

Mô hình kiểm kê khí nhà kính dựa trên chuẩn hóa và số hóa áp dụng cho các công trường của tổng thầu xây dựng

Đặng Mậu Chiến^{1, 2*}

¹*Viện Công nghệ Vật liệu tiên tiến - Đại học quốc gia TP. Hồ Chí Minh, Khu đô thị 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 15/6/2026; ngày chuyển phản biện 16/6/2026; ngày nhận phản biện 2/7/2026; ngày chấp nhận đăng 8/7/2026

Tóm tắt:

Ngành xây dựng chiếm 34-39% lượng phát thải CO₂ toàn cầu, gây áp lực tuân thủ pháp lý và chuyển đổi xanh cho tổng thầu. Kiểm kê khí nhà kính (KNK) tại công trường gặp thách thức do nguồn thải di động, tạm thời và dữ liệu thầu phụ phân tán. Bài báo đề xuất mô hình kiểm kê KNK tích hợp chuẩn hóa nội dung và số hóa quy trình cho tổng thầu. Khung phương pháp luận gồm quy trình 5 bước, chuẩn hóa ranh giới phát thải (Phạm vi 1, 2, 3) theo tiêu chuẩn quốc tế (GHG Protocol, ISO 14064-1:2018) và pháp quy Việt Nam. Mô hình vận hành trực tuyến áp dụng kiến trúc ma trận ba chiều (Dự án - Kỳ kiểm kê - Nguồn phát thải) định kỳ 06 tháng. Thực nghiệm tại Công ty Cổ phần Xây dựng Coteccons ghi nhận cường độ phát thải dao động từ 450 đến 1000 kg CO₂e/m², tương thích với dải tham chiếu Đông Nam Á và hướng đến mục tiêu carbon năm 2030 của Viện Kiến trúc sư Hoàng gia Anh (RIBA). Nghiên cứu khẳng định tính khả thi của mô hình trong xóa bỏ khoảng cách dữ liệu hiện trường, đồng bộ trực tuyến thông tin về văn phòng trung tâm thay thế báo cáo thủ công. Qua đó, mô hình cung cấp cơ sở khoa học hỗ trợ doanh nghiệp hoạch định chiến lược thi công xanh và hiện thực hóa mục tiêu phát thải ròng bằng 0 (Net-zero).

*Email: dmchien@vnuhcm.edu.vn

Từ khóa: chuẩn hóa, cường độ phát thải, kiểm kê khí nhà kính, ma trận dữ liệu, số hóa, tổng thầu xây dựng.

Chỉ số phân loại: 2.1, 2.5

A greenhouse gas inventory model based on standardisation and digitalisation for general contractors' construction sites

Chien Mau Dang^{1, 2*}

¹*Advanced Materials Technology Institute, Vietnam National University Ho Chi Minh City, Urban Area of 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 15 June 2026; revised 2 July 2026; accepted 8 July 2026

Abstract:

The construction sector accounts for 34-39% of global CO₂ emissions, exerting pressure regarding regulatory compliance and green transition for general contractors. Greenhouse gas (GHG) inventory at construction sites faces challenges due to mobile and temporary emission sources and fragmented subcontractor data. This article proposes an integrated GHG inventory model combining content standardization and process digitalisation for general contractors. The methodological framework employs a five-step process, standardising emission boundaries (Scopes 1, 2, and 3) in accordance with international standards (GHG Protocol, ISO 14064-1:2018) and Vietnamese regulations. The model operates online using a three-dimensional matrix architecture (Project - Inventory Period - Emission Source) on a six-month cycle. Empirical application at Coteccons Construction Joint Stock Company demonstrates that emission intensity ranges from 450 to 1,000 kg CO₂e/m², which is compatible with the Southeast Asian benchmark and strives towards the 2030 carbon targets of the Royal Institute of British Architects (RIBA). The study confirms the model's feasibility in eliminating the field data gap, enabling online

synchronisation of information flows from construction sites to headquarters to replace manual reporting. Thereby, it provides a scientific basis to support construction enterprises in formulating green construction strategies and realising Net-zero targets.

Keywords: data matrix, digitalisation, emission intensity, general construction contractor, greenhouse gas inventory, standardisation.

Classification numbers: 2.1, 2.5

1. Đặt vấn đề

Ngành xây dựng hiện nay là một trong những tác nhân chính gây phát thải KNK lớn nhất trên phạm vi toàn cầu. Theo các báo cáo chiến lược của GlobalABC và UNEP, lĩnh vực công trình và xây dựng liên tục chiếm tỷ trọng từ 34 đến 39% lượng phát thải CO₂ toàn cầu [1, 2]. Thực trạng này đặt ra yêu cầu cấp bách phải ưu tiên ngành xây dựng trong các lộ trình giảm nhẹ phát thải và chuyển đổi xanh quốc gia; trong đó, việc định lượng và nhận diện chính xác các nguồn phát thải không còn là yêu cầu kỹ thuật đơn thuần mà đã trở thành điều kiện tiên quyết để xây dựng các chiến lược cắt giảm có cơ sở khoa học và khả năng kiểm chứng [2].

Trong quản trị doanh nghiệp, kiểm kê KNK đóng vai trò là nền tảng kỹ thuật cốt lõi. Theo các tiêu chuẩn quốc tế như Nghị định thư KNK (GHG Protocol) [3] và bộ tiêu chuẩn ISO 14064-1 (2018) [4], kiểm kê là quy trình hệ thống hóa từ việc xác định ranh giới phát thải, thu thập dữ liệu hoạt động đến lượng hóa dựa trên các nguyên tắc: phù hợp, đầy đủ, nhất quán, minh bạch và chính xác. Công cụ này giúp doanh nghiệp không chỉ hoàn thành trách nhiệm báo cáo mà còn định vị rõ ràng các “điểm nóng” (*hot spots*) phát thải, làm căn cứ hoạch định và kiểm chứng hiệu quả của các giải pháp giảm nhẹ theo thời gian [3, 5].

Tuy nhiên, việc áp dụng các tiêu chuẩn khái quát nêu trên vào môi trường dự án và công trường xây dựng gặp phải rào cản lớn do tính chất phân tán, di động của các hoạt động tiêu thụ nhiên liệu máy móc, điện tạm hiện trường, vận chuyển và quản lý chất thải. Đáng chú ý, nghiên cứu của H.Yan và cs (2010) [6] đã chứng minh rằng, trong giai đoạn thi công, lượng phát thải carbon hàm chứa (*embodied carbon*) bên trong vật liệu xây dựng mua vào chiếm đến 82-87% tổng phát thải của công trình. Kết quả này

chỉ ra một khoảng trống phương pháp luận lớn: nếu mô hình kiểm kê chỉ tập trung vào nhiên liệu và điện năng tại hiện trường (phạm vi 1 và phạm vi 2) thì sẽ phản ánh sai lệch bản chất phát thải thực tế; đòi hỏi một cách tiếp cận toàn diện bao phủ cả ba phạm vi, đặc biệt là phạm vi 3 gắn liền với chuỗi cung ứng vật liệu [5, 6].

