

# Kiểm soát nứt ở tuổi sớm trong bê tông móng trụ điện gió được thi công theo phương pháp đổ liên tục với hai lớp cấp phối tỏa nhiệt khác nhau

Vũ Chí Công<sup>1\*</sup>, Lê Văn Minh<sup>1</sup>, Hồ Ngọc Khoa<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

## TỪ KHOÁ

Ứng suất nhiệt  
Bê tông khối lớn  
Nứt do nhiệt  
Nhiệt thủy hóa xi măng  
Cấp phối tỏa nhiệt khác nhau  
Móng trụ điện gió  
Nứt tuổi sớm  
Sự gia tăng nhiệt độ

## TÓM TẮT

Để tránh những sự cố do ứng suất nhiệt gây ra trong quá trình bê tông đóng rắn đối với các cấu kiện của công trình được xây dựng bởi công nghệ Bê tông khối lớn cần lựa chọn cấp phối và quy trình công nghệ thi công phù hợp dựa trên kết quả nghiên cứu về kiểm soát nứt mà đặc biệt là nứt do nhiệt. Nứt do nhiệt của kết cấu Bê tông cốt thép khối lớn trong quá trình đóng rắn được hình thành từ nhiệt thủy hóa xi măng đã là vấn đề chủ yếu thường gặp trong nhiều năm qua. Vấn đề chênh lệch nhiệt độ giữa tâm và bề mặt cần được khống chế. Để kiểm soát sự chênh lệch nhiệt độ này thì phương pháp đổ liên tục với 2 cấp phối tỏa nhiệt khác nhau đã được áp dụng để nghiên cứu cho khối đổ bê tông của móng trụ điện gió ở trong bài viết này. Mục tiêu của bài viết là phân tích ứng xử nhiệt của cấu kiện khối bê tông móng trụ điện gió được thi công theo phương pháp đổ liên tục với hai cấp phối tỏa nhiệt khác nhau, dưới sự hỗ trợ của phần mềm Midas civil nhằm kiểm soát nứt ở tuổi sớm và sự gia tăng nhiệt độ. Các phân tích được thực hiện trên mô hình khối móng trụ điện gió với kích thước 12x12x3,5m. Từ kết quả phân tích, bài viết đưa ra các kết luận và làm tài liệu tham khảo cho các nhà nghiên cứu.

## KEYWORDS

Thermal stress  
Mass concrete  
Thermal cracking  
Heat of cement hydration  
Different heat generation mix  
Wind turbine tower foundations  
Early age crack  
Temperature increase

## ABSTRACT

To avoid problems caused by thermal stress during the concrete curing process for building components built with Mass Concrete technology, it is necessary to choose appropriate mix and construction technology processes. Based on research results on cracking control, especially thermal cracking. Thermal cracking of mass concrete structures during the curing process, formed from the heat of cement hydration, has been a major problem encountered for many years. The problem of temperature difference between the center and the surface needs to be controlled. To control this temperature difference, the continuous pouring method with 2 different heat generation mixes was applied to research the concrete pouring of the wind turbine tower foundation in this article. The objective of the article is to analyze the thermal reaction of wind turbine tower foundation concrete constructed by the continuous pouring method with two different heat generation mixes, with the support of Midas civil software to controls cracking at early ages and temperature increases. The analyzes were performed on a wind turbine tower foundation model with dimensions of 12x12x3,5m. From the analysis results, the article draws conclusions and serves as a reference for researchers.

## 1. Giới thiệu

Các công trình dân dụng và công nghiệp cũng như hạ tầng, giao thông với quy mô lớn ngày càng được xây dựng nhiều trên thế giới và ở Việt Nam. Hệ kết cấu bê tông cốt thép của các công trình này như đài móng, trụ cầu, dầm chuyên, sàn chuyên... thường có kích thước rất lớn. Thi công kết cấu bê tông khối lớn đòi hỏi các yêu cầu nghiêm ngặt về kỹ thuật và công nghệ. Trong đó, yêu cầu về chống nứt kết cấu là vấn đề cần được quan tâm nhất. Bê tông là vật liệu tổng hợp được cấu tạo từ xi măng, nước, cốt liệu và phụ gia. Trong quá trình đổ bê tông, nhiệt lượng tỏa ra tạo phản ứng hóa học giữa xi măng và nước - nhiệt thủy hóa xi măng gây ra một lượng nhiệt lớn. Lượng nhiệt thủy hóa lớn sinh ra trong thời gian ngắn dẫn đến nhiệt độ bê tông tăng nhanh ở tuổi

sớm. Nhiệt độ cao - lớn hơn 80°C có thể làm chậm quá trình hình thành ettringite, có thể làm cho bê tông giãn nở và nứt, từ đó làm giảm cường độ và độ bền của nó. Hơn nữa, ở bên trong bê tông, nhiệt bị giữ lại do bê tông có tính dẫn nhiệt kém, trong khi ở bề mặt bê tông, nhiệt được thải ra ngoài môi trường nhanh hơn. Nhiệt bị giữ lại làm cho nhiệt độ bên trong tương đối cao hơn nhiệt độ ở bề mặt ngoài của khối đổ. Sự chênh lệch nhiệt độ giữa tâm và bề mặt dẫn đến thay đổi thể tích từ đó sẽ tạo ra ứng suất kéo trong bê tông. Nếu ứng suất kéo này lớn hơn cường độ kéo cho phép của bê tông thì hiện tượng nứt sẽ xảy ra [1-4].

