nghệ.

Với ký hiệu: x_i là khối lượng quặng lấy từ đồng thứ cấp thứ i để phối liệu trung hòa hình thành đồng quặng nguyên khai đạt tiêu chuẩn hàm lượng; q_i là khối lượng ban đầu của đồng thứ cấp thứ i ; α_{ij} là hàm lượng thành phần j trong quặng của đồng thứ cấp i ; $\bar{\alpha}_j$ là giới hạn hàm lượng cho phép của thành phần j trong quặng nguyên khai thứ cấp; $j = 1, 2, 3$ (Al_2O_3 , Fe_2O_3 , SiO_2).

Các điều kiện ràng buộc được hình thành cụ thể khi tiến hành trung hòa chất lượng quặng nguyên khai như sau [6, 8, 9, 10]:

1. Hàm lượng Al_2O_3 không được thấp hơn giá trị cho trước $\alpha_{\text{Al}_2\text{O}_3}$:

$$\frac{\sum_{i=1}^n \alpha_{i \text{Al}_2\text{O}_3} (q_i - x_i)}{\sum_{i=1}^n (q_i - x_i)} \geq \alpha_{\text{Al}_2\text{O}_3} \quad (1)$$

2. Hàm lượng các thành phần SiO_2 , Fe_2O_3 trong quặng nguyên khai đảm bảo chất lượng không được vượt quá giới hạn $\bar{\alpha}_j$:

$$\frac{\sum_{i=1}^n \alpha_{ij} (q_i - x_i)}{\sum_{i=1}^n (q_i - x_i)} \leq \bar{\alpha}_j \quad j = 2, 3 \text{ (SiO}_2, \text{Fe}_2\text{O}_3) \quad (2)$$

3. Môđun silic (tỷ lệ $M_{\text{Si}} = \text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$) phải nằm trong giới hạn cho phép, $\bar{\alpha}_{\text{SiO}_2}$ là giới hạn trên và α_{SiO_2} giới hạn dưới:

$$\alpha_{\text{SiO}_2} \leq \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_{i \text{Al}_2\text{O}_3} (q_i - x_i)}{\sum_{i=1}^n \alpha_{i \text{SiO}_2} (q_i - x_i)} \leq \bar{\alpha}_{\text{SiO}_2} \quad (3)$$

Ngoài ra, điều kiện tự nhiên: khối lượng quặng lấy từ mỗi đồng thứ cấp không thể vượt quá tổng khối lượng ban đầu của đồng đó:

$$0 \leq x_i \leq q_i, \quad i = 1, 2, \dots, n \quad (4)$$

Khối lượng quặng lấy từ các đồng thứ cấp có thể thay đổi liên tục hoặc rời rạc (theo từng lô quặng khai thác được ở các gương khác nhau). Phương án liên tục thường phức tạp hơn về mặt công nghệ, do phải tiến hành lấy quặng với khối lượng nhỏ lẻ; trong khi phương án rời rạc thường gắn liền với khả năng làm việc tối đa năng suất của các thiết bị khai.

Mục tiêu của bài toán tối ưu khi đó là cực tiểu hóa tiêu chuẩn khi tổng khối lượng được xúc từ các đồng quặng nguyên khi để trung hòa hình thành đồng quặng nguyên khai thứ cấp:

$$\sum x_i \rightarrow \min \quad (5)$$

Hàm tối ưu hóa được thiết lập ở đây là một bài toán quy hoạch tuyến tính. Trong trường hợp rời rạc, nghiệm gần đúng có thể được tìm ra bằng cách so sánh các phương án khác nhau trong quá trình giải gần đúng của bài toán liên tục.

