

# Tính toán từ biến của bê tông theo các mô hình khác nhau

## Calculation of creep in hardened concrete using different models

Trần Thu Hiền<sup>a,b\*</sup>

Tran Thu Hien<sup>a,b\*</sup>

<sup>a</sup>*Viện Nghiên cứu và Phát triển Công nghệ Cao, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam*

<sup>a</sup>*Institute of Research and Development, Duy Tan University, Da Nang, 550000, Vietnam*

<sup>b</sup>*Khoa Xây dựng, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam*

<sup>b</sup>*Faculty of Civil Engineering, Duy Tan University, Da Nang, 550000, Vietnam*

(Ngày nhận bài: 25/01/2021, ngày phản biện xong: 29/01/2021, ngày chấp nhận đăng: 20/02/2021)

### Tóm tắt

Bài báo giới thiệu về hiện tượng từ biến của bê tông. Bốn mô hình gồm ACI 209R-92, Eurocode 2, CEB FIP 90-99 và GL 2000 được sử dụng để tính toán từ biến của một cột bê tông chịu nén bởi ứng suất không đổi. Kết quả cho thấy mô hình GL 2000 cho giá trị từ biến lớn nhất. Ba mô hình còn lại có kết quả từ biến tương tự nhau.

*Từ khóa:* Từ biến; bê tông; mô hình dự đoán.

### Abstract

The article introduces the creep of concrete. Four models including ACI 209R-92, Eurocode 2, CEB FIP 90-99 and GL 2000 were used to calculate the creep of a concrete column subjected to a constant stress. Calculation results show that GL2000 model gives the largest value of creep. The remaining three models have similar values of creep.

*Keywords:* Creep; hardened concrete; predictive models.

### 1. Giới thiệu chung

Vật liệu bê tông sau khi được thiết kế, chế tạo và bắt đầu đông kết, phát triển cường độ có hình dạng nhất định theo ván khuôn sử dụng. Tuy nhiên, kích thước của bê tông không phải là hằng số bất biến theo thời gian. Ngược lại, trong suốt quá trình tồn tại, kích thước của khối bê tông không ngừng thay đổi. Nhiều hiện tượng diễn ra liên tục, có thể kể đến là từ biến và co ngót của bê tông.

Từ biến được định nghĩa là sự gia tăng biến dạng dưới tác dụng của một ứng suất không đổi. Biến dạng từ biến này bản thân nó lại có thể được phân ra làm hai thành phần: từ biến do khô và từ biến cơ bản.

Trong nhiều trường hợp, sự gia tăng biến dạng do từ biến của bê tông có thể lớn ngang với biến dạng ban đầu do tải trọng gây nên. Vì vậy, từ biến có tầm quan trọng đáng kể trong kết cấu.

\* *Corresponding Author:* Tran Thu Hien; Institute of Research and Development, Duy Tan University, Da Nang, 550000, Vietnam; Faculty of Civil Engineering, Duy Tan University, Da Nang, 550000, Vietnam

*Email:* tranthuhien4@dtu.edu.vn

Từ biến ảnh hưởng đến biến dạng, độ võng và sự phân bố ứng suất của kết cấu [1]. Nhưng sự ảnh hưởng này thay đổi tùy theo loại kết cấu. Từ biến có thể gây ra một chuyển vị quá mức của các bộ phận kết cấu và ảnh hưởng đến trạng thái sử dụng, đặc biệt trong các công trình cao tầng và cầu nhịp lớn. Từ biến cũng được tính toán như một trong các nguyên nhân gây tổn hao ứng suất trước. Bản thân từ biến của vật liệu bê tông không gây ảnh hưởng đến cường độ. Nhưng dưới tác dụng của ứng suất không đổi, thể tích của khối bê tông giảm (vì hệ số Poisson từ biến nhỏ hơn 0.5) và điều này được cho là tăng cường độ của khối bê tông, mặc dù có thể nhỏ.

Từ biến của bê tông chịu ảnh hưởng của nhiều yếu tố. Có thể chia ra làm hai loại: những yếu tố nội tại liên quan đến bản thân tính chất vật liệu bê tông và những yếu tố liên quan đến điều kiện môi trường bên ngoài. Nghiên cứu thực nghiệm ảnh hưởng của các tính chất nội tại của bê tông không hề dễ dàng. Do việc thiết kế cấp phối bê tông rất khó để có thể phân lập từng đặc tính mà không gây ảnh hưởng tới ít nhất một đặc tính nào đó khác.

