

Xây dựng mô hình thực nghiệm phân bố phát thải khí nhà kính theo giai đoạn thi công cho các dự án xây dựng dân dụng

Đặng Mậu Chiến^{1, 2*}, Đoàn Quốc Ân²

¹*Viện Công nghệ Vật liệu Tiên tiến, Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, phường Linh Xuân, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam*

²*Công ty Cổ phần Xây Dựng Coteccons, 236/6 Điện Biên Phủ, phường Gia Định, TP. Hồ Chí Minh, Việt Nam*

Ngày nhận bài 13/7/2026; ngày chuyển phản biện 14/7/2026; ngày nhận phản biện 22/7/2026; ngày chấp nhận đăng 27/8/2026

Tóm tắt:

Ngành xây dựng tiêu thụ nhiều vật liệu, năng lượng và phát sinh lượng lớn khí nhà kính (KNK). Tuy nhiên, các nghiên cứu và thực hành kiểm kê hiện nay thường tập trung vào tổng phát thải, nguồn phát thải hoặc mô-đun vòng đời, trong khi quản lý thi công thực tế được tổ chức theo tiến độ và giai đoạn. Nghiên cứu này xây dựng mô hình thực nghiệm phân bố phát thải KNK theo giai đoạn thi công cho dự án xây dựng dân dụng. Phương pháp nghiên cứu kết hợp khảo sát 32 dự án/công trường thuộc bốn nhóm công trình dân dụng với dữ liệu kiểm kê KNK định kỳ 6 tháng tại 40 dự án/công trường của một doanh nghiệp tổng thầu. Kết quả nghiên cứu đề xuất quy trình xác định cấu trúc phân đoạn thi công, xác lập 07 giai đoạn chính, xây dựng danh mục công tác chi tiết mã hóa và mô hình định lượng liên kết dữ liệu phát thải với các giai đoạn thực tế. Kết quả áp dụng cho thấy, phát thải tập trung chủ yếu ở giai đoạn xây dựng kết cấu, chiếm khoảng 40%, tiếp theo là xây dựng vỏ tòa nhà và kiến trúc thô, khoảng 20%; các giai đoạn còn lại đóng góp 5-12%. Mô hình hỗ trợ nhận diện điểm nóng phát thải, thiết lập ngân sách carbon và xây dựng chiến lược giảm phát thải ở cấp dự án/công trường.

Từ khóa: dự án xây dựng dân dụng, giai đoạn thi công, kiểm kê khí nhà kính, mô hình phân bố phát thải, phát thải khí nhà kính, quản lý carbon tại công trường.

*Tác giả liên hệ: Email: dmchien@vnuhcm.edu.vn

Chỉ số phân loại: 2.5

Developing an empirical phase-based greenhouse gas emission distribution model for building construction projects

Chien Mau Dang^{1, 2*}, An Quoc Doan²

¹*Advanced Materials Technology Institute, Vietnam National University Ho Chi Minh City, Linh Xuan Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam*

²*Coteccons Construction (CTD) JSC, 236/6 Dien Bien Phu Street, Gia Dinh Ward, Ho Chi Minh City, Vietnam*

Received 13 July 2026; revised 22 July 2026; accepted 27 August 2026

Abstract:

The construction sector consumes substantial materials and energy and generates significant greenhouse gas emissions. However, existing studies and inventory practices generally focus on total emissions, emission sources, or life-cycle modules, whereas construction management in practice is organised by schedule and construction phase. This study develops an empirical phase-based greenhouse gas emission distribution model for building construction projects. The research combines surveys of 32 projects/sites across four building project groups with six-month greenhouse gas inventory data from 40 projects/sites managed by a general contractor. The results propose a procedure for defining the construction phase structure, establish seven main phases, develop a coded list of detailed construction activities, and formulate a quantitative model linking emission data with actual construction phases. Model application shows that emissions are concentrated mainly in the structural construction phase, accounting for approximately 40%, followed by the building envelope and architectural rough-in phase at approximately 20%, the remaining phases contribute 5-12%. The model supports emission hotspot identification, carbon budgeting, and project/site-level emission reduction strategies.

Keywords: building construction projects, construction phase, construction-site carbon management, emission distribution model, greenhouse gas emissions, greenhouse gas inventory.

Classification number: 2.5**1. Đặt vấn đề**

Ngành xây dựng giữ vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế - xã hội, nhưng đồng thời là một trong những lĩnh vực có mức tiêu thụ năng lượng, vật liệu và phát thải KNK lớn. Theo báo cáo của Chương trình Môi trường Liên hợp quốc, khu vực công trình và xây dựng tiêu thụ khoảng 32% năng lượng toàn cầu và đóng góp khoảng 34% phát thải CO₂ toàn cầu [1]. Ở một cách tiếp cận khác, Ủy ban Liên chính phủ về biến đổi khí hậu (IPCC) cho biết, năm 2019 phát thải KNK của khu vực công trình đạt khoảng 12 GtCO_{2e}, tương đương 21% tổng phát thải KNK toàn cầu; nếu chỉ xét riêng CO₂, tỷ trọng phát thải CO₂ của khu vực này chiếm khoảng 31% tổng phát thải CO₂ toàn cầu [2]. Sự khác biệt giữa các tỷ lệ này chủ yếu xuất phát từ khác biệt về chỉ tiêu đo lường, mẫu số so sánh, năm dữ liệu và phạm vi hệ thống được xem xét. Các số liệu này cho thấy, việc giảm phát thải trong lĩnh vực xây dựng không chỉ giới hạn ở giai đoạn vận hành công trình, mà cần được mở rộng sang toàn bộ vòng đời, đặc biệt là giai đoạn thi công.

Trong các phương pháp đánh giá môi trường hiện nay, đánh giá vòng đời công trình thường được xây dựng trên cơ sở các nguyên tắc “đánh giá vòng đời” (life cycle assessment - LCA), với các bước xác định mục tiêu và phạm vi, phân tích kiểm kê vòng đời, đánh giá tác động và diễn giải kết quả [3]. Đối với môi trường xây dựng, các hướng dẫn về carbon toàn vòng đời thường chia phát thải theo các mô-đun như sản phẩm, vận chuyển, thi công - lắp đặt, sử dụng và kết thúc vòng đời [4]. Cách tiếp cận này tạo nền tảng quan trọng để lượng hóa phát thải KNK của công trình, nhưng thường được tổ chức theo cấu trúc vòng đời hoặc theo nguồn phát thải, trong khi hoạt động quản lý thi công thực tế lại diễn ra theo tiến độ, giai đoạn thi công và nhóm công tác chi tiết trên công trường.

Các nghiên cứu thực nghiệm trước đây đã góp phần nhận diện những nguồn phát thải chính trong giai đoạn thi công công trình. H. Yan và cs (2010) [5] thông qua nghiên cứu trường hợp công trình One Peking tại Hồng Kông (Trung Quốc), cho thấy phát thải trong xây dựng chủ yếu liên quan đến vật liệu, vận chuyển vật liệu và sử dụng năng lượng cho thiết bị thi công. J. Hong và cs (2015) [6], trong nghiên cứu về giai đoạn thi công một công trình tại Trung Quốc, cũng chỉ ra rằng phát thải gián tiếp chiếm tỷ trọng rất lớn, trong đó sản xuất vật liệu xây dựng và điện sử dụng tại công trường là các nguồn phát thải đáng chú ý. Tuy nhiên,

phần lớn các nghiên cứu này tiếp cận phát thải theo nguồn phát thải, theo hoạt động hoặc theo trường hợp đơn lẻ; chưa tập trung xây dựng một mô hình thực nghiệm có khả năng phân bổ phát thải KNK theo các giai đoạn thi công được sử dụng trong quản lý dự án xây dựng dân dụng.

