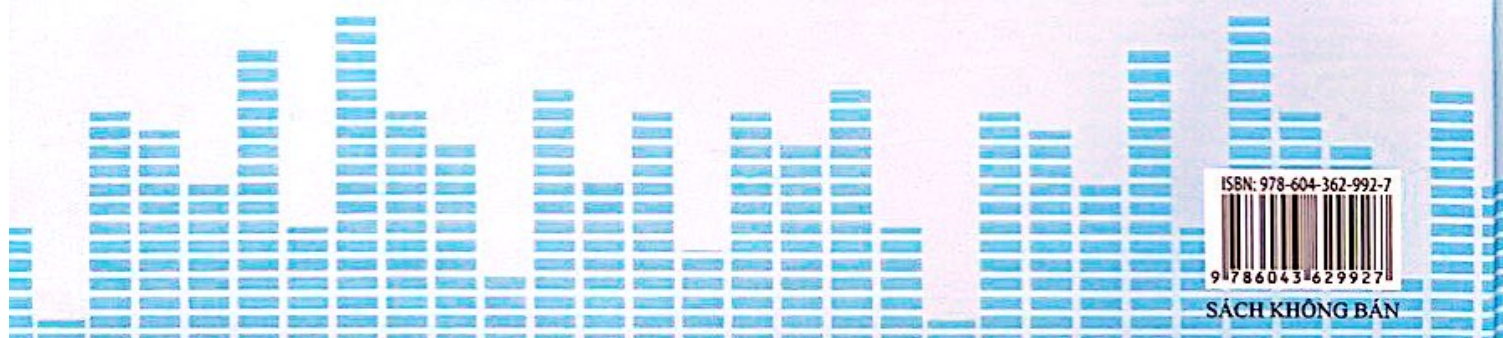
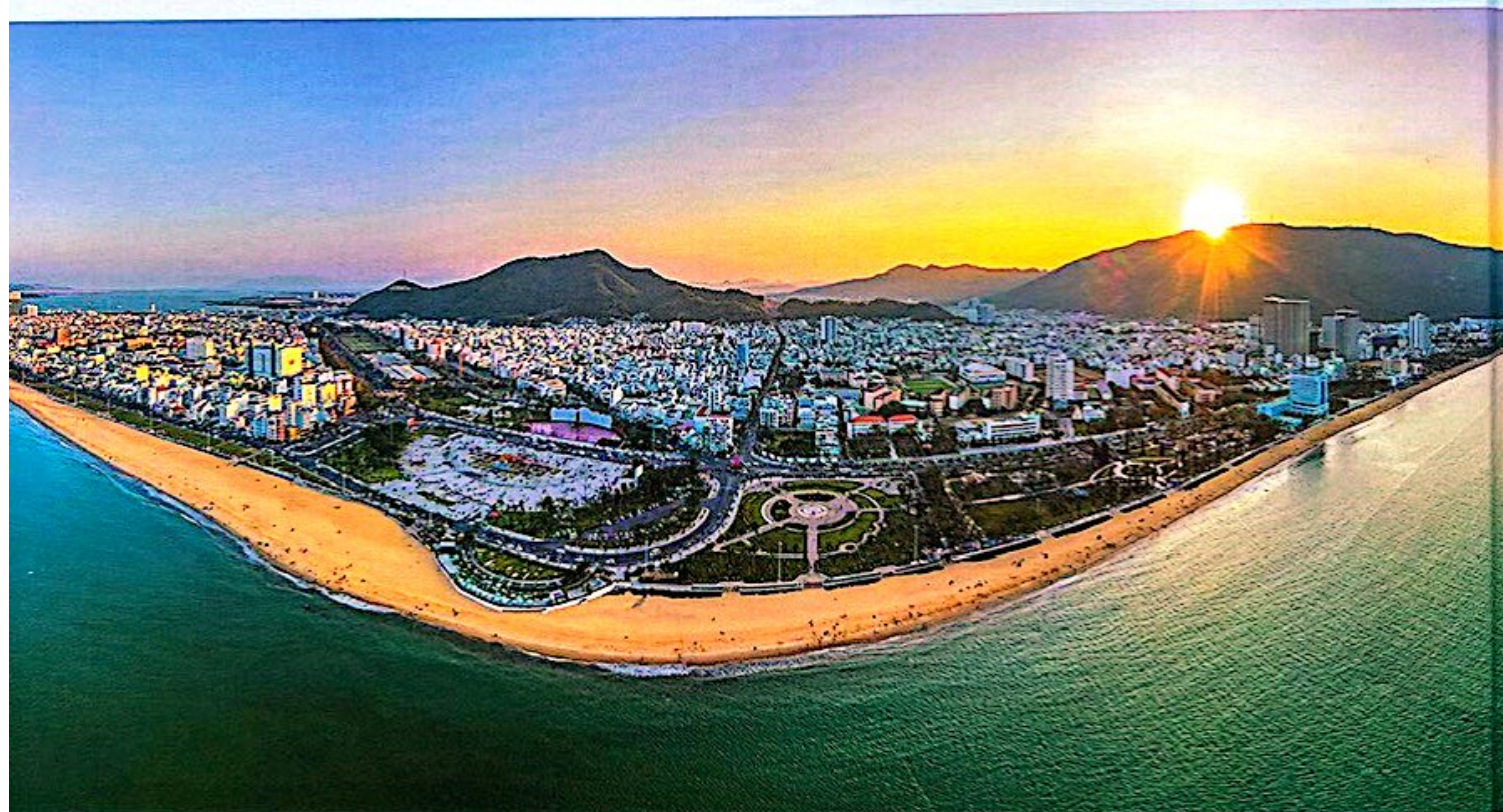


