

TÍNH TOÁN PHÁT THẢI CO₂ TƯƠNG ĐƯƠNG TRONG THI CÔNG DỰ ÁN NÂNG CẤP HỆ THỐNG ĐÊ SÔNG HỒNG, SÔNG MÃ

NGÔ THỊ NHỊP¹ - TRỊNH NGỌC TUẤN^{1*}

¹Khoa Năng lượng và Phát triển bền vững, Trường Đại học Điện lực
Faculty of Energy and Sustainable Development, Electric Power University

* Email: tuantn@epu.edu.vn

Ngày nhận bài: 12/8/2026

Ngày sửa bài: 28/8/2026

Ngày duyệt đăng bài: 14/9/2026

Tóm tắt:

Nghiên cứu nhằm tính toán lượng phát thải khí nhà kính trong giai đoạn thi công dự án cải tạo, nâng cấp hệ thống đê sông Hồng, sông Mã trên cơ sở dữ liệu về nhiên liệu diesel, điện năng và vật liệu xây dựng. Phương pháp tính toán dựa trên mối quan hệ giữa dữ liệu hoạt động và hệ số phát thải của từng nguồn. Kết quả cho thấy, tổng lượng diesel dự kiến tiêu thụ cho máy móc và phương tiện thi công khoảng 21,51 triệu lít, phát sinh khoảng 57.755 tCO₂e. Điện năng tiêu thụ ước tính khoảng 274.880 MWh, tương ứng khoảng 185.984 tCO₂e. Phát thải carbon hàm chứa từ nhựa đường, bê tông, thép và cọc bê tông khoảng 151.825 tCO₂e. Tổng phát thải của các nguồn được nghiên cứu khoảng 395.563 tCO₂e. Kết quả là cơ sở nhận diện nguồn phát thải trọng yếu và đề xuất giải pháp sử dụng hiệu quả nhiên liệu, năng lượng và vật liệu trong quá trình thi công.

Từ khóa: Khí nhà kính, CO₂e, Phát thải carbon, Công trình thủy lợi.

Calculation of CO₂-equivalent emissions during the construction of the Red River and Ma River dike system upgrading project

Abstract:

This study estimates greenhouse gas emissions during the construction phase of the project to rehabilitate and upgrade the Red River and Ma River dike systems based on data on diesel fuel consumption, electricity use, and construction materials. Emissions are calculated using activity data and the corresponding emission factors for each source. The results show that approximately 21.51 million liters of diesel are expected to be consumed by construction machinery and vehicles, generating about 57,755 tCO₂e. Electricity consumption is estimated at approximately 274,880 MWh, corresponding to around 185,984 tCO₂e. Embodied carbon emissions from asphalt, concrete, steel, and concrete piles are estimated at approximately 151,825 tCO₂e. Total emissions from the sources included in the study amount to approximately 395,563 tCO₂e. These findings provide a quantitative basis for identifying major emission sources and proposing measures to improve the efficiency of fuel, energy, and material use during construction.

Keywords: greenhouse gas, CO₂e, carbon emissions, hydraulic infrastructure

1. Đặt vấn đề

Biến đổi khí hậu đang tạo ra những thách thức ngày càng lớn đối với phát triển kinh tế - xã hội và hệ thống cơ sở hạ tầng. Tại Việt Nam, nước biển dâng, mưa cực đoan, lũ lụt và các hiện tượng thời tiết cực đoan làm gia tăng yêu cầu nâng cao năng lực phòng, chống thiên tai, đặc biệt đối với hệ thống đê điều bảo vệ khu dân cư và vùng sản xuất.

Bên cạnh những tác động trực tiếp đến hệ thống hạ tầng, sự gia tăng nồng độ khí nhà kính trong khí quyển là một trong những nguyên nhân chủ yếu làm gia tăng hiệu ứng nhà kính và thúc đẩy biến đổi khí hậu toàn cầu. Trong đó, carbon dioxide (CO_2) là khí nhà kính chủ yếu phát sinh từ quá trình đốt nhiên liệu hóa thạch và các hoạt động công nghiệp, có khả năng tồn tại lâu dài trong hệ thống khí quyển, góp phần làm gia tăng nhiệt độ trung bình toàn cầu. Methane (CH_4) có khả năng gây nóng lên toàn cầu mạnh hơn CO_2 trên cùng một đơn vị khối lượng trong khoảng thời gian 100 năm, mặc dù thời gian tồn tại trong khí quyển ngắn hơn. Sự gia tăng nồng độ CH_4 còn góp phần làm thay đổi hóa học khí quyển và gia tăng ô nhiễm ozone tầng đối lưu.

