

Tối ưu hóa hiệu suất năng lượng công trình văn phòng sử dụng kính hiệu suất cao: Solar Control và Low-E

Võ Thị Tuyết Giang^{1,2*}, Lê Anh Tuấn^{1,2}, Phạm Tấn Phát^{1,2}, Phạm Thị Thanh Tâm^{1,2}

¹ Khoa Kỹ thuật Xây dựng, Trường Đại học Bách khoa - Đại học Quốc gia Thành phố Hồ Chí Minh, 268 Đường Lý Thường Kiệt, Quận 10, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

² Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, Phường Linh Trung, Thành phố Thủ Đức, Việt Nam

TỪ KHOA

Cường độ sử dụng năng lượng
DesignBuilder
Hiệu quả năng lượng
Kính hiệu suất cao
Kính Low-E
Kính Solar Control

TÓM TẮT

Việc lựa chọn vật liệu kính có ảnh hưởng trực tiếp đến hiệu quả năng lượng của công trình, đặc biệt trong điều kiện khí hậu nhiệt đới ẩm như ở Việt Nam. Bài báo này trình bày kết quả mô phỏng năng lượng của một công trình văn phòng công nghiệp sử dụng hai loại kính hiệu suất cao: kính Solar Control Dark Grey T25 và kính Low-E Neutral T40. Nghiên cứu tập trung vào những tác động của lớp vỏ công trình đến khả năng tiết kiệm năng lượng của toà nhà, thể hiện bằng cường độ sử dụng năng lượng. Phần mềm DesignBuilder được sử dụng để mô phỏng sáu phương án với các biến số: hướng công trình, tỷ lệ cửa kính trên tường (WWR), và nhiệt độ điều hòa (air conditioning setpoint temperature). Kết quả cho thấy phương án sử dụng kính Solar Control với hướng Bắc, giá trị WWR bằng 45 % và nhiệt độ điều hòa bằng 26,5 °C sẽ có mức tiêu thụ năng lượng thấp nhất, tiết kiệm hơn 5,2 % so với mô hình gốc. Các phương án sử dụng kính Low-E cũng thể hiện hiệu quả cao, đồng thời đạt điểm tối đa theo hệ thống công trình xanh LOTUS. Nghiên cứu này chứng minh tiềm năng to lớn của kính hiệu suất cao trong giảm thiểu năng lượng vận hành và cải thiện độ bền vững của công trình.

KEYWORDS

Energy Use Intensity
DesignBuilder
Energy efficiency
High-performance Glazing
Low-E Glass
Solar Control Glass

ABSTRACT

The selection of glazing materials has a direct impact on the energy efficiency of buildings, especially in hot and humid tropical climates such as that of Vietnam. This paper presents the results of an energy simulation for an industrial office building using two types of high-performance glazing: Solar Control Dark Grey T25 and Low-E Neutral T40. The study focuses on the influence of the building envelope on energy-saving potential, represented by Energy Use Intensity (EUI). DesignBuilder software was employed to simulate six scenarios with varying parameters, including building orientation, window-to-wall ratio (WWR), and air conditioning setpoint temperature. The findings reveal that employing Solar Control glass in a north-oriented building, with a 45 % window-to-wall ratio and an air conditioning setpoint temperature of 26,5 °C, results in the most efficient energy performance, achieving more than 5,2 % savings compared to the original model. Scenarios using Low-E glass also demonstrated high performance and achieved the maximum score under the LOTUS green building rating system. This study highlights the significant potential of high-performance glazing in reducing operational energy consumption and enhancing building sustainability.

1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây, khái niệm hiệu quả năng lượng ngày càng trở thành một chủ đề trọng tâm trong các nỗ lực phát triển bền vững trên toàn cầu, đặc biệt là trong lĩnh vực xây dựng, ngành chiếm khoảng 40 % tổng mức tiêu thụ năng lượng toàn cầu [1]. Phần lớn năng lượng này được sử dụng trong giai đoạn vận hành của công trình, chủ yếu cho chiếu sáng; hệ thống điều hòa không khí (Heating, Ventilation, and Air Conditioning – HVAC) bao gồm làm mát, sưởi ấm và thông gió; các thiết bị điện và gia dụng (plug loads) như máy tính, ti vi, tủ lạnh thang máy, ... Theo báo cáo của Cơ quan Năng lượng Quốc tế (IEA), hệ thống HVAC có thể chiếm đến 40 – 60 % tổng mức tiêu thụ năng lượng trong

các tòa nhà thương mại [2], đặc biệt ở các khu vực có khí hậu nóng ẩm như Việt Nam. Chiếu sáng chiếm khoảng 15 – 20 %, trong khi thiết bị điện chiếm tỷ trọng còn lại.

Mặc dù nhận thức về tiết kiệm năng lượng và thiết kế bền vững đang dần được nâng cao, nhưng thực tế cho thấy việc thiết kế, xây dựng và vận hành nhiều công trình tại Việt Nam vẫn chưa thực sự chú trọng đến các giải pháp tiết kiệm năng lượng. Trong quá trình lựa chọn vật liệu xây dựng, vật liệu hoàn thiện hay hệ thống điều hòa không khí, các yếu tố thẩm mỹ và công năng thường được ưu tiên hơn so với yếu tố hiệu quả năng lượng. Bên cạnh đó, công tác nghiệm thu chất lượng xây dựng còn chưa được thực hiện nghiêm túc, và ở giai đoạn vận hành, đội ngũ quản lý và vận hành công trình thường thiếu kỹ năng và kiến

*Liên hệ tác giả: tuyetgiang.vo@hcmut.edu.vn

Nhận ngày 05/05/2025, sửa xong ngày 12/06/2025, chấp nhận đăng ngày 13/06/2025

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.03.2025.957>

thức chuyên môn về quản lý năng lượng [3]. Hệ quả là nhiều công trình hiện nay gặp khó khăn trong việc kiểm soát chi phí vận hành, đặc biệt là chi phí điện năng. Một số công trình thậm chí buộc phải cắt giảm hoạt động do chi phí vận hành quá cao. Tình trạng này không phải là cá biệt, mà còn phổ biến ở nhiều trung tâm thương mại, tòa nhà văn phòng, hay công trình công cộng, nơi chủ đầu tư trong giai đoạn đầu thường tập trung vào yếu tố hình thức mà bỏ qua các chiến lược thiết kế tiết kiệm năng lượng [4].

