



TÍCH HỢP BIM VÀ LCA ĐỂ ĐÁNH GIÁ VÒNG ĐỜI CÔNG TRÌNH NHÀ Ở TẠI VIỆT NAM: THUẬN LỢI, KHÓ KHĂN VÀ GIẢI PHÁP

Lê Đình Linh^{1*}, Tạ Ngọc Bình²

Tóm tắt: Tích hợp Mô hình thông tin công trình (BIM) và phương pháp Đánh giá vòng đời công trình (Life cycle assessment - LCA) để đánh giá vòng đời công trình xây dựng nhằm cung cấp các thông tin có đủ độ tin cậy và đảm bảo sức thuyết phục cho người ra quyết định có thể lựa chọn được sản phẩm thân thiện với môi trường, hướng tới mục tiêu xây dựng bền vững. Hiện nay trên thế giới đã có nhiều công trình nghiên cứu trình bày cách áp dụng BIM, LCA và sự tích hợp BIM và LCA trong giai đoạn thiết kế. Ở Việt Nam chưa có một công trình nghiên cứu nào trình bày cách tích hợp BIM và LCA nhằm đánh giá vòng đời công trình nhà ở. Bài báo này sử dụng các phương pháp phân tích và tổng hợp lý thuyết, phân loại và hệ thống hóa lý thuyết, suy luận logic và phương pháp chuyên gia nhằm tổng hợp và trình bày cách tích hợp BIM và LCA để đánh giá vòng đời công trình nhà ở và chỉ rõ những khó khăn khi áp dụng tại Việt Nam và đề xuất các giải pháp khắc phục.

Từ khóa: Đánh giá vòng đời công trình; mô hình thông tin công trình; tích hợp BIM và LCA.

Integration of BIM and LCA for life cycle assessment of residential buildings in Vietnam: advantages, difficulties, and solutions

Abstract: Integration of Building Information Modeling (BIM) and Life Cycle Assessment (LCA) for life cycle assessment of buildings is activity providing reliable and persuasive information to decision makers to select environmental products, towards the goal of sustainable construction. There are many studies in the world which present how to apply BIM, LCA, and integration of BIM and LCA in the early design phase. In Vietnam, there is no research on how to integrate BIM and LCA to evaluate the life cycle of buildings. This paper uses methods of analyzing and synthesizing theories, classifying and systematizing theories, logical reasoning and expert methods to synthesize and demonstrate how to BIM and LCA integrate to assess the life cycle, indicate the difficulties in applying in Vietnam and propose several solutions.

Keywords: Life Cycle Assessment (LCA); building Information Modeling (BIM); integration of Building Information Modeling (BIM) and Life Cycle Assessment (LCA).

Nhận ngày 11/12/2017; sửa xong 26/12/2017; chấp nhận đăng 16/01/2018

Received: December 11th, 2017; revised: December 26th, 2017; accepted: January 16th, 2018



1. Giới thiệu

Đánh giá vòng đời công trình (Life Cycle Assessment-LCA) là một trong nhiều công cụ quản lý được sử dụng để đánh giá tác động môi trường trong ngành xây dựng. Do các đặc điểm riêng của sản phẩm xây dựng và quá trình sản xuất xây dựng nên việc áp dụng LCA nhằm đánh giá vòng đời công trình xây dựng trở nên rất đặc thù và gặp phải những khó khăn, thách thức. Cụ thể, do tuổi thọ của công trình rất dài, thông thường khoảng hơn 50 năm nên rất khó có thể dự đoán cho toàn bộ vòng đời “từ sơ sinh tới mộ” của nó; trong suốt thời gian khai thác của tòa nhà có thể trải qua nhiều thay đổi nhỏ hoặc hoàn toàn về hình thức và chức năng ban đầu; có rất nhiều bên liên quan trong hoạt động xây dựng làm cho sự phối hợp trong quá trình đánh giá trở nên phức tạp và khó khăn [1]. Thực tế hiện nay cho thấy, các kết quả phân tích LCA chủ yếu chỉ nhằm mục đích nghiên cứu và ít được chấp nhận bởi các nhà chuyên môn trong lĩnh vực xây dựng do thiếu sự kết hợp của LCA với các công cụ thông dụng, phổ biến trong ngành xây dựng [2]. Do đó, việc

¹ ThS, Khoa Kinh tế và Quản lý xây dựng, Trường Đại học Xây dựng.

