

Nghiên cứu ảnh hưởng của bê tông và hàm lượng cốt thép đến khả năng kháng nứt của sàn panel ba lớp

The study on the influence of concrete and reinforcement content on the crack resistance of three-layer panel slab

> **VŨ ĐÌNH THƠ^{*}, PHẠM TUẤN ANH, PHẠM THỊ HIỀN, VŨ THỊ HƯƠNG LAN, LÊ NGỌC LAN, NGUYỄN THỊ THANH TÂM**

Trường Đại học Công nghệ Giao thông vận tải; Tác giả liên hệ: *Email: thovd@utt.edu.vn

TÓM TẮT

Sàn panel bê tông cốt thép ba lớp với lớp giữa từ vật liệu dẫn nhiệt thấp và lớp ngoài làm từ vật liệu bê tông chịu lực đang dần trở thành kết cấu triển vọng sử dụng làm kết cấu bao che trong công trình xây dựng. Sự làm việc của kết cấu bê tông cốt thép ba lớp sử dụng các loại bê tông khác loại dưới tác dụng của tải trọng bị ảnh hưởng từ các lớp vật liệu khác loại và cốt thép sử dụng. Trong bài báo này, nhóm tác giả nghiên cứu về sự ảnh hưởng của tỷ lệ mô đun đàn hồi giữa hai lớp bê tông khác loại của lớp trong, lớp ngoài và hàm lượng cốt thép sử dụng đến khả năng kháng nứt của kết cấu sàn panel bê tông cốt thép ba lớp dưới tác dụng của tải trọng. Phương pháp nghiên cứu được sử dụng bằng việc quy đổi tiết diện ngang của kết cấu nhiều lớp vật liệu về một loại vật liệu đồng nhất trên cơ sở tỷ lệ mô đun đàn hồi giữa các lớp vật liệu, và sử dụng phương pháp và công thức được trình bày trong tiêu chuẩn Việt Nam 5574-2018. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng: tỷ lệ mô đun đàn hồi của bê tông lớp trong, lớp ngoài và hàm lượng cốt thép sử dụng trong sàn panel ba lớp ảnh hưởng lớn đến khả năng kháng nứt và độ võng của kết cấu này dưới tác dụng của tải trọng. Khi tỷ lệ mô đun đàn hồi bê tông giữa lớp trong và lớp ngoài của kết cấu sàn càng tăng thì khả năng kháng nứt của sàn càng tăng, độ võng của sàn nhiều lớp càng giảm. Trong sàn panel ba lớp được khảo sát, sự thay đổi tỷ lệ mô đun đàn hồi giữa bê tông nhẹ ở lớp trong và bê tông chịu lực ở lớp ngoài làm thay đổi khả năng kháng nứt của sàn nhiều hơn ảnh hưởng của sự thay đổi hàm lượng cốt thép trong sàn. Kết quả nghiên cứu giúp các nhà thiết kế kết cấu sàn panel ba lớp lựa chọn được các tham số hợp lý và phù hợp với yêu cầu kháng nứt cho sàn.

Từ khóa: Kết cấu bê tông cốt thép nhiều lớp; bê tông nhẹ; bê tông dẫn nhiệt thấp; bê tông xốp.

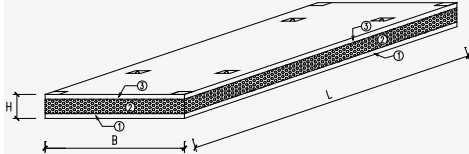
ABSTRACT

Three-layer reinforced concrete panel slabs with a middle layer made of low thermal conductivity materials and outer layers made of load-bearing concrete materials are gradually becoming a promising structure for use as enclosure systems in construction projects. The behavior of the three-layer reinforced concrete structure using different types of concrete under the influence of loads is significantly affected by the interaction between the different material layers and the reinforcement used. In this paper, the authors investigate the effect of the elastic modulus ratio between the two different types of concrete in the inner and outer layers, as well as the steel reinforcement content, on the cracking resistance of the three-layer reinforced concrete panel slab under load. The research method involves converting the cross-sectional area of the multilayer material structure into a homogeneous material based on the elastic modulus ratio between the material layers and applying the methods and formulas outlined in the Vietnamese Standard 5574-2018. The research results show that: the elastic modulus ratio of the concrete in the inner and outer layers, and the steel reinforcement content used in the three-layer panel slab, significantly affect the cracking resistance and deflection of the structure under load. As the elastic modulus ratio between the inner and outer concrete layers increases, the cracking resistance of the slab improves, and the deflection of the multilayer slab decreases. In the three-layer panel slab investigated, the change in the elastic modulus ratio between the lightweight concrete in the inner layer and the load-bearing concrete in the outer layer has a greater impact on the cracking resistance of the slab than the change in the steel reinforcement content. The research results help designers of three-layer panel slabs select appropriate parameters that meet the cracking resistance requirements for the slab.