Trong các kết cấu bê tông khối lớn, sự phân bố nhiệt độ không đồng đều rất rõ ràng. Để kiểm soát hoặc tránh nguy cơ nứt nhiệt trong bê tông khối, nhiệt độ ở tuổi đầu của nó phải được kiểm soát và khống chế ở ngưỡng cho phép [5, 6]. Trong những thập kỷ gần đây, các kỹ sư và nhà

\*Liên hệ tác giả: congvc@huce.edu.vn

Nhận ngày 05/12/2023, sửa xong ngày 16/12/2023, chấp nhận đăng ngày 02/02/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.02.2024.604>

khoa học đã có nhiều nỗ lực nhằm giảm nhiệt độ bên trong bê tông.

Một số biện pháp kiểm soát nứt kết cấu bê tông khối lớn phổ biến bao gồm: Chia nhỏ khối đổ bê tông để giảm lượng nhiệt thủy hóa trong từng khối đổ [7]; đổ bê tông thành nhiều đợt để giảm lượng nhiệt thủy hóa; sử dụng dàn thoát nhiệt đưa nhiệt độ ra ngoài [8] - phương pháp này nhằm mục đích giảm nhiệt độ của bê tông trong khi nó đang đóng rắn, quá trình làm mát này chủ yếu được thực hiện bằng cách tuần hoàn nước lạnh trong các đường ống gắn trong bê tông, giúp cho ứng suất nhiệt nhỏ hơn ứng suất kéo của bê tông; Phương pháp làm mát sơ bộ - phương pháp này thường liên quan đến việc cài tiến vật liệu hoặc giảm nhiệt độ khối đổ [10,11], phụ gia gây cản trở nhiệt thủy hóa đã được Jia và các cộng sự [9] đã thành công trong việc sử dụng để giảm nhiệt độ đỉnh của nó bằng cách trì hoãn quá trình nhiệt thủy hóa xi măng portland ở nhiệt độ thấp, mục tiêu chính của việc giảm nhiệt độ khối đổ là giảm tốc độ thủy hóa xi măng bằng cách làm mát các thành phần cấu tạo nên khối bê tông [10,11,12] bên cạnh đó, việc sử dụng đá để thay thế một phần nước trong bê tông cũng là một giải pháp hữu ích.

Các biện pháp trên thì đã được đề xuất trong nhiều nghiên cứu và đã được áp dụng trong thi công thực tế ở nhiều công trình. Hiện nay công nghệ thi công bê tông khối lớn theo phương án đổ liên tục có phân chia lớp đổ tỏa nhiệt khác nhau nhằm kiểm soát nứt do nhiệt là công nghệ mới, xuất phát từ Hàn Quốc, đã được áp dụng trong thi công một số công trình ở Việt Nam. Tuy nhiên, các nghiên cứu chuyên sâu trên thế giới và ở Việt Nam về vấn đề này còn ít và việc tính toán, thiết kế biện pháp công nghệ - tổ chức thi công còn nhiều hạn chế. Cần phải có những nghiên cứu về phương pháp tính toán và số liệu thực tế để đảm bảo bê tông không bị nứt trong quá trình đóng rắn. Việc phân tích ứng xử nhiệt của kết cấu bê tông đổ liên tục có phân chia lớp đổ giai đoạn đầu đóng rắn sử dụng phương pháp số như phương pháp phần tử hữu hạn để đưa ra các biểu đồ dự đoán về chế độ nhiệt, trạng thái ứng suất nhiệt cũng như chỉ số đánh giá nứt trong kết cấu bê tông móng trụ điện gió, nhằm kiểm soát nứt do nhiệt ở tuổi sớm là một định hướng cần thiết và có ý nghĩa thực tiễn. Bài viết này nghiên cứu sử dụng giải pháp thi công đổ liên tục với 2 cấp phối tỏa nhiệt khác nhau nhằm kiểm soát nứt do nhiệt ở tuổi sớm của kết cấu móng trụ điện gió.

## 2. Cơ sở lý thuyết của phân tích truyền nhiệt

### 2.1. Phương trình lý thuyết truyền nhiệt trong bê tông

Truyền nhiệt là một hàm quá trình (process function), lượng nhiệt sẽ làm thay đổi trạng thái của một hệ phụ thuộc vào cách thức xảy ra quá trình, chứ không phải chỉ đơn thuần là hiệu số giữa trạng thái ban đầu và cuối quá trình. Theo [13] thì phương trình của bài toán truyền nhiệt được mô tả như sau:

$$\frac{\partial}{\partial x} \left( k_x \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left( k_y \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left( k_z \frac{\partial T}{\partial z} \right) + q = \rho C \frac{\partial T}{\partial t} \quad (1)$$

Trong đó:  $T(x,y,z,t)$ : Nhiệt độ của 1 điểm bất kỳ ở thời điểm  $t$  (°C);  $k_x, k_y, k_z$ : Hệ số dẫn nhiệt của vật liệu theo mỗi phương (x,y,z) (kcal/m.h.°C);  $C$ : Nhiệt dung riêng của vật liệu bê tông (kcal/kg.°C);  $\rho$ :

Khối lượng riêng của vật liệu (kg/m<sup>3</sup>);  $q$ : Nhiệt sinh ra của một đơn vị thể tích (nguồn nhiệt – nhiệt thủy hóa) (kcal/m<sup>3</sup>).

