

TÍNH TOÁN TIÊU THỤ NĂNG LƯỢNG VÀ ĐÁNH GIÁ TIỀM NĂNG SỬ DỤNG ĐIỆN MẶT TRỜI TRONG TÒA NHÀ VĂN PHÒNG TẠI VIỆT NAM

Trịnh Quốc Dũng^{a,*}, Lê Ngọc Trung^a, Phan Hải Nam^a, Phan Thị Cẩm Trang^b

^aKhoa Năng lượng Nhiệt, Trường Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội,
số 1 đường Giải Phóng, phường Bạch Mai, Hà Nội, Việt Nam

^bKhoa Cơ khí, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội, số 55 đường Giải Phóng, phường Bạch Mai, Hà Nội, Việt Nam

Nhận ngày 16/4/2026, Sửa xong 18/5/2026, Chấp nhận đăng 20/5/2026

Tóm tắt

Trong bối cảnh nhu cầu năng lượng của các tòa nhà văn phòng ngày càng gia tăng, việc đánh giá hiệu quả sử dụng năng lượng trở thành vấn đề quan trọng nhằm giảm tiêu thụ điện năng và giảm phát thải khí nhà kính. Nghiên cứu này tập trung đánh giá hiệu suất năng lượng của tòa nhà văn phòng thông qua mô phỏng năng lượng công trình theo các tiêu chuẩn xanh, đồng thời phân tích tiềm năng ứng dụng hệ thống điện mặt trời nhằm giảm phụ thuộc vào nguồn điện lưới. Mô hình năng lượng của công trình được xây dựng bằng phần mềm DesignBuilder với lõi tính toán EnergyPlus, dựa trên các dữ liệu đầu vào như đặc tính vật liệu vỏ bao che, tải sử dụng, lịch vận hành và hệ thống HVAC. Kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống điều hòa không khí và các thiết bị điện là các thành phần tiêu thụ năng lượng lớn nhất của công trình. Việc tích hợp hệ thống điện mặt trời trên mái có khả năng giảm đáng kể điện năng tiêu thụ từ lưới và lượng phát thải CO₂ trong quá trình vận hành. Kết quả nghiên cứu cung cấp cơ sở khoa học cho việc đánh giá hiệu quả năng lượng và đề xuất giải pháp tích hợp năng lượng tái tạo nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng, hướng tới phát triển bền vững trong lĩnh vực xây dựng.

Từ khóa: hiệu suất năng lượng; mô phỏng năng lượng công trình; tiêu chuẩn LOTUS; mô hình cơ sở; điện mặt trời.

ENERGY CONSUMPTION CALCULATION AND ASSESSMENT OF SOLAR ENERGY UTILIZATION POTENTIAL FOR OFFICE BUILDINGS IN VIETNAM

Abstract

In the context of the increasing energy demand of office buildings, evaluating building energy performance has become an important issue in reducing electricity consumption and greenhouse gas emissions. This study focuses on assessing the energy performance of an office building through building energy simulation based on green building standards, while also analyzing the potential application of a photovoltaic system to reduce dependence on grid electricity. The building energy model was developed using DesignBuilder with the EnergyPlus simulation engine, based on input data including envelope material properties, occupancy loads, operation schedules, and the HVAC system. The simulation results indicate that the air-conditioning system and electrical equipment are the major contributors to the building's total energy consumption. The integration of a rooftop photovoltaic system has the potential to significantly reduce grid electricity consumption and CO₂ emissions during building operation. The findings of this study provide a scientific basis for evaluating building energy performance and proposing renewable energy integration solutions to improve energy efficiency and promote sustainable development in the construction sector.

Keywords: energy efficiency; building energy simulation; LOTUS standard; baseline model; solar power.

[https://doi.org/10.31814/stce.huce2026-20\(2V\)-13](https://doi.org/10.31814/stce.huce2026-20(2V)-13) © 2026 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

1. Đặt vấn đề

Dưới tác động của quá trình đô thị hóa nhanh chóng và nhu cầu năng lượng ngày càng gia tăng, lĩnh vực xây dựng đang trở thành một trong những ngành tiêu thụ năng lượng lớn tại Việt Nam. Đặc biệt, các tòa nhà văn phòng tại các đô thị lớn có mức tiêu thụ điện năng cao do yêu cầu vận hành liên tục và đảm bảo tiện nghi môi trường trong nhà. Điện năng chủ yếu được sử dụng cho các hệ thống điều hòa không khí, chiếu sáng, thông gió, thang máy và thiết bị văn phòng. Theo thống kê, các công trình xây dựng hiện tiêu thụ khoảng 35 - 40% tổng năng lượng toàn quốc [1], trong đó hệ thống điều

*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: dung.trinhquoc@hust.edu.vn (Dũng, T. Q.)

hòa không khí chiếm khoảng 50 - 60% tổng điện năng tiêu thụ của các tòa nhà văn phòng, đặc biệt tại các khu vực khí hậu nóng ẩm như Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh. Điều này cho thấy nhu cầu nghiên cứu và tối ưu hiệu quả sử dụng năng lượng cho công trình văn phòng ngày càng cần thiết nhằm giảm chi phí vận hành, tiết kiệm năng lượng và hạn chế tác động đến môi trường.

Trong những năm gần đây, mô phỏng năng lượng công trình đã được quan tâm và ứng dụng rộng rãi tại Việt Nam nhằm hỗ trợ đánh giá hiệu quả sử dụng năng lượng và phát triển công trình xanh. Các phần mềm như OpenStudio, EnergyPlus và DesignBuilder được sử dụng để phân tích tiêu thụ năng lượng, tối ưu lớp vỏ công trình, hệ thống HVAC và đánh giá tiềm năng tích hợp năng lượng tái tạo. Nghiên cứu của Hieu [2] đã sử dụng OpenStudio kết hợp EnergyPlus để phân tích mức tiêu thụ năng lượng của công trình trường học tại Hà Nội, đồng thời đánh giá ảnh hưởng của các giải pháp thiết kế thụ động như hướng nhà, vật liệu bao che và thông gió tự nhiên đến hiệu quả năng lượng. Kết quả cho thấy việc tối ưu lớp vỏ công trình có thể làm giảm đáng kể nhu cầu làm mát và điện năng tiêu thụ. Bên cạnh đó, nghiên cứu của Tri và cs. [3] đã ứng dụng BIM kết hợp Autodesk Insight và Green Building Studio để đánh giá sơ bộ năng lượng tiêu thụ của công trình theo hướng phát triển bền vững, tập trung vào ảnh hưởng của lớp vỏ bao che, tỷ lệ cửa sổ trên tường (WWR) và hướng công trình đến cường độ sử dụng năng lượng (EUI) và chi phí vận hành.

