

QUY TRÌNH THIẾT KẾ HỆ FAÇADE DỰA TRÊN CÔNG CỤ MÔ PHỎNG NĂNG LƯỢNG

FAÇADE SYSTEM DESIGN PROCESS ON THE BASIS OF ENERGY SIMULATION TOOLS

Trần Phương¹, Trương Đình Thái², Vũ Trung Kiên³

^{1,2,3} Viện Khoa học công nghệ xây dựng

Email: ¹phuongtran.ibst@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.59382/pro.intl.con-ibst.2023.ses2-13>

TÓM TẮT: Façade không chỉ là lớp vỏ công trình mang lại vẻ đẹp thẩm mỹ cho công trình mà còn có chức năng điều hoà nhiệt độ, ánh sáng và thông gió tự nhiên cho công trình. Nằm trong nhóm giải pháp thiết kế thụ động nhằm mang lại hiệu quả tiết kiệm năng lượng cho toà nhà, tối ưu hoá thiết kế façade ngày càng được các chủ đầu tư cũng như kiến trúc sư quan tâm và đầu tư nhiều thời gian, kinh phí để thực hiện. Với công cụ mô phỏng năng lượng toà nhà dựa trên nền tảng tính toán trao đổi nhiệt và mô phỏng động lực học dòng chảy (Computational Fluid Dynamic-CFD), nhóm tác giả xây dựng quy trình tính toán tối ưu hoá hệ façade theo các tham số vị trí, hướng, diện tích thoáng và vật liệu. Quy trình tính toán sẽ là công cụ hữu ích cho các kiến trúc sư khi triển khai ý tưởng thiết kế, giúp đạt hiệu quả tối ưu về thẩm mỹ và tiết kiệm năng lượng của toà nhà. Bài báo trình bày quy trình tính toán và áp dụng cho công trình nhà lắp ghép gỗ 2 tầng tại Viện Khoa học công nghệ xây dựng.

TỪ KHÓA: Façade, hiệu quả năng lượng, tiện nghi nhiệt, CFD

ABSTRACTS: The façade is not only the outer layer of a building that brings aesthetic beauty to the structure but also serves the function of regulating temperature, natural lighting, and ventilation for the building. Belonging to the group of passive design solutions aimed at achieving energy efficiency for the building, optimizing façade design has increasingly garnered attention and investment of time and resources from investors and architects alike. With the aid of building energy simulation tools based on heat exchange calculations and Computational Fluid Dynamics (CFD) modeling, the authors have developed a process to optimize façade systems based on parameters such as position, orientation, ventilation area, and materials. This calculation process will serve as a valuable tool for architects in implementing their design ideas, helping achieve optimal results in terms of aesthetics and energy savings for the building. The paper presents the calculation process and its application to a two-story wooden modular building at the Institute of Building Science and Technology.

KEYWORDS: façade, energy efficiency, thermal comfort, CFD.

1. GIỚI THIỆU

Hiệu quả năng lượng toà nhà có ảnh hưởng lớn đến giai đoạn khai thác sử dụng công trình bao gồm về: chi phí vận hành và tiện nghi của công trình. Hiệu quả năng lượng của toà nhà được đánh giá thông qua mức tiêu thụ năng lượng để sử dụng các thiết bị làm mát, sưởi, thông gió và chiếu sáng. Tiện nghi của công trình được quy định bởi các yếu tố nhiệt độ, độ ẩm, chất lượng không khí và thông gió của công trình. Façade đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao hiệu quả năng lượng và tiện nghi của công trình. Hiện nay, khi yêu cầu về kiến trúc, tiện nghi ngày càng tăng lên, lớp vỏ công

trình không chỉ có vai trò ngăn che bảo vệ công trình mà còn có tác dụng là đóng vai trò thẩm mỹ, giúp cho công trình không chỉ đáp ứng được đầy đủ các công năng sử dụng mà còn có vẻ đẹp hài hoà tạo điểm nhấn cho công trình. Phương pháp mô phỏng năng lượng đã được áp dụng trong thiết kế công trình [1] [2]. Quá trình thiết kế façade cần có sự phân tích hiệu quả về năng lượng cũng như cần đáp ứng các yêu cầu về tiện nghi nhiệt cho công trình.

Việc phân tích hiệu quả năng lượng và tiện nghi nhiệt của façade được thực hiện thông qua sử dụng công cụ mô phỏng năng lượng ví dụ DesignBuilder [3]. Việc xây dựng các tham số thiết

kế cho hệ façade được thực hiện thông qua việc phân tích các kết quả mô phỏng về hiệu quả năng lượng và tiện nghi về nhiệt bên trong công trình.

