

# Nghiên cứu khả năng cách nhiệt của tấm panel tường bê tông cốt thép nhiều lớp với lớp giữa sử dụng bê tông dẫn nhiệt thấp

Studying the thermal insulation capacity of multi-layer reinforced concrete wall panels with an internal layer by low thermal conductivity concrete

> TS VŨ ĐÌNH THƠ\*, PGS.TS PHẠM TUẤN ANH

Trường Đại học Công nghệ GTVT; \*Email: thovd@utt.edu.vn

## TÓM TẮT

Vấn đề biến đổi khí hậu và nóng lên toàn cầu đặt ra vấn đề cấp thiết cho các ngành khoa học nói chung và ngành khoa học công nghệ xây dựng nói riêng để đảm bảo sự tiện nghi trong cuộc sống của con người. Sự phát triển của khoa học công nghệ vật liệu và kết cấu mới cho phép chế tạo ra các loại kết cấu bao che không những đáp ứng các yêu cầu về khả năng chịu lực, mà còn đảm bảo tốt các yêu cầu cách âm, cách nhiệt cho công trình. Trong bài báo này, các tác giả trình bày kết quả nghiên cứu khả năng cách nhiệt của tấm kết cấu bê tông cốt thép nhiều lớp với lớp giữa sử dụng vật liệu bê tông xốp nhẹ dẫn nhiệt thấp và lớp ngoài sử dụng bê tông thường hoặc bê tông karamzit có khả năng chịu lực. Trên cơ sở các kết quả phân tích sự truyền nhiệt qua các loại kết cấu tường bao che bằng việc sử dụng phần mềm phân tử hữu hạn ANSYS trong điều kiện khí hậu ở Việt Nam, cho thấy hiệu quả cách nhiệt của loại kết cấu tường bao che thường sử dụng ở Việt Nam và hiệu quả cách nhiệt của kết cấu tường bao che bê tông cốt thép nhiều lớp với lớp giữa từ bê tông nhẹ dẫn nhiệt thấp. Từ đó, nghiên cứu cho phép đề xuất và áp dụng loại kết cấu này trong điều kiện thực tế của nước ta.

**Từ khóa:** Tấm bê tông cốt thép nhiều lớp; bê tông cốt thép dẫn nhiệt thấp; khả năng cách nhiệt của kết cấu; phân tử hữu hạn; bê tông polystyren.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong những năm gần đây, việc biến đổi khí hậu và nóng lên toàn cầu đặt ra các yêu cầu cấp thiết cho lĩnh vực khoa học vật liệu và kết cấu bao che trong xây dựng trên thế giới và ở Việt Nam. Các kết cấu bao che không những cần đảm bảo yêu cầu về khả năng chịu lực, chuyển vị mà còn cần đáp ứng được các yêu cầu cách âm, cách nhiệt, chống cháy,...[1, 2]. Một số nghiên cứu [3-5] đã chỉ ra rằng, mức tiêu thụ năng lượng cần cung cấp để đảm bảo tiện nghi

## ABSTRACT

The issue of climate change and global warming poses an urgent problem for science in general and construction science and technology in particular to ensure comfort in human life. The development of science, technology and new materials allows the manufacture of covering structures that not only meet the requirements for load-bearing capacity, but also ensure good sound and heat insulation requirements for buildings. In today's article, the authors present the research results on the thermal insulation ability of multi-layer reinforced concrete structural panels with a middle layer using low thermal conductivity concrete materials. Based on the results of heat transfer analysis through various types of structures in climatic conditions in Vietnam using finite element software ANSYS, the study shows the thermal insulation effectiveness of concrete structures. Multi-layer reinforced cardboard with a middle layer from low thermal conductivity material. From there, the research allows to propose and apply this type of structure in the actual conditions of our country.

**Keywords:** Multi-layer reinforced concrete panels; low thermal conductivity reinforced concrete; thermal insulation capacity of structure; finite elements; polystyrene concrete.

về nhiệt cho các tòa nhà ngày càng tăng. Các nghiên cứu [6, 7] chỉ ra rằng, việc truyền nhiệt qua kết cấu bao che bị ảnh hưởng bởi cấu trúc, vật liệu và bề mặt bên ngoài và bên trong của các cấu trúc tường bao che của tòa nhà.

Việt Nam nằm trong vùng khí hậu cận xích đạo, nhiệt đới gió mùa. Ở miền Bắc của Việt Nam, vào mùa hè, nhiệt độ không khí bên ngoài tòa nhà rất cao, có khi lên tới 42°C [8-10]. Nhiệt độ trên bề mặt kết cấu bao che của công trình có thể lên tới 50°C khi xét

đến ảnh hưởng của các yếu tố bức xạ mặt trời [11, 12]. Để đảm bảo điều kiện sử dụng tiện nghi, thoải mái trong các tòa nhà, nhiệt độ bên trong tòa nhà nằm trong khoảng từ (20 ~ 25)<sup>o</sup>C nên kết cấu vỏ bao che phải đảm bảo yêu cầu truyền nhiệt thấp.

