



NGHIÊN CỨU LỰA CHỌN GIẢI PHÁP CÔNG NGHỆ HẠ ĐỘ SÂU TUYỂN NHẪM TĂNG TỶ LỆ THU HOẠCH QUẶNG TINH CHO NHÀ MÁY TUYỂN BÔ XIT ĐẮK NÔNG

Lê Việt Hà¹, Phạm Văn Luận^{1,*}, Nguyễn Vũ Hoàng², Nguyễn Văn Hùng², Hoàng Tuấn Anh²

¹ Trường Đại học Mở - Địa chất, 18 Phố Viên, Hà Nội, Việt Nam

² Công ty Nhôm Đắk Nông – TKV, Xã Nhân Cơ, Lâm Đồng, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công nghệ chế biến khoáng sản

Ngày nhận bài: 17/3/2026

Ngày nhận bài sửa: 28/4/2026

Ngày chấp nhận đăng: 02/5/2026

^{1,*}Tác giả liên hệ:

Email: phamvanluan@humg.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu đánh giá khả năng hạ độ sâu tuyển tại Nhà máy tuyển rửa quặng bô xít Đắk Nông dựa trên kết quả phân tích thực tế tại Nhà máy và cân bằng khối lượng. Kết quả khảo sát bùn thải cho thấy cấp hạt +0,25 mm chiếm khoảng 6,65% so với quặng nguyên khai và có hàm lượng Al_2O_3 từ 43–44 % và mô đun silic khoảng 10, đủ tiêu chuẩn để phối trộn làm quặng tinh. Nếu thu hồi cấp +0,5 mm bằng sàng, thu hoạch quặng tinh tăng từ 48,25 % lên 50,58 %, tương ứng 66.500 tấn/năm, trong khi chất lượng quặng tinh hầu như không thay đổi (Al_2O_3 giảm 0,24 %, SiO_2 tăng 0,02 %). Dựa theo số liệu thực nghiệm, bài báo đã đưa ra ba giải pháp công nghệ hạ độ sâu tuyển, trong đó giải pháp tối ưu là sử dụng thêm sàng lỗ lưới 0,5(0,75) mm kết hợp điều chỉnh lưới sàng chính và giảm độ hạt ranh giới của máy rửa cánh vuông xuống 0,5 mm. Giải pháp này ít can thiệp vào dây chuyền, chi phí đầu tư thấp nhưng hiệu quả kinh tế – môi trường cao, phù hợp với chiến lược tận thu tài nguyên của TKV trong giai đoạn 2025–2030.

Từ khóa: Bô xít Đắk Nông, độ sâu tuyển, thu hồi quặng tinh, bùn thải, tận thu tài nguyên.

@ Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Bô xít là nguồn quặng duy nhất để sản xuất nhôm và nhôm kim loại từ quặng. Trữ lượng bô xít toàn cầu hiện nay vào khoảng 30 tỷ tấn, tập trung chủ yếu tại Guinea (25 %), Australia (20 %), Việt Nam (12 %), Brazil (9 %), Jamaica (7 %) và một số quốc gia khác như Indonesia, Guyana, Trung Quốc (3 % mỗi nước) [1]. Khoáng vật gibbsit là dạng phổ biến nhất trong quặng bô xít laterit vùng nhiệt đới (Úc, Brazil, Việt Nam), trong khi khoáng vật diaspor/boehmit là chủ yếu ở Trung Quốc và Địa Trung Hải, tại Việt Nam diaspor tập trung chủ yếu ở miền Bắc.

Theo số liệu IAI [2], để sản xuất 1 tấn nhôm, cần khoảng 2 tấn nhôm, và để sản xuất lượng

alumin này cần xử lý 5–6 tấn quặng bô xít. Quá trình này tạo ra 3–4 tấn bùn đỏ, 2–5 tấn tro bay và tiêu tốn 8–12 tấn than. Vì vậy, hiệu quả tuyển rửa ban đầu có vai trò quyết định hiệu suất kinh tế – môi trường của toàn bộ chuỗi công nghiệp nhôm. Tại Việt Nam, hiện để thu được 1 tấn nhôm cần khoảng 4 -5 tấn quặng nguyên khai có hàm lượng Al_2O_3 trên 41%.

Trên thế giới, công nghệ tuyển bô xít đã có nhiều bước tiến nhằm hạ độ sâu tuyển. Điển hình tại Nhà máy CBA (Brazil), việc hạ độ sâu tuyển từ 1 mm xuống 0,06 mm bằng xyclon khử mùn sét và sàng rung tần số cao đã giúp tăng thu hoạch và thực thu Al_2O_3 lên đáng kể [3] (Bảng 1).

**Bảng 1. Các chỉ tiêu công nghệ tuyển của nhà máy CBA trước và sau khi hạ độ sâu tuyển**

Chỉ tiêu	Trước cải tiến	Sau cải tiến
Thu hoạch	42%	59%
Thực thu Al_2O_3	61%	90%
Độ sâu tuyển	1 mm	0,06 mm

Từ Bảng 1 nhận thấy hạ độ sâu tuyển thực thu Al_2O_3 tăng gần 30 %, điều này là minh chứng quan trọng cho hiệu quả của việc thu hồi thêm cấp hạt mịn.

Ngoài ra, công nghệ tuyển nổi thuận và nghịch cũng đang được áp dụng rộng rãi tại Ấn Độ, Brazil, Trung Quốc để thu hồi bột cấp hạt mịn ($-0,2$ mm) [4] - [8]. Trong các giải pháp này, ranh giới tuyển 1 mm được xem là lạc hậu do phần lớn Al_2O_3 phân bố ở cấp hạt 0,25–1 mm (đặc biệt với quặng gibbsit phong hóa mạnh).