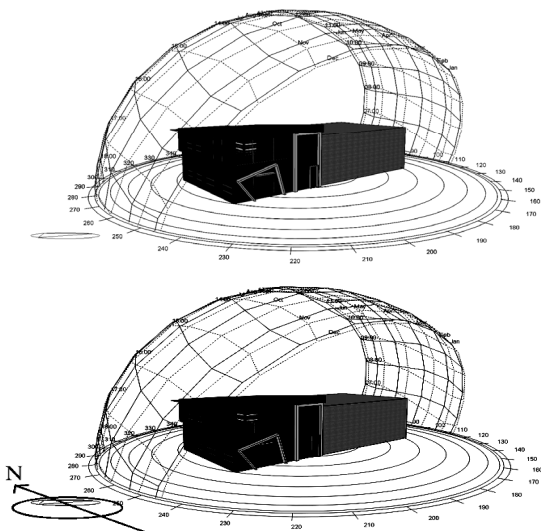
2. GIỚI THIỆU VỀ CÔNG TRÌNH NHÀ GỖ



Hình 1: Phối cảnh công trình nhà gỗ

Nhà ăn Viện Khoa học công nghệ xây dựng là công trình sử dụng vật liệu gỗ ghép CLT theo công nghệ Nhật Bản. Đây là loại vật liệu thân thiện với môi trường, nằm trong chiến lược phát triển vật liệu nhằm đạt mục tiêu phát thải ròng bằng 0 vào năm 2050. Công trình đặt tại khuôn viên Viện Khoa học công nghệ xây dựng có chức năng là căng tin phục vụ ăn trưa cho cán bộ trong Viện. Công trình có điểm nhấn kiến trúc là sự kết hợp giữa vật liệu gỗ và kính để làm nổi bật tính độc đáo và vẻ đẹp của vật liệu của phương án kết cấu gỗ của công trình.

Công trình nhà gỗ có quy mô 2 tầng với mặt bằng kích thước 10,920×9,555m. Với công năng một phòng ăn chung ở tầng 1 diện tích 92,89m², 2 phòng ăn VIP ở tầng 2 (12,42 m² và 39,33m²) và 1 khu vực vệ sinh (12,25 m²) ở tầng 2. Công trình được thiết kế với các mặt đứng lớn bằng kính ở mặt phía Nam và phía Tây của công trình xen lẫn những khu vực mặt đứng sử dụng vật liệu gỗ (xem Hình 1).



Hình 2. Hướng chính công trình và đường mặt trời biểu kiến

3. PHÂN TÍCH HIỆU QUẢ NĂNG LƯỢNG VÀ TIỆN NGHI NHIỆT

3.1. Phân tích hiệu quả năng lượng

Công trình được xây dựng tại Hà Nội là khu vực có khí hậu nhiệt đới gió mùa. Dữ liệu khí hậu tính toán được sử dụng trong phần mềm Design Builder [3]. Dữ liệu này được so sánh với dữ liệu khí hậu quy định trong QCVN 02:2022/BXD [4] (xem Hình 8) khu vực Hà Nội. Dữ liệu trong phần mềm Design Builder và trong QCVN 02:2022/BXD có sự tương đồng về nhiệt độ trung bình các tháng trong năm. Tuy nhiên biên độ chênh lệch nhiệt độ cao nhất và thấp nhất hàng tháng chênh lệch nhiều nhất vào các tháng 2 và tháng 3. Sự sai khác từ 3-5% này vào các tháng có nhiệt độ từ 15°C đến 25°C nên gradient nhiệt độ ngoài trời và trong phòng không lớn.

Để tính toán hiệu quả năng lượng tòa nhà, các đặc trưng về nhiệt của lớp vỏ công trình được xác định tại Bảng 2. Thời gian vận hành công trình là các ngày làm việc trong tuần từ thứ 2 đến thứ 6, từ 10 h đến 15 h hàng ngày.

Các trường hợp tính toán hiệu quả năng lượng là so sánh khi lớp vỏ công trình sử dụng kính an toàn 2 lớp và kính low-e cách nhiệt. Ngoài ra do công trình có mặt kính lớn ở phía chính Tây nên hiệu quả của các phương án che nắng cũng được xét đến.

3.1.1. Tính toán chỉ số truyền nhiệt tổng OTTV

Xác định chỉ số truyền nhiệt tổng (OTTV) là phương pháp được xây dựng nhằm đánh giá tổng thể hiệu quả khả năng cách nhiệt tổng thể của lớp vỏ công trình được xây dựng. Chỉ số này cho thấy nhiệt lượng tối đa có thể truyền vào công trình do hấp thụ bức xạ mặt trời qua bề mặt tường, mái, cửa sổ và chênh lệch nhiệt độ giữa bên trong và bên ngoài công trình. Lớp vỏ công trình với giá trị OTTV thấp sẽ giúp giảm thiểu hấp thụ nhiệt từ bên ngoài vào công trình.

Dữ liệu đầu vào tính toán bao gồm:

- Vị trí công trình: Hà Nội;
- Hướng chính của công trình: Nam (xem Hình 2)
- Dữ liệu thời tiết khu vực (nhiệt độ ngoài trời, bức xạ mặt trời) (xem Hình 2)
- Nhiệt độ bên trong công trình: 25°C;
- Diện tích các mặt đứng; Diện tích mái; Diện tích kính trên các mặt đứng và trên mái; (xem Bảng 3).

