

ĐẠI HỌC QUỐC GIA TP. HỒ CHÍ MINH
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA

TRƯỜNG NGỌC SƠN

**ĐÁNH GIÁ VÀ TỐI ƯU NĂNG LƯỢNG SỬ DỤNG
THÔNG QUA MÔ HÌNH THÔNG TIN NĂNG LƯỢNG
CÔNG TRÌNH (BIM-BEM) TRONG THIẾT KẾ
LỚP VỎ TOÀ NHÀ TẠI VIỆT NAM**

Ngành: Quản lý Xây dựng

Mã số ngành: 9580302

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SĨ

TP. HỒ CHÍ MINH - NĂM 2024

Công trình được hoàn thành tại **Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM**

Người hướng dẫn 1: PGS.TS Lương Đức Long

Người hướng dẫn 2: TS. Ngô Ngọc Tri

Phản biện độc lập:

Phản biện độc lập:

Phản biện:

Phản biện:

Phản biện:

Luận án sẽ được bảo vệ trước Hội đồng đánh giá luận án họp tại

.....
.....

vào lúc giờ ngày tháng năm

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện:

- Thư viện Trường Đại học Bách Khoa – ĐHQG-HCM
- Thư viện Đại học Quốc gia Tp.HCM
- Thư viện Khoa học Tổng hợp Tp.HCM

DANH MỤC CÔNG TRÌNH ĐÃ CÔNG BỐ

Tạp chí quốc tế

1. Lương Đức Long, Trương Ngọc Sơn, Ngô Ngọc Tri, & Nguyễn Ngọc Quang (2024). *Developing the hybrid BIM-BEM and jellyfish search optimization system for optimizing energy consumption and building installation costs*. Scientific Reports, 14(1), 17186. doi:10.1038/s41598-024-68021-6 (SCIE/Q1- IF 3.8)
2. Trương Ngọc Sơn, Lương Đức Long & Nguyễn Quang Trung (2023). *BIM to BEM Transition for Optimizing Envelope Design Selection to Enhance Building Energy Efficiency and Cost-Effectiveness*. Energies, 16(10), 3976. <https://doi.org/10.3390/en16103976>. (SCIE/Q1- IF 3.0)
3. Trương Ngọc Sơn, Lương Đức Long, Ngô Ngọc Tri, & Nguyễn Quang Trung (2024, 2024/). *Optimizing Envelope Design and Window Performance for Energy-Efficient Buildings Through Integration of Building Information and Energy Modeling (BIM-BEM)*. Proceedings of the Third International Conference on Sustainable Civil Engineering and Architecture. ICSCEA 2023. Lecture Notes in Civil Engineering, vol 442. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-99-7434-4_60. (Scopus Q4)

Tạp chí trong nước

1. Trương Ngọc Sơn, Lương Đức Long, Ngô Ngọc Tri, Nguyễn Quang Trung. (2021). “*Ứng dụng Mô hình mô phỏng năng lượng trong thiết kế xây dựng hướng đến công trình sử dụng năng lượng hiệu quả: một công trình thực tế tại TP. Đà Nẵng*”. Tạp chí Người Xây dựng, số tháng 07-08/2021 (ISSN:0866-8531, Tạp chí khoa học Quốc gia, thuộc danh mục Hội đồng chức danh nhà nước).

Kỷ yếu hội nghị quốc tế

1. Lương Đức Long, Trương Ngọc Sơn, Ngô Ngọc Tri., & Nguyễn Quang Trung. (2023). *Enhancing Building Energy Efficiency with Aluminum Composite Material Facade: A Performance Simulation Study using Building Energy Modeling and Building Information Modeling*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 1289(1), 012040. doi:10.1088/1757-899X/1289/1/012040.

Đề tài nghiên cứu khoa học

1. Đề tài khoa học Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh (Loại B), “Xây dựng thuật toán tối ưu cùng mô hình thông tin xây dựng (BIM) hướng đến các tòa nhà sử dụng năng lượng hiệu quả” Mã số đề tài: DS2022-20-02, Thành viên chính (Đã nghiệm thu)

CHƯƠNG 1 GIỚI THIỆU

1.1 Bối cảnh và sự cần thiết nghiên cứu

Ngành xây dựng tiêu thụ nhiều nguyên liệu thô và gây ra 30% lượng khí thải nhà kính toàn cầu giới (Craveiro, Duarte, Bartolo, & Bartolo, 2019). Các tòa nhà hiện đại sử dụng năng lượng lớn để vận hành, trong khi hệ thống làm mát và sưởi ấm không hiệu quả dẫn đến lãng phí năng lượng và tăng khí thải carbon. Để giảm tác động tiêu cực, ngành xây dựng đang hướng đến năng lượng tái tạo và tối ưu hóa thiết kế nhằm phát triển bền vững (Cortés, Traxler, & Greiling, 2023; Hassan, Negash, & Hanum, 2024).

Chuyển đổi số, đặc biệt là ứng dụng Mô hình Thông tin Công trình (BIM), được xem là giải pháp trọng tâm giúp nâng cao hiệu quả, chất lượng, và khả năng cạnh tranh. BIM tích hợp dữ liệu và thực tế ảo, hỗ trợ tối ưu hóa thiết kế, quản lý hiệu quả năng lượng và giảm lỗi trong giai đoạn thiết kế (L. Wang & Shao, 2024). Đặc biệt, việc sử dụng công nghệ BIM không chỉ giúp tối ưu hóa thiết kế và sử dụng tài nguyên, mà còn giúp theo dõi và quản lý hiệu suất năng lượng của các công trình xây dựng (Pereira, Santos, Leite, & Escórcio, 2021). Điều này đóng vai trò quan trọng trong việc giảm lượng khí thải và mức tiêu thụ năng lượng của tòa nhà, từ đó đóng góp vào mục tiêu bền vững toàn cầu.

Mức tiêu thụ năng lượng trong các tòa nhà là một yếu tố đánh giá quan trọng liên quan đến thiết kế và vận hành của một dự án. Việc có thể được giảm thiểu được năng lượng trong tòa nhà giúp giảm chi phí vận hành, giảm tác động đến môi trường, tăng hiệu quả sử dụng của công trình (Ngoc-Son Truong, Duc L. Luong, & Quang T. Nguyen, 2023). Đây được xem là một trong những mục tiêu hướng đến của lĩnh vực Chuyển đổi số trong Xây dựng nói chung và ứng dụng BIM trong xây dựng nói riêng trong xu thế hiện nay. Đề tài nghiên cứu này đặt ra yêu cầu phát triển một cách tiếp cận tích hợp BIM và Mô hình Năng lượng (BEM) nhằm giải quyết các vấn đề về tiêu thụ năng lượng liên quan đến các vấn đề thiết kế vỏ bọc tòa nhà từ giai đoạn thiết kế sơ bộ đến giai đoạn thiết kế kỹ thuật chi

tiết, đảm bảo các giải pháp thiết kế được tối ưu hóa ngay từ đầu và có thể điều chỉnh dễ dàng trong các giai đoạn sau.

Việc tối ưu hóa các phương án thiết kế kiến trúc, lớp vỏ tòa nhà, hệ thống HVAC ngay từ ban đầu thông qua mô hình BIM để giảm mức năng lượng tiêu thụ trong công trình đang là một xu hướng nghiên cứu được nhiều nhà nhà khoa học quan tâm (Pereira et al., 2021). Đặc biệt đối với các công trình xây dựng, việc tối ưu hoá các thành phần vỏ bọc công trình được xem là mục tiêu quan trọng trong việc hướng đến tiết giảm năng lượng trong các toà nhà (Aslani, Bakhtiar, & Akbarzadeh, 2019; Cerezo-Narváez, Delgado Guerrero, Sánchez Ramos, & Álvarez Domínguez, 2024). Mô hình BEM, với sự phát triển vượt trội, đã trở thành trọng tâm nghiên cứu chính về việc giảm mức sử dụng năng lượng của các tòa nhà trong giai đoạn thiết kế và vận hành (Adán, Ramón, Vivancos, Vilar, & Aparicio-Fernández, 2023). Tuy nhiên, việc tích hợp giữa BIM và BEM vẫn chưa hoàn thiện, gây khó khăn trong việc ứng dụng BEM trong những công trình xây dựng thực tế (Adán et al., 2023; Jung et al., 2023). Chính vì vậy, nghiên cứu này đề xuất một khung quy trình tiếp cận tổng quan mới, bắt đầu từ việc đánh giá các nhân tố thiết kế công trình, sau đó là vật liệu xây dựng và đi sâu vào phân tích lớp cấu tạo vật liệu, nhằm tối ưu hóa năng lượng sử dụng trong công trình.

