



## XÁC ĐỊNH TRƯỜNG NHIỆT ĐỘ TRONG KẾT CẤU BÊ TÔNG KHỐI LỚN THỜI KỲ ĐẦU MỚI ĐỔ

Trương Minh Thắng<sup>1</sup>, Phạm Minh Hải<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Giao thông vận tải

<sup>2</sup> Trường Đại học Mỏ địa chất

Ngày nhận: 22/2/2016

Ngày xét duyệt: 18/3/2016

### Tóm tắt:

*Bài báo trình bày kết quả xác định trường nhiệt độ trong kết cấu bê tông khối lớn thời kỳ đầu mới đổ khi xét đến ảnh hưởng của sự thay đổi các thông số nhiệt vật lý của bê tông như nhiệt dung riêng, hệ số dẫn nhiệt, nguồn sinh nhiệt... theo hệ số mức độ thủy hóa.*

**Từ khóa:** Bê tông khối lớn, Thủy hóa xi măng, Trường nhiệt độ.

### 1. Đặt vấn đề

Kết cấu bê tông hoặc bê tông cốt thép được coi là khối lớn khi có kích thước đủ để gây ứng suất kéo, phát sinh do hiệu ứng nhiệt thủy hóa của xi măng, vượt quá giới hạn kéo của bê tông làm nứt bê tông và do đó cần phải có biện pháp để phòng ngừa vết nứt. Theo [5] trong điều kiện nóng ẩm Việt Nam, kết cấu có cạnh nhỏ nhất và chiều cao lớn hơn 2m có thể được xem là khối lớn.

Thông thường, người ta phải giới hạn nhiệt độ trong bê tông khối lớn để tránh hiện tượng nứt và đảm bảo sự bền vững cho kết cấu. Bê tông khối lớn bị nứt do nhiệt thủy hóa xi măng gây ra khi có đủ 2 yếu tố, đó là [5]: 1. Độ chênh lệch nhiệt độ  $\Delta t$  giữa các điểm hoặc các vùng trong khối bê tông lớn hơn 20°C; 2. gradient nhiệt độ giữa các điểm trong khối bê tông lớn hơn 50°C/m..

Như vậy, vấn đề kiểm soát nhiệt độ trong bê tông khối lớn nhằm tránh để xảy ra hiện tượng nứt do ứng suất nhiệt trong bê tông là rất cần thiết và không thể xem nhẹ.

Trong quá trình đóng rắn bê tông, các hệ số nhiệt dung riêng, hệ số dẫn nhiệt, nguồn nhiệt thủy hóa của xi măng... thay đổi liên tục theo thời gian đã làm cho việc xác định trường nhiệt độ trong kết cấu bê tông trở nên phức tạp và khó đạt được kết quả chính xác. Khi tính toán trường nhiệt độ trong kết cấu bê tông người ta hay xem các giá trị này là hằng số, điều đó làm cho kết quả không phản ánh được đầy đủ sự thay đổi về nhiệt độ trong khối bê tông. Nó có thể sẽ dẫn đến sai lệch trong kết quả và dự đoán hiện tượng không chính xác làm ảnh hưởng đến tuổi thọ cũng như độ bền của bê tông.

Trong phạm vi bài báo này, chúng tôi trình bày phương pháp và kết quả tính toán xác định trường nhiệt độ của kết cấu bê tông khối lớn khi xét đến ảnh hưởng của sự thay đổi hệ số dẫn nhiệt, nhiệt dung riêng theo thời gian.

### 2. Giải quyết vấn đề

#### 2.1. Tính chất nhiệt vật lý của bê tông khi đóng rắn

##### a. Hệ số mức độ thủy hóa

Theo [6], hệ số mức độ thủy hóa  $\alpha$  là tỷ lệ giữa lượng nhiệt đã được sinh ra do quá trình thủy hóa xi măng ở một thời điểm  $Q_\alpha$  (J/kg) so với tổng lượng nhiệt có thể sinh ra theo hàm lượng xi măng có trong hỗn hợp  $Q_t$  (J/kg) và biểu thức tính hệ số  $\alpha$  có dạng:

$$\alpha = \frac{Q_\alpha}{Q_t} \quad (1)$$

Từ (1) cho thấy, hệ số  $\alpha$  sẽ thay đổi từ 0 (bắt đầu quá trình) đến 1 (kết thúc quá trình thủy hóa). Tuy nhiên, công trình [7] nghiên cứu đã chứng minh được rằng hệ số  $\alpha$  thông thường nằm nhỏ hơn 1 ở trạng thái kết thúc quá trình thủy hóa. Giá trị cuối cùng của hệ số mức độ thủy hóa này đã được Mills [8] thiết lập thành biểu thức tính toán theo quan hệ với tỷ lệ hòa trộn nước/xi măng như sau:

$$\alpha_u = \frac{1,031 \cdot (N/X)}{0,194 + (N/X)} \quad (2)$$

Để tính toán hệ số mức độ thủy hóa tại một thời điểm bất kỳ  $\alpha$  theo giá trị  $\alpha_u$  các tác giả trong [7,8] thông qua thực nghiệm đã rút ra được biểu thức tính toán sau:

$$\alpha = \alpha_u \cdot \exp\left(-\left[\frac{h_\tau}{t_c}\right]^\beta\right) \quad (3)$$

Trong đó:

- $h_\tau$ : thời gian thủy hóa (giờ)
- $t_c$ : tuổi tương đương của bê tông (giờ)
- $\beta$ : hệ số thực nghiệm.