Tại Công ty Nhôm Đăk Nông, dây chuyền tuyển rửa hiện tại đang duy trì độ sâu tuyển ở mức 1 mm. Theo thiết kế, nhà máy chưa đầu tư thiết bị phân cấp – tuyển cấp hạt mịn do áp dụng thiết kế truyền thống - lạc hậu nhằm giảm thiểu chi phí đầu tư. Bên cạnh đó, thiết kế này được lựa chọn để tránh các ảnh hưởng tiêu cực của bùn mịn khi tính chất quặng nguyên khai thay đổi, đồng thời mong muốn thu được quặng tinh có mô đun silic cao để đảm bảo hiệu quả tối ưu cho dây chuyền công nghệ Bayer. Tuy nhiên, tính chất quặng nguyên khai hiện nay tốt hơn đáng kể so với thông số thiết kế ban đầu, đặc biệt là ở cấp hạt -1 mm [9], [10]. Đồng thời, sau nhiều năm hoạt động, kinh nghiệm vận hành quy trình Bayer đã được nâng cao, cho phép nhà máy xử lý hiệu quả quặng tinh có mô đun silic thấp hơn so với thiết kế mà không làm ảnh hưởng đến hiệu quả sản xuất. Do đó, việc duy trì độ sâu tuyển đến 1 mm sẽ làm mất mát một lượng đáng kể quặng tinh cấp hạt mịn giàu gibbsit ra hồ chứa quặng đuôi.

Các nghiên cứu trong nước gần đây đã bắt đầu quan tâm đến vấn đề này. Nguyễn Văn Minh và các cộng sự [9] đã thử nghiệm việc sử dụng máy phân cấp ruột xoắn để thu hồi quặng tinh từ đuôi thải của xưởng tuyển rửa tại Công ty Nhôm Lâm Đồng, tuy nhiên, hiệu quả bị hạn chế do bùn quá loãng và tạp chất hữu cơ chưa được loại bỏ. Phạm Văn Luận và các cộng sự [10] cũng đã cung cấp những đánh giá toàn diện về đặc tính khoáng vật của loại bùn

thải này, chỉ ra rằng cấp hạt $+0,25$ mm có mô đun silic xấp xỉ 12. Mặc dù các nghiên cứu này đã cung cấp cơ sở khoa học sơ bộ, nhưng chúng vẫn thiếu một hệ thống tính toán cân bằng khối lượng cũng như một sơ đồ công nghệ cải tạo khả thi về mặt kinh tế - kỹ thuật. Để khắc phục những nhược điểm trên, nghiên cứu này tập trung đánh giá định lượng và khả năng thu hồi quặng tinh cấp hạt mịn từ đuôi thải hiện tại và đề xuất một giải pháp công nghệ trực tiếp, chi phí đầu tư thấp nhằm hạ độ sâu tuyển cho dây chuyền tuyển rửa tại Công ty Nhôm Đăk Nông – TKV.

Ngoài ra, theo Quy hoạch 866/QĐ-TTg (2023), công suất của nhà máy Alumin Lâm Đồng và Đăk Nông sẽ được mở rộng lên 2 triệu tấn/năm. Tuy nhiên, dây chuyền tuyển rửa hiện tại của Công ty Nhôm Đăk Nông và Lâm Đồng vẫn đang duy trì ranh giới phân tách quặng tinh và đuôi thải ở mức 1 mm. Điều này dẫn đến toàn bộ phần vật liệu dưới 1 mm, bao gồm cả các cấp hạt 0,5–1 mm và 0,25–0,5 mm giàu Al_2O_3 , bị thải bỏ. Việc không tách riêng và tận thu cấp hạt mịn gây ra hàng loạt hạn chế: (1) Tổn thất tài nguyên trung bình 50–190 nghìn tấn/năm; (2) gia tăng diện tích bãi thải bùn; (3) lãng phí chi phí khai thác; (4) nguy cơ không đáp ứng đủ quặng tinh cho mục tiêu mở rộng dự án.

Do đó, mục tiêu của nghiên cứu này là đánh giá định lượng tiềm năng thu hồi quặng tinh mịn từ bùn thải và đề xuất giải pháp công nghệ hạ độ sâu tuyển phù hợp cho Nhà máy tuyển rửa quặng bô xít Đăk Nông, nhằm nâng cao tỷ lệ thu hoạch, bảo đảm an ninh tài nguyên và tối ưu hóa hiệu quả kinh tế – môi trường.

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Nghiên cứu được thực hiện trên đối tượng là quặng nguyên khai và dòng bùn thải tại Nhà máy tuyển rửa quặng bô xít của Công ty Nhôm Đăk



Nông. Quặng nguyên khai là loại laterit – gibbsit khai thác lộ thiên từ tầng phong hóa bazan, cỡ hạt tối đa đến 300 mm, độ ẩm trung bình 21,1%, sản lượng cấp vào xưởng là 2.854.091 tấn/năm (khối lượng khô) với hàm lượng Al_2O_3 trung bình ~41% [11].