Tại Việt Nam, quy chuẩn QCVN 09:2017/BXD đưa ra các tiêu chuẩn bắt buộc liên quan đến việc sử dụng năng lượng hiệu quả trong các công trình xây dựng. Tuy nhiên, các công cụ hiện có để đánh giá theo tiêu chuẩn này thường chỉ tập trung vào một số phần nhất định của công trình và thiếu một quy trình đánh giá tổng thể. Việc tích hợp BIM và BEM trong nghiên cứu không chỉ cung cấp một phương pháp đánh giá toàn diện mà còn giúp các dự án xây dựng tuân thủ quy chuẩn này một cách chặt chẽ hơn, từ đó giảm chi phí vận hành và phát thải khí nhà kính. Bên cạnh đó, nghiên cứu này cũng đề xuất việc kết hợp cùng thuật toán tối ưu hóa để thay đổi các yếu tố liên quan đến công trình xây dựng trong quá trình thiết kế vỏ bọc công trình để năng lượng tiêu thụ trong tòa nhà đạt hiệu quả cao nhất trong một mô hình khép kín. Kết quả nghiên cứu kỳ vọng sẽ mở ra một hướng mới trong việc sử dụng BIM kết hợp BEM để tối ưu hóa các yếu tố

như chi phí năng lượng và vật liệu xây dựng, đồng thời đảm bảo các tiêu chuẩn về năng lượng hiện hành.

1.2 Mục tiêu nghiên cứu

Những mục tiêu của nghiên cứu hướng đến như sau:

Mục tiêu chung: Đề xuất và phát triển một khung quy trình tích hợp hiệu quả giữa BIM và BEM nhằm đánh giá và tối ưu hóa năng lượng sử dụng trong thiết kế lớp vỏ tòa nhà qua từng giai đoạn thiết kế của dự án xây dựng.

Mục tiêu cụ thể:

- Đánh giá và thể hiện tầm quan trọng của Mô hình thông tin công trình (BIM) và Mô hình thông tin năng lượng (BEM) trong thiết kế công trình sử dụng năng lượng hiệu quả.
- Đề xuất các khung quy trình đánh giá năng lượng thông qua BIM-BEM một cách hiệu quả trong các giai đoạn thiết kế của công trình xây dựng.
- Thống kê và đề xuất cách xử lý các sai sót và xung đột thường gặp, tạo lập bộ khuyến cáo chuyển đổi giữa mô hình BIM-BEM trong quá trình thiết kế.
- Xây dựng một hệ thống tự động hóa mới nhằm thực hiện quá trình chuyển đổi, đánh giá và tối ưu hóa thiết kế của lớp vỏ tòa nhà.

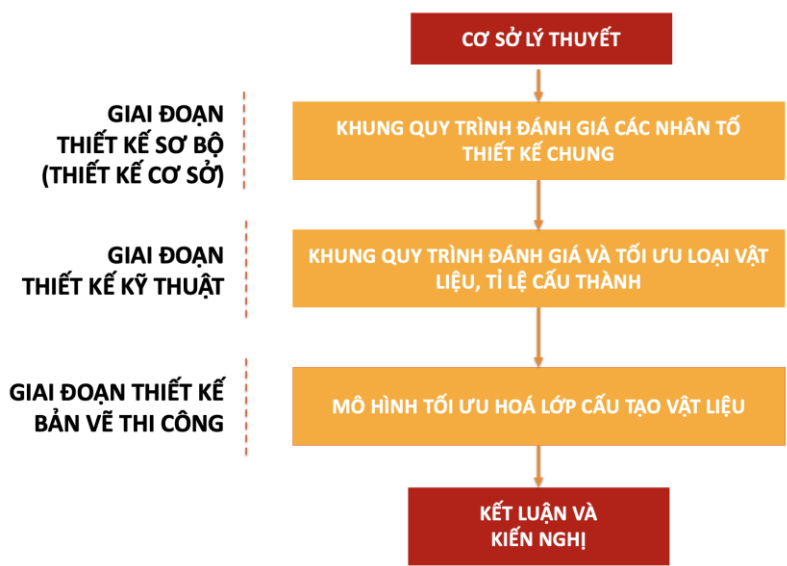
1.3 Cách tiếp cận

Nghiên cứu này hướng đến việc phát triển một khung quy trình tích hợp giữa Mô hình BIM và BEM, nhằm giải quyết những vấn đề liên quan thiết kế vỏ bọc tòa nhà hướng đến sử dụng năng lượng hiệu quả trong các công trình xây dựng hiện đại. Cách tiếp cận của nghiên cứu dựa trên nguyên tắc phân tích từ tổng quát đến chi tiết, bắt đầu từ việc đánh giá các yếu tố thiết kế chính của tòa nhà, tiếp tục đánh giá các vật liệu xây dựng và cuối cùng đi sâu vào phân tích cấu tạo chi tiết của các lớp vật liệu thông qua các giai đoạn và yêu cầu của việc thiết kế của một công trình xây dựng. Đặc biệt, nghiên cứu sẽ tập trung vào việc tối ưu hóa các yếu tố như vỏ bọc công trình để giảm mức tiêu thụ năng lượng, đồng thời đảm

bảo tuân thủ QCXDVN 09:2017/BXD, một tiêu chuẩn quốc gia về hiệu quả sử dụng năng lượng trong xây dựng.

Ngoài ra, phương pháp tối ưu hóa này sẽ tích hợp thêm các thuật toán tối ưu đa mục tiêu như EP-MOJS, nhằm tự động hóa quá trình phân tích và đưa ra các giải pháp thiết kế tối ưu. Việc áp dụng thuật toán này trong mô hình tích hợp BIM-BEM giúp các kiến trúc sư và nhà quản lý dự án dễ dàng đưa ra các lựa chọn thiết kế, tối ưu hóa hiệu quả năng lượng và chi phí xây dựng.

Trong nghiên cứu này, nghiên cứu sinh đề xuất quy trình nghiên cứu thông qua mô hình BIM để đánh giá mô hình năng lượng BEM của công trình theo các bước như Hình 1.1



Hình 1.1 Các bước tiếp cận nghiên cứu qua các giai đoạn thiết kế

CHƯƠNG 2 QUY TRÌNH VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Quy trình nghiên cứu

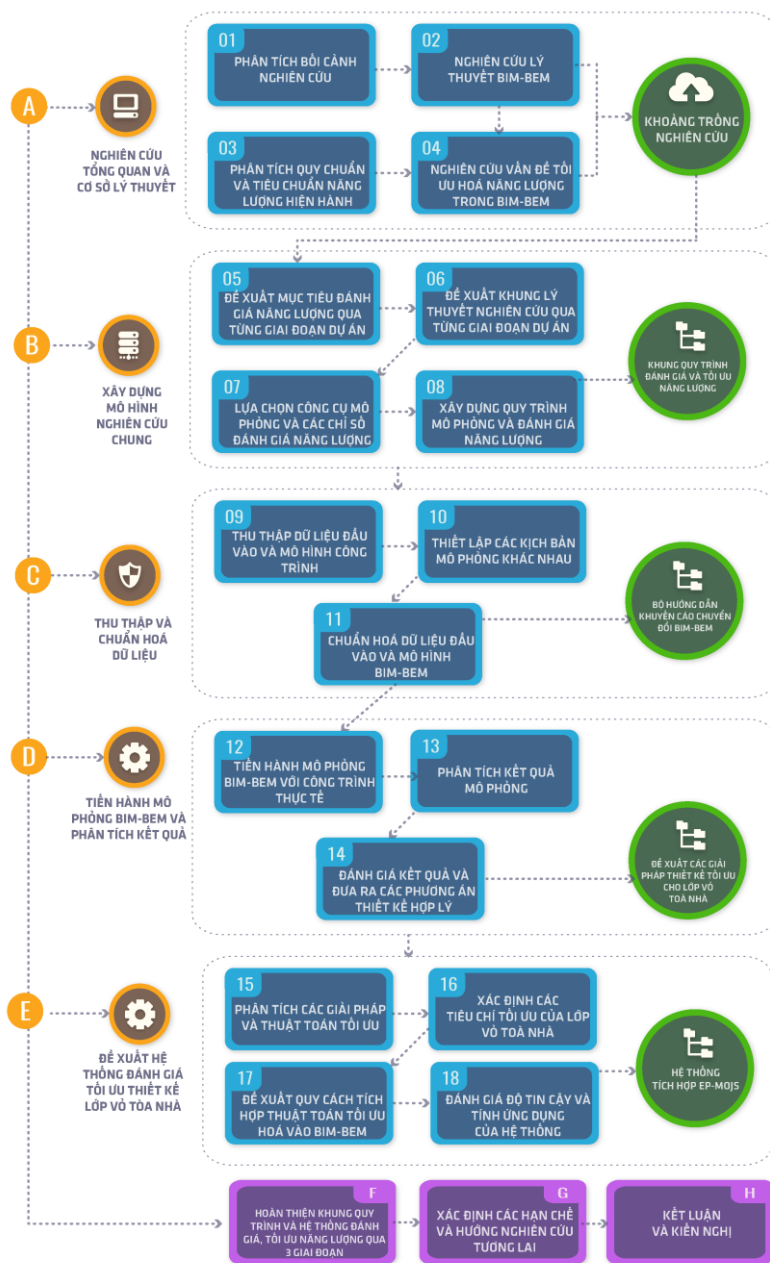
Quy trình của nghiên cứu phân tích từ tổng quát đến chi tiết, bắt đầu từ việc đánh giá các yếu tố thiết kế chính của tòa nhà, tiếp tục đánh giá các vật liệu xây dựng và cuối cùng đi sâu vào phân tích cấu tạo chi tiết của các lớp vật liệu thông qua các giai đoạn và yêu cầu của việc thiết kế của một công trình xây dựng (Hình 2.1). Đặc biệt, nghiên cứu sẽ tập trung vào việc tối ưu hóa các yếu tố như vỏ bọc công trình để giảm mức tiêu thụ năng lượng, đồng thời đảm bảo tuân thủ QCVN 09:2017/BXD, một tiêu chuẩn quốc gia về hiệu quả sử dụng năng lượng trong xây dựng. Quy trình nghiên cứu được chia thành các giai đoạn từ A đến H, mỗi giai đoạn có một mục tiêu cụ thể, hướng đến việc xây dựng hệ thống đánh giá và tối ưu hóa thiết kế lớp vỏ tòa nhà bằng mô hình BIM-BEM. Các mục tiêu nghiên cứu đạt được qua từng giai đoạn được thể hiện bằng các ô tròn màu xanh lá.