TUYỂN TẬP BÁO CÁO

HỘI NGHỊ KHOA HỌC KỸ THUẬT MỎ TOÀN QUỐC LẦN THỨ XXVIII

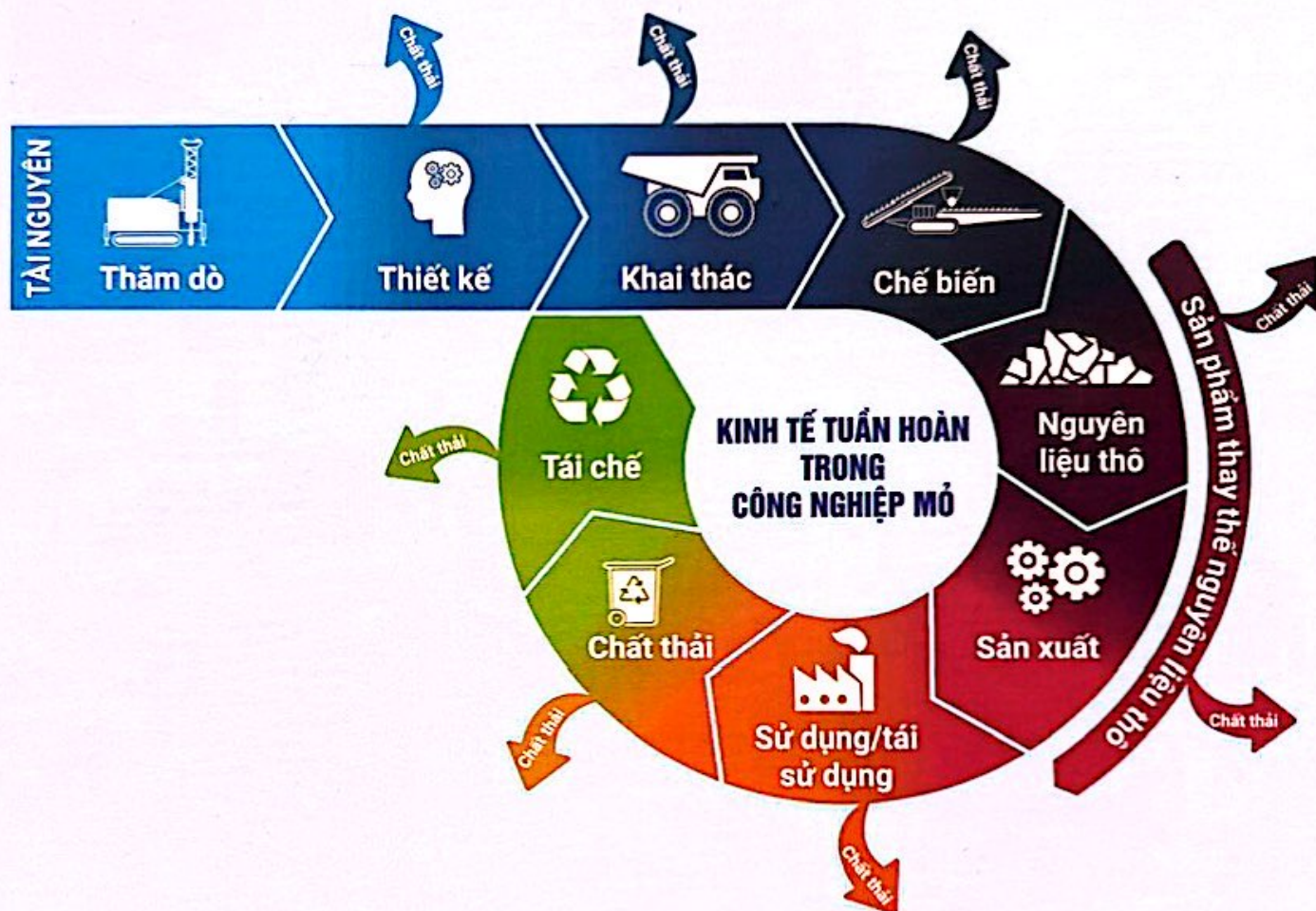
KINH TẾ TUẦN HOÀN

TRONG CÔNG NGHIỆP MỎ VIỆT NAM





LIÊN HIỆP CÁC HỘI KHOA HỌC VÀ KỸ THUẬT VIỆT NAM
HỘI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ MỎ VIỆT NAM



TUYỂN TẬP BÁO CÁO

HỘI NGHỊ KHOA HỌC KỸ THUẬT MỎ TOÀN QUỐC LẦN THỨ XXVIII

KINH TẾ TUẦN HOÀN

TRONG CÔNG NGHIỆP MỎ VIỆT NAM



NHÀ XUẤT BẢN CÔNG THƯƠNG
Năm 2023



MỤC LỤC

LỜI NÓI ĐẦU	3
I. NHỮNG VẤN ĐỀ CHUNG VỀ KINH TẾ TUẦN HOÀN	10
1. Định hướng khai thác, sử dụng và kinh doanh đất đá thải trong quá trình khai thác và chế biến than thuộc TKV trên địa bàn tỉnh Quảng Ninh đến năm 2030, dự báo sau năm 2030 <i>Đặng Thanh Hải</i>	11
2. Chính sách kinh tế tuần hoàn ở Việt Nam, gợi mở cho ngành công nghiệp mỏ <i>Nguyễn Thế Chinh</i>	19
3. Kinh tế tuần hoàn - Từ lý thuyết đến thực tiễn <i>Võ Chí Mỹ, Võ Ngọc Dũng, Võ Thị Công Chính</i>	29
4. Sự cấp thiết áp dụng mô hình kinh tế tuần hoàn trong khai thác và chế biến bauxite ở Tây Nguyên <i>Lưu Đức Hải</i>	36
5. Triển vọng thu, sử dụng và lưu giữ CO ₂ (CCUS) ở Việt Nam <i>Nguyễn Hồng Minh, Nguyễn Thu Hương</i>	44
6. Mô hình kinh tế tuần hoàn trong ngành khai khoáng - góc nhìn từ kinh nghiệm các nước <i>Đào Văn Hiến, Nguyễn Thuý Lan</i>	51
7. Giải pháp phát triển kinh tế tuần hoàn trong ngành khai khoáng Việt Nam <i>Nguyễn Thị Kim Ngân</i>	62
8. Kinh tế tuần hoàn - Cơ sở lý thuyết và thực tiễn trong nền kinh tế và ngành công nghiệp khai khoáng Việt Nam <i>Nguyễn Cảnh Nam, Nguyễn Thị Phong Lan</i>	71
9. Tuần hoàn chất thải trong hoạt động khai thác khoáng sản tại Việt Nam: Thách thức và cơ hội cho phát triển bền vững <i>Giang Tiến Đạt, Đào Đức Quang, Mai Trọng Ba</i>	78
10. Một số vấn đề lý luận về kinh tế tuần hoàn và kinh tế tuần hoàn trong ngành công nghiệp khai thác than <i>Lê Đình Chiêu, Nguyễn Thị Hoài Nga, Đồng Thị Bích</i>	89



III. CÁC GIẢI PHÁP KHOA HỌC CÔNG NGHỆ TRONG KHAI THÁC VÀ SỬ DỤNG TIẾT KIỆM TÀI NGUYÊN, KHOÁNG SẢN VÀ NĂNG LƯỢNG 191

20. Giải pháp công nghệ CCUS tái chế tro xỉ thải và bùn đỏ làm phụ gia sản xuất xi măng xanh CSA: Tiến gần tới mục tiêu đạt mức phát thải ròng bằng "0" vào năm 2050 192
*Bùi Xuân Nam, Trần Quang Hiếu, Nguyễn Hoàng, Lê Quý Thảo
Phạm Duy Thanh, Lê Hữu Tiến, Nguyễn Văn Đức*
21. Giải pháp ứng dụng công nghệ sản xuất thạch cao nhân tạo từ nước thải công nghệ làm phụ gia xi măng 205
Vũ Ngọc Quý và nnk
22. Định hướng các giải pháp bảo vệ môi trường, trung hòa carbon của TKV hướng tới mục tiêu phát thải ròng về "0" vào năm 2050 215
Trần Minh Nghĩa
23. Quy hoạch sử dụng đất đá thải mỏ làm vật liệu san lấp, vật liệu xây dựng thông thường 225
Nguyễn Việt Cường, Lã Mạnh Hải
24. Cải tạo bãi thải kết hợp phát triển kinh tế rừng trên bãi thải mỏ: Thực tiễn và tiềm năng tại các bãi thải mỏ than vùng Than Quảng Ninh 231
Đỗ Mạnh Dũng, Trần Miên, Giáp Văn Kiên
25. Tổng quan về những phương pháp tái chế và tái sử dụng phế thải ngành khai thác và chế biến khoáng sản. 245
Phạm Văn Luận, Lê Việt Hà
26. Đánh giá tiềm năng sử dụng quặng đuôi thải tại một số nhà máy tuyển khoáng làm vật liệu xây dựng 259
Phạm Đức Phong, Trần Thị Hiến
27. Nghiên cứu lựa chọn biên giới khai thác lộ thiên hợp lý cho mỏ đồng Tả Phời dưới góc độ kinh tế tuần hoàn 268
*Lê Đức Phương, Phí Trung Kiên,
Phạm Xuân Tráng, Đặng Ngọc Thanh*
28. Nghiên cứu xây dựng thiết bị tự động giám sát chất lượng điện năng lưới điện cao áp tại các mỏ khai thác than hầm lò. 276
Phạm Trung Sơn
29. Nghiên cứu ảnh hưởng của góc nghiêng biên dạng cánh Rotor ly tâm tới vận tốc vật liệu và công suất dẫn động của máy nghiền đập trực đứng (VSI) dùng trong sản xuất cát nhân tạo từ đất đá thải mỏ 282
Nguyễn Đăng Tấn, Tạ Ngọc Hải



GIẢI PHÁP CÔNG NGHỆ CCUS TÁI CHẾ TRO XỈ THẢI VÀ BÙN ĐỎ LÀM PHỤ GIA SẢN XUẤT XI MĂNG XANH CSA: TIẾN GẦN TỚI MỤC TIÊU ĐẠT MỨC PHÁT THẢI RÒNG BẰNG "0" VÀO NĂM 2050

Bùi Xuân Nam, Trần Quang Hiếu, Nguyễn Hoàng, Lê Quý Thảo

Nhóm Nghiên cứu mạnh ISRM, Trường Đại học Mỏ - Địa chất

Phạm Duy Thanh

Công ty Cổ phần Đóng Tả Phời - TKV

Lê Hữu Tiến

Công ty Cổ phần Tư vấn Tài nguyên và Môi trường 86 Việt Nam

Nguyễn Văn Đức

Trung tâm Khoáng hóa carbon, Viện Khoa học Địa chất và Tài nguyên Khoáng sản Hàn Quốc