##### b. Tuổi tương đương của bê tông

Trong suốt quá trình từ khi bắt đầu thi công, cốt liệu bê tông trải qua các quá trình định hình, kết khối và phát triển cường độ, tính chất cơ lý của kết cấu bê tông phụ thuộc vào nhiệt độ và các đặc tính của vật liệu (thành phần khoáng và các loại phụ

gia...). Các tính chất này thay đổi theo thời gian, theo [7,8], tuổi tương đương của bê tông  $t_e$  là tuổi của bê tông tương ứng với tuổi của bê tông được dưỡng hộ ở một nhiệt độ xác định  $t_r$ (°C). Giá trị này được tính như sau:

$$t_e = \sum_0^{\tau} \exp\left(\frac{E}{R}\left(\frac{1}{273+t_r} - \frac{1}{273+t_c}\right)\right) \Delta\tau \quad (4)$$

Ở đây:

- $t_e$ : tuổi thọ tương đương của bê tông (giờ)
- $\Delta\tau$ : bước thời gian (giờ)
- $t_r, t_c$ : nhiệt độ bê tông khi dưỡng hộ và nhiệt độ trung bình của bê tông trong mỗi bước tính (°C)
- E: năng lượng hoạt động (J/mol)  
 $E = 33500$  nếu  $t_r \geq 20^\circ\text{C}$   
 $E = 33500 + 1470(20 - t_r)$  nếu  $t_r < 20^\circ\text{C}$
- R: hằng số chất khí (8314 J/mol.K)

### c. Nguồn nhiệt do phản ứng thủy hóa xi măng sinh ra

Khi gặp nước, các thành phần trong xi măng bắt đầu tạo ra phản ứng thủy hóa và kèm theo sự sinh nhiệt. Quá trình sinh nhiệt theo phản ứng thủy hóa sẽ tăng dần và đến giá trị nào đó sẽ lại giảm đi theo thời gian. Theo ZhiGe [10], Lượng sinh nhiệt do phản ứng thủy hóa xi măng được tính theo hệ số mức độ thủy hóa như sau:

$$Q_\alpha = Q_t \cdot \alpha \quad (5)$$

Với giá trị  $Q_t$  được xác định theo thành phần cấu tạo của loại xi măng.

### d. Hệ số dẫn nhiệt

Bê tông là hỗn hợp của các cốt liệu và xi măng nên hệ số này ngoài sự phụ thuộc vào tính chất từng thành phần còn có sự ảnh hưởng của sự đóng rắn kết cấu. Theo [6,9] cho biết hệ số dẫn nhiệt của bê tông trong quá trình đông cứng lớn hơn khoảng 33% so với bê tông khi đã đóng rắn hoàn toàn, như vậy sự phụ thuộc của hệ số dẫn nhiệt bê tông vào độ tuổi của bê tông trong quá trình đông cứng là chủ yếu và nó được biểu diễn bằng biểu thức:

$$\lambda_\alpha = \lambda_c (1,33 - 0,33\alpha) \quad (6)$$

Trong đó:

$\lambda_\alpha$ : hệ số dẫn nhiệt của bê tông tại giá trị  $\alpha$  (W/mK)

$\lambda_c$ : hệ số dẫn nhiệt của bê tông khi đóng rắn hoàn toàn, W/mK

$\alpha$ : hệ số mức độ thủy hóa của xi măng.

### e. Nhiệt dung riêng

Khi các cốt liệu của bê tông nhận nhiệt do phản ứng thủy hóa sinh ra sẽ làm cho nhiệt dung riêng thay đổi. Tất nhiên, lượng nhiệt do thủy hóa sinh ra thay đổi theo thời gian và nó cũng là nguyên nhân làm cho giá trị nhiệt dung riêng  $C_p$  (kJ/kg.K) của bê tông thay đổi. Theo [6], giá trị nhiệt dung

riêng của bê tông sau khi tính toán, thí nghiệm và biến đổi, các tác giả cũng đưa ra được biểu thức tính toán  $C_p$  của bê tông theo thời gian như sau:

$$C_{pa} = 1300(1,5 - 0,5\alpha) \quad (7)$$

Như vậy, các thông số nhiệt vật lý của bê tông khi đóng rắn đều thay đổi theo thời gian đồng kết và được tính thông qua hệ số mức độ thủy hóa xi măng.