Tại Việt Nam, hành lang pháp lý quản lý phát thải trong lĩnh vực xây dựng đang chuyển dịch mạnh mẽ từ khuyến khích sang thực thi tuân thủ. Nền tảng từ Luật Bảo vệ môi trường năm 2020 và cơ chế cụ thể hóa tại Nghị định số 06/2022/NĐ-CP, ban hành ngày 7/1/2022 (cùng hệ thống văn bản sửa đổi, bổ sung cập nhật) đã thiết lập nghĩa vụ pháp lý rõ ràng về kiểm kê KNK đối với các cơ sở trọng điểm [7]. Cộng hưởng với cam kết đạt Net-zero tại Đóng góp do Quốc gia tự quyết định (NDC 2022), các quy định này khẳng định hoạt động quản trị carbon ngành xây dựng đã hoàn toàn bước sang giai đoạn tuân thủ bắt buộc với các tiêu chuẩn kỹ thuật ngày càng khắt khe [8].

Đối với mô hình vận hành của các tổng thầu xây dựng, việc thực thi nghĩa vụ này đối mặt với “bộ ba thách thức”: nguồn thải có tính tạm thời theo tiến độ dự án; dữ liệu phân mảnh địa lý phụ thuộc nặng nề vào mạng lưới thầu phụ và ranh giới kiểm soát vận hành phạm vi 1, 2 và 3 cực kỳ phức tạp. Tuy nhiên, các mô hình kiểm kê hiện hành phần lớn được thiết kế cho các cơ sở sản xuất cố định hoặc tiếp cận theo dạng quản trị tỉnh cấp tổng thầu. Hiện vẫn tồn tại một khoảng trống nghiên cứu lớn về một khung công cụ động, có khả năng bóc tách phát thải theo tiến độ công nghệ của từng dự án và hợp nhất dữ liệu bất định từ chuỗi cung ứng hiện trường.

Để giải quyết bài toán trên, cần có một mô hình kiểm kê hiệu quả dựa trên sự hợp nhất của hai trụ cột: chuẩn hóa và số hóa. Trong đó, *chuẩn hóa* đóng vai trò thống nhất ranh giới pháp lý, danh mục dữ liệu đầu vào và hệ số phát thải theo các chuẩn mực quốc tế và quy định nội địa [3, 4, 9]; còn *số hóa* là giải pháp kỹ thuật cốt lõi giúp thu thập, xử lý và kiểm soát dòng dữ liệu trực tuyến (online) đồng thời từ nhiều công trường về văn phòng tổng thầu. Mục tiêu cốt lõi của nghiên cứu này nhằm xây dựng và thực nghiệm một hệ thống kiểm kê KNK trực tuyến đa dự án, giải quyết triệt để sự đứt gãy dữ liệu hiện trường và cung cấp cơ sở khoa học tin cậy cho chiến lược cắt giảm carbon của doanh nghiệp. Đây chính là cơ sở để nghiên cứu đề xuất “Mô hình kiểm kê khí nhà kính dựa trên chuẩn hóa và số hóa áp dụng cho các công trường của tổng thầu xây dựng” trong bài báo này.

2. Đối tượng, phạm vi và phương pháp

2.1. Đối tượng và phạm vi

Đối tượng nghiên cứu: Quy trình và mô hình kiểm kê KNK dựa trên nền tảng chuẩn hóa danh mục dữ liệu và số hóa quy trình thu thập, tổng hợp kết quả, áp dụng đặc thù cho dự án/công trường do tổng thầu xây dựng quản lý.

Phạm vi nghiên cứu: Tập trung vào các hoạt động thi công xây dựng thuộc quyền kiểm soát vận hành của tổng thầu. Không gian nghiên cứu trải dài trên các công trường phân tán địa lý; phạm vi thời gian bám sát theo các giai đoạn thi công của dự án. Các nguồn phát thải được nhận diện bao gồm: tiêu thụ nhiên liệu trực tiếp của máy móc, tiêu thụ điện năng, vận chuyển vật liệu, hoạt động thi công của nhà thầu phụ, và công tác quản lý chất thải tại hiện trường.

2.2. Cơ sở phương pháp luận và chuẩn hóa nội dung kiểm kê

Nghiên cứu kết hợp chặt chẽ giữa các tiêu chuẩn quốc tế và hành lang pháp lý hiện hành tại Việt Nam để làm căn cứ chuẩn hóa mô hình:

Hệ thống tiêu chuẩn tham chiếu: Khung phương pháp luận áp dụng nguyên tắc cốt lõi (phù hợp, đầy đủ, nhất quán, minh bạch, chính xác) và cách tiếp cận ranh giới vận hành (Phạm vi 1, 2, 3) của bộ tiêu chuẩn theo Nghị định thư KNK (*GHG Protocol*) [3] và tiêu chuẩn kiểm kê phát thải theo chuỗi giá trị (phạm vi 3) [5], cùng hướng dẫn định lượng cấp tổ chức của ISO 14064-1:2018 [4]. Về mặt pháp lý trong nước, mô hình tuân thủ quy định giảm nhẹ phát thải KNK theo Nghị định số 06/2022/NĐ-CP, ngày 7/1/2022) [7] và các văn bản sửa đổi, bổ sung hiện hành.

Chuẩn hóa nội dung và cấu trúc dữ liệu: Nội dung kiểm kê được chuẩn hóa đồng bộ thành 5 nhóm chính: i) Xác định ranh giới; ii) Phân loại nguồn phát thải; iii) Thống nhất danh mục dữ liệu hoạt động và hệ số phát thải; iv) Cấu trúc hóa dữ liệu và tính toán; v) Lập báo cáo và thẩm định.

2.3. Quy trình số hóa và thiết kế mô hình kiểm kê trực tuyến

Mô hình kiểm kê KNK trực tuyến được thiết kế dựa trên việc giải quyết ba đặc thù lớn của tổng thầu: tính di động/tạm thời của nguồn thải theo tiến độ dự án; tính phân

tán/không đồng nhất của dữ liệu hiện trường; và tính phức tạp khi định ranh giới kiểm soát giữa tổng thầu và nhà thầu phụ.

Quy trình số hóa tích hợp: Nghiên cứu thiết kế quy trình kiểm kê theo logic: *Khảo sát thực tế => Nhận diện nguồn phát thải => Chuẩn hóa biểu mẫu đầu vào => Phát triển nền tảng số => Đào tạo nhân sự => Triển khai định kỳ => Tổng hợp kết quả và lập đường cơ sở.* Việc chuyển đổi từ biểu mẫu thủ công rời rạc sang phần mềm trực tuyến cho phép tự động hóa dòng dữ liệu từ cấp công trường về tổng công ty, tích hợp các thuật toán kiểm soát chất lượng (QA/QC) để tự động phát hiện sai sót về đơn vị hoặc sự thiếu hụt dữ liệu.

Kiến trúc ma trận đa dự án: Hệ thống quản trị dữ liệu áp dụng cách tiếp cận ma trận ba chiều (*Dự án - Kỳ kiểm kê - Nguồn phát thải*). Thiết kế này cho phép trích xuất dữ liệu linh hoạt theo hai trục cốt lõi: theo chiều ngang (lát cắt thời gian, theo dõi diễn tiến phát thải qua các kỳ kiểm kê và giai đoạn thi công của một dự án cụ thể) và theo chiều dọc (lát cắt tổ chức, tổng hợp đồng thời tình trạng phát thải của toàn bộ danh mục các dự án/công trường thuộc tổng thầu tại một kỳ báo cáo xác định).

Cơ chế vận hành: Hệ thống số vận hành theo cơ chế phân quyền chặt chẽ ba cấp (Nhập liệu tại công trường - Duyệt tại Ban chỉ huy công trường - Tổng hợp tại văn phòng Tổng thầu), tích hợp tính năng lưu vết lịch sử chỉnh sửa (audit trail) và tự động cảnh báo khi dữ liệu hoạt động có biên độ dao động bất thường giữa các kỳ báo cáo.