Trước bối cảnh giá điện tại các đô thị lớn như Hà Nội, TP. HCM, Đà Nẵng, Hải Phòng, Cần Thơ, ... liên tục gia tăng, thiết kế công trình tiết kiệm năng lượng không còn là một lựa chọn mà đã trở thành yêu cầu bắt buộc. Những can thiệp thiết kế hợp lý ngay từ đầu có thể giúp giảm đáng kể chi phí vận hành, cải thiện chất lượng môi trường trong nhà và nâng cao tính bền vững tổng thể. Trong số các yếu tố ảnh hưởng đến hiệu suất năng lượng công trình, hệ thống kính, đặc biệt ở các tòa nhà có mặt đứng lớn, đóng vai trò then chốt. Việc lựa chọn sai loại kính có thể dẫn đến hiện tượng hấp thụ nhiệt và bức xạ mặt trời quá mức, làm gia tăng tải lạnh cho hệ thống điều hòa không khí. Vật liệu kính vốn có khả năng truyền ánh sáng và nhiệt, nếu không được kiểm soát, sẽ khiến công trình chịu tác động mạnh từ bức xạ mặt trời, đặc biệt là các công trình có tỷ lệ kính trên tường (WWR) cao như cao ốc văn phòng, trung tâm thương mại. Ở các khu vực có khí hậu nóng ẩm, vấn đề này càng trở nên nghiêm trọng hơn, do tải lạnh gần như tồn tại quanh năm.

Trên thế giới, việc ứng dụng các loại kính hiệu suất cao như kính Low-E (Low Emissivity), kính Solar Control hay kính hộp (double glazing) đã trở thành tiêu chuẩn trong thiết kế công trình xanh. Những loại kính này thường được phủ lớp phản xạ nhiệt hoặc kim loại hóa, có hệ số truyền nhiệt U và hệ số tổng năng lượng bức xạ mặt trời truyền qua ((Solar Heat Gain Coefficient – SHGC) thấp hơn nhiều so với kính thường, giúp giảm đáng kể lượng nhiệt hấp thụ vào không gian bên trong [5]. Không chỉ giúp tiết kiệm năng lượng làm mát, kính hiệu suất cao còn cải thiện độ chói, khả năng chiếu sáng tự nhiên và tăng sự thoải mái cho người sử dụng. Mô phỏng năng lượng để đánh giá tác động của các loại kính hiệu suất cao đến hiệu quả sử dụng năng lượng của công trình được thực hiện trong nhiều nghiên cứu trước đây. Các kết quả mô phỏng cho thấy việc sử dụng kính Low-E có thể cắt giảm tới 24 % nhu cầu làm mát trong các tòa nhà văn phòng tại Singapore [6], đặc biệt khi đi kèm với các giải pháp thiết kế vỏ bao phù hợp. Ngoài ra, kính Solar Control với SHGC thấp giúp giảm đáng kể tải nhiệt và nâng cao hiệu suất năng lượng tổng thể của tòa nhà [7]. Phân tích hiệu suất của kính phủ phản xạ bằng mô hình EnergyPlus [8] cho thấy kính Low-E giúp giảm khoảng 10 – 15 % điện năng tiêu thụ cho hệ thống làm mát so với kính thông thường [9]. Những phát hiện này nhấn mạnh vai trò quan trọng của việc lựa chọn kính hiệu suất cao trong thiết kế công trình bền vững.

Tại Việt Nam, việc ứng dụng kính hiệu suất cao mới chỉ phổ biến ở một số công trình cao cấp hoặc các dự án hướng tới chứng chỉ công trình xanh như LOTUS [10], EDGE [11] hoặc LEED [12]. Tuy nhiên, hiện chưa có nhiều nghiên cứu định lượng rõ ràng về mức độ tiết kiệm

năng lượng thực tế mà các loại kính này mang lại trong điều kiện khí hậu nhiệt đới ẩm đặc trưng của Việt Nam. Khoảng trống về mặt dữ liệu này đang cản trở việc mở rộng áp dụng các giải pháp kính hiệu suất cao vào thực tế xây dựng và thiết kế công trình.

Nhằm giải quyết khoảng trống đó, nghiên cứu này tiến hành mô phỏng hiệu quả năng lượng của hai loại kính hiệu suất cao: kính Solar Control Dark Grey T25 và kính Low-E Neutral T40, ứng dụng cho một mô hình công trình văn phòng công nghiệp điển hình trong điều kiện khí hậu nhiệt đới ẩm tại miền Nam Việt Nam. Các mục tiêu cụ thể của nghiên cứu bao gồm: phân tích ảnh hưởng của các yếu tố thiết kế như hướng công trình, WWR và nhiệt độ điều hòa đến tổng mức tiêu thụ điện năng; đánh giá hiệu quả tiết kiệm năng lượng của hai loại kính hiệu suất cao; và so sánh mức độ đạt điểm theo hệ thống công trình xanh LOTUS giữa các phương án sử dụng kính. Từ đó, nghiên cứu đã đề xuất các giải pháp kính phù hợp với mô hình công trình văn phòng công nghiệp tại Việt Nam. Kết quả nghiên cứu giúp cung cấp cơ sở khoa học và thực tiễn quan trọng cho các chiến lược thiết kế công trình bền vững tại khu vực khí hậu nhiệt đới ẩm.

