

# PHÂN TÍCH ĐẦY DẦN KHUNG BÊ TÔNG CỐT THÉP CÓ DẦM CHUYỂN THEO EUROCODE 8

Võ Minh Quang<sup>a</sup>, Võ Mạnh Tùng<sup>a,\*</sup>

<sup>a</sup>*Khoa Xây dựng Dân dụng và Công nghiệp, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội,  
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

*Nhận ngày 22/6/2022, Sửa xong 09/9/2022, Chấp nhận đăng 21/9/2022*

## Tóm tắt

Việc thiết kế khung bê tông cốt thép với cấp độ dẻo trung bình (DCM) chịu động đất theo EC8 là khá phức tạp, đặc biệt với những khung có dầm chuyển, quy định về không hình thành tầng mềm không thực sự hợp lý khi áp dụng với loại kết cấu này. Phương pháp tính phi tuyến đẩy dần cho thấy hình ảnh làm việc phi tuyến của kết cấu chịu động đất, tuy nhiên được giới thiệu khá vắn tắt trong tiêu chuẩn EC8. Trong bài báo này, chúng tôi trình bày về quy trình và lý thuyết phân tích khung bê tông cốt thép chịu động đất bằng phương pháp tính phi tuyến đẩy dần theo EC8, thực hiện phân tích đẩy dần cho một khung bê tông cốt thép 7 tầng với dầm chuyển ở tầng 2 được thiết kế chịu động đất với cấp độ dẻo trung bình, từ đó rút ra một số nhận xét về việc thiết kế khung có dầm chuyển chịu động đất theo EC8.

*Từ khóa:* bê tông cốt thép (BTCT); dầm chuyển; dàn chuyển; nhà cao tầng; độ võng.

PUSHOVER ANALYSIS OF REINFORCED CONCRETE FRAME WITH TRANSFER BEAM ACCORDING TO EUROCODE 8

## Abstract

The design of reinforced concrete frames with ductility medium class (DCM) to withstand earthquakes according to EC8 [1] is quite complicated, especially for frames with transfer beams, the regulation on not forming soft story is not really reasonable when applied to this type of structure. The push-over method shows a non-linear working image of seismic structures, but is introduced quite briefly in the EC8. In this paper, we present the process and theory of analyzing reinforced concrete frames subjected to earthquakes by push-over method according to EC8, performing for a reinforced concrete frame 7 stories with transfer beam on the 2nd floor is designed to withstand earthquakes with DCM, from which some comments are drawn about the design of the frame with transfer beams according to EC8.

*Keywords:* reinforced concrete; transfer beams; transfer; high-rise buildings; deflection.

[https://doi.org/10.31814/stce.huice\(nuce\)2023-17\(1V\)-05](https://doi.org/10.31814/stce.huice(nuce)2023-17(1V)-05) © 2023 Trường Đại học Xây dựng Hà Nội (ĐHXDHN)

## 1. Giới thiệu

Nhà nhiều tầng vẫn đang là một xu thế tại Việt Nam, đặc biệt tại các tỉnh thành lớn mà phần lớn trong số đó không nằm ở vùng động đất mạnh. Kết cấu bê tông cốt thép (BTCT) được ưa chuộng tại Việt Nam cho nhà nhiều tầng và kết cấu chuyển cũng được sử dụng phổ biến để đáp ứng các ý tưởng kiến trúc. Phương pháp thông dụng nhất để phân tích tác động của động đất lên công trình ở Việt Nam là phương pháp Phổ phản ứng và các công trình sẽ được thiết kế với một cấp độ dẻo. Cấp độ dẻo thấp (DCL) và cấp độ dẻo trung bình (DCM) là 2 cấp độ dẻo phổ thông ở Việt Nam vì cấp độ dẻo cao

\*Tác giả đại diện. Địa chỉ e-mail: [vo\\_manhtung@yahoo.com.vn](mailto:vo_manhtung@yahoo.com.vn) (Tùng, V. M.)

(DCH) chỉ phù hợp cho những vùng động đất mạnh [2–4]. Thiết kế công trình với DCM có thể giảm lực động đất, tuy nhiên có yêu cầu về tính toán và cấu tạo cốt thép khá phức tạp để đảm bảo sự làm việc dẻo của khung BTCT.