Các oxide nitơ (NO_x), chủ yếu gồm nitric oxide (NO) và nitrogen dioxide (NO_2), phát sinh từ quá trình đốt nhiên liệu ở nhiệt độ cao trong động cơ và thiết bị thi công, có thể gây ô nhiễm không khí, hình thành ozone tầng đối lưu và góp phần tạo thành các hạt bụi thứ cấp, ảnh hưởng bất lợi đến sức khỏe con người và hệ sinh thái. NO_x không phải là nhóm khí nhà kính trực tiếp chủ yếu như CO_2 và CH_4 , nhưng có ảnh hưởng gián tiếp đến cân bằng bức xạ của khí quyển thông qua các phản ứng hóa học (WHO, 2021). Đối với các dự án xây dựng hạ tầng quy mô lớn, hoạt động của máy móc, phương tiện sử dụng nhiên liệu hóa thạch và quá trình sản xuất vật liệu xây dựng có thể đồng thời phát sinh khí nhà kính và các chất gây ô nhiễm không khí. Vì vậy, việc định lượng phát thải khí nhà kính trong giai đoạn thi công không chỉ góp phần đánh giá tác động của dự án đối với biến đổi khí hậu mà còn cung cấp cơ sở khoa học để đề xuất các giải pháp sử dụng hiệu quả nhiên liệu, năng lượng và vật liệu, hướng tới phát triển hạ tầng bền vững và phát thải carbon thấp.

Việt Nam đã cam kết đạt phát thải ròng bằng “0” vào năm 2050 và từng bước hoàn thiện hệ thống chính sách, pháp luật về kiểm kê, giảm nhẹ phát thải khí nhà kính và bảo vệ môi trường. Luật Bảo vệ môi trường năm 2020 quy định các yêu cầu về bảo vệ môi trường trong hoạt động đầu tư, xây dựng và phát triển cơ sở hạ tầng (Quốc hội, 2020). Nghị định số 06/2022/NĐ-CP quy định về giảm nhẹ phát thải khí nhà kính, phát triển thị trường carbon và bảo vệ tầng ô-dôn, tạo cơ sở pháp lý cho hoạt động kiểm kê và quản lý phát thải (Chính phủ, 2022). Đồng thời, các hướng dẫn kỹ thuật về kiểm kê khí nhà kính tiếp tục được hoàn thiện nhằm phục vụ công tác quản lý và giảm phát thải (Bộ TN&MT, 2022).

Trong lĩnh vực xây dựng, phát thải khí nhà kính phát sinh từ nhiều nguồn, bao gồm việc đốt nhiên liệu của máy móc, phương tiện, tiêu thụ điện và quá trình sản xuất vật liệu xây dựng. Đối với các công trình thủy lợi quy mô lớn, lượng đất đá, bê tông, thép, nhựa đường và các vật liệu khác sử dụng trong thi công đáng kể, do đó carbon hàm chứa trong vật liệu có thể trở thành nguồn phát thải quan trọng. Theo hướng dẫn của Ủy ban Liên chính phủ về Biến đổi khí hậu (IPCC), phát thải khí nhà kính có thể được xác định dựa trên dữ liệu hoạt động và hệ số phát thải tương ứng (IPCC, 2006), (IPCC, 2019). Phương pháp này tương đối đơn giản, có tính khả thi cao và phù hợp với điều kiện dữ liệu của các dự án đầu tư xây dựng.

Dự án cải tạo, nâng cấp hệ thống đê sông Hồng, sông Mã được phê duyệt ngày 18/09/2023 và triển khai từ năm 2025 (Bộ NN&MT, 2025), nhằm nâng cao khả năng phòng, chống lũ và thích ứng với biến đổi khí hậu. Trong quá trình thi công, dự án dự kiến sử dụng lượng lớn nhiên liệu, điện năng và vật liệu xây dựng, qua đó phát sinh lượng khí nhà kính đáng kể. Việc định lượng phát thải có ý nghĩa khoa học và thực tiễn,

giúp nhận diện các nguồn phát thải chính, hỗ trợ xây dựng giải pháp giảm phát thải và từng bước tích hợp tiêu chí carbon thấp vào lựa chọn công nghệ, thiết bị và vật liệu.