Nhiều nghiên cứu trong và ngoài nước đều chỉ ra vai trò quan trọng của hệ thống HVAC trong tiêu thụ năng lượng của tòa nhà văn phòng. Theo nghiên cứu của Luong và cs. [4], trong điều kiện vận hành thực tế tại Việt Nam, các thiết bị điện văn phòng chiếm 26,4% tổng mức tiêu thụ năng lượng, tiếp theo là hệ thống điều hòa không khí với 25,1%. Tương tự, Ma và cs. [5] cũng cho thấy HVAC là thành phần tiêu thụ năng lượng lớn nhất trong các tòa nhà văn phòng, tiếp theo là chiếu sáng và thiết bị điện. Ngoài ra, nghiên cứu của Học và cs. [6] đã ứng dụng các mô hình học máy nhằm nâng cao độ chính xác trong dự báo tiêu thụ năng lượng công trình, góp phần hỗ trợ quản lý và tối ưu năng lượng hiệu quả hơn.

Song song với việc phân tích tiêu thụ năng lượng, các nghiên cứu về mô phỏng hiệu quả năng lượng và tích hợp năng lượng tái tạo cũng được chú trọng. Aydın và cs. [7] đã sử dụng DesignBuilder và EnergyPlus để đánh giá hiệu quả năng lượng công trình, cho thấy việc cải thiện lớp vỏ bao che và tối ưu hệ thống HVAC có thể giúp giảm từ 20 – 40% mức tiêu thụ năng lượng. Đồng thời, nghiên cứu của Habib và cs. [8] chỉ ra rằng hệ thống điện mặt trời (PV) có khả năng giảm đáng kể lượng điện tiêu thụ từ lưới và phát thải CO₂ khi kết hợp với các giải pháp tiết kiệm năng lượng khác. Tuy nhiên, phần lớn các nghiên cứu hiện nay vẫn tập trung đánh giá riêng lẻ từng yếu tố mà chưa xem xét đồng thời hiệu quả năng lượng và tiềm năng năng lượng tái tạo trong điều kiện vận hành thực tế.

Trên phạm vi toàn cầu, theo IEA, các tòa nhà chiếm khoảng 30% tổng tiêu thụ năng lượng. Tại Việt Nam, nhu cầu điện năng tiếp tục tăng mạnh trong những năm gần đây. Theo các báo cáo của EVN, sản lượng điện thương mại đã vượt mức 300 tỷ kWh, với tốc độ tăng trưởng nhu cầu điện duy trì ở mức cao trong các giai đoạn cao điểm [9]. Trước thực trạng đó, xu hướng phát triển công trình xanh và công trình hiệu quả năng lượng ngày càng được thúc đẩy thông qua các hệ thống chứng nhận như LEED, LOTUS và EDGE. Tính đến năm 2024, Việt Nam đã có hơn 559 công trình đạt chứng nhận xanh [10], tuy nhiên số lượng này vẫn còn khá khiêm tốn so với tiềm năng phát triển. Vì vậy, việc ứng dụng mô phỏng năng lượng trong thiết kế và đánh giá công trình được xem là giải pháp quan trọng nhằm tối ưu hiệu quả sử dụng năng lượng, giảm phát thải và hỗ trợ phát triển bền vững trong lĩnh vực xây dựng.

2. Cơ sở lý thuyết và hệ thống đánh giá

2.1. Cơ sở lý thuyết

Trong các tòa nhà văn phòng, mức tiêu thụ năng lượng chịu ảnh hưởng mạnh bởi các yếu tố như đặc tính lớp vỏ công trình, điều kiện khí hậu, hệ thống điều hòa không khí, chiếu sáng và tải thiết bị. Trong đó, lớp vỏ công trình đóng vai trò quan trọng trong việc kiểm soát trao đổi nhiệt giữa môi trường bên ngoài và không gian bên trong, từ đó ảnh hưởng trực tiếp đến tải lạnh và hiệu quả sử dụng năng lượng của công trình.

Tổng lượng nhiệt truyền qua bề mặt bao che được xác định theo biểu thức [11]:

$$Q = U \cdot A \cdot (T_i - T_o) \quad (1)$$

trong đó Q là lượng nhiệt truyền qua bề mặt (W); U là hệ số truyền nhiệt tổng của cấu kiện ($W/m^2.K$); A là diện tích bề mặt (m^2); T_i và T_o lần lượt là nhiệt độ không khí bên trong và bên ngoài công trình (K).

Đối với vật liệu kính, lượng nhiệt bức xạ mặt trời truyền vào không gian bên trong được đặc trưng bởi hệ số hấp thụ nhiệt mặt trời SHGC (Solar Heat Gain Coefficient). Giá trị SHGC thấp giúp hạn chế nhiệt bức xạ xâm nhập vào công trình, đặc biệt phù hợp với điều kiện khí hậu nhiệt đới nóng ẩm nhằm giảm nhu cầu làm mát.

Bên cạnh đó, hệ số truyền sáng khả kiến VLT (Visible Light Transmittance) thể hiện khả năng truyền ánh sáng tự nhiên qua kính. Việc lựa chọn giá trị VLT phù hợp góp phần tận dụng chiếu sáng tự nhiên, giảm nhu cầu sử dụng chiếu sáng nhân tạo và nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng của công trình.

Trong các nghiên cứu về hiệu suất năng lượng công trình, các phần mềm mô phỏng chuyên dụng như DesignBuilder và EnergyPlus thường được sử dụng nhằm đánh giá mức tiêu thụ năng lượng trong các kịch bản thiết kế khác nhau. Một trong những chỉ số quan trọng để đánh giá hiệu quả năng lượng công trình là cường độ sử dụng năng lượng (Energy Use Intensity – EUI), được xác định theo công thức:

$$EUI = \frac{\text{Tổng năng lượng tiêu thụ hằng năm}}{\text{Tổng diện tích sử dụng}} \quad (2)$$

trong đó tổng năng lượng tiêu thụ hằng năm (kWh/năm) bao gồm năng lượng phục vụ cho hệ thống điều hòa không khí, chiếu sáng, thông gió và các thiết bị sử dụng điện khác trong công trình; tổng diện tích sàn sử dụng (m^2) là phần diện tích sử dụng trong công trình. Chỉ số EUI ($kWh/m^2.năm$) cho phép so sánh hiệu quả năng lượng giữa các công trình hoặc giữa các phương án thiết kế khác nhau.

2.2. Hệ thống đánh giá

Tại Việt Nam, hiệu quả sử dụng năng lượng trong các công trình xây dựng được quy định trong QCVN 09:2017/BXD – Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về các công trình sử dụng năng lượng hiệu quả. Quy chuẩn này đưa ra các giới hạn về hệ số truyền nhiệt của lớp vỏ công trình, hệ số hấp thụ bức xạ mặt trời và các thông số liên quan nhằm kiểm soát mức tiêu thụ năng lượng của công trình.

Một trong những chỉ tiêu quan trọng được sử dụng để đánh giá hiệu suất nhiệt của lớp vỏ công trình là OTTV (Overall Thermal Transfer Value), thể hiện tổng lượng nhiệt truyền qua lớp vỏ bao che của tòa nhà. Theo QCVN 09:2017/BXD [12], đối với các công trình xây dựng không thuộc loại nhà ở, giá trị OTTV cần được kiểm soát nhỏ hơn $50 W/m^2$ nhằm đảm bảo hiệu quả sử dụng năng lượng.

