Phân tích dấu vết các-bon trong sản xuất ván sàn gỗ Sồi trắng tại công ty sản xuất đồ gỗ ở Thành phố Hồ Chí Minh

Tăng Thị Kim Hồng*, Nguyễn Trần Tiến, Nguyễn Lê Hồng Thúy, Mai Phúc An, Đặng Minh Hải
Trường Đại học Nông Lâm Thành phố Hồ Chí Minh

Carbon footprint analysis of white oak wood flooring production at a furniture manufacturer in Ho Chi Minh City

Tang Thi Kim Hong*, Nguyen Tran Tien, Nguyen Le Hong Thuy, Mai Phuc An, Dang Minh Hai
Nong Lam University – Ho Chi Minh City
**Corresponding author: tangkimhong@hcmuaf.edu.vn*

https://doi.org/10.55250/jo.vnuf.14.6.2025.135-146

Thông tin chung:
Ngày nhận bài: 12/05/2025
Ngày phản biện: 27/06/2025
Ngày quyết định đăng: 30/07/2025

Từ khóa:
Dấu vết các-bon, đánh giá vòng đời, giảm thải các-bon, ván sàn gỗ Sồi trắng.

TÓM TẮT

Bài báo trình bày nghiên cứu đánh giá dấu vết các-bon của ván sàn làm bằng gỗ Sồi trắng được sản xuất từ một công ty sản xuất sản phẩm gỗ nội ngoại thất tại Thành phố Hồ Chí Minh. Phạm vi của nghiên cứu Đánh giá Vòng đời (LCA) là "từ khai thác đến cổng nhà máy" (cradle to gate) với các giai đoạn tùy chọn (các giai đoạn cuối vòng đời C1–C4 và D) theo tiêu chuẩn ISO 14040, ISO 14044 và ISO 14067, sử dụng các hệ số phát thải từ cơ sở dữ liệu ecoinvent thông qua phần mềm SimaPro (phiên bản 9.5.0.1). Kết quả cho thấy giai đoạn sản xuất (các mô-đun A1–A3) là nguồn đóng góp chính, chiếm 12,2 kgCO_2tđ/m², trong đó công đoạn sản xuất (mô-đun A3) là nguồn phát thải lớn nhất. Giai đoạn xử lý cuối vòng đời (C4) đóng góp 1,74 kgCO_2tđ/m², trong khi các giai đoạn C1, C2 và C3 lần lượt đóng góp 0; 0,147; và 0,260 kgCO_2tđ/m². Giai đoạn D mang lại một khoản tín dụng –0,442 kgCO_2tđ/m² nhờ tái chế vào cuối vòng đời của sản phẩm. Những kết quả nghiên cứu thu được đã chỉ ra vai trò thiết yếu của việc giảm phát thải các-bon trong giai đoạn sản xuất, đặc biệt thông qua việc sử dụng nguồn điện tái tạo và tối ưu hóa hiệu suất vận hành. Khi được kết hợp với các giải pháp thu hồi và tái chế ở giai đoạn cuối vòng đời, các cách tiếp cận này có khả năng làm giảm đáng kể tổng dấu vết các-bon, đồng thời khẳng định vai trò của ván sàn gỗ Sồi trắng như một sản phẩm xây dựng từ gỗ có đóng góp quan trọng trong việc giảm thiểu phát thải khí nhà kính.

Keywords:
Carbon footprint, decarbonisation, life cycle analysis, white oak wood flooring.

ABSTRACT

This paper presents a carbon footprint assessment of white oak wood flooring produced by a wooden furniture manufacturer in Ho Chi Minh City. The scope of the LCA was cradle to gate with options (end-of-life stages C1–C4 and D) in accordance with ISO 14040, ISO 14044, and ISO 14067 standards, using emission factors from the ecoinvent database via SimaPro software (version 9.5.0.1). The results show that the production stage (modules A1–A3) is the dominant contributor, accounting for 12.2 kgCO_2eq/m², with manufacturing (module A3) being the single largest emissions contributor. The end-of-life treatment stage (C4) contributes 1.74 kgCO_2eq/m², while stages C1, C2, and C3 add 0; 0.147 and 0.260 kgCO_2eq/m², respectively. Stage D provides a credit of – 0.442 kgCO_2eq/m² through the recycling at the product's end of life. The findings highlight the essential role of reducing carbon emissions during the production stage, particularly through the use of renewable electricity and the optimization of operational efficiency. When combined with recovery and recycling at the end-of-life stage, these approaches can significantly reduce the overall carbon footprint, while affirming the role of white oak wood flooring in contributing to the mitigation of greenhouse gas emissions.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong bối cảnh nhu cầu giảm thiểu tác động môi trường ngày càng trở nên cấp thiết, đặc biệt khi Việt Nam đã cam kết đạt mục tiêu Net Zero vào năm 2050 và triển khai Chiến lược Tăng trưởng xanh cũng như chuẩn bị cho sự hình thành thị trường các-bon, việc đánh giá vòng đời (LCA) đã được công nhận là một công cụ quan trọng trong việc đánh giá và định lượng dấu vết các-bon (CFP) của sản phẩm. Thông qua việc xem xét toàn bộ vòng đời, từ khai thác nguyên liệu thô, sản xuất, vận chuyển, sử dụng cho đến giai đoạn xử lý cuối cùng, LCA giúp xác định các giai đoạn phát thải khí nhà kính (GHG) cao nhất, từ đó hỗ trợ xây dựng các chiến lược giảm phát thải hiệu quả.

Tại Việt Nam, sản phẩm sàn gỗ, đặc biệt là sàn gỗ Sồi trắng, ngày càng được ưa chuộng trong ngành nội thất nhờ tính thẩm mỹ, độ bền và sự thân thiện với người sử dụng. Tuy nhiên, các nghiên cứu đánh giá CFP của sản phẩm gỗ, đặc biệt là sàn gỗ, vẫn còn hạn chế. Hầu hết các nghiên cứu hiện nay chỉ tập trung vào các công đoạn đầu của chuỗi cung ứng như sản xuất gỗ tròn, gỗ xẻ và dăm gỗ, trong khi các sản phẩm cuối như đồ nội thất và ván sàn vẫn chưa được đánh giá đầy đủ [1].