## 2.2. Mô hình vật lý của đối tượng nghiên cứu

Để tiện tính toán và so sánh, chúng tôi sử dụng bê tông khối lớn dạng hình hộp được trình bày trong [1]. Khối bê tông đài móng có kích thước các cạnh lần lượt là  $4,6 \times 4,6 \times 4\text{m}$ . Đây là khối mẫu được thi công để tiến hành thí nghiệm theo dõi diễn biến nhiệt độ và ứng suất trong khối bê tông, phục vụ thiết kế biện pháp thi công đài móng công trình Keangnam Hà Nội Landmark Tower. Chiều cao khối bê tông thí nghiệm (4m) đúng bằng chiều dày lớn nhất của đài móng.

Cấp phối bê tông của khối mẫu (Bảng 1) giống như cấp phối bê tông được thiết kế cho phần đài móng công trình sẽ thi công.

Bảng 1. Cấp phối bê tông (kg/m<sup>3</sup>)

| Cát | Đá   | Nước | Phụ gia | N/X   |
|-----|------|------|---------|-------|
| 829 | 1007 | 167  | 5,12    | 0,375 |

Điều kiện môi trường khi đổ xem như ít thay đổi và nhiệt độ của không khí được lấy bằng nhiệt độ trung bình  $t_{\text{b}}$  (°C) của không khí. Để cho đơn giản xét hệ số trao đổi nhiệt đối lưu  $h$  (W/m<sup>2</sup>K) của không khí cũng không đổi ở tất cả các mặt tiếp xúc. Mặt đáy tiếp xúc với nền đất có nhiệt độ không đổi  $t_n = t_{\text{b}}$ .

## 2.3. Mô hình toán học của đối tượng nghiên cứu

Quá trình truyền nhiệt trong khối bê tông dạng hình hộp ở đây có dạng phương trình vi phân sau viết cho một phần tử vô cùng nhỏ (coi hệ số dẫn nhiệt thay đổi theo mọi hướng là như nhau):

$$C\rho \frac{\partial t}{\partial \tau} = \lambda \left( \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial z^2} \right) + q_v \quad (8)$$

Điều kiện đơn trị:

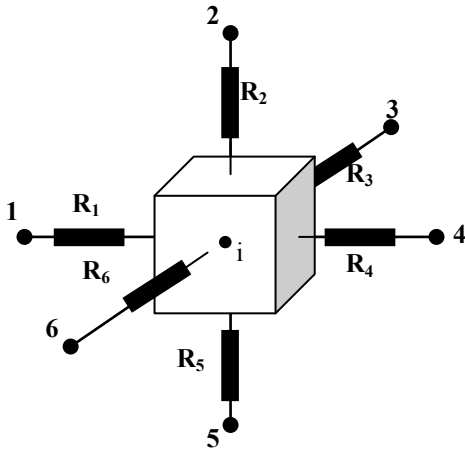
$$\tau = 0, t = t_0; \tau > 0, -\lambda \frac{\partial t}{\partial \tau} \Big| = h\Delta t; \quad (9)$$

Một cách tổng quát, đây là bài toán dẫn nhiệt không ổn định, có nguồn trong và các thông số nhiệt vật lý thay đổi hay còn gọi là bài toán dẫn nhiệt không ổn định phi tuyến [2]. Vì vậy, nếu sử dụng giải tích sẽ gặp nhiều khó khăn và ở đây chúng tôi sử dụng phương pháp gần đúng thường được dùng để giải quyết các bài toán truyền nhiệt phức tạp đó là phương pháp thể tích hữu hạn.

**2.4. Phương pháp thể tích hữu hạn tính toán trường nhiệt độ của khối bê tông**

**a. Cơ sở lý thuyết**

Nội dung và cách sử dụng phương pháp này đã được trình bày kỹ trong [3,4], trong phạm vi bài báo này chúng tôi chỉ giới thiệu sơ lược về phương pháp thể tích hữu hạn như sau: Dựa trên nguyên tắc cân bằng nhiệt cho một phân tử thể tích  $\Delta V$  (Hình 1) ta sẽ có “*Tổng năng lượng phân tử nhận được tại nút thứ i bằng độ tăng nội năng của phân tử*”.