2. Cơ sở phân tích hiệu suất nhiệt – quang của kính hiệu suất cao

Kính là một vật liệu có tính dẫn nhiệt và truyền bức xạ cao, do đó, nếu không lựa chọn đúng loại kính, tải nhiệt tác động lên không gian bên trong sẽ gia tăng đáng kể, làm tăng mức tiêu thụ điện năng của hệ thống điều hòa không khí. Hiệu suất nhiệt và quang học của kính là một trong những yếu tố quan trọng quyết định khả năng tiết kiệm năng lượng của công trình, đặc biệt trong điều kiện khí hậu nhiệt đới ẩm tại Việt Nam. Ba thông số chính được sử dụng để đánh giá hiệu suất của kính gồm: hệ số truyền nhiệt U , hệ số tổng năng lượng bức xạ mặt trời truyền qua $SHGC$ (Solar Heat Gain Coefficient), và hệ số truyền sáng VLT (Visible Light Transmittance).

Trong nghiên cứu này, hai loại kính hiệu suất cao được lựa chọn để phân tích là Solar Control Dark Grey T25 và Low-E Neutral T40, đại diện cho hai hướng tiếp cận trong thiết kế kính hiện đại. Kính Solar Control được phủ một lớp hấp thụ và phản xạ bức xạ mặt trời, thường có màu tối để giảm lượng nhiệt mặt trời xuyên qua, từ đó làm giảm tải cho hệ thống điều hòa không khí. Trong khi đó, kính Low-E (Low Emissivity) sử dụng lớp phủ phát xạ thấp giúp phản xạ bức xạ nhiệt hồng ngoại, giữ nhiệt độ bên ngoài không xâm nhập vào trong mà vẫn duy trì khả năng truyền sáng cao, một đặc tính đặc biệt hữu ích tại các khu vực cần ánh sáng tự nhiên nhưng vẫn phải đảm bảo cách nhiệt.

Hệ số truyền nhiệt U ($W/m^2.K$) đại diện cho khả năng cách nhiệt của kính, được tính toán dựa trên tổ hợp các lớp vật liệu và diện tích bề mặt theo công thức (1) [13, 14]:

$$U = \frac{1}{R_s + \sum_{i=1}^n \frac{d_i}{\lambda_i} + R'_s} \quad (1)$$

trong đó: R_s, R'_s ($m^2.K/W$) lần lượt là điện trở nhiệt bề mặt trong và ngoài, d_i (m) và λ_i ($W/m.K$) lần lượt là chiều dày và hệ số dẫn nhiệt của từng lớp vật liệu thứ i .

Giá trị U càng thấp, khả năng ngăn cản dòng nhiệt truyền qua càng cao. Đối với kính Low-E Neutral T40, U có giá trị khoảng 1,42 W/m².K, cho thấy khả năng cản nhiệt vượt trội so với kính thường, thường có giá trị $U \geq 2.7$ W/m².K. Các loại kính Solar Control T25, với lớp phủ hấp thụ bức xạ mạnh, thường có giá trị U cao hơn (~ 3.08 W/m².K) nhưng bù lại, lại rất hiệu quả trong việc cản nhiệt mặt trời trực tiếp.

Hệ số tổng năng lượng bức xạ mặt trời truyền qua $SHGC$ (%) là tỷ lệ phần năng lượng mặt trời xuyên qua kính và góp phần làm nóng không khí bên trong tòa nhà. Xét về bản chất vật lý, $SHGC$ được tạo thành từ phần bức xạ xuyên trực tiếp và phần hấp thụ rồi tái phát xạ vào bên trong, như được thể hiện trong công thức (2) [14]:

$$SHGC = \tau_s + \frac{\alpha \cdot h_{in}}{h_{in} + h_{out}} \quad (2)$$

trong đó: τ_s (không thứ nguyên) là hệ số truyền bức xạ mặt trời trực tiếp qua kính, α (không thứ nguyên) là hệ số hấp phụ mặt trời của kính, h_{in}, h_{out} (W/m².K) lần lượt là hệ số truyền nhiệt đối lưu/phát xạ mặt trong và mặt ngoài kính.

$SHGC$ thấp giúp giảm tải lạnh trong mùa nóng. $SHGC$ của kính Low-E Neutral T40 là 28 % và của kính Solar Control T25 là 30 %, tuy chênh lệch nhỏ nhưng đóng vai trò đáng kể trong việc chọn kính phù hợp với từng hướng tiếp xúc nắng.

Hệ số truyền sáng VLT (%) cho biết lượng ánh sáng khả kiến đi qua kính và được tính bằng Công thức (3) [14]:

$$VLT = \frac{\Phi_{truyền}}{\Phi_{chiếu tới}} \quad (3)$$

trong đó: $\Phi_{truyền}$ và $\Phi_{chiếu tới}$ (lm) lần lượt là quang thông ánh sáng khả kiến truyền qua kính và chiếu tới kính.

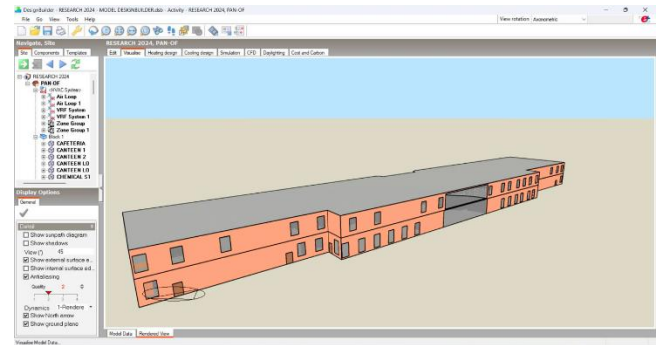
VLT đóng vai trò quan trọng trong việc tận dụng ánh sáng tự nhiên, kiểm soát thị giác trong không gian làm việc, và quyết định khả năng cung cấp ánh sáng tự nhiên, một yếu tố ngày càng được quan tâm trong thiết kế công trình xanh. Kính Low-E T40 có VLT lên đến 40,6 %, giúp giảm nhu cầu chiếu sáng nhân tạo; trong khi kính Solar Control T25 có VLT chỉ 14 %, thích hợp với công trình cần giảm độ chói hoặc hướng Tây – Nam nắng gắt.