Keywords: Multi-layer reinforced concrete structures; lightweight concrete; low thermal conductivity concrete polystyrene concrete.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Ngày nay, sự biến đổi khí hậu và nóng lên toàn cầu đang đặt ra nhiệm vụ cho sự phát triển khoa học công nghệ để con người có thể thích ứng với yêu cầu này. Một trong những hướng phát triển của các kết cấu xây dựng đáp ứng yêu cầu về giảm nhiệt lượng truyền từ bên ngoài tòa nhà vào bên trong các tòa nhà là sử dụng kết cấu bao che bê tông cốt thép ba lớp có lớp giữa từ vật liệu bê tông dẫn nhiệt thấp, lớp ngoài sử dụng bê tông chịu lực. Loại kết cấu này đang được phát triển và sử dụng ngày càng rộng rãi trong công trình dân dụng, công trình công nghiệp và các công trình công cộng,... [1-4].



Hình 1. Tấm panel sàn ba lớp bê tông cốt thép có lớp giữa sử dụng bê tông nhẹ dẫn nhiệt thấp

Kết cấu bê tông cốt thép ba lớp có lớp giữa từ vật liệu bê tông dẫn nhiệt thấp như bê tông xốp, bê tông bọt... với chiều dày phụ thuộc vào yêu cầu cách nhiệt của kết cấu bao che. Lớp ngoài của kết cấu ba lớp sử dụng bê tông có khả năng chịu lực như bê tông nặng, bê tông keramzit,... [4], [5] & [6] với chiều dày của lớp bê tông ngoài thường không nhỏ hơn 40mm để đáp ứng yêu cầu về cấu tạo bảo vệ cốt thép và các yêu cầu về chịu lực [6], [7], [8]. Sự làm việc của kết cấu nhiều lớp với việc kết hợp các vật liệu khác loại dưới tác dụng của tải trọng, đòi hỏi sự phát triển nghiên cứu lý thuyết tính toán cho loại kết cấu này.

Trên thế giới và Việt Nam đã có nhiều nghiên cứu trình bày các phương pháp tính toán khác nhau, sử dụng tính toán các kết cấu bê tông cốt thép nhiều lớp. Trong các nghiên cứu [9], [10] các tác giả đề xuất phương pháp tính toán ứng suất - biến dạng của kết cấu có tiết diện mặt cắt ngang từ ba lớp vật liệu khác loại được quy đổi về tiết diện chữ I sử dụng một loại vật liệu, trên cơ sở quy đổi tỷ lệ mô đun đàn hồi ban đầu của các loại bê tông. Phương pháp này bỏ qua các đặc tính cơ lý khác nhau của các loại vật liệu, và coi các lớp vật liệu liên kết toàn khối với nhau.