Hình 1. Cân bằng năng lượng cho phân tử i

$$q_i^{m+1} \Delta V + \sum_{n=1}^6 \frac{t_n^{m+1} - t_i^{m+1}}{R_{in}} \cdot F_{in} = C_i \frac{t_i^{m+1} - t_i^m}{\Delta \tau} \quad (10)$$

trong đó:

$q_i^{(m+1)}$  (W/m<sup>3</sup>): năng suất sinh nhiệt thể tích của phân tử i ở thời điểm (m+1)

$\Delta V$  (m<sup>3</sup>): thể tích của phân tử

$F_{in}$  (m<sup>2</sup>): diện tích mặt thứ n của phân tử

$\sum_{n=1}^6 \frac{t_n^{m+1} - t_i^{m+1}}{R_{in}}$  (w): tổng năng lượng của các nút xung quanh phân tử ở thời điểm (m+1).

$C_i \frac{t_i^{m+1} - t_i^m}{\Delta \tau}$  (w): độ tăng nội năng của phân tử sau khoảng thời gian  $\Delta \tau$ .

$\Delta \tau$  (s): bước thời gian tính.

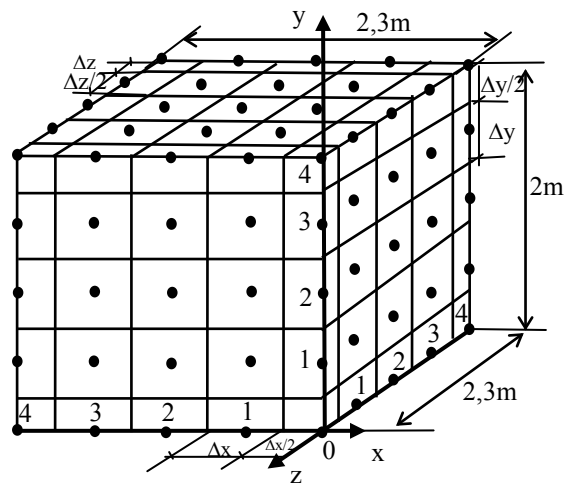
$R_{in}$  (K.m<sup>2</sup>/W): nhiệt trở thành phần của các nút xung quanh.

Nếu chia thể tích của khối bê tông thành n phân tử có thể tích  $\Delta V$ , viết phương trình cân bằng năng lượng cho n phân tử này dưới dạng (10) ta sẽ thu được n phương trình bậc nhất là n nhiệt độ trung bình của n phân tử  $\Delta V$  ở một thời điểm. Tính toán cho toàn bộ khoảng thời gian khảo sát ta sẽ thu được toàn bộ diễn biến thay đổi nhiệt độ của đối tượng theo thời gian.

**b. Xác định phân bố nhiệt độ của khối bê tông dài mỏng**

Do tính đối xứng, chúng tôi chỉ tính cho 1/4 thể tích của khối bê tông có kích thước 2,3m x 2,3m

x 2,0m được đặt trên trục tọa độ như Hình 2.



Hình 2. Sơ đồ chia phần tử của 1/4 khối bê tông

Chia thể tích trên thành các phân tử có kích thước và thứ tự như sau:

- Theo phương y: có 05 lớp được đánh số từ 0 đến 4 bao gồm 03 lớp có  $\Delta y = 0,5m$  và 2 lớp tại đỉnh và đáy  $\Delta y_d = \Delta y/2 = 0,25m$ ;

- Theo phương x, z: có 05 lớp cũng được đánh số từ 0 đến 04 gồm 3 lớp có  $\Delta x = \Delta z = 0,575m$  và 2 lớp tại hai biên  $\Delta x_b = \Delta z_b = \Delta x/2 = \Delta z/2 = 0,2875m$ .

Như vậy, ta sẽ có  $05 \times 05 \times 05 = 125$  phân tử của 1/4 khối bê tông cần xác định nhiệt độ. Các phân tử này được ký hiệu  $\Delta_{x,y,z}$  và chia kích thước như sau:

- Phân tử tại đỉnh và đáy (08 phân tử):

$$\Delta V_{0.4.0} = \Delta V_{4.4.0} = \Delta V_{4.0.0} = \Delta V_{0.0.0} = \Delta V_{0.0.4} = \Delta V_{0.4.4} = \Delta V_{4.4.4} = \Delta V_{4.0.4} = 0,25 \times 0,2875 \times 0,2875 = 0,0207 \text{ m}^3.$$

- Phân tử tại các lớp cạnh biên (36 phân tử) gồm: 24 phân tử có thể tích  $= 0,575 \times 0,25 \times 0,2875 = 0,0413 \text{ m}^3$  ( $i = 1 \div 3$ ):  $\Delta V_{0.4.i} = \Delta V_{0.0.i} = \Delta V_{i.0.0} = \Delta V_{i.4.4} = \Delta V_{i.4.0} = \Delta V_{i.0.4} = \Delta V_{4.0.i} = \Delta V_{4.4.i}$ ; 12 phân tử có thể tích  $= 0,5 \times 0,2585 \times 0,2875 = 0,0335 \text{ m}^3$  ( $i = 1 \div 3$ ):  $\Delta V_{0.i.0} = \Delta V_{0.i.4} = \Delta V_{4.i.0} = \Delta V_{4.i.4}$

- Phân tử nằm trong của các lớp biên (54 phân tử) gồm các phân tử có thể tích  $= 0,575 \times 0,5 \times 0,2875 = 0,0827 \text{ m}^3$  ( $i = 1 \div 3, n = 1 \div 3$ ):  $\Delta V_{0.i.n} = \Delta V_{4.i.n} = \Delta V_{i.n.0} = \Delta V_{i.n.4} = \Delta V_{i.0.n} = \Delta V_{i.4.n}$ .