2.2. Dây chuyền công nghệ tuyển hiện tại

Dây chuyền tuyển rửa hiện tại (Hình 1) hoạt động theo nguyên tắc: đập – đánh toir – rửa mùn sét – sàng phân cấp. Quặng nguyên khai qua máy đập (50-100 mm) được đưa qua sàng tang quay (-30 mm), sau đó đi vào máy rửa cánh vuông. Dòng tràn máy rửa cánh vuông là bùn sét nguyên khai (chứa rác hữu cơ, hạt mịn). Sản phẩm cát của máy rửa và phần +30 mm tiếp tục qua sàng rung rửa. Tại đây, ranh giới phân tách được thiết lập là 1 mm: cấp hạt +1 mm thu hồi làm quặng tinh; cấp hạt -1 mm gộp cùng dòng tràn máy rửa tạo thành đuôi thải đưa về hồ cô đặc [11].

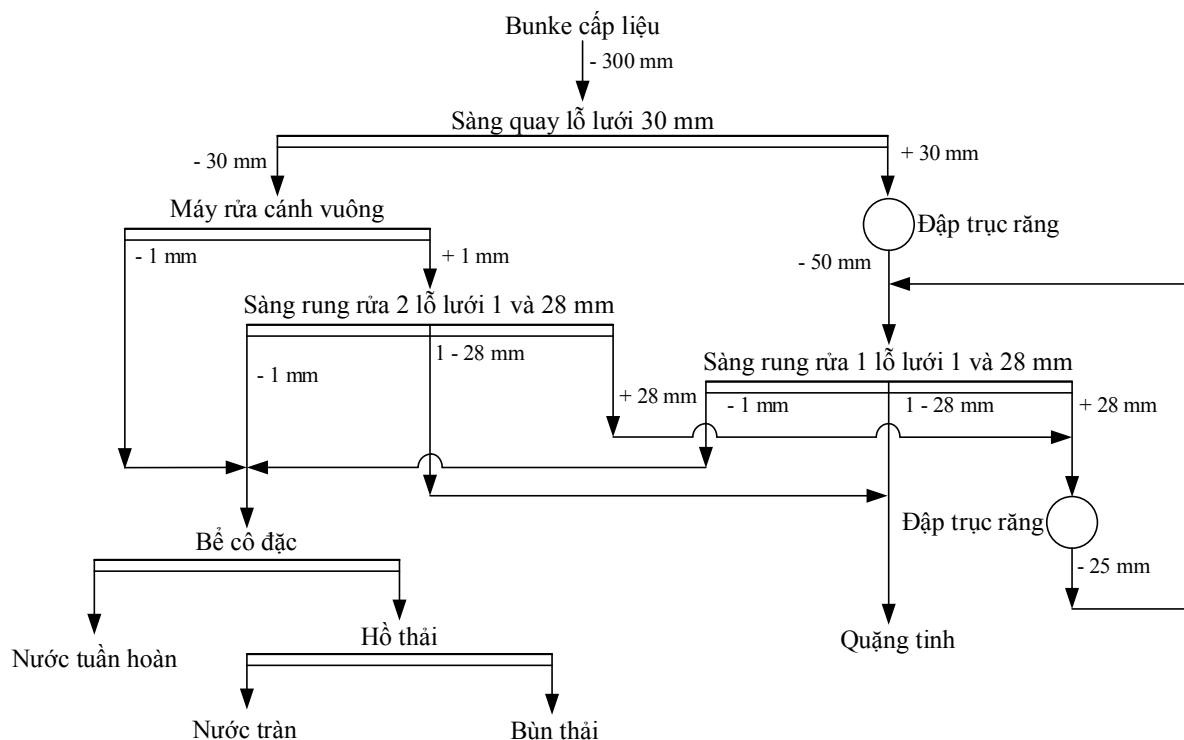
Hệ thống hiện tại chưa được trang bị các thiết bị phân cấp mịn (xiclon, máy phân cấp ruột xoắn) hay tuyển trọng lực, tuyển nổi để xử lý các cấp hạt 0,25–1 mm và -0,25 mm.

2.3. Những hạn chế của sơ đồ công nghệ tuyển hiện tại

Mặc dù, quặng tinh bỏ xit sau tuyển được thiết kế thu hồi ở cỡ hạt dưới 25 mm và trên 1 mm, với khối lượng 1.412.775 tấn/năm (quặng khô) và chất lượng sản phẩm quặng tinh đáp ứng các yêu cầu khắt khe của công nghệ Bayer nhiệt độ thấp [12]. Hàm lượng Al_2O_3 trong quặng tinh thiết kế đạt tối thiểu 49,93 %, hàm lượng SiO_2 tối đa 3,5 %, Fe_2O_3 khoảng 17 % và TiO_2 khoảng 2,7 %, cùng với độ ẩm sản phẩm khoảng 12 %. Các chỉ tiêu này đảm bảo mô đun silic (A/S) của quặng tinh đạt trên 12, phù hợp với yêu cầu sản xuất alumin [11].

Tuy nhiên, từ sơ đồ công nghệ và số liệu vận hành, có thể chỉ ra những hạn chế của dây chuyền công nghệ tuyển hiện nay: *Thứ nhất*, ranh giới phân tách quặng tinh – đuôi thải hiện nay được xác lập hoàn toàn bằng kích thước lỗ lưới 1 mm của sàng rung rửa. Điều này dẫn đến việc toàn bộ phần vật liệu có kích thước dưới 1 mm, bao gồm cả các hạt 0,5–1 mm và 0,25–0,5 mm giàu Al_2O_3 , đều đi vào đuôi thải. Trong khi quặng bỏ xit laterit gibbsit thường có phần Al_2O_3 phân bố khá nhiều ở cấp hạt 0,25–1 mm, việc lựa chọn ranh giới 1 mm là một