3. Mô hình mô phỏng năng lượng

Mô hình mô phỏng năng lượng được xây dựng dựa trên một tòa nhà văn phòng tại khu vực có khí hậu nhiệt đới ẩm đặc trưng với nền nhiệt cao và bức xạ mặt trời lớn quanh năm. Hình 1 minh họa phối cảnh ba chiều của tòa nhà văn phòng được sử dụng làm mô hình tham chiếu cho các phân tích mô phỏng năng lượng trong nghiên cứu này. Tòa nhà có quy mô hai tầng, tổng diện tích sàn sử dụng là 7.328 m². Cấu tạo sàn bao gồm hai lớp sàn bê tông cốt thép (BTCT), mỗi lớp có chiều dày 180 mm. Chiều cao mỗi tầng được xác định là 4,5 m, đảm bảo không gian sử dụng thông thoáng và phù hợp với chức năng văn phòng công nghiệp. Tổng chiều cao xây dựng là 9,5 m (chiều cao thực tế là 13,5 m, bao gồm hệ kết cấu mái và hệ thống kỹ thuật phụ trợ).

Kết cấu bao che bên ngoài sử dụng tường gạch nhiều lớp nhằm tăng cường khả năng cách nhiệt và chống cháy. Đặc tính kỹ thuật của

các lớp vật liệu này được trình bày ở Bảng 1. Cụ thể, tường được thiết kế với năm lớp vật liệu: lớp giữa là vật liệu cách nhiệt sợi bông đá IL12 dày 50 mm, hai lớp gạch không nung CMU chống cháy dày 80 mm, và hai lớp vữa xi măng hoàn thiện bên trong và bên ngoài, mỗi lớp có chiều dày 15 mm. Cấu trúc này được lựa chọn nhằm tối ưu hiệu quả nhiệt của lớp vỏ công trình trong điều kiện khí hậu địa phương.



Hình 1. Mô hình 3D của tòa nhà.

Bảng 1. Đặc tính kỹ thuật của các lớp vật liệu cấu tạo tường bao ngoài.

Lớp vật liệu	Ký hiệu	Chiều dày (mm)	Tính năng chính
Lớp vữa xi măng (ngoài)	VC_Ngoai	15	Lớp hoàn thiện, bảo vệ chống ẩm
Gạch không nung CMU (lớp ngoài)	CMU_1	80	Chống cháy, độ bền cao
Bông đá cách nhiệt IL12	IL12	50	Cản nhiệt, cách âm, không cháy
Gạch không nung CMU (lớp trong)	CMU_2	80	Gia cường kết cấu, cách nhiệt bổ sung
Lớp vữa xi măng (trong)	VC_Trong	15	Hoàn thiện nội thất, bảo vệ cấu kiện

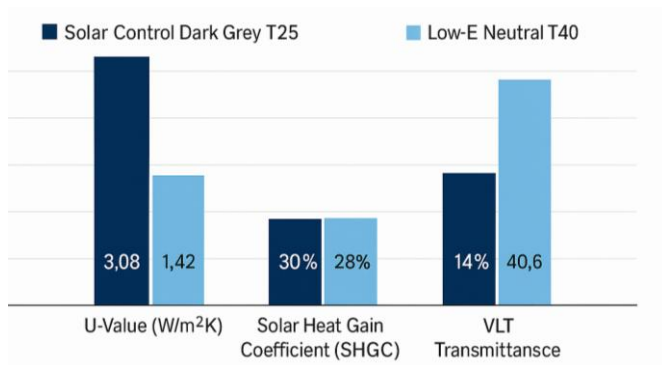
Hệ thống cửa kính bên ngoài được bố trí theo bản vẽ kiến trúc và được mô hình hóa đầy đủ trong phần mềm DesignBuilder [15]. Hai loại kính hiệu suất cao được đưa vào phân tích là Solar Control Dark Grey T25 và Low-E Neutral T40, tương ứng với hai giải pháp tiêu biểu trong thiết kế kính tiên tiến hiện nay: tập trung vào khả năng phản xạ bức xạ mặt trời (kính Solar Control Dark Grey T25) hoặc chú trọng đến tính năng cách nhiệt và truyền sáng (kính Low-E Neutral T40). Các đặc tính kỹ thuật, thông số vật lý của vật liệu kính và biểu đồ minh họa sự khác biệt giữa hai loại kính về ba thông số kỹ thuật quan trọng lần lượt được thể hiện ở Bảng 2 [16] và Hình 2.

Từ các thông số này, có thể thấy kính Solar Control và kính Low-E đều được thiết kế để cải thiện hiệu quả năng lượng, nhưng chúng có đặc điểm kỹ thuật khác nhau. Cụ thể, kính Low-E Neutral T40 có giá trị U thấp hơn (1,42 W/m².K) so với kính Solar Control Dark Grey T25 (3,08 W/m².K), cho thấy khả năng cách nhiệt vượt trội. Kính Solar Control có hệ số tổng năng lượng bức xạ mặt trời truyền qua $SHGC$ cao

hơn (30 % so với 28 %), trong khi kính Low-E lại vượt trội về khả năng truyền ánh sáng với *VLT* lên tới 40,6 % so với chỉ 14 % của Solar Control.