Trong các bài toán truyền nhiệt thì điều kiện biên được chia làm các trường hợp như sau [14]:

Tại mặt tiếp xúc của khối bê tông với nền đất:

$$T(x,y,z,t) = T_0 \quad (2)$$

Biên truyền nhiệt (tại mặt thoáng của khối bê tông):

$$k_x \frac{\partial T}{\partial x} l + k_y \frac{\partial T}{\partial y} m + k_z \frac{\partial T}{\partial z} n + q = 0 \quad (3)$$

Biên đối lưu (tại mặt tiếp xúc với ván khuôn):

$$k_x \frac{\partial T}{\partial x} l + k_y \frac{\partial T}{\partial y} m + k_z \frac{\partial T}{\partial z} n + h(T - T_\infty) = 0 \quad (4)$$

Trong đó:  $h$ : Là hệ số đối lưu (kcal/ m<sup>2</sup>.h. °C);  $T_\infty$ : Là nhiệt độ bão hòa (môi trường xung quanh) (°C);  $l, m, n$  là cosin chỉ hướng của các mặt truyền nhiệt đang xét;  $q$ : Lưu lượng dòng nhiệt (kcal/m<sup>3</sup>).

### 2.2. Ứng suất nhiệt và Chỉ số nứt

Khi chênh lệch nhiệt độ  $\Delta T$  càng lớn thì ứng suất nhiệt trong khối bê tông càng lớn [15], mối quan hệ giữa ứng suất nhiệt và nhiệt độ trong khối bê tông thể hiện trong công thức sau:

$$\{\sigma\} = [R] \times E \times \beta \times \{\Delta T\} \quad (5)$$

Trong đó  $\{\sigma\}$ : Là vecto ứng suất tại thời điểm khảo sát (kgf/m<sup>2</sup>);  $[R]$ : Là ma trận cân biến dạng của bê tông;  $E$ : Là môđun đàn hồi của bê tông(kgf/m<sup>2</sup>);  $\{\Delta T\}$ : Là vecto gradien nhiệt độ;  $\beta$ : Là hệ số giãn nở nhiệt độ của bê tông.

Khi chênh lệch nhiệt độ  $\Delta T$  càng lớn thì nhiệt thủy hóa trong bê tông càng lớn [16]. Từ đó sẽ xuất hiện các vết nứt của bê tông. Chỉ số nứt của bê tông được xác định theo công thức (14):

$$I_{cr} = \frac{f_t(t_e)}{\sigma_t(t_e)} \quad (6)$$

Trong đó  $f_t(t_e)$ : Là giá trị cường độ kéo tách của bê tông tại thời điểm  $t_e$  (kgf/m<sup>2</sup>) xác định theo (7);  $\sigma_t(t_e)$ : Ứng suất kéo trong kết cấu bê tông tại thời điểm  $t_e$  (kgf/m<sup>2</sup>); Khi giá trị của  $I_{cr} < 1$  thì cấu kiện sẽ xuất hiện các vết nứt.

$$f_t(t_e) = C_1 \cdot f_c'(t_e)^{C_2} \quad (7)$$

Trong đó:  $f_c'(t_e)$ : Là giá trị cường độ nén của bê tông tại thời điểm  $t_e$  (kgf/m<sup>2</sup>) xác định theo (8);  $C_1, C_2$ : Là hằng số phụ thuộc vào loại bê tông

$$f_c'(t_e) = \frac{t_e - S_f}{a + b(t_e - S_f)} f_c'(t_n) \quad (8)$$

Trong đó:  $t_e$ : Là tuổi chỉnh nhiệt độ (ngày);  $t_n$ : Là tuổi kiểm soát cường độ của bê tông dưỡng hộ dưới nước 20°C (ngày);  $a, b$ : Các thông số thể hiện phát triển cường độ, phụ thuộc loại xi măng (ngày);  $f_c'(t_e)$ : Cường độ nén của bê tông tại  $t_n$  (kgf/m<sup>2</sup>).

### 2.3. Cơ sở kiểm soát nứt trong bê tông khối lớn ở tuổi sớm

Hiện nay, ở các nước trên thế giới, có nhiều tiêu chuẩn để kiểm soát sự hình thành các vết nứt do nhiệt độ trong bê tông khối lớn trong quá trình xây dựng. Mỗi tiêu chuẩn đưa ra các tiêu chí khác nhau để phù hợp với điều kiện khí hậu và công nghệ xây dựng tương ứng của các quốc gia.

Hiện tại, khi đổ bê tông, chênh lệch nhiệt độ  $\Delta T$  có thể có giữa bề mặt và vùng trung tâm của kết cấu bị hạn chế. Chênh lệch nhiệt độ phổ biến trong các loại bê tông thường được quy định có trị số nhỏ hơn  $20^\circ\text{C}$  [15].

Một số tài liệu quy định của Nga [17,18] chia sẻ các yêu cầu về chênh lệch nhiệt độ, theo tiêu chuẩn SP 357.1325800.2017 [19] trong vùng tiếp xúc, chênh lệch nhiệt độ  $\Delta T$  không được lớn hơn  $(16-18)^\circ\text{C}$  khi đổ bê tông bằng các khối dài và  $(20-27)^\circ\text{C}$  khi sử dụng kết cấu bê tông dạng cột. Vùng tiếp xúc là vùng xây dựng ở phần đế có chiều cao bằng 0,2 của chiều cao khối đất lớn nhất trong mô hình phân tích. Trong vùng tiếp xúc, vùng không được phép để bê tông quá lạnh dưới nhiệt độ thấp nhất đã tính toán. Đối với bê tông ở vùng tự do, chênh lệch nhiệt độ giữa lõi và bề mặt của bê tông khối lớn  $\Delta T$  cho phép không quá  $(20 - 25)^\circ\text{C}$ .