- Hệ số tổng truyền nhiệt của phần tường hoặc mái không xuyên sáng – U_w [W/m²];
- Hệ số hấp thụ bức xạ của bề mặt vật liệu của phần tường hoặc mái không xuyên sáng – α ;
- Hệ số che nắng bên ngoài – β ;
- Hệ số truyền nhiệt của kính trên tường hoặc mái – U_f [W/m²].

Công thức tính toán OTTV:

Bước 1: Tính toán OTTV từng kết cấu tường, mái thực hiện theo công thức sau

$$\begin{aligned}
 OTTV \left[\frac{W}{m^2} \right] &= (1 - WWR) \times U_w \times \alpha \\
 &\times (TD_{eq} - \Delta T) + (1 - WWR) \\
 &\times U_w \times \Delta T + WWR \times K_{cs} \times I_o \\
 &\times \beta + WWR \times U_f \times \Delta T
 \end{aligned} \quad (1)$$

Bước 2: Tính toán OTTV trung bình của cả công trình

$$OTTV_{tb} \left[\frac{W}{m^2} \right] = \frac{OTTV_1 \times A_1 + \dots + OTTV_n \times A_n}{A_1 + \dots + A_n} \quad (2)$$

Bước 3: Tính toán OTTV tối đa cho công trình theo yêu cầu của QCVN 09:2017/BXD:

$$OTTV_{yêu\ cầu} \left[\frac{W}{m^2} \right] = \frac{60 \times A_w + 25 \times A_r}{A_w + A_r} \quad (3)$$

Kết quả tính toán hệ số truyền nhiệt tổng của các bộ phận lớp vỏ công trình (xem Bảng 4). Với giả thiết vật liệu kính an toàn 2 lớp, do diện tích kính lớn, chỉ số OTTV_{tb} chưa đạt yêu cầu theo QCVN 09:2017 [5]. Khi sử dụng kính low-E với lớp khí trơ argon, chỉ số OTTV_{tb} thấp hơn yêu cầu 19%.

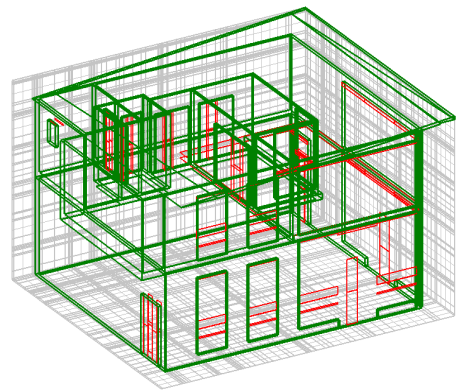
3.1.2. Tính toán tải làm mát bằng công cụ mô phỏng năng lượng

Với điều kiện khí hậu, vị trí, hướng công trình và các tham số đặc trưng nhiệt của lớp vỏ công trình, tác giả tính toán công suất của hệ thống điều hoà không khí dựa trên phần mềm mô phỏng Design Builder dựa theo phương pháp từ ASHRAE Fundamentals 2021 Handbook [6]. Kết quả tính toán so sánh (xem Hình 9) cho thấy, hiệu quả năng lượng của giải pháp dùng kính low-e so với kính thường là 19% (đối với khu

vực tầng 1, nơi có diện tích cửa kính lớn). Kết quả này phù hợp kết quả có được khi sử dụng phương pháp tính OTTV_{tb}.

3.2. Phân tích tiện nghi nhiệt

Để đánh giá sự ảnh hưởng của các giải pháp che nắng đến hiệu quả tiện nghi nhiệt của công trình, tác giả sử dụng tiêu chuẩn đánh giá tiện nghi nhiệt ở không gian được thông gió tự nhiên, theo ASHRAE 55-2017 [7] và phương pháp mô phỏng động lực học dòng chảy CFD. Trong đó các điều kiện về khí hậu và đặc trưng nhiệt được tính toán cho một năm.



Hình 3: Chia lưới tính toán động lực học công trình

Phương pháp mô phỏng động lực học dòng chảy giải hệ phương trình cân bằng về khối lượng, mô men động lượng và năng lượng theo từng thời điểm tính toán, cho phép xác định phân bố nhiệt độ trong các không gian cần xét đến, cũng như các trạng thái đối lưu không khí, vận tốc gió, từ đó xác định được các điều kiện tiện nghi về nhiệt của công trình. Các điều kiện tiện nghi về nhiệt của công trình có thể tham khảo các quy định ví dụ trong Bảng 1.

Bảng 1: Quy định về nhiệt độ tính toán

LOTUS - Việt Nam [8]	TCVN 9258: 2012 Chống nóng cho nhà ở - Hướng dẫn thiết kế [9]	CASBEE - Nhật Bản [10]
Tiêu chí H - 6 Tiện nghi nhiệt	Mục 4.3	Tiêu chí Q1 - 2.1.1 Room Teperature
Mùa hè 24 - 26°C	Mùa hè 25°C	Mùa hè 26°C