Trên thế giới, nhiều nghiên cứu đã tiến hành đánh giá tác động môi trường của các loại sàn lót khác nhau. Lao và cộng sự (2024), nghiên cứu về dấu vết các-bon của ván sàn ghi nhận sự phát thải âm ở mức –8,5 $kgCO_2tđ/m^2$ đối với sản phẩm ở dạng nguyên tấm được sản xuất tại Chiết Giang – Trung Quốc [2], con số này có được sau khi đã cộng dồn lượng hấp thụ ở các-bon sinh học cao lên tới 15,26 $kgCO_2tđ/m^2$ và việc tối ưu được quy trình sản xuất. Mahalle (2011) ghi nhận sàn gỗ lá rộng Canada có giá trị CFP âm (–4,79 $kgCO_2tđ/m^2$) do khả năng lưu trữ các-bon ở mức cao trong quá trình sinh trưởng [3]. Các nghiên cứu khác như của Bergman và cộng sự (2010) về gỗ tái chế trong xây dựng, Lao (2024) về sản xuất sàn gỗ tại Trung Quốc và Hubbard và Bowe (2010) về sàn gỗ lá rộng vùng Đông Hoa Kỳ cũng củng cố những lợi ích môi trường của vật liệu gỗ trong lĩnh vực xây dựng [4–6].

Hai công bố môi trường (EPD) do Hiệp hội gỗ sàn Hoa Kỳ công bố cung cấp kết quả đánh giá vòng đời cho sàn gỗ nguyên tấm [7] và sàn gỗ công nghiệp [8]. Các EPD này báo cáo chỉ số tiềm năng nóng lên toàn cầu ở mức trung bình lần lượt là 9,164 $kgCO_2tđ/m^2$ và 11,4 $kgCO_2tđ/m^2$.

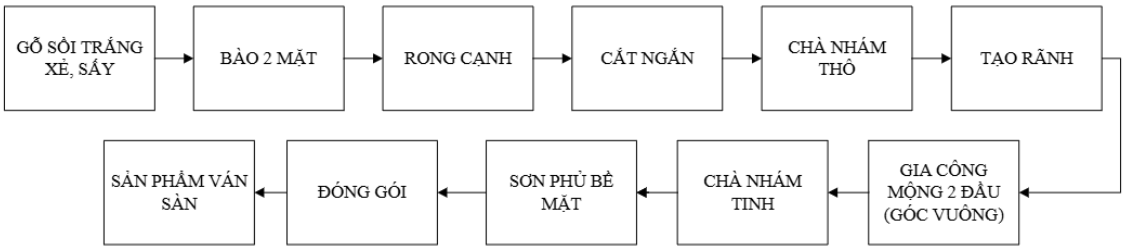
Mặc dù thế giới đã có nhiều nghiên cứu LCA cho sàn gỗ, Việt Nam hiện vẫn thiếu phương pháp đánh giá CFP một cách hệ thống và chuẩn hóa cho các sản phẩm gỗ. Do đó, nghiên cứu này được thực hiện nhằm bổ sung dữ liệu cho những khía cạnh còn ít được nghiên cứu, thông qua đánh giá vòng đời cho sản phẩm sàn gỗ Sồi trắng được sản xuất tại TP. Hồ Chí Minh, thực hiện dựa theo các tiêu chuẩn ISO 14040, ISO 14044 và ISO 14067. Dữ liệu sơ cấp được thu thập từ cơ sở sản xuất thực tế, kết hợp với dữ liệu thứ cấp từ các cơ sở dữ liệu uy tín. Đánh giá tập trung vào chỉ số tiềm năng nóng lên toàn cầu (GWP) và nhận diện các điểm nóng phát thải qua các giai đoạn chính: vận chuyển, sản xuất và xử lý cuối vòng đời. Kết quả nghiên cứu sẽ hỗ trợ đề xuất các giải pháp giảm phát thải trong sản xuất sàn gỗ, đồng thời tạo nền tảng cho việc xây dựng công bố sản phẩm môi trường (EPD) và cơ sở dữ liệu vòng đời (LCI) trong nước.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng nghiên cứu

Nghiên cứu trong trường hợp này sử dụng ván sàn làm từ gỗ Sồi trắng (*Quercus alba*) với kích thước hoàn thiện 450 mm x 90 mm x 15 mm, được gia công từ phôi gỗ 19 mm x 100 mm x 1900 mm có độ ẩm 8–12%, tại TP. Hồ Chí Minh. Nguyên liệu gỗ được nhập khẩu từ Mỹ và xuất tại cảng Baltimore, có nguồn gốc hợp pháp, kèm theo thông tin truy xuất xuất xứ rõ ràng. Quá trình vận chuyển được thực hiện bằng đường biển, sau đó được vận chuyển bằng xe tải đến nhà máy.

Quy trình gia công bao gồm: bào hai mặt, rong cạnh, cắt ngắn, chà nhám thô, tạo rãnh âm dương, gia công mộng vuông góc hai đầu, chà nhám tinh, sơn phủ bề mặt và đóng gói (Hình 1). Các bước này đảm bảo chất lượng, độ bền và thẩm mỹ của sản phẩm ván sàn (Hình 2).



Hình 1. Quy trình sản xuất ván lót sàn từ gỗ Sồi trắng

Hình 2. Sản phẩm ván sàn từ gỗ Sồi trắng hoàn thiện

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu này tuân thủ các hướng dẫn được quy định trong các tiêu chuẩn ISO sau:

- ISO 14040:2006: Quản lý môi trường – Đánh giá vòng đời – Nguyên tắc và khung phương pháp [9];

- ISO 14044:2006: Quản lý môi trường – Đánh giá vòng đời – Yêu cầu và hướng dẫn [10];

- ISO 14067:2018: Khí nhà kính – Dấu vết các-bon của sản phẩm – Yêu cầu và hướng dẫn về định lượng [11].

Phân tích dấu vết các-bon cho ván lót sàn gỗ Sồi trắng được thực hiện theo các tiêu chuẩn ISO 14040, 14044 và 14067, thông qua bốn bước chính sau: (i) xác định mục tiêu và phạm vi, (ii) phân tích cơ sở dữ liệu vòng đời, (iii) đánh giá tác động môi trường, và (iv) diễn giải kết quả.

2.2.1. Xác định mục tiêu và phạm vi

Mục tiêu chính của đánh giá vòng đời (LCA) này là đánh giá dấu vết các-bon của trường hợp nghiên cứu và xác định các điểm phát thải chính, từ đó cung cấp thông tin cho các chiến lược giảm phát thải. Đối tượng hướng đến của nghiên cứu LCA này bao gồm các nhà nghiên cứu tập trung vào ván lót sàn gỗ Sồi trắng và dấu vết các-bon liên quan. Cần lưu ý rằng nghiên cứu này không thực hiện so sánh giữa các phương án LCA.

