

NGHIÊN CỨU ÁP DỤNG MÔ HÌNH MÔ PHÒNG THÔNG TIN (BIM) VÀ NĂNG LƯỢNG (BEM) HƯỚNG TỚI CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG TIÊU THỤ NĂNG LƯỢNG THẤP

HOÀNG ĐÌNH VIỆT¹
NGÔ BÁ TUẤN ANH²
HOÀNG MẠNH HƯNG³

Tóm tắt: Tại Việt Nam, ngành xây dựng chiếm tỷ lệ đáng kể trong tổng lượng phát thải CO₂, do đó việc xây dựng công trình theo hướng mục tiêu tiêu thụ năng lượng thấp là giải pháp quan trọng để đạt mục tiêu COP26 đến năm 2050. Những giải pháp thiết kế có tính đến tối ưu năng lượng vận hành tòa nhà sẽ là hướng đi tất yếu giúp giảm đáng kể chi phí vận hành và tăng cường tính bền vững cho môi trường. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đã giải quyết vấn đề chuyển đổi mô hình thông tin công trình (BIM) sang mô hình năng lượng (BEM), để phân tích và lựa chọn các phương án nhằm mục tiêu sử dụng năng lượng hiệu quả.

Cụ thể, nghiên cứu tập trung vào mô phỏng năng lượng của một tòa nhà trụ sở văn phòng trong giai đoạn thiết kế ban đầu. Một loạt các mô hình được xây dựng trên nền tảng thay đổi các yếu tố liên quan đến cấu tạo vật liệu bao che như tường xây và vách kính mặt đứng, độ mở của cửa sổ và các yếu tố khác. Chỉ số cường độ năng lượng (EUI) và mức độ phát thải CO₂ là cơ sở dùng để đánh giá hiệu quả tiêu thụ năng lượng của công trình. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng mô hình tối ưu hóa tích hợp cho giá trị EUI giảm 12,1% so với mô hình thiết kế ban đầu, trong đó yếu tố đóng góp tích cực nhất là thay đổi vật liệu kính có thể giúp giảm 11,21% so với mô hình gốc. Việc áp dụng mô hình được đề xuất để mô phỏng một công trình thực tế là rất quan trọng trong việc đánh giá mức sử dụng năng lượng trong một tòa nhà hiện có, từ đó đề xuất cải tạo công trình theo hướng tiết kiệm năng lượng hơn.

Từ khoá: Công trình tiêu thụ năng lượng thấp, mô hình hóa thông tin công trình (BIM), mô hình mô phỏng năng lượng (BEM), công trình xanh, "Net Zero".

Research on The Application of Building Information Modeling (BIM) and Building Energy Modeling (BEM) towards The Goal of Low-Energy Buildings

Abstract: In Vietnam, the construction sector accounts for a significant proportion of total CO₂ emissions. Therefore, constructing buildings with low energy consumption targets is a crucial solution for achieving COP26 goals by 2050. Design solutions that prioritize the optimization of building operational energy are an inevitable direction, significantly reducing operational costs and enhancing environmental sustainability. This study addresses the conversion of Building Information Modeling (BIM) to Building Energy Modeling (BEM) for analyzing and selecting options aimed at efficient energy use. Specifically, our research focuses on simulating the energy performance of an office headquarters building during its preliminary design stage. A series of models were developed by varying factors related to envelope material composition, such as masonry walls, façade glazing, window openings, and other elements. The Energy Use Intensity (EUI) index and CO₂ emission levels served as the basis for evaluating the building's energy consumption efficiency. The research results indicate that the integrated optimization model yields an EUI value 12.1% lower than the initial design model. Among the contributing factors, modifying the glazing material was the most impactful, achieving an 11.21% reduction compared to the base model. The application of the proposed model to simulate an actual building is crucial for assessing the energy usage of existing structures, thereby proposing effective building retrofits for enhanced energy savings.

Keywords: Low-energy consumption building, Building information modeling (BIM), Energy simulation models (BEM), Green buildings, "Net Zero".

1. Đặt vấn đề

Các công trình tiêu thụ năng lượng thấp thể hiện những tác động tích cực đáng kể trong việc giảm thiểu tác động môi trường thông qua nhiều cơ chế khác nhau, từ khâu thiết kế, xây dựng cho đến vận hành. Ngành công nghiệp xây dựng chiếm gần 40% mức tiêu thụ năng lượng toàn cầu và khoảng 30% lượng khí thải nhà kính, khiến cho hiệu quả năng lượng của công trình trở nên quan trọng đối với tính bền vững của môi trường [1] [2]. Bằng cách giảm thiểu nhu cầu năng lượng ngay từ đầu thông qua các giải pháp thiết kế thụ động thông minh như định hướng công trình, cách nhiệt tối ưu, hệ thống cửa sổ lấy sáng và thông gió tự nhiên, các công trình này không chỉ giảm áp lực lên các nguồn tài nguyên thiên nhiên mà còn hạn chế trực tiếp lượng khí thải carbon.

Ở Việt Nam, khi nhắc đến những nguồn phát thải khí CO₂, không thể không nhắc đến vai trò đáng kể của ngành xây dựng. Trước thực trạng này, xu hướng xây dựng các công trình đạt mức phát thải ròng bằng “0” đang trở thành một hướng đi không chỉ cần thiết, mà thực sự là chìa khóa then chốt. Đây chính là lời giải cho bài toán đưa Việt Nam đạt được mục tiêu trung hòa carbon vào năm 2050 như đã cam kết tại Hội nghị COP26 [3].

Nghị định 06/2022/NĐ-CP đã đặt ra một mục tiêu rất rõ ràng và đầy thách thức: toàn ngành xây dựng phải cắt giảm ít nhất 74,3 triệu tấn CO₂ tương đương trước khi bước vào thập kỷ mới năm 2030 [4]. Con số này không đơn thuần là một chỉ tiêu trên giấy tờ, mà nó giống như một hồi chuông cảnh tỉnh. Từ khâu lựa chọn vật liệu thân thiện, áp dụng các giải pháp thiết kế thông minh tiết kiệm năng lượng, đến việc vận hành công trình một cách hiệu quả, tất cả đều phải được tính toán kỹ lưỡng. Tiêu thụ năng lượng trong các công trình dân dụng và công nghiệp chiếm tỉ trọng lớn trong tổng tiêu thụ năng lượng quốc gia [5]. Những giải

pháp thiết kế có tính đến tối ưu năng lượng vận hành tòa nhà sẽ là hướng đi tất yếu giúp giảm đáng kể chi phí vận hành và tăng cường tính bền vững cho môi trường. Những công trình này có thể đáp ứng nhu cầu tiện nghi của người sử dụng trong khi vẫn giảm đáng kể mức tiêu thụ năng lượng và tài nguyên thiên nhiên so với các thiết kế thông thường [6].