Các yêu cầu tương tự đối với chế độ nhiệt độ trong bê tông khối lớn trong quá trình xây dựng được áp dụng trong thông lệ xây dựng quốc tế. Ở Việt Nam, theo tiêu chuẩn 305.2004 "Bê tông khối lớn – Quy phạm thi công và nghiệm thu" [20], hai yếu tố được kiểm soát trong quá trình thi công kết cấu bê tông khối lớn, ảnh hưởng đến sự xuất hiện vết nứt trong bê tông khối lớn. Yếu tố đầu tiên là chênh lệch nhiệt độ giữa tâm của khối bê tông và bề mặt của nó  $\Delta T$ . Để tránh bị nứt, điều kiện sau đây là cần thiết  $\Delta T < 20^\circ\text{C}$ . Yếu tố thứ hai là gradient nhiệt độ, giá trị của nó phải là  $M_T \leq 50^\circ\text{C}/\text{m}$ .

Ở Nhật Bản, việc đánh giá sự hình thành vết nứt trong bê tông khối lớn được thực hiện bằng chỉ số nứt nhiệt và được định nghĩa như sau công thức (6). Về lý thuyết thì điều kiện cần để cho kết cấu bê tông không bị nứt do nhiệt là chỉ số nứt  $I_{cr} > 1$ . Xu hướng nứt được ước tính bằng giá trị của chỉ số nứt nhiệt dựa trên các giá trị tiêu chí được trình bày [21,22].

Các yêu cầu về kiểm soát nứt do nhiệt	Chỉ số nứt nhiệt độ ( $I_{cr}$ )
Không xuất hiện mọi vết nứt do nhiệt	$I_{cr} \geq 1,5$
Có thể hạn chế vết nứt do nhiệt	$1,2 \leq I_{cr} \leq 1,5$
Có khả năng xuất hiện các vết nứt nguy hiểm do nhiệt	$I_{cr} \leq 1,2$

Theo tiêu chuẩn đánh giá nứt tiêu chuẩn CIRIA C600 (Anh), chênh lệch nhiệt độ lớn nhất giữa mặt trong của khối bê tông và mặt ngoài của nó  $\Delta T_{\max}$  được xác định theo công thức [23, 24]:

$$\Delta T_{\max} = \frac{3,7\varepsilon}{\alpha} \quad (9)$$

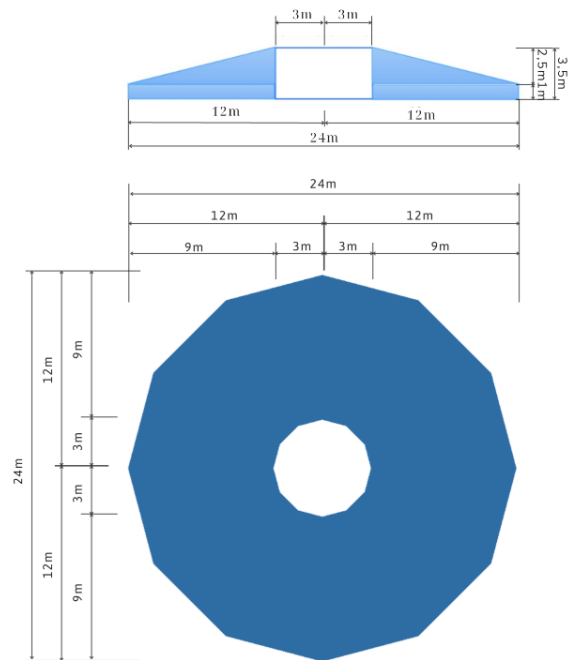
Trong đó:  $\varepsilon$ : Là cường độ chịu kéo giới hạn của bê tông ở tuổi sớm;  $\alpha$ : Là hệ số giãn nở nhiệt của bê tông.

Sau khi thay các giá trị đã biết  $\alpha = 13.10^{-6}$  và  $\varepsilon = 70.10^{-6}$  vào biểu thức (9), ta thu được giá trị của độ chênh lệch lớn nhất cho phép  $\Delta T_{\max} = 19,9^\circ\text{C}$ .

Do đó, tất cả các yêu cầu trên đối với chế độ nhiệt độ của bê tông khối lớn trong quá trình xây dựng được đều có một yêu cầu chung: chênh lệch nhiệt độ giữa tâm và bề mặt của khối bê tông không được vượt quá  $20^\circ\text{C}$ . Các yêu cầu nhất định về chênh lệch nhiệt độ dựa trên thực tế trong quá trình xây dựng và không phải lúc nào cũng tính đến các đặc điểm của quy trình. Cụ thể hơn, các yêu cầu về chế độ nhiệt độ trong bê tông khối lớn trong quá trình thi công được thiết lập trên cơ sở tính toán trường nhiệt độ và trạng thái ứng suất nhiệt của kết cấu bê tông đã thi công.

### 3. Thông số đầu vào và kích thước hình học của cấu kiện móng trụ điện gió

Phương pháp phần tử hữu hạn có thể coi là một công cụ mạnh mẽ để có thể dự đoán chính xác sự phát triển của nhiệt độ, ứng suất và trường chỉ số nứt trong kết cấu bê tông khối lớn. Bên cạnh đó, sử dụng phần tử hữu hạn có thể giúp đưa ra các phân tích và sử dụng biện pháp hiệu quả để kiểm soát nhiệt độ trong kết cấu bê tông khối ở giai đoạn nhiệt thủy hóa. Trong nghiên cứu này đối tượng dùng khảo sát để nghiên cứu là cấu kiện móng trụ điện gió bao gồm nền đất và khối bê tông có kích thước như hình 1. Mô hình móng trụ điện gió được khai báo và phân tích bằng phương pháp phần tử hữu hạn thông qua phần mềm Midas Civil với các dữ liệu thông số đầu vào như Bảng 1.