Phạm vi của nghiên cứu bao gồm cả phạm vi vật lý/địa lý và phạm vi thời gian, được xác định phù hợp với mục tiêu nghiên cứu. Theo tiêu chuẩn ISO 14040, 14044 và 14067, phạm vi được xác định là “cradle to grave”. Mô-đun A4–A5 không bao gồm trong nghiên cứu vì dữ liệu khoảng cách vận chuyển, phương tiện và quy trình lắp đặt phụ thuộc vào công trình cụ thể, không phải dữ liệu chung. Trong giai đoạn sử dụng B1–B7, sản phẩm không tiêu thụ năng lượng, nước và các hoạt động bảo trì, bảo dưỡng có tác động không đáng kể. Bảng 1 trình bày các giai đoạn vòng đời và các mô-đun xác định giới hạn hệ thống. Đáng chú ý, giai đoạn sử dụng sản phẩm được bao gồm trong đánh giá này.

Bảng 1. Vòng đời của trường hợp nghiên cứu – các giai đoạn và mô-đun được bao gồm

Giai đoạn vòng đời	Mô-đun	Mô tả mô-đun	Bao gồm/ Không bao gồm
Sản phẩm	A1	Nguyên liệu đầu vào	X
	A2	Vận chuyển	X
	A3	Sản xuất	X
Phân phối, lắp đặt	A4	Phân phối	MND
	A5	Xây dựng và lắp đặt	MND
Sử dụng	B1	Phát thải vật liệu trong quá trình sử dụng	MND
	B2	Bảo trì, bao gồm vận chuyển vật liệu	MND
	B3	Sửa chữa, bao gồm vận chuyển vật liệu	MND
	B4	Thay thế, bao gồm vận chuyển vật liệu	MND
	B5	Tân trang, bao gồm vận chuyển vật liệu	MND
	B6	Năng lượng vận hành	MND
	B7	Sử dụng nước vận hành	MND
Cuối vòng đời	C1	Tháo dỡ và phá dỡ	X
	C2	Vận chuyển	X
	C3	Xử lý chất thải	X
	C4	Thải bỏ	X
Lợi ích ngoài ranh giới	D	Tái sử dụng, tái chế hoặc thu hồi	X

Ghi chú: X: Mô-đun bao gồm, MND: Mô-đun không bao gồm.

2.2.2. Đơn vị chức năng và ranh giới hệ thống

Đơn vị chức năng được lựa chọn cho nghiên cứu này là 1 mét vuông ván lót sàn làm từ gỗ Sồi trắng được sản xuất tại miền Nam Việt Nam. Dữ liệu sơ cấp cho nghiên cứu (các mô-đun A1–A3) được thu thập từ bảng khối lượng do hệ thống quản lý dữ liệu của nhà sản xuất cung cấp trong các giai đoạn sản xuất và lắp đặt, diễn ra từ tháng 10 năm 2023 đến tháng 09 năm 2024.

Ranh giới hệ thống trong đánh giá này bao gồm các mô-đun sau:

- A1–A3: Chuẩn bị nguyên liệu (A1), vận chuyển nguyên liệu (A2) và sản xuất (A3).

- C1–C4: Bao gồm vận hành thiết bị tháo dỡ (C1), vận chuyển chất thải (C2), tái chế chất thải (C3) và xử lý chất thải tại bãi chôn lấp (C4).

- D: Xem xét lợi ích và tải trọng phát sinh ngoài vòng đời của công trình.

2.2.3. Kiểm kê vòng đời

Phần này trình bày dữ liệu kiểm kê vòng đời, các giả định và nguồn dữ liệu được sử dụng cho công trình nghiên cứu điển hình. Nghiên cứu đã áp dụng các tiêu chí sau trong việc lựa chọn dữ liệu để mô phỏng [9]:

- *Mức độ phù hợp:* Các nguồn, dữ liệu và phương pháp được lựa chọn phải phù hợp để đánh giá kiểm kê vòng đời của sản phẩm được chọn.

- *Tính đầy đủ:* Bao gồm tất cả các hạng mục kiểm kê có đóng góp vào phát thải trong vòng đời của sản phẩm. Tính nhất quán: Đảm bảo dữ liệu cho phép so sánh có ý nghĩa trong các đánh giá tác động vòng đời.

- *Độ chính xác:* Giảm thiểu sai lệch và mức độ không chắc chắn đến mức thấp nhất có thể.

- *Tính minh bạch:* Cung cấp đủ thông tin để các bên thứ ba có thể đưa ra đánh giá.

- *Phạm vi thời gian:* Dữ liệu được sử dụng phải phản ánh các hoạt động hiện tại trong xây dựng công trình nghiên cứu.

- *Phạm vi địa lý:* Đảm bảo dữ liệu phản ánh đúng nguồn gốc vật liệu, cho dù từ Việt Nam hay nhập khẩu, phù hợp với mục tiêu của nghiên cứu.

Dựa trên các thông tin nền tảng, chất lượng dữ liệu được phân thành ba loại theo tính đại diện như: địa lý, kỹ thuật và thời gian. Ngoài ra, chất lượng dữ liệu được chia ra thành năm bậc theo mức độ chính xác: rất tốt, tốt, trung bình, kém, rất kém. Dữ liệu dựa trên giả định được xếp loại có chất lượng trung bình, trừ khi có hỗ trợ từ các báo cáo chính thức.

Bảng 2 tóm tắt các nguồn phát thải khí nhà kính và đánh giá việc thu thập dữ liệu.

Bảng 2. Tóm tắt các nguồn phát thải khí nhà kính và yêu cầu thu thập dữ liệu

Giai đoạn vòng đời hoặc đầu vào/đầu ra	Dữ liệu yêu cầu	Nguồn dữ liệu	Chất lượng dữ liệu sơ cấp	Chất lượng dữ liệu nền
A1 – A3: Nguyên vật liệu và sản xuất	Nguồn gốc và số lượng vật liệu được sử dụng cho sản phẩm	- Hóa đơn điện; - Hóa đơn chứng từ liên quan nguồn gốc nguyên vật liệu; - Hóa chứng từ mua hàng;	Tốt	Tốt
C1: Tháo dỡ và phá dỡ công trình	Thủ công	Biên bản bàn giao	Tốt	Tốt
C2: Vận chuyển chất thải	Phương tiện và khoảng cách vận chuyển (tiêu thụ nhiên liệu)	Giả định (50 km, xe tải 16 tấn)	Thấp	Tốt
C3: Xử lý chất thải	Tỷ lệ tái chế sản phẩm	European Platform on LCA (2020) [12]	Trung bình	Trung bình
C4: Thải bỏ	Tỷ lệ tái chế sản phẩm	European Platform on LCA (2020)	Trung bình	Trung bình
D: Lợi ích ngoài ranh giới	Tỷ lệ tái chế sản phẩm	European Platform on LCA (2020)	Trung bình	Trung bình

2.2.4. Đánh giá tác động vòng đời (LCIA)

Các bước này được thực hiện nhằm diễn giải kết quả thành các tác động môi trường chính. Kết quả của đánh giá tác động vòng đời (LCIA) mang tính biểu hiện tương đối, thay vì dự đoán các tác động cụ thể đến các điểm cuối của danh mục, vượt ngưỡng, biên an toàn hoặc rủi ro. Đầu vào và đầu ra được phân loại dựa trên hồ sơ tác động môi trường của chúng. Các yếu tố đã được phân loại này sau đó được đánh giá về tiềm năng đóng góp của chúng vào từng danh mục tác động môi trường. Tổng tác động được tính bằng cách cộng tất cả các đóng góp của các đầu vào và đầu ra, với giá trị cuối cùng được biểu thị theo đơn vị hệ số tác động. Các danh mục tác động, đơn vị đo lường và phương pháp LCIA được trình bày trong Bảng 3.