Trong thực tế quản lý thi công, nhà thầu, chủ đầu tư và tư vấn quản lý dự án không chỉ cần biết tổng lượng phát thải KNK của một công trình, mà còn cần biết phát thải tập trung ở giai đoạn nào, thời điểm nào trong quá trình thi công có nguy cơ phát thải cao và biện pháp giảm phát thải nên được ưu tiên ở giai đoạn nào. Nếu dữ liệu kiểm kê chỉ được tổng hợp ở cấp toàn dự án hoặc toàn kỳ báo cáo, khả năng chuyển hóa kết quả kiểm kê thành hành động quản lý sẽ bị hạn chế. Ngược lại, nếu phát thải được phân bổ theo các giai đoạn thi công cụ thể, kết quả kiểm kê có thể hỗ trợ thiết lập ngân sách carbon theo tiến độ, nhận diện điểm nóng phát thải, lựa chọn vật liệu carbon thấp, tối ưu vận chuyển, kiểm soát nhiên liệu thiết bị, quản lý điện năng công trường và giảm phát thải từ chất thải xây dựng.

Tại Việt Nam, yêu cầu kiểm kê KNK và đo đạc, báo cáo, thẩm định giảm nhẹ phát thải KNK trong ngành xây dựng đang ngày càng được cụ thể hóa. Thông tư số 13/2024/TT-BXD của Bộ Xây dựng đã quy định quy trình, quy định kỹ thuật kiểm kê KNK và đo đạc, báo cáo, thẩm định (measurement, reporting, verification - MRV) giảm nhẹ phát thải KNK ngành xây dựng [7]. Trong bối cảnh đó, các doanh nghiệp xây dựng cần những công cụ kiểm kê và phân tích phát thải phù hợp với điều kiện quản lý công trường, có khả năng áp dụng lặp lại cho nhiều dự án, đồng thời đủ đơn giản để kỹ sư công trường có thể ghi nhận và cập nhật dữ liệu định kỳ.

Từ khoảng trống nêu trên, nghiên cứu này được thực hiện nhằm xây dựng mô hình thực nghiệm phân bổ phát thải KNK theo giai đoạn thi công cho các dự án xây dựng dân dụng. Nghiên cứu không chỉ dừng ở việc liệt kê nguồn phát thải hoặc mô tả tổng phát thải của từng công trình, mà hướng đến xác lập một cấu trúc phân đoạn thi công đại diện và lượng hóa tỷ trọng phát thải của từng giai đoạn. Cụ thể, nghiên cứu sử dụng kết quả khảo sát thực tế 32 dự án thuộc bốn nhóm công trình dân dụng gồm trung tâm thương mại/văn phòng, khu dân cư, khách sạn/khu nghỉ dưỡng và bệnh viện/trường học để xác định bảy giai đoạn thi công chính. Trên cơ sở đó, dữ liệu kiểm kê KNK định kỳ 6 tháng tại hơn 40 dự án/công trường được sử dụng để xây dựng mô hình phân bổ phát thải theo các giai đoạn thi công.

Đóng góp chính của nghiên cứu là chuyển trọng tâm từ kiểm kê phát thải tổng hợp sang phân tích phân bố phát thải theo tiến trình thi công. Mô hình đề xuất tạo ra một cấp phân tích trung gian (cấp 07 giai đoạn thi công chính) giữa mô-đun vòng đời công trình và công tác thi công chi tiết tại công trường: đủ khái quát để áp dụng cho nhiều dự án xây dựng dân dụng, nhưng đủ cụ thể để phản ánh biến động phát thải theo tiến độ thi công. Kết quả nghiên cứu kỳ vọng cung cấp cơ sở khoa học và thực tiễn cho việc quản lý phát thải KNK ở cấp dự án, hỗ trợ doanh nghiệp xây dựng thiết lập chiến lược giảm phát thải theo giai đoạn thi công, đồng thời góp phần hoàn thiện phương pháp kiểm kê và quản trị carbon trong ngành xây dựng.

2. Phương pháp nghiên cứu và dữ liệu

2.1. Thiết kế nghiên cứu, phạm vi hệ thống kiểm kê khí nhà kính và đơn vị phân tích

Nghiên cứu được thiết kế theo hướng kết hợp dữ liệu khảo sát quy trình thi công thực tế với dữ liệu kiểm kê KNK định kỳ tại công trường, nhằm xây dựng mô hình thực nghiệm phân bố phát thải KNK theo giai đoạn thi công cho các dự án xây dựng dân dụng. Đối tượng nghiên cứu là các dự án xây dựng dân dụng do doanh nghiệp tổng thầu thực hiện, có phát sinh phát thải KNK gần giống nhau xét từ góc độ tổ chức thi công, sử dụng vật tư, thiết bị, năng lượng, vận chuyển và các hoạt động phụ trợ tại công trường.

Phạm vi hệ thống kiểm kê KNK được giới hạn trong các hoạt động thi công do tổng thầu trực tiếp quản lý hoặc có khả năng ghi nhận dữ liệu phục vụ kiểm kê. Các nguồn phát thải được xem xét bao gồm phát thải trực tiếp tại công trường, phát thải gián tiếp từ năng lượng mua vào và các phát thải gián tiếp khác liên quan đến sản xuất vật liệu xây dựng, vận chuyển vật liệu, di chuyển của người lao động, xử lý chất thải và hoạt động của thầu phụ phục vụ thi công... Cách phân loại này phù hợp với nguyên tắc phân nhóm nguồn phát thải theo phạm vi 1, phạm vi 2 và phạm vi 3 trong kiểm kê KNK doanh nghiệp [8-10].

Đơn vị phân tích của nghiên cứu gồm hai cấp: cấp giai đoạn thi công chính và cấp công tác chi tiết. Cấp giai đoạn thi công chính được sử dụng để tổng hợp và trình bày kết quả phân bố phát thải, trong khi cấp công tác chi tiết là cấp mã hóa được kỹ sư công trường ghi nhận trực tiếp trong kỳ kiểm kê. Cách tiếp cận hai cấp này cho phép liên kết dữ liệu phát thải

với tiến trình thi công thực tế mà không yêu cầu phân bổ chi tiết từng nguồn phát thải cho từng công tác riêng lẻ.

2.2. Nguồn dữ liệu và phương pháp thu thập dữ liệu

Nghiên cứu sử dụng hai nhóm dữ liệu chính. Nhóm dữ liệu thứ nhất là dữ liệu khảo sát công trường, được thu thập từ 32 dự án xây dựng dân dụng thuộc bốn nhóm công trình: trung tâm thương mại/văn phòng, khu dân cư, khách sạn/khu nghỉ dưỡng và bệnh viện/trường học. Dữ liệu này được sử dụng để nhận diện trình tự thi công phổ biến, các nhóm công việc lặp lại giữa các dự án và các công tác có khả năng phát sinh KNK đáng kể.

Nhóm dữ liệu thứ hai là dữ liệu kiểm kê KNK định kỳ tại 40 dự án/công trường, được thực hiện theo chu kỳ 6 tháng. Dữ liệu kiểm kê bao gồm thông tin về nhiên liệu, điện năng, vật liệu, vận chuyển, chất thải và các nguồn phát thải liên quan khác; đồng thời ghi nhận các mã công tác chi tiết đã được triển khai trong kỳ kiểm kê.

Phương pháp thu thập dữ liệu bao gồm khảo sát thực địa, phỏng vấn Ban chỉ huy công trường (BCH), kỹ sư phụ trách kiểm kê KNK, kỹ sư QS (quantity surveyor) và các nhân sự liên quan; kết hợp với phiếu khảo sát và dữ liệu nhập trên phần mềm kiểm kê KNK chuyên dụng. Các dữ liệu thu thập được chuẩn hóa theo cùng một cấu trúc để bảo đảm khả năng tổng hợp và so sánh giữa các dự án.

2.3. Nguyên tắc tính phát thải và chuẩn hóa dữ liệu kiểm kê

Phát thải KNK trong từng kỳ kiểm kê được tính toán trên cơ sở dữ liệu hoạt động và hệ số phát thải tương ứng. Về nguyên tắc, lượng phát thải của từng nguồn được xác định bằng cách nhân dữ liệu hoạt động với hệ số phát thải phù hợp và quy đổi về đơn vị tấn CO₂ tương đương. Cách tiếp cận dựa trên dữ liệu hoạt động và hệ số phát thải này phù hợp với các hướng dẫn kiểm kê KNK hiện hành [8, 9]. Tổng phát thải của dự án/công trường trong kỳ kiểm kê được tổng hợp từ các nguồn thuộc phạm vi 1, phạm vi 2 và phạm vi 3. Trong đó, phạm vi 3 được xem xét nhằm phản ánh các phát thải gián tiếp liên quan đến vật liệu, vận chuyển, chất thải và các hoạt động chuỗi giá trị phục vụ thi công [10].