² TS, Viện Kinh tế xây dựng.

* Tác giả chính. E-mail: linhld@nuce.edu.vn.

kết hợp LCA với Mô hình thông tin công trình (BIM) có ý nghĩa quan trọng, tạo tiền đề thuận lợi cho việc áp dụng rộng rãi LCA trong lĩnh vực xây dựng [2,3].

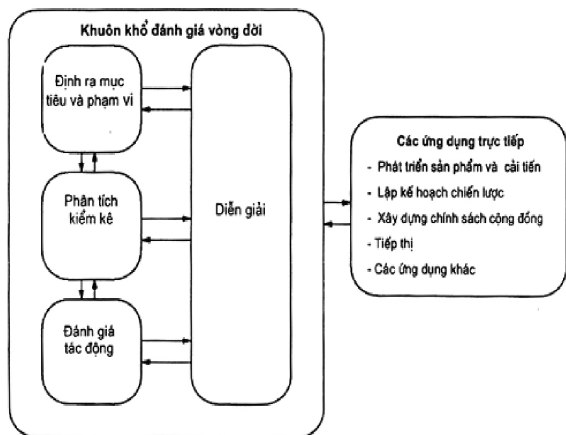
Hiện nay trên thế giới đã có những nghiên cứu tích hợp BIM và LCA trong lĩnh vực xây dựng. Các công trình này đã phân tích và nêu rõ được những ưu điểm của việc tích hợp BIM-LCA để đánh giá vòng đời công trình xây dựng [4,5], đưa ra những chỉ dẫn áp dụng trong giai đoạn thiết kế nhằm so sánh tác động môi trường của các phương án thiết kế khác nhau, giúp lựa chọn được phương án phù hợp, thân thiện với môi trường [3,6]. Tại Việt Nam chưa có một công trình nghiên cứu nào đề cập cách tích hợp BIM và LCA nhằm đánh giá vòng đời công trình xây dựng nói chung và công trình nhà ở nói riêng. Bài báo này sử dụng các phương pháp phân tích và tổng hợp lý thuyết, phân loại và hệ thống hóa lý thuyết, suy luận logic và phương pháp chuyên gia nhằm trình bày và phân tích về tích hợp BIM-LCA để đánh giá vòng đời công trình nhà ở tại Việt Nam. Bài báo cũng sẽ phân tích và chỉ rõ những thuận lợi, khó khăn có thể gặp phải khi áp dụng phương pháp này trong thực tiễn Việt Nam hiện nay nhằm đề xuất các giải pháp để tháo dỡ các rào cản, khó khăn, tạo điều kiện cho việc áp dụng rộng rãi BIM-LCA cho lĩnh vực xây dựng trong thời gian tới.



2. Tổng quan về Mô hình thông tin công trình (BIM) và đánh giá vòng đời công trình (LCA)

2.1 Phương pháp đánh giá vòng đời công trình

Đánh giá vòng đời (LCA) là kỹ thuật đề cập đến các khía cạnh môi trường và các tác động tiềm ẩn như việc sử dụng nguồn tài nguyên và hậu quả môi trường của các phát thải trong suốt vòng đời của sản phẩm kể từ khi thu thập nguyên liệu thô, qua các quá trình sản xuất, sử dụng, xử lý cuối vòng đời sản phẩm, tái chế và thải bỏ cuối cùng [7]. Phương pháp này đã được sử dụng để đánh giá tác động tới môi trường của sản phẩm của các ngành sản xuất khác từ rất sớm, nhưng mới chỉ áp dụng cho ngành xây dựng trong khoảng hơn 10 năm trở lại đây [8-10]. LCA sử dụng cách tiếp cận toàn diện để đánh giá sự tác động tới môi trường trong suốt vòng đời của sản phẩm nên thường được xem là cách tiếp cận “từ nôi tới mộ”. Theo ISO, phương pháp luận thực hiện một LCA gồm 4 bước, như Hình 1 [7,11].