- Phân tử nằm giữa (27 phân tử) gồm các phân tử có  $\Delta V = 0,575 \times 0,5 \times 0,575 = 0,1653 \text{ m}^3$  ( $i = 1 \div 3, n = 1 \div 3, s = 1 \div 3$ ):  $\Delta V_{i.n.s}$

Vì tính chất đối xứng nên một cách gần đúng, coi nhiệt độ ứng với các phân tử bằng nhau như sau:  $t_{1.0.0} = t_{0.0.1}$ ;  $t_{1.1.0} = t_{0.1.0} \dots$  nên chúng tôi chỉ xác định nhiệt độ theo hướng x và hướng y. Do đó, tại một tiết diện theo phương y sẽ có 15 phân tử ứng với 1 lớp và tổng cộng sẽ có  $15 \times 5 = 75$  phân tử. Từ

đây rút ra được 75 phương trình bậc nhất theo dạng (10) với 75 ẩn là nhiệt độ trung bình của một phân tử trong một bước thời gian  $\Delta\tau$ . Nhiệt độ trung bình của bê tông trong (4) tính như sau:

$$t_c^{m+1} = \frac{\sum t_b^{m+1} \Delta V_b + \sum t_i^{m+1} \cdot \Delta V_i}{\sum \Delta V} \quad (11)$$

ở đây:  $t_b^{m+1}$  là nhiệt độ của phân tử biên  $\Delta V_b$  ở thời điểm  $m + 1$ ;

$t_i^{m+1}$  là nhiệt độ của các phân tử  $\Delta V_i$  còn lại.

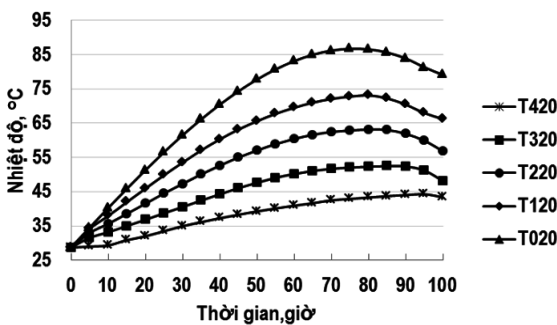
Quá trình tính toán được thực hiện lần lượt như sau:

1. Vào các thông số  $N/X; t_o; t_r; Q_i; \beta; h_r; \lambda_c; \Delta\tau; \rho; E; R$ .
2. Tính các giá trị:  $\alpha_u; \alpha; t_o; Q_u; \lambda; C_p; t_c$  lần lượt theo (2), (3), (4), (5), (6), (7) và (11).
3. Thay các thông số trên vào hệ phương trình bậc nhất, giải ra được các giá trị nhiệt độ tại các phân tử  $i$  ở thời điểm  $m$ .
4. Lấy các giá trị vừa tìm được tại thời điểm  $m$  làm các thông số đầu vào tại thời điểm  $m+1$ . Tiếp tục tính toán lại từ bước 2 đến thời điểm muốn dừng khảo sát hoặc đến khi nhiệt độ  $t_c$  trong hai bước liên nhau nhỏ hơn một giá trị cho trước nào đó.

Tiến hành tính toán trường nhiệt độ của 1/4 khối bê tông dài móng theo các bước trên với các số liệu đầu vào được lấy như sau [1,10]:  $t_c = t_o = t_{ib} = 28.7^\circ\text{C}; \lambda_c = 2,9 \text{ W/mK}; \rho = 2400 \text{ kg/m}^3; Q_t = 90 \text{ kJ/kg}; h_r = 36,147 \text{ giờ}; \beta = 0,387; t_r = 21^\circ\text{C}; \Delta\tau = 60 \text{ phút}$ , cách chọn theo phương pháp chia đôi đã được trình bày trong [4].