2. Nội dung và phương pháp nghiên cứu

2.1. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là lượng phát thải khí nhà kính phát sinh trong giai đoạn thi công dự án cải tạo, nâng cấp hệ thống đê sông Hồng, sông Mã.

Phạm vi tính toán bao gồm ba nhóm nguồn:

- Nhóm 1 - Phát thải trực tiếp: Phát thải do đốt nhiên liệu diesel trong máy móc và phương tiện thi công.
- Nhóm 2 - Phát thải gián tiếp: Phát thải liên quan đến lượng điện năng tiêu thụ của các thiết bị thi công.
- Nhóm 3 - Carbon hàm chứa: Phát thải phát sinh trong quá trình sản xuất các vật liệu xây dựng chính được sử dụng trong dự án.

Nghiên cứu chưa tính đầy đủ các nguồn phát thải khác như sản xuất máy móc, vận chuyển nguyên vật liệu ngoài phạm vi số liệu, xử lý chất thải, thay thế thiết bị và phát thải trong giai đoạn vận hành công trình. Do đó, kết quả nghiên cứu được hiểu là lượng phát thải của các nguồn nằm trong phạm vi tính toán, không phải phát thải carbon toàn vòng đời của công trình.

2.2. Nguồn số liệu

Số liệu hoạt động được kế thừa từ hồ sơ và số liệu của dự án “Quản lý tổng hợp rủi ro lũ lụt thích ứng biến đổi khí hậu” do Bộ Nông nghiệp và Môi trường quản lý (Bộ NN&MT, 2025).

Các nhóm dữ liệu được sử dụng gồm:

- Định mức tiêu hao nhiên liệu của máy móc;
- Thời gian vận hành của máy;
- Lượng điện tiêu thụ;
- Số lượng thiết bị;
- Khối lượng vật liệu xây dựng;
- Hệ số phát thải nhiên liệu;
- Hệ số phát thải điện;
- Hệ số carbon hàm chứa của vật liệu.

Định mức tiêu hao nhiên liệu của máy thi công được xác định trên cơ sở hồ sơ dự án và các quy định, định mức chuyên ngành xây dựng (Bộ Xây dựng, 2021).

2.3. Phương pháp tính toán phát thải khí nhà kính

Theo phương pháp kiểm kê của IPCC, lượng phát thải được xác định từ dữ liệu hoạt động và hệ số phát thải (IPCC, 2019):

$$E_i = AD_i \times EF_i \quad (1)$$

Trong đó:

- E_i - lượng phát thải của nguồn i ;
- AD_i - dữ liệu hoạt động của nguồn i ;
- EF_i - hệ số phát thải tương ứng.
- Tổng lượng phát thải: $E_{total} = \sum_{i=1}^n E_i$

(2)

2.4. Phương pháp tính toán phát thải khí nhà kính

Lượng nhiên liệu tiêu thụ của từng thiết bị được tính (IPCC, 2019):

$$FC_i = q_i \times t_i \quad (3)$$

Trong đó:

- FC_i : lượng nhiên liệu tiêu thụ, L;
- q_i : mức tiêu hao nhiên liệu, L/h;
- t_i : thời gian vận hành, h.

Từ lượng nhiên liệu, khối lượng nhiên liệu được xác định:

$$M = FC \times \rho \quad (4)$$

Trong đó:

- M : khối lượng nhiên liệu, kg;
- FC : lượng nhiên liệu, L;
- ρ : khối lượng riêng diesel, kg/L.

Trong nghiên cứu sử dụng: $\rho = 0,84$ kg/L

Để chuyển đổi lượng nhiên liệu thành năng lượng (IPCC, 2006):

$$E_{fuel} = M \times NCV \quad (5)$$

Trong đó:

- E_{fuel} : năng lượng tiêu thụ, TJ;
- M : khối lượng nhiên liệu, tấn;
- NCV : nhiệt trị thuần, TJ/tấn.

Phát thải CO_2 được tính (IPCC, 2019): $E_{CO_2} = E_{fuel} \times EF_{CO_2} \quad (6)$

Đối với CH_4 và N_2O (IPCC, 2019): $E_{CH_4} = E_{fuel} \times EF_{CH_4} \quad (7)$

$$E_{N_2O} = E_{fuel} \times EF_{N_2O} \quad (8)$$

Quy đổi về CO_2 tương đương (IPCC, 2021):

$$E_{CO_2e} = E_{CO_2} + E_{CH_4} \times GWP_{CH_4} + E_{N_2O} \times GWP_{N_2O} \quad (9)$$

2.5. Tính toán phát thải từ điện năng

Phát thải gián tiếp từ tiêu thụ điện được xác định theo công thức (Bộ TN&MT, 2023):

$$E_{electricity} = EC \times EF_{grid} \quad (10)$$

Trong đó:

- EC : điện năng tiêu thụ, MWh;
- EF_{grid} : hệ số phát thải của lưới điện, tCO_2/MWh .