Bảng 2: Đặc trưng nhiệt của lớp vỏ công trình

Vật liệu	Độ dày (mm)	Giá trị U (W/m ² .K)	VT	SHGC	Hệ số dẫn nhiệt (W/m.K)	Nhiệt dung riêng (J/kg.K)	KL thể tích (kg/m ³)
Kính 2 lớp an toàn	6,38	5,293	0,812	0,754	-	-	-
Kính 2 lớp 6mm Low-E với 10mm Argon ở giữa	22	1,218	0,711	0,512	-	-	-
Tường gỗ ván gỗ cách nhiệt PU	60	0,439	0	-	0,12	1600	500
Sàn gỗ CLT	30	2,147	0	-	0,12	1600	500
Trần nhà gỗ CLT	90	1,124	0	-	0,12	1600	500
Cửa nhựa lõi thép, ván gỗ	90	5,085	0	-	1,05	750	2500

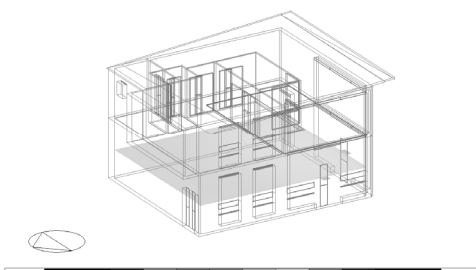
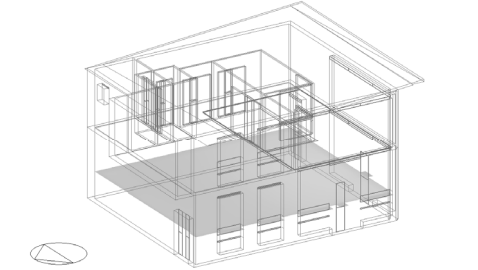
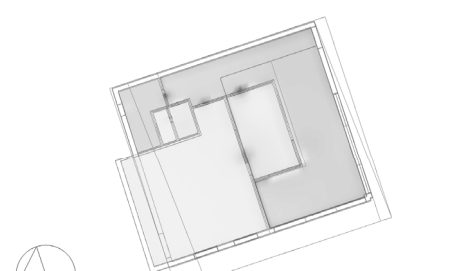
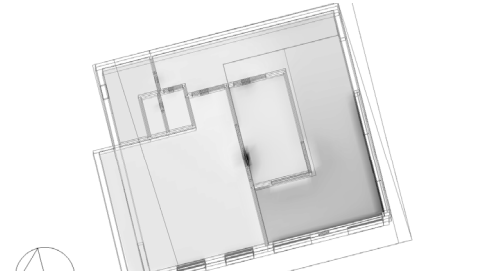
Bảng 3: Diện tích các bộ phận lớp vỏ công trình

Hướng	Tổng	Tây	Đông	Bắc	Nam
Diện tích mặt đứng [m ²]	276,19	75,49	74,28	62,6	63,83
Diện tích mái [m ²]	227,59				
Diện tích mặt đứng liền kề với không gian trống [m ²]	201,91	75,49	0	62,6	63,83
Diện tích cửa kính [m ²]	70,43	39,54	0	0,48	30,41
WWR [%]	25,5	52,37	0	0,77	47,65

Bảng 4: Kết quả tính OTTV

Trường hợp	OTTV tính toán (W/m ²)			Đánh giá			
	OTTV _t	OTTV _m	OTTV _{th}	QCVN 09:2017 (W/m ²)	LOTUS		
					Giảm OTTV (%)	Tính điểm (điểm)	
Kính 2 lớp an toàn	60,3	26,2	44,9	44,2	Không Đạt	-2	0
Kính 2 lớp 6mm low – E	44,1	26,2	36,0	44,2	Đạt	19	1

Bảng 5: Phân bố nhiệt độ - Mô phỏng CFD

	Kính an toàn	Kính 6mm low E với lớp argon ở giữa
Tầng 1	 <p>Nhiệt độ hiệu dụng từ 30 – 31,5°C</p>	 <p>Nhiệt độ hiệu dụng từ 29,4 – 30,5 °C</p>
Tầng 2	 <p>Nhiệt độ hiệu dụng của phòng ăn và phòng VIP từ 31 – 32°C</p>	 <p>Nhiệt độ hiệu dụng của 2 phòng ăn và phòng VIP từ 30,5 – 31,5°C</p>
Chung	Vận tốc không khí lưu thông trong công trình ở cả 2 trường hợp là 0,04 – 0,08 m/s	

Các điều kiện biên và điều kiện ban đầu về nhiệt độ, tốc độ gió tại lỗ mở, áp lực không khí được tính toán bằng phương pháp cân bằng nhiệt động lực học giữa điều kiện bên trong và bên ngoài công trình. Sự phân bố nhiệt độ và đối lưu không khí bên trong công trình được tính toán theo phương pháp số về động lực học dòng chảy.

Hệ phương trình bảo toàn khối lượng, động lượng và năng lượng có dạng tổng quát như sau:

$$\frac{d}{dt} \int_V \rho \phi dV + \int_S \rho \phi \vec{v} n dS = \int_S \Gamma \nabla \phi \vec{v} dS + \int_V q_\phi dV \quad (4)$$

Trong đó:

$\frac{d}{dt} \int_V \rho \phi dV$ là đại lượng biến thiên theo thời gian;

$\int_S \rho \phi \vec{v} n dS$ là đại lượng biến thiên đối lưu;

$\int_S \Gamma \nabla \phi \vec{v} dS$ là đại lượng biến thiên khuếch tán;

$\int_V q_\phi dV$ là nguồn bổ sung.

