ỨNG DỤNG KINH TẾ TUẦN HOÀN TRONG XÂY DỰNG VÀ KHAI THÁC KẾT CẤU HẠ TẦNG ĐƯỜNG BỘ VIỆT NAM

APPLYING CIRCULAR ECONOMY IN CONSTRUCTION AND EXPLOITATION OF ROAD INFRASTRUCTURE IN VIETNAM

Ths. Phạm Ngọc Sơn[1], TS. Lương Tuấn Anh[2], TS. Đinh Trọng Hùng[3]

Tóm tắt: Nghiên cứu đánh giá mức độ áp dụng kinh tế tuần hoàn (KTTH) trong xây dựng hạ tầng giao thông đường bộ tại Việt Nam dựa trên khung lý thuyết quốc tế và khảo sát 20 doanh nghiệp trên toàn quốc. Mẫu khảo sát chủ yếu là doanh nghiệp thâm niên, quy mô từ lớn tới nhỏ. Kết quả cho thấy nhận thức và đào tạo về KTTH còn hạn chế (35% được đào tạo), trong khi 95% chưa từng nhận hỗ trợ từ Nhà nước. Tuy vậy, mức độ sẵn sàng áp dụng khá cao (65%). Nhóm doanh nghiệp tiên phong ghi nhận lợi ích rõ rệt như tăng tái chế, giảm lãng phí và chi phí. Đào tạo là yếu tố then chốt, giúp tỷ lệ áp dụng cao hơn nhiều so với nhóm chưa đào tạo. Các điểm nghẽn chính gồm đào tạo nhân công còn hẹp, thiếu máy móc hỗ trợ KTTH và hầu như chưa đo lường phát thải CO_2. Nghiên cứu đề xuất tăng cường đào tạo, hỗ trợ công nghệ và hoàn thiện cơ chế đo lường môi trường.

Từ khóa: Đánh giá vòng đời, hạ tầng giao thông đường bộ, kinh tế tuần hoàn, phát triển bền vững.

Abstract: *This study assesses the application of circular economy (CE) in Vietnam's road transport infrastructure sector, combining international theoretical frameworks with a national survey of 20 enterprises which are mainly long-established firms from large to small sizes. Results show limited CE training (35%) and minimal governmental support (95%). Despite this, readiness to adopt CE solutions is relatively high (65%). Early adopters report clear benefits such as higher recycling rates, reduced material waste, and lower costs. Training proves to be a critical driver, with trained firms showing significantly higher adoption rates. Key barriers include limited workforce training coverage, insufficient CE-compatible machinery, and the absence of CO_2 monitoring systems. The study recommends strengthening training, supporting access to CE technologies, and establishing environmental measurement mechanisms.*

Keywords: *Circular economy, life cycle assessment, road transport infrastructure, sustainable development.*

Nhận bài ngày 05/9/2025, chỉnh sửa ngày 10/10/2025, chấp nhận đăng ngày 15/11/2025.

1. GIỚI THIỆU

Trong bối cảnh toàn cầu hóa và biến đổi khí hậu diễn biến phức tạp, kinh tế tuần hoàn trở thành định hướng chiến lược giúp giảm phụ thuộc vào tài nguyên sơ cấp, tối ưu hóa vòng đời vật liệu và hạn chế phát thải khí nhà kính. Việt Nam, với cam kết

[1] Trưởng phòng Giao thông Đô thị và nông thôn - Học viện Chiến lược, bồi dưỡng cán bộ xây dựng, Bộ Xây dựng
[2] Bộ môn Vận tải Đường bộ và Thành phố, Khoa Vận tải Kinh tế, Trường ĐH Giao thông vận tải
[3] Bộ môn Kinh tế xây dựng, khoa Quản lý xây dựng, Trường ĐH Giao thông vận tải
Email: [1]sonpn.tdsi@gmail.com

