

Kinh tế tuần hoàn trong sản xuất vật liệu xây dựng: Hiện trạng, tiềm năng và giải pháp thực hiện

Nguyễn Minh Quỳnh Nhung^{1*}, Lê Thị Song¹, Nguyễn Thị Tâm¹

¹ Viện Vật liệu Xây dựng

TỪ KHOÁ

Kinh tế tuần hoàn
Vật liệu xây dựng
Chất thải công nghiệp
Tái sử dụng chất thải
Nhiên liệu thay thế
Giảm phát thải
Lộ trình

TÓM TẮT

Bối cảnh cạn kiệt tài nguyên, ô nhiễm môi trường và biến đổi khí hậu đòi hỏi sự chuyển đổi từ mô hình kinh tế tuyến tính sang mô hình kinh tế tuần hoàn (KTTH). Ngành sản xuất vật liệu xây dựng (VLXD) là một trong các ngành có mức tiêu thụ tài nguyên và phát thải khí nhà kính lớn. Bài báo tổng hợp kết quả điều tra, khảo sát và phân tích nhằm đánh giá hiện trạng, tiềm năng áp dụng KTTH trong các tiểu ngành VLXD tại Việt Nam (xi măng, gốm sứ, kính xây dựng, gạch ốp lát, gạch nung và không nung), đồng thời đề xuất giải pháp và lộ trình triển khai phù hợp với bối cảnh quốc gia. Kết quả nghiên cứu chỉ ra: (i) ngành VLXD có tiềm năng lớn trong việc sử dụng các loại chất thải công nghiệp làm nguyên liệu, nhiên liệu thay thế; (ii) việc áp dụng KTTH có thể giảm phát thải CO₂, tiết kiệm tài nguyên và chi phí xử lý chất thải; nhưng (iii) vẫn tồn tại nhiều rào cản kỹ thuật, pháp lý và thị trường. Trên cơ sở kết quả phân tích, bài báo đề xuất một bộ giải pháp đồng bộ về chính sách, công nghệ, quản lý và tài chính cùng lộ trình ba giai đoạn (2025–2030: thí điểm; 2030–2040: mở rộng; 2040–2050: tích hợp và hoàn thiện). Các kiến nghị cụ thể nhằm mục tiêu tạo thuận lợi cho việc đưa KTTH vào thực tiễn sản xuất VLXD tại Việt Nam, góp phần đạt các mục tiêu phát triển bền vững và cam kết giảm phát thải quốc gia.

KEYWORDS

Circular economy
Construction materials
Industrial waste
Reusing waste
Alternative fuel
Emissions reduction
Roadmap

ABSTRACT

The depletion of natural resources, environmental pollution, and climate change necessitate a transition from the linear economic model to the circular economy (CE) model. The construction materials industry is among the sectors with high resource consumption and greenhouse gas emissions. This paper synthesizes investigation, survey, and analytical results to assess the current situation and potential for CE implementation across sub-sectors of Vietnam's construction materials industry (including cement, ceramics, construction glass, tiles, fired bricks, and unfired bricks). It further proposes appropriate solutions and a roadmap aligned with the national context. The research findings indicate that: (i) the construction materials industry has substantial potential for utilizing various types of industrial waste as alternative raw materials and fuels; (ii) the adoption of CE can reduce CO₂ emissions, conserve resources, and lower waste treatment costs; however, (iii) there remain significant technical, legal, and market barriers. Based on these findings, the paper proposes an integrated set of policy, technological, managerial, and financial measures, along with a three-phase roadmap (2025–2030: pilot phase; 2030–2040: expansion; 2040–2050: integration and optimization). Specific recommendations are provided to facilitate the practical implementation of the circular economy in Vietnam's construction materials production sector, contributing to the achievement of sustainable development goals and national emission reduction commitments.

1. Giới thiệu

Trong bối cảnh tài nguyên thiên nhiên suy giảm, việc khai thác và sử dụng nguyên liệu thô phục vụ ngành sản xuất VLXD đang đặt ra những thách thức lớn về môi trường và an ninh tài nguyên. Trên phạm vi toàn cầu, các báo cáo chuyên ngành chỉ ra rằng nếu tiếp tục theo mô hình kinh tế tuyến tính thì nhu cầu tài nguyên sẽ gia tăng mạnh và vượt quá khả năng hồi phục của hệ sinh thái. Tại Việt Nam, tăng trưởng ngành xây dựng trong những năm gần đây đạt mức cao khiến nhu cầu

VLXD tăng nhanh, dẫn tới khai thác khoáng sản, tiêu thụ năng lượng và phát thải khí nhà kính ở mức đáng kể.

Trước hiện trạng đó, KTTH được xem là một hướng đi chiến lược để giảm phụ thuộc vào nguyên liệu sơ cấp, giảm phát thải, đồng thời tạo giá trị từ chất thải thông qua tái sử dụng, tái chế và đồng xử lý [1]. Mục tiêu của bài báo này là trình bày kết quả tổng hợp và phân tích, nhằm: (i) mô tả hiện trạng sử dụng nguyên nhiên liệu và xử lý chất thải trong ngành VLXD tại Việt Nam; (ii) đánh giá tiềm năng sử dụng chất thải làm nguyên, nhiên liệu thay thế; (iii) xác định rào cản và yếu tố

*Liên hệ tác giả: nmquynhnhung@gmail.com

Nhận ngày 15/10/2025, sửa xong ngày 12/01/2026, chấp nhận đăng ngày 13/01/2026

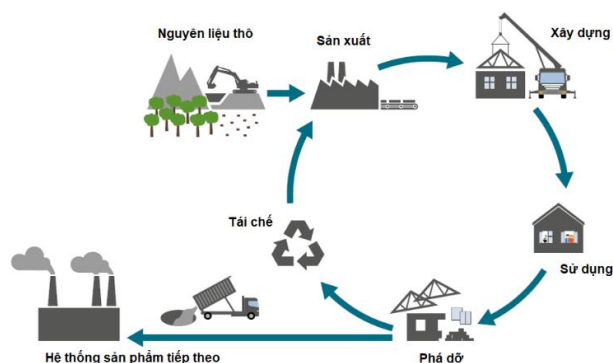
Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.01.2026.1145>

thúc đẩy; và (iv) đề xuất lộ trình, giải pháp kỹ thuật - chính sách để thực hiện KTTH trong ngành.