Bên cạnh các quy chuẩn quốc gia, các hệ thống chứng nhận công trình xanh cũng được sử dụng rộng rãi để đánh giá mức độ bền vững của công trình. Tại Việt Nam, hệ thống LOTUS [13] (Leadership in Energy and Environmental Design for Vietnam) được phát triển bởi Hội đồng Công

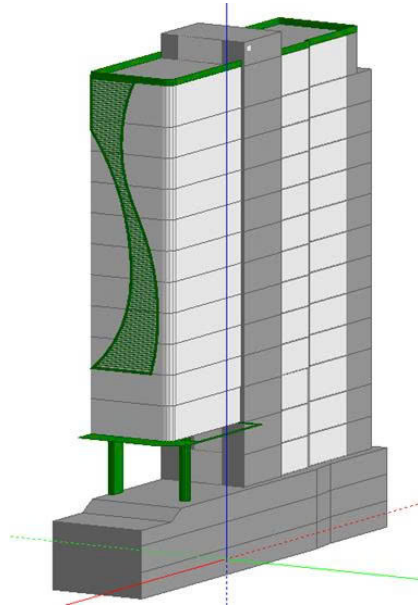
trình Xanh Việt Nam (Vietnam Green Building Council - VGBC). Hệ thống này đánh giá công trình dựa trên nhiều tiêu chí như hiệu quả năng lượng, sử dụng nước, vật liệu xây dựng, chất lượng môi trường trong nhà và sử dụng năng lượng tái tạo.

Việc kết hợp giữa mô phỏng năng lượng công trình và hệ thống đánh giá công trình xanh LOTUS cho phép đánh giá toàn diện hiệu quả năng lượng của công trình, đồng thời xác định các giải pháp thiết kế nhằm giảm tiêu thụ năng lượng và nâng cao tính bền vững trong vận hành công trình.

3. Phương pháp nghiên cứu

3.1. Phương pháp và mô hình phân tích năng lượng

Công trình nghiên cứu là một tòa nhà văn phòng tại Thành phố Hồ Chí Minh, nằm trong khu vực có khí hậu nhiệt đới gió mùa nóng ẩm, đặc trưng bởi nền nhiệt độ cao và bức xạ mặt trời lớn quanh năm. Các điều kiện khí hậu này có ảnh hưởng đáng kể đến nhu cầu làm mát và đặc điểm tiêu thụ năng lượng của công trình. Công trình gồm 13 tầng nổi, 01 tầng tum và 03 tầng hầm, với tổng diện tích sàn khoảng 6.940 m². Cụ thể, diện tích xây dựng các tầng được phân bố như sau: khối tầng hầm (1-3) khoảng 1.800 m²; tầng 1 (sảnh và văn phòng) 266 m²; tầng 2 (văn phòng) 266 m²; tầng 3 (văn phòng) 413 m²; tầng 4 (văn phòng) 418 m²; khối tầng 5-12 (văn phòng) tổng cộng 3.293 m²; tầng 13 (văn phòng) 398 m²; và tầng tum (khu kỹ thuật) 83 m². Để đánh giá hiệu suất sử dụng năng lượng, nghiên cứu áp dụng phương pháp mô phỏng năng lượng công trình nhằm phân tích mức tiêu thụ năng lượng trong giai đoạn vận



Hình 1. Mô hình của khối văn phòng

hành. Hình 1 trình bày mô hình khối văn phòng được xây dựng trên phần mềm mô phỏng.

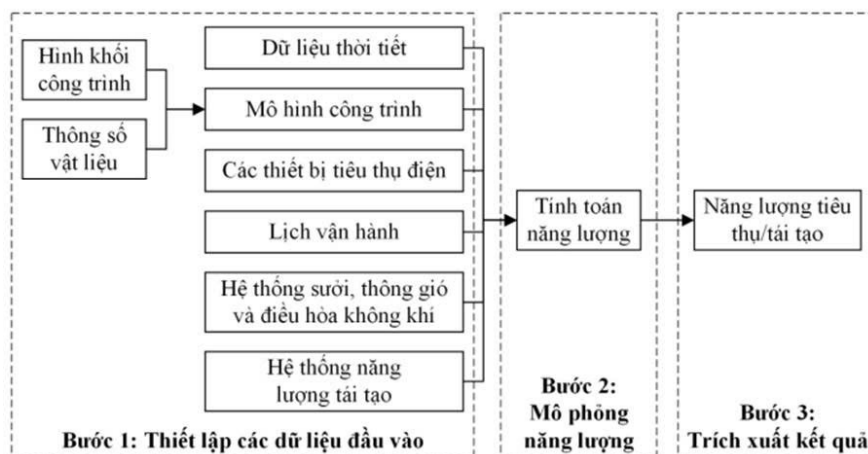
Mô hình năng lượng của công trình được xây dựng bằng phần mềm DesignBuilder, sử dụng EnergyPlus làm bộ tính toán chính. Phần mềm cho phép mô phỏng chi tiết quá trình truyền nhiệt qua lớp vỏ công trình, bức xạ mặt trời, thông gió và hoạt động của hệ thống điều hòa không khí (HVAC).

Trong quá trình mô phỏng, các dữ liệu đầu vào bao gồm hình học công trình, đặc tính vật liệu bao che, hệ thống HVAC, hệ thống chiếu sáng, thiết bị điện và lịch vận hành của tòa nhà. Dữ liệu khí hậu được tham khảo từ tài liệu [14], đại diện cho điều kiện khí hậu Thành phố Hồ Chí Minh.

Sau khi hoàn thiện mô hình, phần mềm tiến hành mô phỏng mức tiêu thụ năng lượng của công trình trong chu kỳ vận hành một năm. Kết quả mô phỏng được sử dụng để phân tích các thành phần tiêu thụ năng lượng chính như hệ thống làm mát, chiếu sáng và thiết bị điện. Trên cơ sở đó, nghiên cứu đánh giá tỷ trọng tiêu thụ của từng hạng mục nhằm xác định các hệ thống có mức tiêu thụ lớn và tiềm năng tiết kiệm năng lượng. Các kết quả này là cơ sở để đề xuất giải pháp tối ưu vận hành, nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng và định hướng tích hợp năng lượng tái tạo cho công trình. Hình 2 trình bày quy trình thực hiện mô phỏng năng lượng của nghiên cứu.

a. Vật liệu của công trình

Vật liệu sử dụng trong công trình đóng vai trò quan trọng trong việc quyết định hiệu suất năng lượng và mức độ bền vững tổng thể. Trong nghiên cứu này, vật liệu của công trình được lấy trên hồ sơ thiết kế được cung cấp thể hiện trong Bảng 1.