3. Kết quả

3.1. Nhận diện đặc thù kiểm kê khí nhà kính các dự án/công trường của tổng thầu xây dựng

Kết quả phân tích cho thấy, kiểm kê KNK đối với tổng thầu xây dựng có nhiều đặc điểm khác biệt so với kiểm kê tại doanh nghiệp sản xuất hoặc nhà máy cố định. Các đặc thù này tạo ra yêu cầu phải xây dựng một quy trình kiểm kê riêng, có khả năng quản lý dữ liệu phân tán, nhận diện đúng ranh giới phát thải và triển khai đồng thời tại nhiều công trường.

Thứ nhất, nguồn phát thải tại dự án/công trường xây dựng có tính di động và tạm thời. Máy móc, thiết bị thi công, phương tiện vận chuyển, khu vực cấp điện tạm, khu

tập kết vật liệu và khu xử lý chất thải thường thay đổi theo địa điểm dự án và theo giai đoạn thi công. Nguồn phát thải có thể xuất hiện, thay đổi cường độ hoặc kết thúc khi một hạng mục thi công hoàn thành. Đặc điểm này làm cho kiểm kê KNK trong xây dựng phức tạp hơn so với kiểm kê tại nhà máy, nơi nguồn thải thường ổn định về vị trí và quy mô vận hành.

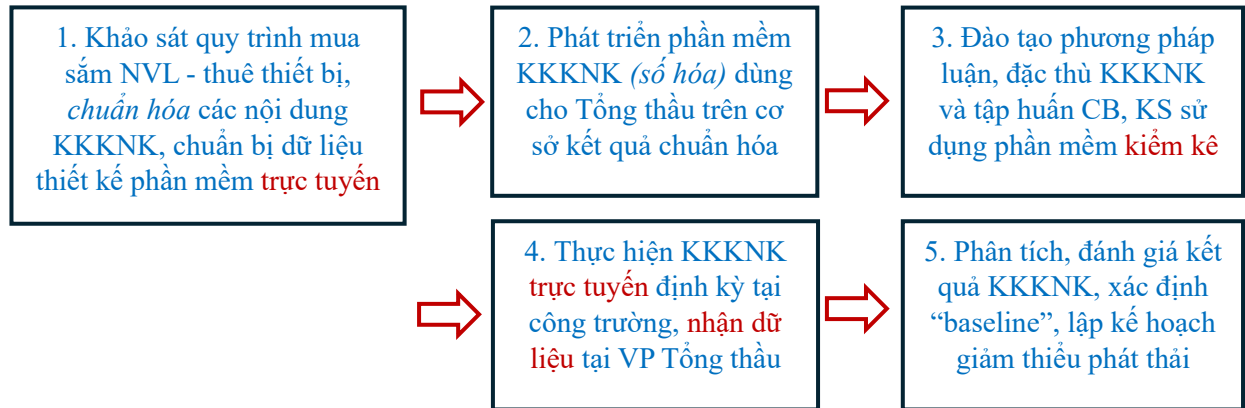
Thứ hai, dữ liệu phục vụ kiểm kê bị phân tán theo nhiều công trường và nhiều chủ thể tham gia. Một tổng thầu quy mô lớn có thể quản lý đồng thời hàng loạt dự án tại các địa phương khác nhau. Dữ liệu về nhiên liệu, điện năng, vật liệu, vận chuyển, chất thải và dịch vụ thuê ngoài thường được ghi nhận bởi các bộ phận khác nhau, trong những biểu mẫu khác nhau và với mức độ chi tiết không đồng nhất. Bên cạnh đó, tổng thầu phụ thuộc nhiều vào nhà thầu phụ, trong khi dữ liệu phát thải của thầu phụ thường khó thu thập đầy đủ và khó kiểm chứng.

Thứ ba, ranh giới kiểm kê giữa các phạm vi 1, phạm vi 2 và phạm vi 3 có tính phức tạp cao. Một số nguồn phát thải tại công trường có thể được phân loại khác nhau tùy thuộc vào quyền kiểm soát vận hành. Ví dụ, thiết bị thi công do tổng thầu sở hữu và vận hành được xem là nguồn phát thải trực tiếp thuộc phạm vi 1, trong khi thiết bị thuê ngoài có người vận hành thuộc thầu phụ là phát thải gián tiếp của phạm vi 3.

Từ các kết quả trên, nghiên cứu xác định ba yêu cầu cốt lõi đối với quy trình kiểm kê KNK của tổng thầu xây dựng: cần có bộ quy tắc chuẩn hóa để phân loại nguồn phát thải và dữ liệu hoạt động; cần có hệ thống số hóa để quản lý dữ liệu phân tán và cần có cơ chế kiểm soát dữ liệu để bảo đảm tính đầy đủ, nhất quán và truy xuất được kết quả kiểm kê.

3.2. Kết quả đề xuất quy trình kiểm kê khí nhà kính 5 bước dựa trên chuẩn hóa và số hóa

Trên cơ sở các đặc thù đã nhận diện, nghiên cứu đề xuất quy trình kiểm kê KNK dựa trên chuẩn hóa và số hóa áp dụng cho các dự án/công trường của tổng thầu xây dựng. Quy trình này là một trong các kết quả nghiên cứu của bài báo, được thiết kế nhằm kết nối ba yêu cầu: i) tuân thủ nguyên tắc kiểm kê KNK, ii) phù hợp với hoạt động thi công thực tế tại dự án/công trường của tổng thầu, và iii) có khả năng triển khai trên công cụ số (hình 1).



Hình 1. Quy trình kiểm kê khí nhà kính 5 bước dựa trên chuẩn hóa và số hóa phù hợp với hoạt động của Tổng thầu xây dựng [10]. NVL: nguyên vật liệu, KKKNK: kiểm kê khí nhà kính; VP: văn phòng, CB: cán bộ, KS: kỹ sư

Bước 1: Khảo sát quy trình mua nguyên vật liệu (NVL), thuê thiết bị thi công và dịch vụ của Tổng thầu, chuẩn hóa các nội dung kiểm kê khí nhà kính và chuẩn bị dữ liệu thiết kế phần mềm trực tuyến ở bước tiếp theo:

Đây là bước khảo sát và chuẩn bị nền tảng của quy trình, có các mục đích: i) *hiểu rõ quy trình cung ứng*: mua sắm NVL, thuê thiết bị và dịch vụ, cách chuyển NVL về các công trường; ii) *chuẩn hóa các nội dung kiểm kê khí nhà kính*: ranh giới kiểm kê, các hoạt động tạo ra phát thải, phân loại nguồn phát thải, dữ liệu hoạt động, cấu trúc dữ liệu và báo cáo; iii) *xây dựng dữ liệu để thiết kế phần mềm*: từ kết quả khảo sát và chuẩn hóa thiết kế các “form” nhập liệu và logic tính toán trong phần mềm kiểm kê khí nhà kính (bước 2) một cách thực tế và chính xác; iv) *phân công trách nhiệm*: phân công cán bộ, kỹ sư công trường cung cấp dữ liệu cho từng loại hoạt động.