Theo tiêu chuẩn thiết kế công trình kháng chấn tại Việt Nam, TCVN 9386:2012 [2] (được biên soạn dựa trên Eurocode 8), khung BTCT có dầm chuyển thường được thiết kế với DCL và cũng có thể được thiết kế theo DCM với các yêu cầu khá chặt chẽ [5, 6]. Yêu cầu không hình thành tầng mềm hay quan niệm « cột khỏe – dầm yếu » khi áp dụng cho tầng có dầm chuyển là không hoàn toàn hợp lý về quan điểm ứng xử của khung vì dầm chuyển có thường có kích thước lớn nên điều kiện hình thành khớp dẻo ở đầu dầm chuyển là không an toàn và cũng không thể xảy ra. Thực tế hệ thống dầm chuyển và cột đỡ dầm chuyển có kích thước lớn hơn nhiều so với kích thước các cấu kiện ở các tầng trên của dầm chuyển, vì vậy hệ thống này luôn làm việc đàn hồi ngay cả khi phần khung phía trên đã hình thành khớp dẻo ở các đầu dầm. Nghiên cứu về ứng xử và sự làm việc dẻo của kết cấu khung BTCT có dầm chuyển là cần thiết để chứng minh về nhận định này.

Phương pháp phân tích tĩnh phi tuyến (pushover) được đề cập ở rất nhiều tiêu chuẩn: Eurocode 8 [1], FEMA, ATC [7], v.v., là một phương pháp phân tích phi tuyến có thể đánh giá được sự làm việc dẻo của kết cấu. Tuy nhiên, do những yêu cầu cao và độ phức tạp về mặt thiết bị cũng như phần mềm thì phương pháp này chưa được sử dụng rộng rãi trong thực tế.

Bài báo này sẽ sử dụng phương pháp pushover để đánh giá khả năng chống động đất cũng như ứng xử dẻo của một khung BTCT có dầm chuyển chịu tác động của động đất.

## 2. Cơ sở lý thuyết phân tích khung bằng phương pháp pushover theo EC8 [1]

### 2.1. Mục đích

Phân tích pushover được thực hiện bằng cách cho lực ngang tăng lên đều đặn và quan sát chuyển vị của một nút định trước (thường là đỉnh khung) đến một giá trị chuyển vị mục tiêu trong khi tải trọng đứng không thay đổi. Chuyển vị mục tiêu là chuyển vị ngang lớn nhất công trình có thể đạt tới trong quá trình chịu động đất thiết kế. Khi khung đạt đến chuyển vị mục tiêu, các thông số yêu cầu cục bộ của các cấu kiện kết cấu được so sánh với các tiêu chí chấp nhận tương ứng cho trạng thái làm việc mong muốn (góc xoay giới hạn).

Theo EC8, phương pháp đẩy dần pushover được dùng để kiểm tra công năng của công trình hiện hữu và mới được thiết kế, với các mục đích để kiểm tra hoặc đánh giá lại các tỷ số vượt độ bền  $\alpha_u/\alpha_1$  và xác định cơ cấu dẻo dự kiến.

### 2.2. Quy trình cơ bản

Quy trình tìm ra chuyển vị mục tiêu của hệ kết cấu nhiều bậc tự do (MDOF) bằng phương pháp N2 trong EC8 có thể được tóm tắt thành các bước như sau:

- + Bước 1: Tạo mô hình kết cấu phi tuyến;
- + Bước 2: Tác dụng tải trọng trọng lực không đổi (tĩnh tải và hoạt tải đứng);
- + Bước 3: Đối với từng dạng tải trọng yêu cầu (thường là phân bố đều và hình tam giác) thực hiện như sau:
  - Tính toán đường cong khả năng cho khung – hệ nhiều bậc tự do (MDOF);
  - Tính toán đường cong khả năng cho hệ một bậc tự do tương đương (ESDOF);
  - Thực hiện quy trình lặp để xác định điểm mục tiêu trên biểu đồ đường cong khả năng ESDOF;
  - Chuyển đổi thành điểm mục tiêu cho hệ thống MDOF.
- + Bước 4: Kiểm tra đánh giá các tiêu chí tổng thể và cục bộ.

### 2.3. Xác định chuyển vị mục tiêu

Việc xác định được chuyển vị mục tiêu cũng chính là tiêu chí kháng chấn tổng thể dưới dạng chuyển vị của hệ ESDOF xác định từ phổ phản ứng đàn hồi. Quy trình tính toán theo EC8 – phần 1 [1] được trình bày như sau:

#### a. Chuyển từ hệ MDOF về hệ ESDOF

Khối lượng  $m^*$  của hệ ESDOF:

$$m^* = \sum m_i \Phi_i^2 \quad (1)$$

trong đó  $m_i$  là khối lượng của tầng thứ  $i$ ;  $\Phi_i$  là các chuyển vị chuẩn hóa tại tầng  $i$  sao cho  $\Phi_n = 1$ ;  $n$  là nút kiểm soát.