lựa chọn mang tính truyền thống hơn là phương án tối ưu về tận thu tài nguyên [3], [13]. *Thứ hai*, hai sản phẩm bùn thải chính gồm tràn máy rửa cánh vuông và dưới sàng rung rửa có đặc điểm rất khác nhau nhưng hiện tại đều được gom chung và thải xuống hồ. Bùn tràn từ máy rửa cánh vuông chứa nhiều mùn sét nguyên khai và rác hữu cơ, hàm lượng Al_2O_3 không cao, trong khi bùn dưới sàng rung rửa là sản phẩm của giai đoạn đã được đập – rửa, chứa ít sét hơn và có hàm lượng Al_2O_3 cao hơn đáng kể. Việc không tách riêng hai dòng này làm mất đi cơ hội tận dụng bùn “giàu” có thể thu hồi dễ dàng bằng các thiết bị phân loại hoặc tuyển trọng lực đơn giản. *Thứ ba*, dây chuyền hiện tại chưa được trang bị các thiết bị phân cấp mịn như xiclon hoặc máy phân cấp ruột xoắn dành riêng cho vùng kích thước 0,25–1 mm, cũng như chưa có các khâu tuyển nổi hoặc tuyển từ cho phần hạt mịn. Điều này trái ngược với các sơ đồ tuyển rửa tiên tiến trên thế giới, nơi xiclon, sàng rung tần số cao và tuyển nổi được sử dụng để hạ độ sâu tuyển đến 0,1–0,06 mm, qua đó nâng thực thu Al_2O_3 lên trên 80–90 % [3], [14]. Sự thiếu vắng các thiết bị này tại Đắc Nông là nguyên nhân trực tiếp khiến gần 190.000 tấn/năm vật liệu giàu Al_2O_3 (nếu lấy đến cấp hạt 0,25 mm) bị thải bỏ dưới dạng bùn. *Thứ tư*, việc giữ nguyên độ sâu tuyển ở mức 1 mm còn kéo theo nhiều hệ quả môi trường và kinh tế. Để xử lý gần 1,5 triệu tấn bùn khô/năm, hồ thải phải liên tục mở rộng, chiếm dụng thêm hàng chục ha đất mỗi năm, đồng thời tăng chi phí đền bù, hoàn thổ và quản lý môi trường. Trong khi đó, các phân tích cân bằng cho thấy nếu hạ độ sâu tuyển xuống 0,5 mm và xây dựng sơ đồ tận thu hợp lý, có thể giảm đáng kể khối lượng bùn thải phải chứa trong hồ, đồng thời tiết kiệm chi phí khai thác quặng nguyên khai nhờ tận thu tài nguyên từ chính bùn thải. Từ những phân tích trên có thể kết luận rằng, điều kiện công nghệ hiện tại của Nhà máy tuyển rửa Đắc Nông, mặc dù đạt và tiệm cận các chỉ tiêu thiết kế ban đầu, song lại bộc lộ những hạn chế rõ ràng khi đặt trong bối cảnh yêu cầu tận thu tài nguyên, hạ độ sâu tuyển và nâng cao hiệu quả kinh tế – môi trường. Đây chính là cơ sở khoa học và thực tiễn để đề xuất các giải pháp hạ độ sâu tuyển, bổ sung thiết bị phân cấp – tuyển cấp hạt mịn và tối ưu hóa lại sơ đồ công nghệ trong các phần tiếp theo của bài báo.



Hình 1. Sơ đồ công nghệ tuyển rửa của Công ty Nhôm Đắk Nông

2.4. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp lấy mẫu: Mẫu bùn thải thực tế được lấy mẫu tại hệ thống xả thải của nhà máy bằng phương pháp cắt dọc dòng. Mỗi ca lấy 3 mẫu (đầu ca, giữa ca và cuối ca), mỗi mẫu lấy khoảng 100 lít bùn. Tiến hành lấy mẫu gộp theo ca và theo ngày liên tục trong suốt tháng 3/2025, các mẫu sau đó được để lắng đọng tự nhiên, gạn nước trong và gom thành mẫu chung cho cả tháng. Tổng khối lượng mẫu sau đó được chia đều, giản lược xuống còn khoảng 200 lít để tiến hành các thí nghiệm phân tích rây.

Phương pháp phân tích thực nghiệm: Mẫu được tiến hành rây phân tích thành phần độ hạt bằng bộ rây có kích thước lỗ lưới là: 1 mm; 0,75 mm; 0,5 mm và 0,25 mm. Mẫu sau khi rây được sấy khô, cân xác định trọng lượng và phân tích hàm lượng của các oxit chính (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3) trong từng cấp hạt được phân tích bằng phương pháp hoá học.

Phương pháp cân bằng khối lượng và tính toán mô phỏng: Dựa trên số liệu thiết kế ban đầu và số liệu sản xuất thực tế tháng 3/2025 (năng suất quặng nguyên khai, tỷ lệ L/R và lưu lượng bùn bơm ra hồ thải), tiến hành tính toán cân bằng khối lượng để xác định thu hoạch của từng cấp hạt so với quặng nguyên khai. Sau đó, tính toán phối trộn quặng tinh thu được trong tháng 3/2025 (+1 mm)

với phần quặng mịn thu hồi (+0,5 mm và +0,75 mm) để đánh giá sự thay đổi về chất lượng (hàm lượng các oxit, mô đun silic) và thu hoạch của quặng tinh.