3. Ứng dụng trung hòa chất lượng quặng nguyên khai cho mỏ Tây Tân Rai (LDA)

3.1. Hiện trạng khai thác, chế biến mỏ Tây Tân Rai

Ngay từ đầu năm, điều kiện thời tiết mưa nhiều kéo dài liên tục nhiều tháng gây khó khăn lớn cho công tác vận chuyển; công tác giải phóng mặt bằng (GPMB) gặp rất nhiều khó khăn, diện GPMB nằm rải rác, nhỏ lẻ, không tập trung, chia thành nhiều đợt bàn giao, một số diện giáp khu vực dân cư sinh sống, vừa triển khai thi công, vừa GPMB trên cùng một khu vực, thời gian GPMB gặp nên trong quá trình thi công gặp nhiều cản trở từ các hộ dân đang sinh sống, canh tác trong khu vực khai thác; ngoài ra chiều dày phủ một số khu vực tầng đất biến trên 3,0m phủ, chất lượng quặng biến động nhiều theo chiều hướng giảm so với tài liệu địa chất,... từ đó gây ảnh hưởng rất lớn đến bóc phủ, khai thác trung hòa quặng cũng như quặng dự phòng diện cho mùa mưa.

Công tác khai thác còn nhiều khó khăn và vướng mắc về mặt GPMB do đó ảnh hưởng lớn tới sản lượng và chất lượng quặng nguyên khai cung cấp cho công tác tuyển quặng và sản xuất Alumin. Bên cạnh đó, điều kiện thời tiết mưa sớm, diện đã bóc phủ chuẩn bị diện cho khai thác

không đúng với kế hoạch nên gây khó khăn cho công tác khai thác các tháng cuối năm. Chất lượng cụ thể hàm lượng Al_2O_3 trong quặng nguyên khai sai khác với kế hoạch do đặc thù các khu vực khai thác, các gương khai thác ở vị trí chân đồi, sườn đồi và đỉnh đồi có sự biến động.

Công tác tuyển khoáng được thể hiện bằng khối lượng quặng nguyên khai vào tuyển, hàm lượng Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , MKN và Môđun silic ($M_{\text{Si}} = \text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$). Khối lượng quặng nguyên khai cấp vào tuyển đáp ứng đủ nhu cầu tuyển quặng tinh với sản lượng alumin quy đổi đạt > 750.000 tấn. Các thông số chất lượng, sản lượng quặng nguyên khai khai thác, khối lượng quặng tinh, các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật cơ bản trong các năm gần đây giới thiệu trong bảng 1 [2,3,4].