Mô hình thông tin công trình (BIM):

Việc ứng dụng BIM trong quản lý xây dựng là một xu hướng tất yếu của ngành xây dựng hiện nay. Các công cụ BIM cho phép tạo ra các mô hình công trình ảo chính xác, hỗ trợ cho việc lập kế hoạch, thiết kế, thi công và vận hành cơ sở vật chất, đồng thời giúp các bên liên quan hình dung trước các vấn đề tiềm ẩn trong môi trường mô phỏng [7][8]. Công nghệ này mang lại những lợi ích đáng kể, bao gồm cải thiện chất lượng thiết kế, giảm chi phí và sai sót trong xây dựng, rút ngắn thời gian bàn giao dự án, nâng cao hiệu quả năng lượng và khả năng chia sẻ thông tin tốt hơn [9][10][11][12].

Các công cụ Mô hình hóa Thông tin Công trình (BIM) ngày càng được công nhận về tiềm năng trong mô phỏng và phân tích năng lượng toàn diện cho các tòa nhà trong suốt vòng đời của chúng tại Việt Nam. Nghiên cứu cho thấy hiệu quả của BIM khác nhau dựa trên quy mô dự án, kinh nghiệm của nhà thiết kế và mục đích ứng dụng, với các công cụ như Autodesk Revit và Navisworks thường được sử dụng cho các dự án quy mô nhỏ và vừa [13]. Cam kết của Chính phủ được thể hiện rõ thông qua các quyết định pháp lý 2500/QĐ-TTg và 250/QĐ-TTg, bắt buộc áp dụng BIM cho mọi dự án trước năm 2026, bắt chấp những hạn chế trong triển khai hiện tại [14] [15][16][17]. Đây chính là cơ sở để cho thấy cơ hội rộng mở cho việc sử dụng Mô hình thông tin công trình (BIM) như một đòn bẩy nhằm tạo động lực cho các nhà thiết kế thực hiện việc tính toán hiệu quả năng lượng cho công trình xây dựng.

Nhiều hướng nghiên cứu tiềm năng liên quan đến BIM đã được các nhà khoa học trên thế giới đề xuất, đặc biệt là hướng chuyển đổi từ BIM sang mô hình năng lượng công trình (BEM) nhằm giải quyết các bài toán mô phỏng năng lượng cho các công trình thực tiễn.

Tuy nhiên, các nghiên cứu về BIM và mô hình năng lượng công trình trên thế giới cũng như tại Việt Nam vẫn còn những hạn chế. Nghiên cứu chỉ ra rằng việc trao đổi thông tin giữa phần mềm tạo lập BIM và các công cụ mô phỏng năng lượng thường dẫn đến việc truyền tải dữ liệu không đầy đủ hoặc không chính xác [18][19]. Các công cụ mô phỏng năng lượng cũng rất phức tạp, đòi hỏi người sử dụng phải có kiến thức lập trình nâng cao và chuyên môn sâu để vận hành hiệu quả. Do đó, cần có những phân tích chuyên sâu hơn về BIM và mô hình năng lượng công trình ngay từ giai đoạn thiết kế ban đầu.

Mô hình năng lượng công trình (BEM):

Mô hình hóa năng lượng (Energy modeling) đại diện cho một lĩnh vực ứng dụng quan trọng, khi quá trình đô thị hóa nhanh chóng của Việt Nam làm gia tăng áp lực về tiêu thụ năng lượng trong xây dựng [5]. Hiện nay, hầu hết các dự án xây dựng đều có xu hướng mô phỏng và đánh giá mức tiêu thụ năng lượng trước khi thi công nhằm hướng tới công trình tiết kiệm năng lượng, đặc biệt là các tòa nhà cao tầng. Việc mô phỏng năng lượng ngay từ các giai đoạn thiết kế ban đầu có tác động đáng kể đến hiệu suất vận hành và chi phí của công trình. Các mô hình tối ưu hóa ở giai đoạn đầu tích hợp mô phỏng năng lượng tham số với các kỹ thuật trí tuệ nhân tạo đã cho thấy tiềm năng giảm tới 25% mức tiêu thụ năng lượng trong khi vẫn duy trì được sự thoải mái về nhiệt [20].

Mô hình năng lượng công trình (BEM) được mô phỏng dựa trên các yếu tố đầu vào từ mô hình thông tin công trình (BIM), cùng với điều kiện thời

tiết, vị trí xây dựng, tính chất nhiệt vật lý của vật liệu và hệ thống HVAC nhằm cung cấp các giá trị đánh giá năng lượng. Một mô hình BEM kết hợp các yếu tố đầu vào từ BIM với dữ liệu thời tiết địa phương và sử dụng các phương trình vật lý để tính toán tải nhiệt, phản ứng của hệ thống năng lượng với các tải đó, cũng như các chỉ số tiêu thụ năng lượng, chỉ số tiện nghi cho người sử dụng và chi phí năng lượng.

Hiện nay, ngành xây dựng đã chứng kiến sự phát triển của nhiều công cụ Mô hình hóa Năng lượng Công trình (BEM) có khả năng tích hợp và nhận dữ liệu đầu vào trực tiếp từ Mô hình Thông tin Công trình (BIM), tạo thành một quy trình làm việc liên tục nhằm thực hiện các phân tích và mô phỏng năng lượng toàn diện [21][22]. Mục tiêu cuối cùng của việc tích hợp này là hỗ trợ thiết kế và vận hành các công trình đạt hiệu quả năng lượng tối ưu, giảm thiểu tác động môi trường và tiết kiệm chi phí vận hành trong suốt vòng đời của tòa nhà.