Tóm tắt

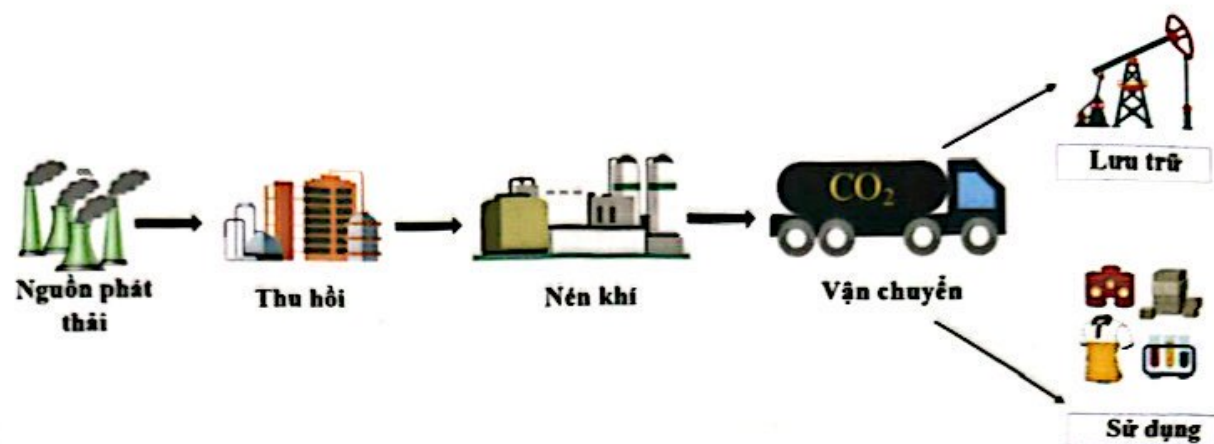
Tại Hội nghị thượng đỉnh về biến đổi khí hậu của Liên Hợp Quốc (COP26) năm 2021, hơn 190 nhà lãnh đạo quốc gia đã cùng nhau ra tuyên bố chung về đối phó với biến đổi khí hậu. Trong đó, Thủ tướng Phạm Minh Chính đại diện của Chính phủ Việt Nam đã cam kết về việc đạt mức phát thải ròng bằng "0" vào năm 2050. Hiện nay, công nghệ thu hồi và lưu trữ carbon (CCUS) có thể là một lựa chọn thích hợp từ kinh nghiệm của các nước phát triển cho Việt Nam. Trước COP26, công nghệ CCUS không được quan tâm ở Việt Nam do chi phí đầu tư cao và chưa đặt ra mục tiêu giảm phát thải khí nhà kính. Ngay sau COP26, Việt Nam đã khẩn trương cụ thể hóa, bắt tay thực hiện ngay những cam kết của mình trước cộng đồng quốc tế. Vì vậy, Nghị định số 06/2022/ND-CP quy định về giảm khí thải nhà kính và bảo vệ tầng ô zôn đã được ban hành ngày 07/01/2022, việc áp dụng các công nghệ tiên tiến góp phần giảm khí thải nhà kính được khuyến khích áp dụng để đạt mục tiêu giảm mức phát thải khí carbon về "0" vào năm 2050. Nghiên cứu này nhằm đánh giá khả năng áp dụng công nghệ CCUS để tái chế tro xỉ thải của nhiệt điện và bùn đỏ làm nguyên liệu cho sản xuất xi măng xanh CSA, giảm lượng khí thải CO₂. Theo đó, các giải pháp kỹ thuật CCUS trong việc tái chế chất thải tro bay từ nhà máy nhiệt điện và bùn đỏ từ nhà máy chế biến quặng nhôm được đề xuất. Giải pháp kỹ thuật công nghệ này không những góp phần quan trọng trong việc tái chế được các chất thải nguy hại mang lại lợi ích về mặt kinh tế mà còn đóng góp vào mục tiêu chung của chính phủ trong việc giảm phát thải ròng vào năm 2050.

1. Giới thiệu

Từ năm 2002 đến nay, Việt Nam được biết đến là nước có nền kinh tế phát triển nhanh nhất trên thế giới với GDP bình quân đầu người đã tăng hơn 9 lần, đạt gần 409 tỷ USD với tỷ lệ hộ nghèo (thu nhập dưới 1,90 USD/ngày) giảm mạnh, từ hơn 32% vào

năm 2011 xuống dưới 2% năm 2020 [1].

Với lợi thế tài nguyên khoáng sản, nhiên liệu hóa thạch như than, dầu khí và khí đốt là các nguồn năng lượng chủ đạo cho sự phát triển kinh tế của Việt Nam. Cụ thể, đóng góp của nhiên liệu hóa thạch vào tổng nhu cầu năng lượng của Việt Nam đã tăng



Hình 2. Quy trình CCUS [6]

triển, CCUS mang đến một giải pháp có thể triển khai công nghiệp, giảm lượng phát thải khí CO₂ đến 20%, mang lợi ích cả về môi trường và kinh tế.

Cấu trúc chung của quy trình CCUS bao gồm ba phần chính: (1) Thu hồi CO₂ từ các nguồn phát thải tĩnh khác nhau (nhà máy điện, nhà máy xi măng, sản xuất gang thép và các ngành công nghiệp hóa chất); (2) vận chuyển CO₂ được thu hồi qua đường ống, tàu và xe tải đường bộ/đường sắt và (3) lưu trữ CO₂ vào các kho chứa khác nhau (ví dụ: lưu vực dầu hoặc khí cạn, bể chứa,...) hoặc sử dụng trong các quy trình công nghiệp tái chế.

Do đó, việc đề xuất giải pháp thực tiễn góp phần vào mục tiêu chung của Chính phủ là giảm lượng CO₂ phát thải về mức "0" vào năm 2050 là cấp bách. Xuất phát từ những đánh giá khả năng áp dụng, cơ hội, thách thức và khung pháp lý cho công nghệ CCUS trong việc tái chế các loại chất thải công nghiệp như tro than và bùn đỏ. Nghiên cứu này có thể mở ra cơ hội hợp tác trong việc chuyển giao công nghệ CCUS vào Việt Nam trong lĩnh vực tái chế chất thải nói chung và chất thải công nghiệp nói riêng.

2. Tiềm năng áp dụng các giải pháp kỹ thuật CCUS cho việc tái chế tro than và bùn đỏ tại Việt Nam

2.1. Khung pháp lý về khí thải nhà kính

Các quy định liên quan đến biến đổi khí hậu trong Luật Bảo vệ môi trường năm 2020 là cơ sở pháp lý cần thiết để thực hiện các biện pháp nhằm đạt được mục tiêu giảm lượng khí thải nhà kính được đề ra trong Thỏa thuận Paris về khí hậu và đóng góp do Quốc gia tự quyết định (NDC) của Việt Nam và là một tiền đề cho việc phát triển thị trường năng lượng "sạch" giảm thiểu phát thải khí CO₂ trong nước, nâng cao năng lực quản lý và loại bỏ các chất gây hiệu ứng nhà kính được kiểm soát theo Hiệp định Quốc tế về bảo vệ tầng ô zôn mà Việt Nam là thành viên. Trên cơ sở đó, một Hệ thống cơ sở dữ liệu Quốc gia về khí thải nhà kính của Việt Nam được xây dựng (Hình 3) [7].

Ngày 7/01/2022, Chính phủ ban hành Nghị định số 06/2022/ND-CP quy định về giảm khí thải nhà kính và bảo vệ tầng ô zôn. Theo đó, các biện pháp, chính sách quản lý nhằm giảm khí thải nhà kính [8] bao gồm:

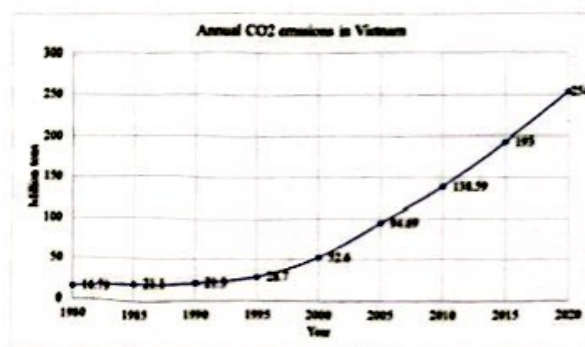


từ 27,6% vào năm 1990 lên 70% vào năm 2016 [2]. Tuy nhiên, việc sử dụng nhiên liệu hóa thạch là nguyên nhân hàng đầu gây ra khí thải nhà kính, chiếm đến 58% [3]. Bảng 1 cho thấy, tỉ lệ sử dụng các nguồn nguyên liệu trong sản xuất điện hàng năm của Việt Nam từ năm 2019 ÷ 2020 [4]. Năm 2021, Việt Nam đã điều chỉnh kế hoạch phát triển điện lực quốc gia cho giai đoạn 2021 ÷ 2030 và sẽ ưu tiên phát triển các dự án năng lượng tái tạo như năng lượng gió và năng lượng mặt trời. Tuy nhiên, nguồn nhiên liệu chủ đạo cho sản xuất điện vẫn là than. Hiện nay, có khoảng 25 nhà máy nhiệt điện đang hoạt động với hơn 13 triệu tấn tro than được thải ra môi trường mỗi năm và biện pháp xử lý tro than phổ biến nhất vẫn là chôn lấp. Do đó, việc tìm kiếm giải pháp tái chế tro than công nghiệp sẽ đóng góp đáng kể vào việc bảo vệ môi trường và mang lại hiệu quả về mặt kinh tế.