Từ biến của bê tông xảy ra trong hồ xi măng, còn cốt liệu đóng vai trò hạn chế lại sự biến dạng từ biến của hồ xi măng này. Từ biến, bởi vậy là hàm của thể tích hồ xi măng trong bê tông, tuy nhiên sự biến thiên không tuân theo quy luật tuyến tính [1].

Một số tính chất vật lý nhất định của cốt liệu ảnh hưởng đến từ biến của bê tông như cấp phối, đường kính hạt lớn nhất và hình dạng của cốt liệu. Mô đun đàn hồi của cốt liệu có lẽ là yếu tố quan trọng nhất. Mô đun càng lớn thì tác dụng hạn chế của cốt liệu đối với nguy cơ từ biến của hồ xi măng càng cao. Độ rỗng của cốt liệu cũng được thấy có ảnh hưởng đến từ biến của bê tông. Nhưng thường cốt liệu có độ rỗng cao hơn có mô đun đàn hồi thấp hơn nên có thể độ rỗng không phải là yếu tố độc lập ảnh hưởng

từ biến. Mặt khác, có thể thấy rằng độ rỗng của cốt liệu hay cụ thể hơn mức độ hấp thụ nước của nó đóng một vai trò trực tiếp với sự dịch chuyển nước trong bê tông. Sự dịch chuyển này liên kết với từ biến ở chỗ nó tạo ra điều kiện thuận lợi dẫn tới sự phát triển từ biến khô.

Có mối liên hệ trực tiếp giữa từ biến của bê tông và độ lớn ứng suất mà bê tông chịu. Không có giới hạn dưới nào cho mối quan hệ tỉ lệ này vì từ biến xảy ra ngay cả với ứng suất tác dụng rất nhỏ. Giới hạn trên sẽ đạt khi các vết nứt vi mô phát triển đáng kể ở một giá trị ứng suất nào đó, được thể hiện bằng tỉ lệ so với cường độ. Giới hạn này thường bằng 0,4 - 0,6 đối với bê tông thông thường. Có những trường hợp nhỏ hơn, bằng 0,3 và có những trường hợp lớn hơn, bằng 0,75 với bê tông cường độ cao. Với vữa, giới hạn nằm trong khoảng 0,8 - 0,85. Sự phục hồi từ biến cũng tỉ lệ với ứng suất bê tông chịu trước đó.

Khi vượt quá giới hạn, từ biến sẽ tăng cùng với sự tăng ứng suất ở tốc độ ngày càng lớn. Từ biến sẽ làm gia tăng tổng biến dạng cho đến khi đạt tới một giá trị tương ứng với biến dạng tới hạn của bê tông đã cho.

Từ biến tỷ lệ nghịch với cường độ của bê tông. Vì vậy có thể đánh giá từ biến theo tỉ lệ ứng suất/cường độ. Sự biểu diễn này tuy không thể hiện ảnh hưởng trực tiếp nhưng lại tiện dụng vì các đặc tính này dễ xác định. Từ đó, tuổi của bê tông khi chất tải cũng có thể không cần quan tâm vì ảnh hưởng tuổi của bê tông đã được xét đến bao hàm trong cường độ của nó.

Cần lưu ý rằng những bê tông ở tuổi rất lớn vẫn xảy ra từ biến. Những nghiên cứu thực nghiệm trên bê tông 50 năm tuổi đã chứng minh điều đó.

Loại xi măng ảnh hưởng tới từ biến vì loại xi măng có ảnh hưởng đến cường độ của bê tông. Cả xi măng Portland, xi măng Portland hỗn hợp và xi măng nhôm đều ảnh hưởng rõ rệt đến từ

biến. Độ mịn của xi măng ảnh hưởng tới cường độ bê tông ở tuổi sớm nên cũng ảnh hưởng đến từ biến.