Bảng 2. Đặc tính kỹ thuật, thông số vật lý của vật liệu kính dùng trong mô phỏng [15].

Loại kính hiệu suất cao	Kính Solar Control Dark Grey T25	Kính Low-E Neutral T40 không màu
Hệ số truyền nhiệt <i>U</i> (W/m ² .K)	3,08	1,42
Hệ số tổng năng lượng bức xạ mặt trời truyền qua <i>SHGC</i> (%)	30	28
Hệ số truyền sáng <i>VLT</i> (%)	14	40,6
Màu sắc	Xám đậm	Không màu (trung tính)

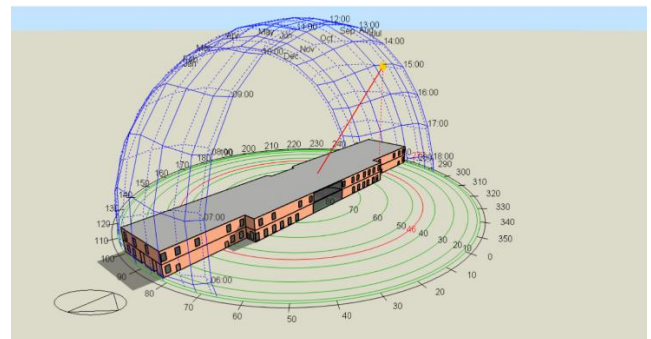


Hình 2. So sánh thông số kỹ thuật của kính Solar Control T25 và kính Low-E T40.

Mô phỏng năng lượng cho công trình được thực hiện bằng công cụ phần mềm DesignBuilder, với việc xây dựng các kịch bản biến thiên nhằm đánh giá tác động của các tham số thiết kế lên hiệu quả tiêu thụ điện năng. Các biến đầu vào được xem xét bao gồm: hướng của công trình (dao động từ 0° đến 355°), nhiệt độ điều hòa (trong khoảng 24,5 °C đến 27,5 °C), tỷ lệ diện tích cửa kính trên tường (Window-to-Wall Ratio – WWR, từ 20 % đến 50 %) và hai loại kính hiệu suất cao Solar Control Dark Grey T25 và Low-E Neutral T40, thể hiện các đặc tính khác nhau qua *U*, *SHGC*, và *VLT*. Mỗi loại kính được gán cho ba kịch bản ứng với các tổ hợp tham số khác nhau, được sắp xếp theo thứ tự giảm dần về mức tiêu thụ năng lượng điện. Có tổng cộng sáu phương án được mô phỏng; trong đó, phương án 1 đại diện cho mô hình gốc – phản ánh hiện trạng sử dụng kính phổ biến trong thực tế, năm phương án còn lại được đề xuất và lựa chọn dựa trên các tiêu chí lựa chọn vật liệu trong hệ thống công trình xanh LOTUS.

Tiến trình mô phỏng bắt đầu với việc thiết lập mô hình 3D của công trình, xác định các thông số về tọa độ địa lý, thời gian trong năm và hướng công trình. dữ liệu đầu vào được nhập bao gồm: thông số khí

hậu (weather data), đặc tính vật liệu của lớp vỏ công trình, hệ kính, cùng các thông số chiếu sáng và thông gió tự nhiên. Tiếp theo, nghiên cứu thiết lập biểu đồ đường đi mặt trời (sunpath diagram) nhằm hiển thị quỹ đạo mặt trời theo ngày và giờ, xác định các vùng có khả năng bị che bóng hoặc chịu bức xạ cao (xem Hình 3). Sau khi thiết lập xong, mô phỏng được thực hiện để đánh giá các yếu tố như lượng bức xạ mặt trời trên từng bề mặt, số giờ chiếu sáng tự nhiên, nhiệt lượng thu vào qua cửa kính, và ảnh hưởng đến tải lạnh của hệ thống HVAC. Các kết quả đầu ra bao gồm tổng mức tiêu thụ điện năng của tòa nhà, tải lạnh theo từng phương án, và các chỉ tiêu năng lượng liên quan, từ đó làm cơ sở cho việc so sánh và đề xuất giải pháp kính hiệu quả cho công trình văn phòng tại Việt Nam.



Hình 3. Biểu đồ đường đi mặt trời (sunpath diagram) trong mô hình.

4. Phân tích kết quả mô phỏng

4.1. Tổng năng lượng tiêu thụ

Bảng 3 trình bày kết quả so sánh tổng năng lượng tiêu thụ điện của các phương án thiết kế công trình, với các biến số thay đổi bao gồm hướng công trình, tỷ lệ diện tích cửa sổ trên tường (WWR) và nhiệt độ cài đặt hệ thống điều hòa không khí.

Đối với kính Solar Control (PA1 đến PA3), phương án PA3 cho thấy hiệu quả vượt trội với mức tiêu thụ điện năng thấp nhất, đạt 900.971,6 kWh, tương đương mức tiết kiệm 5,2 % so với mô hình cơ sở. Kết quả cho thấy PA3 bao gồm hướng công trình lệch Bắc 10° kết hợp với giá trị WWR là 45 % đã tận dụng hiệu quả ánh sáng tự nhiên trong khi vẫn kiểm soát được tải nhiệt mặt trời. Hai phương án còn lại (PA1 và PA2) cũng có tổng năng lượng tiêu thụ đều dưới ngưỡng 950.000 kWh, cho thấy sự ổn định về hiệu suất năng lượng khi sử dụng loại kính này.