Tuy nhiên, mỗi công cụ BEM hiện có trên thị trường, từ các nền tảng thương mại như IES-VE, DesignBuilder, đến các công cụ mã nguồn mở như OpenStudio, đều tồn tại những ưu điểm và hạn chế riêng biệt. Sự khác biệt này thể hiện qua nhiều khía cạnh, bao gồm khả năng tương thích với các định dạng tệp BIM (như IFC, gbXML), độ chính xác của các thuật toán mô phỏng, giao diện người dùng, thư viện vật liệu và thành phần xây dựng, cũng như khả năng mô phỏng các hệ thống kỹ thuật phức tạp.

Do đó, việc lựa chọn công cụ BEM phù hợp không thể áp dụng một cách máy móc mà cần được cân nhắc kỹ lưỡng dựa trên từng giai đoạn cụ thể của dự án xây dựng và nhu cầu, chuyên môn của từng nhóm thiết kế. Trong giai đoạn thiết kế ý tưởng và sơ bộ, các công cụ có tốc độ xử lý nhanh, giao diện đơn giản và khả năng đánh giá nhanh nhiều phương án là lựa chọn

tối ưu. Ngược lại, ở giai đoạn thiết kế kỹ thuật thi công chi tiết, những công cụ có khả năng mô phỏng chính xác cao, tích hợp sâu với các tiêu chuẩn kỹ thuật và cho phép điều chỉnh các thông số chi tiết sẽ phát huy hiệu quả vượt trội. Sự lựa chọn này cũng phụ thuộc lớn vào đối tượng sử dụng: một kiến trúc sư quan tâm đến hình khối và vật liệu có thể ưa chuộng một công cụ trực quan hơn, trong khi một kỹ sư năng lượng lại cần một nền tảng mạnh về phân tích kỹ thuật.

Như vậy, tính linh hoạt và sự hiểu biết sâu sắc về đặc điểm của từng công cụ BEM là chìa khóa để khai thác hiệu quả luồng dữ liệu từ BIM, đảm bảo rằng kết quả mô phỏng năng lượng không chỉ chính xác mà còn thực sự hữu ích trong việc đưa ra các quyết định thiết kế tối ưu, góp phần hiện thực hóa các mục tiêu về hiệu suất năng lượng và bền vững cho công trình.

Mặc dù đã có một số nghiên cứu trước đây về mô hình BIM-BEM cho mô phỏng năng lượng, nhưng vẫn chưa có sự quan tâm đầy đủ đến thiết kế bề mặt công trình, bao gồm cách bố trí cửa sổ và tường chắn nắng với việc tích hợp các vật liệu mới phù hợp với điều kiện địa phương. Thiếu sót này đặc biệt rõ rệt ở Thành phố Hà Nội, Việt Nam – đại diện cho các đô thị nhiệt đới có lượng bức xạ mặt trời cao và nhiệt độ khắc nghiệt quanh năm. Khoảng trống này trong tài liệu nghiên cứu là động lực cho nghiên cứu hiện tại, nhằm đề xuất một mô hình mô phỏng tích hợp các chiến lược tối ưu hóa năng lượng và các giải pháp thiết kế thông minh cho bề mặt công trình và hệ thống chắn nắng.

Cụ thể, nghiên cứu này hướng đến việc phát triển một mô hình mô phỏng tích hợp các đề xuất tối ưu hóa cho thiết kế công trình thông qua việc sử dụng các vật liệu mới và phương án thiết kế phù hợp với điều kiện địa phương, đặc biệt là trong các khu vực có khí hậu nắng nóng như Hà Nội, Việt Nam. Mô hình này có thể cải thiện hiệu quả năng

lượng và giảm chi phí bằng cách lựa chọn các phương án mặt đứng tối ưu. Nghiên cứu sẽ phân tích hiệu quả của các lựa chọn này và đề xuất hướng dẫn thiết kế cho các dự án xây dựng trong tương lai. Kết quả của nghiên cứu sẽ hữu ích đối với các kiến trúc sư, kỹ sư và chủ đầu tư quan tâm đến việc tối ưu hóa sử dụng năng lượng và tiết kiệm chi phí trong các khu vực có khí hậu nắng nóng.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Dữ liệu về công trình mô phỏng

Đối tượng nghiên cứu là công trình trụ sở Viện Thiết kế / Tổng cục Hậu cần - Kỹ thuật, một tòa nhà văn phòng được đưa vào sử dụng từ năm 2011 (Hình 2.1). Vị trí của công trình nằm tại số 21 Lê Văn Lương, Phường Nhân Chính, Thành phố Hà Nội. Do tính chất đặc thù là một công trình trụ sở văn phòng của một cơ quan nằm tại một ô đất khá khiêm tốn và là công trình cải tạo sửa chữa nên khi tiến hành mô phỏng chúng tôi không xét đến hướng cũng như không thay đổi quy mô, công năng của công trình.

- Diện tích xây dựng: 517 m²
- Tổng diện tích sàn: 6.635 m²
- Số tầng cao: 13 tầng (02 hầm, 12 tầng nổi, 01 tum).
- Loại hình: Tòa nhà văn phòng



Hình 1. Trụ sở Viện thiết kế/Tổng cục Hậu cần- kỹ thuật – Số 21 Lê Văn Lương- Thanh Xuân- Hà Nội

Bảng 1: Mô tả công năng và diện tích của từng tầng trong tòa nhà

STT	Tầng cao	Công năng	Diện tích sàn (m ²)
01	Hầm B1, B2	Nhà xe- Kỹ thuật, phòng thí nghiệm, xưởng in, nghỉ lái xe, kho...	468
02	Tầng 1	Sảnh, văn phòng – trực ban, wc, kho...	419
03	Tầng 2	Văn phòng, wc, phòng hội thảo	417
04	Tầng 3	Văn phòng, wc	466
05	Tầng 4	Phòng ban giám đốc, tiếp khách, họp, wc	466
06	Tầng 5-9	Phòng các đơn vị sản xuất, wc	466
07	Tầng 10	Hội trường, wc	466
08	Tầng 11	Văn phòng, wc	224
09	Tầng 12	Nhà ăn, bếp, wc	466
10	Tầng 13 (Tum)	Kỹ thuật	448

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu này áp dụng phương pháp mô hình hóa tích hợp BIM-BEM, kết hợp giữa mô hình thông tin công trình (BIM) và mô hình mô phỏng năng lượng (BEM) nhằm đánh giá hiệu suất năng lượng của tòa nhà trong điều kiện khí hậu thực tế.

