

ĐỊNH HƯỚNG KINH TẾ TUẦN HOÀN TRONG HOẠT ĐỘNG KHAI THÁC VÀ CHẾ BIẾN KHOÁNG SẢN TẠI VIỆT NAM

Phạm Thị Thanh^{1,*}, Mai Thế Toàn¹, Ngô Xuân Đắc²

¹Cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam, 6 Phạm Ngũ Lão, Hà Nội, Việt Nam

²Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản, 67 Chiến Thắng, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

CHUYÊN MỤC: Công trình khoa học

Ngày nhận bài: 16/4/2026

Ngày nhận bài sửa: 10/5/2026

Ngày chấp nhận đăng: 15/5/2026

^{1,*}Tác giả liên hệ:

Email: thandahl@gmail.com

TÓM TẮT

Khoáng sản là nguồn tài nguyên không tái tạo, giữ vai trò thiết yếu đối với phát triển kinh tế và bảo đảm an ninh nguyên liệu quốc gia. Tuy nhiên, hoạt động khai thác và chế biến khoáng sản tại Việt Nam hiện nay vẫn chủ yếu vận hành theo mô hình tuyến tính “khai thác – sử dụng – thải bỏ”, dẫn đến hiệu quả sử dụng tài nguyên thấp, phát sinh khối lượng lớn chất thải mỏ và gia tăng áp lực môi trường. Trong bối cảnh yêu cầu phát triển bền vững và chuyển đổi mô hình tăng trưởng, việc áp dụng kinh tế tuần hoàn (KTTH) trong ngành khai khoáng trở thành xu thế tất yếu.

Bài báo phân tích cơ sở lý luận của KTTH trong khai khoáng, đồng thời làm rõ hành lang pháp lý liên quan tại Việt Nam, đặc biệt là Luật Bảo vệ môi trường năm 2020, Luật Địa chất và Khoáng sản năm 2024 và Nghị quyết số 10-NQ/TW của Bộ Chính trị. Trên cơ sở tổng hợp, phân tích tài liệu và đánh giá thực tiễn, nghiên cứu chỉ ra các hạn chế chủ yếu của ngành khoáng sản Việt Nam, bao gồm công nghệ khai thác – chế biến còn lạc hậu, hiệu suất thu hồi tài nguyên thấp, tỷ lệ chế biến sâu còn hạn chế và công tác quản lý, tận dụng chất thải mỏ chưa hiệu quả.

Điểm mới của nghiên cứu là xây dựng và đề xuất mô hình KTTH cụ thể thông qua nghiên cứu điển hình tại mỏ đa kim Núi Pháo (Thái Nguyên). Kết quả cho thấy một số hợp phần của KTTH đã được triển khai thực tế, bao gồm thu hồi đa sản phẩm từ thân quặng đa kim, tuần hoàn nước quy mô lớn (đạt khoảng 76–78% tổng nhu cầu nước), và phục hồi môi trường sau khai thác. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất mô hình KTTH cho mỏ đa kim theo hướng tích hợp đa vòng tuần hoàn, bao gồm: tối ưu hóa thu hồi tài nguyên, tuần hoàn nước, tận dụng và tái xử lý chất thải mỏ, phục hồi sinh thái và liên kết với tái chế hạ nguồn.

Kết quả nghiên cứu cho thấy KTTH trong ngành khai khoáng tại Việt Nam có tính khả thi cao nếu được triển khai theo cách tiếp cận hệ thống, gắn với đổi mới công nghệ, hoàn thiện chính sách và tăng cường liên kết chuỗi giá trị. Nghiên cứu cũng đề xuất các định hướng ưu tiên, bao gồm quản lý tài nguyên theo vòng đời, thúc đẩy chế biến sâu, phát triển thị trường vật liệu thứ cấp và tích hợp KTTH vào chiến lược phát triển ngành, góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng tài nguyên và hướng tới phát triển bền vững.

Từ khóa: kinh tế tuần hoàn, khai thác và chế biến khoáng sản, mỏ đa kim, chất thải mỏ, Núi Pháo

@ Hội Khoa học và Công nghệ Mỏ Việt Nam

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khoáng sản là nguồn lực hữu hạn, không thể tái tạo, đóng vai trò thiết yếu trong công nghiệp, xây dựng và chuyển đổi năng lượng. Tại Việt Nam, nhu cầu sử dụng khoáng sản tiếp tục tăng nhanh, trung bình 6,5%/năm trong thập kỷ tới để đáp ứng tốc độ phát triển kinh tế. Tuy nhiên, mô hình quản lý khoáng sản hiện nay vẫn chủ yếu vận hành theo

hướng tuyến tính: “khai thác - sử dụng - thải bỏ”, gây lãng phí lớn dẫn đến nguy cơ để lại hậu quả nặng nề về môi trường, xã hội. Trong khi đó, mô hình kinh tế tuần hoàn (KTTH) hướng tới tối ưu hóa sử dụng tài nguyên thông qua việc tái sử dụng, tái chế và kéo dài vòng đời vật chất, qua đó chuyển đổi từ mô hình tuyến tính sang mô hình vòng kín (Hình 1).



Nền kinh tế tuần hoàn đảm bảo các vật liệu vẫn được sử dụng, hạn chế đổ thải và tái tạo tài nguyên thiên nhiên thông qua quá trình tái sử dụng, tái chế, sửa chữa và tái sản xuất.

Trong nền kinh tế tuyến tính, chúng ta khai thác, sử dụng và loại bỏ - biến tài nguyên thành chất thải. Nền kinh tế tuần hoàn phá vỡ chu kỳ này bằng cách tăng thời gian sử dụng vật liệu và giảm thiểu chất thải.



Hình 1. Mô hình kinh tế tuần hoàn [1]

Thực tế cho thấy, phần lớn hoạt động khai thác khoáng sản hiện nay sử dụng công nghệ cơ học lạc hậu, hiệu suất thu hồi thấp, tiêu hao năng lượng cao, dẫn đến tổn thất tài nguyên nghiêm trọng. Các chất thải mỏ như đất đá thải, bùn quặng sau tuyển thường chưa được tận dụng triệt để, còn tiềm ẩn gây ô nhiễm môi trường và mất an toàn. Các vùng sau khai thác ở một số nơi như Thái Nguyên, Nghệ An, Hà Tĩnh vẫn tồn tại tình trạng cải tạo phục hồi môi trường không hiệu quả, ảnh hưởng đến cảnh quan và sinh kế của người dân.