Bước 2: Phát triển phần mềm kiểm kê khí nhà kính trực tuyến (số hóa) dùng cho Tổng thầu xây dựng dựa trên kết quả khảo sát và chuẩn hóa ở bước 1:

Đây là bước chuyển đổi số/số hóa cho hoạt động kiểm kê khí nhà kính, với các mục đích và nội dung: i) *bảo đảm hiệu quả và đồng bộ*: phần mềm trực tuyến giúp chuẩn hóa quy trình nhập liệu, tính toán tự động, giảm sai sót do con người và cho phép quản lý tập trung dữ liệu từ nhiều dự án/công trường; ii) *tuân thủ pháp luật*: việc thiết kế phần mềm tuân thủ quy định quốc tế và Việt Nam, phân chia 3 phạm vi phát thải đảm bảo tính pháp lý và dữ liệu cơ sở báo cáo chính thức; iii) *tạo khả năng mở rộng*: phần mềm kiểm kê KNK phù hợp cho mô hình Tổng thầu xây dựng có nhiều dự án/công trường,

có thể mở rộng khi cần; iv) *thử nghiệm (pilot testing)*: thử nghiệm phần mềm tại một số dự án thí điểm để tinh chỉnh các lỗi và đảm bảo tính dễ sử dụng trước khi triển khai rộng rãi.

Bước 3: Đào tạo và nâng cao năng lực cho CB quản lý - KS công trường về phương pháp luận, đặc thù kiểm kê KNK đối với Tổng thầu, và sử dụng công cụ số (phần mềm):

Bước này mang tính chất quản lý sự thay đổi (change management) với mục đích: i) *tăng cường nhận thức*: giúp đội ngũ cán bộ - kỹ sư hiểu rõ mục đích của việc kiểm kê KNK tại dự án/công trường, thúc đẩy sự hợp tác và trách nhiệm trong việc cung cấp dữ liệu chính xác; ii) *bảo đảm sử dụng đúng công cụ số (phần mềm)*: tập huấn sử dụng phần mềm giúp quá trình nhập liệu tại công trường diễn ra trơn tru; để việc đào tạo không ảnh hưởng đến công việc thi công bận rộn tại công trường, hoạt động này được tiến hành theo hình thức trực tiếp (đối với CB văn phòng) và trực tuyến (đối với KS công trường) và được tổ chức thường xuyên cho nhân sự mới do đặc thù của ngành xây dựng là có sự luân chuyển nhân sự cao.

Bước 4: Thực hiện KKKNK trên phần mềm trực tuyến tại các dự án/công trường theo định kỳ 1, 3 hay 6 tháng một lần, dữ liệu tự động chuyển về văn phòng Tổng thầu:

Bước này là nội dung chính của quy trình, triển khai thực tế tại công trường theo định kỳ: i) *ghi nhận dữ liệu kiểm kê KNK định kỳ*: tần suất 1, 3 hay 6 tháng một lần, theo dõi xu hướng phát thải và có hành động kịp thời; ii) *quản lý tập trung bằng công cụ số*: tại công trường việc kiểm tra chéo tính hợp lệ dữ liệu được thực hiện trước khi chúng được đưa vào các “form” nhập liệu, sau đó dữ liệu tự động chuyển về văn phòng Tổng thầu, giúp bộ phận chuyên trách (thường là Phòng ESG) dễ dàng kiểm tra và giám sát.

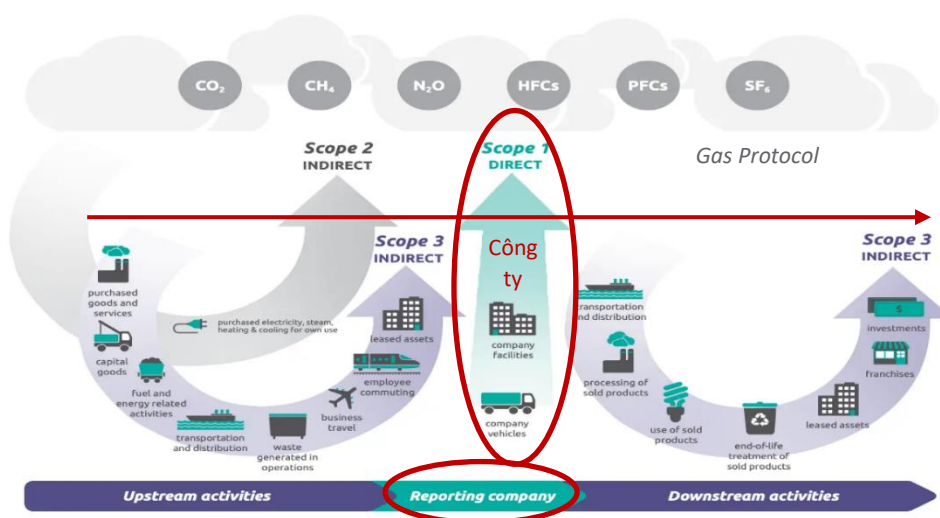
Bước 5: Phân tích, đánh giá kết quả kỳ kiểm kê KNK ở cấp độ dự án và doanh nghiệp, xác định “baseline” và lập kế hoạch giảm thiểu phát thải cho Tổng thầu:

Đây là bước cuối trong quy trình, tập trung: i) *phân tích và đánh giá*: phân tích hiệu quả giảm phát thải nhờ ứng dụng các vật liệu “xanh”, giải pháp thi công “xanh”, xác định các điểm nóng phát thải ở cấp độ dự án/công trường và xác định tổng lượng phát thải trong kỳ kiểm kê, mức phát thải cơ sở (*baseline*) của Tổng thầu, đây là cơ sở khoa học để xây dựng kế hoạch giảm thiểu hiệu quả; ii) *tuân thủ báo cáo*: đảm bảo Tổng

thầu đáp ứng các nghĩa vụ báo cáo theo Nghị định số 06/2022/NĐ-CP ngày 7/1/2022 và các văn bản sửa đổi, bổ sung hiện hành; *iii) đưa ra hành động cụ thể*: trên cơ sở kết quả đánh giá lập kế hoạch giảm thiểu phát thải cho các dự án tương lai.

3.3. Xây dựng khung chuẩn hóa nội dung kiểm kê khí nhà kính theo tiêu chuẩn quốc tế và Việt Nam

Thực hiện quy trình kiểm kê KNK 5 bước nêu trên, nghiên cứu đã xây dựng khung chuẩn hóa nội dung kiểm kê KNK cho các dự án/công trường của tổng thầu xây dựng (bước 1, hình 1), dựa trên sự kết hợp giữa các tiêu chuẩn quốc tế như: ISO 14064-1 [4], Nghị định thư KNK về kiểm kê KNK cấp doanh nghiệp/tổ chức [3, 5] (hình 2) và các quy định pháp lý cụ thể của Việt Nam [9]. Khung chuẩn hóa này nhằm bảo đảm rằng dữ liệu được thu thập từ nhiều dự án/công trường khác nhau vẫn có thể tổng hợp, so sánh, kiểm tra và sử dụng cho các báo cáo cấp doanh nghiệp tổng thầu.



Hình 2. Chuẩn hóa nội dung kiểm kê khí nhà kính dựa theo hướng dẫn của Nghị định thư khí nhà kính về phạm vi và lượng phát thải trên toàn chuỗi giá trị [5].

Kết quả chuẩn hóa kiểm kê KNK bao gồm 05 nhóm nội dung chính:

Thứ nhất, chuẩn hóa ranh giới kiểm kê: Việc xác định ranh giới tổ chức (organizational boundaries) và ranh giới vận hành (operational boundaries) là bước nền tảng trong kiểm kê KNK, cần được thực hiện trước khi thu thập dữ liệu. Đối với tổng thầu xây dựng, ranh giới kiểm kê cần làm rõ dự án nào được đưa vào phạm vi kiểm kê, các loại phát thải nào được tính đến, hoạt động nào do tổng thầu kiểm soát trực tiếp và

hoạt động nào thuộc nhà thầu phụ hoặc nhà cung cấp; đây là bước quan trọng để tránh bỏ sót hoặc tính trùng phát thải giữa các bên trong chuỗi cung ứng.