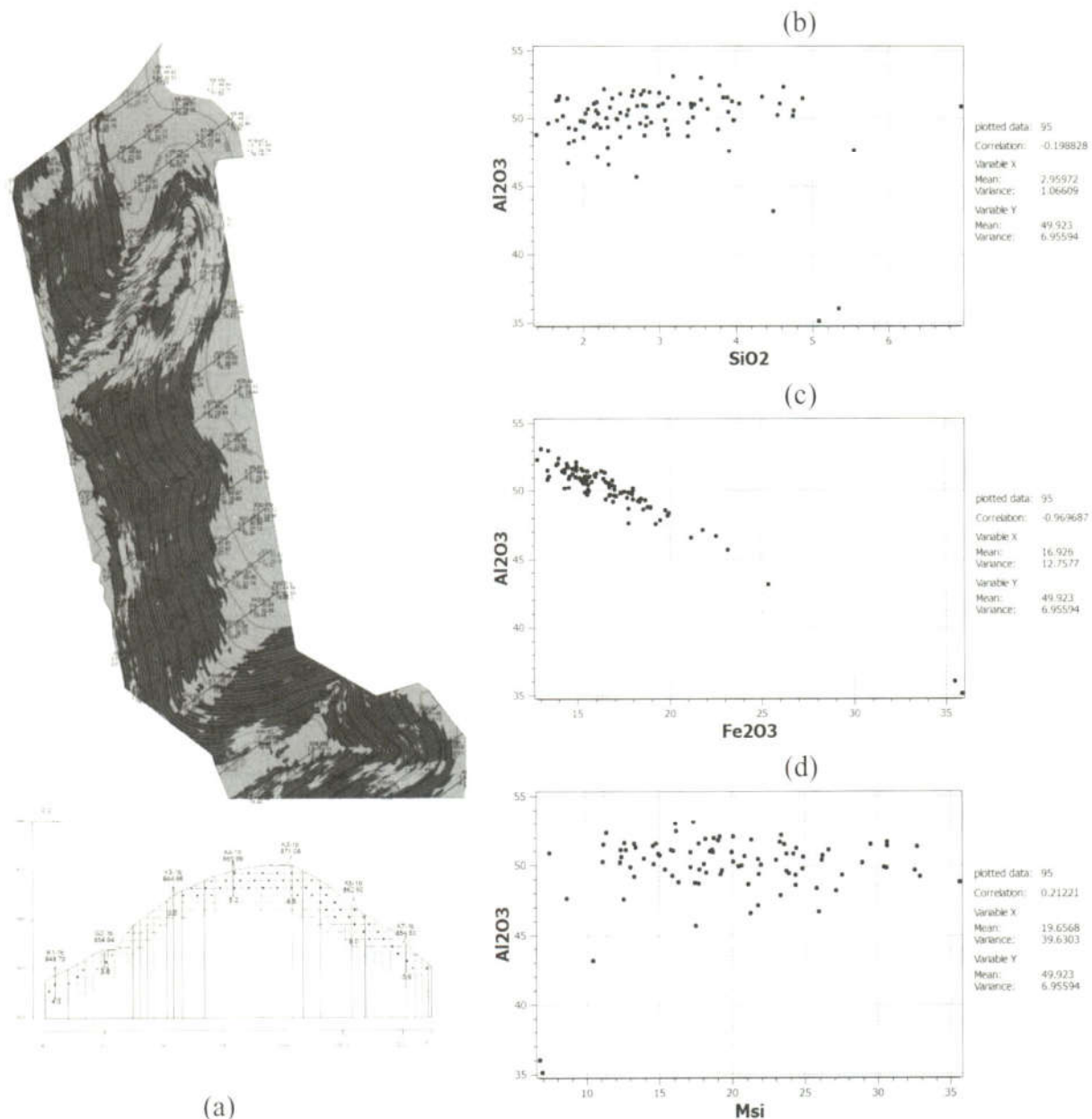
Bảng 1. Tổng hợp các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật chủ yếu của Công ty TNHH MTV Nhôm Lâm Đồng – TKV từ thực tế năm 2022 đến kế hoạch 2025.

STT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Năm 2022	Năm 2023	Năm 2024	Kế hoạch 2025
1	Đất bóc	m^3	917.375	983.823	587.066	918.843
	Thể trọng đất phủ	tấn/ m^3	1,34	1,34	1,34	1,34
2	Quặng nguyên khai	tấn	3.873.607	4.198.767	4.207.947	4.300.000
3	Hàm lượng quặng nguyên khai					
	Hàm lượng Al_2O_3	%	38,74	38,39	38,31	38,54
	Hàm lượng SiO_2	%	4,47	4,91	5,82	8,49
4	Hệ số bóc	$\text{m}^3/\text{tấn}$	0,237	0,234	0,14	0,214
5	Hệ số tổn thất khai thác	%	6,19	6,17	6,47	7,08
6	Hệ số làm nghèo	%	4,17	4,17	4,17	4,24
7	Thực thu công đoạn tuyển	%	69,03	69,54	64,04	65,01
8	Khối lượng quặng tinh	tấn	1.919.579	2.051.414	1.887.381	1.781.000
9	Tiêu hao quặng nguyên khai trên 1 tấn quặng tinh.	tấn/TQT	2,027	2,0	2,19	2,136
10	Tiêu hao nước cho sản xuất quặng tinh.	m^3/TQT	2,89	2,82	4,53	4,68
11	Hàm lượng quặng tinh					
	Hàm lượng Al_2O_3	%	47,56	46,95	46,99	46,9
	Hàm lượng SiO_2	%	1,66	2,06	2,29	2,92
12	Thực thu sản xuất alumin	%	87,12	87,20	86,87	85,33
13	Tiêu hao quặng tinh	tấn/TSP	2,64	2,69	2,68	2,74
14	Tiêu hao vôi sống CaO	kg/TSP	28,25	29,88	26,31	30,19
15	Tiêu hao xút (NaOH) cho sản xuất alumin	kg/TSP	40,86	47,77	50,75	62,97
16	Thể trọng quặng trung bình	tấn/ m^3	1,71	1,71	1,71	1,71