Bảng 1. Sản xuất điện ở Việt Nam theo nguồn nhiên liệu từ năm 2019 ÷ 2020 [4]

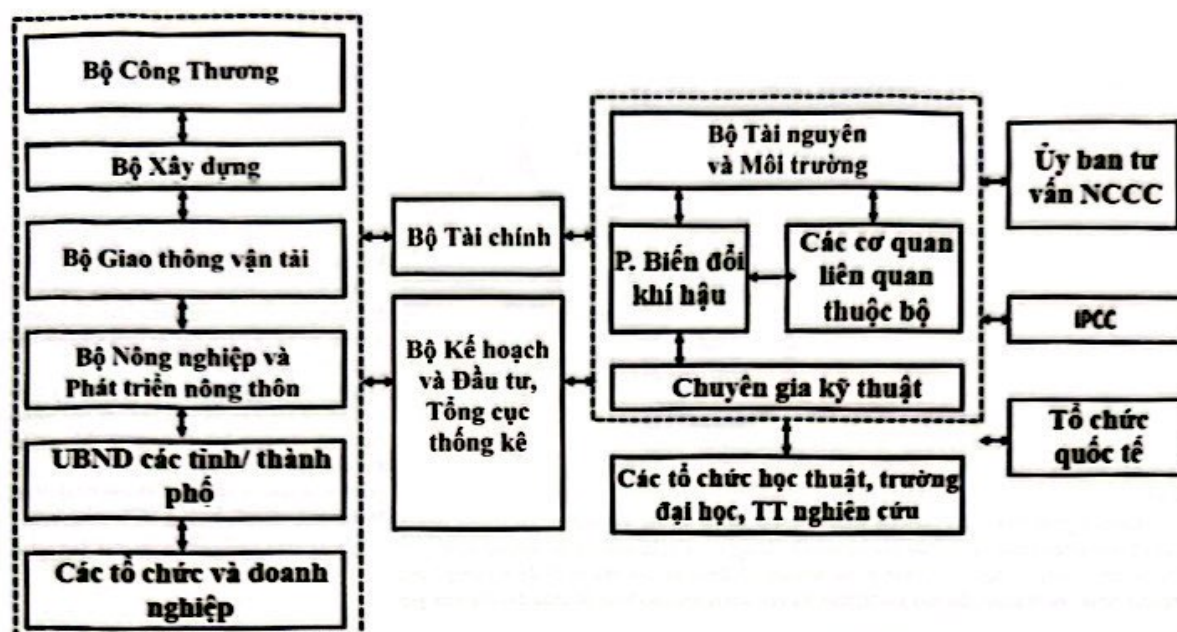
TT	Nguồn năng lượng	Đơn vị	Giá trị	
			2019	2020
1	Thủy điện	%	36,81	29,98
2	Nhiệt điện than	%	35,83	31,10
3	Nhiệt điện khí và dầu	%	16,07	12,78
4	Năng lượng gió	%	0,67	0,75
5	Năng lượng mặt trời	%	8,47	12,80
6	Năng lượng mặt trời lắp trên mái nhà	%	0,58	11,23
7	Năng lượng sinh học	%	0,53	0,53
8	Nhập khẩu	%	1,04	0,83
	Tổng cộng	%	100	100

Năm 2020, lượng khí CO₂ đạt gần 254 triệu tấn [5], tăng đáng kể từ năm 1980 đến năm 2020 [5] (Hình 1). Trước COP26, Việt Nam chưa có các biện pháp cụ thể để giảm lượng phát thải khí nhà kính. Tuy nhiên, sau COP26, Chính phủ đã cam kết giảm lượng phát thải khí carbon về “0” vào năm 2050. Điều này không chỉ là một thách thức mà còn là một cơ hội để áp dụng các công nghệ giảm khí thải nhà kính. Dựa trên kinh nghiệm của các nước phát triển, có thể áp dụng một số chiến lược để giảm lượng khí thải Carbon về “0” như: Áp dụng các phương pháp địa kỹ thuật; nâng cao hiệu quả sử dụng nhiên liệu hóa thạch; phát triển nhiên liệu thay thế có lượng phát thải CO₂ thấp và phát triển các công nghệ giảm phát thải khí CO₂.



Hình 1. Khí thải CO₂ từ việc đốt nhiên liệu hóa thạch để lấy năng lượng ở Việt Nam [2], [3], [5]

Có thể thấy, các nhiên liệu hóa thạch như than, khí tự nhiên và dầu mỏ sẽ tiếp tục chiếm tỷ trọng cao trong việc cung cấp năng lượng để vận hành xã hội, ít nhất cho đến giữa thế kỷ XXI. Với công nghệ tiếp nhận, sử dụng và lưu trữ carbon (CCUS) sẽ là chìa khóa quan trọng trong việc chuyển giao giai đoạn xã hội theo các mức phát thải CO₂. Điều đó cho phép tối ưu hóa việc sử dụng nhiên liệu hóa thạch cho đến khi có các nguồn năng lượng “sạch” thay thế được áp dụng. Từ kinh nghiệm của các nước phát



Hình 3. Hệ thống kiểm soát quốc gia về phát thải khí nhà kính [7]

- Kế hoạch giảm khí thải nhà kính ở cấp cơ sở;

- Công nghệ, quy trình sản xuất và dịch vụ với lượng khí thải nhà kính thấp.

- Cơ chế và phương pháp hợp tác trong việc giảm khí thải nhà kính phù hợp với quy định của pháp luật và các hiệp định quốc tế mà Việt Nam là thành viên.

Ngoài ra, các đối tượng giảm khí thải nhà kính được quy định như sau:

- Các cơ sở nằm trong danh sách các ngành nghề phát thải khí nhà kính phải thực hiện việc lập báo cáo phát thải khí nhà kính do Thủ tướng ban hành;

- Tổ chức và cá nhân khác ngoài những đối tượng được đề cập ở trên được khuyến khích giảm khí thải nhà kính phù hợp với điều kiện và hoạt động của họ;

- Các bộ ban ngành nắm vai trò quản lý như: Bộ Công Thương, Bộ Xây dựng,

Bộ Giao thông vận tải, Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn, Bộ Tài chính, Bộ Kế hoạch và Đầu tư, Tổng cục thuế, Bộ Tài nguyên và Môi trường, các cơ quan liên quan thuộc bộ,...

Trước hội nghị COP26, việc giảm phát thải khí nhà kính chỉ được nêu trong một số quy định chung của Luật Bảo vệ môi trường năm 2014, số 55/2014/QH13 [9]. Tuy nhiên, các quy định này vẫn chưa đưa ra được chiến lược và biện pháp cụ thể. Việc nhiều bộ ngành và cơ quan đóng vai trò quản lý dẫn đến trách nhiệm của các bên liên quan không rõ ràng. Tuy nhiên, ngay sau hội nghị COP26, Chính phủ đã ban hành quy định về giảm khí thải nhà kính nhằm giảm CO₂ về "0" vào năm 2050. Theo đó, trong những năm tới, Chính phủ sẽ ưu tiên ứng dụng các công nghệ tiên tiến như CCUS. Hình 4 cho thấy vai trò của các bên liên quan để đạt được mục tiêu giảm lượng phát thải ròng về "0" của Việt Nam.

Vai trò hỗ trợ của chính phủ

Vai trò:

- Thiết lập các chính sách và khung pháp lý để đạt được mức phát thải ròng về "0";
- Hỗ trợ chi phí, nghiên cứu và phát triển, đổi mới công nghệ, chuỗi cung ứng và điều phối quá trình chuyển đổi sang mức phát thải ròng về "0"



Cuộc đua đến mức phát thải ròng "0" vừa là trách nhiệm và là cơ hội cho doanh nghiệp

Vai trò:

- Các doanh nghiệp thực hiện cam kết sớm sẽ được hưởng lợi thế về định vị lợi nhuận doanh nghiệp trước sự thay đổi về thái độ của người tiêu dùng, công nghệ mới và thị trường mới;
- Các doanh nghiệp có nghĩa vụ pháp lý đối với các cổ đông và nhà đầu tư để định lượng hành động của họ sẽ tạo ra hoặc phá hủy giá trị như thế nào trước các tác động do biến đổi khí hậu gây ra;
- Giám sát động của biến đổi khí hậu rõ ràng là lợi ích lâu dài của tất cả các doanh nghiệp

Vai trò định hướng của xã hội

Vai trò:

- Thái độ của người tiêu dùng thúc đẩy thay đổi trong hành vi mua hàng. Do đó, doanh nghiệp sẽ có lập trường rõ ràng và cam kết giảm mức phát thải về "0";
- Người lao động thế hệ Y và Z cần có ý thức về bảo vệ khí hậu và yêu cầu các nhà tuyển dụng có các cam kết rõ ràng về chống biến đổi khí hậu và cam kết ESG;
- Các nhà đầu tư cần ưu tiên các công ty có chính sách về môi trường/ ESG minh bạch.