2.6. Tính toán carbon hàm chứa trong vật liệu

Đối với vật liệu xây dựng, lượng phát thải carbon hàm chứa được xác định theo công thức (Hamond, 2008), (Jones, 2019):

$$E_m = Q_m \times EF_m \quad (11)$$

Trong đó:

- E_m : phát thải carbon của vật liệu;
- Q_m : khối lượng hoặc thể tích vật liệu;
- EF_m : hệ số phát thải của vật liệu.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Phát thải khí nhà kính từ nhiên liệu diesel sử dụng cho máy móc và phương tiện thi công

Trong quá trình thi công hệ thống đê, máy móc và phương tiện cơ giới sử dụng nhiên liệu diesel là một trong những nguồn phát thải khí nhà kính trực tiếp. Lượng nhiên liệu tiêu thụ được xác định trên cơ sở mức tiêu hao nhiên liệu của từng loại thiết bị và tổng thời gian vận hành theo hồ sơ tính toán của dự án.

Lượng diesel tiêu thụ của từng thiết bị được xác định theo phương trình (IPCC, 2019):

$$FC_i = q_i \times t_i \quad (1)$$

Trong đó, FC_i là lượng nhiên liệu diesel tiêu thụ của thiết bị i (L); q_i là mức tiêu hao nhiên liệu (L/h); t_i là thời gian vận hành của thiết bị (h).

Kết quả tính toán được trình bày tại Bảng 1.

Bảng 1. Lượng nhiên liệu diesel dự kiến sử dụng trong quá trình thi công

TT	Máy móc, thiết bị	Mức tiêu thụ (L/h)	Thời gian vận hành (h)	Lượng diesel (L)
1	Máy đào một gầu, dung tích gầu 0,8 m ³	8	15.714,64	125.717,12
2	Máy đào 1,6 m ³	20	16.345,60	326.912,00
3	Máy ủi 110 CV	23	82.819,20	1.904.841,60
4	Máy lu rung 10 tấn	13	30.834,24	400.845,12
5	Máy đầm bánh hơi 16 tấn	15	25.658,48	384.877,20
6	Máy lu rung 25 tấn	13	46.428,96	603.576,48
7	Cần trục ô tô	25	78.109,60	1.952.740,00
8	Cần trục tháp	30	16.372,72	491.181,60
9	Ô tô tưới nước 5 m ³	25	14.231,28	355.782,00
10	Máy trộn vữa	7	124.063,20	868.442,40
11	Máy bơm nước	3,2	31.659,68	101.310,98
12	Xe ô tô tự đổ	8	1.421.690,56	11.373.524,48
13	Máy trộn bê tông	8	327.273,36	2.618.186,88
	Tổng cộng			21.507.937,86

Tổng lượng diesel dự kiến tiêu thụ là:

$$FC = 21.507.937,86 \text{ L}$$

Với khối lượng riêng của diesel được sử dụng trong tính toán là 0,84 " kg/L, khối lượng nhiên liệu tương ứng:

$$M = FC \times \rho \quad (2)$$

$$M = 21.507.937,86 \times 0,84 = 18.066.667,80 \text{ kg}$$

hay:

$$M = 18.066,67 \text{ tấn}$$

Theo hướng dẫn của IPCC, năng lượng từ nhiên liệu được xác định trên cơ sở khối lượng nhiên liệu và nhiệt trị thuần (IPCC, 2006):

$$E_{fuel} = M \times NCV \quad (3)$$

Với NCV = 43,0 TJ/Gg, năng lượng tương ứng là:

$$E_{fuel} = 18,06667 \times 43,0 = 776,87 \text{ TJ}$$

Lượng CO₂ phát sinh được xác định theo:

$$E_{CO_2} = E_{fuel} \times EF_{CO_2} \quad (4)$$

Trong đó EF_{CO_2} là hệ số phát thải CO₂ của nhiên liệu diesel. Với hệ số khoảng 74.100 kgCO₂/TJ (IPCC, 2019):