Trong các nghiên cứu [11], [12], [13], các tác giả trình bày phương pháp tính toán ứng suất - biến dạng của kết cấu bê tông cốt thép ba lớp dựa trên mối quan hệ ứng suất biến dạng riêng của mỗi lớp. Trên mặt cắt tiết diện ngang của kết cấu, các tác giả đã giả thuyết rằng tại mặt tiếp xúc giữa hai lớp vật liệu có cùng biến dạng, nhưng do đặc tính khác nhau vật liệu có mô đun đàn hồi khác nhau nên tại vị trí đó có bước nhảy về ứng suất ở 2 lớp vật liệu khác loại. Phương pháp tính toán này cho phép xét đến các đặc tính cơ lý khác nhau của các loại vật liệu khác loại. Trong quá trình sản xuất kết cấu bê tông cốt thép nhiều lớp vật liệu, một vùng tiếp xúc hình thành giữa các lớp vật liệu khác loại kề nhau dưới dạng một lớp liên kết do sự xâm nhập của các hạt cốt liệu lớn và cốt liệu nhỏ từ lớp này xâm nhập vào lớp kia. Các phát hiện này đã được trình bày và chỉ ra trong các nghiên cứu [14], [15], [16]. Sự hình thành lớp liên kết giữa hai lớp vật liệu khác loại ảnh hưởng đến mô hình tính toán và phương pháp tính toán kết cấu nhiều lớp sử dụng vật liệu khác loại dưới tác dụng của tải trọng. Kết quả nghiên cứu trong các công bố [17], [18], [19], [20] đã trình bày phương pháp tính toán kết cấu bê tông cốt thép nhiều lớp sử dụng vật liệu khác loại, có xét đến sự hình thành lớp liên kết dựa trên giả thuyết về lớp liên kết của Kirchhoff-Love. Phương pháp tính toán này phù hợp hơn với sự làm việc thực tế của kết cấu. Ngoài ra, có thể kể đến một số nghiên cứu khác phát triển lý thuyết tính toán kết cấu bê tông cốt thép nhiều lớp sử dụng vật liệu khác loại như: Ảnh hưởng của các tính chất cơ lý của bê tông và

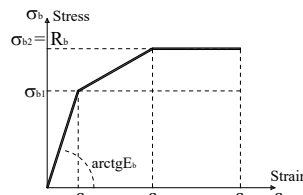
các tham số hình học của các lớp vật liệu được phân tích trong công bố [21]. Ảnh hưởng phi tuyến hình học và tính chất đàn dẻo của bê tông đến trạng thái ứng suất-biến dạng của kết cấu nhiều lớp được nghiên cứu trong công bố [22]. Sự xuất hiện của các vết nứt trong lớp bên trong được trình bày ở công bố [23]. Các kết quả nghiên cứu thực nghiệm ở trong các công bố [6], [10] đã trình bày ảnh hưởng của các tham số trong quy trình sản xuất kết cấu đến việc hình thành lớp tiếp xúc giữa các lớp bê tông khác nhau. Trạng thái ứng suất-biến dạng của sàn nhiều lớp uốn đã được phân tích bằng phương pháp phần tử hữu hạn trong công bố [24]. Tuy nhiên, các phương pháp tính toán này tỏ ra khá phức tạp để các kỹ sư sử dụng khi thiết kế các kết cấu nhiều lớp dưới tác dụng của tải trọng. Vì vậy, việc nghiên cứu vận dụng các phương pháp có sẵn kết hợp với tiêu chuẩn TCVN 5574-2018 để áp dụng cho các kết cấu nhiều lớp là một vấn đề cấp thiết và có ý nghĩa thực tiễn cao.

Trong bài báo này, các tác giả tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của tỷ lệ mô đun đàn hồi giữa hai lớp bê tông khác loại ở lớp trong và lớp ngoài và hàm lượng cốt thép sử dụng ảnh hưởng đến khả năng kháng nứt của kết cấu sàn panel bê tông cốt thép ba lớp dưới tác dụng của tải trọng.

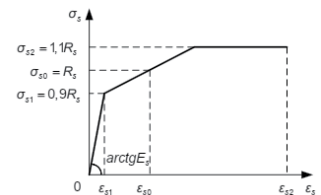
2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1 Vật liệu sử dụng

Kết cấu bê tông cốt thép ba lớp, có lớp giữa từ bê tông nhẹ (polystyren bê tông) dẫn nhiệt thấp thường sử dụng có cường độ chịu nén nhỏ hơn 10 Mpa, và lớp ngoài từ bê tông có khả năng chịu lực như bê tông keramzit hoặc bê tông nặng có cấp bền từ B12,5 đến B30 [1], [9]. Cốt thép được sử dụng trong nghiên cứu là cốt thép CB240-T. Biểu đồ quan hệ giữa ứng suất và biến dạng của bê tông và cốt thép sử dụng được mô tả hình 1b và hình 1b [25].