Trong nghiên cứu LCA tập trung vào tác động biến đổi khí hậu, việc lựa chọn mô hình cơ sở 100 năm của IPCC là hợp lý vì đây là phương pháp được quốc tế công nhận rộng rãi, cung cấp hệ số tiềm năng nóng lên toàn cầu GWP100 cập nhật và đáng tin cậy nhất. GWP100 của IPCC được sử dụng trong báo cáo phát thải quốc gia, tiêu chuẩn ISO 14067 về dấu vết các-bon của sản phẩm và hầu hết các Công bố Sản phẩm Môi trường (EPDs), nhờ đó giúp kết quả nghiên cứu dễ so sánh với các nghiên cứu và báo cáo khác. Phương pháp này cũng đơn giản, minh bạch và trực tiếp, chỉ tập trung vào tác động biến đổi khí hậu mà không cần thêm các giả định phức tạp như ReCiPe hoặc ILCD, đồng thời dễ diễn giải cho doanh nghiệp và khách hàng thông qua đơn vị quen thuộc là $kgCO_2$tđ.

Phương trình (1) được sử dụng để tính lượng phát thải khí nhà kính (GHG) liên quan đến sản phẩm trong suốt vòng đời của nó [13].

$$Phát\ thải\ (CO_2tđ) = Dữ\ liệu\ hoạt\ động \times Hệ\ số\ phát\ thải \quad (1)$$

"*Dữ liệu hoạt động*" đề cập đến thông tin định lượng về các nguồn phát thải được thu thập trong Mục 2.2.2 của phần phương pháp luận. Các hệ số tác động môi trường cho từng quá trình (ví dụ: vật liệu, nguồn năng lượng, phương thức vận chuyển từ cơ sở dữ liệu ecoinvent) được mô hình hóa trong phần mềm SimaPro (phiên bản 9.5.0.1) và mô hình vòng đời được xây dựng bằng công cụ bảng tính. Đối với các trường hợp không có hệ số tác động môi trường trong cơ sở dữ liệu ecoinvent, các công bố sản phẩm môi trường (EPDs) đã được sử dụng.

Bảng 3. **Các danh mục tác động trong Đánh giá vòng đời (LCA) được đưa vào nghiên cứu này**

Chỉ số tác động	Đơn vị	Phương pháp đánh giá và triển khai
Biến đổi khí hậu – tổng	$kgCO_2tđ$	Mô hình cơ sở 100 năm của IPCC (dựa trên báo cáo IPCC 2021)
Biến đổi khí hậu – hóa thạch	$kgCO_2tđ$	Mô hình cơ sở 100 năm của IPCC (dựa trên báo cáo IPCC 2021)
Biến đổi khí hậu – sinh học	$kgCO_2tđ$	Mô hình cơ sở 100 năm của IPCC (dựa trên báo cáo IPCC 2021)
Biến đổi khí hậu – sử dụng đất và thay đổi sử dụng đất	$kgCO_2tđ$	Mô hình cơ sở 100 năm của IPCC (dựa trên báo cáo IPCC 2021)

Dấu vết các-bon của một hoạt động hoặc giai đoạn phát thải được tính bằng cách cộng tổng lượng phát thải khí CO_2 tương đương ($CO_2tđ$) từ tất cả các nguồn phát thải, bao gồm cả những nguồn gây tác động đến biến đổi khí hậu (BĐKH), theo công thức (2):

$$BĐKH_{Tổng} = BĐKH_{Hóa\ thạch} + BĐKH_{Sinh\ học} + BĐKH_{Sử\ dụng\ đất\ và\ thay\ đổi\ sử\ dụng\ đất} \quad (2)$$

Trong đó:

- Biến đổi khí hậu – tổng: Tổng tác động đến biến đổi khí hậu, đại diện cho dấu vết các-bon của sản phẩm trong toàn bộ các hoạt động phát sinh phát thải;
- Biến đổi khí hậu – hóa thạch: Tác động đến biến đổi khí hậu do sử dụng nhiên liệu hóa thạch, bao gồm các phát thải liên quan đến hoạt động sử dụng than đá, dầu mỏ và khí đốt tự nhiên;
- Biến đổi khí hậu – sinh học: Tác động đến biến đổi khí hậu từ các nguồn sinh học, bao gồm phát thải và hấp thụ liên quan đến các nguồn sinh học;
- Biến đổi khí hậu – sử dụng đất và thay đổi sử dụng đất: Tác động đến biến đổi khí hậu do sử dụng đất và thay đổi mục đích sử dụng đất, liên quan đến các hiện tượng như phá rừng, suy thoái đất và chuyển đổi mục đích sử dụng đất.

2.2.4. Mô-đun A1–A3

Dữ liệu vòng đời được thu thập từ các phép đo của nhà sản xuất và các nhà cung cấp nguyên liệu, đồng thời kết hợp nghiên cứu tài liệu để bổ sung những chỗ thiếu dữ liệu. Phần kiểm kê vòng đời (LCI) được trình bày trong Bảng 4, 5, 6.