Hình 2. Quy trình mô phỏng năng lượng

Bảng 1. Vật liệu công trình lấy từ hồ sơ

Kết cấu cửa bề mặt ngoài		Kết cấu bên trong			Vật liệu kính
Tường ngoài	Mái	Tường ngăn các không gian	Sàn	Nền	
Tường gạch không khí chưng áp 220 mm	Mái vớ cách nhiệt bằng xốp	Gạch đất sét nung xây vữa nặng 110 mm	Sàn bê tông	Nền bê tông	Kính hộp 2 lớp Low-E phủ phản quang màu vàng có khí Argon cách nhiệt

Các thông số nhiệt của các lớp vật liệu trong mô hình được tham khảo từ các tiêu chuẩn hiện hành, bao gồm QCVN 09:2017/BXD [12] và TCVN 9258:2012 [15]. Các tiêu chuẩn này cung cấp các giá trị đặc trưng như hệ số dẫn nhiệt, nhiệt dung riêng, khối lượng riêng và hệ số truyền nhiệt tổng, làm cơ sở để thiết lập các lớp cấu tạo bao che công trình trong mô phỏng năng lượng. Dựa trên các thông số này, các lớp vật liệu được khai báo và hiệu chỉnh trong phần mềm mô phỏng nhằm đảm bảo phản ánh đúng đặc tính truyền nhiệt của kết cấu thực tế.

b. Tải của công trình

Trong nghiên cứu này, các thông số tải được thiết lập dựa trên đặc điểm sử dụng của công trình văn phòng, bao gồm mật độ người (Bảng 2), tải thiết bị ổ cắm (Bảng 3) và tải chiếu sáng (Bảng 4). Các thành phần tải này có ảnh hưởng trực tiếp đến nhu cầu sử dụng năng lượng, từ đó quyết định mức tiêu thụ năng lượng tổng thể của công trình.

c. Lịch vận hành

Lịch trình hoạt động của khu vực văn phòng được thiết lập chủ yếu từ 08h00 đến 18h00 vào các ngày làm việc nhằm mô phỏng đặc điểm vận hành thực tế của công trình. Trong khoảng thời gian này, mật độ người sử dụng, phụ tải thiết bị và hệ thống chiếu sáng được duy trì ở mức cao; đặc biệt giai đoạn từ 08h00 đến 17h00 có hệ số hoạt động đạt khoảng 0,95, thể hiện trạng thái làm việc gần như tối đa của văn phòng trong giờ hành chính. Sau 17h00, mức độ hoạt động giảm dần xuống khoảng 0,30 và tiếp tục giảm vào buổi tối, phản ánh tình trạng giảm tải sau giờ làm việc. Hình 3 thể hiện chi tiết lịch trình hoạt động của công trình.

Bảng 2. Tải do người được tham khảo từ TCVN 5687:2024 [16]

STT	Loại không gian	Mật độ (m ² /người)
1	Văn phòng	8
2	Sảnh	2
3	Không xác định	-
4	Bãi đỗ xe	-
5	Phòng kỹ thuật	-
6	Khu vực thang/Phòng đệm	-
7	Phòng kho	-
8	Vệ sinh	5

Bảng 3. Tải ổ cắm các thiết bị điện được tham khảo từ Guidelines Lotus [17]

Khu vực	Tải ổ cắm các thiết bị điện (W/m ²)
Văn phòng	8,1
Sảnh	2,7
Bãi gửi xe	-
Phòng kỹ thuật	9
Vệ sinh	0,3

Bảng 4. Tải chiếu sáng tham khảo từ hồ sơ khảo sát công trình

Khu vực	Loại đèn	Công suất (W)	Số lượng	Diện tích (m ²)	LPD (W/m ²)
Văn phòng	Đèn LED PANEL 600×600	36	30	176	6,14
Sảnh	Đèn LED SPOTLIGHT âm trần	8	6	18,25	2,63
Bãi gửi xe	Đèn Tuýp LED 1 bóng	18	40	350	2,33
Phòng kỹ thuật	Đèn Tuýp LED 1 bóng	18	1	4	5,42
Vệ sinh	Đèn LED SPOTLIGHT âm trần	8	7	19,6	2,63

Đối với các khung giờ ngoài giờ hành chính, cũng như vào thứ Bảy và Chủ nhật, các thiết bị điện và hệ thống chiếu sáng được giảm tải hoặc tắt, chỉ duy trì các hệ thống cần thiết phục vụ vận hành cơ bản và an ninh tòa nhà. Ngoài ra, trong mục “Summer Design Day”, công trình được giả định hoạt động ở mức tối đa nhằm phục vụ tính toán tải lạnh cực đại và lựa chọn công suất hệ thống điều hòa không khí. Việc thiết lập lịch trình vận hành như trên giúp mô hình năng lượng phản ánh sát điều kiện sử dụng thực tế, từ đó nâng cao độ chính xác của kết quả mô phỏng tiêu thụ năng lượng và tải HVAC của công trình.

d. Hệ thống HVAC

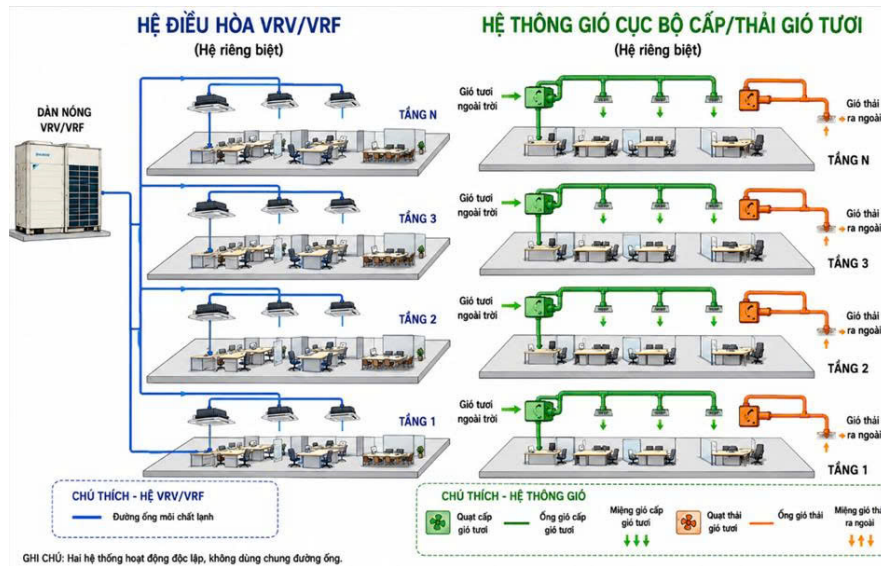
Trong mô hình cơ sở, hệ thống HVAC được cấu hình là hệ điều hòa VRV/VRF nhằm phục vụ các không gian chức năng văn phòng. Hiệu suất năng lượng của hệ thống được xác định dựa trên thông số kỹ thuật từ catalog của nhà sản xuất, với hệ số hiệu quả làm lạnh (COP) điển hình trong khoảng 3,5 - 4,5, phù hợp với các hệ VRV/VRF hiện nay. Giá trị này đại diện cho hiệu suất làm lạnh danh định của thiết bị trong điều kiện tiêu chuẩn và được sử dụng làm thông số đầu vào cho mô hình mô phỏng năng lượng công trình.