Trong công nghệ xây dựng truyền thống, để giảm nhiệt độ truyền từ bên ngoài vào bên trong công trình, một số phương pháp truyền thống đã được áp dụng như: Xây tường bằng gạch đặc, gạch rỗng và bổ sung thêm lớp cách nhiệt (lớp xốp, sơn cách nhiệt, sử dụng gạch rỗng...). [11, 12-14]. Tuy nhiên, các giải pháp này sẽ làm tăng nhân công, thời gian thi công, tăng chi phí xây dựng,...

Ngày nay, sự phát triển của công nghệ vật liệu và kết cấu mới cho phép đề xuất những giải pháp kết cấu tường bao che có khả năng cách nhiệt cao, đồng thời đơn giản hóa hơn trong quá trình thi công xây dựng [15-17]. Một trong những giải pháp kết cấu bao che đảm bảo chịu lực và cách nhiệt hiện đại đó là sử dụng các tấm tường bê tông cốt thép nhiều lớp với lớp giữa sử dụng vật liệu bê tông dẫn nhiệt thấp polystyrene bê tông (LWC). Bê tông nhẹ LWC là loại bê tông sử dụng trộn thêm các hạt polystyrene giúp giảm trọng lượng của bê tông và có hệ số truyền nhiệt thấp phù hợp với kết cấu bao che của tòa nhà đặc biệt nhà cao tầng [12, 18-20].

Trong các nghiên cứu [1, 12, 16, 18] đã đưa ra một số thành phần cấp phối của loại bê tông này trong các khoảng của trọng lượng thể tích và hệ số dẫn nhiệt khác nhau.

Để đảm bảo yêu cầu cách nhiệt của kết cấu tường bao che tòa nhà theo TCVN 4605-1988 [9], các kết cấu này phải có khả năng cách nhiệt cần thiết lớn hơn khả năng cách nhiệt yêu cầu. Tuy nhiên, đối với các cấu trúc và kết cấu gồm nhiều lớp vật liệu, việc xác định nhiệt truyền qua kết cấu khá phức tạp. Trong bài viết này, tác giả đánh giá hiệu quả các giải pháp cách nhiệt của tường bao che bằng kết cấu bê tông cốt thép nhiều lớp và một số giải pháp cách nhiệt truyền thống trong điều kiện khí hậu Việt Nam bằng việc sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn trên phần mềm ANSYS - APDL [22]. Đây là một phương pháp hiện đại cho phép phân tích và xem xét một cách trực quan quá trình truyền nhiệt qua các lớp kết cấu của cấu trúc tường bao che.

Phân tích minh họa khả năng áp dụng kết cấu bê tông cốt thép nhiều lớp với lớp giữa từ bê tông dẫn nhiệt thấp ở Việt Nam.

## 2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Vật liệu sử dụng trong các bài toán phân tích nhiệt truyền qua kết cấu trong nghiên cứu được trình bày trong bảng 1

Bảng 1. Đặc tính của các loại vật liệu sử dụng theo phụ lục 4 - QCVN 09-2013 [9] và phụ lục 2 - QCVN 09-2017 [23]

STT	Tên vật liệu sử dụng	Đặc trưng vật liệu
1	Gạch đặc đất sét nung xây với vữa đặc [6]	$\lambda=0,81$ W/(m.K); $C=0,88$ kJ/kg. <sup>o</sup> K; $\gamma=1800$ kg/m <sup>3</sup>
2	Gạch rỗng xây với vữa nặng [6]	$\lambda=0,52$ W/(m.K); $C=0,88$ kJ/kg. <sup>o</sup> K; $\gamma=1300$ kg/m <sup>3</sup>
3	Gạch không nung bloc xi	$\lambda=0,58$ W/(m.K); $C=0,75$ kJ/kg. <sup>o</sup> K; $\gamma=1400$ kg/m <sup>3</sup>
4	Vữa xây, trát	$\lambda=0,93$ W/(m.K); $C=0,84$ kJ/kg. <sup>o</sup> K; $\gamma=1800$ kg/m <sup>3</sup>
5	Bê tông cốt thép	$\lambda=1,55$ W/(m.K); $C=0,84$ kJ/kg. <sup>o</sup> K; $\gamma=2400$ kg/m <sup>3</sup>
6	Bê tông polystyrene B2 (D400)	$\lambda=0,095$ W/(m.K); $C=0,88$ kJ/kg. <sup>o</sup> K; $\gamma=350$ kg/m <sup>3</sup>