Giải hệ phương trình (4) với các điều kiện biên và điều kiện ban đầu, ta xác định được phân bố nhiệt độ, đối lưu không khí trong không gian xét đến.

Đối với trường hợp tính toán công trình nhà gỗ, thời điểm tính toán về khí hậu nhiệt độ là tại thời điểm 12h, ngày 24 tháng 7, thời điểm nhiệt độ cao nhất trong năm của cơ sở dữ liệu, với nhiệt độ khô ngoài trời là 35,5°C. Tác giả lựa chọn mô hình nhiễu động K-e, phù hợp với vận tốc gió trung bình và tài nguyên tính toán. Nhược điểm của mô hình K-e là độ chính xác không cao đối với các bề mặt điều kiện biên có sự thay đổi lớn về vec tơ pháp tuyến. Tuy nhiên trong điều kiện bài toán này, các mặt phẳng không gian đều có dạng phẳng, không có nhiều thay đổi cục bộ, nên mô hình K-e là phù hợp. Mật độ lưới của mô hình trung bình là 0,3 m, tại các vị trí lỗ mở, mật độ lưới trung bình là 0,03m, xem Hình 3. Lưu lượng gió tính toán tại các lỗ mở xác định bằng phương pháp trong [6], xem Hình 4.



Hình 4. Lưu lượng gió tại mỗi lỗ mở của công trình

Kết quả phân bố nhiệt độ trong hai trường hợp sử dụng kính thường và kính low-e được cho trong Bảng 5: Phân bố nhiệt độ - Mô phỏng CFD. Nhiệt độ cao nhất trong phòng trong trường hợp sử dụng kính low-e thấp hơn 1°C.

4. XÂY DỰNG GIẢI PHÁP CHE NẮNG

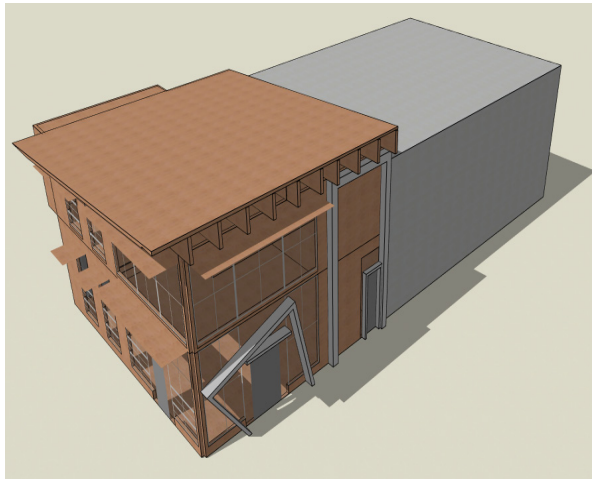
Công trình có mặt kính lớn hướng Tây và hướng Nam, nên việc thiết kế các giải pháp che nắng là cần thiết để tăng hiệu quả năng lượng và

tiện nghi nhiệt của công trình. Các giải pháp che nắng có thể sử dụng mái che nắng, lam che nắng theo phương đứng và lam che nắng theo phương ngang. Do công trình có thời gian hoạt động từ 10h đến 15h, nên hiệu quả của các phương án che nắng được tính toán từ đó đưa ra các định hướng cơ bản

về vị trí, kích thước và hướng che nắng. Các phương án che nắng bao gồm mái che nắng (xem Hình 5), che nắng bằng lam theo phương đứng (xem Hình 6), che nắng bằng lam theo phương ngang (xem hình 7). Các tham số về kích thước biện pháp che nắng được tổng hợp trong Bảng 6).

Bảng 6. Các phương án che nắng

		Khoảng cách từ cửa sổ đến đỉnh mái (m)	Khoảng cách đến mép cửa sổ (m)	Độ dài mái (m)	Góc nghiêng	Số nan	Khoảng cách giữa các nan (m)
Mái che nắng ngang	Loại 1	0,0	0,0	1	-	-	-
	Loại 2	0,0	0,0	2	-	-	-
Lam che nắng ngang	Loại 1	0,0	0,0	0,1	45	15	0,1
	Loại 2	0,0	0,0	0,2	45	15	0,1
Lam che nắng dọc	Loại 1	-	0,1	0,5	-	-	-
	Loại 2	-	0,1	1,0	-	-	-



Kết quả phân tích được tổng hợp và trình bày trong Hình 10 cho thấy hiệu quả của phương án che nắng có thể giảm được 20% lượng năng tiêu thụ cho hệ thống điều hoà. Phương án che nắng theo phương ngang có hiệu quả cao hơn phương án che nắng theo phương đứng. So sánh hiệu quả của các phương án với kích thước và cách bố trí các lam che nắng cho phép kiến trúc sư lựa chọn phương án tối ưu về hiệu quả năng lượng, cũng như tối ưu về chi phí. Phương án che nắng theo phương lam ngang loại 2 (xem Hình 10).