3.1. Trung hòa chất lượng quặng nguyên khai cho khối 24-122, mỏ Tây Tân Rai (LDA)

Khu vực khối 24-122 được giới thiệu và tính toán trung hòa chất lượng với thông số cơ bản, điều kiện trung hòa chất lượng quặng nguyên khai từ các gương khai thác khác nhau.

Thông số cơ bản về khối 24-122 với diện tích 340,14 nghìn m^2 ; trữ lượng quặng nguyên khai 1.744,92 nghìn tấn; quặng tinh: 625 nghìn tấn; Al_2O_3 : 50,0%, SiO_2 : 2,65%, Fe_2O_3 : 17%; MKN (mất khi nung): 26,69%; môđun silic ($M_{\text{Si}} = \text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$): $\approx 18,87$, giới thiệu cụ thể trên hình 1.



Hình 1. Bản đồ địa hình, thông số các lỗ khoan thăm dò khu vực Block 24-122 mỏ Tây Tân Rai (a); phân bố và tương quan giữa hàm lượng Al_2O_3 với các thành phần khoáng trong quặng bauxite: hàm lượng SiO_2 (b), hàm lượng Fe_2O_3 (c) và hệ số Msi (d).

Kế hoạch khai thác từ khối 24-122 được tiến hành bóc phủ, khai thác theo trình tự ở các khu vực khác nhau: Chân đồi – Sườn đồi – Đỉnh đồi. Do chất lượng quặng ở các khu vực khai thác này có chiều dày, độ dốc địa hình, lớp phủ và hàm lượng quặng bauxite và các thành phần khoáng khác nhau nên quặng nguyên khai sẽ được chất thành các đồng quặng nguyên khai. Bước tiếp theo sẽ tiến hành phối liệu, trung hòa chất lượng tạo đồng quặng nguyên khai thứ cấp đảm bảo chất lượng theo các ràng buộc giá trị hàm lượng Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 , MKN, Msi .

Mô hình điều hành khai thác và phối liệu trung hòa chất lượng thành 2 đồng quặng nguyên khai với chất lượng A (xấu) và B (tốt), tiếp theo trung hòa hình thành tạo 1 đồng quặng nguyên khai thứ cấp duy nhất. Phương án tính toán cụ thể:

- A (xấu): $\text{Al}_2\text{O}_3 \approx 40.0\%$, $\text{SiO}_2 \approx 4.5\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \approx 22.5\%$ (Al_2O_3 thấp, SiO_2 cao)
- B (tốt): $\text{Al}_2\text{O}_3 \approx 45.0\%$, $\text{SiO}_2 \approx 2.5\%$, $\text{Fe}_2\text{O}_3 \approx 19.5\%$ (Al_2O_3 cao, SiO_2 thấp)
- Tổng khối lượng tạo đồng thứ cấp: 5.000 t.