Trong điều kiện khí hậu của khu vực Hà Nội, yêu cầu sức kháng nhiệt cho kết cấu ( $R_{0yc}$ ) được xác định bởi công thức (17) và (23) của tiêu chuẩn TCVN 4605-1988 [9] "Kỹ thuật nhiệt - Kết cấu ngăn che - Tiêu chuẩn thiết kế", QCVN 09-2013 [10] "Các công trình xây dựng

sử dụng năng lượng hiệu quả" và Thông tư số Số: 15/2017/TT-BXD ngày ngày 28/12/2017 [10]"Ban hành Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về Các công trình xây dựng sử dụng năng lượng hiệu quả" là  $R_{0yc} \geq 0,56$  (m<sup>2</sup>.K/W);

Để đơn giản hóa bài toán phân tích nhiệt truyền qua kết cấu tường bao che, nhóm tác giả giả thiết rằng: nhiệt độ của không khí bên trong nhà  $t_i=20^{\circ}\text{C}$ ; Nhiệt độ tính toán của không khí bên ngoài kết cấu bao che có xét đến yếu tố bức xạ mặt trời và các yếu tố khác  $t_{tg.tb}=50^{\circ}\text{C}$ .

Tổng nhiệt trở truyền qua kết cấu  $R_0$ , (m<sup>2</sup>.K/W) được xác định theo công thức (1) theo QCVN 09-2017 như sau [10]:

$$R_0 = \frac{1}{h_N} + \sum_i^n \frac{b_i}{\lambda_i} + R_a + \frac{1}{h_T} \quad (1)$$

Trong đó:

$h_N, h_T$  - lần lượt là hệ số trao đổi nhiệt bề mặt ngoài và bề mặt trong của kết cấu bao che, W/m<sup>2</sup>.K; tham khảo phụ lục 3, QCVN 09-2017; Đối với tường bao che, hệ số  $h_N=25$  W/m<sup>2</sup>.K và  $h_T=7.692$  W/m<sup>2</sup>.K.

$b_i$  - bề dày của lớp vật liệu thứ  $i$ , m;

$\lambda_i$  - hệ số dẫn nhiệt của vật liệu lớp thứ  $i$  trong kết cấu bao che, W/m.K; tham khảo phụ lục 2, QCVN 09-2017

$n$  - số lượng các lớp vật liệu trong kết cấu bao che;  $R_a$  - Nhiệt trở của lớp không khí bên trong kết cấu bao che, nếu có, m<sup>2</sup>.K/W; tham khảo phụ lục 4, QCVN 09-2017.

Tuy nhiên, việc xác định nhiệt trở theo công thức 1 chủ yếu xét đến khả năng kháng nhiệt của các lớp vật liệu coi là đồng nhất có chiều dày các lớp là  $b_i$ , chưa xét đến sự phức tạp trong cấu trúc và cách bố trí của các lớp vật liệu được bố trí song song hoặc vuông góc với phương truyền nhiệt, hoặc các cấu trúc rỗng và không đồng nhất bố trí theo các phương khác nhau. Vì vậy, nhóm tác giả đề xuất sử dụng phương pháp phần tử hữu hạn (phần mềm ANSYS V18) để phân tích sự truyền nhiệt qua tấm bê tông cốt thép nhiều lớp, đây là một phương pháp hiện đại cho phép người dùng đưa vào các dữ liệu cần thiết, ví dụ: độ dày, đặc tính cơ lý, v.v. Để kết quả gần đúng với kết quả thực nghiệm và thực tế [17, 18].

Phương trình truyền nhiệt trong tấm tường bê tông cốt thép nhiều lớp được xác định theo công thức (3) [8]:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( \lambda_x \frac{\partial t}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( \lambda_y \frac{\partial t}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( \lambda_z \frac{\partial t}{\partial z} \right) = \rho c \frac{\partial t}{\partial \tau} \quad (3)$$

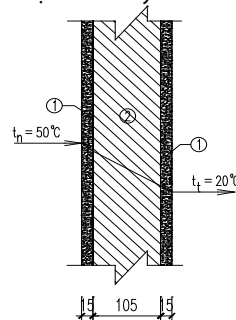
Trong đó:  $t(x,y,z,t)$  - Nhiệt độ theo tọa độ  $(x, y, z)$  tại thời điểm  $t$  (<sup>o</sup>C);

$\lambda_x, \lambda_y, \lambda_z$  - Hệ số dẫn nhiệt của bê tông dọc theo các trục  $x,y,z$  W/(m.<sup>o</sup>K);

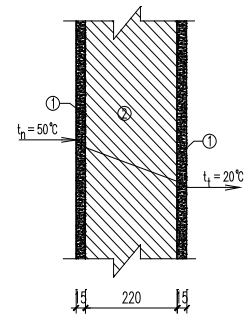
$c$  - Nhiệt dung riêng (kJ/kg.<sup>o</sup>K);

$\rho$  - Trọng lượng riêng của vật liệu (kJ/kg.<sup>o</sup>K).