- Ứng dụng mô hình hóa thông tin công trình (BIM) và phần mềm Autodesk Revit cho phép xây dựng mô hình 3D chính xác về cấu trúc kiến trúc, vật liệu và hệ thống kỹ thuật của công trình, là nền tảng quan trọng để thực hiện mô phỏng năng lượng.
- Kết hợp mô hình năng lượng (BEM) thông qua công cụ IES-VE giúp tính toán các thông số năng lượng như truyền nhiệt, tổn thất nhiệt qua lớp vỏ bao che, điều kiện vận hành, và hiệu quả sử dụng hệ thống HVAC.
- Sử dụng dữ liệu khí hậu địa phương (nhiệt độ, độ ẩm, hướng và cường độ gió) được trích xuất từ trạm khí tượng gần công trình nhằm tăng độ chính xác trong mô phỏng, đảm bảo phản ánh đúng điều kiện thực tế.
- Phân tích vật liệu xây dựng theo giá trị U, xác định khả năng cách nhiệt và truyền nhiệt của từng cấu kiện (mái, tường, sàn, cửa sổ...), từ đó đánh giá hiệu quả tiết kiệm năng lượng của thiết kế.

2.2.1. Chỉ số tính toán kỹ thuật trong quá trình mô phỏng.

* Chỉ số cường độ sử dụng năng lượng (Energy Use Intensity – EUI):

- Cường độ sử dụng năng lượng, như trình bày trong Phương trình (1), là một chỉ số dùng để đo lường hiệu suất năng lượng của tòa nhà. Thông thường, chỉ số này được tính bằng lượng năng lượng tiêu thụ tính theo mét vuông hoặc foot vuông diện tích sàn mỗi năm. EUI được biểu diễn bằng đơn vị kWh/m²/năm. EUI càng thấp thì công trình càng hiệu quả trong sử dụng năng lượng. EUI thường được sử dụng trong các hệ thống xếp hạng và chuẩn hiệu suất năng lượng của các công trình khác nhau.

Phương trình (1):

$$EUI = \frac{\sum \text{Điện năng sử dụng} \left(\frac{kWh}{a}\right) - \sum \text{Điện năng tái tạo tại chỗ} \left(\frac{kWh}{a}\right)}{\text{Tổng diện tích sàn sử dụng (m}^2\text{)}} \quad (1)$$

* Các giá trị cơ sở phân tích nhiệt của vật liệu:

- Giá trị U (W/(m²K)) - Hệ số truyền nhiệt U (hay Hệ số truyền nhiệt tổng, tiếng Anh là Thermal Transmittance hoặc U-value) là một thông số kỹ thuật quan trọng trong vật lý xây dựng, dùng để đánh giá khả năng truyền nhiệt qua một kết cấu

bao che của công trình (như tường, mái, sàn, cửa sổ).

- Giá trị R (m²K/W) (hay Điện trở nhiệt, tiếng Anh là Thermal Resistance hoặc R-value) là một thông số kỹ thuật quan trọng trong vật lý xây dựng, dùng để đánh giá khả năng cản trở dòng nhiệt của một lớp vật liệu hoặc một kết cấu.

Giá trị U được tính toán dựa trên tổ hợp của các lớp vật liệu và điện trở bề mặt (R) theo công thức:

$$U = \frac{1}{R_s + \sum \frac{d_i}{\lambda_i} + R'_s} \quad (2)$$

Trong đó: và (m².K/W) lần lượt là điện trở nhiệt bề mặt trong và ngoài, (m) và (W/m.K) lần lượt là chiều dày và hệ số dẫn nhiệt của từng lớp vật liệu thứ i.

- SHGC - Hệ số tổng năng lượng bức xạ mặt trời truyền qua (tiếng Anh là Solar Heat Gain Coefficient - SHGC) là tỷ lệ phần trăm năng lượng bức xạ mặt trời truyền qua một cửa sổ (kính + khung) so với tổng năng lượng bức xạ mặt trời chiếu tới nó. Như được thể hiện trong công thức (3):

$$SHGC = \tau_g + \frac{\alpha \cdot h_{in}}{h_{in} + h_{out}} \quad (3)$$

Trong đó: (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, , (W/m².K) lần lượt là hệ số truyền nhiệt đối lưu/phát xạ mặt trong và mặt ngoài kính.

2.2.2. Sơ đồ tiến hành mô phỏng đề xuất 4 bước.

Khung phương pháp đề xuất cho mô phỏng năng lượng trong dự án xây dựng dựa trên nền tảng BIM và một số công cụ tích hợp, được thực hiện qua 4 bước chính như thể hiện trong Hình 2

• **Bước 1:** Mô hình 3D của dự án xây dựng được khởi tạo bằng phần mềm Autodesk Revit. Dự án được khai báo các tham số chính như: loại kết cấu chính, loại vật liệu, điều kiện thời tiết và vị trí xây dựng, hệ thống HVAC, loại kính, loại hình công trình và thời gian vận hành dự kiến.

• **Bước 2:** Sau khi mô hình 3D đã được thiết lập với các khối và lớp vật liệu, không gian trong dự án được thiết kế theo đúng công năng. Công cụ hỗ trợ sẽ được dùng để chuyển đổi mô hình 3D thành mô hình năng lượng với các bề mặt phẳng khép kín. Các khe hở cần được điều chỉnh để tránh sai lệch trong các bước mô phỏng tiếp theo.