Dữ liệu đầu vào được chuẩn hóa theo các trường thông tin chính, bao gồm mã dự án/công trường, loại hình dự án, tổng diện tích sàn xây dựng, kỳ kiểm kê, tổng phát thải trong kỳ, phát thải theo phạm vi và các mã công tác chi tiết đã thực hiện trong kỳ. Nghiên cứu

không yêu cầu phân bổ trực tiếp từng khoản tiêu thụ nhiên liệu, điện năng hoặc vật liệu cho từng công tác riêng lẻ, do trong thực tế nhiều công tác thi công diễn ra đồng thời và sử dụng chung nguồn lực công trường. Thay vào đó, tổng phát thải trong kỳ kiểm kê được liên kết với bối cảnh/tiến trình thi công thông qua các mã công tác chi tiết đã được ghi nhận. Cách tiếp cận này giúp giảm gánh nặng nhập liệu cho kỹ sư công trường, đồng thời vẫn tạo cơ sở để phân tích phát thải theo giai đoạn thi công ở cấp độ dự án.

3. Kết quả nghiên cứu

Trên cơ sở phương pháp nêu trên, nghiên cứu đã thu được các nhóm kết quả chính: quy trình xác định cấu trúc phân đoạn thi công, danh mục 07 giai đoạn thi công đại diện, bộ dữ liệu kiểm kê KNK định kỳ 6 tháng tại các dự án/công trường, mô hình định lượng phân bổ phát thải KNK theo giai đoạn thi công và áp dụng mô hình này. Các kết quả này được trình bày lần lượt trong phần tiếp theo.

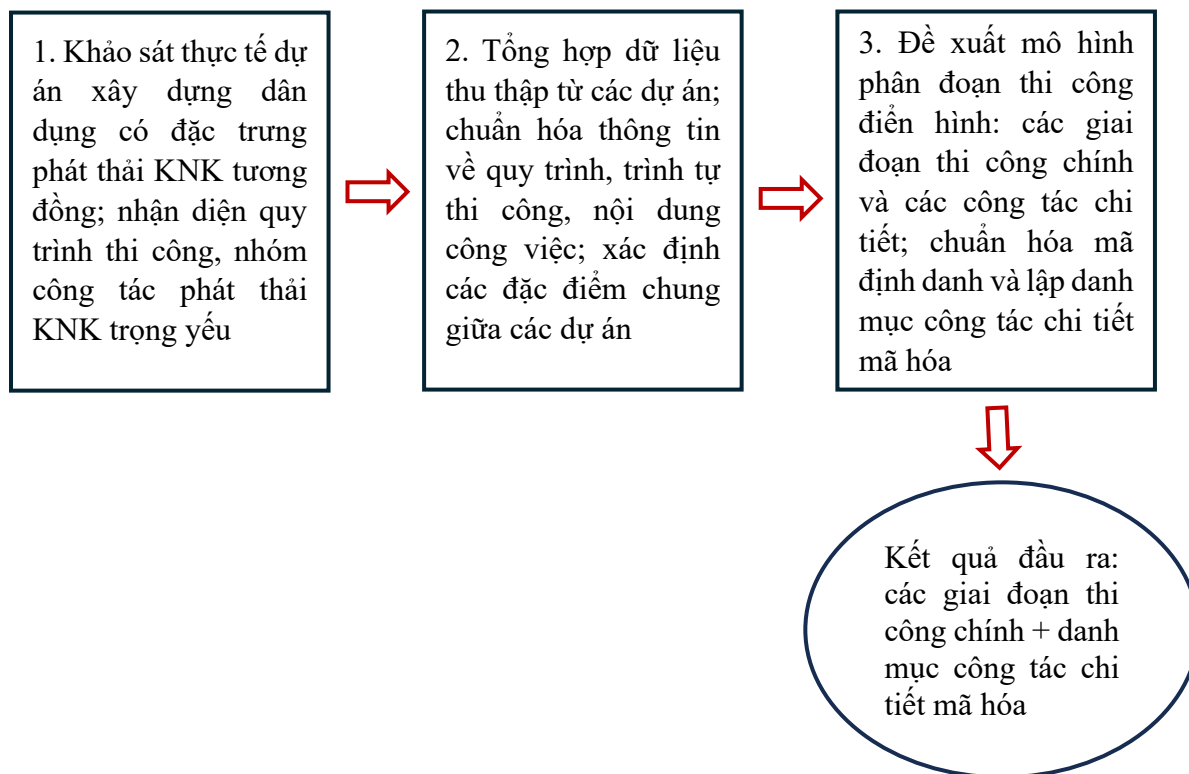
3.1. Đề xuất quy trình xây dựng cấu trúc phân đoạn thi công và mã hóa công tác

Trên cơ sở yêu cầu liên kết dữ liệu kiểm kê KNK với tiến trình thi công thực tế, nghiên cứu đề xuất một quy trình xác định cấu trúc phân đoạn thi công cho các dự án xây dựng dân dụng. Khác với quy trình nghiên cứu tổng quát, quy trình này là một kết quả phương pháp luận của nghiên cứu, nhằm chuẩn hóa cách nhận diện, phân loại và ghi nhận các công tác thi công chi tiết có ý nghĩa đối với kiểm kê phát thải KNK tại công trường.

Quy trình đề xuất gồm ba bước chính. Bước thứ nhất là khảo sát thực tế các dự án/công trường có đặc trưng phát thải KNK tương đồng để nhận diện trình tự thi công, các nhóm công việc lặp lại và các công tác có khả năng phát sinh phát thải đáng kể. Bước thứ hai là tổng hợp và chuẩn hóa thông tin thu thập được nhằm xác định các đặc điểm chung về quy trình thi công, nội dung công việc và mức độ phù hợp để áp dụng cho nhiều dự án. Bước thứ ba là xây dựng mô hình cấu trúc phân đoạn thi công điển hình, bao gồm các giai đoạn thi công chính, danh mục công tác chi tiết và hệ thống mã định danh phục vụ ghi nhận dữ liệu trong các kỳ kiểm kê KNK định kỳ.

Mô hình cấu trúc này cho phép chuyển các mô tả thi công vốn đa dạng giữa các công trường thành một hệ thống mã hóa thống nhất. Nhờ đó, kỹ sư công trường có thể lựa chọn các mã công tác chi tiết phù hợp với thực tế thi công trong kỳ kiểm kê, trong khi dữ liệu phát

thải vẫn có thể được tổng hợp ở cấp giai đoạn thi công chính. Sơ đồ quy trình được trình bày tại hình 1.



Hình 1. Quy trình xác định các giai đoạn thi công chính và danh mục công tác chi tiết mã hóa.

3.2. Xác lập mô hình 07 giai đoạn thi công chính cho dự án xây dựng dân dụng

[11]

Thực hiện quy trình nêu trên (hình 1), nghiên cứu đã khảo sát thực tế 32 dự án/công trường của Tổng thầu Coteccons, thuộc bốn nhóm dự án: i) trung tâm thương mại/văn phòng, ii) khu dân cư, iii) khách sạn/khu nghỉ dưỡng, và iv) bệnh viện/trường học. Kết quả khảo sát cho thấy, mặc dù các dự án thuộc các loại hình công trình khác nhau, trình tự thi công và các nhóm công việc chính có nhiều điểm tương đồng. Sự khác biệt giữa các dự án chủ yếu nằm ở quy mô, thời gian thực hiện, yêu cầu kỹ thuật chi tiết và mức độ phức tạp của từng hạng mục; trong khi đó, các hoạt động tạo phát thải KNK trọng yếu thường tập trung ở những nhóm công việc phổ biến như tiêu thụ nhiên liệu và điện năng, vận hành thiết bị thi công, sử dụng vật liệu và vận chuyển, xử lý chất thải và thuê dịch vụ ngoài.