Việc thêm phụ gia khoáng vào trong xi măng cũng ảnh hưởng đến từ biến của bê tông. Ví dụ khi thêm xi lò cao vào xi măng, từ biến sẽ giảm. Thêm phụ gia khoáng vào xi măng sẽ làm thay đổi tốc độ thủy hóa của xi măng, vì vậy thay đổi sự phát triển cường độ của bê tông và do đó như đã nói ở phần trên ảnh hưởng đến từ biến. Các loại phụ gia hóa học (phụ gia giảm nước hoặc làm chậm ninh kết) được thấy là làm tăng mức độ từ biến trong nhiều trường hợp. Một số nghiên cứu chỉ ra rằng, phụ gia gốc lignosunfonat gây ra từ biến lớn hơn so với phụ gia gốc axit cacboxylic.

Một trong những yếu tố bên ngoài ảnh hưởng rất lớn đến từ biến của bê tông là độ ẩm của môi trường xung quanh. Với một loại bê tông nào đó, từ biến sẽ càng lớn khi độ ẩm tương đối của môi trường càng thấp.

Như vậy, từ biến là một hiện tượng kéo dài, phụ thuộc vào nhiều yếu tố và ảnh hưởng tới sự làm việc của cấu kiện được làm từ vật liệu bê tông. Việc dự đoán loại biến dạng này tại bất cứ thời điểm nào có ý nghĩa vô cùng quan trọng trong tính toán kết cấu.

## 2. Các mô hình tính toán từ biến của bê tông

Nhiều mô hình đã được xây dựng để ước tính từ biến của bê tông [2]. Các mô hình đều được xây dựng từ các dữ liệu thực nghiệm tiến hành trong phòng thí nghiệm, sau đó được hiệu chỉnh để đưa ra các công thức và hệ số. Các dữ liệu đầu vào cần thiết của các mô hình hầu như giống nhau, có thể kể đến như: mô đun đàn hồi, cường độ chịu nén của bê tông, độ ẩm tương đối, nhiệt độ, loại xi măng...

Một cách tổng quát, tổng biến dạng tại thời điểm  $t$ ,  $\varepsilon_c(t)$ , của một cấu kiện bê tông chịu tải dọc trục tại thời điểm  $t_0$  với một ứng suất không đổi  $\sigma_c(t_0)$  có thể được viết như sau:

$$\begin{aligned}\varepsilon_c(t) &= \varepsilon_{ci}(t_0) + \varepsilon_{cc}(t) + \varepsilon_{cs}(t) + \varepsilon_{cT}(t) \\ &= \varepsilon_{c\sigma}(t) + \varepsilon_{cn}(t)\end{aligned}\quad (1)$$

Trong đó:

$\varepsilon_{ci}(t_0)$ : biến dạng ban đầu khi tác dụng tải trọng.

$\varepsilon_{cc}(t)$ : biến dạng từ biến tại thời điểm  $t > t_0$ .

$\varepsilon_{cs}(t)$ : biến dạng co ngót.

$\varepsilon_{cT}(t)$ : biến dạng do nhiệt độ.

$\varepsilon_{c\sigma}(t)$ : biến dạng phụ thuộc vào ứng suất,  $\varepsilon_{c\sigma}(t) = \varepsilon_{ci}(t_0) + \varepsilon_{cc}(t)$  (2)

$\varepsilon_{cn}(t)$ : biến dạng không phụ thuộc vào ứng suất,  $\varepsilon_{cn}(t) = \varepsilon_{cs}(t) + \varepsilon_{cT}(t)$  (3)

Hàm để biến dạng  $J(t, t_0)$  đại diện cho tổng biến dạng phụ thuộc ứng suất ( $\varepsilon_{c\sigma}(t)$ ) theo ứng suất đơn vị, và được tính bằng:

$$J(t, t_0) = \frac{1 + \phi(t, t_0)}{E_{cmt_0}} \quad (4)$$

Trong đó:

$E_{cmt_0}$ : mô đun đàn hồi tại thời điểm chất tải (MPa);

$\phi(t, t_0)$ : hệ số từ biến, được xác định như tỷ lệ của biến dạng từ biến và biến dạng đàn hồi khi bắt đầu chất tải ở ngày tuổi  $t_0$ .

Trong bài báo này, từ biến của một cấu kiện bê tông chịu nén được tính toán theo bốn mô hình khác nhau gồm: ACI 209R-92, Eurocode 2, CEB FIP 90-99 và GL 2000.