• **Bước 3:** Công cụ hỗ trợ của IES-VE được sử dụng để mô phỏng và phân tích. Kết quả mô phỏng sẽ hiển thị trên giao diện IES-VE, cho phép người dùng điều chỉnh thiết kế để thay đổi mức tiêu thụ năng lượng. Mô hình năng lượng là một sơ đồ hình học phẳng, chuyển đổi các thành phần thành các bề mặt kèm theo hệ số U, nhằm tính toán tải nhiệt và mức tiêu thụ năng lượng. Người dùng có thể tối ưu hóa việc sử dụng vật liệu thông qua mô hình này. Dựa trên mô hình kiến trúc 3D, người dùng thiết lập mô hình năng lượng với lịch hoạt động của công trình và cấu hình HVAC mặc định phù hợp với mục đích sử dụng.

• **Bước 4:** Từ kết quả của bước 3, mô hình được hiệu chỉnh và mô phỏng trong các điều kiện môi trường khác nhau trên nền tảng IES-VE. Qua các kịch bản mô phỏng, mỗi thay đổi thiết kế sẽ tương ứng với một chỉ số EUI (Energy Use Intensity) cụ thể, giúp kiến trúc sư và quản lý đưa ra lựa chọn phù hợp.

2.3. Mô phỏng năng lượng công trình bằng IES-VE

Mô hình năng lượng được tạo ra từ các yếu tố thành phần bao che công trình và ngăn chia không gian trong mô hình Revit, cho kết quả là một mô hình đơn giản hóa gồm các bề mặt khép kín. Sau

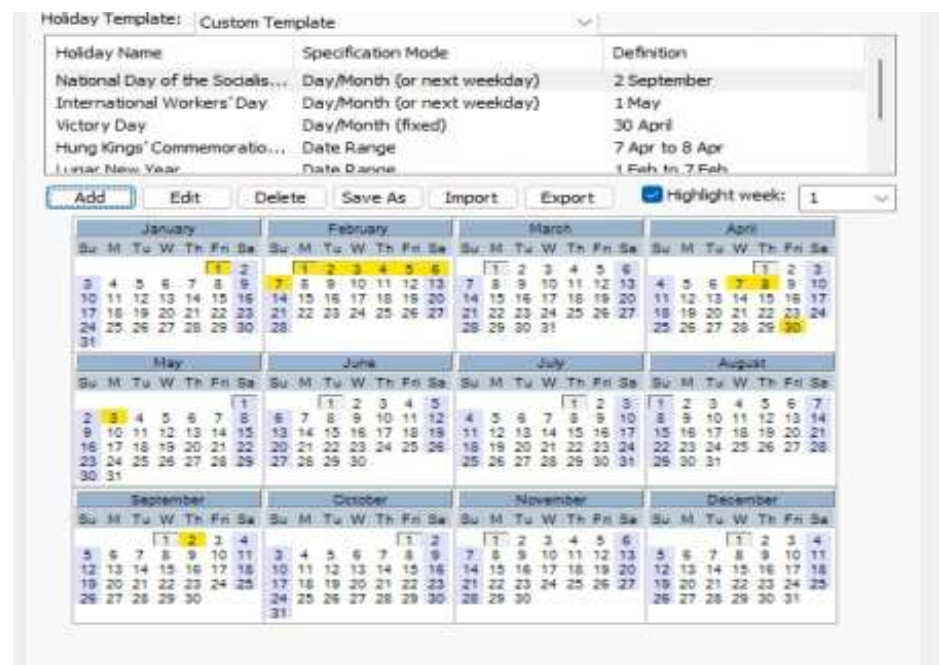


Hình 2. Khung mô phỏng 4 bước đề xuất của nghiên cứu

khi các thông số chính được khai báo trong phần mềm mô phỏng năng lượng theo bảng 2.

Bảng 2. Các thông số được khai báo trong phần mềm IES-VE

STT	THUỘC TÍNH	GIÁ TRỊ KHAI BÁO
01	Loại công trình	Toà nhà văn phòng
02	Địa điểm	Hà Nội, Việt Nam
03	Số tầng cao	13
04	Chức năng của không gian	Sử dụng điều hoà, không sử dụng
05	Số người sử dụng	Theo phòng
06	Tỷ lệ cửa sổ/ tường	Theo từng kịch bản
07	Hệ thống HVAC	Sử dụng hệ thống điều hoà VRF kết hợp điều hoà cục bộ
08	Giờ làm việc	Khối văn phòng: 8h-17h (5 ngày/ tuần) Khối phụ trợ: 2h/Tuần
09	Số ngày nghỉ	Dựa theo lịch của năm gần nhất



Hình 3. Bảng khai báo các ngày nghỉ và ngày lễ

3. Kết quả nghiên cứu

3.1. Khởi tạo mô hình 3D của Viện thiết kế, Tổng cục hậu cần kỹ thuật

Trên cơ sở là dữ liệu về hồ sơ hoàn công và hồ sơ cải tạo của công trình bao gồm các bộ môn: Kiến trúc, kết cấu, điện, điều hòa thông gió. Nhóm nghiên cứu tiến hành dựng lại mô hình 3D của công trình bằng phần mềm Revit Architecture. Các nhóm vật liệu được khai báo thông số trong Revit Architecture bao gồm: Nhóm vật liệu kính, nhóm vật liệu tường, nhóm vật liệu mái. Các nhóm vật liệu này sẽ được sắp xếp thành các tổ hợp, kết hợp với các phương án tỷ lệ tường kính nhằm xây dựng các kịch bản mô phỏng cho công trình. Một nhóm các thông số của vật liệu được chúng tôi khai báo trong Revit Architecture bao gồm nhóm vật liệu kính, thông số của vật liệu được tham khảo tại phụ lục 02 thuộc QCVN 09:2017/BXD. Tóm tắt được thể hiện trong Hình 3.1.

Trên cơ sở dữ liệu đã thu thập, mô hình 3D hoàn chỉnh của Trụ sở Viện Thiết kế – Tổng cục Hậu cần Kỹ thuật được thiết lập trong phần mềm Revit Architecture, thể hiện đầy đủ cấu trúc không gian, hệ thống cửa sổ, vật liệu bao che và mái (Hình 3.2).