Hình 4. Vai trò của các bên trong việc đạt được mục tiêu không khí thải carbon ròng ở Việt Nam

2.2. Hiện trạng quản lý tro xỉ than và bùn đỏ ở Việt Nam

2.2.1. Quản lý tro xỉ

Dựa trên Quyết định số 452/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ năm 2017, đã phê duyệt kế hoạch khuyến khích xử lý, sử dụng tro, xỉ và thạch cao của nhà máy nhiệt điện, nhà máy hóa chất và nhà máy phân bón làm nguyên liệu sản xuất vật liệu xây dựng và trong công trình xây dựng. Tuy nhiên, sau hơn năm năm thực hiện, mặc dù có nhiều nỗ lực, nhưng kết quả thực tế vẫn chưa đạt được mục tiêu đã đặt ra. Hiện nay, Việt Nam có 25 nhà máy nhiệt điện than đá đang hoạt động. Tổng lượng tro, tro bay tiêu thụ là khoảng 13 triệu tấn/năm, trong đó tro bay chiếm 80% đến 85%. Đến cuối năm 2020, tổng lượng tro và tro bay tiêu thụ bởi các nhà máy nhiệt điện trên toàn quốc là khoảng 44,5 triệu tấn, tương đương với 42% tổng lượng xử lý trong suốt nhiều năm [4]. Tro và tro bay được sử dụng nhiều

nhất làm phụ gia khoáng cho xi măng, ước tính là 24 triệu tấn, chiếm 70%. Sản xuất gạch nung và gạch không nung từ tro và tro bay ước tính là 4 triệu tấn, chiếm 12%. Xây dựng dân dụng ước tính là 3 triệu tấn, chiếm 8%. Làm vật liệu san lấp và làm đường các loại khoảng 3,5 triệu tấn, chiếm 9%. Thành phần hóa học của tro bay từ ba nhà máy nhiệt điện ở Việt Nam xem bảng 2. Dựa trên TCVN 10302:2014, tro bay ở hầu hết các nhà máy nhiệt điện ở Việt Nam được phân loại là loại F, với tổng hàm lượng oxit của SiO_2 , Al_2O_3 và Fe_2O_3 trên 70% trọng lượng (%).

Hiện nay, tổng lượng tro và tro bay được bảo quản tại các kho chứa của nhà máy nhiệt điện than khoảng 47,65 triệu tấn [10]. Do hạn chế công nghệ, việc thực hiện tái chế tro bay vẫn còn rất ít. Kết quả là tro bay còn lại gây ảnh hưởng nghiêm trọng đến cân bằng sinh thái và gia tăng ảnh hưởng tiêu cực đến môi sinh. Do đó, việc áp dụng công nghệ CCUS trong việc tái chế tro bay


Bảng 2. Thành phần hóa học của tro bay từ 3 nhà máy nhiệt điện ở Việt Nam [10]

TT	Thành phần hóa học	Phả Lại (wt. %)	Mông Dương (wt. %)	Duyên Hải 1 (wt. %)
1	SiO ₂	57	54.27	55.7
2	Fe ₂ O ₃	4.7	4.71	6.1
3	Al ₂ O ₃	23.8	25.02	23.1
4	K ₂ O	6.56	6.76	3.76
5	MgO	1.2	1.22	1.7
6	CaO	0.81	0.91	0.7
7	SO ₃	0.53	0.73	0.15

là giải pháp mới giúp giảm lượng khí thải CO₂ và tăng cường hiệu quả kinh tế.

2.2.2. Quản lý bùn đỏ

Việt Nam với trữ lượng quặng nhôm xếp thứ ba trên thế giới. Theo quy hoạch khai thác, chế biến và sử dụng quặng nhôm từ năm 2007 đến 2015, trữ lượng quặng nhôm đã được xác định và dự báo khoảng 5,5 tỷ tấn, khoảng 91 triệu tấn ở khu vực miền Bắc và khoảng 5,4 tỷ tấn ở khu vực miền Trung và Tây Nguyên. Hiện nay, tại Việt Nam có ba dự án khai thác quặng nhôm hoạt động bao gồm mỏ Ma Cát - Lạng Sơn, mỏ Nhân Cơ - Đắk Nông và mỏ Tân Rai - Lâm Đồng. Chủ yếu tập trung ở 2 mỏ quặng nhôm là Tân Rai và Đắk Nông do TKV quản lý, với tổng khối lượng khai thác khoảng 3,07

triệu tấn nồng độ mỗi năm (chiếm 98,59% tổng sản lượng nồng độ quặng nhôm).

Hiện nay, trong quá trình khai thác quặng nhôm và sản xuất nhôm tại hai khu liên hợp nhôm Tân Rai và Nhân Cơ đã phát sinh một số tồn tại đến môi sinh như: Giảm diện tích đất nông nghiệp để phục vụ khai thác, hồ chứa bùn đỏ; phá hủy cân bằng tự nhiên; ô nhiễm không khí; ô nhiễm nước,... Thành phần oxit của bùn đỏ ở Việt Nam được so sánh với một số nước có công nghiệp khai thác nhôm phát triển, chi tiết xem bảng 3.

Từ bảng 3 cho thấy, trong bùn đỏ của hai nhà máy nhôm tại Việt Nam có hàm lượng Fe cao hơn nhưng hàm lượng Al và Si thấp hơn, cũng như có thành phần nguyên tố vi

Bảng 3. So sánh thành phần oxit của bùn đỏ giữa Việt Nam với các nước

TT	Quốc gia	%, Thành phần (theo trọng lượng khô)					
		Fe ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	SiO ₂	TiO ₂	Na ₂ O	CaO
1	Việt Nam	46.32-46.32	16.91-17.56	6.62-6.72	5.48-7.20	5.06-5.43	4.48-5.20
2	Trung Quốc	10.63-29.79	7.34-22.96	18.92-27.99	1.83-6.64	0.58-8.93	2.03-44.69
3	Iran	22.17	13.98	13.00	7.17	4.20	24.25
4	Thổ Nhĩ Kỳ	35.04	20.20	17.29	4.00	9.40	5.30
5	Brazil	19.85	19.87	14.34	2.66	7.35	4.61
6	Tây Ban Nha	31.80-37.22	12.40-20.10	3.81-6.10	20.10-22.60	4.64-4.70	4.78-6.30
7	Hungary	31.63	10.50	12.20	5.90	6.09	11.60
8	Jamaica	49.50	16.50	3.00	7.00	2.30	5.50



lượng khác nhau với các nước khác. Bùn đỏ của nhà máy Tân Rai và Nhân Cơ phân ánh mức độ an toàn về bức xạ nền. Điều này mở ra khả năng có thể sử dụng bùn đỏ cho các ứng dụng thực tế khác. Bên cạnh đó, bùn đỏ cũng chứa một lượng lớn kiềm dư (NaOH) từ quá trình Bayer, pH thường cao, trong khoảng 10-13. Bùn đỏ của nhà máy nhôm Tân Rai thu thập tại khu vực xử lý bùn đỏ số 1 có pH từ 11,12 đến 11,23, trong khi bùn đỏ lấy từ hồ bùn đỏ số 1 của nhà máy nhôm Nhân Cơ có giá trị pH thấp hơn là 10,5. Lượng kiềm dư phải được loại

bỏ trước khi tái sử dụng nước từ hồ chứa bùn đỏ.

Hiện nay, tại Việt Nam, bùn đỏ được coi là một trong những chất thải nguy hiểm cần được xử lý. Dựa trên kế hoạch khai thác quặng nhôm tại Tây Nguyên, đến năm 2025, lượng bùn đỏ xả thải sẽ đạt 23 triệu tấn; trong mười năm, nó sẽ là 230 triệu tấn và trong 50 năm, sẽ là 1,15 tỷ tấn. Khối lượng lớn bùn đỏ sẽ đòi hỏi một diện tích đất rộng lớn để chôn lấp. Do đó, tìm kiếm giải pháp tái sử dụng bùn đỏ là rất quan trọng.

Bảng 4. Các nghiên cứu đã có về sử dụng bùn đỏ và tro bay

TT	Quốc gia	Kết hợp bùn đỏ	Các thông số nghiên cứu	Lĩnh vực sử dụng
1	Hòa Kỳ	Tro bay (lớp C*)	Tỷ lệ trọng lượng 80:20, 50:50 và 20:80 để tạo thành Geopolyme	Làm Geopolyme
2	Australia	Tro bay (lớp F**)	- Bùn đỏ thay đổi từ 0 – 40% trọng lượng trong hỗn hợp tro bay bùn đỏ; - Dung dịch NaOH làm chất xúc tác	Gạch lát, vật liệu xây dựng
3	Hòa Kỳ	Tro bay (lớp F)	- Tỷ lệ khối lượng 1:4 (tro bay/bùn đỏ); - 50% khối lượng NaOH, natri trisilicat 2M và nước khử ion với tỷ lệ 3:7:3 làm xúc tác	Làm Geopolyme
4	Hàn Quốc	Tro bay (lớp F)	- Bùn đỏ kết hợp với bột CNF (Ca(OH)_2 , Na_2CO_3 , Tro bay), trong đó bùn đỏ từ 0 đến 30% khối lượng và thay đổi thành phần C, N, F; - Hàm lượng bùn đỏ đa dạng: 10%, 20%, 30%; - NaOH dùng làm chất hoạt hóa với nồng độ (1,3&5% trọng lượng).	Vật liệu xây dựng
5	Ấn Độ	Tro bay (lớp F)	- Bùn đỏ và tro bay để sản xuất gạch pyrophyllite; - Tro bay và bùn đỏ có thể sử dụng tới 50% trong sản xuất gạch.	Vật liệu xây dựng
6	Trung Quốc	Tro bay (lớp C)	- Tỷ lệ bùn đỏ và tro bay là 50:50; - Bùn đỏ tiến xử lý bằng nhiệt kiểm có điều kiện (Nung ở 800°C với các liều lượng Na_2O khác nhau; - Na_2O 5% đã được cố định và hàm lượng tro bay là 0,25, 25, 50, 75 và 100% trọng lượng đã được quan sát.	Làm Geopolyme

* Tro bay (Loại C) – $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 50\%$ (xi măng) thêm CaSO_4 , vôi tự do, C3A, thủy tinh giàu canxi, MgO; ** Tro bay (Loại F) – $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3 \geq 70\%$ (pozzolanic) thêm thủy tinh, thủy tinh alumino silicat, thạch anh.