Trong khi đó, Việt Nam lại là quốc gia có tiềm năng về khoáng sản chiến lược, ví như bô xít (chiếm 12%), wolfram (đứng thứ 2 thế giới về sản lượng) đất hiếm (chiếm khoảng 3,8% trữ lượng toàn cầu, đứng thứ 6 thế giới về trữ lượng), và nhiều khoáng sản kim loại hiếm khác. Đây là những nguyên liệu đầu vào quan trọng cho các ngành công nghiệp công nghệ cao, năng lượng sạch, ô tô điện - những lĩnh vực đang bùng nổ trên toàn cầu. Việc tiếp tục duy trì cách làm cũ - xuất khẩu khoáng sản thô, thiếu chế biến sâu sẽ khiến Việt Nam đánh mất cơ hội bước vào chuỗi giá trị toàn cầu.

Cùng với đó, Luật Bảo vệ môi trường năm 2020, tại Điều 142 đã xác định KTTH là mô hình kinh tế trong đó các hoạt động thiết kế, sản xuất, tiêu dùng và dịch vụ nhằm giảm khai thác nguyên liệu, vật liệu, kéo dài vòng đời sản phẩm, hạn chế chất thải phát sinh và giảm thiểu tác động xấu đến môi trường [2]. Mô hình này được thể hiện thông qua việc tổ chức lại dòng vật chất theo hướng khép kín,

trong đó chất thải của quá trình này trở thành đầu vào của quá trình khác, nhằm tối ưu hóa vòng đời tài nguyên (Hình 2). Nghị quyết số 10-NQ/TW ngày 10/02/2022 của Bộ Chính trị về định hướng Chiến lược địa chất, khoáng sản và công nghiệp khai khoáng đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045 (Nghị quyết số 10-NQ/TW) cũng đã chỉ rõ yêu cầu phát triển ngành công nghiệp khai khoáng hiện đại, hiệu quả, bền vững, tăng cường điều tra khoáng sản chiến lược, đầu tư chế biến sâu, gắn với bảo vệ môi trường và khai thác tuần hoàn [3].

Sự chuyển đổi từ khai thác khoáng sản “tận thu” sang quản trị tài nguyên “tuần hoàn - tái tạo” đang là xu thế tất yếu trên thế giới, đặc biệt trong bối cảnh biến đổi khí hậu và yêu cầu cắt giảm phát thải CO₂ toàn cầu. Tại Việt Nam, đây không chỉ là yêu cầu phát triển bền vững, mà còn là cơ hội chiến lược để hình thành các chuỗi cung ứng khoáng sản trong nước và thúc đẩy quá trình tự chủ nguyên liệu, công nghệ.

Bài toán đặt ra hiện nay là phải đổi mới toàn diện tư duy quản lý khoáng sản, từ quy hoạch - cấp phép - khai thác - chế biến - tái sử dụng. Quản lý tài nguyên không thể chỉ dừng ở việc “cấp phép và thu ngân sách”, mà cần hướng tới tối ưu hóa vòng đời tài nguyên, giảm phát sinh chất thải, tăng hiệu quả sử dụng và hình thành chuỗi giá trị bền vững. Đây chính là nền tảng để thúc đẩy chuyển đổi sang mô hình KTTH trong ngành khai khoáng - một bước đi chiến lược cho phát triển bền vững và năng lực cạnh tranh quốc gia trong tương lai.

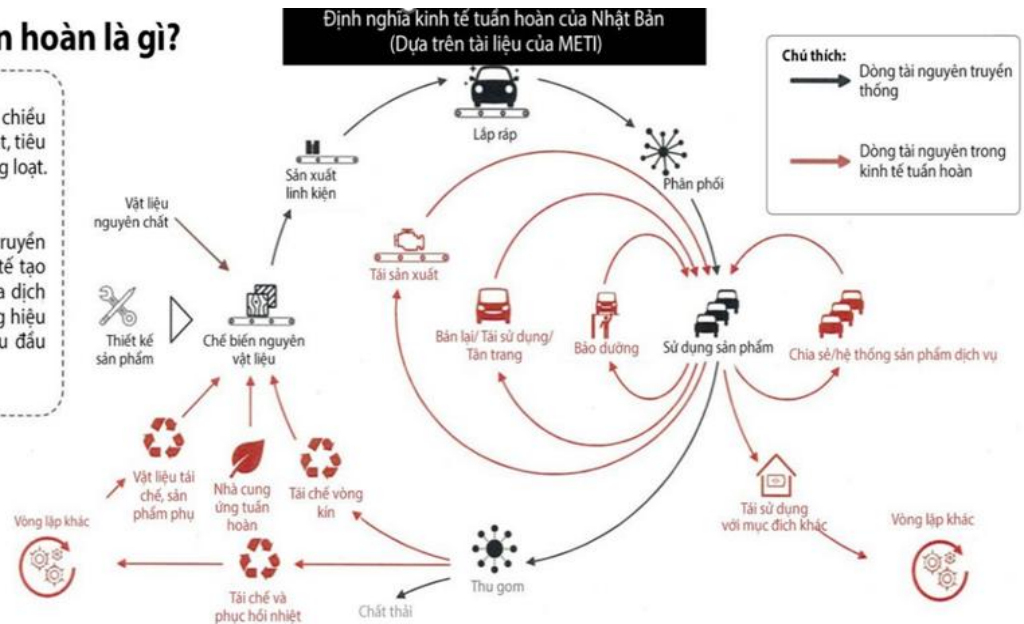
Nền kinh tế tuần hoàn là gì?

Kinh tế tuyến tính

Hoạt động kinh tế một chiều thông qua sản xuất hàng loạt, tiêu thụ hàng loạt và thải bỏ hàng loạt.

Kinh tế tuần hoàn

Thêm vào các sáng kiến 3R truyền thống, các hoạt động kinh tế tạo ra giá trị gia tăng thông qua dịch vụ, ... trong khi vẫn tận dụng hiệu quả trữ lượng và giảm thiểu đầu vào tài nguyên và tiêu thụ.



Hình 2. Hành lang pháp lý hỗ trợ kinh tế tuần hoàn tại Việt Nam [4]

2. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Nguồn dữ liệu

Bài báo sử dụng ba nhóm dữ liệu chính bao gồm dữ liệu về thể chế và chính sách, gồm Luật Bảo vệ môi trường năm 2020, Nghị quyết số 10-NQ/TW và các tài liệu hướng dẫn, nhằm xác định cơ sở pháp lý cho việc áp dụng KTTH trong hoạt động khai thác và chế biến khoáng sản ở Việt Nam.