3.2. Các kịch bản mô phỏng cho công trình

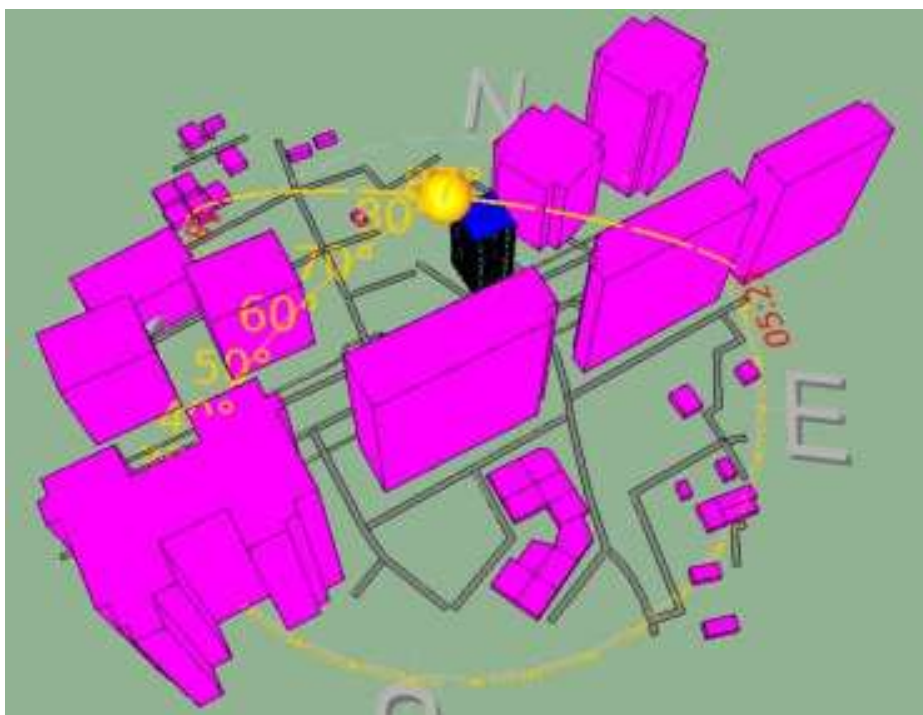
Trong giai đoạn tiếp theo, phần mềm IES-VE được sử dụng để thực hiện các mô phỏng năng lượng cho các kịch bản thiết kế khác nhau. Mục tiêu là xác định chỉ số cường độ năng lượng (EUI -kWh/m²/năm) và lượng phát thải CO₂ (kg/m²/năm) của mỗi kịch bản được đề xuất. Đối với công trình Trụ sở Viện Thiết kế – Tổng cục Hậu cần Kỹ thuật, các tải tiêu thụ năng lượng bao gồm chiếu sáng, điều hòa không khí và thiết bị phụ trợ (thang máy, máy bơm, thiết bị văn phòng...). Các tải này được mô phỏng dựa trên lịch vận hành thực tế (8h–17h, 5 ngày/tuần), đảm bảo phản ánh đúng điều kiện hoạt động của tòa nhà. Các yếu tố ảnh hưởng đến chỉ số cường độ năng lượng EUI gồm có: Tỷ

STT	VẬT LIỆU	GIÁ TRỊ					ĐỘ DÀY (mm)
		R (m ² .K/W)	λ (W/m.k)	U (W/m ² .K)	SHGC (%)	VLT (%)	
KÍNH							
1	SolarControlNeutral T55 Trung tính 5+9+5			2.41	45	51	5+9+5
	LowENeutral T70 Trung tính 5+9+5			1.56	43	65	5+9+5
	Kính trắng đơn lớp			5.8			8
TƯỜNG BASE							
2	Sơn ngoại thất 2 lớp nước một lót trắng						80μm
	Vữa tam hợp 1700 kg/m ³	0.017241379	0.87	58			15
	Gạch đất sét nung xây với vữa nặng-1800 kg/m ³	0.271604938	0.81	3,6818182			220
	Vữa xi măng-1800 kg/m ³	0.017241379	0.87	58			15
	Sơn ngoại thất 2 lớp nước một lót						80μm
TƯỜNG GẠCH KHÔNG NUNG							
3	Sơn ngoại thất 2 lớp nước một lót						
	Vữa xi măng 75%		0.87				15
	Gạch không nung khí chung áp ACC (γ = 600kg/m ³)		0.13				220
	Vữa xi măng 75%		0.87				15
4	MÁI BASE						
	Mái tôn	6.89655E-05	58	14500			4

Hình 4. Thông số của vật liệu lấy theo QCVN 09:2017/BXD

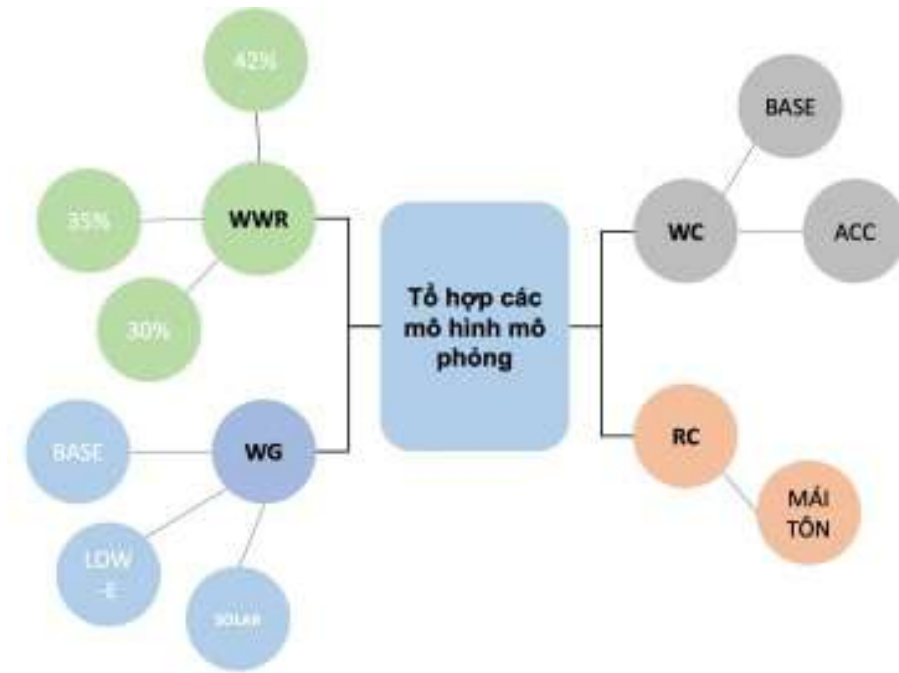


Hình 5. Mô hình của tòa nhà trụ sở VTK được hình thành trong phần mềm Revit Architect



Hình 6. Mô hình hiện trạng vị trí của tòa nhà so với khu vực xung quanh trong IES-VE

lệ mở cửa lấy sáng của công trình (WWR), loại kính sử dụng (WG), loại tường sử dụng (WC), loại mái sử dụng (RC). Bốn yếu tố này khi có sự thay đổi sẽ chi phối đến các chỉ số về năng lượng của toà nhà như Hình 3.3. Các kịch bản được tổ hợp lại theo Bảng 3.1.