Hình 1. Khung LCA và các bước thực hiện [7]

Bước 1: Xác định mục tiêu, phạm vi và đơn vị

Xác định mục tiêu là phần then chốt của LCA. Mục tiêu của nghiên cứu cần được xác định rõ ràng để quá trình thực hiện phân tích LCA cũng như ứng dụng kết quả của nghiên cứu được diễn ra một cách suôn sẻ. Khi mục tiêu rõ ràng thì việc xác định phạm vi nghiên cứu sẽ không gặp nhiều khó khăn. Tại bước này phải xác định rõ bối cảnh của nghiên cứu cũng như những hạn chế, yêu cầu về dữ liệu và những giả thiết. Phạm vi của nghiên cứu cũng sẽ xác định những yêu cầu liên quan, để chắc chắn phương hướng và chiều sâu của nghiên cứu phù hợp và tương thích với mục đích đã định sẵn, đáp ứng được yêu cầu [7,11].

Bước 2: Phân tích kiểm kê về vòng đời sản phẩm

Phân tích kiểm kê nhằm xác định số lượng nguồn tài nguyên, năng lượng được sử dụng và sự phát tán ra môi trường có liên quan đến hệ thống nghiên cứu. Trong giai đoạn này, việc xác định ranh giới của hệ thống là rất quan trọng. Các thông số đầu vào và đầu ra được đưa vào hệ thống sẽ được nhận dạng và xác định số lượng. Các giai đoạn chính cần tiến hành làm thống kê số liệu theo khung kỹ thuật đã được xác định cho LCA gồm: Thu nhận nguyên vật liệu; Sản xuất; Sử dụng/tái sử dụng/lưu trữ; Phân phối và vận chuyển; Tái chế; Quản lý chất thải.

Bước 3: Đánh giá tác động vòng đời sản phẩm

Được sử dụng để chuyển đổi số liệu thống kê vòng đời sản phẩm thành các thông số tác động mang tính định lượng. Kết quả của các đánh giá tác động này sẽ mô tả được độ lớn và tầm quan trọng

của những tác động môi trường tiềm tàng trong việc sử dụng tài nguyên và mức phát thải có liên quan đến ranh giới hệ thống đã được xác định. Trong giai đoạn này, người ta lựa chọn các loại tác động để ước tính mức tác động liên quan đến việc sử dụng nguyên vật liệu và mức phát thải liên quan đến hệ thống được nghiên cứu, chẳng hạn khả năng axit hoá, oxy hóa, nóng lên toàn cầu, cạn kiệt tầng ozone, hình thành sương mù, nhu cầu năng lượng sơ cấp, năng lượng không tái tạo và năng lượng tái tạo [3]. Tiếp theo, thực hiện phân loại và mô tả đặc tính. Quá trình phân loại và mô tả đặc tính có tác dụng tách và phân tích các dữ liệu thống kê cho phù hợp với từng loại tác động, các quá trình còn lại tuy không bắt buộc nhưng có tác dụng khiến cho kết quả LCA trở nên dễ hiểu và đáng tin cậy hơn khi được công bố rộng rãi.

Bước 4: Diễn giải kết quả đánh giá tác động

Tiêu chuẩn ISO 14043 quy định các phân tích mang tính trọn vẹn (tất cả các dữ liệu cần diễn giải phải luôn sẵn sàng và hoàn chỉnh), nhạy cảm và không chắc chắn (kết quả của LCA sẽ bị ảnh hưởng bởi tính không chắc chắn của dữ liệu và trong quá trình thực hiện LCA), và nhất quán (các giả định, phương pháp và dữ liệu nhất quán với mục tiêu và phạm vi của nghiên cứu) sẽ được trình bày trước khi diễn giải [12]. Mục đích của giai đoạn này là ước tính sự cần thiết và cơ hội để giảm thiểu các tác động nhờ vào sự nhận biết, ước tính và quyết định sự chọn lựa để cải thiện môi trường trong sản xuất.