Xác định hệ số chuyển đổi:

$$\Gamma = \frac{m^*}{\sum m_i \Phi_i^2} \quad (2)$$

Lực cắt đáy và chuyển vị của hệ ESDOF:

$$F^* = \frac{F_b}{\Gamma}; \quad d^* = \frac{d_n}{\Gamma} \quad (3)$$

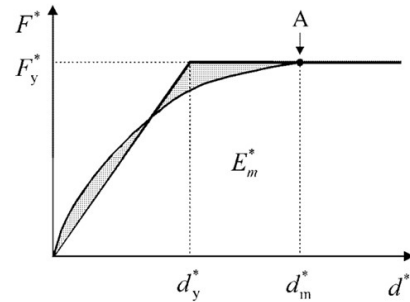
trong đó  $F_b$  và  $d_n$  là lực cắt chân và chuyển vị tại nút kiểm soát của hệ MDOF.

#### b. Xác định mối quan hệ đàn hồi dẻo lý tưởng

Lực cắt đáy  $F_y^*$  biểu thị cường độ cực hạn của hệ lý tưởng, là lực cắt chân lúc hình thành cơ cấu dẻo. Độ cứng ban đầu của hệ lý tưởng được xác định sao cho các diện tích nằm dưới các đường quan hệ đàn hồi dẻo lý tưởng (biểu đồ 2 đoạn thẳng) và quan hệ đàn hồi dẻo (đường cong) bằng nhau (xem Hình 1).

Như vậy chuyển vị dẻo của hệ ESDOF:

$$d_y^* = 2 \left( d_m^* - \frac{E_m^*}{F_y^*} \right) \quad (4)$$



Hình 1. Quan hệ lực – chuyển vị

trong đó  $E_m^*$  là năng lượng biến dạng thực tế cho đến khi hình thành cơ cấu dẻo;  $d_m^*$  là chuyển vị chảy dẻo của hệ MDOF.

Chu kỳ của hệ ESDOF lý tưởng:

$$T^* = 2\pi \sqrt{\frac{m^* d_y^*}{F_y^*}} \quad (5)$$

#### c. Xác định chuyển vị mục tiêu của hệ ESDOF

Chuyển vị mục tiêu của hệ kết cấu có chu kỳ  $T^*$  và ứng xử đàn hồi không hạn chế được xác định:

$$d_{et}^* = S_e(T^*) \left[ \frac{T^*}{2\pi} \right]^2 \quad (6)$$

trong đó  $S_e(T^*)$  là phổ gia tốc đàn hồi tại chu kỳ  $T^*$ . Để xác định chuyển vị mục tiêu  $d_{et}^*$  cho các kết cấu trong miền chu kỳ ngắn và chu kỳ dài, cần khảo sát các trường hợp:

- Miền chu kỳ ngắn ( $T^* < T_C$ )

Nếu  $F_y^*/m^* \geq S_e(T^*)$  - tuyến tính:

$$d_t^* = d_{ct}^* \quad (7)$$

Nếu  $F_y^*/m^* < S_e(T^*)$  - phi tuyến:

$$d_t^* = \frac{d_{et}^*}{q_u} \left( 1 + (q_u - 1) \frac{T_C}{T^*} \right) \geq d_{et}^* \quad (8)$$

trong đó

$$q_u = \frac{S_e(T^*)m^*}{F_y^*} \quad (9)$$

- Miền chu kỳ dài ( $T^* > T_C$ ):

$$d_t^* = d_{et}^* \quad (10)$$

d. Xác định chuyển vị mục tiêu dt của hệ MDOF

$$d_t = \Gamma d_t^* \quad (11)$$

#### 2.4. Xác định các góc xoay giới hạn

Khớp dẻo xuất hiện trong kết cấu bê tông cốt thép khi ứng suất trong cốt thép vượt quá giới hạn chảy. Đối với tiết diện dầm, khớp dẻo hình thành do momen tại tiết diện trong dầm vượt quá momen khớp dẻo  $M_y$ . Đối với tiết diện cột, do sự tham gia của lực dọc nên  $M_y$  còn phụ thuộc vào lực dọc P.