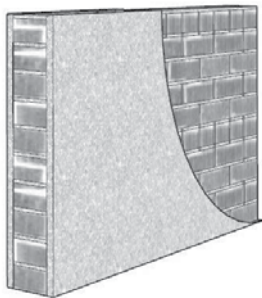
Trong bài viết này, nhóm tác giả phân tích khả năng cách nhiệt cho các kết cấu tường bao che có chiều dày 110mm và 220mm như được trình bày trên hình vẽ:



(6a) Mặt cắt qua kết cấu tường 110

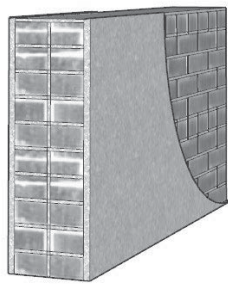


(7c) Mặt cắt qua kết cấu tường 220



(6b) Hình 3D tường 110

**Hình 6.** Mặt cắt tường bao che 110 và lớp vữa trát dày 15mm  
1 - Kết cấu tường bao che;  
2 - Lớp vữa trát



(7d) Hình 3D tường 220

**Hình 7.** Mặt cắt tường bao che 220 và lớp vữa trát dày 15mm  
1 - Kết cấu tường bao che;  
2 - Lớp vữa trát

à so sánh khả năng cách nhiệt của kết cấu tường panel 3 lớp với lớp giữa từ vật liệu bê tông dẫn nhiệt thấp với với một số phương kết cấu tường bao che truyền thống như được mô tả dưới bảng 2 và 3.

**Bảng 2.** Giải pháp cách nhiệt cho kết cấu tường 110

No.	TN-1	TN-2	TN-3	TN-4
TN				
	Tường 110, xây gạch đặc cấu tạo gồm: - Lớp gạch đặc đất sét nung; - 2 lớp vữa trát dày 15mm	Tường 110, xây gạch rỗng cấu tạo gồm: - Lớp gạch rỗng đất sét nung; - 2 lớp vữa trát dày 15mm	Tường 110, xây gạch block cấu tạo gồm: - Lớp gạch block bê tông xi; - 2 lớp vữa trát dày 15mm	Tấm panel tường dày 110mm: - Lớp bê tông nặng B15, dày 40mm. - Lớp giữa từ bê tông Polystyrene B2 (D400), dày 30mm.

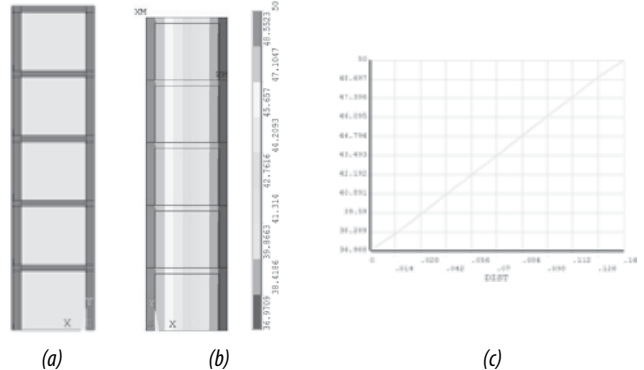
**Bảng 3.** Giải pháp cách nhiệt cho kết cấu tường 220

No.	TN-5	TN-6	TN-7	TN-8
TN				
	Tường 220, xây gạch đặc cấu tạo gồm: - Lớp gạch đặc đất sét nung; - 2 lớp vữa trát dày 15mm	Tường 220, xây gạch rỗng cấu tạo gồm: - Lớp gạch rỗng đất sét nung; - 2 lớp vữa trát dày 15mm	Tường 220, xây gạch block cấu tạo gồm: - Lớp gạch block bê tông xi; - 2 lớp vữa trát dày 15mm	Tấm panel tường dày 220mm: - Lớp bê tông nặng B15, dày 50mm. - Lớp giữa từ bê tông Polystyrene B2 (D400), dày 120mm.

### 3. KẾT QUẢ PHÂN TÍCH VÀ THẢO LUẬN

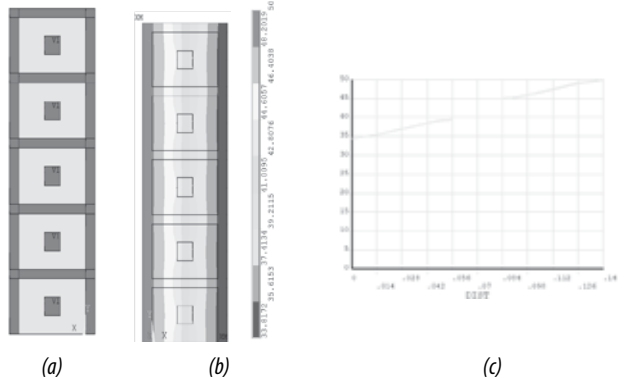
Dựa trên các phân tích trên, tác giả mô hình hóa và phân tích sự truyền nhiệt qua kết cấu tường dày 110mm và tường 220mm với các tham số trong bảng 1 và trong điều kiện khí hậu ở Hà Nội - Việt Nam, sử dụng phần mềm ANSYS V22.1 (APDL) ta có:

**\*Trường hợp 1:** Kết quả phân tích sự truyền nhiệt qua kết cấu tường dày 110mm, theo các giải pháp được mô tả trong bảng 2 (TN-1, TN-2, TN- 3 and TN- 4) trong điều kiện khí hậu ở Hà Nội được thể hiện trên hình 8, 9, 10 & 11.