Độ tin cậy của việc lấy mẫu và phân tích: Để đảm bảo độ tin cậy thống kê và tính đại diện của dữ liệu, các mẫu bùn thải được thu thập liên tục qua ba ca làm việc (đầu ca, giữa ca và cuối ca) trong suốt tháng 3/2025. Tất cả các thao tác lấy mẫu đều được thực hiện lặp lại ba lần. Thành phần hóa học (Al_2O_3 , SiO_2 , Fe_2O_3) của từng cấp hạt được phân tích bằng phương pháp huỳnh quang tia X (XRF) tiêu chuẩn và được kiểm chứng bằng phương pháp chuẩn độ hóa học ướt. Biên độ sai số phân tích được kiểm soát ở mức $< \pm 1,5\%$.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả nghiên cứu

3.1.1. Các chỉ tiêu công nghệ và hiện trạng bùn thải

Dựa trên tài liệu thiết kế và kết quả vận hành, Bảng 2 trình bày các thông số khối lượng và chất lượng của dây chuyền hiện tại. Xưởng tuyển thu hồi được khoảng 49,5–50% khối lượng quặng tinh ($\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 49,93\%$, $\text{SiO}_2 \leq 3,5\%$), phần còn lại thải bỏ dưới dạng đuôi thải ($\text{Al}_2\text{O}_3 \sim 31,5\%$) [11].

**Bảng 2. Các chỉ tiêu thiết kế chính của xường tuyển rửa Công ty Nhôm Đắk Nông**

Loại quặng	Thông số	Đơn vị	Giá trị thiết kế
Quặng nguyên khai	Cỡ hạt tối đa	mm	≤ 300
	Độ ẩm	%	21,1
	Khối lượng khô vào sản xuất	tấn/năm	2.854.091
	Hàm lượng Al_2O_3	%	41
Quặng tinh	Cỡ hạt	mm	1–20
	Độ ẩm	%	12
	Khối lượng (khô)	tấn/năm	1.412.775
	Al_2O_3 (tối thiểu)	%	49,93
	SiO_2 (tối đa)	%	3,5
	Fe_2O_3 (xấp xỉ)	%	17
	TiO_2 (xấp xỉ)	%	2,7
Đuôi thải	Khối lượng (khô)	tấn/năm	1.441.316
	Al_2O_3 (xấp xỉ)	%	31,5
	SiO_2 (xấp xỉ)	%	12
	Fe_2O_3 (xấp xỉ)	%	32,5
	TiO_2 (xấp xỉ)	%	6

Từ Bảng 2 có thể thấy, với cùng lượng quặng nguyên khai, xường tuyển chỉ thu hồi được khoảng 49,5–50 % khối lượng dưới dạng quặng tinh đáp ứng tiêu chuẩn alumin, còn lại gần một nửa được

thải bỏ dưới dạng bùn đuôi thải. Đây là cơ sở dữ liệu ban đầu để đánh giá mức độ tận thu tài nguyên và khả năng hạ độ sâu tuyển.

Bảng 3. Chất lượng cấp hạt +0,25 mm trong sản phẩm bùn thải xường tuyển Đắk Nông

Cấp hạt (mm)	Thu hoạch so với quặng NK (%)	Al_2O_3 (%)	SiO_2 (%)	Fe_2O_3 (%)	Thu hoạch lũy tích (%)	Al_2O_3 lũy tích (%)	SiO_2 lũy tích (%)
1	0,84	44,96	3,37	22,23	0,84	44,96	3,37
0,75–1	0,95	44,11	3,53	23,15	1,79	44,51	3,45
0,5–0,75	0,54	43,42	4,12	23,43	2,33	44,26	3,61
0,25 – 0,5	4,32	43,21	4,54	23,84	6,65	43,46	4,32
Cộng (+0,5 mm)	2,33	44,26	3,61	22,88	–	–	–
Cộng (+0,25mm)	6,65	43,58	4,21	23,50			

Kết quả phân tích phân bố cấp hạt và chất lượng cấp +0,25 mm trong bùn thải (kết quả phân tích gộp đại diện của toàn bộ mẫu trong tháng 3/2025) được trình bày tại Bảng 3. Trong đó, cấp

hạt +0,5 mm chiếm 2,33% tổng lượng, có hàm lượng Al_2O_3 trung bình đạt 44,26%, SiO_2 3,61% và Fe_2O_3 22,88%.



3.1.2. Kết quả tính toán phối trộn khi hạ độ sâu tuyển

Thực tế sản xuất tháng 3/2025 ghi nhận thu hoạch quặng tinh ban đầu (+1 mm) đạt 48,25% với hàm lượng Al_2O_3 49,55% và SiO_2 3,22%. Khi thực hiện tính toán phối trộn quặng tinh +1 mm với phần bùn mịn thu hồi, sử dụng hai phương án: Phương

án 1 thu hồi cấp +0,75 mm và Phương án 2 thu hồi cấp +0,5 mm (Bảng 4). Kết quả tại Bảng 4 là kết quả tính toán trên cơ sở lý thuyết cân bằng khối lượng, chưa tính đến hiệu suất sàng thực tế và khối lượng quặng tinh tăng thêm quy đổi theo công suất thiết kế 2.854.091 tấn quặng nguyên khai/năm.