Từ kết quả tổng hợp phiếu khảo sát và ý kiến của các nhân sự công trường, nghiên cứu xác định được mô hình phân đoạn thi công điển hình gồm 07 giai đoạn thi công chính (bảng

1). Mô hình này phản ánh trình tự thi công phổ biến của các dự án xây dựng dân dụng do Tổng thầu Coteccons thực hiện, đồng thời đáp ứng yêu cầu thực tiễn của công tác kiểm kê phát thải KNK tại công trường [11].

Bảng 1. Mô hình 07 giai đoạn thi công chính được xác định từ khảo sát dự án/công trường xây dựng của Tổng thầu Coteccons [11].

Mã giai đoạn	Giai đoạn thi công chính	Phạm vi công việc điển hình
GD1	Chuẩn bị mặt bằng (Site preparation)	Huy động nhân sự, thiết bị và nhà thầu phụ; tiếp nhận, khảo sát và tổ chức mặt bằng thi công; thiết lập hàng rào, cổng ra vào, đường công vụ, văn phòng BCH công trường, kho bãi, khu tập kết vật tư, hệ thống điện nước tạm, thoát nước tạm, biển báo an toàn và các công trình tạm phục vụ thi công.
GD2	Gia cố nền đất & đào đất (Ground reinforcement & excavation)	Thực hiện các công tác xử lý, gia cố nền đất, thi công cọc hoặc kết cấu nền móng theo yêu cầu thiết kế; đào đất, vận chuyển đất đào, chống đỡ hố đào, hạ mực nước ngầm, thoát nước công trường và các hạng mục liên quan đến phần dưới mặt đất.
GD3	Xây dựng kết cấu (Structural construction)	Thi công hệ kết cấu chịu lực chính của công trình, bao gồm cột, dầm, sàn, vách, lõi cứng, cầu thang, kết cấu bê tông cốt thép, kết cấu thép hoặc kết cấu hỗn hợp; thực hiện các công tác cốp pha, cốt thép, bê tông, lắp đặt cầu kiện và vận hành thiết bị phục vụ thi công kết cấu.

GD4	Xây dựng vỏ tòa nhà và kiến trúc thô (Building envelope and architectural rough-in)	Thi công các bộ phận bao che và định hình không gian kiến trúc của công trình, bao gồm tường bao, tường ngăn, xây tô, chống thấm, mái, mặt dựng, cửa đi, cửa sổ, lớp bao che ngoài và các hạng mục kiến trúc thô liên quan trước khi chuyển sang giai đoạn hoàn thiện nội thất.
GD5	Lắp đặt hệ thống cơ điện (MEP installation)	Lắp đặt các hệ thống kỹ thuật của công trình, bao gồm hệ thống điện, chiếu sáng, cấp thoát nước, điều hòa không khí và thông gió, phòng cháy chữa cháy, báo cháy, thang máy, hệ thống điều khiển, thông tin liên lạc, đường ống, máng cáp, thiết bị kỹ thuật và các hạ tầng kỹ thuật phụ trợ bên trong công trình.
GD6	Thi công nội thất (Interior work)	Thực hiện các công tác hoàn thiện và lắp đặt bên trong công trình, bao gồm trần, sàn, tường, ốp lát, sơn bả, cửa trong nhà, thiết bị vệ sinh, thiết bị hoàn thiện, đồ nội thất cơ bản, vách ngăn, chi tiết trang trí nội thất, vệ sinh công nghiệp và các công tác hoàn thiện không gian sử dụng.
GD7	Hoàn thiện & xây dựng hạ tầng bên ngoài và cảnh quan (Finishing & building external)	Hoàn thiện tổng thể công trình, kiểm tra, chạy thử, nghiệm thu và bàn giao; đồng thời thi công các hạng mục bên ngoài như đường nội bộ, sân bãi, hệ thống thoát nước ngoài nhà, cấp điện ngoài nhà, hạ tầng kỹ thuật ngoài công trình, cây xanh, cảnh

infrastructure and
landscape)

quan, tháo dỡ công trình tạm, thu dọn mặt
bằng và kết thúc công trường.

Trong mỗi giai đoạn thi công chính, nghiên cứu tiếp tục phân rã thành các giai đoạn phụ/nhóm công tác chi tiết. Việc phân rã này tập trung vào các công tác có khả năng phát sinh phát thải KNK trọng yếu hoặc có dữ liệu hoạt động có thể ghi nhận được tại công trường. Các đầu mục công tác chi tiết được mã hóa theo cấu trúc thống nhất, ví dụ: GĐ1.1, GĐ1.2, GĐ2.1, GĐ2.2..., nhằm tạo thuận lợi cho kỹ sư công trường khi chọn công tác tương ứng với tình trạng thi công thực tế. Danh mục công tác chi tiết sau khi chuẩn hóa gồm khoảng 60 đầu mục, danh mục này không nhằm mô tả toàn bộ chi tiết quy trình thi công của từng dự án, mà tập trung vào các nhóm công tác có ý nghĩa đối với kiểm kê phát thải KNK. Trong mỗi kỳ kiểm kê, kỹ sư công trường ghi nhận các mã công tác chi tiết tương ứng với các hoạt động đã phát sinh trong kỳ kiểm kê (dẫn đến lượng phát thải KNK trong kỳ).

Việc xác định 07 giai đoạn thi công chính và hệ thống mã hóa các công tác chi tiết giúp chuẩn hóa cách ghi nhận dữ liệu giữa các công trường của Tổng thầu Coteccons. Kết quả này tạo nền tảng cho việc xây dựng biểu mẫu kiểm kê KNK theo giai đoạn thi công, giảm sự phụ thuộc vào mô tả tự do của từng công trường, đồng thời nâng cao khả năng so sánh dữ liệu phát thải giữa các dự án, giữa các kỳ kiểm kê và giữa các loại hình công trình khác nhau.

3.3. Xây dựng bộ dữ liệu kiểm kê khí nhà kính theo định kỳ 6 tháng

Kết quả xác định 07 giai đoạn thi công chính và mã hóa các công tác chi tiết được xác định ở trên là tạo cơ sở để chuẩn hóa dữ liệu nhập từ công trường. Trên nền tảng này, nghiên cứu tiếp tục triển khai kiểm kê KNK định kỳ nhằm hình thành bộ dữ liệu phát thải phục vụ xây dựng mô hình định lượng.

Kết quả triển khai kiểm kê KNK định kỳ 6 tháng tại 40 dự án/công trường của Tổng thầu Coteccons cho thấy, mô hình kiểm kê có thể áp dụng mở rộng và phù hợp với điều kiện quản lý thực tế của doanh nghiệp xây dựng. Các công trường có thể nhập dữ liệu hoạt động phát sinh (lượng nhiên liệu, điện năng, vật liệu, vận chuyển, chất thải...) trong kỳ kiểm kê thông qua phần mềm chuyên dụng, đồng thời chọn các mã công tác chi tiết tương ứng với thực tế triển khai tại công trường.

Dữ liệu kiểm kê thu được từ mỗi kỳ báo cáo bao gồm các thông tin chính: tên dự án/công trường, loại hình dự án, tổng diện tích sàn xây dựng theo thiết kế, tổng phát thải KNK trong kỳ kiểm kê, phát thải theo từng phạm vi và các mã công tác chi tiết đã được thực hiện trong kỳ. Kết quả phát thải được thể hiện bằng đơn vị tấn CO₂ tương đương (tCO_{2e}) cho 3 phạm vi 1, 2, 3, giúp Tổng thầu theo dõi mức phát thải KNK của từng dự án/công trường trong cùng một kỳ báo cáo cũng như so sánh giữa các kỳ kiểm kê khác nhau (hình 2).