Trong khi đó, các phương án sử dụng kính Low-E Neutral (PA4 đến PA6) cho kết quả cao hơn về mức tiêu thụ điện so với kính Solar Control, mặc dù có hệ số truyền nhiệt *U* thấp hơn. Phương án PA6 đạt hiệu quả cao nhất trong nhóm này, với tổng tiêu thụ năng lượng ở mức 918.853,6 kWh, tương ứng mức tiết kiệm khoảng 3,3 % so với mô hình cơ sở. Tuy nhiên, do hệ số tổng năng lượng bức xạ mặt trời truyền qua *SHGC* còn cao và hướng công trình chưa tối ưu, hiệu quả tổng thể của PA6 vẫn thấp hơn so với PA3. Mặc dù vậy, nhờ hệ số truyền sáng *VLT* cao, kính Low-E vẫn có lợi thế về khả năng tăng cường chiếu sáng tự nhiên.

Bảng 3. Tổng tiêu thụ năng lượng của các phương án mô phỏng.

Phương án	Loại kính hiệu suất cao	Hướng	WWR (%)	Nhiệt độ điều hòa (°C)	Năng lượng tiêu thụ (kWh)
PA1	Solar Control	350°	50	27.5	942.154,6
PA2	Solar Control	225°	25	26.5	910.587,4
PA3	Solar Control	10°	45	26.5	900.971,6
PA4	Low-E Neutral	270°	35	25.0	945.653,4
PA5	Low-E Neutral	0°	30	26.0	937.325,7
PA6	Low-E Neutral	180°	25	24.5	918.853,6

4.2. Cường độ sử dụng năng lượng

Kết quả so sánh hiệu suất tiêu thụ năng lượng giữa các phương án thiết kế được thể hiện ở Bảng 4 thông qua chỉ số cường độ sử dụng năng lượng EUI (Energy Use Intensity). Đây là một chỉ tiêu quan trọng trong đánh giá hiệu quả năng lượng của công trình, được tính toán bằng tổng năng lượng tiêu thụ hàng năm (kWh) chia cho tổng diện tích sàn xây dựng (m²). EUI càng thấp đồng nghĩa với hiệu suất sử dụng năng lượng càng cao. Trong nghiên cứu này, các phương án có diện tích sàn không đổi (7.328 m²), do đó EUI phản ánh trực tiếp mức độ cải thiện hiệu quả năng lượng của từng giải pháp thiết kế.

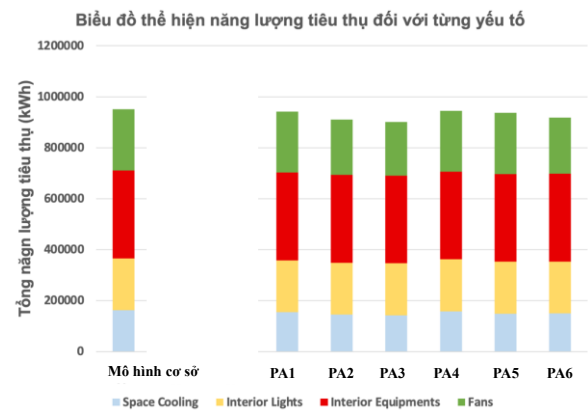
Kết quả mô phỏng cho thấy các phương án sử dụng kính hiệu suất cao đã giúp giảm đáng kể chỉ số EUI so với mô hình cơ sở (sử dụng kính hộp thông thường dày 24 mm với hệ số truyền nhiệt $U = 2,7 \text{ W/m}^2\cdot\text{K}$, hệ số tổng năng lượng bức xạ mặt trời truyền qua SHGC = 83 %, và hệ số truyền sáng VLT = 82 %). Cụ thể, phương án 3 (kính Solar Control) đạt EUI thấp nhất là 122,94 kWh/m²/năm, cho thấy hiệu quả năng lượng tương đối cao so với mặt bằng chung của các công trình tại Việt Nam. Cụ thể, theo khảo sát của Trường Đại học Bách Khoa Hà Nội phối hợp với JICA, EUI trung bình của các tòa nhà văn phòng tại Hà Nội dao động từ 150 đến 250 kWh/m²/năm [17], trong khi nghiên cứu tại TP. HCM ghi nhận mức EUI từ 180 đến 220 kWh/m²/năm đối với các cao ốc văn phòng sử dụng hệ thống điều hòa trung tâm [18]. Đối với các công trình công nghiệp, EUI có sự biến động lớn tùy thuộc vào loại hình sản xuất; nhiều nhà xưởng có mức tiêu thụ năng lượng dao động từ 100 đến 350 kWh/m²/năm theo báo cáo của Bộ Công Thương [19]. Như vậy, mức EUI đạt được của các phương án không chỉ thấp hơn so với các công trình văn phòng thông thường mà còn nằm trong khoảng hiệu quả đối với một số loại hình nhà xưởng tiết kiệm năng lượng. Điều này cho thấy tiềm năng áp dụng các giải pháp tiết kiệm năng lượng như kính Solar Control hoặc Low-E trong thực tiễn thiết kế công trình tại Việt Nam.

Bảng 4. Chỉ số cường độ sử dụng năng lượng của các phương án mô phỏng.

Phương án	Diện tích sàn (m ²)	EUI (kWh/m ² /năm)
PA3	7.328	122,94
PA6	7.328	125,37
PA cơ sở	7.328	129,74

4.3. Phân tích tài theo hệ thống

Tổng năng lượng tiêu thụ theo từng yếu tố của mô hình cơ sở và các phương án thiết kế được thể hiện trong Hình 4. Các nhóm năng lượng tiêu thụ được tính toán là: làm mát không gian (Space Cooling), chiếu sáng bên trong (Interior Lights), thiết bị sử dụng trong nhà (Interior Equipments), và quạt (Fans). Kết quả cho thấy tất cả các phương án đều giúp giảm tổng mức tiêu thụ năng lượng so với mô hình cơ sở. Trong đó, năng lượng tiêu thụ cho hệ thống làm mát không gian (màu xanh dương nhạt) giảm ở tất cả các phương án, đặc biệt rõ rệt ở các phương án kính Solar Control, cho thấy hiệu quả của các giải pháp cải thiện lớp vỏ công trình. Mặc dù mức tiêu thụ cho chiếu sáng (màu vàng) và thiết bị sử dụng trong nhà (màu đỏ) gần như không thay đổi giữa các phương án, nhưng mức giảm tổng thể vẫn đáng kể nhờ cải thiện hiệu suất điều hòa và hệ thống quạt (màu xanh lá). Điều này chứng minh rằng các giải pháp bao che phù hợp có thể tác động lớn đến hiệu quả năng lượng tổng thể mà có thể không cần thay đổi nhiều hệ thống thiết bị trong nhà.