Bảng 4. Nguyên liệu sử dụng cho giai đoạn sản xuất (mô-đun A1)

Nguyên liệu	Số lượng	Đơn vị/m^2
Gỗ Sồi xẻ sấy; độ ẩm 8-12%; t = 650 kg/m^3	0,0223	m^3
Sơn UV	130	g
Keo 502	0,45	g

Bảng 5. Vận chuyển nguyên vật liệu đến nhà máy (mô-đun A2)

Nguyên liệu	Khoảng cách vận chuyển (km)	Phương tiện vận chuyển
Gỗ Sồi	20480	Tàu biển
	41	Xe tải 40 tấn
Sơn UV	30	Xe tải 40 tấn
Màng PE	30	Xe tải 40 tấn
Dây đai	30	Xe tải 40 tấn
Pallet gỗ	30	Xe tải 40 tấn
Keo 502	5	Xe máy

Bảng 6. Giai đoạn sản xuất (mô-đun A3)

Đầu vào/Đầu ra	Tài nguyên	Số lượng	Đơn vị/m²
Đầu vào	Điện	10,61	kWh
	Dầu diesel	0,13	kg
	Giấy carton	0,57	kg
	Pallet gỗ	0,4	kg
	Gói hút ẩm	0,05	kg
	Màng co PE	0,1	kg
	Dây đai	0,1	kg
Đầu ra	Ván lót sàn gỗ Sồi	1	m²
	Vụn gỗ, bụi gỗ	4,7	kg

2.2.4. Tính toán lợi ích và gánh nặng ròng (mô-đun D)

Theo tiêu chuẩn EN 15804+A2 [14], lợi ích và tải ròng trong mô-đun D được tính toán theo phương trình (3):

$$e_{module\ D} = \sum Y\ (M_{MRout} - M_{MRin})(E_{MR\ after\ EOW\ out} - E_{MSub\ out}.\frac{Q_{R\ out}}{Q_{Sub}}) \quad (3)$$

Trong đó:

- Y: Hiệu suất vật liệu, đại diện cho quá trình chuyển đổi từ giai đoạn kết thúc trạng thái chất thải (M-EoW) (mô-đun C1–C4) đến điểm thay thế (M-DoS) trong mô-đun D (khi vật liệu được nâng cấp).

- M_{MRin}: Lượng vật liệu thu hồi (tái chế hoặc tái sử dụng) đi vào hệ thống từ một vòng đời trước đó, được xác định tại ranh giới hệ thống.

- M_{MRout}: Lượng vật liệu rời khỏi hệ thống sẽ được thu hồi (tái chế hoặc tái sử dụng) trong một hệ thống tiếp theo, được định nghĩa tại điểm kết thúc trạng thái chất thải. Điều này tương ứng với chỉ tiêu "vật liệu đưa đi tái chế (kg)] được báo cáo trong các mô-đun C1–C4.

- $E_{MR\ after\ EOW\ out}$: Phát thải, tiêu thụ tài nguyên và phát sinh chất thải liên quan đến vật liệu có nguồn gốc từ tái chế.

- $E_{MSub\ out}$: Phát thải, tiêu thụ tài nguyên và phát sinh chất thải liên quan đến vật liệu sản xuất từ nguyên liệu nguyên sinh.

- $Q_{R\ out}/Q_{Sub}$: Tỷ lệ chất lượng của vật liệu thu hồi tại điểm thay thế. Có thể được xác định dựa trên giá trị kinh tế, và thường mặc định bằng 1.

Bảng 7 trình bày tổng quan cách tính toán mô-đun D đã được thực hiện.

Bảng 7. Phương pháp tính lợi ích từ tái chế

Vật liệu	Khối lượng (kg)	Tỷ lệ tái chế (R2)	Hệ số điều chỉnh (Qs/Qp)	M_{MRout} (kg)	M_{MRin} (kg)	M_{MRout} - M_{MRin} (kg)
Gỗ xẻ sấy	14,5	30%	1	4,35	-	2,93

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Mô-đun A1–A3

Dựa trên dữ liệu trình bày trong Bảng 4, tổng phát thải khí nhà kính ở giai đoạn sản xuất (mô-đun A1–A3) được tính toán là khoảng 12,2 $kgCO_2tđ/m^2$. Phần lớn tác động đến biến đổi khí hậu được ghi nhận từ phát thải do sử dụng nhiên liệu hóa thạch, chiếm hơn 99% tổng phát thải. Giai đoạn A3 (quy trình sản xuất tại nhà máy) được xác định là nguồn đóng góp chính, chiếm trên 65% tổng lượng phát thải, cho thấy đây là giai đoạn có tiềm năng giảm thiểu đáng kể thông qua tối ưu hóa quy trình và sử dụng năng lượng tái tạo. Các đóng góp từ biến đổi khí hậu – sinh học (0,07 $kgCO_2tđ/m^2$) và từ sử dụng và thay đổi sử dụng đất (0,12 $kgCO_2tđ/m^2$) được ghi nhận là không đáng kể so với tổng lượng phát thải. Các kết quả này chỉ ra rằng chiến lược giảm phát thải nên tập trung vào cải thiện hiệu quả năng lượng và giảm tiêu thụ nhiên liệu hóa thạch trong quá trình sản xuất. Bảng 8 thể hiện tác động môi trường của giai đoạn sản xuất (mô-đun A1–A3) của 1 m^2 ván lót sàn bằng gỗ Sồi trắng.

Bảng 8. Phát thải các-bon giai đoạn sản xuất ($kgCO_2tđ/m^2$)

Chỉ số tác động	A1	A2	A3	A1–A3
Biến đổi khí hậu – sinh học	4,56E–03	4,02E–04	6,69E–02	7,19E–02
Biến đổi khí hậu – hóa thạch	2,04	2,03	7,98	12,1
Biến đổi khí hậu – sử dụng và thay đổi sử dụng đất	1,13E–01	1,68E–03	5,67E–03	1,20E–01
Biến đổi khí hậu – tổng	2,16	2,03	8,06	12,2

3.2. Mô-đun A4–A5

Mô-đun A4 (vận chuyển đến công trường) và A5 (quá trình lắp đặt tại công trường) không được đưa vào phạm vi nghiên cứu, vì dữ liệu về khoảng cách vận chuyển, phương tiện vận chuyển và quy trình thi công lắp đặt phụ thuộc vào từng dự án cụ thể (ví dụ: vị trí công trường, loại phương tiện, điều kiện di chuyển, quy trình thi công). Do sự khác biệt lớn giữa các công trình và thiếu dữ liệu trung bình đáng tin cậy, việc đưa các mô-đun này vào có thể làm sai lệch kết quả và giảm khả năng so sánh của nghiên cứu. Cách tiếp cận này phù hợp với thực hành tiêu chuẩn trong các nghiên cứu LCA "cradle-to-gate", trong đó chỉ xem xét các mô-đun A1–A3 nhằm tập trung đánh giá tác động của quá trình sản xuất sản phẩm.

3.3. Mô-đun B1–B7

Giai đoạn sử dụng (mô-đun B1–B7) được loại trừ khỏi phạm vi đánh giá do phát thải các-bon không đáng kể. Sản phẩm ván sàn được thiết kế với khả năng giãn nở hợp lý và độ bền cơ học cao nhờ nguồn gỗ nguyên liệu được tuyển chọn kỹ lưỡng. Lớp sơn UV giúp hạn chế trao đổi ẩm với môi trường, từ đó nâng cao độ bền và kéo dài tuổi thọ sản phẩm. Bên cạnh đó, việc bảo dưỡng rất đơn giản, chỉ cần vệ sinh thông thường mà không phải sử dụng hóa chất chuyên dụng.