2.2 Mô hình thông tin công trình

Những năm đầu của thập kỷ 70, một công nghệ mới với thuật ngữ là Building Information Modeling (BIM) đã xuất hiện trong ngành công nghiệp xây dựng, đó là công nghệ sử dụng mô hình ba chiều (3D) để tạo ra, phân tích và truyền đạt thông tin của công trình. Hiện nay có nhiều định nghĩa về BIM khác nhau trên thế giới, tuy nhiên một cách chung nhất có thể hiểu BIM là tiến trình tạo dựng và sử dụng mô hình kỹ thuật số cho công việc thiết kế, xây dựng và cả quá trình quản lý vận hành như Hình 2 [13]. Như vậy, BIM không đơn thuần là phần mềm, mà BIM là quá trình chứa các mối liên hệ logic về mặt không gian, kích thước, số lượng, vật liệu và các bộ phận công trình. Nó giúp tích hợp thông tin vật lý về các bộ phận công trình với các thông tin khác (vật liệu, tiến độ thi công...) nhằm tối ưu hóa thiết kế, thi công, quản lý vận hành và bảo trì công trình. BIM cũng không bó hẹp theo cách hiểu đơn thuần là chỉ nhằm tạo ra bản phối cảnh ba chiều của công trình sau khi thiết kế xong và phục vụ cho giai đoạn thiết kế mà BIM còn là nguồn lưu trữ và cung cấp thông tin để làm cơ sở vững chắc cho việc ra quyết định trong suốt vòng đời của công trình xây dựng đó, từ giai đoạn thiết kế, thi công đến quản lý vận hành [14].



Hình 2. BIM chứa đựng đầy đủ thông tin trong suốt vòng đời công trình xây dựng



3. Tích hợp BIM và LCA nhằm đánh giá vòng đời công trình nhà ở

Để thực hiện phân tích LCA cần sử dụng rất nhiều thông tin có liên quan ở tất cả các giai đoạn trong suốt vòng đời của công trình xây dựng. Khi tiến hành phân tích LCA, các thông tin này sẽ phải nhập bằng thủ công gây lãng phí thời gian và ảnh hưởng đến độ chính xác của số liệu và kết quả phân tích. Bên cạnh đó, các số liệu này sẽ phải nhập lại nhiều lần khi tiến hành LCA ở các thời điểm khác nhau trong suốt tuổi thọ của công trình xây dựng. Với các công trình đã tồn tại, khi thực hiện LCA sẽ phải đối mặt với việc thiếu hụt phần lớn các thông tin do cách thức lưu trữ thông tin truyền thống hiện nay, ảnh hưởng đến tính khả thi và độ tin cậy của kết quả phân tích. Do vậy, việc số hóa và lưu trữ các thông tin của công trình phục vụ cho các phân tích LCA trở nên rất quan trọng.

Khi tích hợp BIM và LCA, các thông tin hoàn chỉnh trong suốt vòng đời công trình sẽ được thể hiện đầy đủ, chi tiết trên mô hình 3D được tạo bởi các phần mềm BIM, ví dụ như Autodesk Revit. Tất cả các thông