2. Cơ sở lý thuyết và kinh nghiệm quốc tế

2.1. Khái niệm và nguyên tắc cơ bản của KTTH

KTTH là mô hình kinh tế trong đó các hoạt động thiết kế, sản xuất, tiêu dùng và dịch vụ được tổ chức nhằm giảm khai thác nguyên liệu, kéo dài vòng đời sản phẩm, hạn chế chất thải phát sinh và giảm thiểu tác động xấu đến môi trường [2]. Các nguyên tắc cốt lõi bao gồm: (i) ưu tiên giảm và tiết kiệm nguyên liệu đầu vào; (ii) duy trì giá trị cao nhất của sản phẩm và vật liệu thông qua sửa chữa, tái chế, tái sản xuất; và (iii) thiết kế sản phẩm có tính bền vững, dễ tách rời, dễ tái chế. Đối với ngành VLXD, các chiến lược chủ yếu gồm giảm tiêu thụ clinker trong xi măng, sử dụng phụ gia khoáng (tro bay, xỉ), sử dụng vật liệu không nung, đưa vật liệu tái chế vào hỗn hợp bê tông và gạch, cũng như áp dụng công nghệ đồng xử lý chất thải trong lò nung xi măng.



Hình 1. Sơ đồ tóm tắt mô hình KTTH trong ngành VLXD.

2.2. Kinh nghiệm trong triển khai KTTH tại một số quốc gia trên thế giới

Các quốc gia thường triển khai KTTH theo hai cách tiếp cận cơ bản: (i) tiếp cận theo hệ thống nền kinh tế, tức là xây dựng vòng tuần hoàn vật liệu ở cấp thành phố, khu công nghiệp, vùng với sự liên kết giữa các ngành; và (ii) tiếp cận theo nhóm ngành, sản phẩm hoặc vật liệu, tức là ưu tiên tập trung vào một số vật liệu trọng điểm (ví dụ nhựa, kim loại, xây dựng) và các ngành liên quan để đạt hiệu quả nhanh. Ví dụ, Trung Quốc áp dụng mô hình đa cấp độ (vĩ mô - trung mô - vi mô), trong khi nhiều nước EU vừa triển khai các chính sách ở cấp liên minh vừa khuyến khích các sáng kiến cấp quốc gia và địa phương theo từng ngành.

Liên minh châu Âu (EU) đã phát triển “Kế hoạch hành động kinh tế tuần hoàn” (Circular Economy Action Plan) [3], trong đó xây dựng chính sách hỗ trợ thiết kế sinh thái, tăng tỷ lệ tái chế, quản lý chất thải xây dựng và khuyến khích mua sắm công xanh. Yêu cầu công bố thông tin vòng đời sản phẩm (LCA/EPD) được tích hợp dần vào các tiêu chuẩn sản phẩm xây dựng, đồng thời EU khuyến khích áp dụng chỉ số chi phí môi trường (MKI) để đo lường tác động môi trường của vật liệu.

Tại Nhật Bản, hệ thống pháp luật và quản lý về tái chế được hoàn

thiện, tỷ lệ tái chế kim loại và các vật liệu công nghiệp cao; các chỉ số về năng suất tài nguyên được áp dụng để đo lường tiến trình chuyển đổi. Tại Hà Lan và Thụy Điển, mô hình khu công nghiệp sinh thái và phát triển chuỗi cung ứng tuần hoàn đã được triển khai từ lâu, tập trung vào chia sẻ năng lượng, vật liệu và xử lý chất thải chung giữa các doanh nghiệp.

2.3. Tiêu chí chung trong đánh giá thực hiện KTTH

Dựa trên sự tổng hợp từ các hệ thống đánh giá quốc tế như LCA, EMF, Level(s), BCI, ISO 59020 [4, 5, 6, 7, 8], các tiêu chí chính trong đánh giá mức độ thực hiện KTTH trong sản xuất VLXD có thể chia thành 6 nhóm:

1. Hiệu quả sử dụng tài nguyên: Tỷ lệ nguyên liệu tái chế, tái sử dụng; Tỷ lệ tiết kiệm nguyên liệu thô; Hiệu quả khai thác & logistics.
2. Hiệu quả năng lượng & phát thải: Năng lượng tiêu thụ / đơn vị sản phẩm; Tỷ lệ năng lượng tái tạo; Phát thải CO₂, bụi, khí thải.
3. Quản lý nước & chất thải: Tỷ lệ nước tái sử dụng; Tỷ lệ chất thải tái chế nội bộ; Lượng phế phẩm đưa đi chôn lấp.
4. Thiết kế sản phẩm tuần hoàn: Khả năng tháo dỡ, tái sử dụng, tái chế; Độ bền và vòng đời sản phẩm; Vật liệu có thể tách rời / modular.
5. Chuỗi cung ứng và vòng đời: Nguồn nguyên liệu tuần hoàn; Hệ thống thu hồi sản phẩm; Tỷ lệ sản phẩm có chứng nhận EPD / nhãn xanh.
6. Quản trị, kinh tế & xã hội: Chính sách KTTH; Đầu tư nghiên cứu tuần hoàn; Việc làm xanh, lợi ích xã hội; Báo cáo minh bạch & công bố dữ liệu.

Ngành sản xuất VLXD có đặc thù là tiêu thụ nhiều tài nguyên, năng lượng và phát thải cao, nhưng đồng thời cũng có tiềm năng lớn trong áp dụng KTTH thông qua tái sử dụng phế thải, tiết kiệm năng lượng và kéo dài vòng đời sản phẩm.

3. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu này kết hợp cả phương pháp định tính và định lượng để đảm bảo tính toàn diện của phân tích. Các bước chính bao gồm:

- Thu thập và phân tích tài liệu: Tổng hợp các văn bản pháp luật, chiến lược quốc gia, tiêu chuẩn kỹ thuật (TCVN, QCVN), báo cáo nghiên cứu trong nước và quốc tế liên quan đến KTTH và sản xuất VLXD.
- Khảo sát điều tra thực địa: Tiến hành phỏng vấn và khảo sát bằng bảng câu hỏi với một mẫu đại diện gồm các cơ sở sản xuất xi măng, gốm sứ, kính xây dựng, gạch ốp lát, gạch nung và không nung trên phạm vi cả nước. Mục tiêu là thu thập dữ liệu về quy trình sản xuất, lượng nguyên liệu, lượng và tính chất chất thải phát sinh, phương thức xử lý hiện tại, và khả năng tiếp nhận nguyên liệu phụ phẩm.
- Lấy mẫu và phân tích: Lấy mẫu tro bay, xỉ, thạch cao, bùn và một số chất thải đặc thù từ các nhà máy tiêu biểu, tiến hành thử nghiệm các thông số hóa học (pH, hàm lượng kim loại nặng, hàm ẩm), đặc tính cơ lý khi áp dụng cho sản phẩm VLXD, và kiểm tra các chỉ tiêu an toàn (phóng xạ, các hợp chất hữu cơ độc hại nếu có).