$$E_{CO_2} = 776,87 \times 74.100 = 57.565.827 \text{ kgCO}_2$$

hay:

$$E_{CO_2} = 57.565,83 \text{ tCO}_2$$

Bên cạnh CO₂, quá trình đốt diesel còn phát sinh CH₄ và N₂O. Với các hệ số phát thải tương ứng là 3 kg/TJ và 0,6 kg/TJ (IPCC, 2006), lượng phát thải được xác định:

$$E_{CH_4} = 776,87 \times 3 = 2.330,60 \text{ kgCH}_4$$

$$E_{N_2O} = 776,87 \times 0,6 = 466,12 \text{ kgN}_2\text{O}$$

Quy đổi sang CO₂ tương đương theo hệ số GWP100 (IPCC, 2021):

$$E_{CO_2e} = E_{CO_2} + E_{CH_4} \times GWP_{CH_4} + E_{N_2O} \times GWP_{N_2O} \quad (5)$$

Với $GWP_{CH_4} = 28$ và $GWP_{N_2O} = 265$:

$$E_{CH_4, CO_2e} = 2.330,60 \times 28/1000 = 65,26 \text{ tCO}_2e$$

$$E_{N_2O, CO_2e} = 466,12 \times 265/1000 = 123,52 \text{ tCO}_2e$$

Do đó, tổng phát thải từ nhiên liệu diesel là:

$$E_{diesel} = 57.565,83 + 65,26 + 123,52$$

$$E_{diesel} = 57.754,61 \text{ tCO}_2e$$

Kết quả cho thấy, lượng nhiên liệu diesel sử dụng cho các phương tiện và thiết bị thi công tạo ra khoảng 57,75 nghìn tCO₂e. Trong đó, xe ô tô tự đổ tiêu thụ khoảng 11,37 triệu lít, tương đương khoảng 52,9% tổng lượng diesel. Đây là nguồn tiêu thụ nhiên liệu nổi bật trong nhóm máy móc thi công. Nguyên nhân chủ yếu là thời gian vận hành của xe rất lớn, lên tới hơn 1,42 triệu giờ theo số liệu đầu vào. Vì vậy, bên cạnh việc lựa chọn thiết bị có suất tiêu hao nhiên liệu thấp, việc tối ưu hóa cự ly vận chuyển, vị trí bãi tập kết và hạn chế thời gian phương tiện chạy không tải có thể có ý nghĩa đáng kể trong kiểm soát phát thải.

Kết quả này cũng cho thấy, việc sử dụng định mức nhiên liệu cần được kết hợp với theo dõi tiêu hao thực tế trong quá trình thi công. Khi dự án triển khai, lượng nhiên liệu thực tế có thể khác với giá trị dự toán do điều kiện địa hình, tải trọng, thời gian chờ, tình trạng kỹ thuật của thiết bị và phương án tổ chức thi công. Vì vậy, nên thiết lập hệ thống theo dõi nhiên liệu theo từng nhóm thiết bị để cập nhật kiểm kê phát thải theo điều kiện thực tế.

3.2. Phát thải khí nhà kính từ tiêu thụ điện năng

Bên cạnh phát thải trực tiếp từ nhiên liệu, quá trình thi công còn phát sinh phát thải gián tiếp do sử dụng điện. Theo phương pháp kiểm kê phát thải, lượng phát thải từ điện năng được xác định theo phương trình (Bộ TN&MT, 2022), (Bộ TN&MT, 2023):

$$E_{electricity} = EC \times EF_{grid} \quad (6)$$

Trong đó EC là lượng điện năng tiêu thụ (MWh) và EF_{grid} là hệ số phát thải của lưới điện (tCO₂/MWh). Theo số liệu tổng hợp từ các thiết bị điện trong dự án:

$$EC = 274.879.710,9 \text{ kWh}$$

hay:

$$EC = 274.879,71 \text{ MWh}$$

Sử dụng hệ số phát thải lưới điện $EF_{grid} = 0,6766 \text{ tCO}_2/\text{MWh}$ [9], lượng phát thải được xác định:

$$E_{electricity} = 274.879,71 \times 0,6766$$

$$E_{electricity} = 185.983,61 \text{ tCO}_2$$

Như vậy, phát thải gián tiếp từ tiêu thụ điện trong phạm vi số liệu nghiên cứu đạt khoảng 185,98 nghìn tCO₂, cao hơn đáng kể so với phát thải trực tiếp từ diesel. Kết quả này cần được xem xét thận trọng vì phụ thuộc trực tiếp vào giá trị điện năng đầu vào.