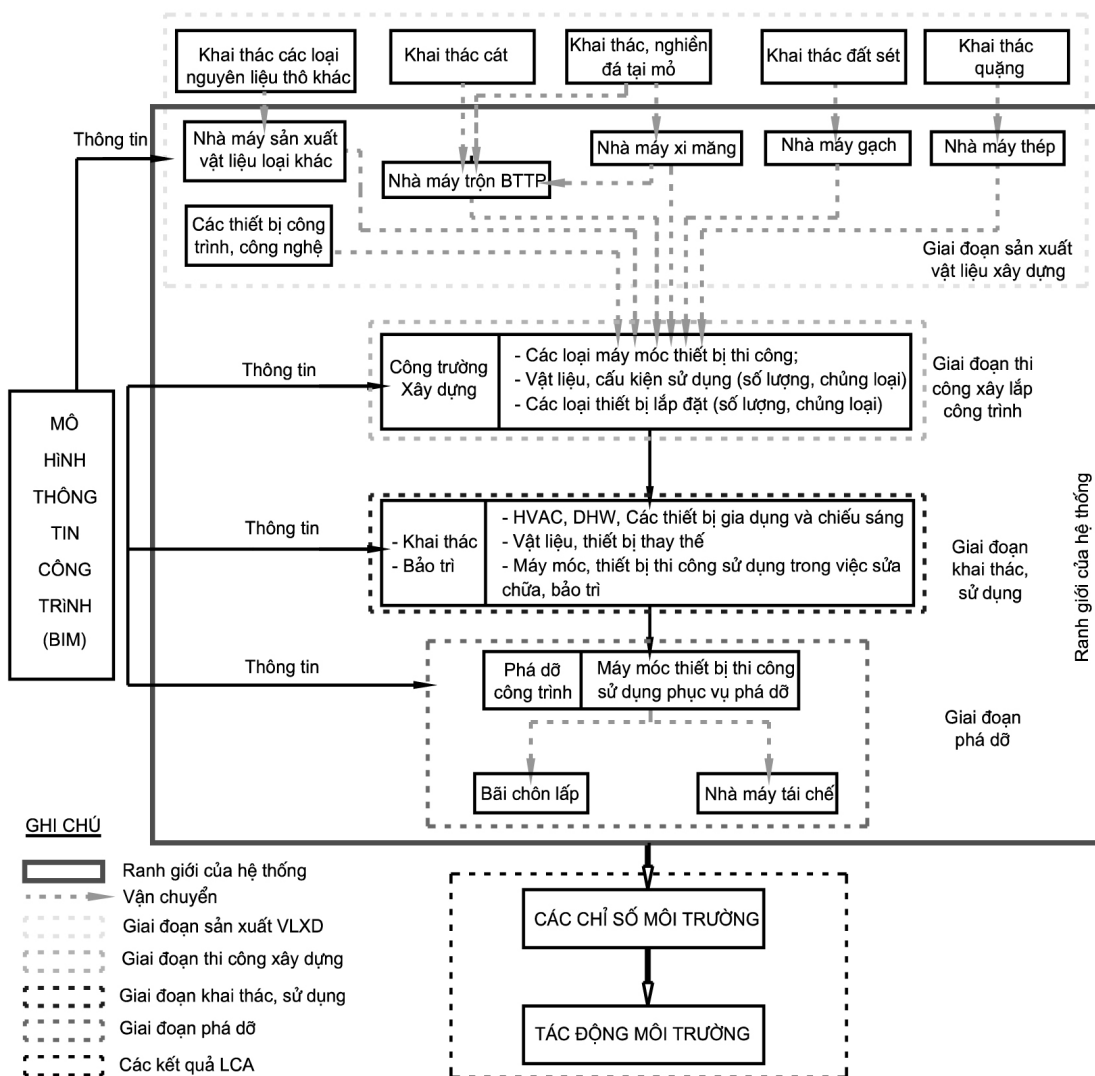
tin này tồn tại dưới dạng kỹ thuật số, có thể lưu trữ và trích xuất phục vụ phân tích LCA bất kỳ thời điểm nào trong suốt thời gian khai thác tòa nhà. Như vậy, với sự ưu thế của mình, BIM sẽ giải quyết được những hạn chế về thiếu hụt số liệu khi thực hiện LCA, giúp tự động hóa trong quá trình phân tích, tiết kiệm thời gian và chi phí. Sự tích hợp BIM-LCA được thể hiện như Hình 3.