2.2 Phương pháp nghiên cứu

* Phương pháp nội dung 1: Đánh giá tài liệu liên quan, khẳng định tầm quan trọng của các yếu tố thiết kế lớp vỏ công trình đến năng lượng tiêu thụ trong tòa nhà. Thu thập và xử lý bộ dữ liệu của một số công trình điển hình như tòa nhà trường đại học, tòa nhà văn phòng để khởi tạo mô hình thông tin trong BIM.

* Phương pháp nội dung 2: Phân tích cách thức chuyển đổi giữa BIM-BEM một cách hiệu quả. Tiến hành đánh giá các loại vật liệu xây dựng và tỷ lệ cấu thành của chúng để tìm ra phương án tối ưu về năng lượng trong các giai đoạn thiết kế. Thống kê và đề xuất cách xử lý các sai sót và xung đột thường gặp khi chuyển đổi giữa mô hình BIM-BEM

* Phương pháp nội dung 3: Khởi tạo một hệ thống mới bằng ngôn ngữ lập trình hiện đại để mô phỏng năng lượng công trình trên nền tảng ngôn ngữ năng lượng nhằm chuyển đổi mô hình BIM-BEM một cách tự động và hiệu quả.



Hình 2.1 Quy trình nghiên cứu tổng quát

CHƯƠNG 3 TỔNG QUAN NGHIÊN CỨU

3.1 Đánh giá về mô hình thông tin năng lượng công trình (BIM-BEM)

Ngày nay, hầu hết các công trình đều có xu hướng mô phỏng và đánh giá năng lượng tiêu thụ trước khi xây dựng nhằm hướng đến những công trình xây dựng tiết kiệm và hiệu quả, đặc biệt đối với các công trình nhà cao tầng. Việc mô phỏng năng lượng ban đầu giúp chủ đầu tư tiết kiệm được chi phí trong quá trình vận hành, giảm tải năng lượng tiêu thụ trong tòa nhà mà vẫn đảm bảo các tiện nghi cần cung cấp bên trong toàn nhà (Kamel & Memari, 2019). Việc đánh giá này được tiến hành dựa trên một hệ thống có tên gọi chung là Mô hình thông tin năng lượng công trình (BEM). Theo thống kê, chỉ riêng trong năm 2020, đã có hơn 553 nghiên cứu trên thế giới được công bố liên quan đến BEM trong việc mô phỏng năng lượng trong xây dựng (Malhotra et al., 2022). Các nghiên cứu mô phỏng dựa trên các số liệu thiết kế của công trình như vị trí địa lý, địa chất công trình, độ mở cửa cửa đi và cửa sổ, vật liệu thi công, hướng công trình, hình dáng công trình, khả năng truyền nhiệt của kính (Hong, Yan, D'Oca, & Chen, 2017; Reinhart & Cerezo Davila, 2016). Việc mô phỏng năng lượng nhằm mục đích phục vụ cho quá trình tối ưu thiết kế trong công trình xây dựng cũng đã được nhiều tác giả công bố trên các đề tài nghiên cứu (Malhotra et al., 2022). Tuy nhiên các công cụ này còn nhiều hạn chế khác nhau, cần phải được lựa chọn thích hợp để sử dụng với hiệu quả cao nhất đối với từng giai đoạn xây dựng, từng chuyên gia thiết kế khác nhau. Tầm quan trọng của việc phân tích năng lượng công trình trên thế giới đã đạt được một số thành tựu nhất định, tuy nhiên ở Việt Nam hiện còn rất hạn chế.

Bên cạnh đó, việc chuyển đổi từ BIM sang BEM để phân tích năng lượng là rất quan trọng để tối ưu hóa thiết kế và phân tích hiệu quả sử dụng năng lượng của các tòa nhà (Abd-Elnaby & Reffat, 2024). Quá trình chuyển đổi dữ liệu từ BIM sang BEM thường xảy ra mất mát dữ liệu do các yếu tố kỹ thuật khác nhau giữa hai mô hình. Một số thông tin quan trọng như vật liệu, cấu trúc xây dựng, thông số kỹ thuật của hệ thống HVAC, chi tiết cách nhiệt có thể không được chuyển đổi chính xác hoặc bị loại bỏ hoàn toàn khi chuyển đổi dữ liệu. Điều này dẫn đến

các phân tích năng lượng không phản ánh đúng thực tế của công trình, làm sai lệch kết quả. Do đó, cần có nghiên cứu nhận diện và tổng hợp xử lý lỗi trong quá trình chuyển đổi dữ liệu, nhằm duy trì tính toàn vẹn và đầy đủ của thông tin.

3.2 Đánh giá các tiêu chuẩn năng lượng hiện hành tại Việt Nam

Tại Việt Nam, QCVN 09:2017/BXD - Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về Các công trình xây dựng sử dụng năng lượng hiệu quả là quy chuẩn được Bộ Xây dựng ban hành nhằm quy định các yêu cầu kỹ thuật đối với việc sử dụng năng lượng trong công trình xây dựng, giúp tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng và giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường. Việc tuân thủ QCVN 09:2017/BXD không chỉ là yêu cầu bắt buộc đối với các công trình xây dựng tại Việt Nam mà còn là nền tảng để các dự án hướng tới các chứng nhận về công trình xanh (LEED, EDGE, Green Building, v.v.), giúp nâng cao giá trị của dự án trong mắt các nhà đầu tư và người tiêu dùng (Khanh Phuong, Chan, Do, Tuan, & Rinchumphu, 2024). Một trong những khuyết điểm của QCVN 09:2017/BXD là quy chuẩn này chưa đánh giá năng lượng được toàn bộ công trình, mà chỉ tập trung vào việc đánh giá các cấu kiện riêng lẻ như hệ thống vỏ công trình, cửa sổ, mái, tường, và hệ thống chiếu sáng, thông gió. Việc phát triển BIM kết hợp với BEM đã thúc đẩy sự ra đời của nhiều công cụ tích hợp để mô phỏng và đánh giá tiêu thụ năng lượng, nhằm giải quyết các vấn đề về quản lý năng lượng trong xây dựng (Oraiopoulos & Howard, 2022). Sự kết hợp này giúp tự động hóa các quy trình, tăng độ chính xác và phù hợp với các yêu cầu của QCVN 09:2017/BXD.