Bảng 2. Đầu vào 2 đồng nguyên khai được tổng hợp từ 3 vị trí khai thác

Đồng	Nguồn khai thác	Khối lượng (t)	Al_2O_3 %	SiO_2 %	Fe_2O_3 %
Đồng nguyên khai A (xấu)	Chân/Sườn/Đỉnh (tổng hợp)	3000	40.0	4.5	22.5
Đồng nguyên khai B (tốt)	Chân/Sườn/Đỉnh (tổng hợp)	3500	45.0	2.5	19.5

PHƯƠNG ÁN 1 (PA1) với điều kiện mục tiêu ($\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 43\%$; $\text{SiO}_2 \leq 2.80\%$). Sử dụng trọng số tỷ lệ phối trộn trung hòa $W_A = 0.15$; $W_B = 0.85$ (dùng tối đa khối lượng đồng A).

Bảng 3. Khối lượng phối trộn trung hòa chất lượng PA1

Đồng	Khối lượng (t)	Al_2O_3 %	SiO_2 %	Fe_2O_3 %	Tỷ lệ phối (%)	Khối lượng đưa vào (t)
A (xấu)	3000	40.0	4.5	22.5	15.0	750.0
B (tốt)	3500	45.0	2.5	19.5	85.0	4250.0

Bảng 4. Chất lượng đồng quặng nguyên khai thứ cấp sau trung hòa – PA1

Al_2O_3 % (≥ 43)	SiO_2 % (≤ 2.80)	Fe_2O_3 %	Môđun Msi ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$)	Tổng khối lượng (t)
44.25	2.8	19.95	15.8	5000

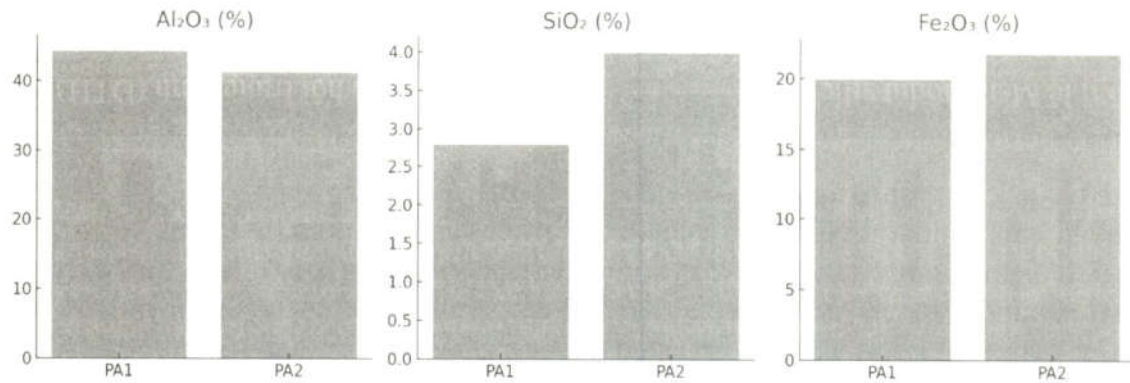
PHƯƠNG ÁN 2 (PA2) với điều kiện mục tiêu ($\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 38\%$; $\text{SiO}_2 \geq 4.0\%$). Sử dụng trọng số tỷ lệ phối trộn trung hòa $W_A = 0.75$; $W_B = 0.25$ (dùng tối thiểu khối lượng trung hòa từ đồng A nhất để đạt $\text{SiO}_2 \geq 4\%$ và đảm bảo $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 38\%$).