Khi tích hợp BIM-LCA để đánh giá vòng đời công trình cần sự phối hợp nhịp nhàng của các chuyên gia trong cả hai lĩnh vực. Chuyên gia LCA cần xác định rõ mục tiêu, phạm vi, ranh giới hệ thống; xác định và cung cấp cơ sở dữ liệu có liên quan cho các chuyên gia BIM số hóa và thể hiện trên các mô hình BIM. Các chuyên gia BIM cần phân tích và chỉ rõ những thông tin không thể số hóa mà bắt buộc phải nhập thủ công trong quá trình phân tích LCA, giúp các chuyên gia LCA tìm kiếm biện pháp lưu trữ thông tin cho phù hợp. Quá trình phân tích LCA có thể tự động hóa bằng cách sử dụng các ứng dụng chạy trên nền của Autodesk Revit như Tally nhằm tiết kiệm tối đa thời gian và đảm bảo độ chính xác của kết quả.

4. Thuận lợi, khó khăn khi tích hợp BIM và LCA nhằm đánh giá vòng đời công trình nhà ở tại Việt Nam và giải pháp khắc phục

4.1 Thuận lợi và khó khăn

Trong điều kiện Việt Nam hiện nay, khi áp dụng BIM-LCA nhằm đánh giá vòng đời công trình xây dựng sẽ có những thuận lợi nhất định như: Chính phủ Việt Nam cũng đã ban hành những văn bản pháp



Hình 3. Tích hợp BIM và LCA để đánh giá vòng đời công trình nhà ở

luật hướng dẫn, tạo hành lang cho việc đánh giá vòng đời công trình [7] và áp dụng BIM trong lĩnh vực xây dựng [15,16]. Tuy nhiên, trong điều kiện Việt Nam hiện nay khi áp dụng tích hợp BIM-LCA trong thực tiễn sẽ gặp phải những khó khăn, rào cản, bao gồm toàn bộ các khó khăn khi áp dụng BIM và sự thiếu hụt thông tin phục vụ đánh giá LCA. Cụ thể:

- Thiếu hụt nguồn nhân lực chất lượng cao, có đủ trình độ và làm chủ được công nghệ BIM và LCA trong xây dựng;
- Trong cuộc phân tích sử dụng đồng thời nhiều chuyên gia của nhiều lĩnh vực nên việc phối hợp giữa các bên liên quan trong việc thực hiện phân tích LCA là một vấn đề tương đối khó khăn;
- Tốn kém chi phí cho việc đào tạo nhân sự ban đầu về sử dụng các phần mềm BIM và chi phí mua bản quyền các phần mềm;
- Thiếu hụt các thông tin môi trường, tuổi thọ của vật liệu, cấu kiện, thiết bị sử dụng cho các công trình xây dựng; các thông tin về hiệu suất sử dụng năng lượng, nước trong giai đoạn xây dựng và phá dỡ phục vụ cho quá trình phân tích LCA; Quá trình phân tích phải giả định nhiều số liệu như các thông tin môi trường còn thiếu của vật liệu, cự ly vận chuyển vật liệu, thiết bị...;
- Việc áp dụng gặp phải rào cản rất lớn về nhận thức của các bên có liên quan. Trong giai đoạn hiện nay, các bên liên quan chưa thực sự xem trọng các khía cạnh môi trường khi lựa chọn giải pháp thiết kế, thậm chí sẽ từ chối không áp dụng do những khó khăn, phức tạp và tốn kém đưa lại;
- Thiếu những nghiên cứu hướng dẫn áp dụng tích hợp BIM-LCA để đánh giá vòng đời công trình xây dựng tại Việt Nam.