Khả năng biến dạng của dầm, cột được xác định bởi góc xoay dẻo  $\theta$ . Ba cấp độ làm việc được xác định theo EC8 phần 3 [8] gồm: hạn chế hư hỏng (DL), hư hỏng đáng kể (SD), gần sụp đổ (NC).

a. Trạng thái hạn chế hư hỏng DL

Việc kiểm tra được thực hiện trong điều kiện so sánh giữa biến dạng yêu cầu với khả năng tương ứng của góc xoay dẻo đầu tiên  $\theta_y$  ở phương trình:

$$\theta_y = \varphi_y \frac{L_V + a_V z}{3} + 0,0014 \left( 1 + 1,5 \frac{h}{L_V} \right) + \varphi_y \frac{d_b L f_y}{8 \sqrt{f_c}} \quad (12)$$

trong đó  $\varphi_y$  là độ cong chảy dẻo tại đầu mút tiết diện;  $L_V = \frac{M}{V}$  là tỉ số momen và lực cắt tại đầu mút tiết diện;  $a_V z$  là biên độ chịu kéo của biểu đồ momen uốn, được xác định như sau:

$a_V = 1$ , nếu  $M \geq L_V V_{R,c}$ ;  $a_V = 0$ , nếu  $M < L_V V_{R,c} = 0$ ;  $z$  là chiều dài cánh tay đòn;  $z = d - d'$  cho dầm và cột;  $d_{bL}$  là đường kính cốt thép chịu kéo.

b. Trạng thái hư hỏng đáng kể LS

Góc xoay dẻo khả năng tương ứng cho hư hỏng đáng kể  $\theta_{SD}$  được xác định bằng 75% góc xoay dẻo cuối cùng  $\theta_{um}$ .

c. Trạng thái gần sụp đổ CP

Giá trị của toàn bộ góc xoay dẻo cực hạn khả năng của các cấu kiện có thể được tính từ biểu thức sau đây

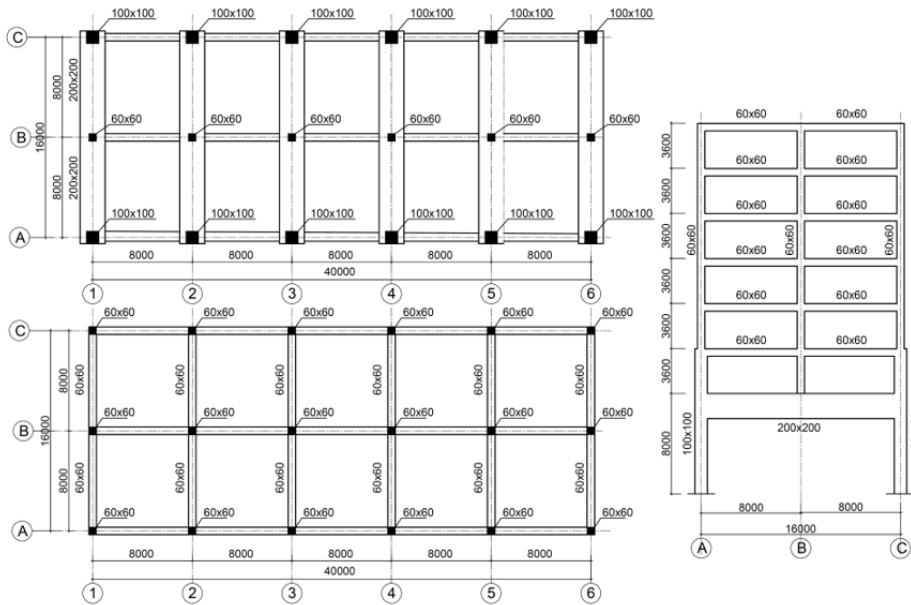
$$\theta_{um} = \frac{1}{\gamma_{el}} \left( \theta_y + (\varphi_u - \varphi_y) L_{pl} \left( 1 - \frac{0,5 L_{pl}}{L_V} \right) \right) \quad (13)$$

trong đó  $\gamma_{el} = 1,5$  cho cấu kiện kháng chấn chính;  $\varphi_u$  là độ cong cực hạn tại tiết diện đầu mút;  $L_{pl}$  là chiều dài khớp dẻo, được xác định:

$$L_{pl} = \frac{L_V}{30} + 0,2h + 0,11 \frac{d_{bl} f_{yk}}{\sqrt{f_{ck}}} \quad (14)$$