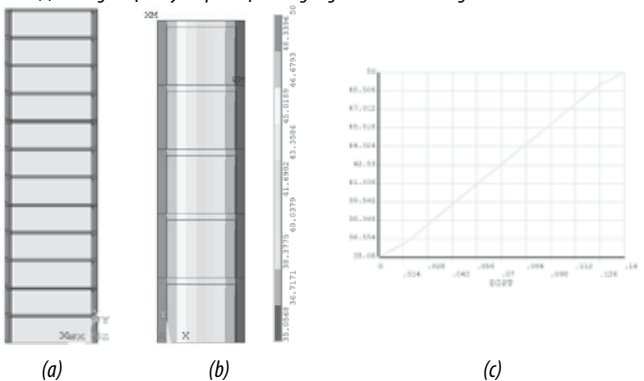
**Hình 8.** Kết quả phân tích sự truyền nhiệt qua kết cấu tường 110 - TN-1- sử dụng gạch đặc

(a) - Mô hình kết cấu tường 110; (b) - Kết quả phân tích trên mô hình ANSYS  
(c) Đường nhiệt truyền qua mặt cắt ngang của kết cấu tường



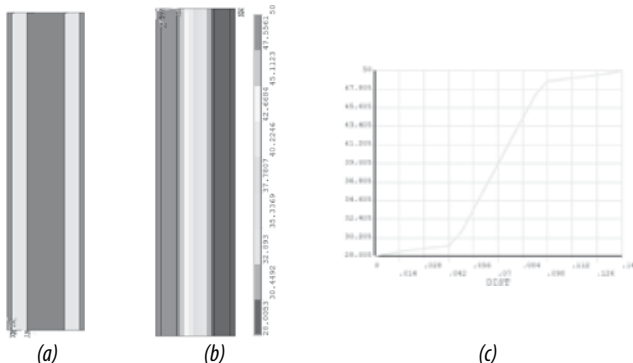
**Hình 9.** Kết quả phân tích sự truyền nhiệt qua kết cấu tường 110 - TN-2- sử dụng gạch rỗng

(a) - Mô hình kết cấu tường 110; (b) - Kết quả phân tích trên mô hình ANSYS  
(c) Đường nhiệt truyền qua mặt cắt ngang của kết cấu tường

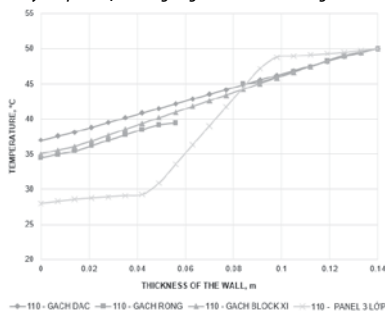


**Hình 10.** Kết quả phân tích sự truyền nhiệt qua kết cấu tường 110 - TN-3- sử dụng gạch block

(a) - Mô hình kết cấu tường 110; (b) - Kết quả phân tích trên mô hình ANSYS  
(c) Đường nhiệt truyền qua mặt cắt ngang của kết cấu tường



**Hình 11.** Kết quả phân tích sự truyền nhiệt qua kết cấu tường 110 - TN-4 - Panel 3 lớp  
(a) - Mô hình kết cấu tường 110; (b) - Kết quả phân tích trên mô hình ANSYS  
(c) Đường nhiệt truyền qua mặt cắt ngang của kết cấu tường



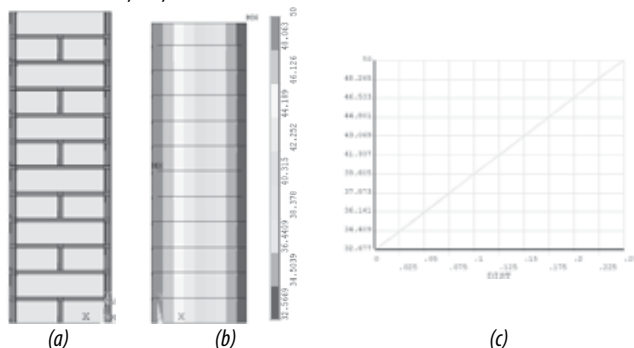
**Hình 12.** Biểu đồ so sánh sự truyền nhiệt qua kết cấu tường 110 với phương án kết cấu (TN-1, TN-2, TN-3 và TN-4)

Kết quả của phân tích sự truyền nhiệt qua kết cấu tường 110 (kể cả lớp vữa lớp tường dày 140mm) đã chỉ ra rằng, với giả thiết nhiệt truyền trên bề mặt của kết cấu tường 50°C thì sau khi truyền qua kết cấu tường dày 140mm, nhiệt trên bề mặt bên trong của tường là: 36,98°C (TN-1- sử dụng gạch đặc); 34,5°C (TN-2- sử dụng gạch rỗng); 35,06°C (TN-3- sử dụng gạch block) và 28°C (TN-4- sử dụng tấm tường panel 3 lớp với lớp giữa từ bê tông xốp).