4.2 Giải pháp khắc phục

Để giải quyết những khó khăn nêu trên, tạo tiền đề cho việc áp dụng BIM-LCA để đánh giá vòng đời công trình nhà ở tại Việt Nam, cần thiết phải thực hiện đồng bộ các giải pháp:

- Nhà nước cần có chính sách khuyến khích các nghiên cứu có liên quan đến tích hợp BIM-LCA để đánh giá vòng đời công trình xây dựng trong suốt vòng đời của nó. Các nghiên cứu cần hướng dẫn chi tiết cách áp dụng phương pháp này cho từng loại công trình và có ví dụ áp dụng cụ thể;
- Cần xây dựng các chính sách khuyến khích, thúc đẩy sự phát triển của xu hướng xây dựng xanh, xây dựng bền vững tại Việt Nam. Khi xu hướng này phát triển sẽ khiến các phương pháp đánh giá tác động môi trường trong ngành Xây dựng phát triển, tất nhiên có cả phương pháp tích hợp BIM-LCA;
- Đối với việc thiếu hụt dữ liệu, trước mắt có thể áp dụng các phương pháp vận dụng tương tự, chẳng hạn có thể sử dụng số liệu của các loại vật liệu có tính chất tương đương cho nhau trong quá trình phân tích. Về dài hạn, để đảm bảo mức độ tin cậy của các kết quả phân tích, Nhà nước cần nghiên cứu, công bố bộ cơ sở dữ liệu môi trường, tuổi thọ của các loại vật liệu, thiết bị thông dụng thường sử dụng cho các công trình xây dựng ở Việt Nam;
- Các số liệu trong giai đoạn xây dựng và phá dỡ có thể ước tính gần đúng thông qua khối lượng công tác cần thực hiện và định mức hao phí ca máy trong các bộ Định mức dự toán hiện hành do Nhà nước công bố hoặc dựa trên số liệu từ các công trình tương tự nhằm cung cấp dữ liệu cho quá trình phân tích;
- Cần đẩy mạnh các giải pháp nhằm đào tạo, bồi dưỡng, nâng cao nhận thức và trình độ của đội ngũ nhân lực hoạt động trong ngành xây dựng về các mảng kiến thức có liên quan tới BIM và LCA tạo tiền đề vững chắc cho việc áp dụng BIM-LCA trong ngành xây dựng. Các giải pháp có thể áp dụng: lồng ghép các mảng kiến thức này vào chương trình giáo dục chuyên nghiệp, ví dụ như sẽ dạy, hướng dẫn sử dụng Revit trong các trường Đại học, Cao đẳng chuyên nghiệp đang đào tạo nhân lực cho ngành Xây dựng; lập các forum, cộng đồng chia sẻ kinh nghiệm, thảo luận các vấn đề có liên quan đến BIM, LCA và tích hợp BIM-LCA nhằm đánh giá vòng đời công trình xây dựng; có các chính sách hỗ trợ cho các hoạt động đào tạo nguồn nhân lực chất lượng cao để tạo nguồn chuyên gia chất lượng để cung cấp cho các dự án và phục vụ đào tạo đội ngũ kế cận.



5. Kết luận

Cùng với sự phát triển của xu thế xây dựng bền vững, LCA đã và sẽ trở thành phương pháp được sử dụng để đánh giá tác động môi trường của ngành xây dựng và các công trình xây dựng. Đây là một phương pháp có cách tiếp cận toàn diện, sử dụng nhiều thông tin đầu vào và phản ánh sự tác động tới môi trường

của công trình xây dựng trong suốt vòng đời của nó thông qua các chỉ số môi trường. Tích hợp BIM-LCA sẽ khắc phục được sự thiếu hụt thông tin và việc phải nhập liệu bằng thủ công khi thực hiện LCA, giúp tiết kiệm thời gian, chi phí và nâng cao độ tin cậy của kết quả phân tích. Bài báo này đã đưa ra những gợi ý cho việc áp dụng phương pháp này nhằm đánh giá vòng đời công trình nhà ở tại Việt Nam, chỉ rõ một số thuận lợi và khó khăn khi áp dụng trong điều kiện hiện nay, từ đó đề xuất các giải pháp khắc phục. Các kết quả của bài báo có thể coi là tiền đề để thực hiện các nghiên cứu sâu hơn về việc đánh giá vòng đời công trình xây dựng nói chung và công trình là nhà ở tại Việt Nam, tạo điều kiện cho việc đánh giá công trình xanh, hướng tới mục tiêu xây dựng bền vững được thuận lợi.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Viện Quản lý Đầu tư và Xây dựng; tên dự án: thúc đẩy việc ứng dụng BIM tại Việt Nam; mã số IICMDA17108.