3.4. Giai đoạn cuối vòng đời (mô-đun C1–C4) và lợi ích ngoài ranh giới (mô-đun D)

Vào cuối vòng đời công trình, đánh giá được chia thành bốn mô-đun riêng biệt (C1–C4) bao gồm việc tháo dỡ sản phẩm, chuyển chất thải đến cơ sở xử lý hoặc tái chế, và quá trình xử lý cuối cùng của gỗ thông qua tái chế hoặc chôn lấp.

3.4.1. Giai đoạn tháo dỡ (mô-đun C1)

Trong giai đoạn C1, việc tháo dỡ được thực hiện thủ công và không tiêu thụ năng lượng. Do đó, tác động môi trường ở giai đoạn này được coi như không đáng kể (bằng không).

3.4.2. Giai đoạn vận chuyển chất thải và xử lý (mô-đun C2–C4)

- *Vận chuyển chất thải (C2)*

Việc vận chuyển chất thải đến các cơ sở xử lý cuối vòng đời (mô-đun C2) được mô phỏng dựa trên tỷ lệ vật liệu được tái chế so với chôn

lấp, với khoảng cách vận chuyển trung bình giả định là 50 km. Một phần chất thải sản phẩm và vật liệu bao bì được tái sử dụng, trong khi phần còn lại được đưa đến bãi chôn lấp.

- *Tái chế (C3)*

Vì Việt Nam hiện chưa có các quy định cụ thể về tái chế, nghiên cứu này giả định rằng một phần chất thải và vật liệu bao bì được tái chế thành các sản phẩm mới, trong khi các phần không thể tái chế sẽ được xử lý tại bãi chôn lấp. Tỷ lệ tái chế được ước tính dựa trên các giá trị R2 (tỷ lệ tái chế) mới nhất được cung cấp trong Hướng dẫn Dấu chân Môi trường Sản phẩm (PEF). Các giá trị này có trong tài liệu "Annex_C_V2.1_May2020", có thể truy cập tại EP LCA Developer EF [12].

- *Chôn lấp (C4)*

Bất kỳ nguyên liệu đầu vào và vật liệu bao bì nào không được tái chế khi kết thúc vòng đời đều xử lý tại bãi chôn lấp. Việc vận chuyển chất thải đến các bãi chôn lấp, với khoảng cách 50 km, được tính trong mô-đun C2 dựa trên tỷ lệ vật liệu bị chôn lấp.

Giai đoạn này đóng góp vào tổng lượng phát thải khí nhà kính, với 2,15 $kgCO_2$tđ/m² diện tích sàn, chủ yếu do sự phát thải khí methane (CH_4) từ vật liệu gỗ khi chôn lấp,

3.4.3. Lợi ích ngoài ranh giới (mô-đun D)

Dựa trên tỷ lệ tái chế được trong Hướng dẫn PEF, nghiên cứu này giả định tỷ lệ tái chế 30% cho chất thải là gỗ.

Đối với quá trình tái chế thùng carton, chất thải giấy carton được chuyển đổi thành giấy nền cho thùng carton. Lợi ích môi trường của quá trình này được mô phỏng như việc tránh sản xuất giấy nền từ nguyên liệu nguyên sinh. Tuy nhiên, do sự suy giảm chất lượng vật liệu và mất mát tính chất sợi gỗ trong quá trình tái chế, chỉ 75% lợi ích này được tính đến, theo giá trị R2 trong Hướng dẫn PEF.

Tương tự, tỷ lệ tái chế cho pallet gỗ cũng được xác định theo các giá trị R2 trong Hướng dẫn PEF, với tỷ lệ tái chế giả định là 30%. Lợi ích từ vật liệu thải ở giai đoạn kết thúc vòng đời, đạt được thông qua việc tránh phát thải các-bon khi sử dụng vật liệu tái chế thay vì vật liệu mới, là –0,44 $kgCO_2$tđ/m² (Bảng 9).

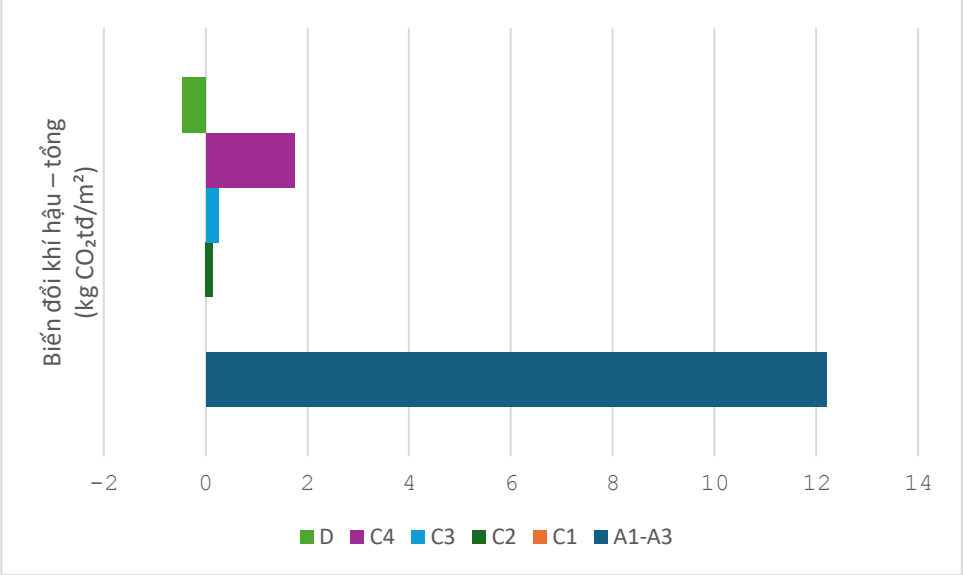
Bảng 9. Phát thải các-bon giai đoạn sản xuất ($kgCO_2$tđ/m²)

Chỉ số tác động	C1	C2	C3	C4	D
Biến đổi khí hậu – sinh học	0	3,31E–05	1,58E–04	1,77E+00	–1,86E–03
Biến đổi khí hậu – hóa thạch	0	1,47E–01	2,59E–01	–2,62E–02	–4,38E–01
Biến đổi khí hậu – sử dụng và thay đổi sử dụng đất	0	6,56E–05	7,85E–04	6,84E–07	–1,47E–03
Biến đổi khí hậu – tổng	0	1,47E–01	2,60E–01	1,74E+00	–4,42E–01

3.5. Đánh giá lượng phát thải

Kết quả đánh giá dấu vết các-bon (Hình 3) cho thấy giai đoạn sản xuất (A1–A3) đóng góp lớn nhất vào tổng phát thải với giá trị khoảng 12,2 $kgCO_2$tđ/m², chiếm tỷ lệ áp đảo trong toàn bộ vòng đời sản phẩm. Giai đoạn xử lý cuối vòng đời C4 là giai đoạn có phát thải lớn tiếp theo, khoảng 1,74 $kgCO_2$tđ/m², trong khi các giai đoạn khác như C2 và C3 đóng góp lần lượt 0,147 và 0,260 $kgCO_2$tđ/m². Giai đoạn C1 gần như không phát thải đáng kể. Đáng chú ý, mô-đun D mang lại lợi ích môi trường với giá trị âm (–0,442 $kgCO_2$tđ/m²), phản ánh khả năng bù đắp phát thải nhờ tái chế và thu hồi năng lượng sau khi sản phẩm kết thúc vòng đời.