Hình 4. Biểu đồ thể hiện năng lượng tiêu thụ đối với từng yếu tố sử dụng điện năng.

4.3. Đánh giá theo tiêu chí công trình xanh LOTUS

Bảng 5 và Bảng 6 thể hiện cơ sở đánh giá và kết quả điểm đánh giá công trình xanh về mặt năng lượng tiêu thụ theo hệ thống đánh giá công trình xanh LOTUS. Kết quả tổng hợp cho thấy sự khác biệt về điểm số đánh giá hiệu suất năng lượng của phần vỏ công trình giữa các phương án. Mô hình cơ sở đạt 4/8 điểm, phản ánh mức tuân thủ tiêu chuẩn trung bình theo QCVN 09:2017/BXD [20]. Trong khi đó, phương án 3 sử dụng kính Solar Control nổi bật với điểm số cao nhất (7/8), cho thấy hiệu quả vượt trội về tiết kiệm năng lượng nhờ tối ưu hóa hướng công trình, tỷ lệ cửa sổ và sử dụng vật liệu kính có đặc tính nhiệt tốt hơn. Đầu tư ban đầu vào các loại kính hiệu suất cao này được đánh giá là hợp lý vì mang lại nhiều lợi ích dài hạn, bao gồm: giảm chi phí vận hành hệ điều hòa không khí, cắt giảm công suất hệ thống HVAC cần thiết, đồng thời nâng cao điểm số chứng chỉ công trình xanh nếu có kết hợp việc thiết kế phù hợp hướng công trình và tỷ lệ cửa sổ.

Bảng 5. Cơ sở tính điểm hiệu suất năng lượng của phần vỏ công trình theo hệ thống đánh giá công trình xanh LOTUS (tổng điểm tối đa là 8).

Mã tiêu chí	Nội dung đánh giá	Điểm tối đa	Ghi chú
ENR 1.1	Giảm OTTV trung bình $\geq 15\%$ so với QCVN 09:2017/BXD	1	
ENR 1.2	Cộng thêm 1 điểm cho mỗi 15% OTTV giảm thêm (tối đa giảm 45%)	2	Tổng nhóm ENR1: tối đa 3 điểm
ENR 2.1	Giảm hấp thụ bức xạ mặt trời qua các bề mặt không trong suốt (dùng màu sáng, vật liệu phản xạ...)	1	
ENR 2.2 hoặc 2.3	Diện tích mặt đứng hướng Tây < 20% (ENR 2.2) hoặc < 10% (ENR 2.3)	1	Chọn mức cao nhất đạt được (không cộng dồn)
ENR 2.4 hoặc 2.5	Tỷ lệ WWR mặt đứng hướng Đông & Tây < 30% (ENR 2.4) hoặc < 15% (ENR 2.5)	2	Chọn mức cao nhất đạt được (không cộng dồn)
ENR 2.6	Trang bị kết cấu chắn nắng phù hợp cho toàn bộ cửa kính trong suốt (lam, mái đua, kính chắn nắng...)	1	

Bảng 6. Kết quả điểm đánh giá hiệu suất năng lượng của phần vỏ công trình của các phương án theo hệ thống đánh giá công trình xanh LOTUS (tổng điểm tối đa là 8).

Phương án	Điểm đánh giá trên thang điểm 8	Ghi chú
Mô hình cơ sở	4	
1	2	
2	4	
3	7	Mô hình hiệu quả nhất
4	2	
5	2	
6	4	

Như vậy, bên cạnh lợi ích kỹ thuật trong việc giảm tải nhiệt và cải thiện hiệu suất vỏ công trình, đầu tư vào kính hiệu suất cao còn góp phần làm giảm công suất thiết kế hệ thống HVAC, tối ưu chi phí vận hành và nâng cao khả năng đạt các chứng chỉ công trình xanh. Kết quả nghiên cứu có thể hỗ trợ cho việc xây dựng các hướng dẫn thiết kế công trình tiết kiệm năng lượng tại Việt Nam. Các nghiên cứu trong tương lai có thể mở rộng theo hướng phân tích vòng đời kinh tế và đánh giá định lượng các chỉ số môi trường trong điều kiện vận hành thực tế, nhằm nâng cao tính toàn diện và khả năng ứng dụng của các giải pháp thiết kế bền vững.

Lời cảm ơn

Chúng tôi xin cảm ơn Trường Đại học Bách khoa, ĐHQG-HCM đã hỗ trợ cho nghiên cứu này.