Để kiểm soát tính hợp lý của số liệu, lượng điện tiêu thụ nên được kiểm tra theo công suất thiết bị, số lượng thiết bị, thời gian vận hành và hệ số tải thực tế:

$$EC = P \times N \times t \times LF \quad (7)$$

Trong đó P là công suất thiết bị (kW), N là số lượng thiết bị, t là thời gian vận hành (h) và LF là hệ số tải trung bình.

Việc kiểm tra này đặc biệt quan trọng đối với kết quả nghiên cứu hiện tại, bởi điện năng đang chiếm tỷ trọng lớn trong tổng phát thải. Nếu số liệu điện năng được tính theo công suất định mức mà chưa xét đến hệ số tải hoặc thời gian vận hành thực tế, lượng phát thải có thể bị đánh giá cao hơn thực tế. Do đó, trong giai đoạn thiết kế kỹ thuật và thi công, nên sử dụng số liệu đo đếm điện năng thực tế tại công trường để cập nhật kiểm kê.

Về giải pháp giảm phát thải, có thể tập trung vào việc lựa chọn thiết bị có hiệu suất năng lượng cao, hạn chế vận hành không tải, bảo dưỡng động cơ điện, quản lý phụ tải và giảm tổn thất của hệ thống điện tạm tại công trường. Trong trường hợp điều kiện kỹ thuật cho phép, việc sử dụng nguồn điện tái tạo tại chỗ cũng có thể được xem xét nhằm giảm phát thải gián tiếp.

3.3. Phát thải carbon hàm chứa trong vật liệu xây dựng

Đối với các công trình đề điều, ngoài phát thải trong quá trình thi công, một lượng phát thải đáng kể đã phát sinh trước khi vật liệu được đưa đến công trường, đặc biệt trong quá trình sản xuất xi măng, bê tông, thép và nhựa đường. Phần phát thải này được xem xét dưới dạng carbon hàm chứa của vật liệu.

Theo phương pháp tính carbon hàm chứa, lượng phát thải của vật liệu được xác định theo (Hamond, 2008), (Jones, 2019):

$$E_m = Q_m \times EF_m \quad (8)$$

Trong đó Q_m là khối lượng hoặc thể tích vật liệu sử dụng và EF_m là hệ số phát thải tương ứng.

Kết quả tính toán được thể hiện ở Bảng 2.

Bảng 2. Phát thải carbon hàm chứa của các vật liệu xây dựng chính

TT	Vật liệu	Khối lượng/thể tích sử dụng	Hệ số phát thải	Phát thải (tCO ₂ e)
1	Nhựa đường	712.413,81 m ³	45 kg/m ³	32.058,62
2	Bê tông	319.828,02 m ³	300 kg/m ³	95.948,41
3	Thép	12.863,31 tấn	1.850 kg/tấn	23.796,12
4	Cọc bê tông	72,70 m ³	300 kg/m ³	21,81
	Tổng cộng			151.824,96

Đối với nhựa đường:

$$E_{asphalt} = 712.413,81 \times 45/1000 = 32.058,62 \text{ tCO}_2\text{e}$$

Đối với bê tông:

$$E_{concrete} = 319.828,02 \times 300/1000 = 95.948,41 \text{ tCO}_2\text{e}$$

Đối với thép:

$$E_{steel} = 12.863,31 \times 1.850/1000 = 23.796,12 \text{ tCO}_2\text{e}$$

Đối với cọc bê tông:

$$E_{pile} = 72,70 \times 300/1000 = 21,81 \text{ tCO}_2\text{e}$$

Tổng phát thải carbon hàm chứa:

$$E_{materials} = 32.058,62 + 95.948,41 + 23.796,12 + 21,81$$

$$E_{materials} = 151.824,96 \text{ tCO}_2\text{e}$$

Trong nhóm vật liệu được tính toán, bê tông tạo ra lượng phát thải lớn nhất, khoảng 95.948 tCO₂e, tương đương khoảng 63,2% phát thải của nhóm vật liệu. Thép đứng thứ hai với khoảng 23.796 tCO₂e, tiếp

theo là nhựa đường với khoảng 32.059 tCO₂e. Kết quả này cho thấy, việc lựa chọn vật liệu có vai trò quan trọng trong giảm dấu chân carbon của công trình.