3.3 Tối ưu hoá đa mục tiêu trong môi trường BIM-BEM

Nhiều nghiên cứu hiện nay chỉ tập trung vào việc tối ưu hóa một số yếu tố trong mô hình BIM để tăng hiệu quả sử dụng năng lượng, nhưng sự tích hợp toàn diện giữa BIM, BEM và các thuật toán tối ưu hóa trong một hệ thống đầy đủ vẫn chưa được phổ biến. Hiện tại, việc tối ưu hóa năng lượng thông qua BIM-BEM vẫn phụ thuộc nhiều vào các công cụ thủ công và rời rạc, không có một hệ thống tích hợp hoàn chỉnh. Các nhà thiết kế và quản lý dự án cần một công cụ tự động giúp

dễ dàng đánh giá và tối ưu hóa các yếu tố liên quan đến hiệu quả năng lượng qua mọi giai đoạn của dự án.

Việc áp dụng các thuật toán máy học (ML), trí thông minh nhân tạo (AI) và Mô hình Thông tin năng lượng công trình (BIM-BEM) vào việc tối ưu hóa năng lượng trong công trình mang lại nhiều lợi ích đáng kể. Đây là một hướng nghiên cứu mới hiệu quả, và nhận được rất nhiều sự quan tâm của các nhà nghiên cứu trên thế giới (Alothaimen, Arditi, & Türkakın, 2023). Hiện tại, việc tối ưu hóa năng lượng thông qua BIM-BEM vẫn phụ thuộc nhiều vào các công cụ thủ công và rời rạc, không có một hệ thống tích hợp hoàn chỉnh. Việc tích hợp công cụ tối ưu hóa trực tiếp trong giai đoạn thiết kế kỹ thuật giúp giảm thiểu các vấn đề về tương thích và mất dữ liệu khi chuyển đổi giữa các phần mềm hoặc giai đoạn khác nhau. Điều này giúp cải thiện tính liên tục và độ chính xác trong suốt quá trình thiết kế và thi công.

Dựa trên những khoảng trống này, nghiên cứu đề xuất một khung quy trình tích hợp BIM-BEM để tối ưu hóa năng lượng theo từng giai đoạn của dự án xây dựng tại Việt Nam. Khung quy trình này sẽ đảm bảo rằng quy trình đánh giá năng lượng sẽ được thực hiện một cách toàn diện từ thiết kế sơ bộ, thiết kế cơ sở cho đến thiết kế kỹ thuật, chi tiết. Điều này không chỉ giúp tối ưu hóa hiệu quả năng lượng của công trình mà còn đảm bảo tuân thủ các tiêu chuẩn về tiết kiệm năng lượng, đặc biệt là QCVN 09:2017/BXD. Bên cạnh đó, trong nghiên cứu này, nghiên cứu sinh đề xuất thống kê các lỗi khi chuyển đổi dữ liệu và đề xuất các giải pháp sửa lỗi để đạt được mô hình BEM hiệu quả khi chuyển từ mô hình BIM.

CHƯƠNG 4 ĐÁNH GIÁ VÀ PHÂN TÍCH NĂNG LƯỢNG CÔNG TRÌNH TRONG GIAI ĐOẠN THIẾT KẾ SƠ BỘ

4.1 Các nhân tố ảnh hưởng đến tiêu thụ năng lượng trong công trình

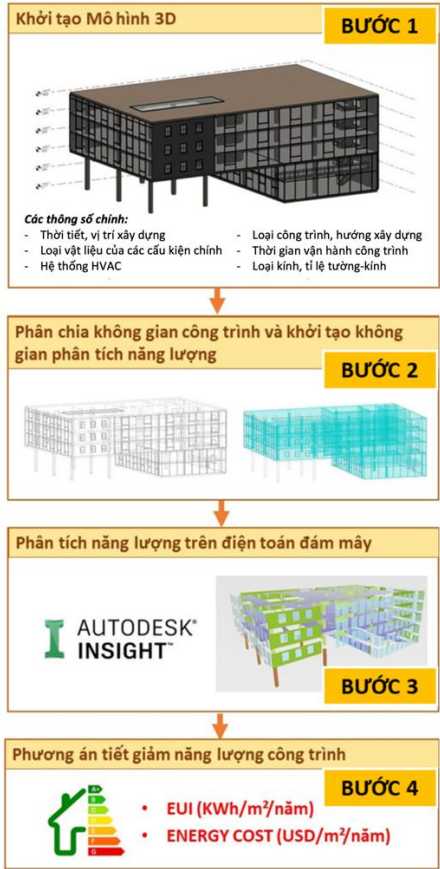
Trong giai đoạn thiết kế sơ bộ, việc đánh giá và tối ưu hóa các yếu tố ảnh hưởng đến tiêu thụ năng lượng là rất quan trọng để đảm bảo hiệu quả năng lượng cho công trình trong suốt vòng đời của nó. Các yếu tố như vị trí, hình dạng, vật liệu, chiếu sáng và thông gió tự nhiên cần được xem xét kỹ lưỡng để đảm bảo rằng công trình không chỉ đáp ứng các yêu cầu về thẩm mỹ và chức năng mà còn tiết kiệm năng lượng, bảo vệ môi trường và phù hợp với các tiêu chuẩn năng lượng hiện hành. Đặc biệt trong đó, các thiết kế vỏ bọc công trình phải được phân tích kỹ lưỡng và tối ưu hoá trong bối cảnh khan hiếm năng lượng hiện nay để giảm mức tiêu thụ năng lượng trong các hoạt động của tòa nhà trong tương lai.

Đặc biệt trên nền tảng BIM nói chung và BEM nói riêng, có nhiều nghiên cứu đã được công bố về việc ứng dụng BIM trong thiết kế vỏ bọc và phân tích năng lượng của các dự án thực tế dựa trên số liệu của phân tích bề mặt và không gian. Sự kết hợp giữa BIM và BEM được công nhận là một phương thức mới, đánh giá hiệu quả để đưa ra quyết định thiết kế và đầu tư cho các dự án xây dựng ngay trong giai đoạn ban đầu

4.2 Quy trình nghiên cứu

Tại giai đoạn thiết kế sơ bộ, nghiên cứu sinh đề xuất quy trình nghiên cứu mô phỏng năng lượng công trình thông qua 4 bước chính, được thể hiện tại Hình 4.1. Phân tích này cho phép các kiến trúc sư và nhà quản lý đưa ra các điều chỉnh trong thiết kế nhằm tối ưu hóa hiệu suất năng lượng trong giai đoạn thiết kế sơ bộ. Các công cụ này giúp thực hiện tính toán nhanh chóng các chỉ số năng lượng như EUI (Energy Use Intensity), hiệu quả hệ thống HVAC, và tiềm năng giảm thiểu tiêu thụ năng lượng thông qua việc cải thiện thiết kế. Việc áp dụng phương pháp này giúp các kiến trúc sư và kỹ sư có cái nhìn tổng quan hơn về hiệu quả năng lượng ngay từ giai đoạn thiết kế sơ bộ, từ đó có thể dễ dàng điều chỉnh và tối ưu hóa thiết kế trước khi đi vào giai đoạn thiết kế chi tiết và thi công, giảm

thiểu chi phí vận hành trong tương lai và đảm bảo công trình đạt được các tiêu chuẩn năng lượng hiệu quả như QCXDVN 09:2017/BXD.



Hình 4.1 Quy trình nghiên cứu của phương pháp trong giai đoạn thiết kế sơ bộ

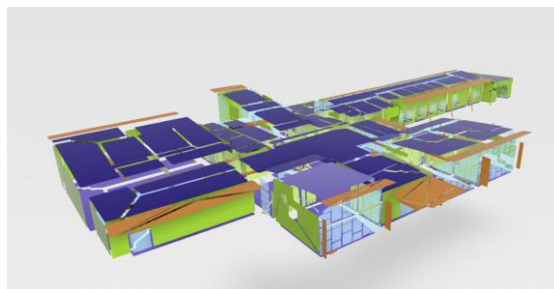
4.3 Các vấn đề chính và giải pháp xử lý khi chuyển đổi mô hình BIM-BEM