Mô hình ACI 209R-1992 là một mô hình thực nghiệm được phát triển bởi Branson và Christason [2]. Mô hình này được đưa vào ACI 209R-82 với một chút thay đổi nhỏ (Ủy ban ACI 209 1982). Sau đó, Ủy ban ACI 209 tiếp tục đưa mô hình đã phát triển này vào ACI 209R-92.

Mô hình Eurocode 2 được sử dụng dựa trên tiêu chuẩn châu Âu 2 về tính toán kết cấu bê tông. Tiêu chuẩn này đã được ủy ban châu Âu

(CEN) thông qua năm 2004, có chỉnh sửa lại vào năm 2008 và 2010 [3].

Tiêu chuẩn CEB-FIP 90 cho kết cấu bê tông là kết quả hợp tác của hai tổ chức CEB và FIP. Những bản thảo đầu tiên được viết vào năm 1990, có ảnh hưởng rất lớn đến tiêu chuẩn của nhiều quốc gia. Mô hình đánh giá từ biến này đúng với cấu kiện bê tông thông thường ( $12 \text{ MPa} < f_{ck} \leq 80 \text{ MPa}$ ), chịu ứng suất nén  $|\sigma_c| < 0.4f_{cm}(t_0)$  ở tuổi chất tải  $t_0$ , trong điều kiện độ ẩm tương đối từ 40-100%, nhiệt độ từ 5-30°C.

Mô hình GL 2000 được phát triển bởi Gardner và Lockman [2]. Sau đó, tác giả Gardner [2] đưa vào một số thay đổi nhỏ đối với các hệ số và sự phát triển cường độ trong hàm thời gian. Mô hình cho phép tính toán từ biến của bê tông nặng thông thường có cường độ nhỏ hơn 82 MPa. Mô hình có thể được áp dụng bất kể phụ gia hóa học, phụ gia khoáng được sử dụng, nhiệt độ khi đổ bê tông và chế độ bảo dưỡng.

### 3. So sánh các mô hình

Trong phần này, bốn mô hình tính toán từ biến giới thiệu ở phần trên sẽ được sử dụng để xác định hệ số từ biến của một cấu kiện cột, có mặt cắt ngang hình vuông  $0.7 \text{ m} \times 0.7 \text{ m}$ , cao 4 m.

Cột được làm bằng bê tông cường độ chịu nén 25 MPa. Bê tông đổ xong được dưỡng ẩm 14 ngày và bắt đầu chịu lực ở 21 ngày tuổi ( $t_0 = 21$  ngày). Điều kiện làm việc như sau: độ ẩm tương đối 80%, nhiệt độ 26°C. Thời điểm xác định từ biến 28, 60, 90, 180, 365 và 720 ngày sau khi đổ bê tông. Dữ liệu về hỗn hợp bê tông được tổng hợp trong Bảng 1.

**Bảng 1.** Thành phần hỗn hợp bê tông

Loại xi măng	I (hoặc N)	
Kích thước tối đa cốt liệu	20 mm	
Hàm lượng xi măng	$c =$	409 kg/m <sup>3</sup>
Hàm lượng nước	$w =$	205 kg/m <sup>3</sup>
Tỉ lệ nước/xi măng	$w/c =$	0.50

Tỉ lệ cốt liệu/xi măng	$a/c =$	4.23
Hàm lượng cát	$\psi =$	40%
Hàm lượng không khí	$\alpha =$	2%
Độ sụt	$s =$	75 mm
Khối lượng riêng bê tông	$\gamma_c =$	2345 kg/m <sup>3</sup>

Từ điều kiện ban đầu của bài toán, tính được tỷ số thể tích/diện tích  $V/S = 161 \text{ mm}$ ;

Tỷ số ứng suất nén/cường độ  $k_s = 35\%$ .

#### 3.1. Tính toán theo tiêu chuẩn ACI 209R-92

Các tính chất ban đầu, tại thời điểm chất tải ( $t_0 = 21$  ngày) của bê tông được chuẩn bị để phục vụ công tác tính toán hàm để biến dạng đàn hồi ban đầu.

Cường độ trung bình của bê tông ở tuổi 21 ngày:  $f_{cmt0} = [t_0/(a + bt_0)]f_{cm28} = 32.0 \text{ MPa}$ .

Trong đó:  $a = 4$ ,  $b = 0.85$  với xi măng sử dụng loại I và  $f_{cm28} = 33.3 \text{ MPa}$ .