Tuy nhiên, khi sử dụng các hệ số carbon hàm chứa, cần bảo đảm sự tương thích giữa đơn vị của dữ liệu hoạt động và đơn vị của hệ số phát thải, đồng thời xác định rõ ranh giới hệ thống của hệ số. Đặc biệt, đối với bê tông và nhựa đường, hệ số phát thải theo m³ phụ thuộc vào thành phần, khối lượng riêng và cấp phối vật liệu. Vì vậy, các hệ số sử dụng trong nghiên cứu nên được rà soát và cập nhật bằng dữ liệu của nhà sản xuất. Đây là cơ sở để nâng cao độ chính xác của kiểm kê carbon trong các bước thiết kế tiếp theo.

Về mặt giảm phát thải, đối với bê tông có thể nghiên cứu tối ưu hóa cấp phối, giảm hàm lượng xi măng không cần thiết và sử dụng các vật liệu bổ sung có khả năng thay thế một phần clinker nếu đáp ứng yêu cầu kỹ thuật. Đối với thép, có thể xem xét tỷ lệ vật liệu tái chế và nguồn cung ứng có cường độ phát thải thấp hơn. Các giải pháp này cần được đánh giá đồng thời với yêu cầu về độ bền, khả năng chịu lực, tuổi thọ và điều kiện khai thác của công trình đề.

3.4. Tổng hợp và phân tích cơ cấu phát thải

Tổng lượng phát thải trong phạm vi nghiên cứu được xác định bằng tổng phát thải từ nhiên liệu diesel, điện năng và vật liệu xây dựng:

$$E_{total} = E_{diesel} + E_{electricity} + E_{materials} \quad (9)$$

Thay các giá trị tính toán:

$$E_{total} = 57.754,61 + 185.983,61 + 151.824,96$$

$$E_{total} = 395.563,18 \text{ tCO}_2\text{e}$$

Cơ cấu phát thải được tổng hợp tại Bảng 3.

Bảng 3. Cơ cấu phát thải khí nhà kính trong phạm vi nghiên cứu

Nguồn phát thải	Lượng phát thải (tCO ₂ e)	Tỷ trọng (%)
Nhiên liệu diesel	57.754,61	14,60
Điện năng	185.983,61	47,02
Vật liệu xây dựng	151.824,96	38,38
Tổng cộng	395.563,18	100,00

Kết quả cho thấy, phát thải liên quan đến điện năng chiếm khoảng 47,02%, tiếp theo là carbon hàm chứa trong vật liệu xây dựng với 38,38% và nhiên liệu diesel với 14,60%. Cơ cấu này có ý nghĩa quan trọng đối với việc xác định các nhóm giải pháp giảm phát thải. Nếu chỉ tập trung vào nhiên liệu diesel, trong khi không xem xét điện năng và carbon hàm chứa của vật liệu, thì sẽ chưa phản ánh đầy đủ các nguồn phát thải trong giai đoạn thi công.

Đối với điện năng, giải pháp trọng tâm là nâng cao hiệu suất sử dụng điện và kiểm soát phụ tải. Đối với vật liệu, cần chú trọng đến carbon hàm chứa ngay từ giai đoạn thiết kế thông qua tối ưu hóa khối lượng vật liệu và lựa chọn vật liệu có cường độ phát thải thấp hơn. Đối với diesel, cần tối ưu hóa hoạt động vận chuyển và nâng cao hiệu suất sử dụng thiết bị.

Một điểm cần lưu ý là tổng phát thải 395.563,18 tCO₂e chỉ phản ánh 3 nhóm nguồn nằm trong phạm vi tính toán của nghiên cứu. Giá trị này chưa đại diện cho toàn bộ dấu chân carbon theo vòng đời công trình. Các nguồn như vận chuyển vật liệu từ nơi sản xuất đến công trường, sản xuất và vận chuyển thiết bị, xử lý chất thải xây dựng, sửa chữa duy tu và trước khi sử dụng kết quả cho kiểm kê chính thức hoặc làm cơ sở cho cơ chế tín dụng carbon phát thải trong giai đoạn vận hành chưa được lượng hóa đầy đủ.

Ngoài ra, kết quả tổng hợp phụ thuộc đáng kể vào chất lượng dữ liệu đầu vào. Đặc biệt, giá trị điện năng khoảng 274.880 MWh có ảnh hưởng lớn đến tổng phát thải. Vì vậy, trước khi sử dụng kết quả cho kiểm kê chính thức hoặc làm cơ sở cho cơ chế tín dụng carbon, cần kiểm tra lại số liệu điện năng theo công suất thực tế, thời gian vận hành và hệ số tải của từng thiết bị.