Việc thống kê các lỗi khi chuyển đổi từ BIM sang BEM là một bước quan trọng để đảm bảo độ chính xác trong việc phân tích năng lượng và tối ưu hóa mô hình xây dựng. Quá trình chuyển đổi này thường gặp nhiều thách thức do sự khác biệt trong cách các phần mềm BIM và BEM xử lý thông tin về không gian, vật liệu và hình học tòa nhà. Việc liệt kê và phân loại các lỗi giúp người thực hiện dự án

nhận diện những vấn đề thường gặp và tìm ra cách khắc phục. Những lỗi phổ biến như việc phòng không được bao bọc đúng cách, độ dày cách nhiệt không đúng chuẩn, hoặc các bề mặt trong mô hình bị thoái hóa sẽ ảnh hưởng trực tiếp đến kết quả mô phỏng năng lượng và độ chính xác của dự báo tiêu thụ năng lượng. Bảng tổng hợp các lỗi được xây dựng không chỉ cung cấp thông tin chi tiết về các vấn đề phát sinh khi chuyển đổi từ BIM sang BEM mà còn đóng vai trò như một bộ hướng dẫn quan trọng cho các kỹ sư dựng hình BIM. Bằng cách liệt kê các lỗi thường gặp cùng với mô tả và giải pháp cụ thể, bảng này giúp kỹ sư nhận biết trước những yếu tố có thể gây ra sai sót, từ đó có thể chủ động điều chỉnh ngay từ giai đoạn xây dựng mô hình BIM

4.4 Mô phỏng và phân tích các phương án thiết kế lớp vỏ công trình

Mô hình năng lượng được đưa vào công cụ phân tích năng lượng để bóc tách các lớp vật liệu và tiến hành đưa ra các phương án thiết kế cùng chỉ số năng lượng dự báo (Hình 4.2). Công cụ mô phỏng cũng xuất ra các biểu đồ về cường độ sử dụng năng lượng (EUI-KWh/m²/năm) của các phương án được mô phỏng với nhiều phương án thay thế khác nhau. Đặc biệt đưa ra được chỉ số thiết kế tốt nhất tương ứng với chỉ số EUI đạt hiệu quả cao nhất. Trên thế giới, nhiều quốc gia tính toán EUI (kWh/m²/year) và yêu cầu nó như một chứng chỉ đánh giá năng lượng cho tất cả những người mua nhà hoặc người quản lý xây dựng (Star, 2021b)

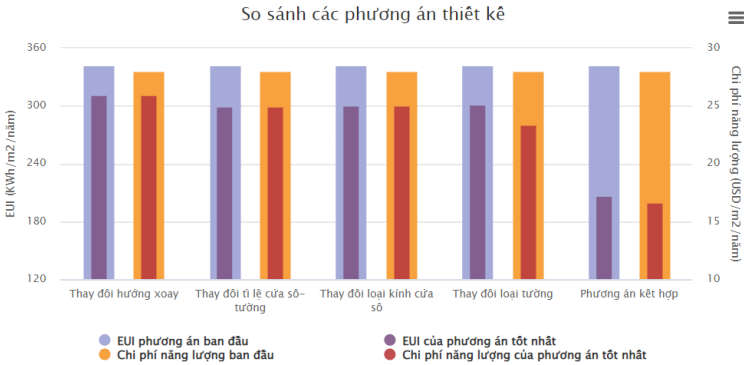


Hình 4.2 Mô hình công trình phân rã khi tiến hành mô phỏng năng lượng

Nghiên cứu sinh sẽ tập trung phân tích các yếu tố tác động lớn nhất đến chỉ số EUI của công trình trên công cụ Autodesk Insight để có thể chọn ra một trường

hợp lý tương với các chỉ số năng lượng hợp lý nhất. Dựa trên kết quả thu nhập từ 247 trường, trong nghiên cứu và công trình này, nghiên cứu sinh đề xuất thay đổi và mô phỏng năng lượng trên 4 yếu tố chính: Hướng xoay công trình (BO), tỉ lệ cửa và tường hướng Đông (WWR-East), loại kính cửa sổ (WG) và loại tường bao che (WC).

Bên cạnh đó dựa trên các số liệu mô phỏng từ 4 yếu tố thiết kế trên, nghiên cứu sinh đã lựa chọn phương án đề xuất, là sự kết hợp của việc thay đổi 4 yếu tố với các giá trị tốt nhất được mô phỏng trong các phương án được chọn. Từ những chỉ số năng lượng được đưa ra, có thể thấy rõ sự tiết kiệm năng lượng của tòa nhà khi tiến hành thay đổi phương án thiết kế theo đề xuất của mô hình năng lượng ngay trong giai đoạn thiết kế sơ bộ ban đầu.



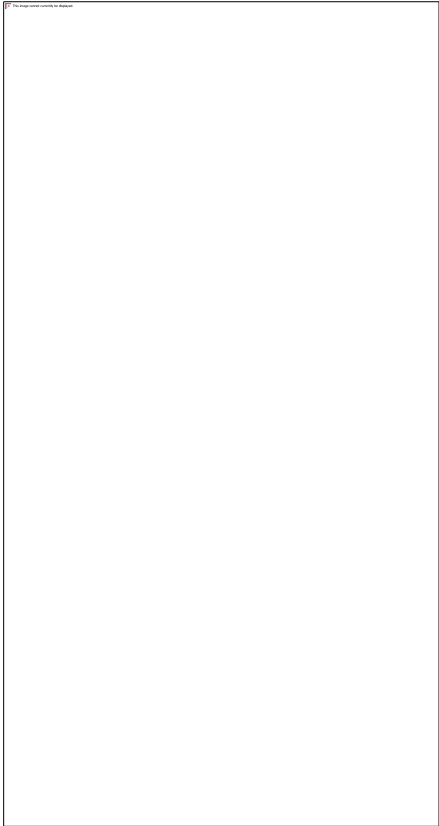
Hình 4.3 Biểu đồ thể hiện sự so sánh kết quả của các phương án mô phỏng

Trong bối cảnh hiện nay, việc sử dụng các mô hình mô phỏng kết hợp với các tiêu chuẩn quy định rõ ràng từ QCXDVN 09:2017/BXD sẽ giúp các nhà quản lý và kiến trúc sư đưa ra các quyết định thiết kế tối ưu về hiệu quả năng lượng ngay từ giai đoạn thiết kế ban đầu. Ngoài ra, việc áp dụng mô hình đề xuất để mô phỏng 1 công trình thực tế có ý nghĩa rất quan trọng trong việc đánh giá việc sử dụng năng lượng trong một tòa nhà, đưa ra các đề xuất cải tạo tòa nhà có sẵn hướng đến một tòa nhà thông minh, tiết kiệm năng lượng.

CHƯƠNG 5 ĐÁNH GIÁ VÀ TỐI ƯU LOẠI VẬT LIỆU LỚP VỎ TÒA NHÀ TRONG GIAI ĐOẠN THIẾT KẾ KỸ THUẬT

5.1 Quy trình nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu này sẽ giúp tối ưu hóa việc lựa chọn vật liệu ngay từ giai đoạn thiết kế kỹ thuật, giúp công trình không chỉ tuân thủ tiêu chuẩn năng lượng mà còn đạt hiệu quả cao trong việc sử dụng năng lượng trong suốt vòng đời của dự án. Việc mô phỏng và lựa chọn các vật liệu có hiệu suất năng lượng cao giúp tối ưu hóa thiết kế, giảm tiêu thụ năng lượng trong quá trình sử dụng công trình. Điều này dẫn đến việc tiết kiệm chi phí vận hành và bảo vệ môi trường.



Hình 5.1 Sơ đồ nghiên cứu tổng quát tại giai đoạn thiết kế kỹ thuật

5.2 Mô phỏng và đánh giá năng lượng các loại tường bao che

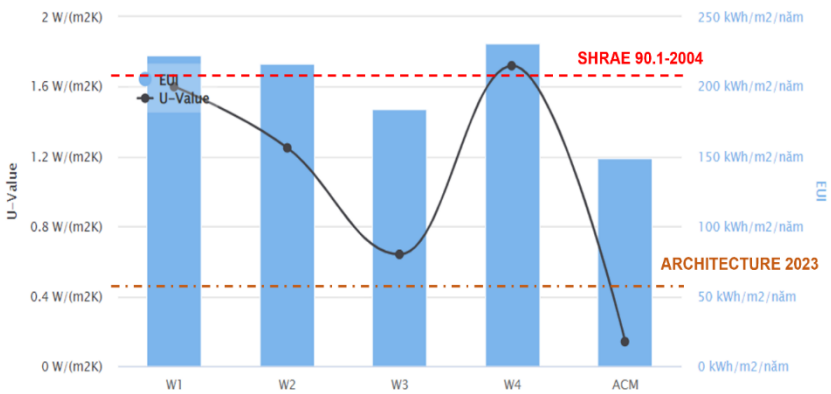
Trong giai đoạn thiết kế cơ sở, việc áp dụng 6D-BIM và đánh giá năng lượng vào công trình được xem là một lĩnh vực còn rất mới tại các công trình tại Việt Nam. Việc đánh giá các loại tường bao che phổ biến đang sử dụng ở Việt Nam theo QCXDVN 09:2017/BXD là một bước quan trọng nhằm đảm bảo hiệu suất sử dụng năng lượng hiệu quả, đáp ứng các tiêu chuẩn về cách nhiệt, tiết kiệm năng lượng và bền vững. Với các thông số khác nhau cho các loại tường, mô hình BIM-BEM lần lượt thay đổi các đặc tính của loại tường bên ngoài của tòa nhà và cung cấp kết quả mô phỏng năng lượng tương ứng một cách trực quan và nhanh chóng. Autodesk Insight lấy dữ liệu đầu vào liên quan đến hình học, vật liệu, lịch trình sử dụng và hệ thống HVAC của tòa nhà. Dữ liệu này có thể bao gồm các thông tin như kích thước và hình dạng tòa nhà, vị trí cửa sổ và cửa ra vào, vật liệu xây dựng và đặc tính nhiệt, mô hình sử dụng và chi tiết hệ thống sưởi, thông gió và điều hòa không khí (HVAC).