Tài liệu tham khảo

- [1]. International Energy Agency (IEA), *Energy Efficiency 2022: Analysis and Outlook to 2030*, Paris: IEA, 2022. [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://www.iea.org/reports/energy-efficiency-2022>. [Truy cập 20/03/2025].
- [2]. International Energy Agency (IEA), *Transitioning to Zero-Emission Buildings: Global Status Report 2022*, Paris: IEA, 2022.
- [3]. Nguyễn A. T., Nguyễn X. T., và L. X. Hiếu, “Định mức năng lượng công trình – Bước khởi đầu hướng đến Kiến trúc tiết kiệm năng lượng,” *Tạp chí Kiến trúc*, 2017.
- [4]. M. Najjar, K. Figueiredo, A. W. A. Hammad, and A. Haddad, “Integrated optimization with building information modeling and life cycle assessment for generating energy efficient buildings,” *Applied Energy*, vol. 250, pp. 1366–1382, Sep. 2019.
- [5]. S. Jelle et al., “Fenestration of today and tomorrow: A state-of-the-art review and future research opportunities,” *Solar Energy Materials and Solar Cells*, tập 96, tr. 1–28, 2012.
- [6]. W. N. Hien, T. Yik Fong, and Y. Bong Tai, “Impact of high-performance glazing on cooling load reduction in office buildings in tropical climates,” *Building and Environment*, vol. 42, no. 9, pp. 3682–3690, 2007.
- [7]. N. Jain và S. N. Garg, “Energy performance assessment of different fenestration glazing systems using EnergyPlus for Indian climate,”

5. Kết luận và kiến nghị

Bài báo trình bày một nghiên cứu mô phỏng hiệu suất năng lượng cho công trình văn phòng đặt tại khu công nghiệp thuộc vùng khí hậu nhiệt đới ẩm, với trọng tâm là phân tích ảnh hưởng của loại kính, hướng công trình, tỷ lệ cửa sổ WWR và nhiệt độ cài đặt điều hòa đến mức tiêu thụ điện năng và chỉ số cường độ sử dụng năng lượng EUI. Kết quả cho thấy, việc sử dụng kính hiệu suất cao như Solar Control hoặc Low-E có thể giúp giảm từ 3 – 5% tổng năng lượng tiêu thụ so với mô hình sử dụng kính thông thường, với EUI dao động trong khoảng 122,94 – 125,37 kWh/m²/năm, thấp hơn đáng kể so với số liệu trung bình đã tính toán được tại các công trình văn phòng ở Việt Nam.

Trong các phương án được phân tích, phương án sử dụng kính Solar Control, có hướng lệch Bắc 10° và giá trị WWR là 45 % đạt mức hiệu quả cao nhất cả về tổng điện năng tiêu thụ và điểm số đánh giá theo hệ thống LOTUS (7/8 điểm). Mặc dù kính Low-E có hệ số truyền nhiệt thấp hơn và khả năng truyền sáng vượt trội, hiệu quả tổng thể của các phương án này phụ thuộc nhiều vào tổ hợp tham số hướng công trình và WWR. Điều này cho thấy lựa chọn vật liệu cần được đồng thời đánh giá trong mối tương quan với các yếu tố thiết kế kiến trúc và điều kiện vận hành.

- International Journal of Sustainable Built Environment*, vol. 5, no. 2, pp. 412–423, 2016.
- [8]. U.S. Department of Energy, *EnergyPlus Engineering Reference: The Reference to EnergyPlus Calculations*, Version 23.1, 2023. [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://energyplus.net/documentation>. [Truy cập 20/03/2025].
- [9]. R. Choudhary, A. Chauhan, and S. Arora, "Energy simulation-based evaluation of high-performance glazing systems for cooling energy savings in tropical climate," *Energy and Buildings*, vol. 172, pp. 486–498, 2018.
- [10]. Vietnam Green Building Council (VGBC), "LOTUS Rating Tools," *Vietnam Green Building Council*, 2020. [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://vgbc.vn/en/lotus-rating-tools/>. [Truy cập 20/03/2025].
- [11]. International Finance Corporation (IFC), "EDGE - Excellence in Design for Greater Efficiencies," *IFC Green Building Program*, 2023. [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://edgebuildings.com/>. [Truy cập 20/03/2025].
- [12]. U.S. Green Building Council (USGBC), "LEED Rating System," *U.S. Green Building Council*, 2023. [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://www.usgbc.org/leed>. [Truy cập 20/03/2025].
- [13]. W. W. Norton and L. H. Lee, *Fundamentals of Heat and Mass Transfer*, 8th ed., Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, 2017.
- [14]. LBNL, "Window Performance Ratings: U-Factor, SHGC, VT," *Lawrence Berkeley National Laboratory - Windows and Daylighting Group*. [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://windows.lbl.gov>. [Truy cập 20/03/2025].
- [15]. DesignBuilder Software Ltd., *DesignBuilder Software v7.3 – User Manual*, Stroud, UK: DesignBuilder Software Ltd., 2025. [Trực tuyến]. Địa chỉ: https://designbuilder.co.uk/helpv7.3/Content/_Index.htm. [Truy cập 20/03/2025].
- [16]. AGC Asia Pacific, "Glass Product Data Sheet – Solar Control Dark Grey T25 and Low-E Neutral T40," AGC Asia Pacific, 2022. [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://www.agc-asiapacific.com/>. [Truy cập 20/03/2025].
- [17]. T. T. Nguyen, H. D. Le, and M. Yamada, "Energy Consumption Benchmarking for Office Buildings in Hanoi," *Proc. 2018 IEEE PES Asia-Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC)*, 2018, pp. 122–127. doi: 10.1109/APPEEC.2018.8568863.
- [18]. V. D. Tran and T. K. Pham, "Energy performance evaluation of high-rise office buildings in Ho Chi Minh City," *Vietnam Journal of Science and Technology*, vol. 57, no. 4A, pp. 56–63, 2019.
- [19]. Ministry of Industry and Trade of Vietnam, "Energy Efficiency Benchmarking Report for Industrial Sector," Hanoi, Vietnam, 2021. [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://vneec.gov.vn/>. [Truy cập 20/03/2025].
- [20]. Bộ Xây dựng, *QCVN 09:2017/BXD – Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về các công trình sử dụng năng lượng hiệu quả*, Hà Nội, Việt Nam: Nhà xuất bản Xây dựng, 2017.