Dữ liệu lý luận và kinh nghiệm quốc tế về KTTH trong khai khoáng, tập trung vào các tài liệu về sử dụng hiệu quả tài nguyên, tuần hoàn nước, tái sử dụng chất thải mỏ và quản lý chất thải khai khoáng theo hướng kinh tế tuần hoàn [5].

Các tài liệu này cho thấy KTTH trong khai khoáng cần được tiếp cận theo hai trục: (i) tuần hoàn quá trình tại mỏ và nhà máy tuyển – luyện, và (ii) tuần hoàn sản phẩm/vật liệu ở hạ nguồn thông qua tái chế phế liệu và vật liệu thứ cấp [6], [7].

Dữ liệu nghiên cứu điển hình tại mỏ đa kim Núi Pháo (Thái Nguyên), thu thập từ các báo cáo thường niên và báo cáo phát triển bền vững [8]. Các nguồn này cho thấy Núi Pháo là mỏ đa kim có nhà máy chế biến đa dòng sản phẩm; công suất khai thác và xử lý khoáng 3,5 triệu tấn quặng/năm; sản phẩm chính gồm wolfram, fluorit, bismut, đồng và một lượng nhỏ vàng.

Dữ liệu công khai cũng cho biết nước thải từ các ô chứa bùn đuôi quặng được hoàn lưu về nhà máy để tái sử dụng; các chương trình tối ưu hóa năng lượng giúp giảm tiêu hao năng lượng và phát thải CO₂eq, đồng thời phục hồi diện tích đất mỏ đáng kể [9].

Ngoài ra, doanh nghiệp đang nghiên cứu tái xử

lý bãi thải quặng (đuôi quặng) và khả năng sử dụng làm vật liệu xây dựng, đồng thời phát triển công nghệ tái chế wolfram [10].

Trong nghiên cứu này, các dữ liệu nêu trên được sử dụng để xây dựng mô hình KTTH cụ thể cho mỏ Núi Pháo theo chuỗi: khai thác đa kim – chế biến đa sản phẩm – tuần hoàn nước – tận dụng/tái xử lý chất thải – phục hồi sinh thái – kết nối tái chế hạ nguồn [11].

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Bài báo sử dụng kết hợp các phương pháp sau:

Phân tích – tổng hợp tài liệu: Hệ thống hóa cơ sở lý luận về KTTH, các mô hình áp dụng trong ngành khai khoáng trên thế giới và tại Việt Nam;

Phân tích chính sách và khung pháp lý: Đánh giá hệ thống luật pháp, chiến lược và cơ chế quản lý liên quan đến KTTH và ngành khoáng sản tại Việt Nam;

Phân tích thực tiễn: Tổng hợp số liệu và đánh giá hiện trạng khai thác – chế biến khoáng sản, nhận diện các hạn chế và tiềm năng áp dụng KTTH;

Phương pháp nghiên cứu điển hình: Phân tích mô hình mỏ Núi Pháo nhằm làm rõ khả năng triển khai KTTH trong điều kiện thực tế;

So sánh – đối chiếu quốc tế: So sánh kinh nghiệm quốc tế với điều kiện Việt Nam để đề xuất định hướng phù hợp.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

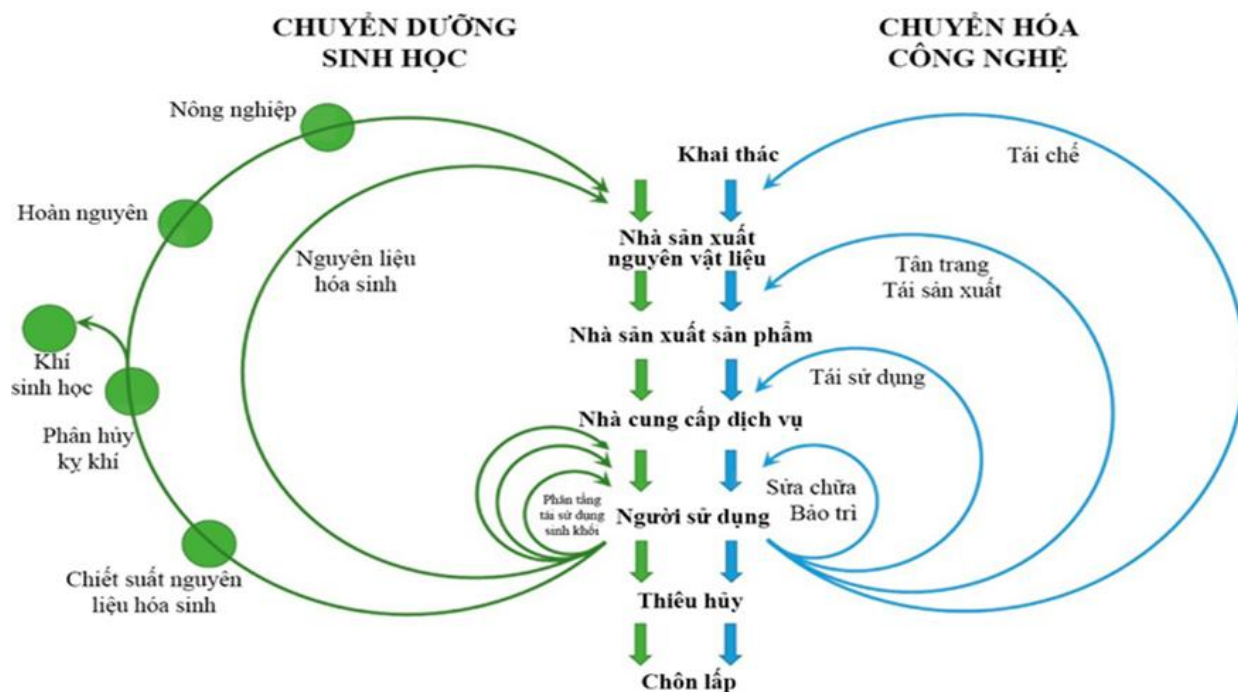
3.1. Cơ sở lý luận và mô hình kinh tế tuần hoàn

KTTH là mô hình phát triển hướng tới tối ưu hóa sử dụng tài nguyên, kéo dài vòng đời sản phẩm và



giảm thiểu chất thải. Mô hình này dựa trên ba nguyên tắc chính: (i) duy trì và tăng cường vốn tự nhiên; (ii) tối ưu hóa vòng đời sản phẩm; và (iii) giảm thiểu tác động môi trường. Trong ngành khai khoáng, KTTH được thể hiện thông qua việc tái sử dụng, tái chế và tuần hoàn dòng vật chất trong toàn bộ chuỗi giá trị. Sơ đồ nguyên tắc vận hành của

KTTH cho thấy sự chuyển đổi từ mô hình tuyến tính sang mô hình vòng kín, trong đó chất thải của quá trình này trở thành đầu vào của quá trình khác (Hình 3). Việc triển khai KTTH đã được nhiều quốc gia áp dụng, đặc biệt là Liên minh châu Âu và Trung Quốc, với các chính sách hỗ trợ mạnh mẽ về công nghệ và quản lý.