Bảng 5.1. Kết quả mô phỏng năng lượng của 5 loại tường phân tích

Ký hiệu	Loại tường	EUI (KWh/m ² /year)	Energy Save (%)
W1	Tường xây gạch rỗng nung	223	-2.8%
W2	Tường gạch bê tông nhẹ	217	0.0%
W3	Tường 3D- Panel	184	15.2%
W4	Tường bê tông nặng kết hợp với tường gạch bê tông khí chưng áp AAC	231	-6.5%
ACM	Tường ACM	149	31.3%

Hình 5.2 cho thấy loại tường bên ngoài có ảnh hưởng lớn đến mức tiêu thụ năng lượng của tòa nhà. Theo dữ liệu mô hình hóa năng lượng, giá trị EUI cho tòa nhà nghiên cứu điển hình này phải dưới 210 kWh/m²/năm để đáp ứng ASHRAE 90.1 và dưới 60 kWh/m²/năm để đáp ứng các yêu cầu ARCHITECTURE 2023. Đây

là tiêu chuẩn mới tập trung vào việc đánh giá tác động của carbon sinh ra ở giai đoạn thiết kế ban đầu (Maglad et al., 2023).



Hình 5.2 So sánh kết quả mô phỏng của các loại tường với các tiêu chuẩn

Trong chương này, nghiên cứu sinh cũng đã lựa chọn loại tường để đánh giá thành công theo khung quy trình tổng quát đề xuất. Khi khung quy trình đánh giá tổng quát đã được kiểm chứng hiệu quả với trường hợp loại tường, nó sẽ tạo tiền đề để áp dụng cho các yếu tố khác như mái, kính, và hệ thống cách nhiệt, đảm bảo rằng toàn bộ công trình đạt được hiệu quả năng lượng tối ưu trong giai đoạn thiết kế cơ sở. Việc đưa ra một phương pháp đánh giá cho một trường hợp cụ thể như loại tường trong giai đoạn thiết kế kỹ thuật có ý nghĩa quan trọng trong việc chứng minh tính hiệu quả và tính khả thi của khung quy trình đánh giá tổng quát mà nghiên cứu đang đề xuất. Khung quy trình này cung cấp một khung đánh giá linh hoạt, có thể tùy chỉnh theo nhu cầu cụ thể của từng dự án, giúp đảm bảo tính hiệu quả và tiết kiệm năng lượng cho các công trình đa dạng về quy mô và chức năng. Việc áp dụng khung quy trình đánh giá tổng quát giúp đảm bảo rằng công trình tuân thủ các tiêu chuẩn về năng lượng và xây dựng, chẳng hạn như QCXDVN 09:2017/BXD tại Việt Nam. Nhờ phương pháp này, các bộ phận của công trình đều được kiểm tra, đối chiếu với các yêu cầu về hiệu suất năng lượng, từ đó đưa ra các đề xuất cải tiến để tuân thủ các quy định.

CHƯƠNG 6 ĐÁNH GIÁ VÀ TỐI ƯU HOÁ LỚP CẤU TẠO VẬT LIỆU HƯỚNG ĐẾN CÔNG TRÌNH SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG HIỆU QUẢ TRONG GIAI ĐOẠN THIẾT KẾ CHI TIẾT

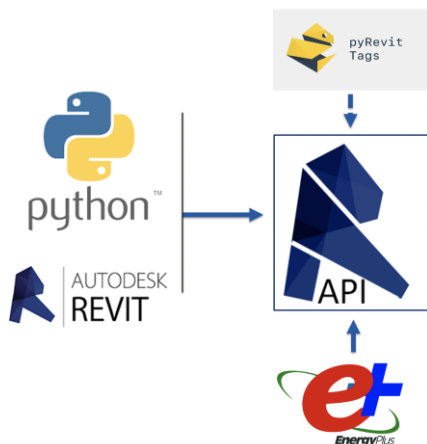
6.1 Giới thiệu

Giai đoạn thiết kế chi tiết, thiết kế bản vẽ thi công đóng vai trò quyết định trong việc chuyển đổi các giải pháp thiết kế ban đầu từ giai đoạn sơ bộ và cơ sở thành những lựa chọn kỹ thuật chi tiết và khả thi để thi công thực tế. Việc đánh giá kỹ lưỡng các lớp cấu tạo không chỉ đảm bảo hiệu suất năng lượng tối ưu mà còn đảm bảo công trình tuân thủ các tiêu chuẩn nghiêm ngặt như QCVN 09:2017/BXD, giúp nâng cao hiệu quả năng lượng và độ bền vững của công trình. So với hai giai đoạn trước, giai đoạn thiết kế này phát triển hơn về mặt ứng dụng các công cụ mô phỏng chi tiết để kiểm chứng hiệu suất của các lớp cấu tạo. Các công cụ như Autodesk Revit kết hợp với EnergyPlus được sử dụng để mô phỏng chính xác mức độ tiêu thụ năng lượng và hiệu suất cách nhiệt của từng lớp vật liệu. Giai đoạn thiết kế chi tiết không chỉ dừng lại ở việc đề xuất giải pháp mà còn đưa ra các phương án cụ thể cho từng lớp cấu tạo của vỏ bọc công trình, đặc biệt xét đến chi phí thi công.

6.2 Phương pháp nghiên cứu

Trong chương này, nghiên cứu sinh đề xuất xây dựng một phương pháp sử dụng thuật toán tối ưu hoá đa mục tiêu để tiến hành tối ưu hoá năng lượng và chi phí của một bộ phận trong công trình thông qua một công cụ được tích hợp trong Autodesk Revit. Thuật toán tối ưu hóa đa mục tiêu cho phép giải quyết các xung đột giữa hai hoặc nhiều mục tiêu khác nhau, chẳng hạn như tối ưu hóa hiệu suất năng lượng và giảm chi phí. Thay vì chỉ tập trung vào một yếu tố, phương pháp này cung cấp các giải pháp tối ưu cân bằng giữa chi phí xây dựng và hiệu quả sử dụng năng lượng. Hệ thống có thể tự động thu thập dữ liệu của công trình về các yếu tố môi trường, hiệu suất hệ thống và trạng thái thiết kế tòa nhà nhằm tiến hành mô phỏng năng lượng một cách tự động. Các dữ liệu này lấy trực tiếp từ mô hình BIM nên đảm bảo tính cập nhật cho mô hình năng lượng BEM. Đây được xem là một giải pháp tự động hóa để mô phỏng và tối ưu hóa năng lượng

thông qua mô hình BIM của công trình mà không cần sự can thiệp thủ công. Nghiên cứu kỳ vọng mang đến một quy trình và công cụ mới để các nhà quản lý và thiết kế sử dụng nhằm tiết kiệm năng lượng và chi phí trong công trình xây dựng.