### 3. Kết quả tính toán

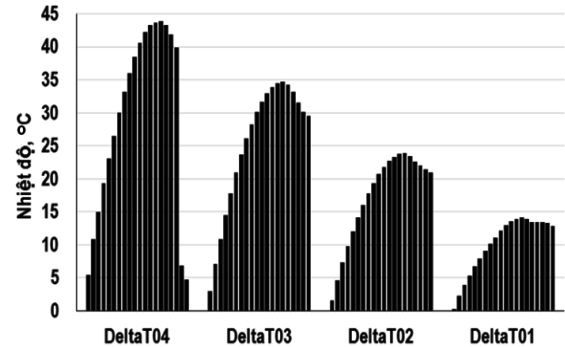
Sau khi thay các thông số và điều kiện ban đầu của khối bê tông, giải theo phương pháp thể tích hữu hạn kết hợp với phần mềm excel 2010 chúng tôi thu được kết quả là nhiệt độ của 75 phân tử ứng với 100 giờ (sau thời gian đạt nhiệt độ lớn nhất), chúng được biểu diễn dưới dạng đồ thị như sau:



Hình 3. Thay đổi nhiệt độ tại lớp 2 theo phương y

- Thay đổi nhiệt độ tại lớp thứ 2 ( $t_{x,2,0}$ ) theo phương y bao gồm nhiệt độ của 5 phân tử là  $t_{0,2,0}$  đến

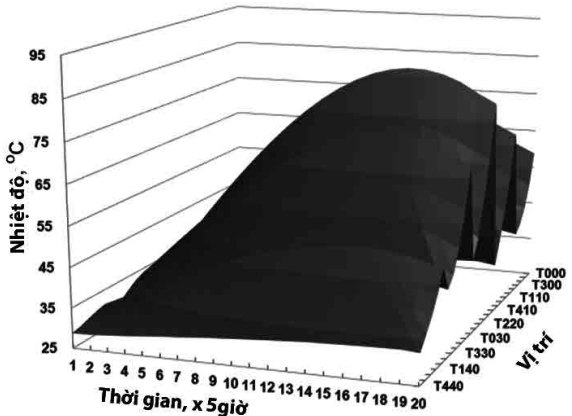
$t_{4,2,0}$  Hình 3. Qua kết quả tính toán và đồ thị Hình 3 cho thấy nhiệt độ lớn nhất tại các phân tử đạt được chủ yếu ở khoảng thời gian bắt đầu từ giờ 75 đến 95. Phân tử tại tâm có  $t_{0,2,0}$  đạt max bằng  $86,7^\circ\text{C}$  ở giờ thứ 75, các phân tử tiếp theo có  $t_{\text{max}}$  lần lượt bằng  $73,1^\circ\text{C}; 63,5^\circ\text{C}; 52,4^\circ\text{C}$  và  $43,7^\circ\text{C}$  ở sau mỗi khoảng 5 giờ. Sau đó nhiệt độ tại các vị trí đều giảm dần. Chênh lệch nhiệt độ tại tất cả các vị trí trong lớp 3 khi so với thời điểm đạt max được chúng tôi trình bày trong Hình 4.



Hình 4. Chênh lệch nhiệt độ giữa các phân tử so với phân tử tâm  $t_{0,3,0}$

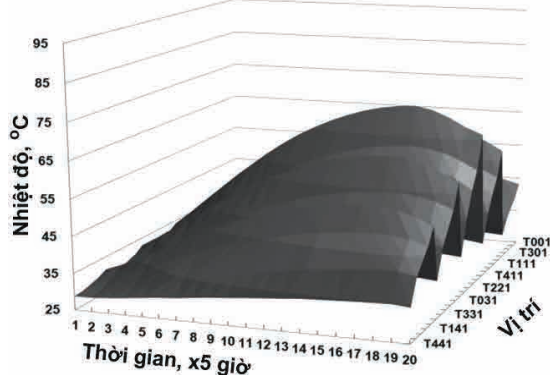
Chênh lệch nhiệt độ lớn nhất đối với phân tử ngoài cùng là  $\Delta t_{04} = t_{0,2,0} - t_{4,2,0} = 43,8^\circ\text{C}$ , các phân tử khác cũng có sự tăng dần  $\Delta t$  đến giá trị lớn nhất nhưng đều nhỏ hơn  $43,8^\circ\text{C}$ , điều này được thể hiện rõ trên Hình 4. Ngoài ra, từ Hình 4 cũng dễ dàng nhận thấy sự chênh lệch nhiệt độ theo phương x của lớp này cũng giảm dần từ ngoài vào trong.

- Thay đổi nhiệt độ tại toàn bộ lớp ở tâm có ( $t_{x,y,0}$ ) được trình bày trên Hình 5. Các đường biểu diễn nhiệt độ cho thấy biến thiên cùng quy luật là chỉ có một giá trị nhiệt độ lớn nhất nhưng thời gian để đạt được giá trị này phụ thuộc vào vị trí và điều kiện biên của các phân tử khảo sát. Sự tăng nhiệt độ lớn nhất trong lớp này chính là tại các vị trí  $t_{x,2,0}$ .