Hình 1a. Biểu đồ quan hệ ứng suất biến dạng của bê tông khi làm việc chịu nén [25]
Trong đó: σ_b - Cường độ chịu nén của bê tông;
 R_b - Cường độ chịu nén hình lăng trụ;
 ε_b - Biến dạng của bê tông;
 ε_{b1} ; ε_{b0} ; ε_{b2} - biến dạng của bê tông tương ứng với ứng suất $\sigma_{b1}=0.6 \cdot R_b$; $\sigma_{b0}=R_b$; σ_{b2}



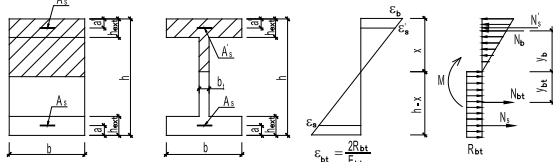
Hình 1b. Biểu đồ ứng suất biến dạng của cốt thép [25]
Trong đó: σ_s - Giới hạn chảy của cốt thép;
 σ_u - Giới hạn bền của cốt thép;
 ε_s - Biến dạng của cốt thép khi σ_s ;
 ε_u - Biến dạng của thép khi σ_u .

2.2 Phương pháp tính toán kết cấu bê tông cốt thép nhiều lớp chịu uốn khi hình thành vết nứt trên cơ sở quy đổi mô đun đàn hồi giữa các lớp vật liệu

Trong nghiên cứu của mình [9, 10], các tác giả đã trình bày phương pháp tính toán ứng suất và biến dạng của kết cấu bê tông cốt thép ba lớp từ các vật liệu bê tông khác loại trên cơ sở quy đổi nhiều loại bê tông khác loại về một loại vật liệu bê tông đồng nhất dựa vào tỷ lệ mô đun đàn hồi của các loại bê tông. Sau đó, sử dụng các công thức trong TCVN 5574-2018 [25] để tính toán thiết kế cho loại kết cấu này. Phương pháp này có ưu điểm có thể sử dụng các công thức có sẵn trong tiêu chuẩn Việt Nam để áp dụng, bằng cách quy đổi sàn từ tiết diện mặt cắt ngang chữ nhật từ nhiều loại vật liệu sang tiết diện mặt cắt ngang chữ nhật từ một loại vật liệu.

Việc tính toán trạng thái ứng suất biến dạng của kết cấu bê tông cốt thép ba lớp lúc này trở về bài toán tính toán ứng suất biến dạng của kết cấu bê tông chịu uốn tiết diện chữ I dưới tác dụng của tải trọng. Trường hợp cánh nằm trong vùng chịu nén, dựa theo

vị trí trục trung hòa: Nếu trục trung hòa nằm ở cánh, tính toán kết cấu sàn ba lớp bê tông cốt thép chịu uốn như tính toán với tiết diện ngang hình chữ nhật. Nếu trục trung hòa nằm ở sườn, tính toán kết cấu sàn nhiều lớp bê tông cốt thép chịu uốn như tính toán với tiết diện ngang hình chữ I.



Hình 2. Sơ đồ trạng thái ứng suất biến dạng của kết cấu bê tông cốt thép chịu uốn khi vết nứt hình thành

Sơ đồ trạng thái làm việc của kết cấu sàn bê tông cốt thép chịu uốn tiết diện chữ I đến khi vết nứt bắt đầu hình thành được mô tả trên hình 2

Đối với các kết cấu chịu uốn không ứng suất trước, mô men của sàn panel tại thời điểm trước khi hình thành vết nứt, có xem xét đến các ứng suất co ngót được xác định theo công thức :

$$M_{cr} = R_{bt,ser} W_{pl} \quad (8)$$

Trong đó W_{pl} - Mô men kháng uốn của tiết diện quy đổi;

$$W_{pl} = \gamma \frac{I_{red}}{y_t} \quad (9)$$

$$I_{red} = I_b + \alpha I_s + \alpha I_s' \quad (10)$$

I_b ; I_s ; I_s' lần lượt là mô men quán tính của tiết diện bê tông, của tiết diện cốt thép chịu kéo và của cốt thép chịu nén; α là hệ số quy

đổi cốt thép về bê tông $\alpha = \frac{E_s}{E_b}$

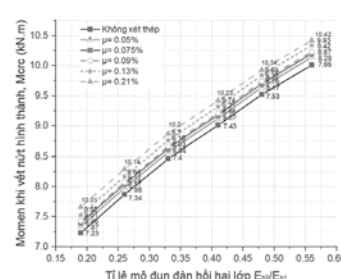
y_t là khoảng cách từ trục bê tông chịu kéo ngoài cùng đến trọng tâm của tiết diện quy đổi.