Nhìn chung, tổng phát thải của sản phẩm đạt 13,7 $kgCO_2$tđ/m², chỉ ra rằng quá trình sản xuất và xử lý cuối vòng đời là các giai đoạn trọng yếu cần được ưu tiên trong các giải pháp giảm phát thải. Việc tối ưu hóa tiêu thụ năng lượng, giảm khoảng cách vận chuyển nguyên liệu và nâng cao tỷ lệ tái chế, tận dụng lợi ích từ mô-đun D sẽ góp phần đáng kể trong việc giảm dấu vết các-bon tổng thể của sản phẩm.



Hình 3. Dấu vết các-bon của nghiên cứu (kgCO₂tđ/m²)

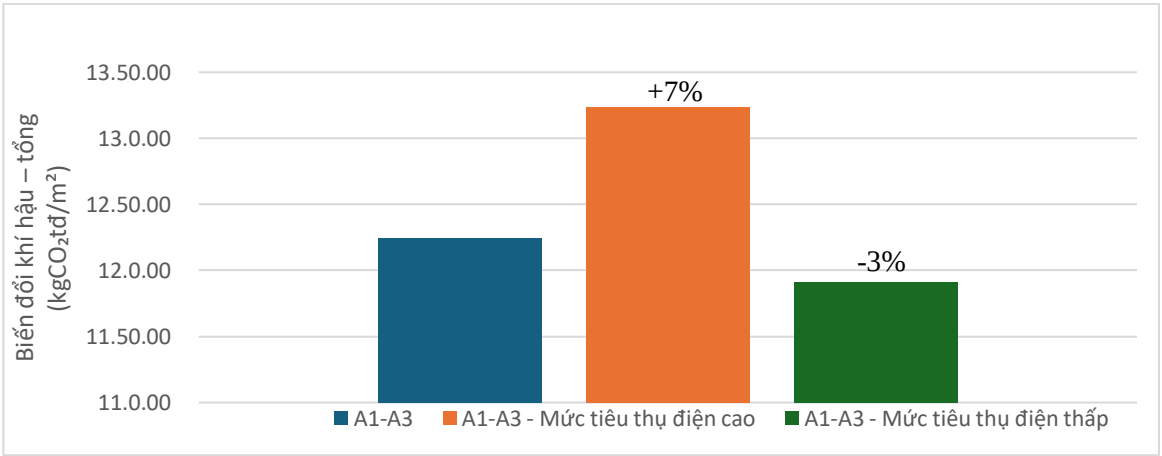
3.6. Đánh giá độ nhạy

Kết quả thu được tác động của sản phẩm cho thấy giai đoạn sản xuất (A1–A3) chiếm tới 88% tổng lượng ảnh hưởng đến cả vòng đời của sản phẩm. Đặc biệt, ở giai đoạn sản xuất (mô-đun A3) chiếm tỷ lệ lên tới 66%. Quan sát các yếu tố ảnh hưởng, lượng điện tiêu thụ đóng góp một lượng đáng kể, chính vì vậy yếu tố này được đem ra để đánh giá độ nhạy.

Bảng 10 và Hình 4 thể hiện sự đánh giá và ảnh hưởng khi thay đổi kịch bản lượng điện tiêu thụ ở mức thấp hơn (–5%) và ở mức cao hơn (+15%) so với mức thực tính.

Bảng 10. Các kịch bản tính thay đổi cho mức điện tiêu thụ

Yếu tố	Điện tiêu thụ theo tính toán	Điện tiêu thụ theo kịch bản giảm (5%)	Điện tiêu thụ theo kịch bản tăng (15%)	GWP-Tổng$_{Thấp}$ (kgCO₂tđ/m²)	GWP-Tổng$_{Cao}$ (kgCO₂tđ/m²)
Lượng điện tiêu thụ	10,61	10,08	12,2	11,92	13,23



Hình 4. Tỷ lệ chênh lệch với các kịch bản mức điện tiêu thụ khác nhau

3.7. So sánh kết quả đánh giá vòng đời (LCA) với các nghiên cứu tương tự

Khi so sánh với các nghiên cứu về sản phẩm tương tự, Lao và cộng sự (2024) báo cáo rằng đối với ván lót sàn sản xuất tại Trung Quốc, lượng phát thải trước khi tính đến phần các-

bon hấp thụ là 6,76 $kgCO_2tđ/m^2$. Tuy nhiên, khi cộng dồn lượng các-bon mà gỗ đã tích lũy trước đó, giá trị này chuyển sang âm, tương ứng với mức hấp thụ 8,5 $kgCO_2tđ/m^2$ [2]. Tương tự, lượng điện tiêu thụ cũng đóng góp một tỷ trọng lớn đến tổng lượng phát thải ở giai đoạn sản xuất.

Heidari và cộng sự (2019) đã thực hiện đánh giá dấu vết các-bon cho sản phẩm ván sàn qua các giai đoạn: sản xuất (A1–A3), vận chuyển và lắp đặt (A4–A5), sử dụng (B1–B7), cuối vòng đời (C1–C4) và xử lý cuối cùng (D) [15]. Giai đoạn sử dụng ghi nhận phát thải lớn nhất với 15,18 $kgCO_2tđ/m^2$, chiếm 57% tổng lượng phát thải. Nhờ khả năng hấp thụ các-bon của gỗ, lượng phát thải ròng giảm còn 12,27 $kgCO_2tđ/m^2$. Đồng thời, biện pháp chôn lấp giúp lưu trữ lâu dài 14,37 $kgCO_2tđ/m^2$.