Bên cạnh đó, công trình sử dụng hệ thống thông gió cục bộ cho từng tầng nhằm cung cấp không

Loại ngày	Lịch thời gian (Tỷ lệ)	
Ngày trong tuần	Đến 06:00	0
	Đến 07:00	0,10
	Đến 08:00	0,20
	Đến 17:00	0,95
	Đến 18:00	0,30
	Đến 22:00	0,10
	Đến 24:00	0,05
Thứ Bảy	Đến 06:00	0
	Đến 08:00	0,10
	Đến 12:00	0,30
	Đến 17:00	0,10
	Đến 19:00	0,05
	Đến 24:00	0
Chủ Nhật	Đến 06:00	0
	Đến 18:00	0,05
	Đến 24:00	0
Ngày thiết kế mùa hè	Đến 08:00	0
	Đến 23:00	1,00
	Đến 24:00	0
••• Tất cả các ngày khác	Đến 24:00	0

Hình 3. Thiết lập lịch trình hoạt động của công trình trong phần mềm

khí tươi và thải khí theo từng khu vực chức năng, giúp nâng cao chất lượng không khí trong nhà, tăng tính linh hoạt vận hành và giảm tiêu thụ năng lượng so với hệ thống thông gió tập trung. Hình 4 thể hiện tổng quan hệ VRV/VRF và hệ cấp gió tươi/gió thải cục bộ.

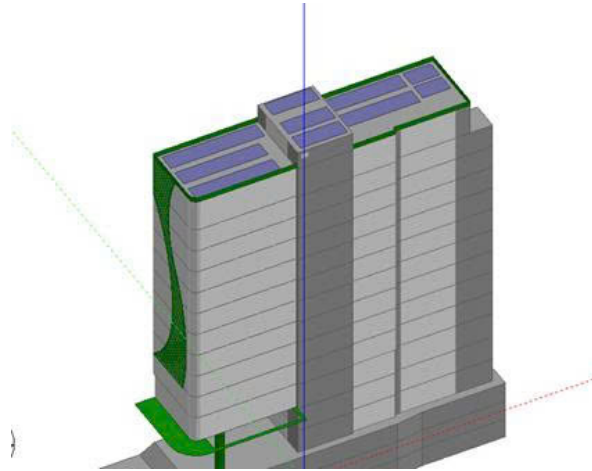


Hình 4. Hệ thống VRV/VRF và hệ cấp gió tươi/gió thải cục bộ

3.2. Phân tích tiềm năng hệ thống điện mặt trời

Sau khi xác định mức tiêu thụ năng lượng của công trình thông qua mô phỏng, nghiên cứu tiếp tục đánh giá khả năng ứng dụng hệ thống điện mặt trời nhằm giảm lượng điện năng tiêu thụ từ lưới điện và góp phần giảm phát thải khí nhà kính.

Tiềm năng phát điện của hệ thống điện mặt trời được xác định dựa trên các yếu tố như diện tích mái công trình có thể lắp đặt tấm pin mặt trời, cường độ bức xạ mặt trời trung bình tại Thành phố



Hình 6. Thiết lập tấm pin năng lượng mặt trời

Dựa trên công năng sử dụng thực tế của công trình và hiện trạng bố trí các thiết bị kỹ thuật trên mái, mô hình bố trí hệ thống điện mặt trời được xây dựng nhằm tận dụng tối đa diện tích lắp đặt khả dụng. Việc bố trí các tấm pin được thực hiện có xét đến các yếu tố như hướng và góc nghiêng tối ưu, khoảng cách giữa các dãy pin nhằm hạn chế hiện tượng che bóng, cũng như đảm bảo không ảnh hưởng đến vận hành và bảo trì các thiết bị hiện hữu trên mái.

3.3. Tính toán phát thải CO₂

Bên cạnh việc đánh giá mức tiêu thụ năng lượng của công trình, nghiên cứu còn thực hiện phân tích lượng phát thải khí nhà kính trong quá trình vận hành tòa nhà. Phát thải CO₂ được xác định dựa trên lượng điện năng tiêu thụ của công trình và hệ số phát thải của lưới điện quốc gia. Phương pháp này thường được sử dụng trong các nghiên cứu đánh giá hiệu quả năng lượng và tác động môi trường của công trình xây dựng.

Lượng phát thải CO₂ của công trình được tính toán theo công thức:

$$M_{CO_2} = E \cdot EF \quad (4)$$

trong đó M_{CO_2} là lượng phát thải khí trong quá trình vận hành công trình (kgCO₂/năm); E là tổng điện năng tiêu thụ của công trình trong một năm (kWh/năm); EF là hệ số phát thải của nguồn điện lưới (kgCO₂/kWh). Theo công văn số 1726/BĐKH-PTCBBT của Cục Biến đổi khí hậu, Bộ Tài nguyên và Môi trường, hệ số phát thải của lưới điện Việt Nam năm 2023 được công bố khoảng: $EF = 0,6592$ kgCO₂/kWh [19].

Trong quá trình vận hành, hiệu suất của các mô-đun quang điện thường suy giảm theo thời gian do ảnh hưởng của bức xạ mặt trời, nhiệt độ môi trường và sự lão hóa của vật liệu bán dẫn. Theo nghiên cứu của Jordan và Kurtz (2013) thuộc National Renewable Energy Laboratory (NREL) [20], tốc độ suy giảm hiệu suất trung bình của các hệ thống điện mặt trời trên thế giới nằm trong khoảng 0,5% - 0,8% mỗi năm. Vì vậy, trong nghiên cứu này, mức suy giảm 0,7%/năm được sử dụng để ước tính sản lượng điện trong các năm tiếp theo.

3.4. Phân tích tính kinh tế của hệ thống điện mặt trời

Trong nghiên cứu này, phương pháp phân tích dòng tiền chiết khấu giản lược (Simplified Discounted Cash Flow Analysis) được sử dụng để đánh giá hiệu quả đầu tư của hệ thống điện mặt trời. Phương pháp xét các dòng tiền cơ bản (chi phí đầu tư, chi phí vận hành, lợi ích tiết kiệm điện), đồng thời tính

đến suy giảm hiệu suất và chi phí bảo trì, nhưng không xét các yếu tố tài chính phức tạp như thuế, khấu hao hay lạm phát [21].

Hiệu quả tài chính được đánh giá thông qua chỉ số NPV (Net Present Value), phản ánh giá trị lợi nhuận ròng sau khi quy đổi các dòng tiền về hiện tại, với công thức:

$$NPV = \sum_{t=0}^n \frac{CF_t}{(1+r)^t} - I_0 \quad (5)$$

trong đó CF_t là dòng tiền tại năm thứ t (VND); r là suất chiết khấu (%); n là số năm phân tích, I_0 là giá trị đầu tư ban đầu (VND).

Các giả thiết chính được sử dụng trong phân tích bao gồm:

- Chi phí đầu tư ban đầu: 960.000.000 VND.
- Tiết kiệm điện hàng năm: 187.886.776 VND/năm.
- Thời gian phân tích: 20 năm.
- Lãi suất chiết khấu: 8%/năm.

Theo tài liệu World Bank [22], tỷ lệ chiết khấu cho các dự án năng lượng thường nằm trong khoảng 5% - 10%, trong đó 8% là mức phổ biến cho các dự án điện mặt trời. Do đó, nghiên cứu lựa chọn mức 8% để phản ánh điều kiện thị trường trung bình và đặc điểm ổn định của công nghệ PV.