- Tham vấn chuyên gia và hội thảo: Tổ chức hội thảo với các chuyên gia trong lĩnh vực VLXD, môi trường và chính sách để thảo luận về kết quả phân tích, độ khả thi kỹ thuật và các giải pháp thực tiễn.

- Phân tích tiềm năng: Sử dụng dữ liệu khảo sát và thử nghiệm để đánh giá khả năng thay thế nguyên liệu sơ cấp bằng nguyên liệu phụ phẩm trong từng tiểu ngành, cũng như ước tính quy mô tiềm năng tiết giảm phát thải và chi phí xử lý.

Quá trình nghiên cứu tuân thủ nguyên tắc khoa học, minh bạch và có kiểm chứng thực nghiệm, đảm bảo các khuyến nghị xuất phát từ bằng chứng.

4. Hạn chế nghiên cứu

- Phạm vi và độ sâu phân tích: Phạm vi rộng, mang tính tổng hợp và định hướng, chưa đi sâu vào đặc thù công nghệ, quy mô sản xuất và điều kiện kinh tế – kỹ thuật khác nhau giữa các loại hình cơ sở.

- Số liệu khảo sát: Đã tiến hành khảo sát, điều tra tại 27 cơ sở sản xuất và gửi phiếu điều tra tới 197 đơn vị trên toàn quốc. Tuy vậy, so với quy mô và mức độ phân tán của toàn ngành, số lượng mới chỉ mang tính đại diện.

- Dữ liệu định lượng: Chưa thực hiện các phân tích như đánh giá vòng đời sản phẩm (LCA), cân bằng vật chất – năng lượng chi tiết hay lượng hóa mức giảm phát thải khí nhà kính cho từng kịch bản.

- Đề xuất mô hình: Chỉ định hướng chiến lược và chính sách, chưa kiểm chứng thông qua các mô hình thí điểm quy mô lớn hoặc đánh giá thực nghiệm dài hạn.

- Đánh giá thị trường: Nghiên cứu tập trung chủ yếu vào khâu sản xuất và quản lý tài nguyên – chất thải, các yếu tố về thị trường tiêu thụ, hành vi của chủ đầu tư, nhà thầu và người sử dụng cuối cùng đối với các sản phẩm VLXD tuần hoàn chưa được xét đến.

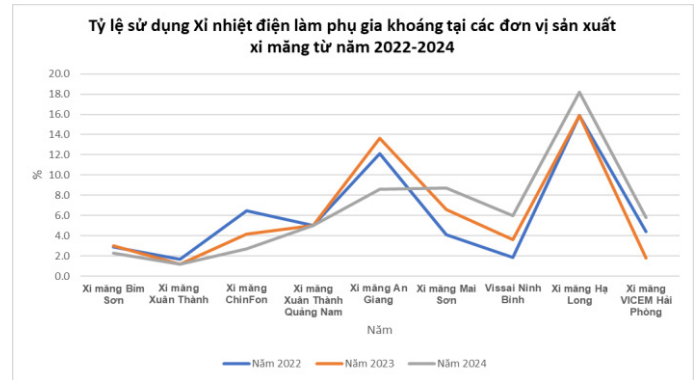
- Tác động của chính sách: Nghiên cứu đã rà soát đầy đủ khung pháp lý hiện hành, song chưa tính đến tác động cụ thể của các chính sách này đối với chi phí sản xuất, năng lực cạnh tranh của doanh nghiệp và hiệu quả chuyển đổi mô hình sản xuất theo từng giai đoạn.

5. Hiện trạng sử dụng nguyên nhiên liệu và xử lý chất thải trong ngành VLXD

Hiện nay Việt Nam đang đối mặt với tình trạng phát sinh lượng lớn chất thải rắn và nhu cầu năng lượng cao trong sản xuất. Cụ thể, tổng lượng rác thải nhựa ước tính khoảng 1,83 triệu tấn/năm; chất thải rắn sinh hoạt khoảng hơn 61.000 tấn/ngày, trong đó khoảng 71 % (tương đương ~43.000 tấn/ngày) được xử lý bằng phương pháp chôn lấp [9]. Về năng lượng, Việt Nam đã phải nhập khẩu than từ năm 2015 và có dự báo nhu cầu nhập khẩu than có thể tăng mạnh đến năm 2030. Bên cạnh đó, hệ thống kiểm kê quốc gia cho thấy phát thải ngành sản xuất VLXD được dự báo đạt khoảng 150 triệu tấn CO₂ tương đương vào năm 2030 và tăng lên khoảng 148 triệu tấn CO₂ tương đương vào năm 2050, trong đó sản xuất xi măng chiếm tỷ trọng lớn (ước khoảng 70 % trong nhóm ngành này) [10].

Trong những năm gần đây, sự tăng trưởng nhanh của ngành xây dựng với mức tăng cao đến 9,62 % [11] đã kéo theo nhu cầu VLXD tăng dần. Điều này dẫn tới việc tăng khai thác khoáng sản (đá vôi, đất sét, cát sỏi) và tiêu thụ năng lượng đáng kể, đặc biệt trong các quá trình nung và sấy.

5.1. Ngành xi măng



Hình 2. Tỷ lệ sử dụng xi nhiệt điện tại các cơ sở sản xuất xi măng từ năm 2022–2024 [13].

Ngành xi măng là lĩnh vực tiên phong trong áp dụng mô hình KTTH nhờ khả năng hấp thụ khối lượng lớn chất thải công nghiệp làm nguyên, nhiên liệu thay thế do đặc thù công nghệ có khả năng đồng xử lý chất thải trong lò nung clinker ở nhiệt độ cao. Thành phần nguyên liệu chủ yếu trong sản xuất xi măng gồm: đá vôi (80 %), đất sét (15 %), phụ gia điều chỉnh (5 %) như quặng sắt, bôxít, tro bay hoặc xi thép. Trong đó, tro bay và xi lò cao có thể thay thế một phần đáng kể đất sét hoặc clinker – nhờ chứa hàm lượng oxit silicat và aluminat cao, góp phần giảm tiêu thụ tài nguyên thiên nhiên và giảm phát thải CO₂.

Hiện nay, các doanh nghiệp đã sử dụng các loại phế thải như tro bay, xi nhiệt điện, xi lò cao, thạch cao nhân tạo, bùn thải và xi thép trong phối liệu sản xuất clinker và xi măng. Mục tiêu đến năm 2030, tỷ lệ clinker trong xi măng giảm xuống còn khoảng 65 %, đồng thời nâng tỷ lệ sử dụng nhiên liệu thay thế lên trên 15 % [12].