Kết cấu hạ tầng nói chung và kết cấu hạ tầng giao thông nói riêng là nền tảng cơ sở vật chất có vai trò đặc biệt quan trọng trong quá trình phát triển kinh tế - xã hội của đất nước

Ứng dụng kinh tế tuần hoàn trong xây dựng và khai thác kết cấu hạ tầng giao thông góp phần mang lại ý nghĩa quan trọng về môi trường, kinh tế và xã hội

đạt phát thải ròng bằng 0 vào năm 2050 theo COP26, đang đẩy mạnh các chính sách phát triển tăng trưởng xanh và tuần hoàn, đặc biệt trong hạ tầng giao thông đường bộ - lĩnh vực tiêu thụ nhiều tài nguyên và phát sinh lượng phát thải lớn. Với đặc trưng vòng đời dài (20-50 năm) và chi phí bảo trì cao, việc áp dụng KTTH giúp chuyển đổi mô hình quản trị từ "xử lý chất thải" sang "quản trị giá trị vòng đời", hướng tới giảm cường độ sử dụng tài nguyên và phát thải carbon.

Theo Luật Bảo vệ Môi trường 2020, Nghị định 08/2022/NĐ-CP và Quyết định 687/QĐ-TTg (2022), Việt Nam đã xây dựng khung pháp lý cho KTTH, song còn thiếu công cụ đo lường chuyên biệt cho lĩnh vực đường bộ. Bài báo này trình bày khung lý thuyết, phương pháp khảo sát thực địa và kết quả phân tích nhằm đánh giá mức độ áp dụng KTTH trong đầu tư, xây dựng và khai thác hạ tầng giao thông đường bộ, đồng thời đề xuất bộ chỉ số 6 nhóm - 24 tiêu chí tích hợp vật liệu, năng lượng, phát thải, thiết kế, dữ liệu và thể chế.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Cơ sở khoa học và khung lý thuyết

Phương pháp nghiên cứu của bài báo được triển khai theo hướng đa tầng và liên ngành, tập trung vào những nội dung cốt lõi của kinh tế tuần hoàn. Nghiên cứu phát triển một khung đánh giá tổng hợp gồm 6 đặc điểm, bao trùm toàn bộ chuỗi giá trị và vòng đời của một công trình giao thông đường bộ theo quan điểm của doanh nghiệp: Quy mô doanh nghiệp; nhận thức và đào tạo về KTTH; Mức độ sẵn sàng và thực trạng áp dụng các giải pháp; Hiệu quả của các công nghệ, biện pháp thi công tuần hoàn; Nhân công và năng lực thực hiện các giải pháp; Máy móc, thiết bị thi công phục vụ KTTH.

2.2 Quy trình khảo sát và thu thập dữ liệu

Nghiên cứu áp dụng quy trình khảo sát và thu thập dữ liệu 5 bước, bảo đảm tính khoa học, độ tin cậy và tính đại diện của mẫu.

Bước 1: Xây dựng phiếu đánh giá cho tổ chức (có thu thập dữ liệu định lượng về vật liệu, năng lượng, phát thải, kỹ thuật). Câu hỏi được trình bày rõ ràng, trung lập, có hướng dẫn minh họa. Trong phạm vi nghiên cứu này, đối tượng nghiên cứu là các cơ quan và tổ chức (có thu thập dữ liệu định lượng về vật liệu, năng lượng, phát thải, kỹ thuật).

Bước 2: Hội đồng các chuyên gia thẩm định vòng đầu, đánh giá độ rõ ràng và tính khả thi, giúp hoàn thiện nội dung phiếu.

Bước 3: Tiến hành khảo sát thí điểm với 06 đối tượng ở ba miền Bắc - Trung - Nam để kiểm tra mức độ hiểu và phản ứng của người trả lời.

Bước 4: Tổng hợp, chỉnh sửa và thông qua phiên bản cuối cùng, được chuyên gia phê duyệt vòng hai, kèm hướng dẫn.