4. Kết quả và thảo luận

Bảng 5 thể hiện kết quả so sánh mức tiêu thụ năng lượng của công trình trong hai kịch bản: kịch bản cơ sở và kịch bản khi tích hợp hệ thống điện mặt trời. Kết quả mô phỏng cho thấy tổng mức tiêu thụ năng lượng của tòa nhà trong kịch bản cơ sở đạt khoảng 590.714,01 kWh/năm. Khi lắp đặt hệ thống điện mặt trời trên mái công trình, lượng điện năng tiêu thụ từ lưới điện giảm xuống còn 505.468,46 kWh/năm, tương ứng với mức giảm khoảng 14,43% so với kịch bản ban đầu.

Bảng 5. Tiêu thụ năng lượng của 2 kịch bản

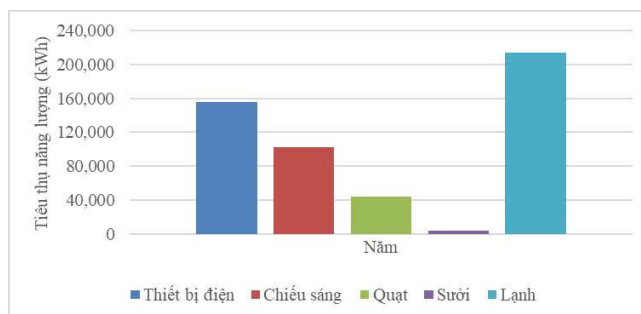
Phương án	Mức tiêu thụ (kWh/năm)	Giảm (%)
Kịch bản cơ sở	590.714,01	
Khi lắp tấm pin năng lượng mặt trời	505.468,46	14,43

Kết quả nghiên cứu cho thấy hệ thống điện mặt trời có khả năng đáp ứng một phần nhu cầu điện năng của công trình, qua đó làm giảm lượng điện năng tiêu thụ từ lưới điện quốc gia trong quá trình vận hành. Việc giảm tiêu thụ điện lưới không chỉ góp phần nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng mà còn hỗ trợ giảm phát thải khí nhà kính trong lĩnh vực xây dựng.

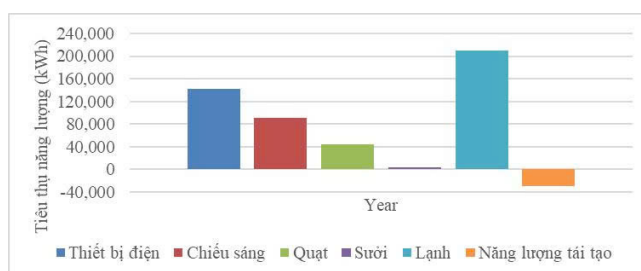
Bên cạnh đó, kết quả mô phỏng phân bố tiêu thụ năng lượng của công trình ở Hình 7 (kịch bản cơ sở) và Hình 8 (kịch bản có năng lượng mặt trời) cho thấy phần lớn điện năng tiêu thụ vẫn tập trung vào các hệ thống kỹ thuật chính, bao gồm hệ thống điều hòa không khí, chiếu sáng và các thiết bị điện trong tòa nhà. Trong đó, hệ thống điều hòa không khí HVAC chiếm tỷ trọng lớn nhất trong tổng mức tiêu thụ năng lượng, phản ánh đặc trưng vận hành của công trình trong điều kiện khí hậu nhiệt đới nóng ẩm tại khu vực nghiên cứu.

Bảng 6 trình bày kết quả tính toán lượng phát thải CO₂ của công trình trước và sau khi tích hợp hệ thống quang điện. Kết quả cho thấy, ở kịch bản cơ sở, tổng mức tiêu thụ điện năng của tòa nhà đạt khoảng 590.714,01 kWh/năm. Sau khi lắp đặt hệ thống điện mặt trời, lượng điện năng tiêu thụ từ lưới giảm xuống còn 505.468,46 kWh/năm, tương ứng với sản lượng điện do hệ thống pin mặt trời cung cấp khoảng 85.245,55 kWh/năm. Dựa trên hệ số phát thải của lưới điện Việt Nam (0,6592

kgCO₂/kWh), lượng phát thải CO₂ trong giai đoạn vận hành của công trình được ước tính giảm xuống còn khoảng 56,19 tCO₂/năm. Kết quả này cho thấy việc ứng dụng năng lượng tái tạo không chỉ góp phần giảm đáng kể mức tiêu thụ điện từ lưới mà còn mang lại hiệu quả rõ rệt trong việc cắt giảm phát thải khí nhà kính.



Hình 7. Biểu đồ tiêu thụ năng lượng trong một năm theo kịch bản cơ sở



Hình 8. Biểu đồ tiêu thụ năng lượng trong một năm sử dụng năng lượng mặt trời

Bảng 6. Giảm phát thải CO₂ trong 1 năm khi lắp thêm tấm pin năng lượng mặt trời

Thông số	Giá trị	Đơn vị
Điện năng tiêu thụ trước khi lắp hệ PV	590.714,01	kWh/năm
Điện năng tiêu thụ sau khi lắp hệ PV	505.468,46	kWh/năm
Điện năng do hệ PV tạo ra	85.245,55	kWh/năm
Hệ số phát thải	0,6592	kgCO ₂ /kWh
Lượng CO ₂ giảm	56,19	tCO ₂ /năm

Bảng 7 trình bày lượng phát thải CO₂ giảm được trong vòng 10 năm khi hệ thống điện mặt trời được đưa vào sử dụng. Kết quả cho thấy lượng điện năng sản xuất từ hệ thống điện mặt trời có xu hướng giảm nhẹ theo thời gian do suy giảm hiệu suất của tấm pin, tuy nhiên vẫn duy trì ở mức trên 80.000 kWh/năm trong suốt chu kỳ 10 năm đầu vận hành. Nhờ đó, lượng phát thải CO₂ giảm được hằng năm dao động trong khoảng 52 - 56 tCO₂/năm. Tổng lượng phát thải CO₂ giảm được sau 10 năm vận hành đạt khoảng 544,53 tCO₂.

Bảng 8 trình bày kết quả phân tích kinh tế của hệ thống điện mặt trời dựa trên phương pháp dòng tiền chiết khấu. Bảng 9 xác định các giá trị khi tính toán lắp đặt tấm pin năng lượng mặt trời. Kết quả cho thấy giá trị tiết kiệm điện hằng năm của hệ thống có xu hướng giảm nhẹ theo thời gian do ảnh hưởng của suy giảm hiệu suất tấm pin, tuy nhiên mức giảm không đáng kể và vẫn duy trì trong khoảng 180-188 triệu đồng/năm. Sau khi trừ chi phí bảo trì cố định, hệ thống vẫn tạo ra dòng tiền dương ổn định trong suốt quá trình vận hành.