Bảng 4. Chất lượng quặng tinh phối trộn theo hai phương án thu hồi quặng mịn

Chỉ tiêu, đơn vị	Quặng tinh ban đầu	Sau phối trộn (+0,75 mm)	Sau phối trộn (+0,5 mm)
Thu hoạch, %	48,25	50,04	50,58
Al_2O_3 (%)	49,55	49,37	49,31
SiO_2 (%)	3,22	3,23	3,24
Fe_2O_3 (%)	17,51	17,70	17,76
Khối lượng tăng thêm (tấn/năm)	-	51.088	66.500

Từ các số liệu ở Bảng 4 có thể thấy, khi thu hồi phần +0,75 mm hoặc +0,5 mm từ bùn thải và phối trộn với quặng tinh +1 mm, hàm lượng Al_2O_3 giảm không đáng kể (từ 49,55 % xuống 49,37–49,31 %), trong khi SiO_2 chỉ tăng từ 3,22 % lên 3,23–3,24 %. Những biến động nhỏ này vẫn nằm trong giới hạn chấp nhận được đối với công nghệ Bayer và không làm suy giảm đáng kể mô đun silic của quặng tinh cấp cho nhà máy nhôm. Ngược lại, thu hoạch quặng tinh toàn dây chuyền tăng từ 48,25 % lên 50,04–50,58 %, tương ứng với mức tăng 1,79–2,33 %. Nếu quy đổi theo công suất thiết kế, lượng quặng tinh tăng thêm hàng năm đạt 51.088–66.500 tấn/năm, con số này là một biểu hiện trực tiếp cho thấy tiềm năng hạ độ sâu tuyển tại Nhà máy Đắk Nông là rất đáng kể.

Như vậy, xét trên góc độ vận hành, xưởng tuyển Đắk Nông hiện đang vận hành ổn định, đảm bảo các chỉ tiêu thiết kế ban đầu, song đồng thời cũng thể hiện rõ tiềm năng về tận thu cấp hạt + 0,5mm mà không làm suy giảm chất lượng quặng tinh.

3.1.3. Tiềm năng thu hồi cấp +0,25 mm

Theo số liệu Bảng 3 cho thấy cấp hạt +0,25 mm trong bùn thải chiếm mức thu hoạch 6,65% với hàm lượng Al_2O_3 đạt 43,46% và SiO_2 4,32% mô đun Si ~10). Nếu thu hồi toàn bộ cấp +0,25 mm, lượng quặng tinh thu thêm hàng năm có thể đạt khoảng 190.000 tấn/năm (tương đương trên 25% sản lượng quặng tinh thiết kế).

3.2. Thảo luận và đề xuất giải pháp công nghệ

3.2.1. Cơ sở khoa học và ý nghĩa của việc hạ độ sâu tuyển

Kết quả thu được chứng minh rằng ranh giới 1 mm hiện tại đã bỏ qua một lượng lớn khoáng vật có ích. Quặng bô xít laterit gibbsit Đắk Nông chủ yếu chứa gibbsit (~40–42%), trong khi tạp chất sét (kaolinit, goethit) phân bố mạnh ở cấp mịn –0,1 mm [3], [10], [13]. Sự xuất hiện của Al_2O_3 hàm lượng cao (44–46%) ở cấp +0,25 mm là sản phẩm giải phóng của hạt gibbsit sau đập rửa. Sự dịch chuyển từ 49,55% xuống 49,31% Al_2O_3 và tăng nhẹ SiO_2 lên 3,24% (Bảng 4) hoàn toàn thỏa mãn các điều kiện kỹ thuật của công nghệ Bayer. Việc hạ độ sâu tuyển xuống 0,5 mm hoặc 0,25 mm là hoàn toàn có cơ sở khoa học và phản ánh đúng bản chất phân bố khoáng vật.

3.2.2. Phân tích và lựa chọn giải pháp công nghệ

Việc hạ độ sâu tuyển cho Nhà máy Tuyển rửa Đắk Nông phải dựa trên bốn nguyên tắc cơ bản: (1) Bảo toàn chất lượng quặng tinh: hàm lượng $\text{Al}_2\text{O}_3 \geq 49,5$ %, $\text{SiO}_2 \leq 3,5$ %, mô đun A/S ≥ 12 ; (2) Can thiệp tối thiểu vào dây chuyền hiện tại, hạn chế yêu cầu mở rộng mặt bằng; (3) Thiết bị có sẵn trên thị trường, dễ bảo trì, tránh các hệ thống phức tạp đòi hỏi chuyên môn sâu và chi phí đầu tư lớn; và (4) Tăng thực thu Al_2O_3 , giảm bùn thải và tăng hiệu quả kinh tế trực tiếp. Để tận thu tài nguyên, nghiên cứu đề xuất ba giải pháp công nghệ (Bảng 5):

- *Giải pháp 1 (Sàng cấp hạt 0,5(0,75) mm):* Điều chỉnh độ hạt ranh giới máy rửa cánh vuông



chi phí đầu tư thấp, thì *Giải pháp 1* là phương án tối ưu nhất về mặt kinh tế - kỹ thuật cho giai đoạn phát triển hiện tại. Sơ đồ công nghệ đề xuất cho *Giải pháp 1* được trình bày ở hình 2 và gồm 05 thay đổi chính: (1) Điều chỉnh độ hạt ranh giới của máy rửa cánh vuông về cỡ hạt 0,5 mm; (2) tách riêng hai dòng bùn thải tràn máy rửa cánh vuông (nhiều sét, ít Al_2O_3) và dưới sàng rung rửa (giàu Al_2O_3 , ít sét); (3) thay lưới sàng rung rửa chính (hiện nay) từ 1 mm lên 2–3 mm để giảm lượng nước theo quặng tinh và tăng tuổi thọ lưới; (4) Lắp thêm một sàng rung mịn lỗ lưới = 0,5(0,75) mm để sàng lại sản phẩm dưới sàng rung nhằm tận thu cấp +0,5 mm; và phối trộn quặng tinh +1 mm và quặng thu hồi +0,5 mm để tạo sản phẩm đồng nhất cấp cho nhà máy alumin. Giải pháp này tích hợp dễ dàng vào sơ đồ hiện tại trong khi vẫn thu hồi được phần lớn các hạt gibbsit mịn đã giải phóng.