(A)			(B)			
STT	Loại hình dự án xây dựng	Số lượng kiểm kê KNK	Mã số dự án	Loại hình dự án (chọn 1 trong 6 loại hình dự án)	Tổng diện tích sàn xây dựng theo thiết kế (m ²)	Giai đoạn báo cáo (Reporting period) Kiểm kê KNK: 1/2023 - 6/2023
						Tổng phát thải KNK (tấn CO ₂ tương đương)
						Phạm vi 1 (tấn CO ₂ tương đương)
						Phạm vi 2 (tấn CO ₂ tương đương)
						Phạm vi 3 (tấn CO ₂ tương đương)
			(1)	(2)	(3)	(4)
1	Trung tâm thương mại/Văn phòng	7	RPM1C	Khu dân cư	15.300,00	227,89
2	Khu dân cư	16	URG	Khu dân cư	96.000,00	3.470,25
3	Khách sạn/Khu nghỉ dưỡng	9	VGPMH	TT Thương mại/Văn phòng	253.713,00	15.474,95
4	Bệnh viện/Trường học	0	KSSTR	Khách sạn/Khu nghỉ dưỡng	15.095,70	100,71
5	Nhà xưởng/Khu công nghiệp	10				
6	Cơ sở hạ tầng	2				

Hình 2. Số lượng dự án được kiểm kê KNK trong năm 2024 (A), một số kết quả kiểm kê KNK tại dự án/công trường thuộc Tổng thầu Cotecons (B) [12].

Việc thực hiện kiểm kê theo chu kỳ 6 tháng tạo ra cơ sở dữ liệu định kỳ về phát thải KNK của các dự án/công trường đang thi công. So với cách kiểm kê chỉ thực hiện sau khi dự án hoàn thành, cách tiếp cận này có ưu điểm là cung cấp thông tin kịp thời hơn cho công tác quản lý. Tổng thầu có thể nhận diện sớm các công trường có mức phát thải cao, các kỳ thi công có phát thải tăng bất thường, hoặc các nhóm công tác có khả năng tạo ra phát thải đáng kể.

Một kết quả đáng chú ý của nghiên cứu là lượng phát thải trong kỳ báo cáo không chỉ được thể hiện dưới dạng tổng số phát thải, mà còn được gắn với các giai đoạn thi công thực tế đã diễn ra tại công trường. Điều này giúp giải thích tốt hơn sự khác biệt về phát thải giữa các dự án. Ví dụ, một công trường đang trong giai đoạn thi công phần ngầm hoặc kết cấu thân công trình có thể có mức tiêu thụ nhiên liệu, điện năng, bê tông, thép và vận chuyển vật

liệu cao hơn so với công trường đang trong giai đoạn hoàn thiện hoặc bàn giao. Nhờ đó, kết quả kiểm kê không chỉ phục vụ mục đích báo cáo phát thải KNK, mà còn hỗ trợ Tổng thầu nhận diện các điểm nóng phát thải trong quá trình thi công, giúp doanh nghiệp xây dựng kế hoạch giảm phát thải theo từng giai đoạn thi công, từng nhóm công tác và từng loại hình dự án.

3.4. Đề xuất mô hình định lượng phân bố phát thải KNK theo giai đoạn thi công

Bộ dữ liệu kiểm kê định kỳ 6 tháng cho phép liên kết tổng phát thải trong từng kỳ với các giai đoạn thi công thực tế đã diễn ra tại dự án/công trường. Đây là cơ sở để xác định tỷ trọng phát thải đại diện của từng giai đoạn thi công trong tổng phát thải của dự án.

Từ hệ thống giai đoạn thi công chính và danh mục công tác chi tiết mã hóa, nghiên cứu đề xuất mô hình định lượng nhằm phân bố phát thải KNK theo giai đoạn thi công. Mô hình này được xây dựng để giải quyết đặc điểm phổ biến của công trường xây dựng: trong một kỳ kiểm kê, nhiều công tác có thể diễn ra đồng thời, trong khi dữ liệu phát thải thường được ghi nhận ở cấp kỳ báo cáo chứ không được bóc tách trực tiếp cho từng công tác riêng lẻ.

Dữ liệu đầu vào của mô hình định lượng phân bố phát thải KNK theo giai đoạn thi công bao gồm các nhóm biến chính sau (bảng 2).

Bảng 2. Biến đầu vào của mô hình định lượng phân bố phát thải KNK theo giai đoạn thi công.

STT	Nhóm biến	Ký hiệu	Diễn giải
1	Dự án/công trường	i	Mã dự án hoặc công trường được kiểm kê.
2	Kỳ kiểm kê	t	Kỳ báo cáo kiểm kê KNK; trong nghiên cứu này được xác định theo chu kỳ 6 tháng.
3	Tổng phát thải trong kỳ	E_{it}	Tổng phát thải KNK của công trường i trong kỳ kiểm kê t , tính bằng tCO ₂ e. Đây là lượng phát thải đầu vào cần được phân bố về các giai đoạn thi công.

4	Tổng diện tích sàn	A_i	Tổng diện tích sàn xây dựng theo thiết kế của dự án i , tính bằng m^2 . Biến này dùng để chuẩn hóa hoặc so sánh cường độ phát thải giữa các dự án.
5	Loại hình dự án	T_i	Loại hình công trình của dự án i , ví dụ: trung tâm thương mại/văn phòng, khu dân cư, khách sạn/khu nghỉ dưỡng, bệnh viện/trường học.
6	Giai đoạn thi công chính	s	Một trong 07 giai đoạn thi công chính của dự án, với $s \in \{1,2,3,4,5,6,7\}$. Đây là nhóm giai đoạn dùng để tổng hợp và trình bày kết quả phân bố phát thải KNK. Kỹ sư công trường không chọn trực tiếp s , mà mô hình suy ra s từ các mã giai đoạn thi công phụ/công tác chi tiết k .
7	Mã giai đoạn thi công phụ/công tác chi tiết	$k, K_s, g(k)$	k là mã giai đoạn thi công phụ/công tác chi tiết trong “Danh mục công tác chi tiết mã hóa”, ví dụ: GĐ1.1, GĐ1.2, GĐ2.1. Đây là mã được kỹ sư công trường ghi nhận trực tiếp trong kỳ kiểm kê KNK. K_s là tập hợp các mã công tác chi tiết thuộc giai đoạn thi công chính s . Hàm $g(k)$ dùng để ánh xạ mã k về một trong 07 giai đoạn thi công chính.
8	Mức độ thực hiện tương đối của giai đoạn chính	C_{its}	Chỉ số phản ánh mức độ thực hiện tương đối (<i>Chỉ số bao phủ công tác</i>) của giai đoạn thi công chính s tại công trường i trong kỳ kiểm kê t , được suy ra từ các mã công tác chi tiết k đã được thực hiện. Giá trị C_{its} nằm trong khoảng từ 0 đến 1. $C_{its}=0$ khi không có mã công tác chi tiết nào thuộc giai đoạn s được thực hiện; $0 < C_{its} < 1$ khi chỉ một phần các mã k thuộc giai đoạn s được thực hiện; $C_{its}=1$ khi toàn bộ các mã k thuộc giai đoạn s được thực hiện trong kỳ kiểm kê. Biến này

dùng để xác định mức độ tham gia của từng giai đoạn chính vào quá trình phân bố tổng phát thải E_{it} .

3.5. Kết quả áp dụng mô hình: Phân bố phát thải KNK theo 07 giai đoạn thi công

Áp dụng mô hình định lượng đã đề xuất ở trên cho bộ dữ liệu kiểm kê KNK định kỳ tại các công trường thuộc bốn nhóm dự án xây dựng dân dụng, nghiên cứu xác định được tỉ trọng phát thải đại diện cho 07 giai đoạn thi công chính.