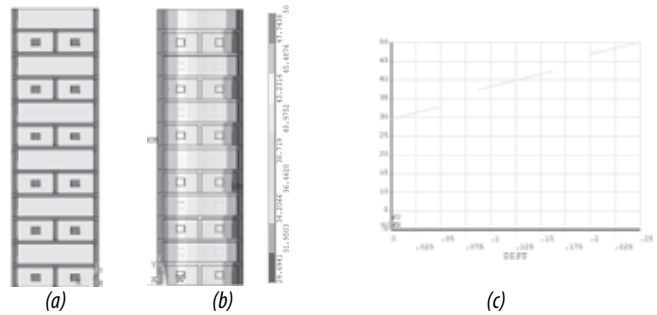
Nhiệt độ giảm sau khi truyền qua các kết cấu tường 110 qua các thí nghiệm TN-1; TN-2; TN-3 và TN-4 lần lượt là: 13°C; 15,5°C; 14,9°C và 22°C. Mức độ cách nhiệt của panel tường 3 lớp tốt hơn 1,7 lần so với phương án tường xây gạch đặc; gấp 1,4 lần so với phương án tường xây gạch rỗng và 1,5 lần so với phương án tường xây gạch block bê tông xi.

**\*Trường hợp 2:**

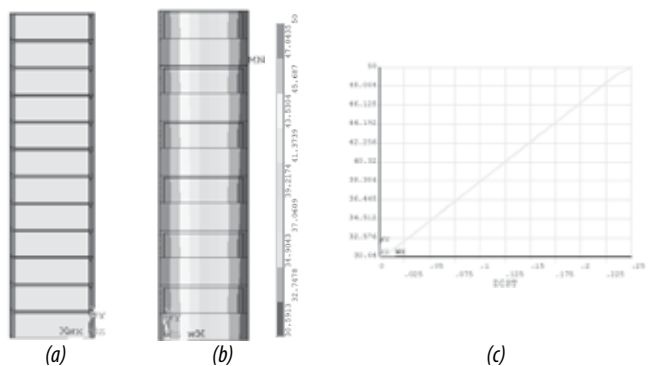
Kết quả phân tích sự truyền nhiệt qua kết cấu tường dày 220mm, theo các giải pháp được mô tả trong bảng 2 (TN-5, TN-6, TN- 7 and TN- 8) trong điều kiện khí hậu ở Hà Nội được thể hiện trên hình 13, 14, 15 & 16.



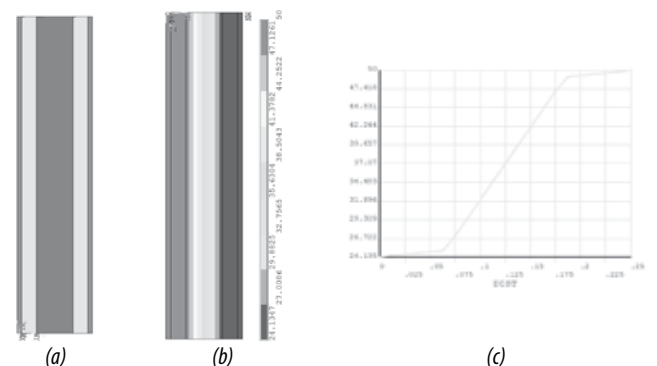
**Hình 13.** Kết quả phân tích sự truyền nhiệt qua kết cấu tường 220 - TN-5- xây gạch đặc  
(a) - Mô hình kết cấu tường 220; (b) - Kết quả phân tích trên mô hình ANSYS  
(c) Đường nhiệt truyền qua mặt cắt ngang của kết cấu tường



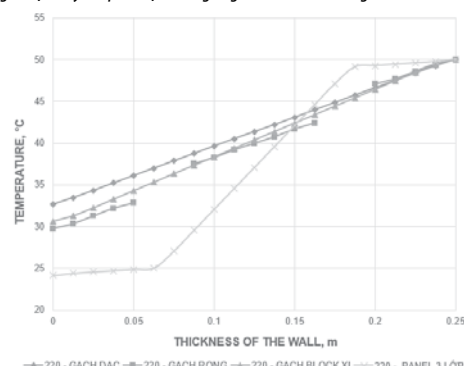
**Hình 14.** Kết quả phân tích sự truyền nhiệt qua kết cấu tường 220 - TN-6- xây gạch rỗng  
(a) - Mô hình kết cấu tường 220; (b) - Kết quả phân tích trên mô hình ANSYS  
(c) Đường nhiệt truyền qua mặt cắt ngang của kết cấu tường