Về nhiên liệu, các cơ sở sản xuất đang chuyển đổi mạnh mẽ từ than đá sang các nguồn năng lượng thay thế như: rác thải sinh hoạt đã xử lý (RDF), nhựa phế thải, bùn thải công nghiệp, vỏ trấu, lõi ngô, và sinh khối. Mục tiêu đến năm 2030, tỷ lệ năng lượng thay thế đạt 15–20 % tổng năng lượng tiêu thụ, tương đương giảm khoảng 20–25 % phát thải khí nhà kính so với hiện nay [14]. Tuy nhiên, ngành vẫn đối mặt với nhiều thách thức như công nghệ xử lý chưa đồng bộ, thiếu tiêu chuẩn kỹ thuật rõ ràng, chi phí logistics cao và nguồn cung chất thải không ổn định.

5.2. Ngành xử lý chất thải

Ngành xử lý chất thải là một trong những phân ngành tiêu biểu của công nghiệp VLXD, với sản lượng chiếm khoảng 20–25 % giá trị sản

xuất nhóm vật liệu gốm sứ tại Việt Nam [15]. Sản phẩm bao gồm bồn cầu, chậu rửa, bồn tắm, tiểu nam – nữ, và phụ kiện gốm sứ kỹ thuật, phục vụ nhu cầu dân dụng và xuất khẩu. Đặc trưng của ngành là sử dụng nhiều năng lượng, tiêu tốn tài nguyên thiên nhiên và phát sinh lượng chất thải đáng kể trong các công đoạn đồ rót, tráng men và nung.

Nguyên liệu chính của sản xuất sứ vệ sinh bao gồm cao lanh, đất sét, fenspat, thạch anh, silica và một số phụ gia tạo màu, chất điện giải và men phủ. Tỷ lệ nguyên liệu thường theo tỷ lệ: đất sét (35–40 %), cao lanh (25–30 %), fenspat (20–25 %) và thạch anh (10–15 %) [16]. Ngành này cần nguồn nhiên liệu sạch nên các cơ sở sản xuất sử dụng nguyên liệu khí tự nhiên, LPG hoặc CNG. Một số doanh nghiệp tiên phong đã triển khai tái sử dụng nước thải công nghiệp, nâng tỷ lệ từ 26 % (năm 2020) lên 59 % (năm 2023) và đặt mục tiêu đạt 70 % trong các năm tới [13]. Mô hình này cho thấy khả năng giảm tiêu thụ nước sạch và giảm chi phí vận hành nhờ tuần hoàn nội bộ dòng nước thải.

5.3. Ngành kính xây dựng

Ngành kính xây dựng là một trong những lĩnh vực tiêu thụ năng lượng lớn, nhưng đồng thời cũng có tiềm năng tuần hoàn cao nhờ khả năng tái chế hoàn toàn nguyên liệu mà không làm suy giảm tính chất vật lý, hóa học của sản phẩm. Sản xuất kính xây dựng chủ yếu dựa trên hỗn hợp phối liệu gồm cát silica (70–72 %), soda (13–14 %), đá vôi (10 %), dolomit, và một lượng nhỏ sunfat hoặc chlorid để khử bọt khí. Quá trình nấu chảy diễn ra ở nhiệt độ rất cao (khoảng 1.500 °C), tiêu tốn nhiều năng lượng. Tuy nhiên, nếu sử dụng thủy tinh tái chế, năng lượng tiêu thụ có thể giảm đáng kể. Tỷ lệ thủy tinh tái chế trong phối liệu ở nước ta hiện nay đạt khoảng 15–20 %, ngoài ra, toàn bộ lượng kính vụn và sản phẩm lỗi phát sinh trong quá trình sản xuất đều được thu hồi và tái sử dụng làm nguyên liệu đầu vào. Về nhiên liệu, các cơ sở sản xuất chủ yếu sử dụng nhiên liệu khí hóa lỏng (LPG, CNG) hoặc dầu FO/DO.

5.4. Ngành gạch gốm ốp lát

Ngành gạch gốm ốp lát là một trong những lĩnh vực phát triển mạnh trong công nghiệp VLXD Việt Nam, sản phẩm được sử dụng rộng rãi trong xây dựng dân dụng và xuất khẩu. Nguyên liệu chính bao gồm đất sét, cao lanh, fenspat, bột đá vôi, silica và một số phụ gia như talc hoặc dolomit. Quá trình sản xuất có các công đoạn: Chuẩn bị và phối trộn nguyên liệu; Tạo hình (ép bán khô hoặc ép ướt); Sấy; Tráng men; Nung ở 1.150–1.220 °C; Phân loại và đóng gói. Trong sản xuất gạch gốm ốp lát, nhiên liệu phổ biến là than, LPG, CNG và sinh khối (vỏ hạt điều, cùi trái, bã điều). Mặc dù việc dùng sinh khối giúp giảm phát thải CO₂, nhưng độ ẩm và năng lượng của sinh khối không ổn định, nguồn cung phân tán và chi phí vận chuyển cao. Nhiều doanh nghiệp đã tái sử dụng 100 % nước thải công nghiệp, bụi thu được trong quá trình trọng phối liệu, tạo hình. Nhiều cơ sở đã thu hồi và tái sử dụng nước thải sinh hoạt sau xử lý, qua đó nâng cao hiệu quả tuần hoàn tài nguyên nước.

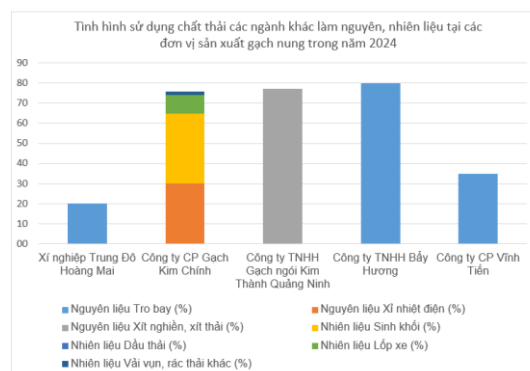
5.5. Ngành gạch không nung

Gạch không nung là sản phẩm có tiềm năng lớn trong định hướng KTTH nhờ sử dụng chất thải. Các loại gạch không nung phổ biến gồm gạch xi măng – cốt liệu, gạch bê tông bọt (AAC), gạch bê tông khí chưng áp, và gạch geopolimer. Nguyên liệu chính thường bao gồm mật đá, xi măng, cát, đá vôi nghiền, thạch cao và nước. Về quy trình công nghệ, sản xuất gạch không nung chủ yếu gồm các công đoạn: (1) Chuẩn bị và phối trộn nguyên liệu, (2) Ép định hình bằng máy rung hoặc ép tĩnh, (3) Dưỡng hộ tự nhiên hoặc hấp hơi nước, và (4) Lưu kho, kiểm tra chất lượng. Gạch không nung có thể tiết kiệm 70–80 % năng lượng so với sản xuất gạch nung [17].