### 3. Phân tích khung BTCT có dầm chuyển

#### 3.1. Giới thiệu



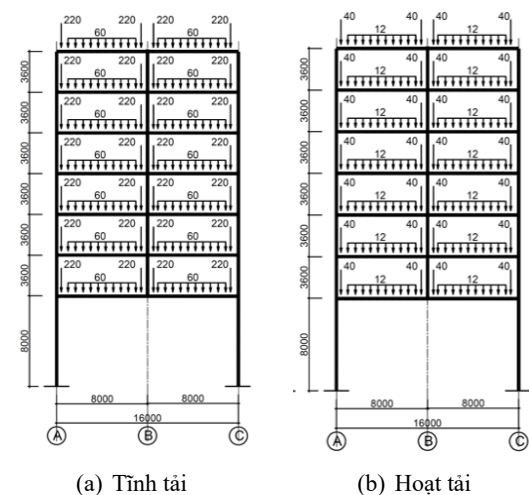
Hình 2. Mặt bằng nhà và khung phẳng

Phần này sẽ nghiên cứu mô hình và phân tích một khung phẳng có dầm chuyển bằng phương pháp Pushover theo tiêu chuẩn EC8 với quy trình đã được thiết lập trong phần 2 với mục đích như sau:

- + Xác định cơ cấu dẻo của khung BTCT có dầm chuyển và xem xét khả năng xuất hiện biến dạng dẻo ở tầng chuyển.
- + Đánh giá lại tỷ số vượt cường độ trong khung BTCT có dầm chuyển.

Khung phẳng được tính toán thiết kế kháng chấn bằng phương pháp phân tích phổ phản ứng với các cấp độ cấp độ dẻo trung bình DCM, tuy nhiên tất cả các nút trên dầm chuyển không cần tuân thủ điều kiện hình thành tầng mềm sau đây:

$$\sum M_{R,c} \geq 1,3 \sum M_{R,b} \quad (15)$$



Hình 3. Tải trọng đứng lên khung (kN, kN.m)

trong đó  $\sum M_{R,c}$  là tổng giá trị thiết kế của khả năng chịu mômen uốn của các cột quy tụ vào nút;  
 $\sum M_{R,b}$  tổng các giá trị thiết kế của khả năng chịu mômen uốn của các dầm quy tụ vào nút.

Giới hạn nghiên cứu: không xem xét khả năng xuất hiện các khớp dẻo cắt trong dầm và cột.

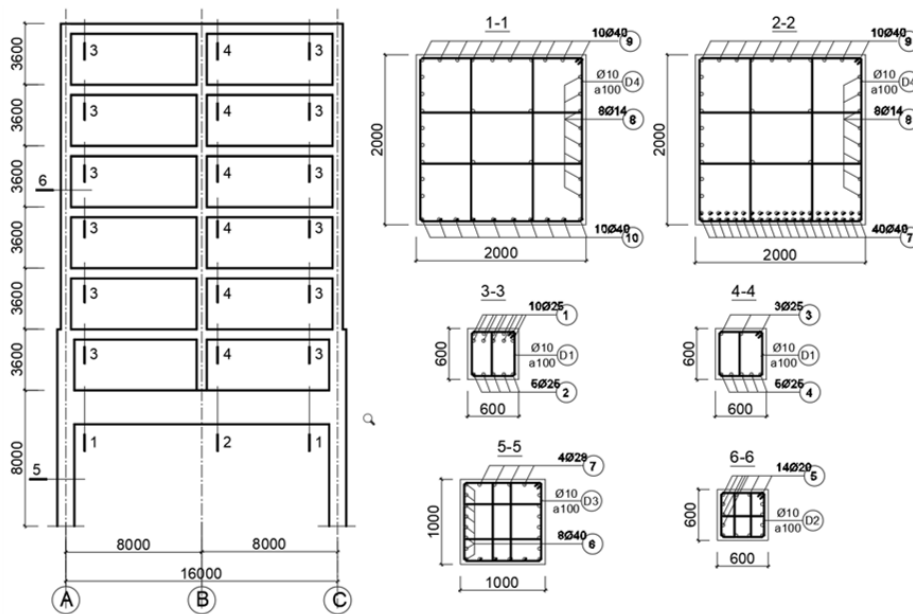
### Thông số cơ bản của khung như sau:

+ Khung phẳng bê tông có sơ đồ như trên Hình 2; bê tông B40, cốt thép dọc CB500V, cốt thép đai CB300V.

+ Các trường hợp tĩnh tải và hoạt tải đứng được thể hiện trên Hình 3.