Hình 1. Mô hình và kích thước tổng thể của khối bê tông móng trụ điện gió.

**Bảng 1.** Bảng thông số đầu vào sử dụng cho phân tích nhiệt thủy hóa.

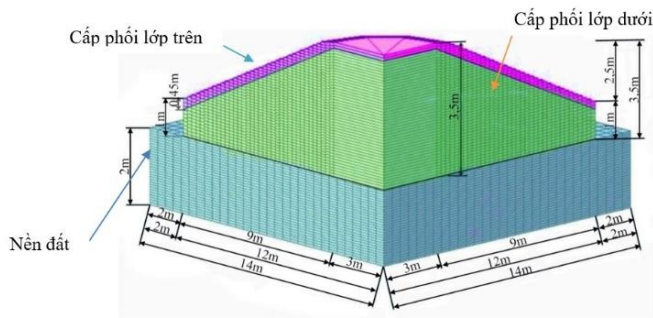
Dữ liệu đầu vào	Đơn vị	Bê tông lớp dưới	Bê tông lớp trên	Lớp đất dưới
Nhiệt dung riêng	kcal/kg <sup>o</sup> C	0,25	0,25	0,2
Khối lượng riêng	kG/m <sup>3</sup>	2400	2400	1800
Hệ số dẫn nhiệt	kcal/m.h. <sup>o</sup> C	2,3	2,3	1,7
Hệ số trao đổi nhiệt khi tiếp xúc môi trường	kcal/m <sup>2</sup> .h. <sup>o</sup> C	12	12	12
Hệ số trao đổi nhiệt khi tiếp xúc ván khuôn thép	kcal/m <sup>2</sup> .h. <sup>o</sup> C	12	12	-
Cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi	kG/cm <sup>2</sup>	450	450	-
Hệ số hàm phát triển cường độ nén	ACI	a = 13,9 b = 0,86	a = 13,9 b = 0,86	-
Môđun đàn hồi	kG/cm <sup>2</sup>	2,7734 x10 <sup>5</sup>	2,7734 x10 <sup>5</sup>	1,0 x10 <sup>4</sup>
Hệ số giãn nở nhiệt		1,0x10 <sup>-5</sup>	1,0x10 <sup>-5</sup>	1,0x10 <sup>-5</sup>
Nhiệt độ bảo dưỡng trung bình	°C	45	45	
Nhiệt độ môi trường – không khí	°C	30	30	30
Nhiệt độ hỗn hợp bê tông khi đổ	°C	20	20	
Chiều dày lớp trên trung bình	m		0,45	
Hệ số poisson's		0,18	0,18	0,2

Trong nghiên cứu này để có thể kiểm soát nứt nhiệt trong khối bê tông móng trụ điện gió từ giai đoạn nhiệt thủy hóa, giải pháp mà nhóm tác giả đưa ra là sự thay đổi cấp phối về cơ bản chính là thay đổi hàm lượng xi măng và tro bay, nghiên cứu về sự ảnh hưởng của hàm lượng xi măng và tro bay để có thể kiểm soát chênh lệch nhiệt độ giữa

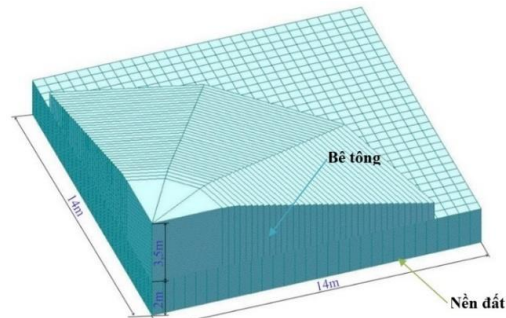
tâm và bề mặt khối bê tông giúp cho khối bê tông có nguy cơ nứt là thấp nhất. Qua nhiều lần phân tích, tính toán và đối chiếu với các điều kiện kiểm soát nứt ở giai đoạn sớm dưới sự hỗ trợ của phần mềm Midas civil, nhóm tác giả đã đề xuất bảng cấp phối cho kết cấu móng trụ điện gió như sau:

**Bảng 2.** Bảng cấp phối cho 1m<sup>3</sup> bê tông (Bê tông B35 -M450).

Tên lớp/ cấp phối	Cát (kg)	Đá (kg)	Nước (l)	Bột (kg)	Xi măng (kg)	Tro bay (kg)	Phụ gia siêu dẻo (lít)	Loại xi măng
Lớp trên	765	1100	155	420	400	20	5,13	PC40
Lớp dưới	765	1100	155	420	336	84	5,13	PC40



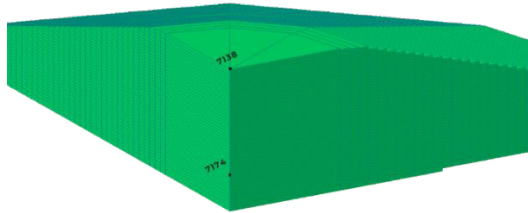
**Hình 2.** Sơ đồ kích thước ¼ khối móng trụ điện gió.