Hình 3. Nguyên tắc của kinh tế tuần hoàn [5]

3.2. Khung pháp lý và định hướng triển khai tại Việt Nam

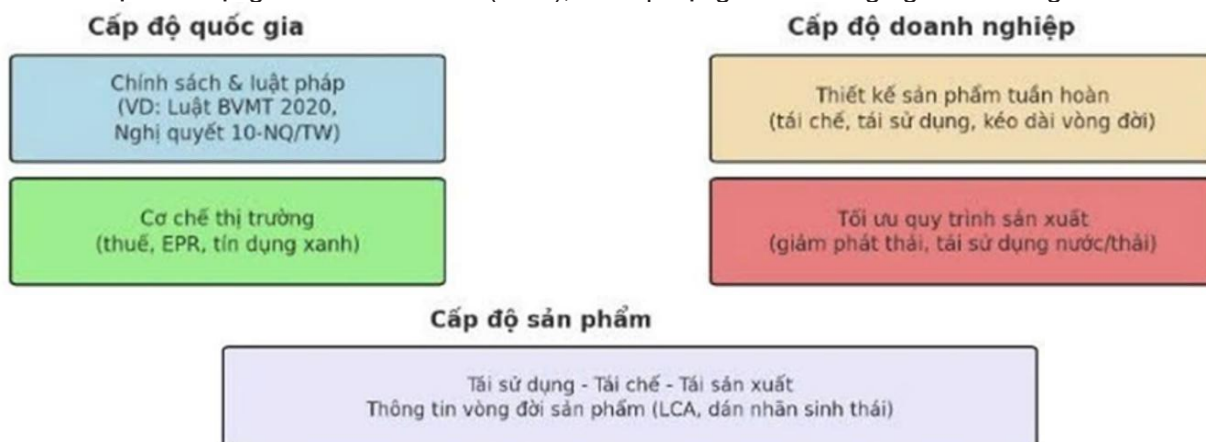
Tại Việt Nam, KTTH đã được chính thức ghi nhận trong Luật Bảo vệ môi trường năm 2020. Hệ thống chính sách bước đầu hình thành với các công cụ như:

Trách nhiệm mở rộng của nhà sản xuất (EPR);

Các cơ chế tài chính xanh;

Khuyến khích đổi mới công nghệ.

Mô hình triển khai KTTH được phân cấp theo ba cấp độ: quốc gia, doanh nghiệp và sản phẩm, với sự liên kết chặt chẽ giữa chính sách, thị trường và công nghệ (Hình 4). Đây là nền tảng quan trọng để áp dụng KTTH trong ngành khoáng sản.



Hình 4. Mô hình kinh tế tuần hoàn theo cấp độ [12]

3.3. Thực trạng khai thác và chế biến khoáng sản tại Việt Nam

Việt Nam có tiềm năng khoáng sản lớn, đặc biệt đối với các khoáng sản chiến lược như bô xít, đất hiếm, titan và wolfram. Tuy nhiên, hoạt động khai thác và chế biến hiện nay còn tồn tại nhiều hạn chế: công nghệ khai thác và chế biến còn lạc hậu; hiệu suất sử dụng tài nguyên thấp; giá trị gia tăng chưa cao; phát sinh lượng lớn chất thải gây áp lực môi trường.

Một số mô hình khai thác – chế biến đã bước đầu hình thành theo chuỗi, nhưng chưa đạt được tính tuần hoàn do thiếu liên kết và công nghệ xử lý chất thải hiệu quả.

3.4. Nghiên cứu điển hình: Đề xuất mô hình kinh tế tuần hoàn cho mỏ đa kim Núi Pháo

Mỏ đa kim Núi Pháo ở Thái Nguyên là trường hợp phù hợp để thảo luận về KTTH vì đây là mỏ có thân quặng phức tạp và nhà máy chế biến đa dòng sản phẩm. Các tài liệu công khai của doanh nghiệp cho thấy Núi Pháo xử lý khoảng 3,5 triệu tấn quặng mỗi năm và thu hồi đồng thời wolfram, fluorit, bismut, đồng và một lượng nhỏ vàng. Các báo cáo của Masan High-Tech Materials cũng nhấn mạnh đây là một trong những mỏ wolfram lớn. Tuy nhiên, các số liệu về tài nguyên và trữ lượng có sự thay đổi theo kỳ báo cáo và tiêu chuẩn phân loại, do đó trong nghiên cứu này cần phân biệt rõ giữa “resource” và “reserve”, và chỉ sử dụng các thông tin phục vụ lập luận về mô hình tuần hoàn, đặc biệt là đặc tính đa kim và khả năng tạo ra nhiều dòng vật chất thứ cấp.

Trên cơ sở đó, có thể đề xuất mô hình KTTH cho Núi Pháo gồm năm vòng tuần hoàn chính.

Vòng 1: Tuần hoàn tài nguyên trong thân quặng. Khác với mô hình khai thác đơn khoáng sản, Núi Pháo cho phép thu hồi đồng thời nhiều sản phẩm thương mại từ cùng một thân quặng, qua đó tối đa hóa giá trị vật chất và giảm tổn thất khoáng sản đi kèm. Đây là dạng tuần hoàn nội sinh quan trọng nhất trong khai khoáng, phù hợp với các nguyên lý tối ưu hóa tài nguyên trong KTTH theo các nghiên cứu quốc tế [6]. Các số liệu vận hành cho thấy doanh nghiệp vẫn tiếp tục cải thiện hiệu suất thu hồi wolfram và fluorit, cho thấy tiềm năng nâng cao hiệu quả công nghệ vẫn còn đáng kể [10].

Vòng 2: Tuần hoàn nước trong khai thác – tuyển khoáng. Đây là hợp phần có bằng chứng vận hành rõ ràng nhất. Theo các báo cáo công bố, phần lớn nước thải từ các bãi chứa bùn đuôi quặng được hoàn lưu về nhà máy để tái sử dụng, phần còn lại được xử lý trước khi xả thải. Năm 2023,

lượng nước tái sử dụng đạt khoảng 7,8 triệu m³, tương đương 76,1% tổng nhu cầu nước tại các cơ sở ở Việt Nam [9], [10]. Điều này cho thấy hệ thống tuần hoàn nước đã đạt mức độ vận hành gần khép kín, phù hợp với các tiêu chí khai khoáng bền vững theo các tổng quan toàn cầu về sử dụng tài nguyên và môi trường [5].