Đặc biệt, nhiều cơ sở đã thay thế một phần nguyên liệu bằng tro bay, xỉ nhiệt điện, xỉ thép, bã thải từ khai thác khoáng sản hoặc gạch phế phẩm nghiền mịn, giúp tăng khả năng liên kết và giảm chi phí nguyên liệu đầu vào... Tuy nhiên, quá trình triển khai mô hình tuần hoàn trong ngành gạch không nung vẫn gặp nhiều hạn chế và thách thức. Một số doanh nghiệp còn e ngại việc sử dụng chất thải công nghiệp có thể ảnh hưởng đến chất lượng cơ lý của sản phẩm, đặc biệt là độ bền nén, độ hút nước và khả năng chịu va đập. Ngoài ra, thiếu tiêu chuẩn kỹ thuật và cơ chế chứng nhận sản phẩm tái chế cũng khiến doanh nghiệp khó tiếp cận thị trường. Một số địa phương có nguồn tro bay và xỉ lớn nhưng lại cách xa các cơ sở sản xuất, dẫn đến chi phí vận chuyển cao và giảm tính kinh tế của mô hình.

5.6. Ngành gạch nung

Ngành gạch nung là tiểu ngành có truyền thống lâu đời nhất, song cũng là ngành tiêu thụ tài nguyên đất sét lớn. Phần lớn các cơ sở sử dụng đất sét tự nhiên làm nguyên liệu, nhưng nguồn cung này đang dần cạn kiệt. Do đó, nhiều cơ sở đã nghiên cứu sử dụng tro bay, xỉ nhiệt điện, xỉ nghiền và các loại chất thải công nghiệp khác làm phụ gia phối trộn. Nhiên liệu sử dụng trong lò nung cũng đang chuyển dịch dần từ than đá và than cám sang dầu thải, lốp xe, rác thải và sinh khối có khả năng thu hồi nhiệt. Một số cơ sở cũng tái sử dụng gạch vỡ, bụi lọc và chất thải chứa năng lượng góp phần giảm chi phí và lượng chất thải phát sinh.



Hình 3. Tình hình sử dụng chất thải các ngành khác làm nguyên, nhiên liệu tại các đơn vị sản xuất gạch nung trong năm 2024 [13].

6. Đánh giá chung và xu hướng phát triển

Nhìn chung, các ngành sản xuất VLXD tại Việt Nam đã có những bước tiến đáng kể trong việc áp dụng các mô hình tái chế và tái sử dụng chất thải. Một số ngành như xi măng, gạch ốp lát và kính xây dựng đã đạt tỷ lệ tái sử dụng chất thải, nước thải và phế phẩm từ 50 % đến 100 %. Tuy nhiên, việc triển khai mô hình KTTH vẫn chưa đồng bộ, thiếu

cơ sở hạ tầng kỹ thuật, thiếu tiêu chuẩn quốc gia thống nhất và còn gặp khó khăn về nguồn cung chất thải cũng như chi phí vận chuyển.

Trong giai đoạn tới, ngành sản xuất VLXD được định hướng tăng cường sử dụng nguyên liệu tái chế, chất thải, phát triển nguồn năng lượng sinh khối thay thế nhiên liệu hóa thạch hướng đến mô hình sản xuất “xanh” – thân thiện môi trường, góp phần giảm phát thải, tiết kiệm tài nguyên và thúc đẩy phát triển bền vững.

Bảng 1. Phân tích mô hình ma trận SWOT cho ngành VLXD.

Điểm mạnh	Điểm yếu
Ngành nền tảng, quy mô lớn, đáp ứng nhu cầu xây dựng và hạ tầng. Một số lĩnh vực (xi măng, gạch ốp lát) có công suất và trình độ công nghệ khá cao. Nguồn nguyên liệu dồi dào, có tiềm năng tận dụng chất thải làm nguyên liệu. Khung pháp lý, chiến lược phát triển VLXD và KTTH ngày càng rõ ràng.	Tiêu hao nhiều tài nguyên, năng lượng; phát thải CO ₂ lớn. Công nghệ không đồng đều, nhiều cơ sở nhỏ lẻ, lạc hậu. Áp dụng KTTH còn hạn chế, chưa đồng bộ giữa các tiểu ngành. Giá trị gia tăng sản phẩm chưa cao, phụ thuộc thị trường xây dựng.
Cơ hội	Thách thức
Xu hướng phát triển VLXD xanh, KTTH, giảm phát thải. Nhu cầu đầu tư hạ tầng, đô thị hóa tiếp tục gia tăng. Chính sách ưu đãi cho dự án xanh, sử dụng chất thải làm VLXD. Cơ hội mở rộng thị trường xuất khẩu cho sản phẩm đáp ứng tiêu chuẩn môi trường.	Yêu cầu ngày càng khắt khe về môi trường, phát thải và thuế carbon. Nguy cơ cạn kiệt tài nguyên, xung đột môi trường - xã hội. Cạnh tranh gay gắt, dư thừa công suất ở một số phân khúc. Rủi ro từ biến động thị trường bất động sản và kinh tế vĩ mô.

7. Tiềm năng sử dụng chất thải làm nguyên, nhiên liệu thay thế

Việc tận dụng phụ phẩm công nghiệp và chất thải rắn từ các ngành công nghiệp khác làm nguyên liệu đầu vào cho sản xuất VLXD được xem là cách trực tiếp nhất để hiện thực hóa mô hình KTTH. Các nguồn chất thải có tiềm năng tái sử dụng lớn nhất hiện nay là tro bay, xỉ đáy, thạch cao FGD, xỉ thép, bùn thải công nghiệp, phế liệu gốm sứ và mảnh vụn kính.

7.1. Tro xỉ nhiệt điện

Tro bay và xỉ đáy là hai loại phụ phẩm chính sinh ra trong quá trình đốt than của các nhà máy nhiệt điện. Trung bình mỗi năm, Việt Nam phát sinh khoảng 13–15 triệu tấn tro, xỉ, trong đó chỉ 50–60 % được tái sử dụng, còn lại phải chôn lấp.

Tro bay có thành phần chủ yếu là SiO₂, Al₂O₃, Fe₂O₃ và CaO, mang tính pozzolanic - có khả năng phản ứng với Ca(OH)₂ trong môi trường ẩm để tạo khoáng chất bền vững tương tự xi măng Portland. Phân tích mẫu trong nghiên cứu này cho thấy nhiều loại tro bay tại Việt Nam có độ mịn, hàm lượng LOI (Loss on Ignition) và tỷ lệ SiO₂ + Al₂O₃ + Fe₂O₃ > 70 %, đạt tiêu chuẩn để làm phụ gia khoáng cho xi măng hoặc bê tông sau khi xử lý sơ bộ (phân loại, nghiền mịn, khử tạp).