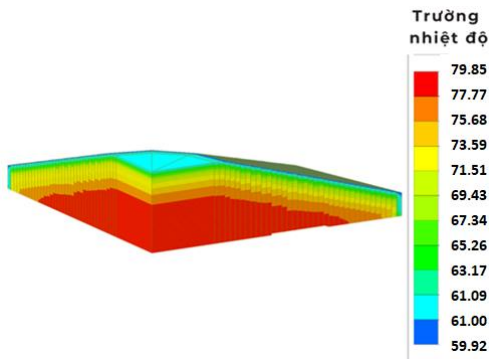
**Hình 3.** Mô hình phân tích ¼ khối móng trụ điện gió.

#### 4. Kết quả và thảo luận

Để quan sát sự phát triển và thay đổi khác nhau của trường nhiệt độ, trường ứng suất, trường chỉ số nứt trong khối bê tông. Với 2 điểm điển hình trong khối bê tông lần lượt đặt ở tâm là (7174) và bề mặt là (7138) sẽ giúp cho ra các biểu đồ để có thể đánh giá được một cách tổng quát nhất.

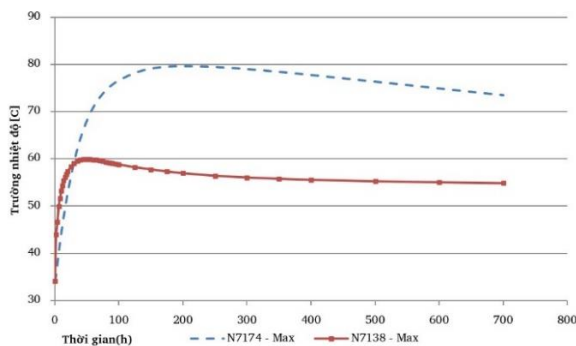


Hình 4. Các điểm khảo sát của kết cấu móng trụ điện gió.

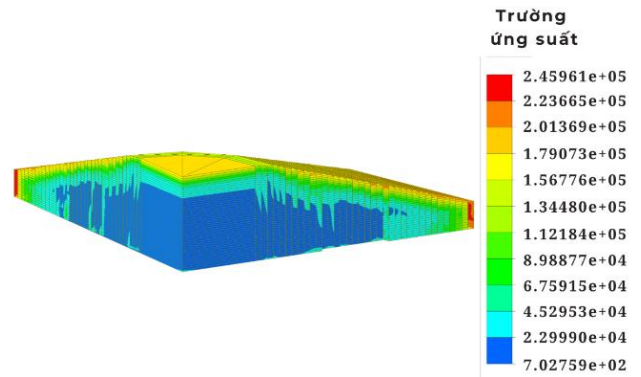


Hình 5. Vùng nhiệt độ phân bố trong khối bê tông móng trụ điện gió.

Với cấp phối đề xuất, sau khi phân tích thì có thể thấy nhiệt độ tối đa trong lòng khối bê tông móng trụ điện gió là 79,85 °C, nhiệt độ này phù hợp với các điều kiện ràng buộc về giới hạn nhiệt độ tối đa trong lòng khối bê tông. Nhiệt độ nhỏ nhất xuất hiện ở các biên và bề mặt của khối đổ là 59,92 °C. Và như vậy có thể thấy chênh lệch nhiệt độ lớn nhất giữa tâm và bề mặt của khối đổ móng trụ điện gió  $\Delta T = 19,93$  °C. Giá trị này thỏa mãn điều kiện cần cho việc kiểm soát nứt theo tiêu chuẩn hiện hành của các nước.

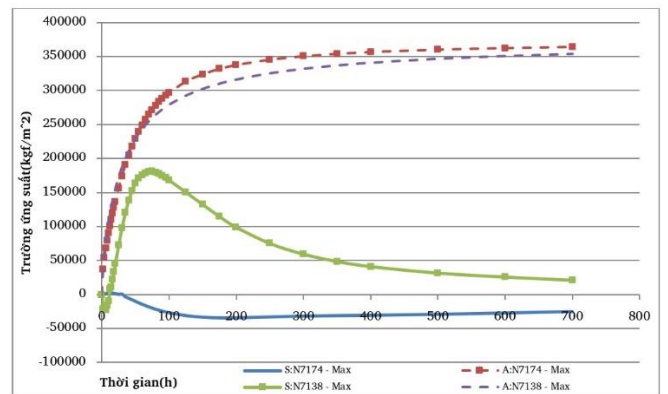


Hình 6. Biểu đồ phát triển nhiệt độ tại 2 điểm tâm và biên của khối bê tông móng trụ điện gió.

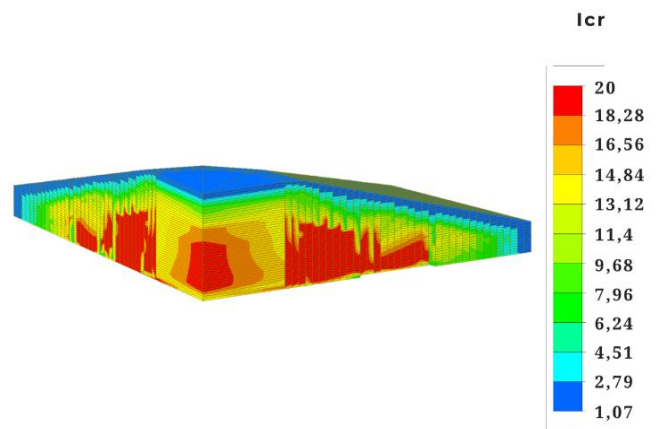


Hình 7. Trường ứng suất của khối bê tông móng trụ điện gió °C.