Bước 5: Khảo sát toàn quốc (giữa 2025) được triển khai trực tiếp và trực tuyến thông qua nhiều đợt, phân tầng theo ba miền Bắc - Trung - Nam.

Quy trình này giúp bảo đảm tính khách quan, bao quát vùng miền và độ tin cậy cao của bộ dữ liệu nghiên cứu.

2.3 Công cụ và kỹ thuật xử lý dữ liệu

Trước khi khảo sát, nhóm nghiên cứu tổ chức một khóa tập huấn kéo dài 3 ngày cho các điều tra viên, nhằm giúp họ nắm vững kiến thức cơ bản về kinh tế tuần hoàn, cách thực hiện phỏng vấn và quy trình thu thập thông tin tại hiện trường. Trong quá trình khảo sát, điều tra viên sử dụng các nền tảng số kết hợp với ứng dụng GIS/BIM để nhập dữ liệu trực tiếp và chụp ảnh minh chứng, bảo đảm độ chính xác và minh bạch. Dữ liệu sau khi thu thập được phân loại theo ba mức độ (A - cao, B - trung bình, C - cơ bản) và được kiểm tra qua ba bước: kiểm tra tại hiện trường, kiểm tra trong quá trình nhập liệu, và kiểm tra sau khi hoàn tất. Quy trình này giúp hạn chế sai sót và đảm bảo độ tin cậy. Khi xử lý dữ liệu, nhóm nghiên cứu tiến hành ba bước phân tích chính: (1) Phân tích và mô tả đặc điểm đối tượng nghiên cứu; (2) Tổng hợp thực trạng KTTH bằng cách phân tích dữ liệu trả lời; (3) Phân tích thống kê suy luận dựa trên kết quả tổng hợp dữ liệu câu trả lời.

Các kết quả được đối chiếu bằng phương pháp tam giác hóa (triangulation), kết hợp dữ liệu định lượng, phỏng vấn và tài liệu thứ cấp. Toàn bộ dữ liệu cũng được lưu trữ trên nền tảng cloud nhằm đảm bảo khả năng truy xuất và tính minh bạch khoa học.

3. KẾT QUẢ

3.1. Phân tích và mô tả đặc điểm đối tượng nghiên cứu

Mặc dù nhóm nghiên cứu đã gửi lời mời khảo sát tới gần 90 đơn vị trên cả nước, chỉ có 20 doanh nghiệp đáp ứng đầy đủ yêu cầu và sẵn sàng tham gia. Đây đều là những doanh nghiệp có thâm niên hoạt động lâu năm, quy mô tương đối lớn hoặc giữ

vai trò chủ chốt trong các dự án giao thông đường bộ, do đó có tiềm năng cao trong việc áp dụng các giải pháp kinh tế tuần hoàn. Đồng thời, nhóm doanh nghiệp này thể hiện mức độ hợp tác tích cực, sẵn sàng chia sẻ dữ liệu, kinh nghiệm và thông tin kỹ thuật - yếu tố quan trọng để bảo đảm độ tin cậy và chiều sâu phân tích của nghiên cứu. Vì vậy, mặc dù số lượng không lớn, mẫu khảo sát vẫn có tính tiêu biểu và phản ánh đúng thực tiễn triển khai KTTH trong ngành.

Mẫu khảo sát gồm 20 doanh nghiệp, trong đó 65% người trả lời là lãnh đạo/quản lý, phản ánh chủ yếu góc nhìn quản trị nhưng vẫn có đại diện từ khối kỹ thuật, thiết kế và nghiên cứu.

Về địa bàn hoạt động, đa số doanh nghiệp hoạt động trên nhiều vùng miền. Khu vực có sự hiện diện nhiều nhất là Đồng bằng sông Hồng (60%), tiếp theo là Duyên hải Nam Trung Bộ & Tây Nguyên (45%), Bắc Trung Bộ và Đồng bằng sông Cửu Long (mỗi vùng 35%), và Trung du miền núi phía Bắc cùng Đông Nam Bộ (mỗi vùng 30%). Điều này cho thấy phạm vi hoạt động rộng và đa dạng.