Hình 7. Tổ hợp 4 yếu tố chi phối chỉ số EUI

Bảng 3. Trình bày các tổ hợp kịch bản được sử dụng để phân tích

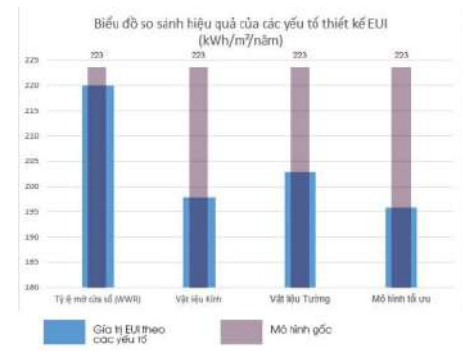
STT	Thuộc tính	Baseline	Mô hình 2	Mô hình 3	Mô hình 4	Mô hình 5	Mô hình 6	Mô hình Tối ưu hoá
01	WWR	42%	35%	30%	42%	42%	42%	42%
02	WG	Kính trắng	Kính trắng	Kính trắng	Kính Solar Control	Kính Low-E	Kính trắng	Kính Low-E
03	WC	Tường gạch đất nung	Tường gạch đất nung	Tường gạch đất nung	Tường gạch đất nung	Tường gạch đất nung	Gạch ACC	Gạch ACC
04	RC	Mái tôn	Mái tôn	Mái tôn	Mái tôn	Mái tôn	Mái tôn	Mái tôn

Nghiên cứu tiến hành biến đổi có hệ thống từng biến số để xác định chỉ số EUI và chi phí năng lượng tương ứng cho mỗi kịch bản. Kết quả mô phỏng cho phép lựa chọn phương án có chỉ số EUI thấp nhất, từ đó xác định cấu hình thiết kế vỏ bao che tối ưu cho công trình.

- Ảnh hưởng của tỷ lệ mở cửa sổ (WWR): Khi giảm WWR từ 42% (phương án ban đầu) xuống 35% và 30%, chỉ số EUI giảm lần lượt từ 223 xuống 221 và 220 kWh/m²/năm, tương ứng với giảm 1.35% so với phương án ban đầu.
- Yếu tố vật liệu Kính: Sự thay đổi loại kính mang lại tác động mạnh mẽ hơn đối

với hiệu suất năng lượng. Khi sử dụng kính Solar Control và kính Low-E thay cho kính thông thường, chỉ số EUI giảm từ 223 xuống 205 và 198 kWh/m²/năm, tương ứng với mức tiết kiệm năng lượng 8.07% và 11.21%. Lượng phát thải CO₂ cũng giảm từ 115 xuống 106 và 102 kgCO₂/m²/năm. Kết quả này cho thấy kính Low-E là giải pháp vật liệu hiệu quả nhất, nhờ khả năng phản xạ bức xạ mặt trời và giảm truyền nhiệt qua lớp vỏ công trình.

- Ảnh hưởng của vật liệu tường: Khi thay thế tường gạch thông thường bằng tường gạch AAC, chỉ số EUI giảm từ 223 xuống 203 kWh/m²/năm, tương ứng mức tiết kiệm năng lượng 8.96%, và lượng phát thải CO₂ giảm từ 115 xuống 105 kgCO₂/m²/năm.



Hình 8: Biểu đồ so sánh hiệu quả của các yếu tố thiết kế

Trên cơ sở kết quả này, nhóm nghiên cứu đã đề xuất mô hình tích hợp tối ưu kết hợp đồng thời ba yếu tố: WWR 30%, kính Low-E và tường AAC 25 cm. Phương án này giúp giảm tổng thể 12,1% chỉ số EUI so với thiết kế cơ sở, chứng minh tính khả thi của mô hình BIM-BEM trong hỗ trợ quyết định thiết kế công trình năng lượng thấp và bền vững. Kết quả này không chỉ khẳng định tính khả thi của mô hình đề xuất mà còn trở thành một cơ sở khoa học vững chắc, đóng vai trò quan trọng trong việc định hướng các thay đổi thiết kế nhằm hiện thực hóa mục tiêu xây dựng các công trình tiết kiệm năng lượng và bền vững.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã triển khai và đánh giá thành công quy trình tích hợp BIM-BEM cho công trình Trụ sở Viện Thiết kế – Tổng cục Hậu cần Kỹ thuật (Hà Nội). Những kết luận chính rút ra như sau:

- Xây dựng thành công mô hình BIM 3D chi tiết của công trình Trụ sở Viện thiết kế- Tổng cục Hậu Cần tại Hà Nội, thể hiện đầy đủ các yếu tố kiến trúc (mặt bằng, mặt đứng, mặt cắt) và cấu trúc không gian, phục vụ cho quá trình mô phỏng năng lượng.
- Mô hình năng lượng (BEM) được khởi tạo từ BIM, giúp tái hiện được các lớp vỏ bao che, hệ thống cửa, cửa sổ, mái và sàn với các thông số U-value cụ thể, cho phép đánh giá hiệu quả truyền nhiệt trong các điều kiện khí hậu thực tế.
- Thu thập và tích hợp dữ liệu thời tiết địa phương (nhiệt độ, độ ẩm, hướng gió) vào mô hình, đảm bảo tính chính xác cho mô phỏng. Biểu đồ nhiệt độ trung bình tháng, biểu đồ độ ẩm và hoa gió cho thấy rõ ảnh hưởng của điều kiện vi khí hậu đến hiệu quả năng lượng.
- Thực hiện mô phỏng năng lượng bằng phần mềm IES-EV, cho phép phân tích các chỉ số như: hệ số tường-cửa, tỷ lệ thông gió, mức tiêu thụ năng lượng HVAC theo thời gian vận hành thực tế (08 giờ/ngày, 5 ngày/tuần).