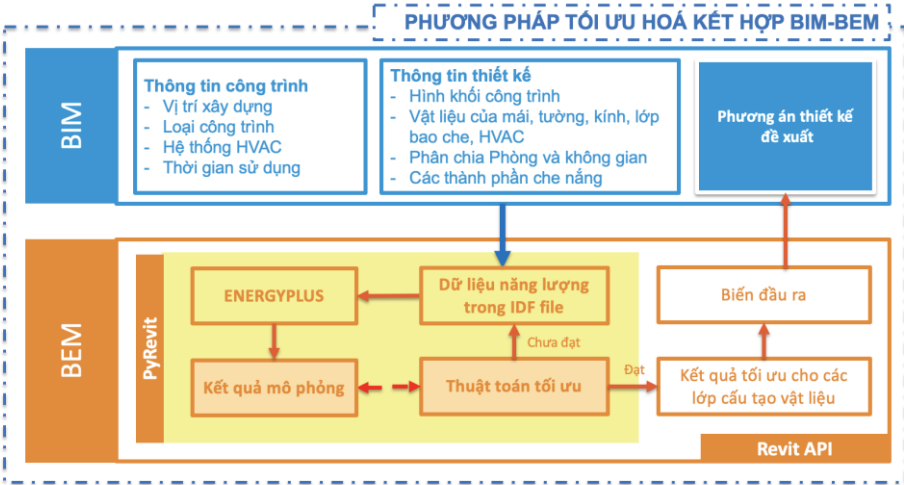


Hình 6.1 Sơ đồ thể hiện sự kết hợp các nền tảng và ngôn ngữ trong nghiên cứu

Việc tích hợp mô phỏng năng lượng và tối ưu đa mục tiêu trong môi trường BIM yêu cầu sự kết hợp linh hoạt giữa các công cụ và thư viện như Revit, EnergyPlus, Python, và PyRevit. Nghiên cứu này đề xuất một khung quy trình tổng thể để xây dựng hệ thống này, giúp tối ưu hóa hiệu suất năng lượng và quản lý chi phí hiệu quả cho các dự án xây dựng trong giai đoạn thiết kế kỹ thuật. Phương pháp sử dụng một hệ thống sẽ được khởi chạy thông qua 5 bước chính để tiến hành mô phỏng và tối ưu thiết kế của một bộ phận của công trình.

Với các nghiên cứu hiện nay, hầu như chưa có nghiên cứu nào đề xuất 1 phương pháp phân tích, mô phỏng và tối ưu hóa năng lượng được tích hợp. Do đó với việc thành công xây dựng hệ thống EP-MOJS trong phương pháp này, nghiên cứu hy vọng giúp các nhà quản lý, nhà thiết kế dễ dàng trong việc lựa chọn phương án thiết kế phù hợp trong thời gian ngắn, cân nhắc về việc sử dụng năng lượng hiệu quả của công trình sau khi đưa vào vận hành khai thác. Đặc biệt công

cụ sử dụng được ngay trên chính Revit và cho ra kết quả có thể thay thế vào ngay mô hình BIM đang phân tích.



Hình 6.2. Quy trình thực hiện nghiên cứu của hệ thống đề xuất

6.3 Đánh giá khung quy trình thông qua phân tích và mô phỏng đối tượng tường nhiều lớp

Việc tối ưu hóa độ dày của các lớp tường nhiều lớp được lựa chọn nhằm kiểm thử phương pháp nghiên cứu kết hợp BIM-BEM là một vấn đề quan trọng, đặc biệt trong bối cảnh tăng cường hiệu quả sử dụng năng lượng và tuân thủ các quy chuẩn năng lượng trong xây dựng. Trong bối cảnh Việt Nam đang áp dụng chặt chẽ các tiêu chuẩn về sử dụng năng lượng hiệu quả như QCXDVN 09:2017/BXD, việc kiểm soát các yếu tố tiêu thụ năng lượng của công trình xây dựng là vô cùng quan trọng. Lớp tường bao che đóng vai trò quyết định trong việc kiểm soát thất thoát nhiệt và giảm năng lượng tiêu thụ trong quá trình vận hành tòa nhà. Lớp tường với độ dày và loại vật liệu thích hợp giúp duy trì hệ số U-Value và R-Value đạt yêu cầu về truyền nhiệt và nhiệt trở, từ đó giảm chi phí năng lượng cho hệ thống sưởi ấm, làm mát.

6.3.1 Các chỉ số kỹ thuật liên quan đến phân tích tường nhiều lớp

Vật liệu cách nhiệt trong tường có tác động trực tiếp và tích cực đến chỉ số Cường độ Sử dụng Năng lượng (EUI) của tòa nhà. Bằng cách giảm tổn thất nhiệt, cải thiện hiệu suất hệ thống HVAC, ổn định nhiệt độ nội thất, giảm sử dụng năng lượng định, và hỗ trợ thiết kế hiệu quả năng lượng, tường cách nhiệt giúp tối ưu hóa hiệu suất năng lượng tổng thể của tòa nhà. Tuy nhiên, việc mua và lắp đặt lớp cách nhiệt làm tăng chi phí ban đầu của công trình. Do đó, một phân tích kinh tế nên được thực hiện để ước tính độ dày lớp cách nhiệt tối ưu giúp giảm thiểu tổng chi phí bao gồm cả lớp cách nhiệt và chi phí tiêu thụ năng lượng (Al-Sanea et al., 2003). Công thức tính toán về tổng chi phí liên quan đến vật liệu cách nhiệt đã được nhiều nghiên cứu sử dụng và đánh giá (Ozel, 2014). Tổng chi phí (C_t) trong trường hợp này được phát biểu là tổng chi phí của vật liệu cách nhiệt và giá trị hiện tại của chi phí tiêu thụ năng lượng trong suốt thời gian sử dụng của tòa nhà.

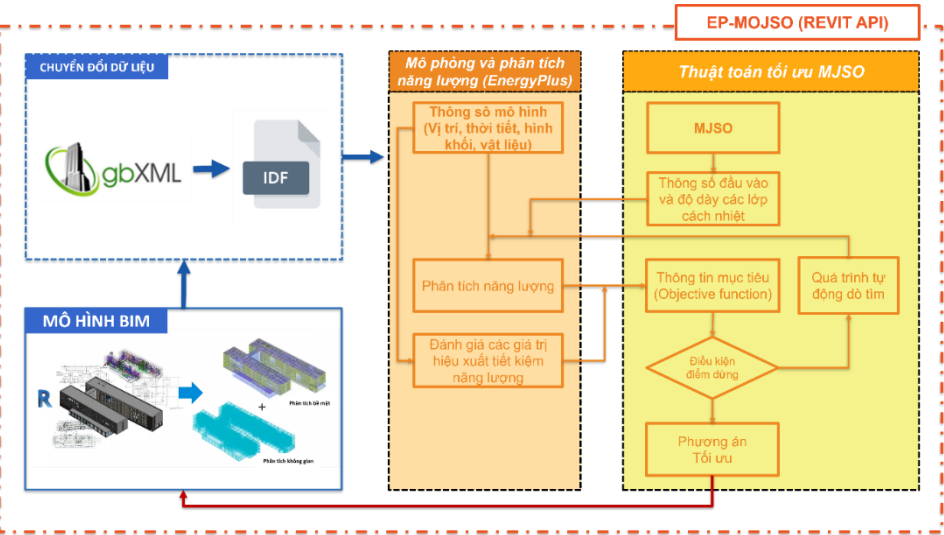
$$C_t = PWF \times \left(\frac{Q_{F-ep} \times C_F}{H_u} + Q_{E-ep} \times C_E \right) + (C_A \times L_A + C_B \times L_B) \times S$$

6.3.2 Lựa chọn và đánh giá thuật toán tối ưu

Nghiên cứu này đề xuất sử dụng thuật toán Multi-Objective Jellyfish Search (MOJS) (J. S. Chou & D. N. Truong, 2020) để can thiệp vào Input Data File (IDF) được xuất ra từ mô hình BIM, nhằm tự động tối ưu hóa các chỉ số thiết kế liên quan đến công trình, cụ thể là độ dày các lớp cấu tạo của tường nhằm đạt được thiết kế tốt nhất tương ứng với chỉ số cường độ sử dụng năng lượng EUI và chi phí sử dụng năng lượng C_t thấp nhất. Trong nghiên cứu này, nghiên cứu sinh cũng tiến hành đánh giá, so sánh hiệu suất của MOJSO và NSGA-II nhằm mục đích đề xuất một hướng tối ưu hóa mới trong BIM với việc sử dụng thuật toán mới MOJSO, mở ra một phương pháp tối ưu mới trong BIM trong lĩnh vực tối ưu hóa năng lượng của công trình. Hiện nay, chưa có nghiên cứu học thuật nào việc áp dụng MOJSO trong BIM để tối ưu hóa thiết kế và hiệu quả năng lượng.