Bảng 7. Giảm phát thải CO₂ trong 10 năm khi lắp thêm tấm pin năng lượng mặt trời

Năm	Điện PV (kWh/năm)	CO ₂ giảm (tCO ₂ /năm)	CO ₂ lũy kế (tCO ₂)
1	85.245,55	56,19	56,19
2	84.648,83	55,80	111,99
3	84.056,29	55,41	167,40
4	83.467,90	55,02	222,42
5	82.883,63	54,64	277,06
6	82.303,44	54,25	331,31
7	81.727,31	53,87	385,18
8	81.155,22	53,49	438,67
9	80.587,13	53,11	491,78
10	80.023,02	52,75	544,53

Bảng 8. Kết quả tính toán chi phí khi lắp thêm tấm pin năng lượng mặt trời

TT	Năm/Chỉ tiêu	0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	Đầu tư ban đầu và giá trị còn lại (triệu đồng)	-960,0								
2	Tiết kiệm hằng năm (triệu đồng)		187,9	186,9	186,0	185,1	184,2	183,2	182,3	181,4
3	Chi phí bảo trì hằng năm (triệu đồng)		9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6	9,6
4	Dòng tiền (triệu đồng)	-960,0	178,3	177,3	176,4	175,5	174,6	173,6	172,7	171,8
5	Hệ số quy đổi	1,0	0,926	0,857	0,794	0,735	0,681	0,630	0,583	0,540
6	Dòng tiền quy đổi (triệu đồng)	-960,0	165,1	151,9	140,1	129,0	118,9	109,4	100,7	92,8
7	Cộng dồn (triệu đồng)	-960,0	-794,9	-643,0	-502,9	-373,9	-255,0	-145,6	-44,9	47,9
8	NPV (triệu đồng)	47,9								
9	Thời gian hoàn vốn (năm)	7,5								

Bảng 9. Xác định giá trị tính toán chi phí lắp đặt thêm tấm pin năng lượng mặt trời

TT	Đại lượng	Công thức	Chú thích
1	Đầu tư ban đầu	I_0	I_0 : Chi phí đầu tư ban đầu
2	Tiết kiệm hằng năm	$S_t = E_t \times G_t$	S_t : Tiền tiết kiệm năm t ; E_t : Điện năng tiết kiệm; G_t : Giá điện
3	Chi phí bảo trì hằng năm	M_t	M_t : Chi phí bảo trì năm t

TT	Đại lượng	Công thức	Chú thích
4	Dòng tiền	$CF_t = S_t - M_t$	CF_t : Dòng tiền năm t
5	Hệ số quy đổi	$k_t = 1/(1+r)^t$	k_t : Hệ số quy đổi; r : Lãi suất chiết khấu; t : Năm tính toán
6	Dòng tiền quy đổi	$DCF_t = CF_t \times k_t$	DCF_t : Dòng tiền quy đổi
7	Cộng dồn	$C_t = \sum_{i=0}^t DCF_i$	C_t : Giá trị cộng dồn đến năm t
8	NPV	$NPV = \sum_{t=0}^n CF_t/(1+r)^t$	NPV: Giá trị hiện tại ròng; n : Thời gian dự án
9	Thời gian hoàn vốn	$PP = t$ khi $C_t \geq 0$	PP: Thời gian hoàn vốn

Giá trị đầu tư ban đầu của hệ thống được xác định là 960.000.000 VND. Đây là tổng chi phí đầu tư cho toàn bộ hệ thống điện mặt trời, không chỉ riêng chi phí mua tấm pin. Trong thực tế, một hệ thống điện mặt trời hoàn chỉnh bao gồm nhiều hạng mục thiết bị và chi phí triển khai khác nhau. Cụ thể, giá trị đầu tư ban đầu có thể bao gồm các khoản được trình bày trong Bảng 10.

Bảng 10. Chi phí ban đầu lắp đặt tấm pin năng lượng mặt trời

STT	Hạng mục chi phí	Nội dung chi tiết	Giá trị (VND)	Ghi chú
1	Tấm pin mặt trời	Module quang điện chuyển đổi bức xạ thành điện DC	136.500.000	~65 tấm \times 2,1 triệu
2	Inverter	Chuyển đổi điện DC sang AC cấp cho phụ tải	~180.000.000	~15–20% hệ thống
3	Hệ khung giá đỡ và kết cấu	Khung nhôm/thép, bulong, phụ kiện liên kết	~120.000.000	Phụ thuộc mái
4	Dây dẫn và phụ kiện điện	Cáp DC, AC, MC4, ống luồn, máng cáp	~70.000.000	Đảm bảo truyền tải
5	Tủ điện và thiết bị bảo vệ	MCCB, SPD, contactor, tủ điện DC/AC	~85.000.000	Bảo vệ hệ thống
6	Nhân công lắp đặt và thi công	Vận chuyển, lắp đặt, đấu nối, chạy thử	~160.000.000	Chi phí thi công
7	Thiết kế, quản lý và chi phí khác	Khảo sát, thiết kế, giám sát, dự phòng	~208.500.000	Chi phí gián tiếp

Các giá trị chi phí được sử dụng trong bài toán không chỉ mang tính giả định mà đã được hiệu chỉnh dựa trên dữ liệu thực tế, đảm bảo tính tin cậy và khả năng ứng dụng trong điều kiện triển khai thực tế tại Việt Nam. Như vậy, giá trị 960.000.000 VND trong bảng tính là tổng mức đầu tư của hệ thống điện mặt trời hoàn chỉnh, phản ánh đầy đủ chi phí triển khai thực tế chứ không chỉ riêng phần module quang điện.

Trong quá trình vận hành hệ thống điện mặt trời, ngoài chi phí đầu tư ban đầu (CAPEX), cần xem xét thêm chi phí vận hành và bảo trì (Operation & Maintenance – O&M) nhằm đảm bảo hệ thống hoạt động ổn định và duy trì hiệu suất trong suốt vòng đời khai thác. Các chi phí này bao gồm vệ sinh tấm pin định kỳ, kiểm tra hệ thống điện, bảo trì inverter và các chi phí sửa chữa nhỏ phát sinh trong quá trình vận hành.

Trong nghiên cứu này, chi phí bảo trì được giả định bằng 1% tổng chi phí đầu tư ban đầu mỗi năm. Đây là giá trị thường được sử dụng trong các nghiên cứu và dự án thực tế về hệ thống điện mặt trời, dựa trên các tài liệu hướng dẫn và báo cáo của các tổ chức quốc tế như NREL (National Renewable Energy Laboratory) và IEA. Mức 1% được lựa chọn do hệ thống điện mặt trời có ít bộ phận chuyển động, chi phí vận hành thấp và yêu cầu bảo trì không cao so với các hệ thống năng lượng khác.

Khi quy đổi các dòng tiền về thời điểm hiện tại với lãi suất chiết khấu 8%, giá trị hiện tại ròng (NPV) của dự án đạt khoảng 133,5 triệu đồng, cho thấy dự án có khả năng sinh lời. Bên cạnh đó, thời gian hoàn vốn được xác định vào khoảng 7,5 năm, phù hợp với vòng đời khai thác của hệ thống điện mặt trời. Nhìn chung, kết quả phân tích cho thấy việc đầu tư hệ thống điện mặt trời không chỉ mang lại lợi ích về mặt năng lượng mà còn đảm bảo hiệu quả kinh tế trong điều kiện giả thiết đã xét. Các khoản chi phí thành phần được tổng hợp ở Bảng 10.