Vòng 3: Tuần hoàn chất thải rắn mỏ và đuôi quặng. Các tài liệu công bố cho thấy tại nhà máy Núi Pháo tồn tại hai dòng đuôi quặng chính và các dòng này vẫn chứa khoáng vật có ích, tạo tiền đề cho các nghiên cứu tái xử lý [10]. Đồng thời, doanh nghiệp đang nghiên cứu khả năng sử dụng đuôi quặng làm vật liệu xây dựng. Tuy nhiên, các giải pháp này hiện mới ở giai đoạn nghiên cứu hoặc thí điểm, chưa được thương mại hóa rộng rãi. Theo các nghiên cứu quốc tế, việc tái sử dụng đuôi quặng cần được đánh giá chặt chẽ về địa hóa môi trường, độc tính và hiệu quả kinh tế, đặc biệt đối với các vật liệu chứa sulfide và kim loại nặng [13]. Do đó, vòng tuần hoàn này nên được xem là một hướng phát triển tiềm năng hơn là hợp phần đã hoàn thiện.

Vòng 4: Tuần hoàn năng lượng – đất đai – phục hồi sinh thái. Một thành tố quan trọng khác là việc chuyển từ đóng cửa mỏ thụ động sang phục hồi đất mỏ có giá trị. Các chương trình tối ưu hóa năng lượng tại Núi Pháo đã giúp giảm khoảng 14.409 GJ năng lượng và tương đương 973,4 tấn CO₂eq, đồng thời phục hồi khoảng 63,9 ha đất mỏ [14]. Ngoài ra, việc trồng cây và nghiên cứu sử dụng đất phục hồi cho mục đích sinh thái hoặc năng lượng cho thấy KTTH không chỉ giới hạn ở dòng vật chất mà còn mở rộng sang vòng tuần hoàn đất và hệ sinh thái theo các khung tiếp cận KTTH hiện đại [15].

Vòng 5: Liên kết mỏ – chế biến sâu – tái chế hạ nguồn. Mô hình tuần hoàn tại Núi Pháo không dừng ở phạm vi mỏ mà được mở rộng ra chuỗi giá trị thông qua các hoạt động tái chế wolfram. Doanh nghiệp đã triển khai các nghiên cứu khả thi và định hướng phát triển công nghệ tái chế, góp phần hình thành mối liên kết giữa khai khoáng sơ cấp và tái chế vật liệu thứ cấp [16]. Đây là một mô hình tuần hoàn nâng cao, phù hợp với xu hướng “khai thác mỏ đô thị- urban mining” và kinh tế vật liệu thứ cấp trong các nghiên cứu quốc tế [17].

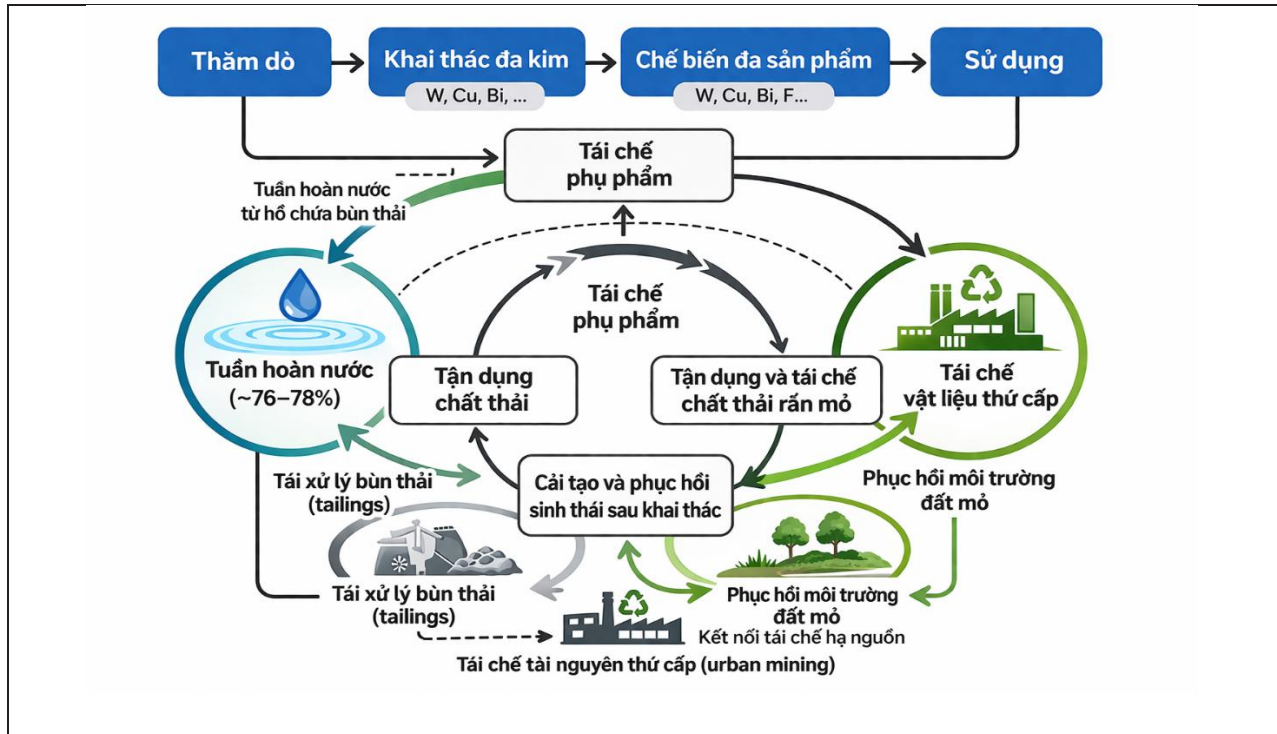
Từ các vòng tuần hoàn trên, mô hình KTTH cho Núi Pháo có thể được khái quát như sau: (i) khai thác thân quặng đa kim; (ii) chế biến đa sản phẩm để tối đa hóa thu hồi; (iii) hoàn lưu nước trong hệ thống tuyển; (iv) phân loại và tái sử dụng chất thải; (v) phục hồi sinh thái và tái sử dụng đất; và (vi) liên kết với hoạt động tái chế ở hạ nguồn [11]. Mô hình này phù hợp với quan điểm của các tổ chức quốc



tế, trong đó KTTH trong khai khoáng phải được triển khai đồng thời ở cấp độ quá trình và cấp độ chuỗi giá trị [17].