Đề xuất giải pháp điều chỉnh mô hình năng lượng, bao gồm thiết lập lại vùng năng lượng, loại bỏ khe hở nhiệt, lựa chọn chế độ mô phỏng kết hợp «Mass & Building Elements» để tăng độ chính xác. Hệ thống hóa quy trình ứng dụng kết hợp BIM – BEM, có thể nhân rộng cho các công trình công cộng khác tại Việt Nam nhằm hướng tới mục tiêu tiết kiệm năng lượng và phát triển công trình xanh.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Al-Kazee, Mohamed Faisal & Racha Ramhamdani, *BIM Technology: A Comprehensive Overview of Definitions,*

Benefits, and Implementations, International Journal of Research and Scientific Innovation, 2025.

[2] Azhar, S., *Building Information Modeling (BIM): Trends, Benefits, Risks, and Challenges for the AEC Industry, Leadership and Management in Engineering,* Vol. 11, pp. 241–252, 2011.

[3] Bastos Porsani, Gabriela et al., *Interoperability between Building Information Modelling (BIM) and Building Energy Model (BEM), Applied Sciences,* 2021.

[4] Ciccozzi, A.; de Rubeis, T.; Paoletti, D.; Ambrosini, D., *BIM to BEM for Building Energy Analysis: A Review of Interoperability Strategies, Energies,* Vol. 16, 7845, 2023.

[5] Doumbouya, Lanciné et al., *Adoption of the Building Information Modeling (BIM) for Construction Project Effectiveness: The Review of BIM Benefits, American Journal of Civil Engineering and Architecture,* Vol. 4, pp. 74–79, 2016.

[6] Ehsan Kamel & Ali M. Memari, *Automated Building Energy Modeling and Assessment Tool (ABEMAT), Energy,* Vol. 147, pp. 15–24, 2018.

[7] Elbeltagi, E.; Wefki, H.; Khallaf, R., *Sustainable Building Optimization Model for Early-Stage Design, Buildings,* Vol. 13, 74, 2023.

[8] GREEN, HUST, & NET ZERO ENERGY CAMPUS, *HUST-Đại học Xanh – Hướng tới phát thải ròng CO2 bằng không.*

[9] Haase, Matthias & Alex Amato, *Sustainable Façade Design for Zero Energy Buildings in the Tropics, Proceedings of The 23rd Conference on Passive and Low Energy Architecture, Geneva, Switzerland,* 2006.

[10] Haidar Hosamo Hosamo, Merethe Solvang Tingstveit, Henrik Kofoed Nielsen, Paul Ragnar Svennevig, Kjeld Svidt, *Multiobjective Optimization of Building Energy Consumption and Thermal Comfort Based on Integrated BIM Framework with Machine Learning–NSGA II, Energy and Buildings,* Vol. 277, 2022.

[11] Hijazi, Mohammad et al., *Bridging the Gap: Supporting Data Transparency from BIM to BEM,* 2015.

[12] Hrishikesh, P. N. et al., *Energy Efficient Buildings,* 2009.

[13] Jovanović, Dragana Dimitrijević et al., *Ventilated Green Facades as a Passive Design Strategy,* 2022.

[14] Lâm, Phạm Đăng Tuấn, *Ứng dụng công cụ SketchUp trong giảng dạy và thực hiện đồ án thiết kế kiến trúc, Tạp chí Khoa học Trường Đại*

học Quốc tế Hồng Bàng, tr. 167–176, 2025.

[15] Lee, Seo-young et al., *Issues and Prospects of BIM-to-BEM (Building Energy Model), Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design,* Vol. 30, pp. 199–206, 2014.

[16] Leung, Hau Yan, *Building Information Modelling (BIM): A New Paradigm for Visual Interactive Modeling and Simulation for Construction Project,* 2008.

[17] Li, Hang et al., *Issues in Bi-Directional Interoperability between BIM and BEM, Construction Research Congress,* 2022.

[18] Li, Hong Xian et al., *Exploring and Verifying BIM-Based Energy Simulation for Building Operations, Engineering, Construction and Architectural Management,* Vol. 27, pp. 1679–1702, 2020.

[19] Mahiwal, S.G., Bhoi, M.K. & Bhatt, N., *Evaluation of Energy Use Intensity (EUI) and Energy Cost of Commercial Building in India Using BIM Technology, Asian Journal of Civil Engineering,* Vol. 22, pp. 877–894, 2021.

[20] Malhotra, A.; Raming, S.; Schildt, M.; Frisch, J.; van Treeck, C., *CityGML Model Generation Using Parametric Interpolations, Proceedings of the Institution of Civil Engineers – Smart Infrastructure and Construction,* Vol. 174, No. 4, pp. 102–120, 2022.

[21] Mahiwal, S.G., Bhoi, M.K. & Bhatt, N., *Evaluation of Energy Use Intensity (EUI) and Energy Cost of Commercial Building in India Using BIM Technology, Asian Journal of Civil Engineering,* Vol. 22, 2021.

[22] Matthews, Adam C. & Binh Ta, *Applying a National BIM Model to Vietnam’s National Implementation of BIM: Lessons*

CHÚ THÍCH

(1) Khoa Kiến trúc, Đô thị và Khoa học bền vững, Trường Khoa học liên ngành & Nghệ thuật, Đại học Quốc gia Hà Nội, Việt Nam ;

(2) Tổng cục Hậu cần- Kỹ thuật, Bộ Quốc Phòng, Việt Nam;

(3) Viện Thiết Kế /Tổng cục Hậu cần- Kỹ thuật/Bộ Quốc Phòng, Việt Nam

(1) Emails: Ktshoangviet@vnu.edu.vn, 0948538108;

Ngày nhận bài: 12/12/2025; Phản biện từ ngày 13/12/25. Người phản biện: TS. Trương Quảng; Ngày duyệt đăng: 21/12/2025.