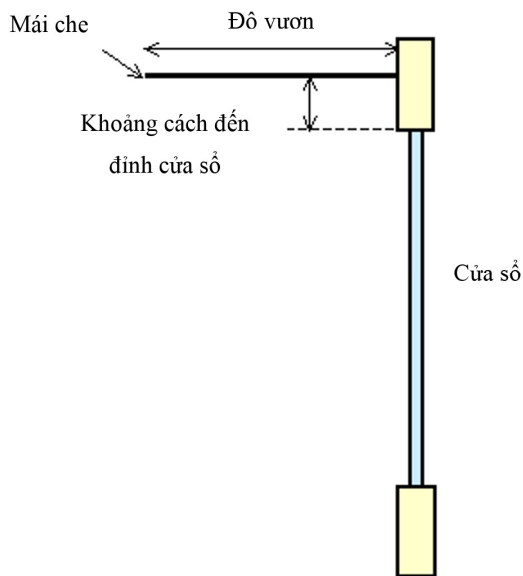
Bảng 6. Các phương án che nắng) có hiệu quả năng lượng cao nhất. Tuy nhiên kích thước lam che nắng lại lớn gấp 2 lần lam loại 1. Do vậy lựa chọn phương án lam che nắng ngang loại 1 sẽ tối ưu về chi phí và hiệu quả năng lượng.

5. QUY TRÌNH THIẾT KẾ FAÇADE

Dựa trên ví dụ phân tích tính toán về công trình nhà gỗ, tác giả xây dựng quy trình thiết kế façade sử dụng mô phỏng năng lượng.

Bước 1: Xây dựng chọn mô hình cơ sở (không có các biện pháp che nắng).

- Lựa chọn các điều kiện khí hậu, vị trí, hướng công trình.
- Xác định các đặc trưng về nhiệt của lớp vỏ công trình.
- Xác định thời gian hoạt động của công trình phụ thuộc loại công trình.



Hình 5: Phương án mái che nắng

- Tính toán hiệu quả nhiệt của lớp vỏ công trình theo phương pháp OTTV và phương pháp mô phỏng, đánh giá tính chính xác của phương pháp mô phỏng.

- Tính toán tiện nghi nhiệt của công trình bằng phương pháp động lực học dòng chảy CFD, xác định các tiện nghi về nhiệt và thông gió tự nhiên.

Bước 2: Xây dựng các phương án che nắng cơ bản:

- Xây dựng các phương án che nắng cơ bản.

- Sử dụng mô phỏng năng lượng xác định hiệu quả năng lượng, tiện nghi nhiệt của các phương án che nắng.

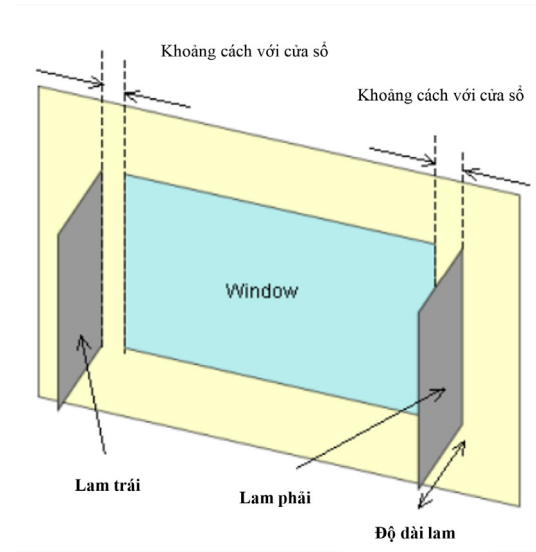
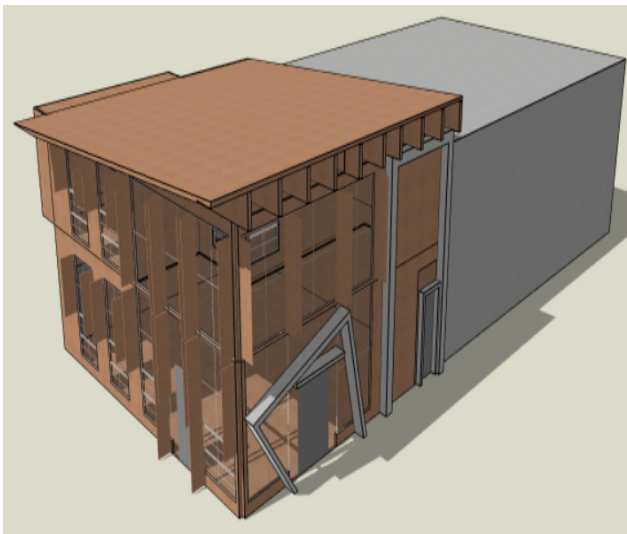
- Phân tích hiệu quả năng lượng, tiện nghi nhiệt để đánh giá hiệu quả các phương án che nắng, lựa chọn tham số của phương án che nắng.