Ứng dụng tro bay giúp giảm tỷ lệ clinker trong xi măng từ 5–30 %, tương đương giảm phát thải CO₂ khoảng 0,8 tấn/tấn clinker [18]. Ngoài ra, tro bay còn được sử dụng làm chất độn trong gạch không nung, giúp cải thiện khả năng đóng rắn, tăng cường độ nén và giảm khối lượng riêng của sản phẩm.

Xỉ đáy lò (Bottom ash), do có kích thước hạt lớn hơn, thường được sử dụng làm vật liệu san lấp, nền đường hoặc phụ gia trong sản xuất gạch block và bê tông nhẹ. Các kết quả thử nghiệm t cho thấy xỉ đáy sau xử lý có thể thay thế 10–20 % cốt liệu mịn mà vẫn đảm bảo các chỉ tiêu cơ lý.

7.2. Thạch cao nhân tạo

Thạch cao FGD (Flue Gas Desulfurization gypsum) là sản phẩm phụ của quá trình xử lý khí thải SO₂ tại các nhà máy nhiệt điện đốt than, có thành phần hóa học gần tương đương CaSO₄·2H₂O trong thạch cao tự nhiên. Thạch cao FGD có thể thay thế thạch cao tự nhiên trong một số sản phẩm VLXD, tuy nhiên cần kiểm soát hàm lượng tạp chất và độ ẩm. Nguồn thạch cao FGD tại Việt Nam hiện đạt khoảng 700.000 – 900.000 tấn/năm, tập trung ở các nhà máy nhiệt điện lớn như Vĩnh Tân, Duyên Hải và Hải Phòng. Sau khi qua xử lý sơ bộ (giảm độ ẩm, loại tạp chất và ổn định pH), FGD có thể thay thế hoàn toàn thạch cao tự nhiên trong sản xuất xi măng, tấm thạch cao và vật liệu trang trí.

7.3. Bùn thải, phế liệu gốm sứ và mảnh vụn kính

Các loại bùn thải công nghiệp, phế phẩm gốm sứ và kính vỡ cũng là nguồn nguyên liệu thứ cấp tiềm năng cho sản xuất VLXD.

Bùn thải từ quá trình sản xuất gốm sứ chứa nhiều oxit silic và alumin, có thể được sấy khô, nghiền và bổ sung vào phối liệu thân gốm hoặc xi măng. Các nghiên cứu tại Việt Nam cho thấy việc thay thế 5–

10 % nguyên liệu bằng bùn thải nghiền mịn không ảnh hưởng đến cường độ nén của sản phẩm [17].

Phế liệu gồm sứ và mảnh vụn kính có thể được nghiền nhỏ làm phụ gia trong sản xuất gạch không nung, xi măng hoặc vật liệu nền đường. Khi nghiền mịn dưới 75 μm , thủy tinh thái thể hiện tính pozzolanic, giúp tăng cường độ và giảm tính thấm nước của bê tông [16].

Một số thử nghiệm điển hình trong nghiên cứu này cũng chỉ ra rằng mảnh vụn kính và phế phẩm gốm sứ sau xử lý có thể thay thế 10–15 % cốt liệu mịn trong bê tông và gạch không nung mà vẫn đạt tiêu chuẩn kỹ thuật (TCVN 6477:2016).

Ngoài ra, bùn thải, phế liệu sản xuất gốm sứ và mảnh vụn kính có thể được nghiền và tái sử dụng trong hỗn hợp nguyên liệu với tỷ lệ phù hợp.

Việc thay thế một phần nguyên liệu sơ cấp bằng phụ phẩm có thể đem lại hiệu quả đáng kể về mặt môi trường và kinh tế: giảm khai thác khoáng sản, giảm nhu cầu năng lượng sơ cấp, tiết kiệm chi phí xử lý chất thải và giảm phát thải CO_2 . Mức thay thế khả thi tùy thuộc vào tính chất phụ phẩm và yêu cầu chất lượng sản phẩm cuối cùng.

8. Các yêu cầu kỹ thuật và pháp lý khi sử dụng chất thải

Khung pháp lý liên quan đã có những bước phát triển với Luật Bảo vệ Môi trường 2020, Nghị định hướng dẫn và một số quyết định của Thủ tướng Chính phủ liên quan đến xử lý tro, xỉ và thạch cao. Tuy nhiên, quy định kỹ thuật cụ thể cho từng loại chất thải khi làm nguyên liệu thay thế còn chưa đầy đủ; việc kiểm định và cấp phép sử dụng vẫn gặp nhiều khó khăn về quy trình và tiêu chuẩn.

Nhiều doanh nghiệp còn e ngại sử dụng nguyên liệu phụ phẩm do lo ngại về chất lượng sản phẩm, rào cản tiêu chuẩn và thiếu cơ chế đảm bảo trách nhiệm pháp lý khi xảy ra vấn đề chất lượng. Thêm vào đó, thị trường cho vật liệu tái chế chưa phát triển mạnh, chưa hình thành hệ thống thu gom, tiền xử lý và thương mại hóa đồng bộ.

Việc sử dụng chất thải làm nguyên liệu thay thế đòi hỏi tuân thủ một hệ thống quy chuẩn và tiêu chuẩn kỹ thuật rõ ràng. Các nội dung chính cần được đảm bảo gồm:

- Tiêu chí an toàn môi trường: Giới hạn hàm lượng kim loại nặng, hợp chất hữu cơ độc hại, chỉ số phóng xạ tự nhiên phải tuân thủ QCVN hoặc tiêu chuẩn quốc tế tương đương.
- Tiêu chí chất lượng công nghệ: Đảm bảo tính chất vật liệu ổn định (hàm ẩm, kích thước hạt, hoạt tính pozzolanic) phù hợp với công nghệ sản xuất hiện có.
- Quy trình kiểm định và chứng nhận: Hệ thống thử nghiệm độc lập, chứng nhận chất thải đạt yêu cầu làm nguyên liệu, và quy trình ghi nhãn, truy xuất nguồn gốc.
- Cơ chế chịu trách nhiệm pháp lý: Xác định rõ trách nhiệm của nhà cung cấp phụ phẩm, nhà sản xuất VLXD và cơ quan quản lý khi xảy ra vấn đề về chất lượng hoặc an toàn môi trường.

Để việc sử dụng chất thải thuận lợi, cần có một khung pháp lý rõ ràng và nhất quán để giảm rủi ro khi tiếp nhận nguyên liệu phụ phẩm. Các quy định hiện hành đã đưa ra các quy định bước đầu nhưng chưa

đầy đủ, cần cụ thể hóa các tiêu chí kỹ thuật cho từng loại phụ phẩm và từng ứng dụng cụ thể.