3. Giải pháp công nghệ tái chế tro bay và bùn đỏ tại Việt Nam

3.1. Tái chế tro bay và bùn đỏ

Trong những năm qua, đã có nhiều nghiên cứu trên toàn thế giới về việc sử dụng bùn đỏ và tro bay như: Sử dụng làm vật liệu san lấp; loại bỏ kim loại nặng; thu hồi sắt và các kim loại nặng khác; sản xuất vật liệu ngăn chặn tia X; sản xuất gạch xây dựng từ bùn đỏ; sử dụng bùn đỏ trong sản xuất xi măng.

Bảng 4 cho thấy, việc kết hợp tro bay và bùn đỏ để sản xuất vật liệu xây dựng có tiềm năng rất lớn trong việc xử lý và tái sử dụng khối lượng chất thải từ nhà máy nhiệt điện và nhà máy tuyển nhôm. Bên cạnh đó, việc nhìn nhận bùn đỏ là một nguồn tài nguyên sẽ mang đến cơ hội rất lớn trong việc chuyển đổi mục đích sử dụng sản phẩm thải có hại sang nguồn khoáng sản mang lại hiệu quả kinh tế. Hiện nay, có nhiều nghiên cứu về việc chiết xuất kim loại, sản xuất sản phẩm, hợp chất giàu canxi-titan để khai

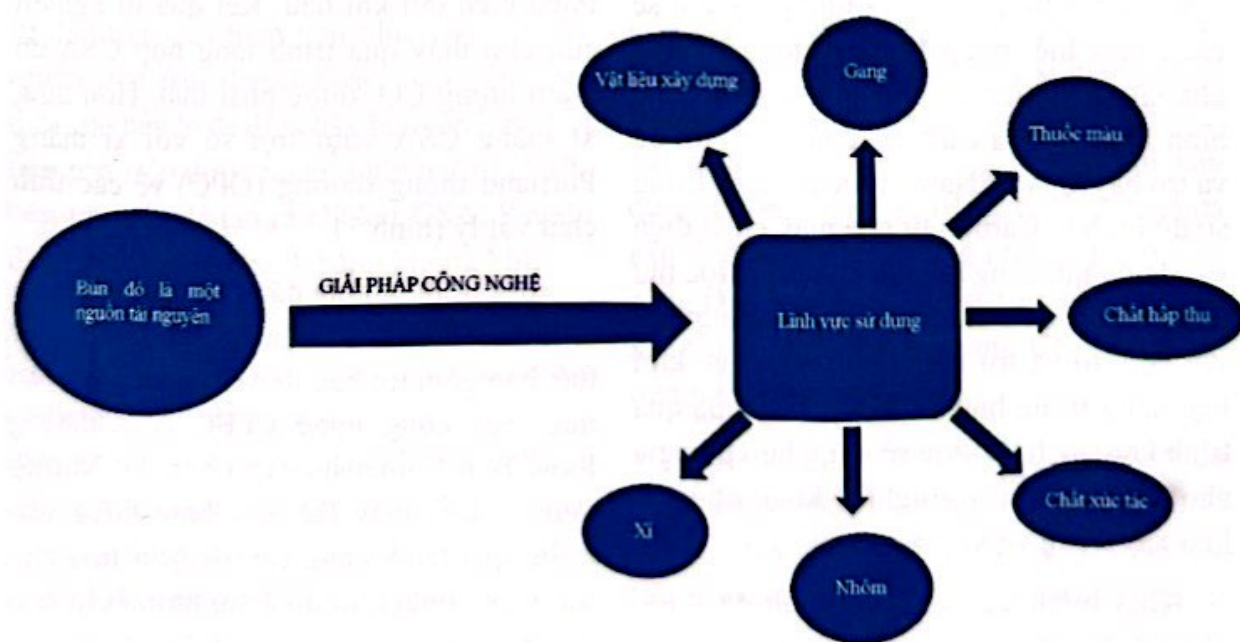
thác titan từ bùn đỏ hay geopolimer, gạch, vật liệu san lấp trong ngành xây dựng để tận dụng triệt để nguồn tài nguyên này. Các lĩnh vực sử dụng sản phẩm tái chế bùn đỏ từ kinh nghiệm nghiên cứu tiền trước, xem hình 5.

3.2. Công nghệ khoáng hóa carbon tái chế tro xỉ và bùn đỏ

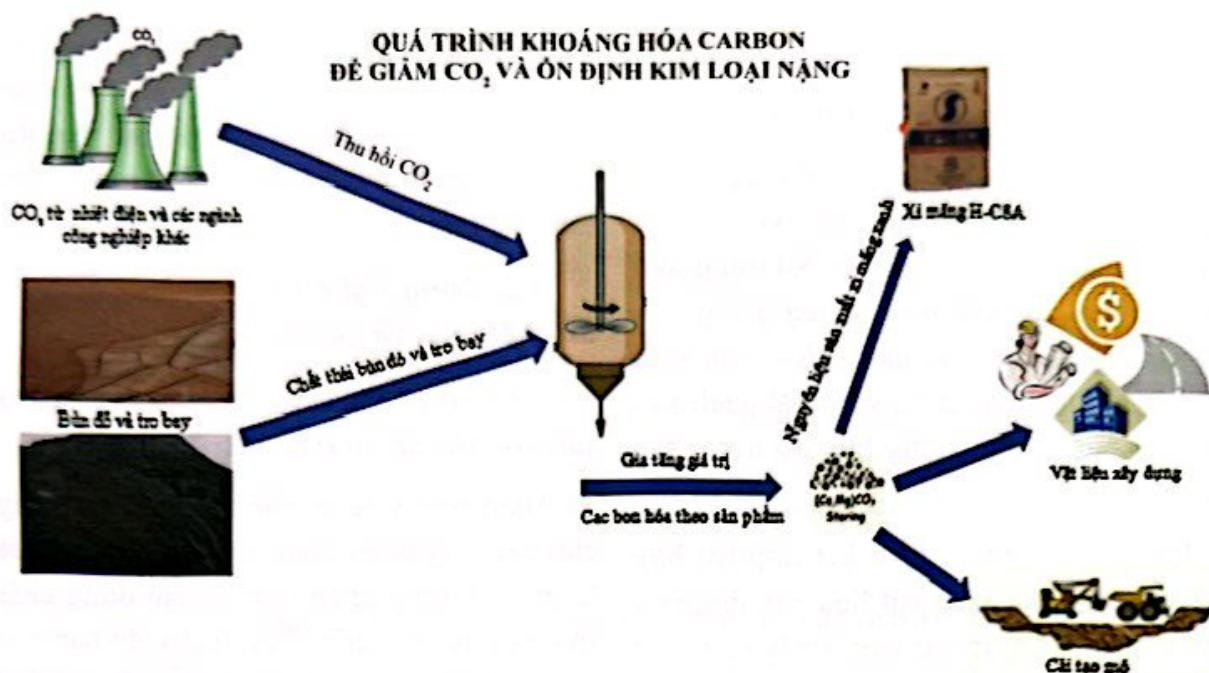
3.2.1. Nguyên liệu sản xuất xi măng xanh từ tái chế tro xỉ và bùn đỏ

Hiện nay, việc tái chế bùn đỏ và tro bay cho các ứng dụng công nghiệp không phải là một phương pháp mới để tận dụng chất thải rắn trên thế giới. Tuy nhiên, do hạn chế về công nghệ và chính sách, việc đổ bãi là phương pháp duy nhất để xử lý bùn đỏ và tro bay tại Việt Nam. Theo các nghiên cứu trên, chất lượng của bùn đỏ và tro bay tại Việt Nam rất phù hợp để tái chế và ứng dụng trong công nghiệp, phát huy giá trị của một nền kinh tế tuần hoàn.