3.2.3. Tác động kinh tế – môi trường

Việc ứng dụng giải pháp hạ độ sâu tuyển xuống 0,5 mm không chỉ giảm tải cho hồ thải quặng đuôi, tối ưu hóa nước tuần hoàn mà còn mang lại giá trị kinh tế lớn.

Với mức giá 250.000 VNĐ cho 1 tấn quặng tinh đủ tiêu chuẩn, việc thu hồi thêm 66.500 tấn/năm sẽ mang lại doanh thu trực tiếp tăng thêm khoảng 16,6 tỷ VNĐ/năm. Đáng chú ý hơn, tại điều kiện khai thác như ban đầu, trung bình 1 ha diện tích đất khai thác chỉ thu được khoảng 23.000 tấn quặng tinh. Do đó, thu hồi 66.500 tấn quặng tinh từ chính bùn thải đồng nghĩa với việc tiết kiệm được gần 2,9 ha đất nguyên khai mỗi năm. Với chi phí đền bù giải phóng mặt bằng hiện tại là 2,5 tỷ VNĐ/ha, giải pháp này giúp nhà máy tiết kiệm thêm hơn 7,2 tỷ VNĐ/năm chi phí đền bù. Tổng giá trị kinh tế mang lại đạt xấp xỉ 24 tỷ VNĐ/năm, trong khi chi phí cải tạo lưới sàng và lắp đặt máy sàng mịn là không đáng kể, cho phép thu hồi vốn đầu tư trong thời gian cực kỳ ngắn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] USGS, *Mineral Commodity Summaries: Bauxite and Alumina*, U.S. Geological Survey, 2023.
- [2] International Aluminium Institute, *Sustainable Bauxite residue management guidance*, London, 2021.
- [3] A. P. Chaves, C. L. Schneider, P. R. G. Brandão and J. A. S. Tenorio, "Concentration of Bauxite fines via gravity concentration," *REM: Revista Escola de Minas*, vol. 62, no. 3, pp. 277–281, 2009, doi: 10.1590/S0370-44672009000300012.
- [4] K. Randive, S. Pingle and A. Agnihotri, *Innovations in Sustainable Mining: Balancing Environment, Ecology and Economy*, Springer, 2021, pp. 85–114, doi: 10.1007/978-3-030-73796-2.
- [5] L. B. Sukla, A. Pattanaik and D. Pradhan, "Advances in Beneficiation of Low-Grade Bauxite," in *Light Metals 2019*, C. Chesonis (Ed.), Springer, Cham, 2019, doi: 10.1007/978-3-030-05864-7_1.

4. KẾT LUẬN

➤ Khác với các nghiên cứu trong nước trước đây chỉ đánh giá định tính, nghiên cứu này đã xây dựng thành công bảng cân bằng khối lượng cho dòng bùn thải. Kết quả định lượng khẳng định độ sâu tuyển 1 mm truyền thống đã lạc hậu, không phản ánh đúng đặc tính giải phóng khoáng vật của quặng gibbsit Đắc Nông. Các cấp hạt mịn (+0,5 mm và +0,25 mm) bị thải bỏ thực chất vẫn chứa 43–44% Al_2O_3 , hoàn toàn đủ tiêu chuẩn quặng tinh;

Việc duy trì ranh giới 1 mm đang gây thất thoát tài nguyên: mất đi 2,33% (tương đương 66.500 tấn/năm) đối với cấp hạt +0,5 mm, và có thể lên tới 6,65% (hơn 190.000 tấn/năm) nếu tính đến cấp hạt +0,25 mm, ảnh hưởng trực tiếp đến an ninh tài nguyên quốc gia.

➤ Nghiên cứu đề xuất triển khai ngay Giải pháp 1 (bổ sung sàng rung mịn 0,5 mm, kết hợp thay lưới sàng chính lên 2–3 mm và giảm độ hạt ranh giới máy rửa cánh vuông). Bắt buộc phải tách riêng dòng bùn dưới sàng rung rửa để quá trình thu hồi quặng tinh hiệu quả nhất (tránh gom chung gây loãng quặng). Giải pháp này khả thi cao, nâng thu hoạch quặng tinh lên 50,58% mà hầu như không làm thay đổi chất lượng sản phẩm ($\text{Al}_2\text{O}_3 \approx 49,31\%$, $\text{SiO}_2 \approx 3,24\%$). Việc áp dụng mang lại hiệu quả "kép", gồm tăng doanh thu trực tiếp khoảng 16,6 tỷ VNĐ/năm, tiết kiệm khoảng 7,2 tỷ VNĐ/năm phí đền bù đất, đồng thời giảm tải đáng kể cho hồ thải quặng đuôi. Công nghệ này hoàn toàn đáp ứng yêu cầu tận thu tài nguyên, giảm chi phí của chuỗi sản xuất alumin và phù hợp với Quy hoạch 866/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ □

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ: Lê Việt Hà - lập dàn ý, viết phần tổng quan, nội dung, phân tích thảo luận, xử lý số liệu; Phạm Văn Luận - tham gia thu thập, xử lý dữ liệu, viết phần tóm tắt, chỉnh sửa và biên tập bản thảo; Nguyễn Vũ Hoàng, Nguyễn Văn Hùng, Hoàng Tuấn Anh - cung cấp số liệu tại thực tế nhà máy và lấy mẫu và phân tích số liệu tại nhà máy.