6.3.3 Quy trình xây dựng hệ thống tích hợp EP-MOJS

Trong nghiên cứu này, nghiên cứu sinh sẽ tiến hành tích hợp thuật toán MOJSO vào hệ thống tích hợp có tên gọi là EP-MOJS, để giúp người phân tích năng lượng dễ dàng trong việc tối ưu hoá các thành phần của công trình mà mình mong muốn thông qua môi trường BIM-BEM trực tiếp



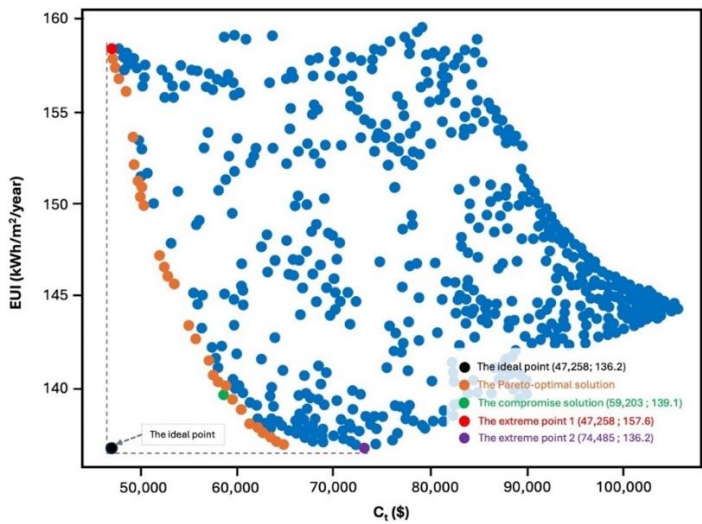
Hình 6.3. Sơ đồ thể hiện cấu trúc của hệ thống tích hợp EP-MOJS

6.3.4 Đánh giá hệ thống tích hợp và phân tích kết quả

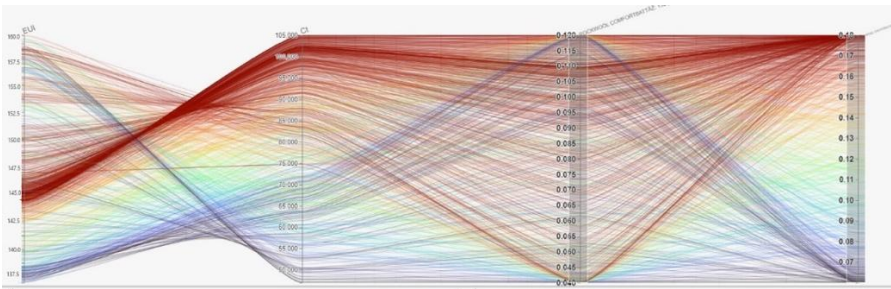
Đối với phương pháp này, nghiên cứu sinh tiến hành khởi chạy hệ thống EP-MOJS để phân tích loại tường nhiều lớp như tường ACM, việc lựa chọn khoảng cách và độ dày các lớp vật liệu sẽ quyết định đến giá trị U-Value của tường và chi phí xây dựng của công trình. Hệ thống EP-MOJS sử dụng thuật toán tối ưu hóa đa mục tiêu MOJSO để tìm kiếm các giải pháp tốt nhất trên mặt Pareto. Thuật toán sẽ điều chỉnh các giá trị (L_A, L_B) để giảm thiểu đồng thời EUI và C_t .

Bên cạnh đó, dựa trên kết quả mô phỏng, hệ thống EP-MOJS cũng đã thể hiện kết quả mô phỏng và tối ưu qua việc sử dụng biểu đồ nhiều lớp, cung cấp kết quả trực quan cho người dùng như trên (Hình 6.). Biểu đồ nhiều lớp (multi-layer

chart) trong xây dựng là một công cụ hữu ích để thể hiện các phương án thiết kế với nhiều biến khác nhau.



Hình 6.4 Biểu đồ thể hiện kết quả tối ưu hóa của nghiên cứu



Hình 6.5 Biểu đồ nhiều lớp thể hiện các kết quả mô phỏng tương ứng với từng phương án thiết kế

Đối với nghiên cứu ở hiện tại, hiện chưa có hệ thống toàn diện nào tích hợp được khả năng chuyển đổi dữ liệu BIM sang BEM và tính năng mô phỏng - tối ưu hóa năng lượng trong một chu trình khép kín. Bên cạnh đó, EP-MOJS sử dụng loại biểu đồ nhiều lớp để hiển thị kết quả hiện trực tiếp trên môi trường dựng hình.

CHƯƠNG 7 KẾT QUẢ VÀ KIẾN NGHỊ

7.1 Kết quả đạt được so với các mục tiêu đề ra

Trên cơ sở nghiên cứu lý thuyết, tổng hợp tài liệu, phân tích mô phỏng và xây dựng công cụ ứng dụng, luận án đã hoàn thành việc giải quyết 4 mục tiêu nghiên cứu đã đề ra, cụ thể như sau:

Thứ nhất, luận án đã đánh giá và khẳng định tầm quan trọng của việc tích hợp BIM và BEM trong thiết kế công trình sử dụng năng lượng hiệu quả. Qua tổng quan 553 nghiên cứu quốc tế và phân tích thực tiễn, luận án chỉ ra rằng mô hình BIM-BEM giúp dự báo chính xác hiệu suất vận hành, hỗ trợ tối ưu hóa thiết kế và giảm chi phí vận hành.

Thứ hai, luận án đã đề xuất khung quy trình tích hợp BIM-BEM cho từng giai đoạn thiết kế (sơ bộ, kỹ thuật, chi tiết), trình bày chi tiết trong Chương 4 và 5. Việc áp dụng quy trình này vào các công trình mẫu cho thấy khả năng giảm thời gian chuẩn bị mô hình mô phỏng từ 25–30%.

Thứ ba, luận án đã thống kê, phân loại và đề xuất cách xử lý 12 nhóm lỗi chuyển đổi BIM-BEM, tổng hợp thành bộ khuyến cáo giúp giảm sai số mô phỏng năng lượng khoảng 15% so với mô hình chưa kiểm tra, góp phần tăng độ chính xác và hiệu quả của quá trình mô phỏng.

Thứ tư, luận án đã xây dựng hệ thống tự động hóa EP-MOJS, tích hợp mô hình hóa, mô phỏng và tối ưu hóa thiết kế lớp vỏ công trình bằng thuật toán tối ưu đa mục tiêu MOJSO. Kết quả thực nghiệm cho thấy hệ thống giúp giảm EUI trung bình 18,5%, tiết kiệm chi phí lớp vỏ từ 10–12%, đồng thời rút ngắn đáng kể thời gian tối ưu hóa so với phương pháp thủ công.

Những kết quả này không chỉ có ý nghĩa lý luận mà còn có giá trị thực tiễn cao, đóng góp tích cực cho việc nâng cao hiệu quả thiết kế công trình tiết kiệm năng lượng và phát triển bền vững tại Việt Nam.

7.2 Hạn chế của nghiên cứu

Các mô hình BIM lớn và chi tiết có thể gây quá tải cho các hệ thống tính toán hiện có, dẫn đến tình trạng chậm trễ hoặc thậm chí không thể hoàn thành quá trình tối ưu hóa. Hiện trong nghiên cứu này mới chỉ phân tích về khía cạnh chi phí và năng lượng, điều này có thể dẫn đến các giải pháp tối ưu không thực sự tối ưu trong mọi khía cạnh hoặc không phù hợp với các yêu cầu cụ thể của dự án. Mặc dù thuật toán MOJS có thể mang lại các giải pháp tốt trong các trường hợp nghiên cứu này, nhưng cần sự đánh giá thêm ở nhiều loại dự án khác nhau trong các nghiên cứu trong tương lai để khẳng định hiệu suất của nó trong môi trường BIM.

7.3 Kiến nghị hướng nghiên cứu tương lai

Nghiên cứu có thể tiếp tục phát triển và hoàn thiện khung quy trình này bằng cách tích hợp thêm các yếu tố khác như chi phí xây dựng, tiến độ dự án, và các mục tiêu bền vững khác. Ngoài ra, việc Sử dụng các thuật toán máy học để phân tích dữ liệu mô phỏng và dự báo các số liệu còn lại trong quá trình thiết kế là một hướng đi tiềm năng để nâng cao hiệu quả của nghiên cứu trong tương lai. Điều này giúp tối ưu hóa quá trình mô phỏng, giảm thiểu thời gian cần thiết và tăng độ chính xác của dự báo kết quả.

Việc áp dụng cho các loại hình công trình khác nhau sẽ giúp phát triển các giải pháp tùy chỉnh theo yêu cầu và mục tiêu cụ thể của từng loại dự án, đồng thời cải thiện khả năng mở rộng của khung quy trình. Bên cạnh đó, cần đẩy mạnh công tác đào tạo nguồn nhân lực, trang bị kỹ năng ứng dụng BIM-BEM cho kiến trúc sư, kỹ sư và nhà quản lý dự án, góp phần thúc đẩy thiết kế công trình xanh, tiết kiệm năng lượng và đáp ứng yêu cầu phát triển bền vững trong ngành xây dựng Việt Nam.