Hơn nữa, các phức hợp sản xuất ở Việt Nam bao gồm nhiệt điện, luyện nhôm và



Hình 5. Công nghệ tái chế bùn đỏ trong các lĩnh vực khác nhau



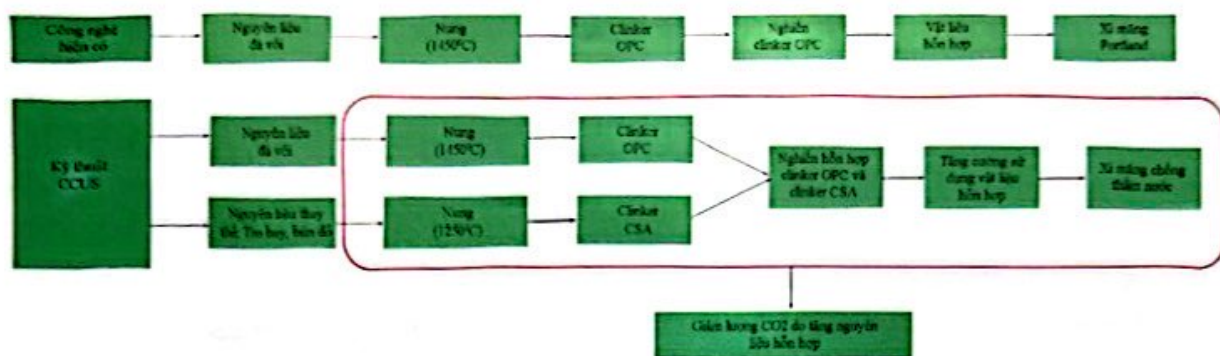
Hình 6. Sơ đồ tái chế tro bay và bùn đỏ bằng công nghệ khoáng hóa carbon

hoạt động khai thác khoáng sản, tất cả đều phát thải lượng khí CO₂ đáng kể. Chính phủ đã ban hành một chính sách mới về giảm lượng khí thải nhà kính theo Nghị định số 06/2022/ND-CP quy định về giảm lượng khí thải nhà kính và bảo vệ tầng ô zon. Không thể phủ nhận rằng, để đạt được mục tiêu của Chính phủ, trong tương lai gần sẽ cần có các biện pháp để giảm lượng khí thải nhà kính. Nghiên cứu này đề xuất một mô hình khoáng hóa carbon để tái chế bùn đỏ và tro bay tại Việt Nam, được thể hiện trong sơ đồ hình 6. Carbon từ nhà máy nhiệt điện và các ngành công nghiệp khác sẽ được thu gom và tập kết, sau đó được khoáng hóa với bùn đỏ và tro bay để ổn định các kim loại nặng trong bùn đỏ. Sản phẩm của quá trình khoáng hóa được sử dụng làm phụ gia cho các ngành công nghiệp khác như vật liệu xây dựng và xi măng.

Khái niệm về xi măng xanh đã được đề cập từ những năm 1950. Tuy nhiên, cho đến thời điểm hiện tại, việc ứng dụng

công nghệ xi măng xanh trong các ngành công nghiệp vẫn còn hạn chế. Các nhà nghiên cứu từ Viện Khoa học Địa chất và Khoáng sản Hàn Quốc (KIGAM) phối hợp với Công ty Hanil Hàn Quốc đã tiến hành nghiên cứu thử nghiệm về tổng hợp Canxi Sulfoaluminate (CSA) với mục tiêu giảm thiểu biến đổi khí hậu. Kết quả từ nghiên cứu cho thấy quá trình tổng hợp CSA đã giảm lượng CO₂ được phát thải. Hơn nữa, xi măng CSA vượt trội so với xi măng Portland thông thường (OPC) về các tính chất vật lý (hình 7).

Một trong những đặc điểm đặc biệt của xi măng CSA là sử dụng các vật liệu thay thế, bao gồm tro bay từ nhà máy nhiệt điện than với công nghệ CFBC (Circulating Flow Bed Combustion) và bùn đỏ. Những nguyên liệu thay thế này được thêm vào trong quá trình cung cấp nguyên liệu cho sản xuất clinker, từ đó giảm lượng khí thải nhà kính bằng cách giảm lượng chất thải thải ra CO₂ (quá trình phát thải) và nhiên



Hình 7. Sự khác biệt về quy trình sản xuất giữa xi măng Portland truyền thống và xi măng xanh

liệu than cháy sinh ra thông qua quá trình phân hủy carbon trong quá trình nung clinker. Kỹ thuật này tăng tỷ lệ nguyên liệu pha trộn trong xi măng để giảm khí thải nhà kính thông qua việc giảm sản xuất clinker. Quy trình sản xuất xi măng CSA như sau:

- Quá trình 1 (cung cấp nguyên liệu): Các nguyên liệu như đá vôi, tro bay và bùn đỏ pha trộn theo tỉ lệ, được nghiền mịn, sấy khô qua máy nghiền. Sau đó được bảo quản trong silo để đi đến quá trình nung, clinker;

- Quá trình 2 (Nung): Sử dụng lò quay để nung clinker. Nguyên liệu pha trộn được sản xuất trong quá trình 1 được cung cấp từ đầu trên của tháp tiền nhiệt. Từ cửa lò, nhiên liệu dầu diesel hoặc than bột được thổi vào bếp lò để đốt cháy nguyên liệu. Vật liệu pha trộn được nung ở nhiệt độ 1250°C bên trong lò để tạo ra clinker CSA. Sau đó được làm nguội nhanh bằng không khí;

- Quá trình 3 (Trộn - Nghiền): Clinker CSA đã được làm nguội sau quá trình nung chảy trong lò được nghiền mịn trong nhà máy xi măng với thạch cao, clinker OPC và các nguyên liệu pha trộn khác để sản xuất xi măng CSA. So với quy trình sản xuất xi măng OPC truyền thống, xi măng CSA có một số đặc điểm nổi bật: (i) giảm lượng khí thải trong quá trình nung chảy dựa trên

việc giảm lượng đá vôi thông qua việc sử dụng nguyên liệu thay thế trong quá trình sản xuất clinker; (ii) giảm lượng khí thải từ nhiên liệu hóa thạch do giảm nhiệt độ nung chảy bằng cách sử dụng nguyên liệu thay thế; (iii) giảm lượng khí thải nhà kính nhờ giảm sản xuất clinker bằng cách tăng tỷ lệ nguyên liệu pha trộn. Theo đó, một số lợi ích của xi măng CSA là:

+ Độ bền nén của bê tông được xây dựng bằng xi măng CSA đạt trên 5000 psi trong vòng 24 giờ. Hơn nữa, xi măng CSA có cùng độ cứng như xi măng Portland sau 24 giờ, trong khi xi măng Portland cần tới 28 ngày để hoàn toàn đông cứng. Do đó, xi măng CSA được ưu tiên hơn xi măng OPC trong một số ứng dụng yêu cầu đặc tính cài đặt nhanh và độ bền cao. Ví dụ, khi xây dựng đường băng sân bay hoặc sửa chữa cầu đường cần xây dựng nhanh, tốc độ thi công là quan trọng. Do đó, trong tình huống khẩn cấp như vậy, xi măng CSA được ưu tiên hơn xi măng OPC;

+ Xi măng Portland yêu cầu nhiệt độ nung chảy 1450°C trong lò, trong khi xi măng CSA chỉ cần 1250°C [19]. Cho nên tiêu thụ năng lượng và công suất của clinker OPC lớn hơn clinker. Do đó, chi phí sản xuất xi măng CSA thấp hơn xi măng OPC.

Bảng 5. Thành phần hóa học cần thiết đối với xi măng OPC, CSA và tính chất tro bay, bùn đỏ ở Việt Nam

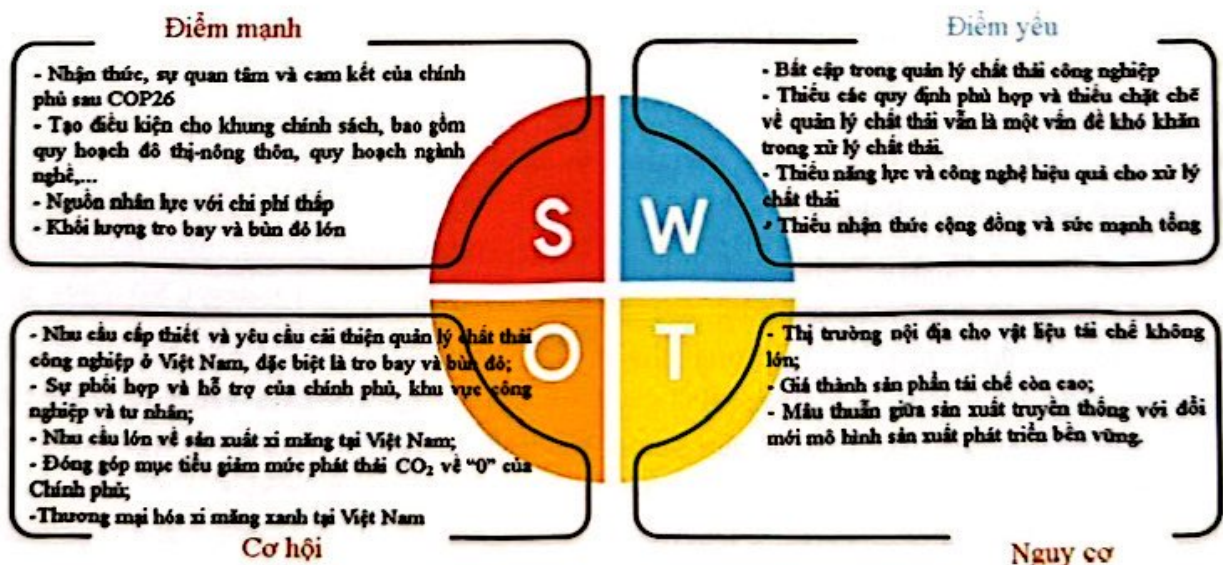
Stt	Vật liệu	Tính chất				
		CaO	Si ₂ O	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃
1	Xi măng Portland	60-67%	17-25%	3-8%	0.5-6%	1-3%
2	Xi măng CSA	52.8%	1.5%	16.1%	0.5%	27.5%
3	Tro bay	0.81-7.1%	46.4-57%	22-25%	4.7-15.6	0.15-0.9
4	Bùn đỏ	4.48-5.2%	6.62-6.72	16.91-17.56	46.41-46.32	0.35