Xét về thâm niên, phần lớn là doanh nghiệp giàu kinh nghiệm: 70% có trên 20 năm hoạt động, còn lại phân bố ở các nhóm 11-20 năm (10%), 5-10 năm (15%) và dưới 5 năm (5%).

Về quy mô lao động (thường xuyên tại văn phòng), doanh nghiệp dưới 200 người chiếm 50%, nhóm 200-500 người chiếm 35%; số doanh nghiệp trên 500 người chiếm tỷ lệ nhỏ. Mẫu có xu hướng thiên về doanh nghiệp vừa và nhỏ, nhưng vẫn bao gồm một số doanh nghiệp lớn.

Về vốn điều lệ, 55% có dưới 100 tỷ đồng; các nhóm vốn lớn hơn (100-500 tỷ, 500-1000 tỷ, 1000-5000 tỷ và trên 5000 tỷ) chiếm tỷ lệ nhỏ hơn. Cơ cấu vốn điều lệ nhìn chung tương đồng với quy mô lao động: Chủ yếu là doanh nghiệp vừa và nhỏ, nhưng vẫn có sự góp mặt của doanh nghiệp quy mô lớn.

3.2. Nhận thức và đào tạo về kinh tế tuần hoàn

Khảo sát cho thấy mức độ được đào tạo về kinh tế tuần hoàn trong doanh nghiệp còn thấp, chỉ 35% từng được đào tạo. Doanh nghiệp đánh giá nhận thức của ngành xây dựng chủ yếu ở mức trung bình đến thấp (80%). Đồng thời, 95% doanh nghiệp chưa từng nhận được hỗ trợ từ Chính phủ hay các tổ chức liên quan, cho thấy sự thiếu vắng các chương trình thúc đẩy kinh tế tuần hoàn trong ngành.

Bảng 1. Nhận thức và đào tạo về kinh tế tuần hoàn

Biến	Giá trị	Số DN	Tỷ lệ (%)
Đã được đào tạo về KTTH	Không	12	60.0
	Có	7	35.0
	Không trả lời	1	5.0
Đánh giá nhận thức KTTH của ngành	Trung bình	8	40.0
	Thấp	6	30.0
	Cao	3	15.0
	Rất thấp	2	10.0
	Rất cao	1	5.0
Nhận được hỗ trợ về KTTH	Không	19	95.0
	Có	1	5.0

3.3. Mức độ sẵn sàng và thực trạng áp dụng các giải pháp kinh tế tuần hoàn

Doanh nghiệp dù chưa được đào tạo rộng rãi nhưng 65% cho biết sẵn sàng áp dụng giải pháp kinh tế tuần hoàn. Tuy nhiên, chỉ 40% thực sự đã áp dụng, cho thấy còn khoảng cách giữa sẵn sàng và hành động. Đáng chú ý, đào tạo có tác động rõ rệt: Doanh nghiệp đã được đào tạo có tỷ lệ áp dụng ~71%, trong khi nhóm chưa được đào tạo chỉ ~17%, khẳng định vai trò quan trọng của đào tạo trong thúc đẩy triển khai thực tế.