Thứ hai, chuẩn hóa phân loại nguồn phát thải theo các phạm vi 1, 2 và 3 (Scope 1, 2, and 3): Trong mô hình đề xuất, phạm vi 1 (Scope 1) bao gồm các phát thải trực tiếp từ nguồn do tổng thầu sở hữu hoặc kiểm soát vận hành, ví dụ nhiên liệu sử dụng cho thiết bị, máy móc/phương tiện do tổng thầu vận hành. Phạm vi 2 (Scope 2) bao gồm phát thải gián tiếp từ điện năng mua vào phục vụ công trường (văn phòng dự án, hoạt động thi công). Phạm vi 3 (Scope 3) bao gồm các phát thải gián tiếp khác trong chuỗi giá trị, như vật liệu xây dựng, vận chuyển vật liệu đến công trường, nhân công di chuyển, hoạt động của thầu phụ, xử lý chất thải, dịch vụ thuê ngoài v.v...

Thứ ba, chuẩn hóa dữ liệu hoạt động và hệ số phát thải: Mỗi nguồn phát thải cần được gắn với loại dữ liệu hoạt động (activity data - AD) phù hợp, ví dụ lít dầu diesel (DO), kWh điện, tấn vật liệu, tấn-km vận chuyển, tấn chất thải... Hệ số phát thải (emission factor - EF) cần được lựa chọn từ nguồn có độ tin cậy phù hợp, ưu tiên hệ số quốc gia, hệ số do cơ quan có thẩm quyền ban hành (ví dụ: Quyết định số 2626/QĐ-BTNMT ngày 10/10/2022 của Bộ Tài nguyên và Môi trường trước khi sáp nhập), hệ số quốc tế (ví dụ: Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi Khí hậu - IPCC, Cơ quan Bảo vệ Môi trường Hoa Kỳ - EPA) khi không có dữ liệu địa phương. Đối với vật liệu xây dựng có carbon hàm chứa cao, việc chuẩn hóa nguồn hệ số phát thải là đặc biệt quan trọng vì có thể ảnh hưởng lớn đến kết quả kiểm kê.

Thứ tư, chuẩn hóa cấu trúc dữ liệu và công thức tính toán: Quy trình yêu cầu dữ liệu kiểm kê được cấu trúc theo cùng một logic: dự án/công trường, kỳ kiểm kê, nguồn phát thải, phạm vi phát thải, dữ liệu hoạt động, đơn vị tính, hệ số phát thải, kết quả phát thải và minh chứng dữ liệu. Cấu trúc này giúp phần mềm kiểm kê KNK trực tuyến tự động tổng hợp kết quả theo từng dự án, từng kỳ kiểm kê, từng nguồn phát thải và toàn bộ tổng thầu.

Thứ năm, chuẩn hóa báo cáo, kiểm tra và thẩm định: Kết quả kiểm kê cần được trình bày theo cấu trúc thống nhất, có thể so sánh giữa các kỳ kiểm kê và giữa các dự án/công trường. Báo cáo cần nêu rõ phạm vi kiểm kê, nguồn dữ liệu, phương pháp tính, hệ số phát thải, giới hạn dữ liệu và các điểm chưa chắc chắn. Trong trường hợp dữ liệu

kiểm kê KNK được sử dụng cho báo cáo pháp lý, yêu cầu khách hàng quốc tế hoặc thị trường carbon, cần thêm bước thẩm định hoặc xác minh độc lập bởi bên thứ ba.

Khung chuẩn hóa này giúp chuyển hoạt động kiểm kê KNK từ dạng thu thập dữ liệu rời rạc sang hệ thống quản lý dữ liệu có cấu trúc. Nhờ đó, tổng thầu có thể không chỉ biết tổng lượng phát thải, mà còn phân tích được phát thải theo dự án, theo giai đoạn thi công, theo nguồn phát thải và theo trách nhiệm quản lý. Đây là cơ sở quan trọng để xác định phát thải cơ sở, nhận diện điểm nóng phát thải và xây dựng kế hoạch giảm phát thải trong các kỳ tiếp theo.

3.4. Thiết kế mô hình kiểm kê khí nhà kính trực tuyến định kỳ cho dự án/công trường

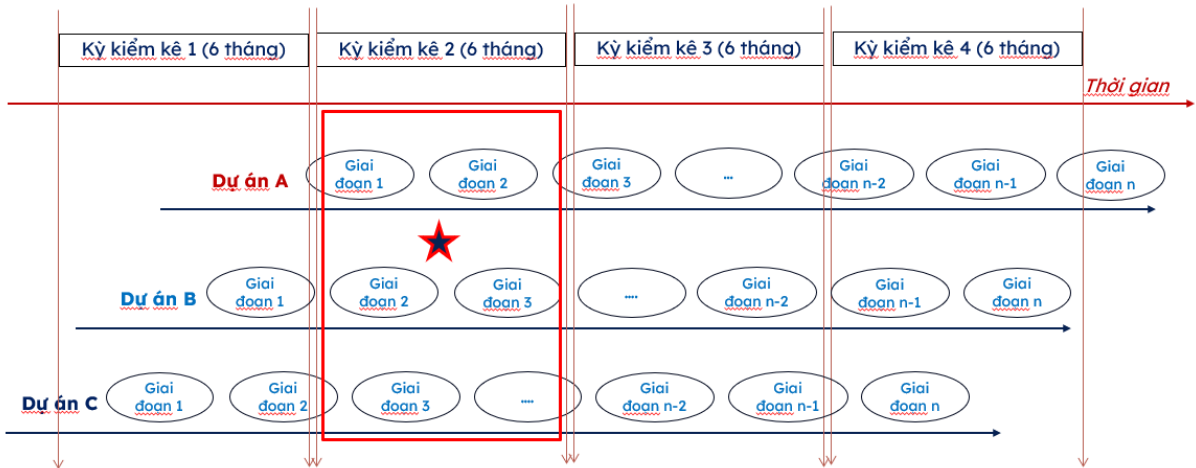
Trên cơ sở quy trình kiểm kê KNK 5 bước đã xây dựng, nghiên cứu đề xuất mô hình thực hành kiểm kê KNK trực tuyến cho các dự án/công trường của tổng thầu xây dựng (bước 4, hình 1). Mô hình này được thiết kế nhằm giải quyết hai thách thức chính của tổng thầu: một là quản lý dữ liệu từ nhiều công trường phân tán về địa lý; hai là theo dõi phát thải thay đổi theo các giai đoạn thi công khác nhau.

Quy mô dự án lớn và phân tán địa lý: Việc quản lý dữ liệu từ hàng trăm công trường xây dựng rải rác mọi miền đất nước đòi hỏi một hệ thống báo cáo đồng bộ. Nếu không có quy chuẩn, dữ liệu hoạt động sẽ bị phân mảnh, dễ sai sót hoặc trùng lặp.