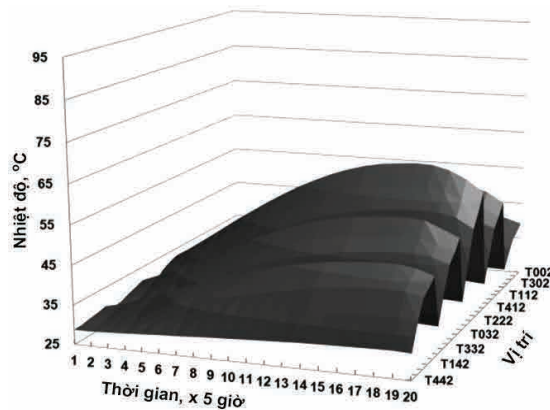
Hình 5. Diễn biến nhiệt độ của lớp có vị trí  $z = 0$  ( $t_{x,y,0}$ )

Tại lớp có tọa độ  $z = 1$  ( $t_{x,y,1}$ ), sự gia tăng nhiệt độ có mức độ chậm hơn Hình 6. Độ chênh nhiệt độ giữa phân tử trong cùng và ngoài cùng khi nhiệt độ tại tâm đạt lớn nhất  $t_{0,2,1 \max} = 73,1^\circ\text{C}$  bằng  $\Delta t_{04} = t_{0,2,1} - t_{4,2,1} = 73,1 - 54,8 = 18,3^\circ\text{C}$ .



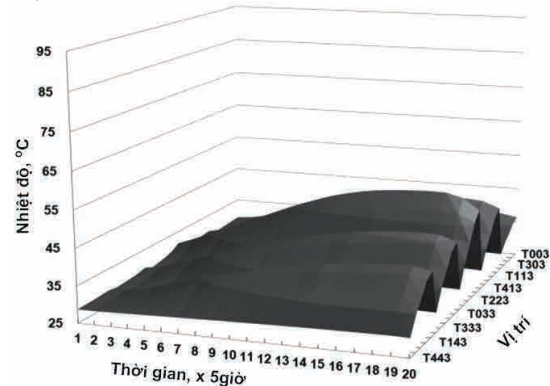
Hình 6. Diễn biến nhiệt độ của lớp có vị trí  $z = 1$  ( $t_{x,y,1}$ )

Kết quả tính toán cho các lớp còn lại cũng được chúng tôi biểu diễn lần lượt trên Hình 7, Hình 8 và Hình 9.

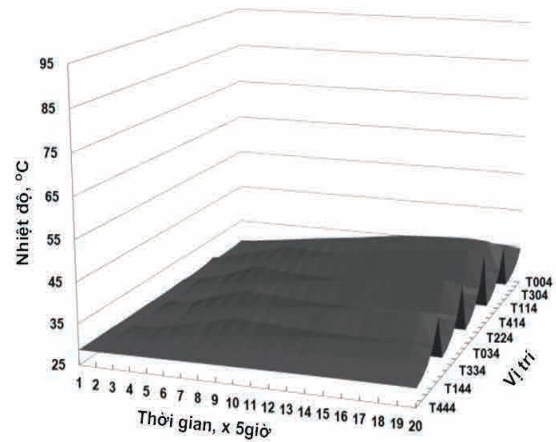


Hình 7. Diễn biến nhiệt độ của lớp có vị trí  $z = 2$  ( $t_{x,y,2}$ )

Sự gia tăng nhiệt độ lớn nhất vẫn ghi nhận ở phân tử có  $t_{x,2,2}$  và đạt  $\max = 63,2^\circ\text{C}$  ở giờ 85 nhưng độ chênh với vị trí ngoài cùng đã giảm đi so với lớp  $z = 1$ , cụ thể  $\Delta t_{04} = t_{0,2,2} - t_{4,2,2} = 63,2 - 47,4 = 15,8^\circ\text{C}$ .



Hình 8. Diễn biến nhiệt độ của lớp có vị trí  $z = 3$  ( $t_{x,y,3}$ )



Hình 9. Diễn biến nhiệt độ của lớp có vị trí  $z = 4$  ( $t_{x,y,4}$ )

Từ Hình 8, Hình 9 cho thấy càng ra ngoài biên, các phân tử chịu ảnh hưởng của điều kiện biên càng lớn làm cho sự tăng nhiệt độ tại mỗi môi phân giảm đi cả về tốc độ lẫn giá trị. Nếu như ở lớp có  $z = 3$  ( $t_{x,y,3}$ ) có nhiệt độ lớn nhất là  $t_{0,2,3} = 52,3^\circ\text{C}$  ở giờ 85 thì nhiệt độ lớn nhất ở lớp có  $z = 4$  ( $t_{x,y,4}$ )  $t_{\max} = t_{0,2,4} = 35,3^\circ\text{C}$  đạt được sau 90 giờ.

Như vậy, toàn bộ diễn biến nhiệt độ của  $1/4$  khối bê tông đài móng đã được chúng tôi biểu diễn sau 100 giờ tính toán.