Trị số ứng suất xuất hiện trong khối bê tông móng trụ điện gió lớn nhất là  $2,46.10^5$  (kgf/m<sup>2</sup>), trị số này luôn luôn bé hơn cường độ chịu kéo cho phép của bê tông tương ứng với thời điểm ứng suất trong khối bê tông đạt cực đại. Điều này khẳng định chỉ số nứt trong khối bê tông  $I_{cr} > 1$ .



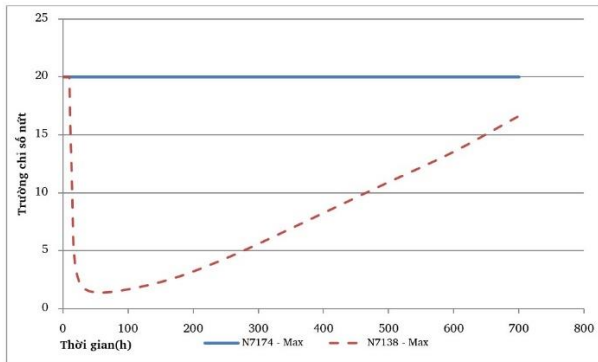
Hình 8. Biểu đồ phát triển trường ứng suất tại tâm và biên của khối bê tông móng trụ điện gió.



Hình 9. Trường chỉ số nứt của khối bê tông móng trụ điện gió.

Có thể thấy trị số của chỉ số nứt  $I_{cr}$  trong khối bê tông móng trụ điện gió luôn luôn lớn hơn 1, đối chiếu với các điều kiện kiểm soát nứt

ở tuổi sớm thì trong khối bê tông móng trụ điện gió sẽ đảm bảo yêu cầu về hạn chế các vết nứt do nhiệt trong giai đoạn tuổi sớm.



**Hình 10.** Biểu đồ phát triển trường chỉ số nứt tại tâm và biên của móng trụ điện gió.

Từ kết quả tính toán mô phỏng của phương pháp đồ liên tục với 2 cấp phối khác nhau cho thấy rằng, với bê tông trụ điện gió trong 200 h đầu, nhiệt độ trong tâm khối bê tông liên tục tăng đạt cực đại tại thời điểm 160 h và nhiệt độ tại biên đạt cực đại tại thời điểm 50 h. Điều đó chứng tỏ khi sử dụng phương pháp đồ liên tục với 2 cấp phối khác nhau thì nhiệt độ tại tâm sẽ tăng tương đối ít dẫn tới làm giảm chênh lệch nhiệt độ giữa tâm và biên bề mặt của khối bê tông móng trụ điện gió. Nhìn vào biểu đồ chỉ số nứt cho thấy với việc sử dụng phương pháp này thì  $I_{cr}$  của tâm và biên đều cho kết quả lớn hơn 1 nên khả năng bê tông sẽ không xuất hiện các vết nứt do nhiệt thủy hóa bê tông gây ra.

## 5. Kết luận

- Với việc áp dụng phương pháp thi công liên tục không ngừng với 2 cấp phối tỏa nhiệt khác nhau cho kết cấu bê tông móng trụ điện gió, khi lớp bê tông ở trên có cấp phối tỏa nhiệt lớn hơn lớp dưới có thể làm giảm sự chênh lệch nhiệt độ ở tâm và bề mặt khối bê tông.

- Tiến hành khảo sát sơ bộ khối móng trụ điện gió bằng phương pháp phân tích phần tử hữu hạn, nhóm nghiên cứu đã lựa chọn thi công khối móng với 2 lớp cấp phối tỏa nhiệt khác nhau: lớp trên với chiều dày trung bình là 0,45m, có sử dụng tro bay 4, 7% (tương ứng 20 kg/m<sup>3</sup>) và có hàm lượng xi măng là 95,3 % (tương ứng là 400 kg/m<sup>3</sup>); và lớp dưới có hàm lượng tro bay là 20 % (tương ứng 84 kg/m<sup>3</sup>) và xi măng là 80 % (tương ứng là 336 kg/m<sup>3</sup>) để nghiên cứu. Tiến mô phỏng số, phân tích và kết quả cho trị số về  $T_{max}$ ,  $\Delta T_{max}$  và  $I_{crmin}$  trong khối móng trụ điện gió đều nằm ở ngưỡng cho phép theo điều kiện kiểm soát vết nứt do nhiệt ở tuổi sớm.

- Kết quả nghiên cứu là cơ sở cho các nghiên cứu tiếp theo có tài liệu tham khảo về phương pháp thi công liên tục với 2 cấp phối tỏa nhiệt khác nhau. Giải pháp này có thể coi là một phương pháp đầy hứa

hẹn để cải thiện hiệu quả về kiểm soát nứt cho các dự án xây dựng quy mô lớn khác.