Bảng 2. Mức độ sẵn sàng và thực trạng áp dụng các giải pháp kinh tế tuần hoàn

Biến	Giá trị	Số DN	Tỷ lệ (%)
Mức độ sẵn sàng áp dụng	Sẵn sàng	10	50.0
	Bình thường	5	25.0
	Hoàn toàn sẵn sàng	3	15.0
	Hoàn toàn chưa sẵn sàng	1	5.0
	Chưa sẵn sàng	1	5.0
Đã áp dụng công nghệ/biện pháp KTTH	Không	12	60.0
	Có	8	40.0

3.4. Hiệu quả của các công nghệ, biện pháp thi công có yếu tố kinh tế tuần hoàn

Trong số 20 doanh nghiệp khảo sát, 8 doanh nghiệp đã áp dụng giải pháp KTTH, đa số ghi nhận tăng tỷ lệ tái chế - tái sử dụng vật liệu. Các công nghệ tiêu biểu gồm cào bóc và tái chế mặt đường BTN, WMA dùng ~30% RAP, tái chế bê tông tại chỗ, và tận dụng bê tông vụn, đất đào, vật liệu phế thải cho san nền.

Tỷ lệ tái chế dao động rộng (dưới 10% đến trên 75%), nhiều doanh nghiệp đạt từ 25% trở lên. Giải pháp KTTH giúp giảm lãng phí vật liệu 5-25% và thậm chí giảm chi phí trên 20% trong một số trường hợp. Hầu hết doanh nghiệp đánh giá các biện pháp này dễ nhân rộng nếu có đủ thiết bị và nhân lực.

Bảng 3. Hiệu quả của các công nghệ, biện pháp thi công có yếu tố kinh tế tuần hoàn

Biến	Giá trị	Số DN	Tỷ lệ (%)
Công nghệ giúp tăng tái chế/tái sử dụng	Có	7	87.5
	Không	1	12.5
Tỷ lệ vật liệu được tái chế/tái sử dụng	5% đến dưới 10%	3	37.5
	50% đến dưới 75%	2	25.0
	Từ 75% trở lên	1	12.5
	25% đến dưới 50%	1	12.5
	Không trả lời	1	12.5
	1% đến dưới 5%	0	0
Tỷ lệ giảm lãng phí vật liệu	10% đến dưới 25%	3	37.5
	Không trả lời	2	25.0
	5% đến dưới 10%	2	25.0
	1% đến dưới 5%	1	12.5
	Từ 75% trở lên	0	0
	50% đến dưới 75%	0	0
Chi phí so với phương pháp truyền thống	Thấp hơn trên 20%	4	50.0
	Thấp hơn dưới 20%	2	25.0
	Không trả lời	2	25.0
	Cao hơn dưới 20%	0	0
	Cao hơn trên 20%	0	0
	Ngang bằng	0	0
Biện pháp dễ nhân rộng	Có	7	87.5
	Không trả lời	1	12.5

3.5. Nhân công và năng lực thực hiện các giải pháp kinh tế tuần hoàn

Trong nhóm doanh nghiệp đã áp dụng KTTH, tất cả đều tổ chức đào tạo nhân công, nhưng tỷ lệ được đào tạo chủ yếu dưới 25%, cho thấy đào tạo mới tập trung vào nhóm nòng cốt. Dù nhân công được đánh giá là nắm được kỹ năng cơ bản, hiệu quả thực tế chỉ ở mức trung bình, với tỷ lệ lỗi 5-10% khi triển khai công nghệ mới. Doanh nghiệp nhìn chung cho rằng nhân công có tác động quan trọng đến thành công của KTTH, đồng thời nhấn mạnh cần đào tạo sâu và chuẩn hóa quy trình để nâng cao hiệu quả áp dụng.

3.6. Máy móc, thiết bị thi công phục vụ kinh tế tuần hoàn

Tỷ lệ máy móc áp dụng công nghệ KTTH trong doanh nghiệp còn thấp, chủ yếu dưới 25%, và nhiều đơn vị không cung cấp dữ liệu - cho thấy chưa có máy móc chuyên biệt hoặc chưa theo dõi đầy đủ. Chỉ một số ít doanh nghiệp ghi nhận giảm năng lượng, giảm phát thải, trong khi đa số chưa đánh giá hoặc không rõ. Việc đo lường CO_2 hầu như chưa được thực hiện. Một phần doanh nghiệp có bảo trì máy thường xuyên, nhưng nhìn chung hiệu quả về tiết kiệm thời gian và hiệu suất mới chỉ được ghi nhận ở một số trường hợp, chưa phổ biến.