Hàm lượng hóa học yêu cầu cho xi măng OPC và xi măng CSA được so sánh với các đặc tính tro bay và bùn đỏ ở Việt Nam (bảng 5) cho thấy các đặc tính tro bay và bùn đỏ của Việt Nam thích hợp như nguyên liệu thay thế cho việc sản xuất xi măng xanh.

3.2.2. Giảm phát thải khí CO₂

Trong quá trình sản xuất xi măng OPC, 48% lượng CO₂ được thải ra môi trường thông qua quá trình chuyển đổi CaCO₃ thành CaO. Ngoài ra, 42% CO₂ bổ sung được thải vào không khí thông qua đốt nhiên liệu hóa thạch để đạt nhiệt độ cao trong lò nung. Do đó, tỷ lệ khí thải CO₂ đạt 90% trong sản xuất xi măng OPC. Trái lại,

quá trình sản xuất 1 tấn xi măng CSA chỉ tạo ra 216 kg CO₂, giảm khoảng 62% so với OPC [10]. Trước đây, thực tiễn thông thường trong việc sử dụng xi măng CSA là thay thế OPC bằng các chất thải công nghiệp dựa trên pozzolan như tro bay và tro lò nung thép với tỷ lệ thông thường khoảng 10% - 30% [19]. Tuy nhiên, việc thay thế 100% OPC bằng CSA, được biết đến là xi măng xanh, sẽ giúp bảo vệ môi trường vì việc giảm khí thải CO₂ là rất đáng kể. So với OPC, đã chứa một lượng lớn chất thay thế “pozzolan” xanh bằng tro bay và tro lò nung, xi măng CSA thải ra từ 2 đến 6 lần ít CO₂ hơn [19]. Trong chín dạng xi măng khác nhau bao gồm magnesi (xi măng Sorel), natri metacrylic (thủy tinh lỏng) và



Hình 8. Phân tích SWOT việc sử dụng tro bay và bùn đỏ làm nguyên liệu sản xuất xi măng xanh



xi măng nhôm canxi, xi măng CSA thải ra ít nhất lượng CO_2 .

3.2.3. Khả năng thương mại hóa xi măng xanh tại Việt Nam

Ngành xi măng tại Việt Nam hiện có 90 dây chuyền sản xuất, với tổng công suất 106,6 triệu tấn/năm. Tiêu thụ nội địa và xây dựng cơ sở hạ tầng trong nước vẫn là mục tiêu chính của đa số nhà sản xuất xi măng trong nước. Theo số liệu thống kê của Hiệp hội Xi măng Việt Nam trong tháng 1 năm 2021, sản lượng xi măng trong tháng đầu năm đạt 7,16 triệu tấn. Trong tháng 1, tiêu thụ xi măng và clinker khoảng 8,22 triệu tấn, tăng 52% so với cùng kỳ năm 2020 và giảm 15% so với tháng 12/2020. Tổng tiêu thụ xi măng và clinker trong quý I năm 2021 đạt 21,6 triệu tấn, tăng 2,6% so với cùng kỳ, trở thành điểm sáng trong hình ảnh tiêu thụ vật liệu xây dựng. Hiện nay, có 89 nhà máy xi măng tại Việt Nam, trong đó có 66 nhà máy tích hợp, một nhà máy clinker và 22 nhà máy nghiền.

Với khối lượng tro bay và bùn đỏ được thải ra môi trường hàng năm rất lớn, cho thấy tiềm năng của việc tái chế để sản xuất xi măng xanh sẽ mang lại lợi ích về kinh tế và an toàn môi trường. Từ kết quả phân tích SWOT (hình 8), xi măng xanh với lượng khí thải CO_2 thấp có thể được thương mại hóa trên thị trường Việt Nam để đạt được mục tiêu giảm phát thải CO_2 về "0" năm 2050 của Chính phủ.

4. Kết luận

- Việt Nam là một quốc gia có lượng khí thải nhà kính rất lớn, không chỉ trong khu vực mà còn trên toàn cầu. Sau COP26, Việt Nam cam kết giảm lượng khí thải đến

mức không còn vào năm 2050. Điều này mở ra cơ hội hợp tác trong việc chuyển giao công nghệ CCUS để giảm lượng khí thải nhà kính tại Việt Nam.

- Nghị định số 06/2022/ND-CP do Chính phủ ban hành quy định về việc giảm lượng khí thải nhà kính và bảo vệ tầng ôzôn. Đây là một bước quan trọng để buộc các đơn vị sản xuất của các tập đoàn kinh tế quốc gia như nhiệt điện, xi măng và bauxite áp dụng công nghệ tiên tiến trong việc giảm lượng khí thải nhà kính.

- Lượng tro than và bùn đỏ xả vào môi trường hàng năm rất lớn. Tuy nhiên, quản lý và tái chế tro than và bùn đỏ hiện tại ở Việt Nam còn hạn chế. Hiện tại, chưa có giải pháp phù hợp để tái chế tro than và bùn đỏ. Nghiên cứu này đề xuất một giải pháp thay thế để tái chế tro than và bùn đỏ như một nguyên liệu phụ gia cho sản xuất xi măng xanh sau quá trình carbonat hóa. Công nghệ này có tiềm năng đóng góp quan trọng vào việc giảm lượng khí thải CO_2 , giúp Chính phủ Việt Nam đạt được mục tiêu quốc gia về carbon về "0" vào năm 2050 và mang lại hiệu quả kinh tế.

- Cuối cùng, kết quả nghiên cứu này tập trung vào giải pháp kỹ thuật dựa trên một nghiên cứu thử nghiệm thành công tại Hàn Quốc. Do đó, việc áp dụng công nghệ này tại Việt Nam đòi hỏi nghiên cứu đánh giá tính khả thi và dự án thực nghiệm. Tuy nhiên, dựa trên kết quả nghiên cứu thực tế, các giải pháp khoáng chất hóa carbon chắc chắn có thể đóng góp rất lớn vào việc đạt được mục tiêu của Việt Nam trong việc giảm lượng khí thải nhà kính về "0" vào năm 2050 □



TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. The World Bank, "The World Bank in Vietnam" <https://www.worldbank.org/en/country/vietnam/overview#1> (accessed Jan. 01, 2022).
2. Tran, Q. M.: Projection of fossil fuel demands in Vietnam to 2050 and climate change implications, Asia & the Pacific Policy Studies, 6(2), pp. 208-221 (2019).
3. EPA., 2022, Global greenhouse gas emissions data, United States Environment Protection Agency.
<https://www.epa.gov/ghgemissions/global-greenhouse-gas-emissions-data> (accessed Jan. 01, 2022).
4. EVN.: EVN annual report 2021, Vietnam Electricity (2021). <https://en.evn.com.vn/d6/news/Annual-Report-2021-6-13-2537.aspx> (accessed December 01, 2021).
5. Hanah Ritchie., Max Roser, "Vietnam: CO₂ country profile," Our World in Data. <https://ourworldindata.org/co2/country/vietnam> (accessed December 01, 2021).
6. Zhang, S., Liu, L., Zhang, L., Zhuang, Y., Du, J.: An optimization model for carbon capture utilization and storage supply chain: A case study in Northeastern China, Applied Energy, 231, pp. 194-206 (2018).
7. Decision No. 2359/QĐ-TTg dated December 22, 2015 of the Prime Minister: Approving the National System of GHG inventory (2015).
8. Decree No. 06/2022/ND-CP dated January 07, 2022 of the Government providing regulations on reduction of greenhouse gas emissions and protection of the ozone layer (2022).
9. Law on environmental protection No. 55/2014/QH13 dated June 23, 2014 of the Vietnam National Assembly.
10. Thenepalli, T., Ngoc, N. T. M., Tuan, L. Q., Son, T. H., Hieu, H. H., Thuy, D. T. N., ... & Ahn, J. W.: Technological solutions for recycling ash slag from the Cao Ngan coal power plant in Vietnam, Energies, 11(8) (2018).