Trong số 40 dự án được kiểm kê theo chu kỳ 6 tháng, sau 4-5 kỳ kiểm kê có 50% số dự án ($N_c=20$) đã hoàn thành thi công và có đầy đủ dữ liệu phát thải cho 7 giai đoạn thi công, nghiên cứu xác định trực tiếp cơ cấu phát thải KNK theo từng giai đoạn trên cơ sở dữ liệu kiểm kê thực tế. Với mỗi dự án i , lượng phát thải của giai đoạn s được ký hiệu là E_{is} , trong khi tổng phát thải KNK của toàn bộ dự án là E_i . Tỷ trọng phát thải của giai đoạn s trong dự án i được xác định theo công thức:

$$p_{is} = \frac{E_{is}}{E_i} \times 100\% \quad (1)$$

trong đó $s = 1, 2, \dots, 7$. Mỗi dự án hoàn thành cung cấp một bộ 07 tỷ trọng phát thải, phản ánh phân bố phát thải của dự án theo 07 giai đoạn thi công. Tỷ trọng phát thải đại diện của từng giai đoạn được xác định bằng trung bình cộng tỷ trọng của giai đoạn đó trên toàn bộ N_c dự án hoàn thành:

$$p_s = \frac{1}{N_c} \sum_{i=1}^{N_c} p_{is} \quad (2)$$

Cách tiếp cận này xem mỗi dự án hoàn thành là một đơn vị quan sát độc lập và cho phép xác định cơ cấu phát thải đại diện/điển hình theo giai đoạn thi công.

Thực hiện phương pháp tính toán nêu trên, từ dữ liệu kiểm kê KNK qua nhiều kỳ báo cáo tại các công trường thuộc bốn loại hình dự án được khảo sát (trung tâm thương mại/văn phòng, khu dân cư, khách sạn/khu nghỉ dưỡng, bệnh viện/trường học), nghiên cứu xác định mô hình phân bố phát thải KNK đại diện cho quá trình thi công xây dựng của Tổng thầu Coteccons (bảng 3); giá trị tỷ trọng phát thải đại diện của mỗi giai đoạn (p_s) được làm tròn và lấy số chẵn để tiện sử dụng tại thực tế công trường. Kết quả cho thấy, phát thải KNK không

phân bố đồng đều giữa các giai đoạn thi công, mà tập trung chủ yếu ở một số giai đoạn có mức sử dụng vật liệu, năng lượng, thiết bị cơ giới và hoạt động vận chuyển lớn.

Bảng 3. Phân bố phát thải khí nhà kính theo giai đoạn thi công được xác định theo mô hình định lượng [11].

Mã giai đoạn	Giai đoạn thi công chính	Tỷ trọng phát thải đại diện p_s , %
GĐ1	Chuẩn bị mặt bằng (<i>Site preparation</i>)	5
GĐ2	Gia cố nền đất & đào đất (<i>Ground reinforcement & excavation</i>)	10
GĐ3	Xây dựng kết cấu (<i>Structural construction</i>)	40
GĐ4	Xây dựng vỏ tòa nhà và kiến trúc thô (<i>Building envelope and architectural rough-in</i>)	20
GĐ5	Lắp đặt hệ thống cơ điện (<i>MEP installation</i>)	12
GĐ6	Thi công nội thất (<i>Interior work</i>)	5
GĐ7	Hoàn thiện & xây dựng hạ tầng bên ngoài và cảnh quan (<i>Finishing & building external infrastructure and landscape</i>)	8
Tổng cộng		100

Theo mô hình trên, giai đoạn thi công kết cấu công trình là giai đoạn có tỷ trọng phát thải cao nhất, chiếm khoảng 40% tổng phát thải KNK của công trình. Đây là giai đoạn sử dụng khối lượng lớn các vật liệu có cường độ phát thải cao như bê tông, xi măng và thép. Bên cạnh đó, hoạt động vận chuyển vật liệu, bơm bê tông, cầu lắp, vận hành thiết bị hạng

nặng và sử dụng điện, nhiên liệu tại công trường cũng góp phần làm tăng phát thải trong giai đoạn này.

Giai đoạn thi công vỏ tòa nhà và kiến trúc thô đứng thứ hai, chiếm khoảng 20% tổng phát thải. Phát thải trong giai đoạn này chủ yếu đến từ việc sử dụng và vận chuyển vật liệu xây, vật liệu ốp lát, mặt dựng, cửa, vách bao che, chống thấm và các vật liệu hoàn thiện phần thô khác. Mặc dù mức phát thải của từng nhóm vật liệu có thể thấp hơn so với bê tông và thép ở giai đoạn kết cấu, tổng khối lượng sử dụng lớn và phạm vi thi công rộng làm cho giai đoạn này có tỷ trọng phát thải đáng kể.

Các giai đoạn còn lại đóng góp từ 5 đến 12% tổng phát thải. Trong đó, giai đoạn thi công hệ thống cơ điện và hạ tầng kỹ thuật chiếm khoảng 12%, phản ánh mức độ sử dụng vật tư kỹ thuật, thiết bị, đường ống, cáp điện, hệ thống điều hòa thông gió, phòng cháy chữa cháy và các hệ thống phụ trợ. Giai đoạn thi công phần ngầm, nền móng chiếm khoảng 10%, chủ yếu liên quan đến đào đất, vận chuyển đất, thi công cọc, móng, tầng hầm và vận hành thiết bị cơ giới. Các giai đoạn chuẩn bị công trường, hoàn thiện, kiểm tra, bàn giao và tháo dỡ công trình tạm có tỷ trọng thấp hơn nhưng vẫn cần được ghi nhận vì có phát sinh nhiên liệu, điện năng, chất thải, vận chuyển và các hoạt động phụ trợ.

Kết quả này cho thấy, mô hình định lượng đề xuất có khả năng chuyển dữ liệu kiểm kê KNK từ dạng tổng hợp theo kỳ báo cáo sang dạng phân bố theo giai đoạn thi công. Đây là cơ sở để nhận diện các điểm nóng phát thải, xác định giai đoạn ưu tiên kiểm soát và hỗ trợ doanh nghiệp tổng thầu xây dựng chiến lược giảm phát thải theo tiến độ thi công.

4. Bàn luận

Các kết quả trên cho thấy, mô hình phân bố phát thải theo giai đoạn thi công không chỉ có ý nghĩa định lượng, mà còn cung cấp thông tin phục vụ quản lý phát thải ở cấp dự án. Phần bàn luận dưới đây phân tích ý nghĩa ứng dụng, ưu điểm, giới hạn và hướng phát triển tiếp theo của mô hình.

4.1. Về phương pháp luận của mô hình phân bố phát thải theo giai đoạn thi công

Kết quả nghiên cứu cho thấy, mô hình phân bố phát thải KNK theo giai đoạn thi công có đóng góp phương pháp luận ở chỗ chuyển dữ liệu kiểm kê từ cách tiếp cận tổng hợp theo kỳ báo cáo sang cách tiếp cận gắn với tiến trình thi công thực tế. Trong các phương pháp

kiểm kê thông thường, phát thải thường được tổng hợp theo nguồn phát thải, theo phạm vi phát thải hoặc theo toàn bộ dự án. Cách tiếp cận này phù hợp cho mục đích báo cáo, nhưng chưa phản ánh đầy đủ câu hỏi quản lý mà doanh nghiệp xây dựng thường đặt ra: phát thải phát sinh chủ yếu ở giai đoạn thi công nào, vì sao phát thải tăng trong một kỳ nhất định, và giai đoạn nào cần ưu tiên kiểm soát.

Mô hình được đề xuất trong nghiên cứu này tạo ra một cấp phân tích trung gian giữa mô-đun vòng đời công trình và công tác thi công chi tiết tại công trường. Ở cấp vòng đời, giai đoạn thi công thường được thể hiện tương đối tổng quát; trong khi ở cấp công tác chi tiết, số lượng hoạt động thi công rất lớn và khó chuẩn hóa giữa các dự án. Việc xác lập 07 giai đoạn thi công chính cùng danh mục công tác chi tiết mã hóa giúp mô hình đạt được mức phân giải phù hợp: đủ chi tiết để phản ánh biến động phát thải theo tiến độ, nhưng đủ khái quát để áp dụng cho nhiều dự án xây dựng dân dụng có quy trình thi công tương đồng.