**Hình 15.** Kết quả phân tích sự truyền nhiệt qua kết cấu tường 220 - TN-7- xây gạch block  
(a) - Mô hình kết cấu tường 220; (b) - Kết quả phân tích trên mô hình ANSYS  
(c) Đường nhiệt truyền qua mặt cắt ngang của kết cấu tường



**Hình 16.** Kết quả phân tích sự truyền nhiệt qua kết cấu tường 220 - TN-8- Panel 3 lớp  
(a) - Mô hình kết cấu tường 220; (b) - Kết quả phân tích trên mô hình ANSYS  
(c) Đường nhiệt truyền qua mặt cắt ngang của kết cấu tường



**Hình 17.** Biểu đồ so sánh sự truyền nhiệt qua kết cấu tường 220 với phương án kết cấu (TN-5, TN-6, TN-7 và TN-8)



Kết quả của phân tích sự truyền nhiệt qua kết cấu tường 220 (kể cả lớp vữa lớp tường dày 250mm) đã chỉ ra rằng, với giả thiết nhiệt truyền trên bề mặt của kết cấu tường 50°C thì sau khi truyền qua kết cấu tường dày 250mm, nhiệt trên bề mặt bên trong của tường là: 32.7°C (TN-5- sử dụng gạch đặc); 29.8°C (TN-6- sử dụng gạch rỗng); 30.64°C (TN-7- sử dụng gạch block) và 24.1°C (TN-8- sử dụng tấm tường panel 3 lớp với lớp giữa từ bê tông xốp).

Nhiệt độ giảm sau khi truyền qua các kết cấu tường 220 qua các thí nghiệm TN-1; TN-2; TN-3 và TN-4 lần lượt là: 17.3°C; 20.2°C; 19.4°C và 25.9°C. Mức độ cách nhiệt của panel tường 3 lớp tốt hơn 1,5 lần so với phương án tường xây gạch đặc; gấp 1,28 lần so với phương án tường xây gạch rỗng và 1,34 lần so với phương án tường xây gạch block bê tông xi.

Kết quả nghiên cứu phân tích truyền nhiệt qua kết cấu tường bao che đã chỉ ra rằng tấm panel bê tông cốt thép nhiều lớp với lớp giữa từ vật liệu bê tông nhẹ dẫn nhiệt thấp là giải pháp cách nhiệt hiệu quả hơn một số giải pháp kết cấu bao che truyền thống như tường bao che xây bằng gạch đặc, gạch rỗng, gạch block và phù hợp trong điều kiện khí hậu của miền Bắc Việt Nam.

#### 4. KẾT LUẬN

- Kết cấu panel bê tông cốt thép nhiều lớp với lớp giữa sử dụng bê tông nhẹ dẫn nhiệt thấp là một giải pháp tiên tiến đáp ứng được khả năng chịu lực và cách nhiệt hiệu quả trong điều kiện khí hậu của Việt Nam.

- Kết cấu tường 110 và tường 220 sử dụng kết cấu panel nhiều lớp với lớp giữa từ vật liệu bê tông nhẹ dẫn nhiệt thấp polystyrene có hiệu quả cách nhiệt tốt hơn một số phương án kết cấu tường truyền thống sử dụng xây gạch đặc, gạch block bê tông xi, gạch rỗng.

- Để tăng hiệu quả cách nhiệt cho tấm tường panel bê tông cốt thép nhiều lớp với lớp giữa sử dụng bê tông nhẹ dẫn nhiệt thấp polystyrene, có thể tăng chiều dày của lớp bê tông nhẹ dẫn nhiệt thấp.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Vu Dinh Tho, Tang Van Lam, Korol E. A., Bulgakov B. I., Aleksandrova O. V., Larsen O. A. (2020), "Heat-Insulating Properties of Effective Light Weight Concretes for Three-Layer Protecting Coverings of Buildings". *Industrial and Civil Engineering*, no. 5, pp. 36-44. DOI: 10.33622/0869-7019.2020.05.36-44.

[2]. R. U. Halwatura, M. T. R. Jayasinghe (2008), "Thermal performance of insulated roof slabs in tropical climates", *Energy Build*, vol. 40, pp. 1153-1160, doi:10.1016/j.enbuild.2007.10.006.

[3]. A. Belyaev, G. Nesvetaev, D. Mailyan (2018), "The Issues of Energy-Efficiency Increase of Three-Layer Reinforced Concrete Plate Constructions", *Adv. Intell. Syst. Comput. Vol. 692*, pp. 529-535, doi:10.1007/978-3-319-70987-1\_56.

[4]. M. Santamouris (2015), "Analyzing the heat island magnitude and characteristics in one hundred Asian and Australian cities and regions". *Sci. Total Environ.* Vol. 512, p. 582-598, doi:10.1016/j.scitotenv.2015.01.060.