Mahalle (2011) cũng ghi nhận tiềm năng tích cực ở giai đoạn sản xuất (A1–A3) với khả năng hấp thụ đến 14,14 $kgCO_2tđ/m^2$. Tuy nhiên, do kịch bản xử lý cuối vòng đời là chôn lấp nên phát sinh khí methane, dẫn đến tổng hấp thụ ròng giảm còn 4,79 $kgCO_2tđ/m^2$ [3].

Ngoài ra, kết quả được so sánh với hai công bố môi trường của Hiệp hội gỗ sàn của Mỹ (National Wood Flooring Association, NWFA), về ván sàn gỗ nguyên và ván sàn gỗ công nghiệp. Sự khác biệt được ghi nhận chủ yếu là do quãng đường vận chuyển nguồn nguyên liệu (Bảng 11).

Bảng 11. So sánh lượng phát thải khí nhà kính của các nghiên cứu

Sản phẩm/Nguồn dữ liệu	Đơn vị chức năng	Tổng phát thải (A1–D) ($kgCO_2tđ/m^2$)
Ván sàn gỗ Sồi (nghiên cứu này)	1 m^2	12,2
Solid Wood Flooring (công bố EPD, NWFA [7])	1 m^2	9,16
Engineered Wood Flooring (công bố EPD, Decorative Hardwoods Association, NWFA [8])	1 m^2	11,4

4. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã thực hiện đánh giá vòng đời toàn diện đối với sản phẩm ván sàn gỗ Sồi trắng, tuân thủ các tiêu chuẩn ISO 14040, ISO 14044 và ISO 14067. Những phát hiện này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc giảm thải các-bon trong giai đoạn sản xuất, đặc biệt thông qua việc áp dụng các nguồn điện xanh và cải thiện hiệu suất. Kết hợp với các giải pháp tăng cường thu hồi cuối vòng đời, những biện pháp này có thể làm giảm đáng kể tổng dấu vết các-bon và củng cố vai trò của sàn gỗ Sồi trắng trong việc giảm thiểu khí nhà kính.

Kết quả nghiên cứu không chỉ cung cấp bằng chứng khoa học cho việc lựa chọn vật liệu xây dựng thân thiện với môi trường mà còn tạo cơ sở cho việc xây dựng cơ sở dữ liệu vòng đời (LCI) và công bố sản phẩm môi trường (EPD) tại Việt Nam. Trong tương lai, các nghiên cứu cần tiếp tục hoàn thiện quy trình sản xuất, mở rộng phân tích cho nhiều loại gỗ khác nhau và phát triển các phương pháp tái chế hiệu quả hơn, qua đó thúc đẩy ngành công nghiệp gỗ phát triển theo hướng phát thải thấp, phù hợp với mục tiêu quốc gia của Việt Nam về phát thải ròng bằng không (Net Zero 2050).

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này là một phần của đề tài khoa học và công nghệ cấp cơ sở mã số CS-SV24-LN-01 được cấp kinh phí bởi Trường Đại học Nông Lâm TP. Hồ Chí Minh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Nguyễn Thùy Mỹ Linh, Vũ Tấn Phương, Lê Thị Thu Hằng, Hoàng Nguyễn Việt Hoa & Nguyễn Anh Dũng (2022). Dấu vết các-bon trong sản xuất gỗ tròn, gỗ xẻ và dăm gỗ từ rừng trồng keo ở vùng Đông Bắc Bộ. Tạp chí Khoa học Lâm nghiệp. 1: 115-128.

[2]. Lao W., Han Y. & You J. (2024). Carbon footprint as an environmental indicator for wood flooring industry in China. Case Studies in Construction Materials. 21: e03594. DOI: 10.1016/j.cscm.2024.e03594.

[3]. Mahalle L. (2011). A Comparative Life Cycle Assessment of Canadian Hardwood Flooring with Alternative Flooring Types. FPInnovations. Truy cập từ https://library.fpinnovations.ca/link/fpipub39376.

[4]. Bergman R. D., Gu H., Falk R. H. & Napier T. R. (2010). Using reclaimed lumber and wood flooring in construction: Measuring environmental impact using life-cycle inventory analysis. Proceedings of the International Convention of Society of Wood Science and Technology and United Nations Economic Commission for Europe--Timber Committee. October 11-14, 2010, Geneva, Switzerland. 11 p.: Paper WS-11. Truy cập từ https://www.fpl.fs.usda.gov/documnts/pdf2010/fpl_2010_bergman002.pdf.

[5]. Lao W. (2024). Assessing environmental burdens of China's wooden flooring production based on life-cycle assessment. Journal of Cleaner Production. 446(93): 141341. DOI: 10.1016/j.jclepro.2024.141341 .

[6]. Hubbard S. S., Bowe S. A. (2010). A Gate-To-Gate Life-Cycle Inventory of Solid Hardwood Flooring in the Eastern US. Wood and Fiber Science. (42): 79-89. Truy cập từ: https://wfs.swst.org/index.php/wfs/article/view/1494/1494.

[7]. National Wood Flooring Association (2022). Cradle-to-grave EPD for industry average solid wood flooring products. Truy cập từ https://nwfa.org/wp-content/uploads/2025/06/Engineered-Wood-Flooring-EPD-20250603.pdf.

[8]. Decorative Hardwoods Association, National Wood Flooring Association (2022). Cradle-to-grave EPD for industry average engineered wood flooring products. Truy cập từ https://nwfa.org/wp-content/uploads/2025/06/Engineered-Wood-Flooring-EPD-20250603.pdf.

[9]. International Organization for Standardization (2006). ISO 14040: Environmental management — Life cycle assessment — Principles and framework.

[10]. International Organization for Standardization (2006). ISO 14044: Environmental management—Life cycle assessment—Requirements and guidelines.

[11]. International Organization for Standardization (2018). ISO 14067: Greenhouse gases — Carbon footprint of products — Requirements and guidelines for quantification.

[12]. European Platform on LCA (2020). Annex C - European Platform on LCA. Truy cập từ https://eplca.jrc.ec.europa.eu/permalink/Annex_C_V2.1_May2020.xlsx.

[13]. Life Cycle Initiative (2011). Global guidance principles for Life Cycle Assessment databases: a basis for greener processes and products. United Nations Environment Programme, Paris, France. 156.
Truy cập từ https://www.lifecycleinitiative.org/wp-content/uploads/2012/12/2011%20-%20Global%20Guidance%20Principles.pdf.

[14]. European Committee for Standardization. (2019). EN 15804:2012+A2:2019 – Sustainability of construction works – Environmental product declarations – Core rules for the product category of construction products.

[15]. Heidari M. D., Bergman R. D., Salazar J., Hubbard S. S. & Bowe S. A. (2019). Life-cycle assessment of solid hardwood flooring in the Eastern United States. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, WI, USA. DOI: 10.2737/FPL-RP-717.