- [6] S. M. Marino, J. D. Miller and X. Wang, "The flotation of a gibbsitic Bauxite ore from paragominas, Brazil," in *XXV Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa*, Goiânia, 2013, pp. 307–316.
- [7] S. Rajendran and C. V. G. K. Murty, *Mineral Processing Beneficiation Operations and Process Optimization through Modeling*, Elsevier, 2023, pp. 117–165.
- [8] X. Y. Yu, H. L. Wang, Q. Q. Wang, B. Feng and H. Zhong, "Flotation of low-grade Bauxite using organosilicon cationic collector and starch depressant," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 26, no. 4, pp. 1112–1117, 2016, doi: 10.1016/S1003-6326(16)64209-7.
- [9] Nguyễn Văn Minh và Nguyễn Văn Hậu, "Nghiên cứu công nghệ tuyển thu hồi quặng bô xít trong đuôi thải cấp hạt –1 mm tại Lâm Đồng," *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ – Địa chất*, tập. 62, số. 4, tr. 25–32, 2021, doi: 10.46326/JMES.2021.62(3b).06.
- [10] Phạm Văn Luận, Lê Việt Hà, Phạm Thanh Hải, Nhữ Thị Kim Dung, Nguyễn Bá Phong và Nguyễn Vũ Hoàng, "Đánh giá đặc tính bùn thải và hiệu quả tận thu quặng bô xít tại Đắk Nông và Lâm Đồng," *Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ – Địa chất*, tập. 65, số. 1, tr. 41–50, 2024, doi: 10.46326/JMES.2024.65(5).03.
- [11] Viện Khoa học Công nghệ Mỏ – Vinacomin, *Báo cáo tổng hợp nghiên cứu tuyển rửa quặng bô xít vùng Tây Nguyên*, 2024.
- [12] G. Bánvölgyi and P. Siklósi, "The Improved Low Temperature Digestion (ILTD) Process: An Economic and Environmentally Sustainable Way of Processing Gibbsite Bauxite," in *Essential Readings in Light Metals*, D. Donaldson and B. E. Raahauge (Eds.), Springer, Cham, 2016, doi: 10.1007/978-3-319-48176-0_48.
- [13] S. Bunténbach, T. Baumann and F. Donhauser, "Beneficiation of Bauxite – upgrading of recoverable Al_2O_3 ," in *ICSOBA Conference Proceedings*, 2010.
- [14] S. L. Gao, X. A. Li, D. Z. Wei, P. Fang, C. Y. Jia and W. G. Liu et al., "Beneficiation of low-grade diasporic Bauxite with hydrocyclone," *Transactions of Nonferrous Metals Society of China*, vol. 18, no. 2, pp. 444–448, 2008, doi: 10.1016/S1003-6326(08)60078-3.

LỜI CẢM ƠN: Nội dung bài báo được hỗ trợ kinh phí đề tài nghiên cứu khoa học cấp Trường của Trường Đại học Mỏ - Địa chất, mã số: T25-9. Ngoài ra, xin cảm ơn Công ty Nhôm Đắk Nông - TKV đã tích cực giúp đỡ chúng tôi trong việc lấy mẫu và khảo sát thực tế tại nhà máy.

STUDY ON THE SELECTION OF TECHNOLOGICAL SOLUTIONS FOR REDUCING THE BENEFICIATION CUT-OFF SIZE TO INCREASE CONCENTRATE RECOVERY AT THE DAK NONG BAUXITE PROCESSING PLANT

Viet Ha Le¹, Van Luan Pham^{1,*}, Vu Hoang Nguyen², Van Hung Nguyen², Tuan Anh Hoang²

¹Hanoi University of Mining and Geology, 18 Vien Str., Hanoi, Vietnam

²Vinacomin – Dak Nong Aluminium Company, Nhan Cơ W., Lam Dong, Vietnam

ARTICLE INFOR

TYPE: Research Article

Received: 17/3/2026

Revised: 28/4/2026

Accepted: 02/5/2026

^{1,*} Corresponding author:

Email: phamvanluan@humg.edu.vn

ABSTRACT

This paper presents the study results evaluating the feasibility of lowering the beneficiation lower size limit at the Dak Nong Bauxite Processing Plant, based on actual plant analysis and mass balance. The tailings survey results reveal that the +0,25 mm size fraction accounts for approximately 6,65% of the run-of-mine ore, with an Al_2O_3 grade of 43–44% and a silica modulus of around 10, meeting the standards for



blending into the concentrate. If the +0,5 mm fraction is recovered by screening, the concentrate yield increases from 48,25% to 50,58%, equivalent to 66.500 tonnes/year, while the concentrate quality remains almost unchanged (Al_2O_3 decreases by 0,24%, SiO_2 increases by 0,02%). Based on the experimental data, the paper proposes three technological solutions to lower the beneficiation size limit. Among these, the optimal solution is the addition of a 0,5 (0,75) mm aperture screen, combined with adjusting the primary screen and reducing the cut size of the log washer to 0,5 mm. This solution requires minimal intervention in the existing processing circuit, entails low investment costs, but yields high economic and environmental benefits, aligning with TKV's (Vinacomin) strategy for maximum resource recovery in the 2025–2030 period.

Keywords: *Dak Nong Bauxite, beneficiation lower size limit, concentrate recovery, tailings, maximum resource recovery.*

@ Vietnam Mining Science and Technology Association