Bước 3: Hoàn thiện thiết kế façade

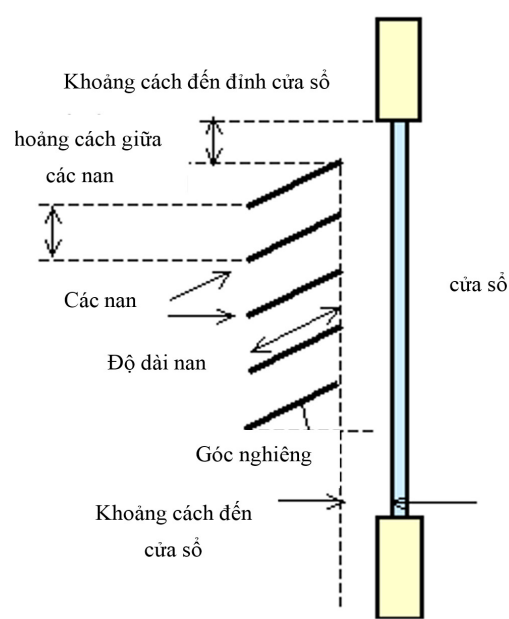
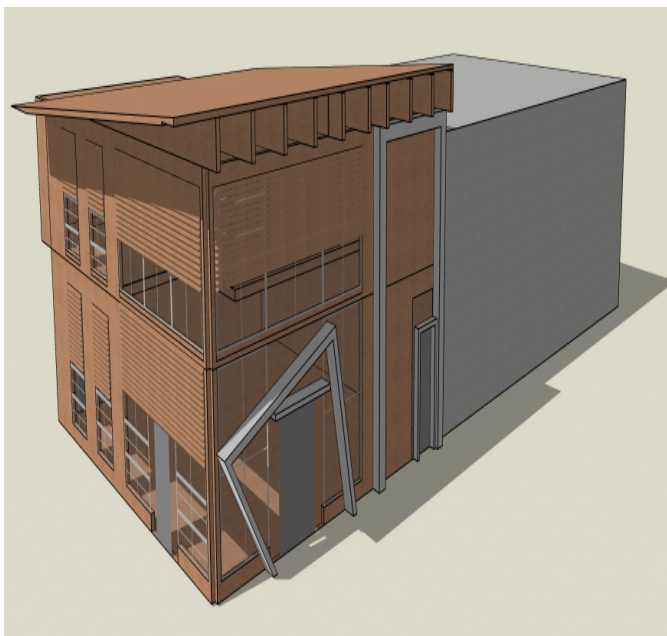
- Xây dựng ý tưởng thiết kế façade dựa trên các tham số về phương án che nắng

- Lựa chọn vật liệu, tối ưu hiệu quả của phương án façade về hiệu quả nhiệt, hình dạng, vật liệu, kinh phí.

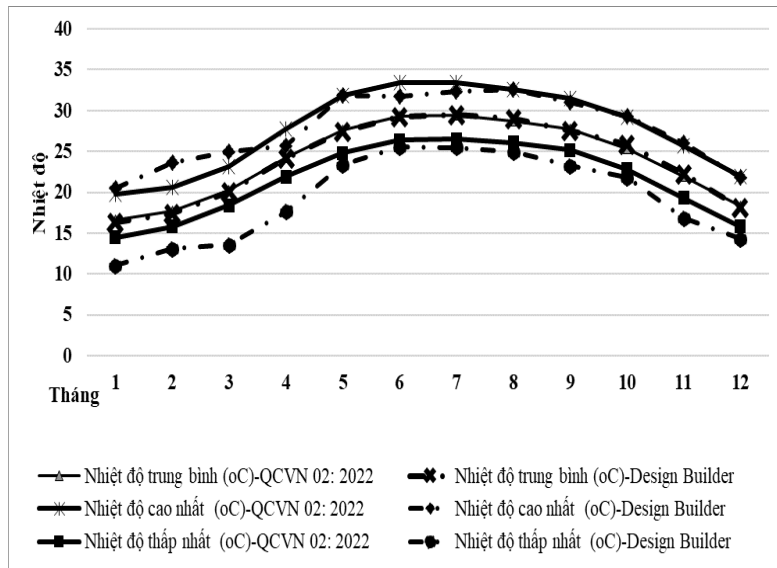
- Tính toán hiệu quả năng lượng của công trình với phương án façade đã lựa chọn.