5. Kết luận

Nghiên cứu đã thực hiện mô phỏng và phân tích hiệu suất năng lượng của một tòa nhà văn phòng trong điều kiện khí hậu Thành phố Hồ Chí Minh, đồng thời đánh giá tiềm năng tích hợp hệ thống điện mặt trời nhằm giảm tiêu thụ năng lượng và phát thải khí nhà kính. Kết quả cho thấy hệ thống điều hòa không khí và các thiết bị điện là những thành phần tiêu thụ năng lượng chủ yếu trong công trình, phản ánh đặc trưng vận hành của các tòa nhà văn phòng trong vùng khí hậu nhiệt đới nóng ẩm.

Việc tích hợp hệ thống điện mặt trời trên mái công trình đã góp phần giảm đáng kể lượng điện năng tiêu thụ từ lưới điện quốc gia, với mức giảm khoảng 14,43% so với kịch bản cơ sở. Đồng thời, lượng phát thải CO₂ trong quá trình vận hành cũng được cắt giảm đáng kể, với tổng lượng giảm đạt khoảng 544,53 tCO₂ sau 10 năm. Điều này cho thấy hệ thống điện mặt trời không chỉ mang lại lợi ích về mặt năng lượng mà còn có ý nghĩa tích cực đối với môi trường.

Bên cạnh đó, kết quả phân tích kinh tế cho thấy dự án có tính khả thi về mặt tài chính, với giá trị hiện tại ròng (NPV) dương và thời gian hoàn vốn khoảng 7,5 năm. Mặc dù dòng tiền có xu hướng giảm nhẹ theo thời gian do suy giảm hiệu suất của tấm pin, hệ thống vẫn đảm bảo hiệu quả đầu tư trong điều kiện giả thiết đã xét.

Tổng thể, nghiên cứu khẳng định rằng việc kết hợp mô phỏng năng lượng công trình với đánh giá tiềm năng hệ thống điện mặt trời là một hướng tiếp cận hiệu quả trong việc nâng cao hiệu suất năng lượng và giảm phát thải cho các tòa nhà văn phòng. Trong tương lai, cần tiếp tục nghiên cứu kết hợp các giải pháp tối ưu hóa hệ thống HVAC, cải thiện lớp vỏ công trình và tích hợp các nguồn năng lượng tái tạo khác nhằm nâng cao hơn nữa hiệu quả sử dụng năng lượng và hướng tới phát triển bền vững trong lĩnh vực xây dựng.

Tài liệu tham khảo

- [1] Vietnam News (2026). *Energy-efficient buildings on the rise in Viet Nam*. Vietnam News Agency. Truy cập ngày 12/04/2026.
- [2] Hieu, B. T. (2024). *Investigating the impacts of passive design solutions on building energy consumption using OpenStudio: Case study of a primary school, Hanoi, Vietnam*. *Journal of Science and Technology in Civil Engineering (JSTCE) - HUCE*, 18(4):123–131.
- [3] Ngo Ngoc Tri, Nguyen Huu Quang Minh, N. T. L. H. T. L. P. A. D. (2020). Phân tích năng lượng trong tòa nhà sử dụng mô hình thông tin công trình hướng đến sự bền vững. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng*, 18(9):1–6.

- [4] Luong, N. D., Hue, N. T., Tien, N. H., Duy, N. V., Hoa, H. X. (2025). [Assessing energy consumption and operational carbon emission: A case study of office building in Hanoi](#). *Journal of Materials and Construction*, 15(2):61–64.
- [5] Ma, J. J., Du, G., Xie, B. C., She, Z. Y., Jiao, W. (2015). [Energy consumption analysis on a typical office building: Case study of the Tiejian Tower, Tianjin](#). *Energy Procedia*, 75:2745–2750.
- [6] Học, T. Đ., Tài, L. T. (2020). [Tối ưu hóa ước tính mức tiêu thụ năng lượng trong các tòa nhà dựa trên các thuật toán trí tuệ nhân tạo](#). *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, 14(1V):35–45.
- [7] Aydin, D., Kazanasmaz, T., Arslanselcuk, S., Gökçen, G. (2020). [A case study on the impact of building envelopes on energy efficiency in high-rise residential buildings](#). *Architecture Civil Engineering Environment*, 13(1):5–18.
- [8] Habib, S., Tamoor, M., Gulzar, M. M., Ahmed, S., Algethami, A. A., Althobaiti, A. (2025). [Modeling and integration of rooftop photovoltaic systems for sustainable energy access in public sector buildings in diverse climates](#). *Scientific Reports*, 15:43578.
- [9] Việt Nam News (2026). [EVN prepares power supply plans to meet rising demand in 2025](#). Truy cập ngày 07/04/2026.
- [10] Hanoitimes (2026). [Number of green buildings in Vietnam doubles in 2024](#). Truy cập ngày 07/04/2026.
- [11] Võ, T. T. G., Phạm, T. P., Nguyễn, X. N., Hoàng, T. T. (2025). [Phân tích năng lượng trong tòa nhà văn phòng của nhà xưởng công nghiệp trong điều kiện khí hậu nhiệt đới ẩm](#). *Tạp chí Vật liệu và Xây dựng*, 15(03):17–22.
- [12] QCVN 09:2017. [Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về các công trình xây dựng sử dụng năng lượng hiệu quả](#). Bộ Xây dựng, Hà Nội, Việt Nam.
- [13] Hội đồng Công trình Xanh Việt Nam (2019). [LOTUS NC V3-2019 - LOTUS Công trình xây mới: Hướng dẫn Kỹ thuật](#). VGBC.
- [14] ASHRAE (2021). [ASHRAE Fundamentals Handbook](#). ASHRAE, Atlanta.
- [15] TCVN 9258:2012. [TCVN 9258:2012 - Chống nóng cho nhà ở: Hướng dẫn thiết kế](#). Bộ Khoa học và Công nghệ, Hà Nội, Việt Nam.
- [16] TCVN 5687:2024. [Thông gió và điều hòa không khí – yêu cầu thiết kế](#). Bộ Khoa học và Công nghệ, Hà Nội, Việt Nam.
- [17] VGBC (2026). [LOTUS Guidelines Energy Performance Calculation Method Rev D](#). Truy cập ngày 07/04/2026.
- [18] NASA POWER (2026). [NASA Prediction of Worldwide Energy Resources Data Access Viewer](#). National Aeronautics and Space Administration (NASA). Truy cập ngày 09/05/2026.
- [19] Cục Biến đổi khí hậu - Bộ Tài nguyên và Môi trường (2024). [Công bố kết quả tính toán hệ số phát thải của lưới điện Việt Nam năm 2023](#). Số: 1726/BĐKH-PTCBT.
- [20] Jordan, D. C., Kurtz, S. R. (2013). [Photovoltaic degradation rates – An analytical review](#). *Progress in Photovoltaics: Research and Applications*, 21(1):12–29.
- [21] Phạm, H. L. (2019). [Tài liệu đào tạo cán bộ quản lý năng lượng – Phần 6: Phân tích tài chính các dự án tiết kiệm năng lượng](#). Bộ Công Thương, Việt Nam.
- [22] World Bank (2026). [Guidebook for Economic and Financial Analysis of Regional Electricity Projects](#). World Bank Group. Truy cập ngày 12/04/2026.