Tài liệu tham khảo

1. Phillip F.G.B., Mohamad M.K., Gillian F.M. (2009), "Life-Cycle Assessment and the Environmental Impact of Buildings: A Review", *Sustainability* 2009, 1(3):674-701; doi:10.3390/su1030674.
2. Ben A., Chirjiv K. A. (2017), "Recent developments, future challenges and new research directions in LCA of buildings: A critical review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 67(2017):408-416.
3. Karoline F., Mohammad N., Mariana P., Assed H., (2017), "Integration of BIM and LCA: evaluating the environmental impacts of building materials at an early stage of designing a typical office building", *Journal of Building Engineering* 14 (2017).
4. Díaz J., Antón L.Á. (2014), "Integration of LCA and BIM for Sustainable Construction", *World Academy of Science, Engineering and Technology International Journal of Social, Education, Economics and Management Engineering*, 8(2014):1356-1360.
5. Díaz J., Antón L.Á. (2014), "Integration of life cycle assessment in a BIM environment", *Procedia Engineering*, 85(2014) 26-32.doi:10.1016/j.proeng.2014.10.525.
6. Raidan A., Ahmad J. (2012), "Integrating Building Information Modeling and Life Cycle Assessment tools to design Sustainable Buildings", *Proceedings of the CIB W78 2012: 29th International Conference - Beirut, Lebanon*, 17-19 October.
7. TCVN ISO 14040:2009, *Quản lý môi trường - Đánh giá vòng đời của sản phẩm - Nguyên tắc và khuôn khổ*, Hà Nội.
8. Braet J., Buyle M., Audenaert A. (2013), "Life cycle assessment in the construction sector: a review", *Renewable & Sustainable Energy Reviews*.
9. Lúcia R., Luisa F.C., Virginia V., Gabriel P., Albert C. (2013), "Life cycle assessment (LCA) and life cycle energy analysis (LCEA) of buildings and the building sector: A review", *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 29(2014):394-416.
10. Amanjeet S., George B., Satish J., Matt S. (2011), "Review of life-cycle assessment applications in building construction", *Journal of Architectural Engineering*, 17(2011):15-23.
11. ISO 14040, *Environmental management-Life cycle assessment-Principles and framework*, International Organization for Standardization, Switzerland.
12. ISO 14043:2000, *Environmental management-Life cycle assessment-Life cycle interpretation*, International Organization for Standardization, Switzerland.
13. Paul T., Chuck E., Rafael S., Kathleen L. (2011), *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*, John Wiley & Sons.
14. Nguyễn Việt Hùng (2015), *Nghiên cứu xây dựng lộ trình áp dụng Mô hình thông tin công trình (BIM) nhằm nâng cao hiệu quả thiết kế, xây dựng và quản lý công trình tại Việt Nam*, Báo cáo kết quả nghiên cứu đề tài khoa học, mã số RD 03-14, Bộ Xây dựng.
15. Bộ Xây dựng (2017), *Quyết định số 204/QĐ-BXD ngày 21/3/2017 của Bộ xây dựng về việc Ban hành Kế hoạch thực hiện Đề án Áp dụng mô hình thông tin công trình (BIM) trong hoạt động xây dựng và quản lý vận hành công trình*.
16. Chính phủ (2016), *Quyết định số 2500/QĐ-TTg ngày 22/12/2016 của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt Đề án áp dụng mô hình thông tin công trình (BIM) trong hoạt động xây dựng và quản lý vận hành công trình*.