Mô đun đàn hồi trung bình của bê tông ở tuổi 21 ngày:  $E_{cmt0} = 0.043\gamma_c^{1.5}\sqrt{f_{cmt0}} = 27622 \text{ MPa}$ .

Hàm để biến dạng đàn hồi tại thời điểm 21 ngày:  $J_{(t_0,t_0)} = 1/E_{cmt0} = 36.20 \times 10^{-6} (1/\text{MPa})$ .

Hệ số từ biến được xác định như sau:

$$\phi(t, t_0) = [(t - t_0)^\psi / (d + (t - t_0)^\psi)] \phi_u \quad (5)$$

Trong đó:

$\phi_u$ : Hệ số từ biến cuối cùng

$\phi_u = 2.35\gamma_c$  Với  $\gamma_c$  là hệ số hiệu chỉnh tích lũy

$$\gamma_c = \gamma_{c,t_0} \gamma_{c,RH} \gamma_{c,vs} \gamma_{c,s} \gamma_{c,\psi} \gamma_{sh,\alpha}$$

$\gamma_{c,t_0}$ : Hệ số tuổi bê tông khi chất tải

$\gamma_{c,RH}$ : Hệ số độ ẩm tương đối môi trường xung quanh

$\gamma_{c,vs}$ : Hệ số tỷ số thể tích / diện tích

$\gamma_{c,s}$ : Hệ số độ sụt của bê tông tươi

$\gamma_{c,\psi}$ : Hệ số cát

$\gamma_{sh,\alpha}$ : Hệ số hàm lượng không khí

Tham khảo tài liệu [2], xác định được  $\gamma_c = 0.44$ , vì vậy  $\phi_u = 1.033$ .

$$\psi = 0.6$$

d = 10 ngày

**Bảng 2.** Hàm để biến dạng  $J(t,t_0) = 1/E_{cmt0} + \phi(t,t_0)/E_{cmt0}$  theo ACI 209R-92

t, ngày	$\phi(t,t_0)$	$\phi(t,t_0)/E_{cmt0} \times 10^{-6}$	$J(t,t_0)$ (1/MPa), $\times 10^{-6}$
21	0		
28	0.25144	9.1433	45.5077
60	0.48989	17.815	54.1791
90	0.57805	21.02	57.3848
180	0.69955	25.439	61.8030
360	0.79477	28.902	65.2659
720	0.86518	31.418	67.7823

### 3.2. Tính toán theo tiêu chuẩn Eurocode 2

Các tính chất ban đầu, tại thời điểm chất tải ( $t_0 = 21$  ngày) của bê tông được tính toán theo Eurocode 2.

Cường độ trung bình của bê tông ở tuổi 21 ngày:  $f_{cmt0} = \exp[s\{1 - (28/t_0)^{0.5}\}]f_{cm28} = 31.75$  MPa.

Trong đó:  $s = 0.25$  với xi măng sử dụng loại N và  $f_{cm28} = 33.3$  MPa.

Mô đun đàn hồi trung bình của bê tông ở tuổi 21 ngày:  $E_{cmt0} = (f_{cmt0}/f_{cm28})^{0.3}E_{cm28} = 31113$ MPa.

Hàm để biến dạng đàn hồi tại thời điểm 21 ngày:  $J_{(t_0,t_0)} = 1/E_{cmt0} = 32.141 \times 10^{-6}$  (1/MPa).

Hệ số từ biến:

$$\varphi_{28}(t,t_0) = \varphi_0 \beta_c(t - t_0) \quad (6)$$

Trong đó:

$$\varphi_0 = \varphi_{RH}(h) \beta(f_{cm28}) \beta(t_0);$$

$\varphi_{RH}$ : Hệ số độ ẩm tương đối;

$\beta(f_{cm28})$ : Hệ số cường độ bê tông;

$\beta(t_0)$ : Hệ số điều chỉnh tuổi bê tông áp tải;

$$\beta_c(t - t_0) = [(t - t_0)/\{\beta_H + (t - t_0)\}]^{0.3};$$

$\beta_H$ : Hệ số từ biến theo thời gian.