Tình trạng thi công không đồng nhất: Cường độ và cơ cấu phát thải KNK tại công trường thay đổi theo giai đoạn thi công. Ví dụ, ở giai đoạn móng, hầm và kết cấu, phát thải từ thiết bị thi công, nhiên liệu và năng lượng điện có thể gia tăng; ở giai đoạn hoàn thiện, phát thải liên quan đến vật liệu hoàn thiện, nhà thầu phụ và chất thải công trường có thể trở nên đáng kể.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, mô hình kiểm kê trực tuyến cần được tổ chức theo kỳ kiểm kê định kỳ. Trong các phương án 1 tháng, 3 tháng hoặc 6 tháng, chu kỳ 6 tháng được khuyến nghị áp dụng vì phù hợp hơn với thực tế công trường: chu kỳ này đủ dài để ghi nhận thay đổi đáng kể của các giai đoạn thi công, đồng thời không tạo áp lực nhập liệu quá lớn cho cán bộ, kỹ sư hiện trường (hình 3). Tuy nhiên, cũng cần lưu ý là cán bộ, kỹ sư phụ trách kiểm kê KNK ở công trường có thể nhập liệu hàng tháng hay bất cứ lúc nào khi có phát sinh dữ liệu hoạt động vì phần mềm trực tuyến luôn ở trạng

thái “mở”, định kỳ 6 tháng có nghĩa là thời điểm “kết sổ”, “chốt dữ liệu” chuyển về văn phòng Tổng thầu để kiểm tra, tổng hợp và đánh giá.



Hình 3. Kết quả thiết kế mô hình vận hành kiểm kê khí nhà kính trực tuyến theo chu kỳ 6 tháng, thực hiện đồng thời cho nhiều dự án/công trường của Tổng thầu [10].

Mô hình kiểm kê KNK được đề xuất trong hình 3 có hai ý nghĩa chính:

Thứ nhất, theo chiều ngang, mỗi kỳ kiểm kê là một “lát cắt thời gian” trong vòng đời phát thải của từng dự án. Ví dụ, đối với dự án B, kỳ kiểm kê 2 có thể phản ánh phát thải của giai đoạn thi công 2 và 3 (được đánh dấu bằng ngôi sao). Khi kết hợp kỳ kiểm kê 2 với kỳ kiểm kê 1 trước đó và các kỳ kiểm kê tiếp theo, tổng thầu có thể hình thành bức tranh phát thải theo vòng đời thi công của dự án B. Cách tiếp cận này giúp nhận diện giai đoạn thi công nào có cường độ phát thải cao, nguồn phát thải nào chiếm tỷ trọng lớn, thời điểm nào cần ưu tiên biện pháp giảm phát thải và xác định được cường độ phát thải tính trên mét vuông sàn xây dựng đối với các dự án đi hết vòng đời.

Thứ hai, theo chiều dọc, mỗi kỳ kiểm kê là một “lát cắt tổ chức” phản ánh tình trạng phát thải đồng thời của tất cả các dự án/công trường thuộc Tổng thầu trong cùng một giai đoạn báo cáo. Khi tổng hợp hai kỳ kiểm kê 6 tháng liên tiếp, tổng thầu có thể xác định lượng phát thải KNK trong một năm, phục vụ báo cáo theo năm tài chính, báo cáo phát triển bền vững, đánh giá hiệu quả giảm phát thải và lập kế hoạch kiểm soát phát thải cho kỳ tiếp theo.

Kết quả thiết kế mô hình cũng cho thấy, việc kiểm kê KNK trực tuyến giúp giảm nguy cơ dữ liệu bị phân mảnh, trùng lặp hoặc không đồng nhất giữa văn phòng tổng thầu và công trường. Khi dữ liệu được nhập trên cùng một nền tảng, theo cùng một biểu mẫu và cùng một kỳ kiểm kê, tổng thầu có thể kiểm soát tốt hơn chất lượng dữ liệu, tiến độ nhập liệu và khả năng truy xuất minh chứng.

3.5. Kết quả nghiên cứu ứng dụng tại các dự án/công trường của Coteccons

Mô hình kiểm kê phát thải KNK dựa trên chuẩn hóa và số hóa nêu trên đã được áp dụng tại một số các dự án/công trường của Tổng thầu Coteccons theo chu kỳ định kỳ 6 tháng/lần, bắt đầu từ tháng 1/2023. Việc triển khai được thực hiện trên nền tảng phần mềm trực tuyến, trong đó các kỹ sư công trường nhập dữ liệu hoạt động theo biểu mẫu đã được chuẩn hóa về phạm vi phát thải, nguồn phát thải, đơn vị dữ liệu (hình 4A). Bên cạnh đó, KS nhập liệu có thể chọn mã số các giai đoạn thi công từ Danh mục được thiết lập cho từng loại dự án; tại Coteccons có 6 loại dự án chính: 1) Trung tâm thương mại/văn phòng, 2) Khu dân cư, 3) Khách sạn/khu nghỉ dưỡng, 4) Bệnh viện/trường học, 5) Nhà xưởng (factory), 6) Cơ sở hạ tầng (infrastructure). Theo kết quả đăng ký sáng chế của Coteccons [11], mặc dù 4 loại dự án đầu tiên (1-4) có khác biệt về công năng sử dụng sau khi hoàn thành, chúng có nhiều điểm tương đồng về bản chất phát thải KNK trong giai đoạn thi công, do đều trải qua các quy trình xây dựng cơ bản như chuẩn bị mặt bằng, gia cố nền đất, thi công kết cấu, xây dựng vỏ tòa nhà, lắp đặt hệ thống cơ điện, thi công nội thất và hoàn thiện; do vậy 4 loại dự án này có dùng chung Danh mục các giai đoạn thi công gồm 7 giai đoạn chính, mỗi giai đoạn này được chia nhỏ thành 5-8 giai đoạn thi công phụ (được mã hóa), tập trung vào những công việc có lượng phát thải khí nhà kính đáng kể (hình 4B).

(A)

Phạm vi (Scope)	Nguồn phát thải (Emission source)	Loại hình hoạt động (activity type)	Dữ liệu hoạt động (Activity data)		
			Nhiên liệu/ Vật liệu/ Chất thải (Fuel/Material/Waste)	Đơn vị (Unit)	Số lượng (Quantity)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
Phạm vi 1	Đốt cháy cố định	Vận hành thiết bị thi công cố định dùng dầu diesel (máy phát điện dự phòng)	Dầu diesel (DO)	Lít	10.000,00
Phạm vi 1	Đốt cháy di động	Vận hành phương tiện di động dùng xăng (xe)	Xăng	Lít	1.000,00
Phạm vi 2	Năng lượng gián tiếp mua vào	Tiêu thụ điện lưới cho công trường	Điện lưới	kWh	50.000,00
Phạm vi 3	Hàng hóa và dịch vụ mua vào	Sản xuất thép xây dựng	Thép xây dựng	Tấn	30.000,00
Phạm vi 3	Vận chuyển thượng nguồn	Vận chuyển thép xây dựng	Vận chuyển thép đường bộ	Tấn.km	3.000.000,00

(B)

Bảng giai đoạn thi công tiêu biểu của 4 loại dự án chính

- | | |
|---|---|
| 1 | Chuẩn bị mặt bằng |
| 2 | Gia cố nền đất & đào đất |
| 3 | Xây dựng kết cấu |
| 4 | Xây dựng vỏ tòa nhà và kiến trúc thô |
| 5 | Lắp đặt hệ thống cơ điện |
| 6 | Thi công nội thất |
| 7 | Hoàn thiện và xây dựng hạ tầng bên ngoài và cảnh quan |
-

Hình 4. Một số dòng mẫu nhập liệu được chuẩn hóa theo phạm vi 1, 2 và 3 sử dụng cho các công trường Coteccons (A), các giai đoạn thi công tiêu biểu cho 4 loại dự án chính tại Coteccons (B) [11].