Từ góc độ quản lý carbon, nghiên cứu cho thấy kiểm kê phát thải nên được thực hiện theo nguyên tắc “đo lường - xác định nguồn trọng yếu - kiểm soát - cập nhật”. Trong quá trình thi công, dữ liệu tiêu thụ nhiên liệu và điện năng thực tế cần được thu thập định kỳ; đồng thời khối lượng vật liệu nghiệm thu cần được cập nhật để hình thành cơ sở dữ liệu phát thải theo từng hạng mục. Cách tiếp cận này sẽ giúp chuyển từ kết quả tính toán dự toán sang hệ thống kiểm kê phát thải có khả năng theo dõi và kiểm chứng trong thực tế.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã tính toán phát thải khí nhà kính trong giai đoạn thi công dự án cải tạo, nâng cấp hệ thống đê sông Hồng, sông Mã từ 3 nhóm nguồn chính: nhiên liệu diesel, điện năng và vật liệu xây dựng. Tổng lượng phát thải trong phạm vi nghiên cứu ước tính khoảng 395.563 tCO₂e, trong đó điện năng chiếm 47,02%, carbon hàm chứa trong vật liệu chiếm 38,38% và nhiên liệu diesel chiếm 14,60%.

Kết quả cho thấy, kiểm soát phát thải cần được thực hiện đồng thời thông qua nâng cao hiệu quả sử dụng điện, tối ưu hóa tiêu thụ nhiên liệu và lựa chọn vật liệu có hàm lượng carbon thấp. Đồng thời, cần tiếp tục hoàn thiện dữ liệu hoạt động và cập nhật các hệ số phát thải theo điều kiện thực tế để nâng cao độ tin cậy của kết quả kiểm kê. Kết quả nghiên cứu là cơ sở bước đầu cho việc lồng ghép mục tiêu giảm phát thải khí nhà kính vào thiết kế và tổ chức thi công các dự án nâng cấp hệ thống đê điều theo định hướng phát triển hạ tầng thích ứng với biến đổi khí hậu và carbon thấp ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO:

- Bộ Nông nghiệp và Môi trường. (2025). Dự án Quản lý tổng hợp rủi ro lũ lụt thích ứng biến đổi khí hậu - Thành phần Bộ Tài nguyên và Môi trường (ADB.10).
- Bộ Tài nguyên và Môi trường. (2022). Thông tư số 17/2022/TT-BTNMT ngày 15/11/2022 quy định kỹ thuật đo đạc, báo cáo, thẩm định giảm nhẹ phát thải khí nhà kính và kiểm kê khí nhà kính.
- Bộ Tài nguyên và Môi trường. (2024). Thông báo số: 1726/BĐKH-PTCBT ngày 3/12/2024 V/v công bố kết quả tính toán hệ số phát thải của lưới điện Việt Nam năm 2023.
- Bộ Xây dựng. (2021). Thông tư số 13/2021/TT-BXD ngày 31/8/2021 hướng dẫn phương pháp xác định các chỉ tiêu kinh tế kỹ thuật và đo bóc khối lượng công trình.
- Chính phủ. (2022). Nghị định số 06/2022/NĐ-CP ngày 07/01/2022 quy định giảm nhẹ phát thải khí nhà kính và bảo vệ tầng ô-dôn.
- Quốc hội. (2020). Luật Bảo vệ môi trường số 72/2020/QH14, ngày 17/11/2022.
- Hammond, G. P. and Jones, C. I. (2008). Embodied energy and carbon in construction materials. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Energy*, Vol. 161, No. 2, pp. 87-98.
- IPCC. (2006). 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2: Energy. Intergovernmental Panel on Climate Change, Institute for Global Environmental Strategies, Hayama, Japan.
- IPCC. (2019). 2019 Refinement to the 2006 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories, Volume 2: Energy. Intergovernmental Panel on Climate Change.
- IPCC. (2021). *Climate Change 2021: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge University Press, Cambridge.
- Jones, C. and Hammond, G. (2019). *Inventory of Carbon and Energy (ICE) Database, Version 3.0*. University of Bath, United Kingdom.
- World Health Organization (WHO). (2021). *WHO Global Air Quality Guidelines: Particulate Matter (PM_{2.5} and PM₁₀), Ozone, Nitrogen Dioxide, Sulfur Dioxide and Carbon Monoxide*.