[5]. L. E. Mavromatidis, P. Michel, M. El Mankibi, M. Santamouris (2010), "Study on transient heat transfer through multilayer thermal insulation: Numerical analysis and experimental investigation", *Build. Simul.*, vol. 3, pp. 279-294, doi:10.1007/s12273-010-0018-z.

[6]. E. Korol, M. Berlinova (2018), "Calculation of multilayer enclosing structures with middle layer of polystyrene concrete", *MATEC Web Conf.* vol. 193, 03020, doi:10.1051/mateconf/201819303020.

[7]. V. D. Tho, E.A. Kopol (2020), "Influence of contact layers on the crack resistance of bent three-layer structures". *Vestn. MGSU.* vol. 15, pp. 988-998, doi:10.22227/1997-0935.2020.7.988-998.

[8]. QCVN 02-2009 (2009), "Vietnam building code natural Physical & Climatic data for construction". *Standard Vietnam.* 324 p.

[9]. TCVN 4605-1988. "Heating techniques - insulating component - Designs standard". *Standard VietNam.* 1988. 27 p.

[10]. QCVN 09-2013 (2013), "National technical regulation on energy efficiency building". *Standard Vietnam.* 19 p.

[11]. E. Korol, V. D. Tho, and N. H. Hoang (2018), "Analysis of the effectiveness of thermal insulation of a multi-layer reinforced concrete slab using a layer of concrete with low thermal conductivity under the climatic conditions of Vietnam". *MATEC Web Conf.* vol. 251, 04026, 2018, doi:10.1051/mateconf/201825104026.

[12]. T. V. Lam, V. D.Tho, V. K Dien, B. I. Bulgakov, E. A. Korol (2018), "Properties and thermal insulation performance of lightweight concrete", *Mag. Civ. Eng.* vol. 84, pp. 173-191, doi:10.18720/MCE.84.17.

[13]. Lam N.S., Hanh P.D. (2015), "Thermal insulation for buildings". *Journal of Science and Technology in Civil Engineering.* No.4. Pp. 36-41.

[14]. Guo W., Qiao X., Huang Y., Fang M., Han X. "Study on energy saving effect of heat-reflective insulation coating on envelopes in the hot summer and cold winter zone". *Energy and Buildings.* 2012. Vol. 50. Pp 196-203. <https://doi.org/10.1016/j.solener.2018.07.036>

[15]. Y. H. M. Amran, R. S. M. Rashid, F. Hejazi, A. A. Abang Ali, N. A. Safiee, S. M. Bida (2017), "Structural Performance of Precast Foamed Concrete Sandwich Panel Subjected to Axial Load". *KSCSE J. Civ. Eng.* vol. 22, pp. 1179-1192, doi:10.1007/s12205-017-1711-6.

[16]. E. A. Korol (2018), "The choice of the rational parameters of three-layer reinforced concrete enclosing structures with the monolithic bond of layers by computer simulation", *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* vol. 456, 012075, doi:10.1088/1757-899X/456/1/012075.

[17]. P. L. N. Fernando, M. T. R. Jayasinghe, C. Jayasinghe (2017), "Structural feasibility of Expanded Polystyrene (EPS) based lightweight concrete sandwich wall panels", *Constr. Build. Mater.* vol. 139, pp. 45-51, doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.02.027.

[18]. Leshchenko M.V., Semko V. (2015), "Thermal characteristics of the external walling made of cold-formed steel studs and polystyrene concrete". *Magazine of Civil Engineering.* 2015. No.8. Pp. 43-55. DOI: 10.5862/MCE.60.6.

[19]. Hoang Minh Duc, Le Phuong Ly. (2018), "Effect of matrix particle size on EPS lightweight concrete properties". In *MATEC Web of Conferences* (Vol. 251, p. 01027). *EDP Sciences.* <https://doi.org/10.1051/mateconf/201825101027>.

[20]. V. D. Tho, E. A. Korol (2019), "Influence of geometrical parameters of the cross section, strength and deformability of the materials used on stressstrain state of three-layered reinforced concrete". *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* vol. 661, 012121, doi:10.1088/1757-899X/661/1/012121.

[21]. V. D. Tho, E. A. Korol, N. I. Vatin, H. M. Duc (2021), "The Stress-Strain State of Three-Layer Precast Flexural Concrete Enclosure Structures with the Contact Interlayers", *Buildings*, vol. 11, 88, p. 17, <https://doi.org/10.3390/buildings11030088>.

[22]. S. Moaveni. (2015), "Finite element analysis: Theory and application with ANSYS", (London, 2015).

[23]. QCVN 09-2017. "Quy chuẩn kỹ thuật quốc gia về các công trình xây dựng sử dụng năng lượng hiệu quả (National Technical Regulation on Energy Efficiency Buildings)". 30p.