## Tài liệu tham khảo

- [1]. Đích, N.T. (2010). *Công tác bê tông trong điều kiện khí hậu nóng ẩm Việt Nam*, NXB Xây Dựng, Hà Nội.
- [2]. Bazenov IU. M. , Thiên, B.Đ., Tính, T.N. (2004). *Công nghệ bê tông*, NXB Xây dựng Hà Nội.
- [3]. Trình, N.B. *Nghiên cứu hoàn thiện công nghệ thi công sản chuyển bê tông khối lớn cho công trình ở Việt Nam*, Luận văn thạc sỹ, Trường Đại học Xây dựng, Hà Nội.
- [4]. Minh, L.V., Công, V.C. (2023). Nghiên cứu xác định vị trí phân chia các lớp đổ tối ưu của kết cấu bê tông khối lớn bằng phương pháp đồ liên tục kết hợp phân chia lớp đổ tỏa nhiệt khác nhau, *Tạp chí vật liệu và xây dựng*, 13(04).
- [5]. Lubej, S., I. Anžel, P. Jelušić , L. Kosec , and A. Ivanić. (2016 ). The Effect of Delayed Ettringite Formation on Fine Grained Aerated Concrete Mechanical Properties. *Science and Engineering of Composite Materials* 23 (3): 325–334. <https://doi.org/10.1515/secm-2012-0107>.
- [6]. Tasri, A., and A. Susilawati. (2019 ). Effect of Cooling Water Temperature and Space between Cooling Pipes of Post-Cooling System on Temperature and Thermal Stress in Mass Concrete. *Journal of Building Engineering*, no.24, 100731. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2019.100731>.
- [7]. Couto D., Helene P., Almeida L.C. (2016). Temperature monitoring in large volume spreadfooting foundations: case study “Parque da Cidade” – São Paulo, *Ibracon Structures and Materials Journal*, 9 (6): 953-968.
- [8]. Seo T.S., Kim S.S., Lim C.K. (2015). Experimental Study on hydration Heat Control of Mass Concrete by Vertical Pipe Cooling Method. *Journal of Asian Architecture and Building Engineering*, 14 (3): 657-662.
- [9]. Jia, F., Y. Yao, and J. Wang. (2021). Influence and Mechanism Research of Hydration Heat Inhibitor on Low-Heat Portland Cement. *Frontiers Materials*, no. 8, 697380. <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.697380>.
- [10]. Chen, Y.L., C. J. Wang, S. Y. Li, and L. J. Chen. (2003 ). The Effect of Construction Designs on Temperature Field of a Roller Compacted Concrete Dam—A Simulation Analysis by a Finite Element Method. *Canadian Journal of Civil Engineering* 30 (6): 1153–1156. <https://doi.org/10.1139/l03-076>.
- [11]. Sargam, Y., M. Faytarouni, K. Riding, K. Wang, C. Jahren, and J. Shen. (2019 ). Predicting Thermal Performance of a Mass Concrete Foundation—A Field Monitoring Case Study. *Case Studies in Construction Materials*, no. 11, e00289. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2019.e00289>.
- [12]. Lagundžija, S., and M. Thiam. (2017 ). Temperature Reduction during Concrete Hydration in Massive Structures. *Master’s thesis, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden*.
- [13]. B. Gebflart. (1993 ). *Heat Condtion and MaZZ DiffUZlOn*, McGraw-Hill.
- [14]. Bofang, Z. (2014 ). Conduction of Heat in Mass Concrete, Boundary Conditions, and Methods of Solution. *Thermal Stresses and Temperature Control of Mass Concrete*, Elsevier: 11–47
- [15]. Sheng-hong Chen, Peifang Su, Isam Shahrour. (2011 ). Composite element algorithm for the thermal analysis of mass concrete Simulation of cooling pipes. *International Journal of Numerical Methods for Heat & Fluid Flow*”. Vol. 21. No. 4: Pp. 434–447. <https://doi.org/10.1108/09615531111123100>.
- [16]. Công, V.C., Minh, L.V., Khoa, H.N. (2023). Phân tích xác suất nứt do nhiệt của kết cấu trụ cầu trong quá trình nhiệt thủy hóa xi măng bằng mô phỏng số, *Tạp chí vật liệu và xây dựng*, (13).

- [17]. Krat, T.Yu., Rukavishnikova, T.N. Assessment of temperature regime and thermal stress state of concrete blocks under different conditions concreting. *News VNIIG 2007*. 248. Pp. 77–85.
- [18]. Teleshev, V.I. *Foundations and Methods of Concrete Dam Design and Construction in Severe Climatic Conditions*. Doctoral Thesis. 2003, St. Petersburg, SpbGPU Publ., 217 p.
- [19]. SP 357.1325800.2017. *Concrete constructions of hydraulic structures. Rules of works and acceptance of works. Ministry of construction and housing and communal services of the Russian Federation*. 2016. 77p.
- [20]. TCXDVN 305:2004 (2004), *Bê tông khối lớn - Quy phạm thi công và nghiệm thu*.
- [21]. Xian, Liu, Yong, Yuan, Quanke, Su. (2014 ). Sensitivity analysis of the early-age cracking risk in an immersed tunnel. *Structural Concrete*. Vol. 15. No. 2.: Pp. 179–190. <https://doi.org/10.1002/suco.201300064>.
- [22]. Yuan-Yuan, Chen, Ssu-Yu, Chen, Chien-Jou, Yang, Hei-Tao, Chen. (2017 ). Effects of insulation materials on mass concrete with Pozzolans. *Construction and Building Materials*. Vol. 137: Pp. 261–271. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.01.059>.
- [23]. Zhang, Xiao-fei, Li, Shou-yi, Li, Yan-long, Ge, Yao, Li, Hui. (2011 ). Effect of superficial insulation on roller-compacted concrete dams in cold regions. *Advances in Engineering Software*. Vol. 42. No. 11: Pp. 939–943. DOI: 10.1016/j.advengsoft.2011.06.004
- [24]. Zhineng, Tong. (2015 ). Cause and influence of mass concrete crack. *International Conference on Chemical, Material and Food Engineering*: Pp. 497–499.