Các giải pháp KTTH áp dụng bao gồm: thu hồi tối đa tài nguyên thông qua chế biến đa kim; tái sử

dụng chất thải tuyển làm vật liệu xây dựng; tuần hoàn nước trong quá trình tuyển; và tối ưu hóa năng lượng nhằm giảm phát thải. Các giải pháp này phù hợp với mô hình dòng chảy tuần hoàn vật chất trong ngành khai khoáng (Hình 5).



Hình 5. Mô hình kinh tế tuần hoàn cho mỏ đa kim Núi Pháo

3.5. Thảo luận

Kết quả nghiên cứu cho thấy việc áp dụng kinh tế tuần hoàn (KTTH) trong hoạt động khai thác và chế biến khoáng sản tại Việt Nam là một định hướng có cơ sở cả về lý luận, pháp lý và thực tiễn [2], [3], [15]. Tuy nhiên, khác với nhiều ngành sản xuất dùng, đặc điểm của ngành khoáng sản khiến việc triển khai KTTH không thể chỉ dừng ở các giải pháp tái chế đơn lẻ, mà cần được tiếp cận như một quá trình tái cấu trúc toàn bộ chuỗi giá trị từ thăm dò, khai thác, chế biến, sử dụng đến quản lý chất thải và phục hồi môi trường sau khai thác [15], [17].

Trước hết, xét về bản chất tài nguyên, khoáng sản là nguồn tài nguyên không tái tạo, do đó hiệu quả khai thác không chỉ được đo bằng sản lượng quặng nguyên khai hay giá trị thương phẩm trước mắt, mà còn phải được đánh giá bằng mức độ tận thu tài nguyên, hiệu suất sử dụng vật chất và khả năng giảm thiểu tổn thất trong suốt vòng đời khai thác [15], [17]. Trong mô hình khai khoáng truyền thống, phần lớn sự chú ý thường tập trung vào dòng vật chất chính, tức là quặng có ích được tách và đưa vào chế biến, trong khi khối lượng rất lớn

đất đá bóc, bùn thải tuyển, nước thải mỏ và phụ phẩm luyện kim thường bị coi là chất thải cần xử lý. Cách tiếp cận này dẫn đến hai hệ quả: một mặt làm gia tăng chi phí môi trường và chi phí xã hội của hoạt động khai khoáng, mặt khác bỏ qua khả năng thu hồi giá trị còn lại từ chính các dòng vật chất thứ cấp đó [7], [13]. Vì vậy, tư duy KTTH có ý nghĩa đặc biệt quan trọng trong ngành khoáng sản, bởi nó thúc đẩy chuyển dịch từ quan niệm “khai thác tài nguyên – tạo chất thải” sang quan niệm “khai thác tài nguyên – tối ưu sử dụng – tái tạo giá trị từ phụ phẩm và chất thải” [15], [17].

Ở góc độ thực tiễn, hiện trạng ngành khoáng sản Việt Nam cho thấy tiềm năng áp dụng KTTH là đáng kể, nhưng mức độ hiện thực hóa còn hạn chế [16], [18]. Việt Nam có lợi thế về nguồn tài nguyên đa dạng, trong đó có nhiều loại khoáng sản chiến lược như bô xít, titan, đất hiếm, wolfram, đồng, nickel và một số khoáng sản đi kèm có giá trị cao [16]. Tuy nhiên, giá trị gia tăng của ngành nhìn chung vẫn chưa tương xứng với tiềm năng tài nguyên. Một trong những nguyên nhân chính là cấu trúc ngành còn thiên về khai thác và sơ chế, trong khi chế biến sâu, thu hồi khoáng sản đi kèm

và tái sử dụng phụ phẩm còn yếu [16], [17]. Điều này cho thấy dư địa rất lớn cho KTTH, đặc biệt ở các khâu tận thu khoáng vật có ích trong quặng nghèo, thu hồi nguyên tố đi kèm, tái sử dụng chất thải rắn mỏ, tuần hoàn nước tuyển và tận dụng năng lượng trong quá trình sản xuất [5], [14].

Trường hợp nghiên cứu điển hình tại mỏ đa kim Núi Pháo cho thấy một số nguyên lý cốt lõi của KTTH hoàn toàn có thể áp dụng trong điều kiện Việt Nam [8], [10]. Điểm đáng chú ý nhất của mô hình này là khả năng tối ưu hóa giá trị tài nguyên thông qua thu hồi đồng thời nhiều kim loại từ cùng một thân quặng. Đây là biểu hiện rõ ràng của tư duy tuần hoàn trong khai khoáng, bởi nó làm giảm tổn thất tài nguyên, tăng hiệu quả sử dụng thân quặng và kéo dài giá trị khai thác của mỏ [8], [10]. Đồng thời, việc xem xét tái sử dụng bùn thải, chất thải tuyển và tuần hoàn nước trong chế biến cho thấy chất thải mỏ không nhất thiết chỉ là gánh nặng môi trường, mà có thể trở thành nguồn nguyên liệu thứ cấp nếu được đánh giá đầy đủ về thành phần, tính chất cơ lý và nguy cơ môi trường [7], [13].

Ý nghĩa của mô hình này không chỉ nằm ở hiệu quả kinh tế trực tiếp, mà còn cho thấy ngành khai khoáng Việt Nam có thể chuyển từ khai thác đơn mục tiêu sang khai thác tích hợp đa mục tiêu, kết hợp đồng thời giữa lợi ích tài nguyên, lợi ích môi trường và hiệu quả công nghệ. Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu cũng cho thấy không nên nhìn nhận KTTH trong ngành khoáng sản như một mô hình dễ áp dụng hoặc có thể triển khai đồng loạt trong thời gian ngắn. So với các lĩnh vực như bao bì, nhựa, điện tử hoặc tiêu dùng dân dụng, KTTH trong khai khoáng đối mặt với những rào cản đặc thù phức tạp hơn [15], [17].

Trước hết là rào cản về công nghệ. Khả năng tận thu tài nguyên từ quặng nghèo, phụ phẩm hoặc chất thải mỏ phụ thuộc rất lớn vào trình độ tuyển – luyện, công nghệ phân tách vật liệu, công nghệ xử lý lý hóa – lý và năng lực kiểm soát môi trường [13]. Trong khi đó, nhiều doanh nghiệp khoáng sản ở Việt Nam, đặc biệt là doanh nghiệp vừa và nhỏ, vẫn sử dụng thiết bị lạc hậu, quy trình phân tán, mức đầu tư cho đổi mới công nghệ còn thấp [16]. Điều này khiến cho chi phí đầu tư ban đầu của các giải pháp KTTH trở thành rào cản lớn, nhất là khi lợi ích kinh tế thường không xuất hiện ngay trong ngắn hạn.