Độ võng của sàn panel bê tông cốt thép ba lớp sử dụng các loại vật liệu khác loại, khi quy đổi về sàn tiết diện chữ I cùng loại vật liệu gồm độ võng do momen uốn (f_M) và độ võng do lực cắt (f_Q), xác định theo công thức sau :

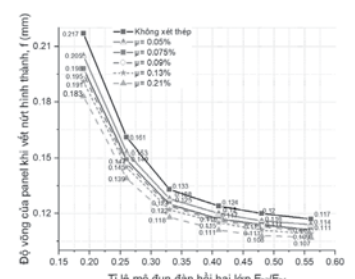
$$f_M = \frac{M}{\varphi_{b1} E_b J_{red}} \rho_m l^2 \quad (16)$$

Mô đun đàn hồi của bê tông lớp ngoài , E _{b1} , MPa	Mô đun đàn hồi của bê tông lớp trong , E _{b2} , MPa	Tỷ số mô đun đàn hồi vật liệu của hai lớp, E _{b2} / E _{b1}	Giá trị mô men M _{cr} (kN.m) khi vết nứt bắt đầu hình thành					
			Không xét đến cốt thép	μ=0,05% (2Ø6)	μ=0,075% (3Ø6)	μ=0,09% (2Ø8)	μ=0,13% (3Ø8) và (2Ø10)	μ=0,21% (3Ø10)
27000	5000	0.19	7.23	7.34	7.40	7.43	7.53	7.66
27000	7000	0.26	7.87	7.98	8.04	8.07	8.17	8.29
27000	9000	0.33	8.46	8.57	8.63	8.66	8.76	8.87
27000	11000	0.41	9.01	9.12	9.18	9.21	9.32	9.42
27000	13000	0.48	9.52	9.64	9.70	9.74	9.84	9.93
27000	15000	0.56	10.01	10.14	10.20	10.23	10.34	10.42

Từ kết quả phân tích trong bảng 2 và hình 4 đã chỉ ra rằng, khi hàm lượng cốt thép không thay đổi, tỷ lệ mô đun đàn hồi giữa bê tông của lớp trong và lớp ngoài thay đổi từ 0.19 đến 0.5, Momen kháng nứt của sàn bê tông cốt thép thay đổi từ 7.23 kN.m đến 10.01 kN.m (tức có thể làm tăng khả năng kháng nứt của sàn từ 100% lên đến 138.5%). Khi tỷ lệ mô đun đàn hồi giữa bê tông lớp trong và lớp ngoài không thay đổi, nhưng hàm lượng cốt thép thay đổi từ $\mu=0,05\%$ đến $\mu=0,21\%$, Momen kháng nứt của panel sàn bê tông cốt thép thay đổi từ 100% lên đến 105%.



Hình 4. Biểu đồ biểu thị mô men khi hình thành vết nứt của sàn 3 lớp



Hình 5. Biểu đồ biểu thị mô men khi hình thành vết nứt của sàn 3 lớp

$$f_Q = \int \frac{kQ(x)}{GF} dx + C_Q \quad (17)$$

Trong đó: C_Q - Hằng số tích phân;

G - Mô đun kháng cắt của vật liệu;

k - hệ số kể đến ảnh hưởng của hình dạng và kích thước tiết diện ngang của kết cấu, được xác định theo công thức::

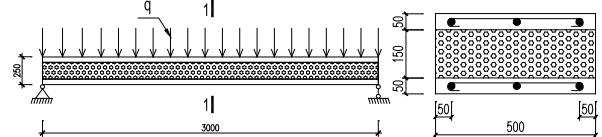
$$k = \frac{F}{J^2} \int \frac{S^2(z)}{b(z)} dz \quad (18)$$

F và J - diện tích và momen quán tính của tiết diện mặt cắt ngang;

S và b - momen tĩnh và bề rộng tiết diện đang xét.