### 3.2. Bố trí cốt thép khung

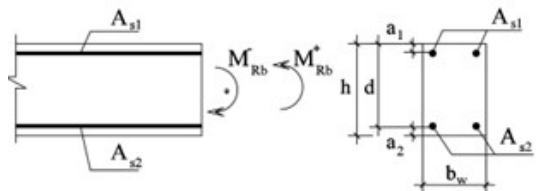
Khung được tính toán thiết kế theo phương pháp phân tích phổ phản ứng với cấp độ dẻo trung bình chịu tải trọng động đất tương ứng với gia tốc nền  $a_{gr} = 0,15g$  (chu kỳ lặp 475 năm), đất nền loại B, hệ số ứng xử  $q = 3,9$  tương ứng với cấp độ dẻo trung bình. Riêng những cấu kiện cột liên kết với dầm chuyển được tính toán thiết kế không tuân thủ theo điều kiện biến dạng dẻo xuất hiện tại dầm chuyển. Bỏ qua tải trọng gió tác dụng vào khung. Phân tích nội lực và tính toán cốt thép cho các cấu kiện khung được tiến hành trực tiếp từ phần mềm ETAB. Bố trí cốt thép dầm và cột khung được thể hiện trên Hình 4.



Hình 4. Chi tiết cốt thép khung

### 3.3. Mô hình khớp dẻo uốn trong dầm và cột

+ Tính toán độ bền uốn của dầm: kết quả tính toán thông số momen khớp dẻo của dầm khung được tính toán theo của Fardis [9] với các ký hiệu trên Hình 5 và thể hiện trong Bảng 1.

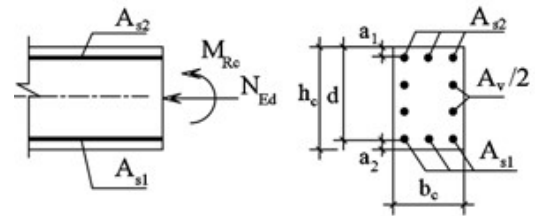


Hình 5. Cấu tạo tiết diện ngang của dầm

Bảng 1. Momen khớp dẻo trong dầm

ID	$f_{cd}$ (MPa)	$f_{yd}$ (MPa)	$b$ (mm)	$h$ (mm)	$A_{s1}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{s2}$ (mm <sup>2</sup> )	$M_{Rb1}$ (kN.m)	$M_{Rb2}$ (kN.m)	$a$ (mm)	$a'$ (mm)
1-1	26	435	2000	2000	12560	12560	10312	10312	60	60
2-2	26	435	2000	2000	50240	12560	39486	10312	120	60
3-3	26	435	600	600	4900	2450	1051	539	100	60
4-4	26	435	600	600	2450	1470	531	332	60	60

+ Tính toán độ bền uốn của cột: Kết quả tính toán thông số momen khớp dẻo của cột khung được tính toán theo tài liệu của Fardis [9] với các ký hiệu trên Hình 6 và thể hiện trong Bảng 2.



Hình 6. Cấu tạo tiết diện ngang của cột

Bảng 2. Momen khớp dẻo trong cột

ID	$f_{cd}$ (MPa)	$f_{yd}$ (MPa)	$E_s$ (MPa)	$b$ (mm)	$h$ (mm)	$A_{s1}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_{s2}$ (mm <sup>2</sup> )	$A_v$ (mm <sup>2</sup> )	$\varepsilon_c$	$\varepsilon_{cu}$	$M_{Rc}$ (kN.m)
5-5	26	435	200000	1000	1000	10048	10048	4800	0,002	0,0035	6394
6-6	26	435	200000	600	600	1570	1570	1256	0,002	0,0035	686

+ Tính toán các thông số góc xoay giới hạn trong dầm và cột: tiến hành tính toán với quy trình được thiết lập trong mục 2.4, các thông số góc xoay giới hạn được tính toán tại các tiết diện đầu dầm và cột được thể hiện trong Bảng 3.

Bảng 3. Giá trị góc xoay

ID	Trạng thái DL		Trạng thái SD		Trạng thái NC	
	Góc xoay $\theta+$	Góc xoay $\theta-$	Góc xoay $\theta+$	Góc xoay $\theta-$	Góc xoay $\theta+$	Góc xoay $\theta-$
1-1	+0,007	-0,007	+0,015	-0,015	+0,019	-0,019
2-2	+0,007	-0,007	+0,01	-0,02	+0,014	-0,027
3-3	+0,007	-0,007	+0,028	-0,018	+0,037	-0,024
4-4	+0,007	-0,007	+0,021	-0,024	+0,028	-0,032
5-5	+0,007	-0,007	+0,018	-0,018	+0,024	-0,024
6-6	+0,006	-0,006	+0,017	-0,017	+0,023	-0,023

Kết quả mô hình khớp dẻo uốn trong dầm và cột được thể hiện trên Hình 7.