Bên cạnh rào cản công nghệ là rào cản về nhận thức và mô hình quản trị. Trong thực tiễn, nhiều doanh nghiệp vẫn tiếp cận hoạt động khai khoáng theo mục tiêu sản lượng ngắn hạn, chưa coi hiệu quả vòng đời tài nguyên và quản trị dòng vật chất là chỉ tiêu trung tâm [18]. Điều này dẫn đến việc đầu tư cho xử lý chất thải, tận thu tài nguyên đi kèm

hoặc cải tạo môi trường thường bị xem là chi phí bắt buộc hơn là một cấu phần tạo giá trị. Trong khi đó, bản chất của KTTH đòi hỏi doanh nghiệp phải thay đổi tư duy từ “tuần thủ môi trường” sang “quản trị tài nguyên tổng hợp” [15], [17].

Một vấn đề quan trọng khác là hành lang pháp lý tuy đã được hình thành bước đầu nhưng vẫn chưa đủ cụ thể để thúc đẩy áp dụng KTTH trong ngành khoáng sản một cách thực chất. Luật Bảo vệ môi trường năm 2020 và Luật Địa chất và Khoáng sản năm 2024 đã tạo nền tảng chính sách quan trọng [2], [19]. Tuy nhiên, để chuyển hóa định hướng này thành hành động, cần có các quy định cụ thể hơn về vật liệu thứ cấp, tiêu chuẩn kỹ thuật và cơ chế ưu đãi [18]. Nếu thiếu các công cụ chính sách phù hợp, doanh nghiệp sẽ khó có động lực chuyển đổi sang mô hình tuần hoàn.

Kết quả nghiên cứu cũng gợi mở rằng phát triển KTTH trong ngành khoáng sản không thể tách rời khỏi tổ chức không gian công nghiệp và liên kết vùng [15], [17]. Mô hình cụm công nghiệp sinh thái cho phép chất thải của doanh nghiệp này trở thành đầu vào của doanh nghiệp khác, qua đó nâng cao hiệu quả tuần hoàn vật chất.

Ở góc độ môi trường, KTTH có thể giúp giảm đáng kể áp lực lên đất, nước và hệ sinh thái tại các vùng mỏ [5], [15]. Tuy nhiên, không phải mọi chất thải mỏ đều có thể tái sử dụng an toàn, đặc biệt với các đuôi quặng chứa sulfide hoặc kim loại nặng, cần được đánh giá kỹ lưỡng trước khi sử dụng lại [13].

Từ góc độ chiến lược, KTTH trong ngành khoáng sản có ý nghĩa quan trọng đối với an ninh tài nguyên và năng lực cạnh tranh quốc gia trong bối cảnh chuyển dịch năng lượng toàn cầu [15]. KTTH giúp nâng cao hiệu quả khai thác, giảm phụ thuộc vào xuất khẩu thô và tăng giá trị gia tăng thông qua chế biến sâu và tận thu tài nguyên đi kèm [16], [15].

Trong ngắn hạn, cần ưu tiên các giải pháp khả thi như nâng cao hiệu suất thu hồi, tuần hoàn nước và xây dựng các mô hình thí điểm [8], [9]. Trong trung và dài hạn, cần hoàn thiện chính sách, phát triển thị trường vật liệu thứ cấp và tích hợp KTTH vào chiến lược phát triển ngành [2], [3].

Nhìn chung, các kết quả phân tích cho thấy KTTH trong ngành khai thác và chế biến khoáng sản ở Việt Nam không chỉ là một xu hướng mang tính khái niệm, mà có cơ sở triển khai thực tế nếu được hỗ trợ bởi thể chế phù hợp, công nghệ thích hợp và cơ chế liên kết ngành hiệu quả [2], [15], [17]. Điểm then chốt không nằm ở việc sao chép mô hình quốc tế, mà ở khả năng lựa chọn đúng khâu ưu tiên, loại khoáng sản và công cụ chính sách phù hợp với điều kiện Việt Nam.



4. KẾT LUẬN

➤ Bên cạnh việc phân tích cơ sở lý luận và pháp lý của kinh tế tuần hoàn trong ngành khoáng sản, nghiên cứu này đã bổ sung một kết quả cụ thể theo yêu cầu phản biện, là đề xuất mô hình kinh tế tuần hoàn áp dụng cho mỏ đa kim Núi Pháo. Mô hình đề xuất gồm năm hợp phần liên kết: thu hồi đa sản phẩm từ thân quặng đa kim; tuần hoàn nước trong hệ thống tuyển và bãi thải; tái xử lý/tận dụng đuôi quặng và chất thải rắn mỏ theo lộ trình đánh giá địa hóa – công nghệ – thị trường; phục hồi đất và tái tạo chức năng sinh thái sau khai thác; và kết nối mỏ với chuỗi tái chế wolfram ở hạ nguồn. Trong các hợp phần này, tuần hoàn nước, tối ưu hóa thu hồi đa sản phẩm và phục hồi môi trường là các cấu phần đã có dữ liệu vận hành tương đối rõ; trong

khi tái xử lý đuôi quặng và sử dụng chất thải làm vật liệu xây dựng là các cấu phần có cơ sở nhưng vẫn cần tiếp tục thí điểm và hoàn thiện công nghệ;

➤ Kết quả nghiên cứu cho thấy, đối với Việt Nam, kinh tế tuần hoàn trong khai khoáng nên được triển khai theo hướng chọn đúng mỏ, đúng loại khoáng sản và đúng khâu ưu tiên. Trường hợp Núi Pháo cho thấy mỏ đa kim có chế biến sâu và có liên kết hạ nguồn là nhóm đối tượng phù hợp nhất để triển khai trước, vì có điều kiện hình thành nhiều vòng tuần hoàn vật chất cùng lúc. Đây cũng là cơ sở thực tiễn để đề xuất hoàn thiện chính sách đối với vật liệu thứ cấp từ hoạt động mỏ, cơ chế khuyến khích tuần hoàn nước, ưu đãi cho công nghệ tận thu – tái chế và tích hợp yêu cầu kinh tế tuần hoàn vào quá trình cấp phép, thiết kế mỏ và đóng cửa mỏ □