9. Lợi ích và khó khăn trong thực hiện

9.1. Lợi ích

Thực hiện KTTH trong ngành VLXD mang lại nhiều lợi ích: giảm áp lực lên nguồn tài nguyên khoáng sản, giảm phát thải khí nhà kính, giảm chi phí xử lý chất thải, và tạo ra cơ hội kinh tế mới thông qua phát triển chuỗi giá trị cho vật liệu tái chế. Ngoài ra, việc thực hiện KTTH phù hợp với các cam kết quốc tế về giảm phát thải và phát triển bền vững, góp phần nâng cao uy tín và vị thế của Việt Nam.

9.2. Khó khăn

Mặc dù tiềm năng lớn, việc triển khai KTTH đang bị hạn chế bởi một số rào cản đáng chú ý:

- Khung pháp lý và tiêu chuẩn: Thiếu các tiêu chuẩn kỹ thuật cụ thể cho từng loại phụ phẩm, quy trình cấp phép và kiểm soát chất lượng chưa đầy đủ.
- Năng lực xử lý và tiền xử lý: Nhiều phụ phẩm cần qua bước tiền xử lý (sấy, nghiền, khử tạp chất) trước khi có thể đưa vào sản xuất. Hệ thống tiền xử lý, kho bãi và logistics chưa được đầu tư đồng bộ.
- Rủi ro chất lượng và trách nhiệm pháp lý: Doanh nghiệp lo ngại về các vấn đề liên quan đến tính ổn định chất lượng và trách nhiệm khi sử dụng phụ phẩm.
- Kinh tế thị trường: Chi phí thu gom, vận chuyển, tiền xử lý có thể làm giảm tính cạnh tranh của phụ phẩm so với nguyên liệu sơ cấp nếu không có hỗ trợ chính sách.

9.3. Yếu tố thúc đẩy

Một số yếu tố có thể thúc đẩy quá trình chuyển đổi gồm có: sự hoàn thiện khung pháp lý, hỗ trợ tài chính và thuế cho các dự án tiền xử lý và đồng xử lý, chính sách mua sắm công xanh để tạo thị trường đầu ra, và chương trình chứng nhận chất lượng/nhãn xanh nhằm gia tăng niềm tin thị trường.

Trên cơ sở dữ liệu khảo sát và thử nghiệm, có thể đề xuất mức độ ứng dụng khả thi ban đầu cho từng tiểu ngành: xi măng (thay thế một phần clinker bằng tro bay, xỉ), bê tông thương phẩm (tro bay), gạch không nung (sử dụng vật liệu tái chế và phụ phẩm khoáng), gốm sứ và kính (tái chế mảnh vụn và phụ phẩm làm nguyên liệu thứ cấp sau xử lý).

10. Đề xuất giải pháp

Để hiện thực hóa KTTH trong ngành VLXD, cần một chiến lược toàn diện, kết hợp đồng bộ giữa chính sách, kỹ thuật, tài chính và truyền thông, đảm bảo sự tham gia của tất cả các bên trong chuỗi giá trị – từ cơ quan quản lý, doanh nghiệp sản xuất đến người tiêu dùng và các tổ chức nghiên cứu.

10.1. Giải pháp chính sách

- Hoàn thiện pháp luật và tiêu chuẩn: Ban hành tiêu chuẩn kỹ thuật quốc gia (TCVN) cho các loại chất thải khi sử dụng làm nguyên liệu trong VLXD; đơn giản hóa thủ tục cấp phép thử nghiệm, áp dụng thí điểm và triển khai thực tế.
- Cơ chế khuyến khích tài chính: Ưu đãi thuế, hỗ trợ lãi suất vay, quỹ bảo lãnh cho các dự án tiền xử lý và đầu tư cơ sở hạ tầng tuần hoàn; khuyến khích phát hành trái phiếu xanh cho dự án VLXD tuần hoàn.
- Mua sắm công xanh (GPP): Áp dụng tiêu chí xanh cho các công trình công, ưu tiên vật liệu có hàm lượng tái chế cao và chứng nhận vòng đời sản phẩm (EPD/LCA).
- Thuế chôn lấp và phí xử lý: Áp dụng mức phí cao hơn cho việc chôn lấp để khuyến khích tái sử dụng và tái chế; sử dụng nguồn phí để hỗ trợ phát triển hạ tầng tuần hoàn.

10.2. Giải pháp công nghệ và hạ tầng

- Đầu tư hệ thống tiền xử lý: xây dựng các cơ sở nghiền, sấy, khử tạp chất để xử lý chất thải đạt yêu cầu kỹ thuật.
- Đồng xử lý trong lò nung xi măng: Xây dựng cơ chế khuyến khích nhà máy xi măng đồng xử lý chất thải.
- Phát triển mô hình khu công nghiệp sinh thái: Thiết kế các cụm công nghiệp nơi các đơn vị chia sẻ chất thải, biến chất thải thành nguồn nguyên liệu phụ phẩm, năng lượng và xử lý nước/ chất thải chung.

10.3. Quản lý, đánh giá và thị trường

- Xây dựng bộ chỉ tiêu đánh giá KTTH cho doanh nghiệp VLXD: tỷ lệ nguyên liệu tái chế, giảm phát thải CO₂ theo LCA, tỷ lệ giảm chôn lấp.
- Hệ thống quản lý dữ liệu và truy xuất nguồn gốc: sổ đăng ký quốc gia về chất thải, phụ phẩm, nền tảng giao dịch nguyên liệu thứ cấp.
- Phát triển tiêu chuẩn chất lượng và chứng nhận cho sản phẩm sử dụng nguyên liệu tái chế: nhãn xanh, EPD, LCA.

10.4. Đào tạo và truyền thông

- Đào tạo kỹ thuật cho cán bộ quản lý nhà máy, kỹ thuật viên thử nghiệm và thiết kế sản phẩm nhằm nâng cao năng lực xử lý và kiểm soát chất lượng nguyên liệu tái chế.
- Truyền thông nhằm thay đổi nhận thức của doanh nghiệp và người tiêu dùng về lợi ích của vật liệu tuần hoàn.

11. Lộ trình đề xuất

11.1. Giai đoạn 2025–2030

- 30–40 % doanh nghiệp VLXD quy mô lớn tham gia thí điểm KTTH.
- 5–10 dự án tiền xử lý và đồng xử lý được hỗ trợ và vận hành.
- Ban hành 100 % tiêu chuẩn, hướng dẫn kỹ thuật cho các loại chất thải, phụ phẩm chủ đạo.