3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ THẢO LUẬN

Phân tích khả năng kháng nứt của panel sàn bê tông cốt thép ba lớp được thực hiện trên mẫu sàn kích thước: bề rộng $b=500\text{mm}$, chiều dày của sàn $h=250\text{mm}$ và chiều dài của panel sàn $l=3000\text{mm}$. Các thông số hình học và sơ đồ tính được thể hiện trên hình 3 và bảng 1.



Hình 3. Sơ đồ và kích thước của sàn ba lớp

Bảng 1. Bảng tham số đặc tính các lớp và vật liệu sử dụng

Tham số vật liệu	Lớp ngoài (1) (B15)	Lớp trong (2)	Lớp ngoài (1) (B15)
Chiều dày của lớp, m	0,05	0.15	0,05
Cường độ chịu nén của bê tông R_b , MPa	$R_{b1}=8.5$	R_{b2}	$R_{b1}=8.5$
Cường độ chịu kéo của bê tông R_{bt} , MPa	$R_{bt1}=0.75$	R_{bt2}	$R_{bt1}=0.75$
Mô đun đàn hồi ban đầu của bê tông E_b , MPa	$E_{b1}=27000$	E_{b2} từ 5000 đến 15000 MPa	$E_{b1}=27000$
Hệ số poát xông $v=0,2$	0.2	0.2	0.2
Trọng lượng thể tích của vật liệu, kg/m^3	2400	-	2400
Hàm lượng cốt thép sử dụng loại CB300V	thay đổi từ $\mu=0,05\%$ đến 0.3%		

Kết quả nghiên phân tích được thể hiện trong bảng 2 và hình 4 Bảng 2 -Momen của sàn tại thời điểm vết nứt bắt đầu được hình thành

#Bảng 3 -Độ võng của sàn tại thời điểm vết nứt bắt đầu được hình thành

Mô đun đàn hồi của bê tông lớp ngoài, E_{b1} , MPa	Mô đun đàn hồi của bê tông lớp trong, E_{b2} , MPa	Tỷ số mô đun đàn hồi vật liệu của hai lớp, E_{b2}/E_{b1}	Độ võng của sàn f (mm) khi vết nứt bắt đầu hình thành					
			Không xét đến cốt thép	$\mu=0,05\%$ (2Ø6)	$\mu=0,075\%$ (3Ø6)	$\mu=0,09\%$ (2Ø8)	$\mu=0,13\%$ (3Ø8) và (2Ø10)	$\mu=0,21\%$ (3Ø10)
27000	5000	0.19	0.217	0.205	0.198	0.195	0.191	0.183
27000	7000	0.26	0.161	0.153	0.149	0.147	0.145	0.139
27000	9000	0.33	0.133	0.128	0.125	0.124	0.122	0.118
27000	11000	0.41	0.124	0.12	0.117	0.116	0.115	0.111
27000	13000	0.48	0.12	0.116	0.114	0.113	0.111	0.108
27000	15000	0.56	0.117	0.114	0.111	0.110	0.109	0.107

Từ kết quả phân tích trong bảng 3 và hình 5 đã chỉ ra rằng, khi tỷ lệ mô đun đàn hồi giữa bê tông của lớp trong và lớp ngoài thay đổi từ 0.19 đến 0.5, độ võng của sàn giảm từ 0.217mm xuống 0.117mm ở trường hợp không xét đến ảnh hưởng của cốt thép. Khi hàm lượng cốt thép càng cao, độ võng của sàn càng giảm. Sự chênh lệch giữa độ võng ở các trường hợp với cùng một hàm lượng cốt thép cũng khác nhau khi tỷ lệ mô đun đàn hồi giữa các lớp vật liệu khác nhau.

4. KẾT LUẬN

- Kết cấu sàn panel bê tông cốt thép ba lớp với lớp giữa sử dụng bê tông nhẹ dẫn nhiệt thấp là một giải pháp tiên tiến và hiệu quả để cách nhiệt truyền qua kết cấu bao che từ bên ngoài vào bên trong công trình ở điều kiện khí hậu của Việt Nam.

- Khả năng kháng nứt của sàn chịu ảnh hưởng nhiều bởi loại bê tông và cốt thép sử dụng. Khi tỷ lệ mô đun đàn hồi giữa bê tông ở lớp trong và lớp ngoài càng tăng thì khả năng kháng nứt của sàn càng tăng, độ võng của sàn càng giảm.