So với kết quả tính toán của tác giả [1] cho thấy sau 85 giờ tại tâm có nhiệt độ lớn nhất là  $90,4^\circ\text{C}$  và tại biên là  $43^\circ\text{C}$ , độ chênh nhiệt độ lúc này bằng  $47,4^\circ\text{C}$ . Trong khi theo tính toán của chúng tôi, nhiệt độ lớn nhất tại tâm là  $86,7^\circ\text{C}$  sau 75 giờ và nhiệt độ tại biên  $42,9^\circ\text{C}$ , độ chênh nhiệt độ là  $43,8^\circ\text{C}$ . Như vậy, về nhiệt độ lớn nhất sai lệch là  $4,1\%$  và độ chênh nhiệt độ sai lệch  $7,6\%$ . Đặc biệt là thời gian đạt max theo tính toán của chúng tôi sớm hơn so với [1] là 10 giờ bằng  $11,8\%$ . Mặt khác theo báo cáo số liệu thực nghiệm cũng trong [1] cho thấy thời gian đạt max về nhiệt độ tại tâm là 79 giờ, tính toán của [1] là 85 giờ và chúng tôi dự đoán là 75 giờ (sai lệch  $5,06\%$ ).

#### 4. Kết luận

Phương pháp tính toán trường nhiệt độ của khối bê tông đài móng khi xét đến sự thay đổi các hệ số nhiệt dung riêng, hệ số dẫn nhiệt và nguồn sinh nhiệt phụ thuộc vào hệ số mức độ thủy hóa do chúng tôi trình bày đã cho thấy tính phù hợp với quá trình hóa cứng của bê tông. Điều này trước đây rất ít tác giả đề cập đến khi tính toán. Kết quả cho thấy sự hợp lý về mặt giá trị và nhất là thời điểm đạt lớn nhất của nhiệt độ tâm khối bê tông. Qua đó, nó cho phép dự đoán một cách chính xác hơn diễn biến nhiệt độ trong khối bê tông để từ đó có biện pháp giảm thiểu sự ảnh hưởng của nhiệt độ đến kết cấu bê tông trong thời kỳ đầu mới đổ.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Hồ Ngọc Khoa, *Nghiên cứu sự biến dạng các lớp bên trong của cấu kiện bê tông, thi công theo phương pháp toàn khối, trong thời gian đầu đông rắn*, Đề tài NCKH cấp trường, Trường Đại học Xây dựng, 2011.
- [2]. Đặng Quốc Phú, Trần Thế Sơn, Trần Văn Phú, *Truyền nhiệt*, NXB Giáo dục, 2004.
- [3]. Trương Minh Thắng, *Nghiên cứu quy luật truyền nhiệt truyền chất trong bê tông kết rắn*, LVTHS, Trường Đại học Bách khoa Hà Nội, 2007.
- [4]. Trương Minh Thắng, Nguyễn Thị Thùy Dung, *Xác định trường nhiệt độ của dầm bê tông dạng hình hộp trong điều kiện khí hậu Việt Nam*, Tạp chí Khoa học & Công nghệ, Trường Đại học SPKT Hưng Yên, số 5/tháng 3- 2015.
- [5]. Tiêu chuẩn xây dựng Việt Nam TCXDVN 305:2004 “*Bê tông khối lớn – Quy phạm thi công và nghiệm thu*”, 03/09/2007
- [6]. G. Deshutter và L. Taerwe, *Specific Heat and Thermal Diffusivity of Hardening Concrete*, Magazine of Concrete Research, 1995, 47, No. 172, Sept., 203-208.
- [7]. Freisleben Hansen an, P., and Pedersen, E.J., “*Maturity Computer for Controlling Curing and Hardening of Concrete*”, Nordisk Betong Vol. 1, No 19, pp 21-25, 1977.
- [8]. Mills, R.H., *Factors Influencing Cessation of Hydration in Water-cured Cement Pastes*, Special Report No. 90, Proceedings of the Symposium on the Structure of Portland Cement Paste and Concrete, Highway Research Board, Washington, D C., 406-424, 1996.
- [9]. Schindler, A.K, Concrete Hydration, *Temperature Evelopment and Setting at Early Ages*, PhD dissertation, University of Texas at Austin. 2002.
- [10]. Zhi Ge, *Predicting Temperature and Strength Development of the Field Concrete*, PhD dissertation, Iowa State University Ames, Iowa, 2005.

**PREDICTING THE EARLY AGE TEMPERATURE RESPONSE OF MASS CONCRETE**

**Abstract:**

*The paper introduces the results of predicting temperatures profiles of the mass concrete at early age with variation of specific heat capacity, heat conduction and heat of hydration... That all depend on the degree of hydration.*

**Keywords:** *Massive concrete, hydration of cement, temperaturesprofile.*