Bảng 5. Khối lượng phối trộn trung hòa chất lượng PA2

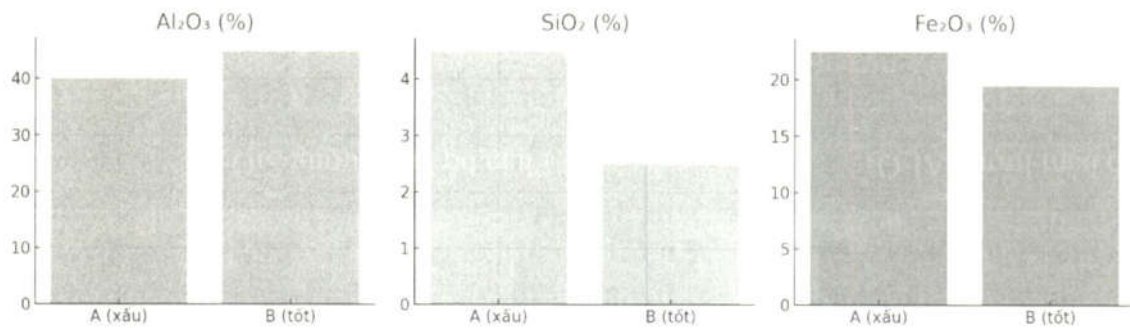
Đồng	Khối lượng (t)	Al_2O_3 %	SiO_2 %	Fe_2O_3 %	Tỷ lệ phối (%)	Khối lượng đưa vào (t)
A (xấu)	3000	40.0	4.5	22.5	75.0	3750.0
B (tốt)	3500	45.0	2.5	19.5	25.0	1250.0

Bảng 6. Chất lượng đồng quặng nguyên khai thứ cấp sau trung hòa – PA2

Al_2O_3 % (≥ 38)	SiO_2 % (≥ 4.0)	Fe_2O_3 %	Môđun ($\text{Al}_2\text{O}_3/\text{SiO}_2$)	Tổng khối lượng (t)
41.25	4.0	21.75	10.31	5000



Hình 2. Biểu đồ so sánh các chỉ tiêu chính giữa hai phương án phối trộn



Hình 3. Biểu đồ so sánh thành phần hóa học 2 đồng nguyên khai A và B

5. Kết luận

Từ phương pháp và thuật toán trên cho thấy để hình thành dòng quặng nguyên khai ổn định về chất lượng và sản lượng từ các khu vực khai thác cần tiến hành phân tích và xây dựng kế hoạch khai thác từ dài hạn đến ngắn hạn đảm bảo theo kế hoạch khai thác trong năm. Trung hòa chất lượng quặng bauxite nguyên khai cần tính đến các thông số khai thác chọn lọc (tổn thất, làm nghèo), sự biến động chất lượng quặng bauxite ở các vị trí gương khai thác khác nhau như chân đồi, sườn đồi và đỉnh đồi của các khu vực. Phương án trung hòa qua điều tiết năng suất của máy xúc tại gương xúc và ô tô tại trạm đập tiếp nhận sẽ làm giảm năng suất của đồng bộ và chưa phù hợp với mục tiêu tối ưu hóa quá trình sản xuất trên mỏ. Do đó, hình thành các đồng quặng nguyên khai sơ bộ từ đó phối trộn trung hòa chất lượng quặng bauxite hình thành đồng quặng nguyên khai thứ cấp đáp ứng yêu cầu tuyển và chế biến sâu của nhà máy nhôm là hoàn toàn phù hợp với thực tế và điều kiện phân bố khoáng sản bauxite của khu vực block 24-122, mỏ Tây Tân Rai, Công ty TNHH MTV Nhôm Lâm Đồng - TKV (LDA).

Kết quả phân tích và tính cho block 24-122 góp phần quan trọng nhằm nâng cao hiệu quả hoạt động của các doanh nghiệp do tuân thủ đảm bảo sự đồng nhất về thành phần khoáng của dòng quặng ngay từ khai trường và trong quá trình hình thành đồng nguyên khai. Các thành phần chính đã được kiểm soát hàm lượng gồm Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3 và Msi. Giải pháp trung hòa và đồng nhất chất lượng quặng trong một hoặc nhiều đồng nguyên khai để hình thành các đồng thứ cấp được coi là cần thiết, giúp đảm bảo nguồn cấp liệu ổn định cho nhà

máy alumin. Giải pháp đề xuất áp dụng sơ đồ chất đồng hai giai đoạn thay thế sơ đồ một giai đoạn hiện nay mà mỏ đang sử dụng.