**Bảng 3.** Hàm để biến dạng  $J(t,t_0) = 1/E_{cmt0} + \varphi(t,t_0)/1.05E_{cmt0}$  theo tiêu chuẩn Eurocode 2

t, ngày	$\varphi_{28}(t,t_0,T)$	$\varphi_{28}(t,t_0)/E_{cmt0} \times 10^{-6}$	$J(t,t_0) \times 10^{-6}$ (1/MPa)
28	0.416	12.579	46.327
60	0.690	20.886	54.634
90	0.813	24.598	58.346
180	1.022	30.924	64.672
365	1.238	37.325	71.073
720	1.436	43.437	77.185

### 3.3. Tính toán theo mô hình CEB-FIP 90-99

Dựa vào các hướng dẫn của mô hình CEB-FIP 90-99 [2], các tính chất ban đầu, tại thời điểm chất tải ( $t_0 = 21$  ngày) của bê tông được chuẩn bị như sau.

Cường độ trung bình của bê tông ở tuổi 21 ngày:  $f_{cmt0} = \exp[s\{1 - (28/t_0)^{0.5}\}]f_{cm28} = 30.54$  MPa.

Trong đó:

$s = 0.25$  với xi măng sử dụng loại N và  $f_{cm28} = 33.3$  MPa.

Mô đun đàn hồi trung bình của bê tông ở tuổi 21 ngày:  $E_{cmt0} = (f_{cmt0}/f_{cm28})^{0.3}E_{cm28} = 30794$ MPa.

Hàm để biến dạng đàn hồi tại thời điểm 21 ngày:  $J_{(t_0,t_0)} = 1/E_{cmt0} = 32.472 \times 10^{-6}$  (1/MPa).

Hệ số từ biến:

$$\varphi_{28}(t,t_0) = \varphi_0 \beta_c(t - t_0) \quad (7)$$

Trong đó:

$$\varphi_0 = \varphi_{RH}(h) \beta(f_{cm28}) \beta(t_0);$$

$\varphi_{RH}(h)$ : Hệ số độ ẩm tương đối và tỉ số thể tích-bề mặt;

$\beta(f_{cm28})$ : Hệ số cường độ bê tông;

$\beta(t_0)$ : Hệ số điều chỉnh tuổi bê tông áp tải;

$$\beta_c(t - t_0) = [(t - t_0)/\{\beta_H + (t - t_0)\}]^{0.3}$$

$\beta_H$ : Hệ số từ biến theo thời gian.

**Bảng 4.** Hàm dễ biến dạng  $J(t,t_0) = 1/E_{cm(t_0)} + \varphi(t,t_0)/E_{cm(t)}$  theo CEB-FIP 90-99

t, ngày	$\varphi_{28}(t,t_0)$	$\varphi_{28}(t,t_0)/E_{cm} \times 10^{-6}$	$J(t,t_0) \times 10^{-6}$ (1/MPa)
28	0.352	11.036	43.508
60	0.585	18.323	50.796
90	0.689	21.580	54.053
180	0.867	27.129	59.602
365	1.046	32.745	65.218
720	1.217	38.107	70.580

### 3.4. Tính toán theo mô hình GL 2000

Các tính chất ban đầu, tại thời điểm chất tải ( $t_0 = 21$  ngày) của bê tông được xác định như sau.

Cường độ trung bình của bê tông ở tuổi 21 ngày:  $f_{cm(t_0)} = \{\exp\{s/2[1 - (28/t_0)^{0.5}]\}\}^2 f_{cm28} = 30.54$  MPa.

Trong đó:  $s = 0.335$  với xi măng sử dụng loại I và  $f_{cm28} = 32.5$  MPa.

Mô đun đàn hồi trung bình của bê tông ở tuổi 21 ngày:  $E_{cm(t_0)} = 3500 + 4300(f_{cm(t_0)})^{0.5} = 27368$  MPa.

Hàm dễ biến dạng đàn hồi tại thời điểm 21 ngày:  $J(t_0, t_0) = 1/E_{cm(t_0)} = 36.51 \times 10^{-6}$  (1/MPa).