Một điểm mới khác của nghiên cứu là việc sử dụng mã công tác chi tiết như cầu nối giữa dữ liệu kiểm kê và bối cảnh thi công. Thay vì yêu cầu công trường phân bổ trực tiếp từng khoản nhiên liệu, điện năng, vật liệu hoặc vận chuyển cho từng công tác riêng lẻ, mô hình cho phép kỹ sư công trường ghi nhận các mã công tác đã thực hiện trong kỳ kiểm kê. Các mã này sau đó được ánh xạ về 07 giai đoạn thi công chính để phục vụ phân tích. Cách tiếp cận này phù hợp với thực tế công trường, nơi nhiều công tác diễn ra đồng thời và thường sử dụng chung thiết bị, điện năng, nhiên liệu, nhân công, kho bãi và hạ tầng tạm.

Do đó, đóng góp chính của mô hình không chỉ nằm ở bảng tỷ trọng phát thải cuối cùng, mà còn ở cách tổ chức dữ liệu kiểm kê KNK theo một cấu trúc có khả năng phục vụ quản lý thi công. Mô hình đề xuất giúp biến dữ liệu kiểm kê từ một yêu cầu báo cáo thành một công cụ phân tích phát thải theo tiến độ, tạo nền tảng cho quản trị carbon ở cấp dự án/công trường.

4.2. Ý nghĩa quản lý phát thải KNK ở cấp dự án/công trường

Kết quả phân bổ phát thải KNK theo 07 giai đoạn thi công cho thấy, phát thải không phân bổ đồng đều trong suốt quá trình xây dựng, mà tập trung vào một số giai đoạn có mức sử dụng nhiên liệu, năng lượng, vật liệu, thiết bị cơ giới và vận chuyển lớn.

Từ góc độ quản lý dự án, mô hình phân bổ phát thải theo giai đoạn thi công giúp doanh nghiệp tổng thầu chuyển kết quả kiểm kê từ dạng số liệu tổng hợp sang thông tin có thể hỗ

trợ ra quyết định. Khi biết giai đoạn nào thường chiếm tỷ trọng phát thải cao, doanh nghiệp có thể thiết lập ngân sách phát thải theo tiến độ, xác định điểm nóng phát thải, ưu tiên biện pháp giảm phát thải tại các giai đoạn trọng yếu và theo dõi sự khác biệt giữa các dự án hoặc giữa các kỳ kiểm kê.

Mô hình cũng hỗ trợ giải thích nguyên nhân biến động phát thải giữa các kỳ báo cáo. Một dự án/công trường đang ở giai đoạn kết cấu hoặc vỏ tòa nhà có thể có mức phát thải cao hơn công trường đang ở giai đoạn nội thất hoặc bàn giao, ngay cả khi cùng thuộc một loại hình dự án. Vì vậy, việc so sánh phát thải giữa các dự án/công trường cần được đặt trong bối cảnh tiến độ thi công thay vì chỉ so sánh tổng phát thải tuyệt đối. Đây là điểm có ý nghĩa thực tiễn quan trọng đối với quản lý phát thải trong doanh nghiệp xây dựng.

4.3. Khả năng ứng dụng của mô hình trong doanh nghiệp tổng thầu

Mô hình có khả năng ứng dụng trước hết như một công cụ chuẩn hóa dữ liệu kiểm kê KNK tại các công trường thuộc cùng một doanh nghiệp tổng thầu. Thông qua danh mục 07 giai đoạn thi công chính và các mã công tác chi tiết, doanh nghiệp có thể giảm sự phụ thuộc vào mô tả tự do của từng công trường, hạn chế sai lệch do cách hiểu khác nhau giữa các kỹ sư, và nâng cao khả năng tổng hợp dữ liệu giữa các dự án. Đây là điều kiện cần thiết để hình thành cơ sở dữ liệu phát thải có tính nhất quán và có thể so sánh theo thời gian.

Ở cấp quản lý dự án, mô hình có thể được sử dụng để xây dựng ngân sách carbon theo giai đoạn thi công. Khi bắt đầu một dự án mới, doanh nghiệp có thể dùng tỷ trọng phát thải đại diện như một cơ sở tham chiếu ban đầu để dự báo phân bố phát thải theo tiến độ. Trong quá trình thi công, dữ liệu kiểm kê định kỳ 6 tháng có thể được so sánh với mô hình tham chiếu để nhận diện các giai đoạn có phát thải vượt mức kỳ vọng, từ đó rà soát biện pháp thi công, quản lý vật liệu, vận hành thiết bị, phương án vận chuyển hoặc quản lý chất thải.

Ở cấp doanh nghiệp, mô hình có thể hỗ trợ tích hợp chỉ tiêu phát thải KNK vào hệ thống quản lý dự án, quản lý nhà thầu phụ, lựa chọn vật liệu, mua sắm thiết bị và thực hành ESG (Environmental - môi trường, Social - xã hội, Governance - quản trị doanh nghiệp). Đối với các giai đoạn có tỷ trọng phát thải lớn từ vật liệu, doanh nghiệp có thể ưu tiên giải pháp vật liệu có hệ số phát thải thấp, tối ưu khối lượng và giảm hao hụt. Đối với các giai đoạn có phát thải lớn từ nhiên liệu hoặc thiết bị, doanh nghiệp có thể tối ưu lịch vận hành, tăng hiệu

suất sử dụng thiết bị, kiểm soát tiêu hao nhiên liệu hoặc từng bước thay thế bằng thiết bị điện khi phù hợp.

Mô hình cũng có thể đóng vai trò hỗ trợ MRV trong ngành xây dựng. Khi dữ liệu phát thải được tổ chức theo giai đoạn thi công và được ghi nhận định kỳ, doanh nghiệp có thể theo dõi xu hướng phát thải, đánh giá hiệu quả các biện pháp giảm nhẹ và cung cấp bằng chứng dữ liệu cho các yêu cầu báo cáo, thẩm định hoặc công bố thông tin bền vững. Điều này đặc biệt phù hợp với bối cảnh các yêu cầu kiểm kê KNK và quản trị carbon trong ngành xây dựng ngày càng được cụ thể hóa.

4.4. Giới hạn nghiên cứu và hướng phát triển tiếp theo

Mặc dù mô hình đề xuất có ý nghĩa thực tiễn, nghiên cứu vẫn có một số giới hạn cần được xem xét khi diễn giải và áp dụng kết quả. *Thứ nhất*, bộ dữ liệu được xây dựng từ các dự án/công trường do một doanh nghiệp tổng thầu thực hiện (Coteccons). Do đó, mô hình phản ánh tương đối tốt đặc điểm tổ chức thi công, hệ thống quản lý và phương pháp ghi nhận dữ liệu của doanh nghiệp này, nhưng cần được kiểm định thêm khi áp dụng cho các tổng thầu khác, các loại hình công trình khác (ví dụ: nhà xưởng/khu công nghiệp, cơ sở hạ tầng) hoặc các bối cảnh thi công có sự khác biệt lớn.

Thứ hai, mô hình sử dụng dữ liệu kiểm kê định kỳ 6 tháng, trong khi hoạt động thi công thực tế có thể biến động theo tháng hoặc theo các mốc tiến độ ngắn hơn. Chu kỳ 6 tháng phù hợp với yêu cầu báo cáo và quản lý doanh nghiệp, nhưng có thể làm giảm độ phân giải thời gian khi phân tích một số giai đoạn thi công diễn ra nhanh hoặc có phát thải tập trung trong thời gian ngắn. Trong các nghiên cứu tiếp theo, có thể xem xét áp dụng chu kỳ kiểm kê ngắn hơn đối với các dự án mẫu để kiểm định độ nhạy của mô hình.

Thứ ba, cách tiếp cận của nghiên cứu không yêu cầu phân bổ trực tiếp từng nguồn phát thải cho từng công tác chi tiết. Đây là ưu điểm về tính khả thi, nhưng đồng thời cũng là một giới hạn về độ chính xác ở cấp công tác. Chỉ số bao phủ công tác phản ánh sự xuất hiện của các mã công tác trong kỳ kiểm kê, nhưng không nhất thiết phản ánh đầy đủ khối lượng hoàn thành hoặc mức đóng góp phát thải thực tế của từng công tác. Do đó, khi có dữ liệu tốt hơn về khối lượng thi công, ca máy hoặc dữ liệu vật tư, mô hình nên được phát triển theo hướng bổ sung trọng số cho từng mã công tác chi tiết.