Lời cảm ơn

Tập thể tác giả xin trân trọng cảm ơn Công ty TNHH Nhôm Lâm Đồng - TKV (LDA) (các Kỹ sư Nguyễn Văn Tịnh, Nguyễn Đăng Hòa, Phạm Minh Tú và nnk) và Đề tài mã số: KC.01. Đ05-22/21-25 “Nghiên cứu hoàn thiện công nghệ trung hoà quặng bauxit phù hợp với điều kiện phân bố khoáng sàng và tổ chức khai thác khu vực Tây Nguyên” (Nguyễn Anh Tuấn, Phạm Văn Việt, Trần Trung Anh và nnk) đã tạo điều kiện về cơ sở vật chất và kinh phí để thu thập dữ liệu, xử lý, và kết quả của bài báo này. Đồng thời có sự đóng góp tích cực, cũng là sản phẩm đào tạo thành công của Đề tài là Thạc sỹ Khai thác mỏ cho Nguyễn Đăng Hòa (cấp bằng 12/9/2023), Kỹ sư kỹ thuật mỏ Nguyễn Quý Hùng (cấp bằng 18/9/2024) và sinh viên thực tập của CH Pháp Noelle Escutenaire (cấp bằng 18/9/2024 tại CH Pháp).

Tài liệu tham khảo

1. Thủ tướng Chính phủ (2021). Quyết định số 450/QĐ-TTg ngày 13/4/2021 về *Chiến lược bảo vệ môi trường quốc gia đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050*.
2. Tổng công ty Khoáng sản Việt Nam, 2016. Báo cáo đánh giá tác động môi trường tổ hợp bauxit - nhôm Tân Rai, Bảo Lâm, Lâm Đồng.
3. Nguyễn Đăng Hòa, 2023. Nghiên cứu, đề xuất quy trình công nghệ khai thác hợp lý nhằm tận thu tối đa tài nguyên và bảo vệ môi trường trong khai thác khoáng sàng Bauxit tại mỏ Tây Tân Rai - Lâm Đồng. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội.
4. Trần Đình Bảo, Phạm Văn Việt, Nguyễn Anh Tuấn, Nguyễn Đăng Hòa (2022). Đề xuất công nghệ khai thác phù hợp với điều kiện tự nhiên của khoáng sàng bauxite Tây Tân Rai, Lâm Đồng. Tạp Chí Công nghiệp mỏ số 5.
5. Nguyễn Anh Tuấn, 2008. Nghiên cứu công nghệ khai thác phù hợp cho các mỏ sét Việt Nam đảm bảo an toàn và bảo vệ môi trường, Mining advance and Tunneling, Hanoi, Vietnam.
6. Hồ Sĩ Giao, Bùi Xuân Nam, Nguyễn Anh Tuấn. Khai thác khoáng sản rắn. Hà Nội: Nhà Xuất Bản Khoa học kỹ thuật; 2009.
7. Filip Orzechowski, 2015. Developing bauxite projects - balancing technical and logistical considerations, 33rd ICSOBA Conference and Exhibition, Dubai, United Arab Emirates, November 2015, Travaux, No. 44, 2015, Paper BX 06, 113-120.
8. Bushev V.P, 1989. Peculiarities of ore quality management at a multi-stack charge warehouse. Journal of Mining Institute. V. 120.
9. Kazakevich D.I., 1971. Basics of the theory of random functions and its application in hydrometeorology. L. Gidrometeoizdat.
10. V.I.Revnitsev, E.I.Azbel, E.G.Baranov et al., 1987. Preparation of mineral raw materials for enrichment and processing. Moscow: NXB Nedra.

60 Years
1965 - 2025
THE 60th ANNIVERSARY
OF SURFACE MINING EDUCATION

ISBN: 978-604-76-3193-3



9 786047 631933

NOT FOR SALE