Sau khi kết thúc thời gian nhập liệu theo quy định, thường trong khoảng một tuần, dữ liệu từ các dự án/công trường được tự động chuyển về văn phòng Coteccons. Tại đây, Phòng Phát triển Bền vững (ESG) thực hiện rà soát, phân tích, đánh giá và tổng hợp số liệu theo bước 5 của quy trình kiểm kê KNK đã đề xuất. Kết quả kiểm kê được thể hiện theo các mẫu báo cáo đã được thiết kế và tích hợp trong phần mềm, cho phép theo dõi lượng phát thải theo từng cụm dự án và danh mục dự án/công trường được kiểm kê (hình 5A). Đối với từng dự án/công trường, phần mềm kiểm kê KNK ghi nhận các giai đoạn thi công đã diễn ra trong kỳ kiểm kê và lượng phát thải KNK tương ứng; nhờ đó, mỗi kỳ kiểm kê có thể được xem như một “lát cắt” phản ánh tình trạng phát thải của dự án tại giai đoạn kiểm kê trong vòng đời dự án (hình 5B).

(A)

STT	Loại công trình	Số lượng kiểm kê khí nhà kính	Tổng phát thải (tấn CO ₂ tương đương)
1	Thương mại và văn phòng	13	77,743.839
2	Khu dân cư	38	559,355.468

(B)

Diện tích sàn xây dựng theo thiết kế (m ²)	Giai đoạn báo cáo (Reporting period) kiểm kê khí nhà kính: 1/2024-6/2024)				
	Các giai đoạn thi công đã thực hiện (ghi nhận mã số theo Danh mục)	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)
(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)
64.000,00	Giai đoạn 1&2 Giai đoạn 3&4	16.713,935	28,775	199,103	16.486,057

Hình 5. Một số kết quả kiểm kê KNK tại Coteccons được thể hiện trên phần mềm trực tuyến: (A) danh mục dự án/công trường được kiểm kê, (B) lượng phát thải KNK và các giai đoạn thi công tương ứng của một dự án tiêu biểu [10].

Đối với các dự án trải qua nhiều kỳ kiểm kê liên tiếp, nghiên cứu trường hợp tại Coteccons cho thấy, mô hình không chỉ ghi nhận tổng lượng phát thải của từng kỳ, mà còn hỗ trợ xác định cường độ phát thải trên diện tích sàn xây dựng. Kết quả thu được từ một số dự án/công trường thuộc bốn loại hình dự án chính của Coteccons cho thấy, cường độ phát thải, tính theo kg CO₂ tương đương (CO₂e) trên mét vuông sàn xây dựng, dao động trong khoảng 450-1.000 kg CO₂e/m² [10]. Bên cạnh đó, ở cấp độ tổng thầu

mô hình cho phép tổng hợp dữ liệu theo chuỗi thời gian để xác định xu hướng phát thải và hướng đến thiết lập đường cơ sở phát thải.

Kết quả ứng dụng cho thấy, Cotecons đã bước đầu hình thành được nền tảng dữ liệu phục vụ quản lý phát thải KNK ở cấp dự án/công trường và cấp doanh nghiệp, tạo cơ sở cho các hoạt động giảm phát thải, phát triển công trình xanh và định hướng Net-zero trong các giai đoạn tiếp theo.

4. Bàn luận

4.1. Đặc thù kiểm kê khí nhà kính tại công trường của tổng thầu xây dựng

Kết quả nghiên cứu khẳng định kiểm kê KNK trong hoạt động tổng thầu xây dựng có sự khác biệt so với các cơ sở sản xuất cố định. Trong khi nhà máy có nguồn thải và ranh giới ổn định, các công trường xây dựng lại mang tính di động, tạm thời và biến động mạnh theo tiến độ thi công. Việc nhận diện rõ ba nhóm đặc thù (nguồn thải di động, dữ liệu phân tán phụ thuộc thầu phụ và ranh giới các phạm vi phức tạp) là cơ sở phương pháp luận quan trọng để xây dựng một quy trình cho tổng thầu. Từ góc độ quản trị, nếu không bám sát các đặc thù này, doanh nghiệp sẽ dễ đối mặt với ba rủi ro lớn: bỏ sót nguồn thải, tính trùng dữ liệu và phân loại sai về phạm vi phát thải.

4.2. Giá trị của quy trình 5 bước và khung chuẩn hóa nội dung kiểm kê

Quy trình kiểm kê 5 bước đã hỗ trợ chuyển đổi phương thức xử lý dữ liệu từ rời rạc sang một chuỗi quản lý có cấu trúc và mang tính tuyến tính. Điểm giá trị của quy trình là không bắt đầu ngay từ việc tính toán, mà bắt đầu từ khâu khảo sát chuỗi cung ứng, mua sắm và vận hành hiện trường - cách tiếp cận phù hợp với đặc thù dữ liệu phân tán của tổng thầu. Việc tích hợp bước đào tạo giúp nâng cao năng lực quản trị dữ liệu của nhân sự trực tiếp tại công trường. Bên cạnh đó, việc chuẩn hóa ranh giới phát thải theo phạm vi 1, 2 và 3 và cập nhật đồng bộ với hành lang pháp lý Việt Nam (Nghị định số 06/2022/NĐ-CP ngày 7/1/2022) đảm bảo tính nhất quán, minh bạch, giúp kết quả kiểm kê có khả năng so sánh cao và sẵn sàng cho hoạt động thẩm định độc lập.

Quy trình 5 bước được thực hiện trong nội bộ Tổng thầu, bước tiếp theo có thể cần phải thực hiện là xác minh độc lập của bên thứ 3 (independent verification) với mục đích đảm bảo tính tin cậy và khách quan của dữ liệu kiểm kê KNK, đặc biệt khi báo cáo

cho cơ quan quản lý hoặc khách hàng quốc tế; điều này rất quan trọng nếu Tổng thầu hướng tới thị trường carbon hoặc các dự án quốc tế.

4.3. Mô hình trực tuyến đa dự án và thực tiễn áp dụng tại Coteccons

Mô hình trực tuyến theo chu kỳ 6 tháng đã giải quyết bài toán quản trị đa dự án song song nhờ cách tiếp cận ma trận dữ liệu hai trục:

Theo chiều ngang (lát cắt thời gian): Mô hình cho phép theo dõi diễn tiến và biến động phát thải của từng dự án qua các giai đoạn công nghệ khác nhau (móng, kết cấu, hoàn thiện), tránh hiện tượng “bất định” nếu chỉ kiểm kê một lần vào cuối dự án.

Theo chiều dọc (lát cắt tổ chức): Mô hình giúp tổng hợp đồng thời dữ liệu của toàn bộ danh mục dự án tại một thời điểm báo cáo, phục vụ trực tiếp cho chu kỳ năm tài chính và báo cáo ESG của doanh nghiệp.

Ưu điểm của mô hình là kết hợp được cả hai chiều phân tích: *chiều vòng đời dự án* và *chiều quản trị cấp doanh nghiệp/tổng thầu*. Theo chiều vòng đời dự án, mô hình cho phép theo dõi phát thải từ khi bắt đầu thi công đến khi hoàn thành dự án. Theo chiều quản trị cấp doanh nghiệp, mô hình cho phép tổng thầu tổng hợp dữ liệu phát thải của toàn bộ danh mục dự án trong cùng một kỳ kiểm kê. Đây là ưu điểm quan trọng so với cách kiểm kê rời rạc theo từng dự án/công trường hoặc từng bảng tính riêng lẻ.