Thứ tư, chất lượng kết quả kiểm kê phụ thuộc vào độ đầy đủ và độ tin cậy của dữ liệu hoạt động cũng như hệ số phát thải sử dụng. Đối với một số nguồn phát thải gián tiếp, đặc biệt là vật liệu xây dựng, vận chuyển và xử lý chất thải, việc thu thập dữ liệu từ nhà cung cấp, nhà thầu phụ hoặc đơn vị vận chuyển có thể còn chưa đồng nhất. Vì vậy, hướng phát triển tiếp theo cần tập trung vào việc chuẩn hóa yêu cầu dữ liệu đối với chuỗi cung ứng, cải thiện chất lượng hệ số phát thải, và tích hợp dữ liệu kiểm kê KNK với các hệ thống quản lý hiện có như phần mềm tiến độ, BIM (Building Information Modeling), ERP (Enterprise Resource Planning), quản lý vật tư và quản lý thiết bị.

Từ những nhận định nêu trên, trong tương lai, mô hình có thể được mở rộng theo ba hướng. Hướng thứ nhất là kiểm định mô hình trên tập dữ liệu lớn hơn, bao gồm nhiều doanh nghiệp tổng thầu và nhiều vùng địa lý khác nhau. Hướng thứ hai là phát triển mô hình riêng cho từng nhóm công trình nếu dữ liệu cho thấy sự khác biệt đáng kể về phân bố phát thải giữa trung tâm thương mại/văn phòng, khu dân cư, khách sạn/khu nghỉ dưỡng, và bệnh viện/trường học, và phát triển mô hình phân bố phát thải cho hai loại hình dự án khác là nhà xưởng/khu công nghiệp và cơ sở hạ tầng. Hướng thứ ba là kết hợp mô hình phân bố phát thải theo giai đoạn thi công với mô hình dự báo phát thải theo tiến độ, nhằm hỗ trợ quản lý carbon chủ động ngay từ giai đoạn lập kế hoạch thi công.

5. Kết luận

Nghiên cứu này đã xây dựng mô hình thực nghiệm phân bố phát thải KNK theo giai đoạn thi công cho các dự án xây dựng dân dụng, trên cơ sở kết hợp dữ liệu khảo sát quy trình thi công thực tế với dữ liệu kiểm kê KNK định kỳ tại công trường. Cách tiếp cận này cho phép liên kết dữ liệu phát thải với tiến trình thi công, thay vì chỉ tổng hợp phát thải ở cấp toàn dự án hoặc theo kỳ báo cáo.

Kết quả khảo sát 32 dự án/công trường thuộc bốn nhóm công trình dân dụng cho phép xác lập 07 giai đoạn thi công chính: chuẩn bị mặt bằng; gia cố nền đất và đào đất; xây dựng kết cấu; xây dựng vỏ tòa nhà và kiến trúc thô; lắp đặt hệ thống cơ điện; thi công nội thất; hoàn thiện, hạ tầng bên ngoài và cảnh quan. Các giai đoạn này được tiếp tục phân rã thành danh mục công tác chi tiết được mã hóa, tạo cơ sở để kỹ sư công trường ghi nhận hoạt động thi công trong từng kỳ kiểm kê KNK.

Trên nền tảng dữ liệu kiểm kê định kỳ 6 tháng tại 40 dự án/công trường, nghiên cứu đề xuất mô hình định lượng nhằm phân bố phát thải theo giai đoạn thi công. Kết quả áp dụng mô hình cho thấy phát thải KNK không phân bố đồng đều trong quá trình thi công, mà tập trung chủ yếu ở giai đoạn xây dựng kết cấu, chiếm khoảng 40% tổng phát thải, tiếp theo là giai đoạn xây dựng vỏ tòa nhà và kiến trúc thô, chiếm khoảng 20%. Các giai đoạn còn lại đóng góp từ 5 đến 12%.

Đóng góp chính của nghiên cứu là đề xuất một cấp phân tích trung gian giữa mô-đun vòng đời công trình và công tác thi công chi tiết tại công trường. Mô hình giúp chuyển kết quả kiểm kê KNK từ dạng số liệu tổng hợp sang thông tin quản lý theo giai đoạn thi công, hỗ trợ nhận diện điểm nóng phát thải, xác định giai đoạn ưu tiên kiểm soát và xây dựng chiến lược giảm phát thải ở cấp dự án/công trường.

Tuy nhiên, mô hình hiện được xây dựng trên dữ liệu của một doanh nghiệp tổng thầu (Coteccons) và chu kỳ kiểm kê 6 tháng, nên cần được kiểm định thêm trên tập dữ liệu rộng hơn. Các nghiên cứu tiếp theo có thể mở rộng phạm vi mẫu, phát triển mô hình riêng cho từng loại hình công trình và bổ sung trọng số cho các công tác chi tiết nhằm nâng cao độ chính xác và khả năng ứng dụng của mô hình.

LỜI CẢM ƠN

Các tác giả xin trân trọng cảm ơn Ban lãnh đạo và Phòng Phát triển Bền vững (ESG) của Công ty Cổ phần Xây Dựng Coteccons đã tạo điều kiện thuận lợi, hỗ trợ nhóm nghiên cứu tiếp cận và khảo sát thực địa tại các dự án/công trường. Những dữ liệu thực tế và sự đồng hành của Công ty là đóng góp quan trọng giúp nghiên cứu này hoàn thành và có tính thực tiễn cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] United Nations Environment Programme & Global Alliance for Buildings and Construction (2025), *Global Status Report for Buildings and Construction 2024/2025*, 128pp.

[2] Intergovernmental Panel on Climate Change (2022), *Climate Change 2022: Mitigation of Climate Change (Working Group III Contribution to The Sixth Assessment Report)*, Cambridge University Press, pp.953-1048.

[3] International Organisation for Standardisation (2006), *ISO 14040:2006 Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework*, ISO, 20pp.

[4] Royal Institution of Chartered Surveyors (2023), *Whole Life Carbon Assessment for The Built Environment (2nd Ed.)*, RICS, 221pp.

[5] H. Yan, Q. Shen, L.C.H. Fan, et al. (2010), “Greenhouse gas emissions in building construction: A case study of One Peking in Hong Kong”, *Building and Environment*, **45(4)**, pp.949-955, DOI: 10.1016/j.buildenv.2009.09.014.

[6] J. Hong, G.Q. Shen, Y. Feng, et al. (2015), “Greenhouse gas emissions during the construction phase of a building: A case study in China”, *Journal of Cleaner Production*, **103**, pp.249-259, DOI: 10.1016/j.jclepro.2014.11.023.

[7] Ministry of Construction (2024), *Circular No. 13/2024/TT-BXD on Regulations for The Processes and Technical Specifications of Greenhouse Gas Inventory, and The Measurement, Reporting, and Verification (MRV) of Greenhouse Gas Emission Reduction in The Construction Sector* (in Vietnamese).

[8] World Resources Institute, World Business Council for Sustainable Development (2004), *The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard (Revised Ed.)*, WRI & WBCSD, 112pp.

[9] International Organisation for Standardisation (2018), *ISO 14064-1:2018 Greenhouse Gases - Part 1: Specification with Guidance at The Organization Level for Quantification and Reporting of Greenhouse Gas Emissions and Removals*, ISO, 47pp.

[10] World Resources Institute, World Business Council for Sustainable Development (2011), *Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard*, WRI & WBCSD, 152pp.

[11] M.C. Dang (2024a), *Method for Determining Construction Floor Area and Greenhouse Gas Emissions for Buildings under Construction*, Patent Specification, Application No. 1-2024-09609, Decision on Formal Acceptance No. 42280/QĐ-SHTT Issued on April 4, 2025, National Office of Intellectual Property of Vietnam (in Vietnamese).

[12] M.C. Dang (2025b), *Greenhouse Gas Emission Inventory Report at Coteccons' Construction Projects/Sites*, Coteccons Internal Report Series, 48pp (in Vietnamese).