Bảng 4. Nhân công và năng lực thực hiện các giải pháp KTTH

Biến	Giá trị	Số DN	Tỷ lệ (%)
Nhân công được đào tạo về KTTH	Có	8	100.0
	Không	0	0
Tỷ lệ nhân công được đào tạo	Dưới 25%	6	75.0
	25-50%	1	12.5
	50-75%	1	12.5
	Trên 75%	0	0
Nhân công nắm vững kỹ năng/quy trình	Có	8	100.0
Mức độ hiệu quả của nhân công	Trung bình	5	62.5
	Thấp	2	25.0
	Cao	1	12.5
Tỷ lệ lỗi do nhân công gây ra	5-10%	3	37.5
	Dưới 5%	3	37.5
	Không trả lời	1	12.5
	0%	1	12.5
Tác động của nhân công đến hiệu quả KTTH	Trung bình	6	75.0
	Rất thấp	1	12.5
	Cao	1	12.5

Cần tăng cường đào tạo, hỗ trợ doanh nghiệp tiếp cận công nghệ, thiết bị, thúc đẩy đo lường, giám sát các chỉ số môi trường

Bảng 5. Máy móc, thiết bị thi công phục vụ kinh tế tuần hoàn

Biến	Giá trị	Số DN	Tỷ lệ (%)
Tỷ lệ máy thi công áp dụng công nghệ giúp thúc đẩy kinh tế tuần là bao nhiêu	Không trả lời	13	65.0
	Dưới 25%	4	20.0
	25-50%	2	10.0
	50-75%	1	5.0
Máy thi công có giúp giảm tiêu thụ năng lượng / giảm phát thải không	Không trả lời	12	60.0
	Không rõ (chưa xác định)	4	20.0
	Không	2	10.0
	Có	2	10.0
Máy thi công có được bảo trì thường xuyên để đảm bảo hiệu suất và giảm thiểu rủi ro môi trường không	Không trả lời	13	65.0
	Có	7	35.0
Hiệu suất làm việc của máy thi công hỗ trợ công nghệ thúc đẩy kinh tế tuần hoàn như thế nào	Không trả lời	12	60.0
	Trung bình	5	25.0
	Tốt	3	15.0
Máy thi công có tiết kiệm thời gian thực hiện biện pháp thi công không	Không trả lời	13	65.0
	Tiết kiệm dưới 5%	2	10.0
	Tiết kiệm 5% đến 10%	2	10.0
	Tiết kiệm trên 15%	1	5.0

Kết quả khảo sát cho thấy mẫu gồm chủ yếu các doanh nghiệp thâm niên lâu năm, hoạt động trên nhiều vùng miền và có quy mô lao động vừa và nhỏ - nhóm đóng vai trò quan trọng trong triển khai hạ tầng giao thông đường bộ và chịu tác động trực tiếp của chính sách kinh tế tuần hoàn.

Về nhận thức, doanh nghiệp đánh giá mức độ hiểu biết về KTTH của ngành xây dựng chỉ ở mức trung bình-thấp, trong khi tỷ lệ được đào tạo chính thức còn hạn chế (35%). Đồng thời, 95% doanh nghiệp chưa từng nhận được hỗ trợ từ Chính phủ hoặc các tổ chức liên quan. Tuy vậy, mức độ sẵn sàng áp dụng KTTH lại khá tích cực, với 65% cho biết "sẵn sàng" hoặc "hoàn toàn sẵn sàng".

Trong nhóm doanh nghiệp tiên phong đã áp dụng các giải pháp KTTH, khảo sát ghi nhận nhiều lợi ích rõ rệt như tăng tỷ lệ tái chế - tái sử dụng vật liệu, giảm lãng phí, giảm chi phí thi công và khả năng nhân rộng. Đặc biệt, phân tích chéo cho thấy đào tạo có ảnh hưởng mạnh đến khả năng áp dụng: Doanh nghiệp đã được đào tạo có tỷ lệ triển khai giải pháp KTTH cao hơn nhiều so với doanh nghiệp chưa được đào tạo.