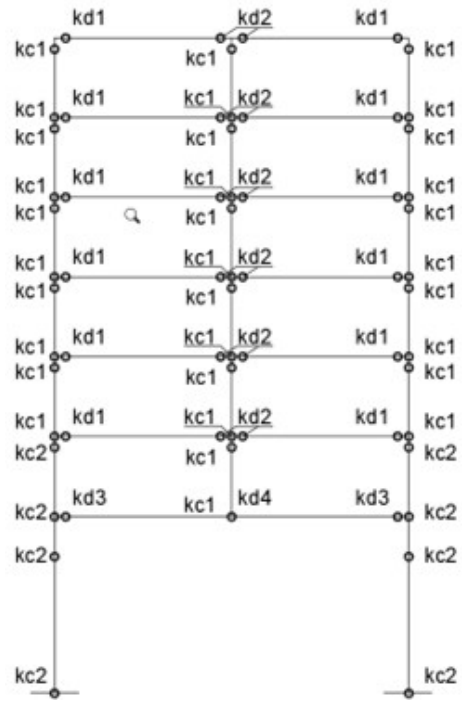


### 3.4. Phân tích khung bằng Pushover

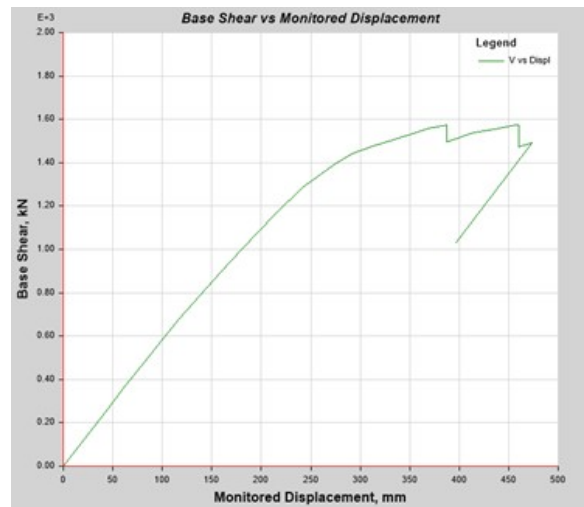
Theo yêu cầu tính toán của tiêu chuẩn [8], phân tích đẩy dần được tiến hành với 2 sơ đồ tải trọng ngang: dạng phân bố đều và dạng tam giác. Các trạng thái giới hạn cần kiểm tra: tiêu chuẩn quy định kiểm tra theo 3 trạng thái giới hạn sau đây: trạng thái phá hoại hạn chế (DL) tương ứng với chu kỳ lặp 225 năm với  $a_g = 0,12g$ ; trạng thái phá hoại đáng kể (SD) tương ứng với chu kỳ lặp 475 năm với  $a_g = 0,15g$ ; trạng thái gần sụp đổ (NC) tương ứng với chu kỳ lặp 2475 năm với  $a_g = 0,25g$ .

#### a. Kết quả phân tích Pushover với tải phân bố đều

Đường cong khả năng của khung được thể hiện trên Hình 8. Trạng thái DL: chuyển vị mục tiêu:  $dt = 136$  mm (tương ứng với  $\Delta/H = 1/243$ ); lực cắt đáy tương ứng  $V = 777$  kN; khung chưa hình thành khớp dẻo. Trạng thái SD: chuyển vị mục tiêu:  $dt = 171$  mm (tương ứng với  $\Delta/H = 1/194$ ); lực cắt đáy tương ứng  $V = 953$  kN; khung chưa hình thành khớp dẻo. Trạng thái NC: chuyển vị mục tiêu:  $dt = 294$  mm (tương ứng với  $\Delta/H = 1/113$ ); lực cắt đáy tương ứng  $V = 1447$  kN; khung hình thành 2 khớp dẻo (Hình 9(b)).