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Rob Nicol and Elena Severina, “Giới thiệu kinh tế tuần hoàn: Mô hình bền vững cho việc sử dụng hiệu quả tài nguyên,” *trình bày tại cuộc họp kỹ thuật về Luật Địa chất và Khoáng sản Việt Nam*, EY, 2024.
- [2] Quốc hội, “*Luật Bảo vệ môi trường*, Luật số 72/2020/QH14,” ban hành ngày 17/11/2020, có hiệu lực từ ngày 01/01/2022.
- [3] Bộ Chính trị, “*Nghị quyết số 10-NQ/TW ngày 10/02/2022 về định hướng chiến lược địa chất, khoáng sản và công nghiệp khai khoáng đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2045*,” 2022.
- [4] Mai Thế Toàn, “Kinh tế tuần hoàn - Cơ sở lý luận, mô hình thực tiễn và khuyến nghị chính sách cho Việt Nam,” *trình bày tại Hội nghị quốc gia về Kinh tế tuần hoàn*, 06/2022.
- [5] United Nations Environment Programme, “*Global Resources Outlook 2021: Pathways to Sustainable Resource Use*,” UNEP, 2021.
- [6] International Council on Mining and Metals, “*Mining and the Circular Economy*,” 2024.
- [7] European Commission, “*Development of a guidance document on best practices in the Extractive Waste Management Plans – Circular Economy Action*,” 2019.
- [8] Masan High-Tech Materials, “*Báo cáo thường niên*,” Công ty Cổ phần Tài nguyên Masan, Thái Nguyên, 2023.
- [9] Masan High-Tech Materials, “*Masan High-Tech Materials’ steadfast commitment to sustainability*,” 2024, trực tuyến, truy cập ngày 01/04/2026.
- [10] Masan High-Tech Materials, “*Sustainability Report 2024*,” 2025.
- [11] Masan High-Tech Materials, “*A Vietnamese company boasts No. 1 Tungsten recycling technology*,” 2023, trực tuyến, truy cập ngày 01/04/2026.
- [12] Phạm Thị Thanh, “*Định hướng về kinh tế tuần hoàn trong hoạt động khai thác và chế biến khoáng sản tại Việt Nam*,” *trình bày tại cuộc họp kỹ thuật về Luật Địa chất và Khoáng sản Việt Nam*, Hà Nội, 02/2025.
- [13] P. Kinnunen et al., “*A review of circular economy strategies for mine đuôi quặng*,” *Cleaner Engineering and Technology*, 2022.
- [14] Masan High-Tech Materials, “*Climate change adaptation towards sustainable future*,” 2022, trực tuyến, truy cập ngày 01/04/2026.
- [15] United Nations Environment Programme, “*Critical Transitions: Circularity, Equity, and Responsibility in the Quest for Energy Transition Minerals*,” 2024.
- [16] Tổng cục Địa chất và Khoáng sản Việt Nam, “*Thông tin tổng hợp về tiềm năng và hiện trạng khai thác, chế biến khoáng sản chiến lược tại Việt Nam*,” báo cáo, Hà Nội, 12/2023.
- [17] Nguyễn Ngọc Thịnh và Phạm Xuân Trang, “*Nghiên cứu lựa chọn biên giới khai thác lộ thiên hợp lý cho mỏ đồng Tả Phời dưới góc độ kinh tế tuần hoàn*,” *Tạp chí Công nghiệp Mỏ*, số 6, tr. 5–11, 2023.
- [18] Viện Chiến lược, Chính sách Tài nguyên và Môi trường, “*Giới thiệu khung pháp lý thực hiện kinh tế tuần hoàn tại Việt Nam*,” báo cáo, 2022.
- [19] Quốc hội, “*Luật Địa chất và Khoáng sản*, Luật số 54/2024/QH15,” thông qua ngày 29/11/2024, có hiệu lực từ ngày 01/07/2025.

LỜI CẢM ƠN

Nội dung bài báo được hỗ trợ từ đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ Nông nghiệp và Môi trường, mã số BNNMT.2026.03.01

CIRCULAR ECONOMY ORIENTATION IN MINERAL EXTRACTION AND PROCESSING ACTIVITIES IN VIETNAM

Thi Thanh Pham^{1,*}, The Toan Mai¹, Xuan Dac Ngo²

¹Department of Geology and Minerals of Vietnam, 6 Phạm Ngũ Lão, Hà Nội, Vietnam

²Vietnam Institute of Geosciences and Mineral Resources, 67 Chien Thang, Ha Noi, Vietnam

ARTICLE INFOR

TYPE: Research Article

Received: 16/4/2026

Revised: 10/5/2026

Accepted: 15/5/2026

^{1,*}Corresponding author:

Email: thandahl@gmail.com

ABSTRACT

Mineral resources are non-renewable assets that play a critical role in economic development and national raw material security. However, mineral extraction and processing activities in Vietnam are still predominantly based on a linear “extract–use–dispose” model, resulting in low resource-use efficiency, large volumes of mine waste, and increasing environmental pressures. In the context of sustainable development and the transition toward a new growth model, the adoption of a circular economy (CE) in the mining sector has become an inevitable trend.

This paper analyzes the theoretical foundations of circular economy in mining and examines the current legal and policy framework in Vietnam, with particular reference to the Law on Environmental Protection (2020), the Law on Geology and Minerals (2024), and Resolution No. 10-NQ/TW of the Politburo. Based on a comprehensive review and practical assessment, the study identifies key limitations of the Vietnamese mining sector, including outdated extraction and processing technologies, low resource recovery efficiency, limited deep processing capacity, and ineffective management and utilization of mine waste.

The novelty of this study lies in the development of a specific circular economy model through a case study of the Nui Phao polymetallic mine (Thai Nguyen Province). The results indicate that several components of CE have already been implemented in practice, including multi-product recovery from a polymetallic ore body, large-scale water recirculation (accounting for approximately 76–78% of total water demand), and post-mining environmental rehabilitation. Based on these findings, the paper proposes a circular economy model for polymetallic mining that integrates multiple circular loops, including resource recovery optimization, water recirculation, waste and đuôi quặng valorization, ecological restoration, and downstream recycling linkages.

The study demonstrates that the application of circular economy in Vietnam’s mining sector is highly feasible when implemented through a systemic approach, supported by technological innovation, policy improvement, and value-chain integration. It also proposes key strategic orientations, including life-cycle-based resource management, promotion of deep processing, development of secondary material markets, and integration of circular economy principles into sectoral development strategies, thereby contributing to improved resource efficiency and sustainable development.

Keywords: circular economy, mineral extraction and processing, polymetallic deposit, mine waste, Nui Phao

@ Vietnam Mining Science and Technology Association