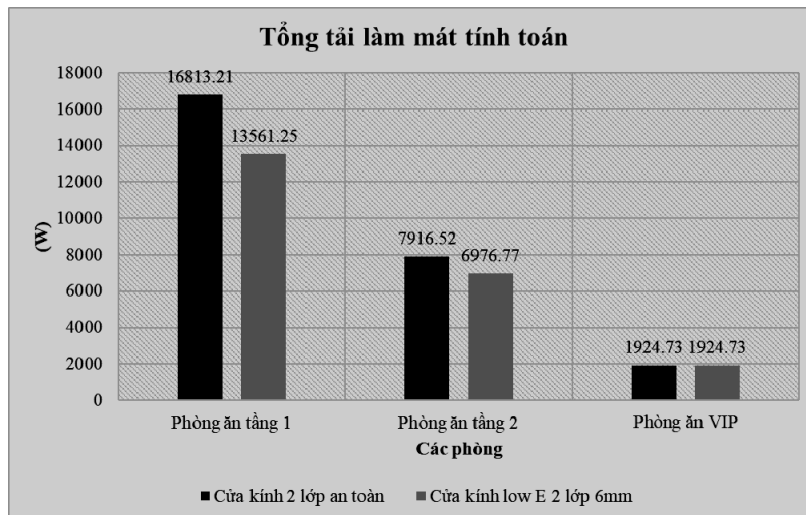
Hình 6. Phương án lam che nắng đứng



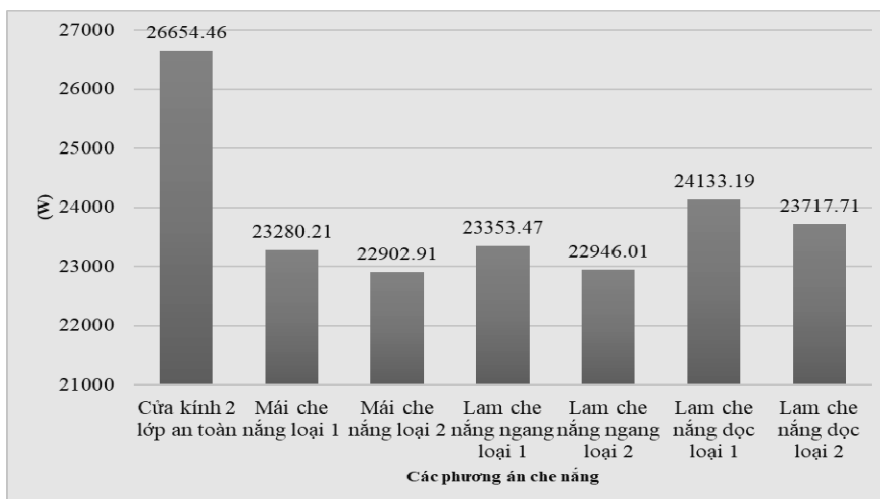
Hình 7. Phương án lam che nắng ngang



Hình 8. So sánh dữ liệu nhiệt độ QCVN 02:2022/BXD và Design Builder-Hà Nội



Hình 9. So sánh tổng tải làm mát tính toán giữa 2 phương án cửa kính



Hình 10. Tải làm mát của các phương án che nắng

6. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày phân tích, so sánh về kết quả tính toán hiệu quả năng lượng của công trình bằng phương pháp tính toán đơn giản OTTV và phương pháp mô phỏng CFD. Kết quả cho thấy phương pháp mô phỏng CFD cho ra kết quả tương đồng với phương pháp tính toán đơn giản.

Nhóm tác giả cũng đối chiếu so sánh giữa dữ liệu khí hậu sử dụng trong phần mềm mô phỏng và trong QCVN 02:2022/BXD, sự khác biệt 5-7% ở nhiệt độ cao nhất và thấp nhất ở tháng 2, 3 trong năm.

Ngoài ra, tác giả cũng chứng minh những ưu điểm của phương pháp mô phỏng năng lượng: (i) độ tin cậy cao, (ii) mô tả, xét đến được các đặc trưng kiến trúc của công trình, (iii) tính toán được chi tiết cụ thể các đặc trưng kiến trúc của các giải pháp che nắng.

Tác giả xây dựng quy trình thiết kế façade dựa trên phương pháp mô phỏng năng lượng. Đây là công cụ hữu ích, giúp các kiến trúc sư có thể lựa chọn, tối ưu phương án kiến trúc của hệ façade trên tiêu chí hiệu quả năng lượng công trình.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] X. C. Pan and Y. X. Xiao (2014), "Simulation Analysis of Building Green Facade Eco-Effect," *Applied Mechanics and Materials*, Vols. 548-549, pp. 1701-1705.
- [2] P. Zhou, C. Zhang and J. Wang (2021), "Influence of the Passive Design of a Building Facade on the Indoor Thermal Comfort of Residential Buildings," *E3S Web of Conferences*, no. 237, p. 03006.
- [3] DesignBuilder Software (2009), *DesignBuilder 2.1 - User Manual*.
- [4] Bộ Xây dựng (2022), *QCVN 02:2022/BXD về Số liệu điều kiện tự nhiên dùng trong xây dựng*.
- [5] Bộ Xây Dựng (2017), *QCVN 09:2017/BXD về Các công trình xây dựng sử dụng năng lượng hiệu quả*.
- [6] ASHRAE (2021), *ASHRAE Handbook -- Fundamentals*.
- [7] ASHRAE (2017), *ANSI/ASHRAE Standard 55-2017 – Thermal Environmental Conditions for Human Occupancy*.
- [8] Vietnam Green Building Council (2019), *LOTUS Công trình xây mới - LOTUS NC V3 - Hướng dẫn kỹ thuật*.
- [9] Bộ Khoa học và Công nghệ (2012), *TCVN 9258:2012 về Chống nóng cho nhà ở - Hướng dẫn thiết kế*.
- [10] Institute for Building Environment and Energy Conservation (IBEC) (2014), *CASBEE for Building (New Construction)*.