Tuy nhiên, khảo sát cũng chỉ ra một số điểm nghẽn: Đào tạo nhân công còn hẹp (đa số dưới 25% lao động), hiệu quả nhân công mới dừng ở mức trung bình, tỷ lệ máy móc trang bị công nghệ KTTH còn thấp, và doanh nghiệp chưa có hệ thống đo lường phát thải CO_2, năng lượng trong thi công.

Đề xuất chính sách phát triển: Từ kết quả nghiên cứu, có thể rút ra năm định hướng chính sách quan trọng:

- Thể chế hóa KTTH trong đấu thầu công: Ban hành quy định bắt buộc về tỷ lệ vật liệu tái chế tối thiểu và chỉ tiêu phát thải vòng đời cho các dự án đường bộ.

- Xây dựng cơ sở dữ liệu BIM-LCA quốc gia: Chuẩn hóa dữ liệu vật liệu, năng lượng, CO_2e, tạo nền tảng cho tính toán vòng đời đồng nhất giữa các vùng.

- Phát triển thị trường vật liệu tái chế: Ưu đãi thuế, hỗ trợ tín dụng xanh và cấp nhãn "Circular Label" cho sản phẩm đáp ứng tiêu chuẩn.

- Đào tạo và nâng cao năng lực kỹ sư KTTH: Đưa mô-đun về KTTH, LCA, BIM vào chương trình đào tạo kỹ sư giao thông và xây dựng.

- Khuyến khích PPP xanh: Áp dụng cơ chế thưởng-phạt dựa trên hiệu năng vòng đời, chia sẻ lợi ích tiết kiệm carbon và chi phí vận hành.

4. KẾT LUẬN

Khảo sát cho thấy kinh tế tuần hoàn trong xây dựng giao thông đường bộ mới ở giai đoạn đầu, với nhận thức và đào tạo còn hạn chế, trong khi hầu hết doanh nghiệp chưa nhận được hỗ trợ từ cơ quan quản lý. Tuy nhiên, mức độ sẵn sàng và những kết quả tích cực từ nhóm doanh nghiệp tiên phong cho thấy KTTH có tiềm năng rõ rệt trong việc nâng cao hiệu quả sử dụng vật liệu, giảm chi phí và giảm tác động môi trường.

Để mở rộng áp dụng, cần tập trung vào ba hướng chính: Tăng cường đào tạo, hỗ trợ doanh nghiệp tiếp cận công nghệ - thiết bị, và thúc đẩy đo lường, giám sát các chỉ số môi trường. Đây sẽ là nền tảng quan trọng để KTTH trở thành xu hướng rộng rãi và bền vững trong ngành xây dựng giao thông đường bộ.

Tài liệu tham khảo:

[1] E. MacArthur, *Towards the Circular Economy: Economic and Business Rationale for an Accelerated Transition*, Ellen MacArthur Foundation, 2015.

[2] OECD, *Global Material Resources Outlook to 2060: Economic Drivers and Environmental Consequences*, OECD Publishing, 2019.

[3] ISO 14040:2006, *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework.*

[4] ISO 15686-5:2017, *Buildings and Constructed Assets - Service Life Planning - Part 5: Life Cycle Costing.*

[5] United Nations Environment Programme (UNEP), *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products, 2020.*

[6] World Business Council for Sustainable Development (WBCSD), *Circular Transition Indicators v4.0, 2023.*

[7] International Organization for Standardization, ISO 59020:2024 - *Circular Economy - Measurement and Evaluation of Circularity Performance.*

[8] European Commission - *Framework for Sustainable Buildings and Infrastructure*