- Tỷ lệ thay thế nguyên liệu/nhiên liệu bằng chất thải, phụ phẩm:
 - + Xi măng: $\geq 20\text{--}25\%$
 - + VLXD khác: $\geq 10\text{--}15\%$
- Xây dựng và vận hành nền tảng dữ liệu quốc gia, $\geq 80\%$ doanh nghiệp thí điểm cập nhật dữ liệu.

11.2. Giai đoạn 2030–2040

- $\geq 80\%$ doanh nghiệp lớn, $\geq 60\%$ doanh nghiệp toàn ngành áp dụng KTTH.
- 100 % dự án VLXD mới quy mô lớn tích hợp tiêu chí KTTH ngay từ giai đoạn đầu tư.
- Tỷ lệ thay thế nguyên liệu/nhiên liệu bằng chất thải, phụ phẩm:
 - + Xi măng: $\geq 30\text{--}45\%$
 - + VLXD khác: $\geq 20\text{--}25\%$
- $\geq 50\%$ lượng chất thải, phụ phẩm phù hợp được tái sử dụng trong sản xuất VLXD.
- Giảm 15–20 % cường độ phát thải CO₂/tấn sản phẩm so với năm 2025.

11.3. Giai đoạn 2040–2050

- $\geq 90\%$ doanh nghiệp VLXD quy mô lớn và $\geq 70\text{--}80\%$ doanh nghiệp toàn ngành thực hiện KTTH.
- Hình thành và vận hành ổn định thị trường nguyên liệu thứ cấp cho các phụ phẩm chủ đạo.
- Tỷ lệ thay thế nguyên liệu/nhiên liệu bằng chất thải, phụ phẩm:
 - + Xi măng: $\geq 40\%$
 - + VLXD khác: $\geq 30\%$
- $\geq 70\%$ lượng chất thải, phụ phẩm phù hợp được tuần hoàn trong ngành VLXD.
- Giảm 25–30 % cường độ phát thải CO₂/tấn sản phẩm, đóng góp thực hiện mục tiêu Net Zero 2050.

12. Kết luận và kiến nghị

KTTH là giải pháp chiến lược để xử lý mối quan hệ giữa tăng trưởng kinh tế và bảo vệ môi trường trong ngành VLXD. Nghiên cứu cho thấy ngành có nguồn phụ phẩm phong phú (tro, xi, thạch cao, mảnh vụn kính, bùn), với tiềm năng lớn để thay thế một phần nguyên liệu sơ cấp và giảm phát thải. Tuy nhiên, để biến tiềm năng thành thực tế cần nỗ lực đồng bộ từ phía Nhà nước, doanh nghiệp và các bên liên quan.

Các kiến nghị cụ thể bao gồm:

- 1) Hoàn thiện hệ thống tiêu chuẩn kỹ thuật cho các chất thải, phụ phẩm;
- 2) Xây dựng cơ chế tài chính và thuế khuyến khích đầu tư vào hạ tầng tiền xử lý và đồng xử lý;
- 3) Thúc đẩy mua sắm công xanh để tạo thị trường ban đầu;
- 4) Xây dựng hệ thống quản lý dữ liệu về nguồn chất thải, phụ phẩm và sản phẩm tuần hoàn;

5) Đầu tư chương trình nghiên cứu – phát triển và đào tạo nhân lực chuyên môn để đảm bảo chất lượng và an toàn;

6) Khuyến khích các mô hình khu công nghiệp sinh thái làm điểm đến cho quá trình tuần hoàn.

Triển khai thành công KTTH trong ngành VLXD không chỉ giúp giảm phát thải và tiết kiệm tài nguyên mà còn mở ra cơ hội phát triển kinh tế mới, tạo việc làm và nâng cao giá trị gia tăng cho sản phẩm Việt Nam trên thị trường quốc tế.

Tài liệu tham khảo

- [1]. United Nations Environment Programme, "Global Resources Outlook 2024: Bend the Trend," International Resource Panel, Nairobi, 2024.
- [2]. Chính Phủ, Nghị định số 08/2022/NĐ-CP Quy định chi tiết một số điều của Luật Bảo vệ môi trường, 2022.
- [3]. European Commission, "Circular Economy Action Plan," 2020.
- [4]. International Organization for Standardization, "ISO 14044:2006 – Environmental management — Life cycle assessment — Requirements and guidelines," ISO, 2006.
- [5]. Ellen MacArthur Foundation, "Circulytics 2.0: Measuring Circularity Performance," 2021.
- [6]. British Standard Institution, "BS 8001:2017 – Framework for implementing the principles of the circular economy in organizations," BSI Group, 2017.
- [7]. European Commission, "Level(s): A common European framework for sustainable buildings," 2020.
- [8]. International Organization for Standardization, "ISO 59020:2024 – Circular economy — Measuring and assessing circularity performance," ISO, 2024.
- [9]. N. Đ. Đáp and N. X. Khoát, Sổ tay truyền thông về kinh tế tuần hoàn trong bảo vệ môi trường, Hà Nội: Nhà xuất bản Tài nguyên - Môi trường và Bản đồ Việt Nam, 2023.
- [10]. Hệ thống kiểm kê khí nhà kính quốc gia, 2016.
- [11]. Trang Thông tin điện tử Cục Thống kê, "Báo cáo tình hình kinh tế – xã hội Quý II và 6 tháng đầu năm 2025," 2025. [Online].
- [12]. Thủ tướng Chính phủ, Quyết định số 1266/QĐ-TTg Phê duyệt Chiến lược phát triển vật liệu xây dựng Việt Nam thời kỳ 2021 - 2030, định hướng đến năm 2050.
- [13]. Viện Vật liệu xây dựng, "Nhiệm vụ MT 04-24 Điều tra, khảo sát, đánh giá tiềm năng, đề xuất lộ trình và giải pháp thực hiện kinh tế tuần hoàn trong lĩnh vực sản xuất vật liệu xây dựng," 2025.
- [14]. Bộ Xây dựng, Chiến lược phát triển vật liệu xây dựng Việt Nam đến năm 2030, tầm nhìn đến năm 2050, 2023.
- [15]. Bộ Xây dựng, "Báo cáo hiện trạng sản xuất và sử dụng vật liệu xây dựng tại Việt Nam," Hà Nội, 2023.
- [16]. UNIDO, Circular Economy for Industry – A Practitioner's Guide, 2022.
- [17]. European Environment Agency, Circular economy indicators for construction materials, 2022.
- [18]. European Commission, Product Environmental Footprint (PEF) Guide, 2021.
- [19]. Quốc Hội, Luật Bảo vệ môi trường số 72/2020/QH14.
- [20]. Thủ tướng Chính phủ, Quyết định số 687/QĐ-TTg phê duyệt Đề án Phát triển kinh tế tuần hoàn ở Việt Nam., 2022.