Thực tiễn áp dụng tại Tổng thầu Coteccons chứng minh tính khả thi cao của mô hình trong việc xóa bỏ khoảng cách dữ liệu giữa hiện trường và văn phòng Công ty. Chỉ số cường độ phát thải chuẩn hóa ($\text{kg CO}_2\text{e/m}^2$) đóng vai trò là thước đo hiệu quả để so sánh giữa các công trình khác quy mô. Kết quả thực tế của Coteccons ($450\text{-}1.000 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2$) hoàn toàn tương thích với dải tham chiếu ngành xây dựng tại Đông Nam Á ($600\text{-}1.000+ \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2$) [12] và tại các nước phát triển ($400\text{-}800 \text{ kg CO}_2\text{e/m}^2$) [13], đồng thời hướng đến mục tiêu carbon hàm chứa đến năm 2030 của RIBA [14]. Điều này biến kết quả kiểm kê từ một báo cáo tuân thủ đơn thuần trở thành công cụ hoạch định kế hoạch giảm phát thải và thi công xanh.

4.4. Hạn chế của nghiên cứu và hướng hoàn thiện mô hình

Mặc dù bước đầu cho thấy tính khả thi, mô hình đề xuất vẫn tồn tại một số hạn chế cần tiếp tục hoàn thiện:

- Độ tin cậy của kết quả kiểm kê cuối cùng vẫn phụ thuộc chặt chẽ vào chất lượng và tính trung thực của dữ liệu đầu vào, mà đa số là do các nhà thầu phụ cung cấp.

- Chỉ số cường độ phát thải hiện tại mới chỉ đại diện cho nhóm dự án trung tâm thương mại/văn phòng và khu dân cư. Các nghiên cứu tiếp theo cần mở rộng xây dựng bộ dữ liệu tham chiếu (benchmark) cho loại hình khác như nhà xưởng công nghiệp và hạ tầng.

- Để tiến tới quản lý phát thải theo thời gian thực (real-time), mô hình cần được phát triển theo hướng kết nối và kết xuất dữ liệu tự động từ các hệ thống BIM (building information modeling), phần mềm ERP (enterprise resource planning), hệ thống mua sắm và nhật ký công trường điện tử.

5. Kết luận

Nghiên cứu đã giải quyết bài toán cấp bách về quản trị phát thải carbon trong lĩnh vực xây dựng. Bằng cách tiếp cận hệ thống, nghiên cứu đã xây dựng được mô hình kiểm kê KNK dựa trên sự kết hợp chặt chẽ giữa “chuẩn hóa nội dung” và “số hóa quy trình”, thiết kế riêng cho đặc thù vận hành phân tán và di động của các công trường thuộc tổng thầu xây dựng.

Từ các kết quả nghiên cứu lý thuyết và áp dụng thực tế, bài báo rút ra ba kết luận trọng tâm như sau:

Hiệu quả của mô hình chuẩn hóa và số hóa tích hợp: Nghiên cứu đã định hình một quy trình kiểm kê tuyến tính 5 bước chặt chẽ từ hiện trường lên văn phòng tổng thầu. Việc chuẩn hóa 5 nhóm nội dung dựa trên GHG Protocol, ISO 14064-1:2018 và hệ thống pháp quy Việt Nam đã tạo ra một “ngôn ngữ chung” về dữ liệu. Sự hỗ trợ của nền tảng số với kiến trúc ma trận ba chiều (Dự án - Kỳ kiểm kê - Nguồn phát thải) đã giúp giảm các rủi ro về độ trễ, tính trùng lặp hoặc bỏ sót nguồn thải từ các nhà thầu phụ.

Giá trị thực tiễn và khả năng định chuẩn: Nghiên cứu trường hợp tại Tổng thầu Coteccons đã chứng minh tính khả thi cao của mô hình. Chỉ số cường độ phát thải dao động từ 450 đến 1.000 kg CO₂e/m² không chỉ tương thích với dải tham chiếu ngành tại khu vực Đông Nam Á, mà còn chứng minh các dự án Việt Nam có thể hướng đến mục tiêu carbon hàm chứa năm 2030 của RIBA. Chỉ số này biến kết quả kiểm kê từ một báo

cáo tuân thủ thụ động trở thành công cụ định lượng hỗ trợ tổng thầu xây dựng hoạch định chiến lược thi công xanh và cắt giảm carbon chủ động.

Hạn chế và định hướng nghiên cứu tiếp theo: Mặc dù đạt kết quả tích cực, độ tin cậy của mô hình vẫn phụ thuộc vào tính trung thực của dữ liệu chuỗi cung ứng do thầu phụ cung cấp; đồng thời bộ dữ liệu tham chiếu hiện tại mới chỉ khu trú ở nhóm công trình dân dụng và thương mại. Để tối ưu hóa, các nghiên cứu tiếp theo cần mở rộng xây dựng bộ định chuẩn cho loại hình hạ tầng và nhà xưởng công nghiệp, đồng thời phát triển các mô-đun thuật toán kết nối tự động với hệ thống BIM và phần mềm ERP doanh nghiệp nhằm tiến tới kiểm kê theo thời gian thực.

Tóm lại, mô hình kiểm kê KNK dựa trên chuẩn hóa và số hóa không chỉ là giải pháp hỗ trợ các tổng thầu tuân thủ pháp lý, mà còn là nền tảng cốt lõi để các tổng thầu xây dựng thực hiện chiến lược giảm phát thải carbon (decarbonisation), đóng góp trực tiếp vào mục tiêu Net-zero vào năm 2050 của Việt Nam.

LỜI CẢM ƠN

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, cho phép tác giả thực hiện nghiên cứu tại các dự án, công trường của Công ty. 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] Global Alliance for Buildings and Construction (2019), *2019 Global Status Report for Buildings and Construction*, 44pp.

[2] United Nations Environment Programme (2025), *Global Status Report for Buildings and Construction 2024/25*, 94pp.

[3] World Resources Institute, World Business Council for Sustainable Development (2004), *The Greenhouse Gas Protocol: A Corporate Accounting and Reporting Standard (Revised Edition)*.

[4] 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*.

[5] World Resources Institute, World Business Council for Sustainable Development (2011), *Corporate Value Chain (Scope 3) Accounting and Reporting Standard*, 1052pp.

[6] H. Yan, Q. Shen, L.C.H. Fan, Y. Wang, 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.

[7] Government of the Socialist Republic of Vietnam (2022a), *Decree No. 06/2022/ND-CP on The Reduction of Greenhouse Gas Emissions and Protection of The Ozone Layer* (in Vietnamese).

[8] Government of the Socialist Republic of Vietnam (2022b), *Vietnam NDC 2022 Update*, United Nations Framework Convention on Climate Change (in Vietnamese).

[9] 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).

[10] M.C. Dang (2024a), “Online greenhouse gas inventory model applied at Cotecons projects and construction sites”, *Cotecons Internal Document* (in Vietnamese).

[11] Dang, Mau Chien (2024), “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/QD-SHTT issued on April 4, 2025 (in Vietnamese).

[12] M. Long, V. Han, P. Leclercq, et al. (2025), “Comparative life cycle carbon emission assessment of a residential building: A case study of Cambodia”, 6th

International Conference on Building Energy and Environment (COBEE 2025), pp.112-120.

[13] D. Collings (2020), “Carbon footprint benchmarking data for buildings”, *The Structural Engineer*, **98(11)**, pp.10-13, DOI: 10.56330/SE.2020.11.04.

[14] Royal Institute of British Architects (2021), *RIBA 2030 Climate Challenge - Version 2*, 11pp.