- Trong sàn panel ba lớp được khảo sát, sự thay đổi tỷ lệ mô đun đàn hồi giữa bê tông nhẹ ở lớp trong và bê tông chịu lực ở lớp ngoài làm thay đổi khả năng kháng nứt của sàn nhiều hơn sự thay đổi hàm lượng cốt thép trong sàn.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. 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.
- [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]. 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.
- [4]. 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.
- [5]. 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.
- [6]. 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.
- [7]. 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.
- [8]. 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.
- [9]. V. D. Tho, P. T. Anh (2023), "A method for calculating flexural multi-layer reinforced

concrete structures". Vietnam Institute for Building Science and Technology, 2023, vol 2, p. 22–33, doi: 10.59382/j-ibst.2023.vi.vol2-3

[10]. 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.

[11]. 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". KSCE J. Civ. Eng. vol. 22, pp. 1179–1192, doi:10.1007/s12205-017-1711-6.

[12]. 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.

[13]. M. Aydogdu (2005), "Analysis of cross-ply laminated beams with general boundary conditions by Ritz method". Int. J. Mech. Sci. vol. 47, pp. 1740–1755, doi:10.1016/j.jimecs.2005.06.010.

[14]. 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.

[15]. F. Gara, L. Ragni, D. Roia, L. Dezi (2012), "Experimental behaviour and numerical analysis of floor sandwich panels". Eng. Struct, vol. 36, pp. 258–269, doi:10.1016/j.engstruct.2011.12.011.

[16]. A. Shams, M. Horstmann, J. Hegger (2014), "Experimental investigations on Textile-Reinforced Concrete (TRC) sandwich sections", Compos. Struct, vol. 118, pp.643–653, doi:10.1016/j.compstruct.2014.07.056.

[17]. V. I. Andreev, R. A. Turusov, N. Y. Tsybin (2016), "Application of the Contact Layer in the Solution of the Problem of Bending the Multilayer Beam". Procedia Eng, vol. 153, pp. 59–65, doi:10.1016/j.proeng.2016.08.080.

[18]. R. A. Turusov, V. I. Andreev, N. Y. Tsybin (2020), "The contact layer stiffness influence assessment on the stress-strain state of a multilayer beam. Architecture, design and reconstruction of architectural heritage (2020)". IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng. vol. 913, 2020, doi:10.1088/1757-899X/913/3/032053.

[19]. V. I. Andreev, R. A. Turusov, N. Y. Tsybin (2017), "The contact layer method in calculating of the shear compounds". MATEC Web Conf. vol. 117, doi:10.1051/mateconf/201711700008.

[20]. N. Tsybin, R. Turusov, V. Andreev, A. Kolesnikov (2018), "Stress-strain state of a three-layer rod. Comparison of the results of analytical and numerical calculations with the experiment". MATEC Web Conf. 2018, vol. 196, 01057, doi:10.1051/mateconf/201819601057.

[21]. Korol, E.A. "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. 2018, 456, 012075, doi:10.1088/1757-899X/456/1/012075.

[22]. Benayoune, A.; Samad, A.; Trikha, D.N.; Ali, A.A.; Ellinra, S.H.M. "Flexural behaviour of pre-cast concrete sandwich composite panel-Experimental and theoretical investigations". Constr. Build. Mater. 2008, 22, 580–592, doi:10.1016/j.conbuildmat.2006.11.023.

[23]. Marčiukaitis, G.; Juknevičius, L. "Influence of the Internal Layer Cracks on the Cracking of Flexural Three-Layer Concrete Members". J. Civ. Eng. Manag. 2002, 8, 153–158, doi:10.1080/13923730.2002.10531270.

[24]. Thanh-Quang-Khai LamThi-My-Dung Do (2023), The Behavior of RC Beams Strengthened with Steel Fiber Concrete Layer by ANSYS Simulation, Hindawi Advances in Civil Engineering, Vol. 2023, 4711699, p. 17, https://doi.org/10.1155/2023/471169

[25]. TCVN 5574:2018, "Design of concrete and reinforced concrete structures", 2018.