Hệ số từ biến  $\varphi_{28}(t,t_0)$  được tính như sau:

$$\varphi_{28}(t,t_0) = \Phi(t_c) \times [\text{Hệ số từ biến cơ bản} + \text{Hệ số từ biến do khô}] \quad (8)$$

$\Phi(t_c) = 0.979$ : Hệ số ảnh hưởng của sự khô trước khi chất tải

$$\text{Hệ số từ biến cơ bản} = 2[(t - t_0)^{0.3} / \{(t - t_0)^{0.3} + 14\}] + [7/t_0]^{0.5} [(t - t_0) / \{(t - t_0) + 7\}]^{0.5}$$

$$\text{Hệ số từ biến do khô} = 2.5(1 - 1.086h^2) \{[(t - t_0) / \{(t - t_0) + 77(V/S)^2\}]^{0.5}\}$$

Trong đó:

V: thể tích của cấu kiện;

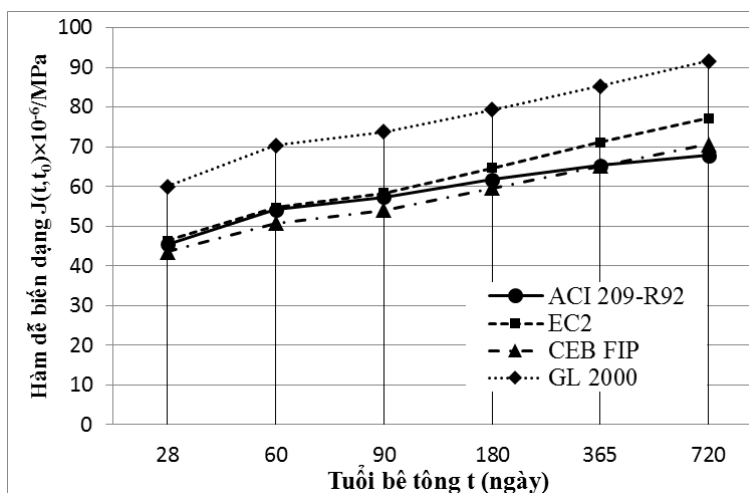
S: diện tích bề mặt tiếp xúc với môi trường bên ngoài của cấu kiện.

**Bảng 5.** Hàm dễ biến dạng  $J(t,t_0) = 1/E_{cm(t_0)} + \varphi_{28}(t,t_0)/E_{cm28}$  theo mô hình GL 2000

t, ngày	$\varphi_{28}(t,t_0)/E_{cm28} \times 10^{-6}$	$J(t,t_0) \times 10^{-6}$ (1/MPa)
28	23.46	59.97
60	33.88	70.39
90	37.33	73.84
180	42.84	79.35
365	48.78	85.29
720	55.09	91.60

Hình 1 thể hiện hệ số dễ biến dạng của cấu kiện cột bê tông cốt thép đã cho được tính toán theo bốn mô hình: ACI 209R-1992, Eurocode 2, CEB MC90-99 và GL 2000.

Trong bốn mô hình này, GL 2000 cho kết quả dự báo từ biến lớn nhất, lớn hơn hẳn ba mô hình còn lại. Ba mô hình còn lại, ACI 209R-1992, EC2 và CEB FIP 90-99 cho kết quả hàm dễ biến dạng tương tự nhau.



**Hình 1.** Hàm dễ biến dạng tính toán theo các mô hình khác nhau

#### 4. Kết luận

Bài báo đã giới thiệu hiện tượng từ biến của bê tông. Khái niệm về từ biến, hệ quả của từ biến và các yếu tố ảnh hưởng đến từ biến của bê tông lần lượt được đề cập. Ngoài ra, bốn mô hình khác nhau để dự đoán mức độ từ biến của bê tông cũng được tổng hợp. Bốn mô hình này được vận dụng vào bài toán cụ thể, xác định từ biến của một cấu kiện cột bê tông chịu nén với ứng suất không đổi tại các thời điểm khác nhau. Kết quả cho thấy, ba mô hình gồm ACI 209-

92R, EC2 và CEB-FIP cho kết quả dự đoán từ biến tương tự nhau. Riêng mô hình GL 2000 cho kết quả từ biến lớn hơn hẳn.

#### Tài liệu tham khảo

- [1] A. M. Neville, *Properties of Concrete*, fourth edition, Willey 1996.
- [2] ACI 209R-92, *Guide for Modeling and Calculating Shrinkage and Creep in Hardened Concrete*, Reported by ACI Committee 209.
- [3] Eurocode 2, *Eurocode 2: Design of concrete structures EN1992-1-1*.