Hình 7. Mô hình khớp dẻo

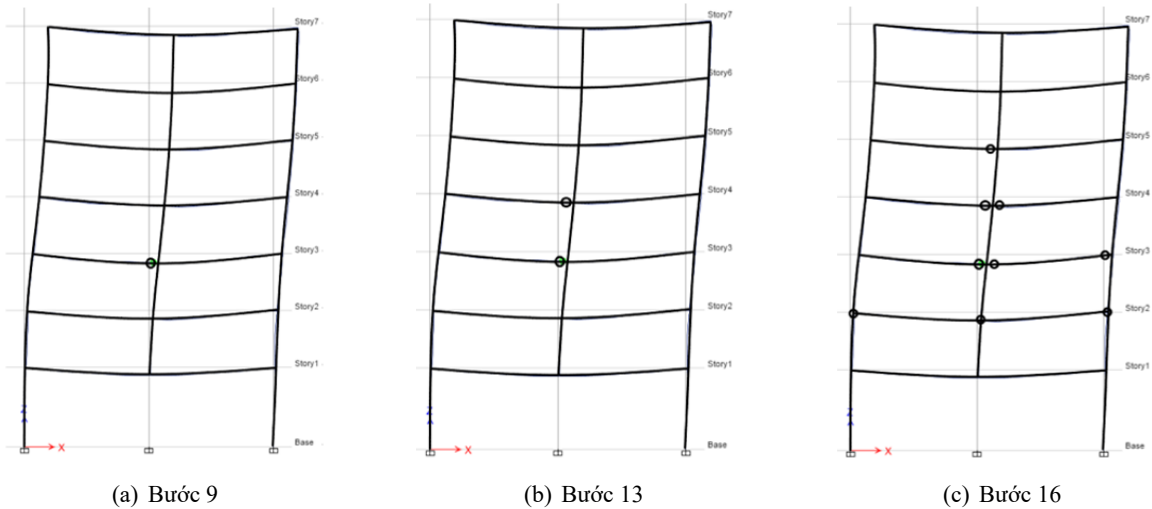


Hình 8. Đường cong khả năng với tải phân bố đều

Xác định tỷ số vượt cường độ  $\alpha_u/\alpha_1$ : trạng thái của khung khi hình thành khớp dẻo đầu tiên tại đầu dầm tầng 3 tương ứng với tổng lực cắt chân là 1000 kN và chuyển vị đỉnh khung 180 mm (Hình 9(a)); trạng thái ngay trước khi sụp đổ quy ước trong trường hợp này tương ứng tổng lực cắt chân tương ứng là 1538 kN và chuyển vị đỉnh là 356 mm, với trạng thái hình thành khớp dẻo tại chân tất cả các cột



tầng 3 và khớp dẻo đầu dầm lan đến tầng 6 (Hình 9(c)). Như vậy tỷ số vượt cường độ  $\alpha_u/\alpha_1$  được tính bằng tỷ số giữa tổng lực cắt chân của hai trạng thái trên:  $\frac{\alpha_n}{\alpha_1} = \frac{1538}{1000} = 1,538$ .



Hình 9. Sơ đồ hình thành khớp dẻo trong khung

Tỷ số vượt cường độ này lớn hơn giá trị tối thiểu là 1,3 và cũng lớn hơn giá trị tối đa là 1,5 được quy định trong tiêu chuẩn chứng tỏ rằng khung BTCT có dầm chuyển đảm bảo được độ dẻo yêu cầu.

#### b. Kết quả phân tích pushover với tải phân bố tam giác

Với tải trọng phân bố tam giác trạng thái DL: chuyển vị mục tiêu:  $dt = 131$  mm (tương ứng với  $\Delta/H = 1/253$ ); lực cắt đáy tương ứng  $V = 845$  kN; khung chưa hình thành khớp dẻo. Trạng thái SD: chuyển vị mục tiêu:  $dt = 164$  mm (tương ứng với  $\Delta/H = 1/202$ ); lực cắt đáy tương ứng  $V = 1037$  kN; khung chưa hình thành khớp dẻo. Trạng thái NC: chuyển vị mục tiêu:  $dt = 284$  mm (tương ứng với  $\Delta/H = 1/117$ ); lực cắt đáy tương ứng  $V = 1614$  kN; khung hình thành 2 khớp dẻo. Tỷ số vượt cường độ:  $\frac{\alpha_n}{\alpha_1} = 1,526$  lớn hơn giá trị tối thiểu là 1,3 và cũng lớn hơn giá trị tối đa là 1,5 được quy định trong tiêu chuẩn.

#### 3.5. Nhận xét

- Kết quả của phân tích pushover trong ví dụ tính toán trên cho thấy việc thiết kế khung BTCT kháng chấn bằng phương pháp phân tích phổ phản ứng cho kết quả tương đối an toàn. Ở trạng thái giới hạn hư hỏng hạn chế (DL) và hư hỏng rõ rệt (SD), chưa có khớp dẻo nào xuất hiện ở trong khung, và đến trạng thái gần phá hoại (NC), số lượng khớp dẻo trong khung là tương đối ít.

- Các nút khung có dầm chuyển quy tụ không cần thỏa mãn điều kiện hình thành tầng mềm vì thực tế các cột liên kết và dầm chuyển vẫn làm việc đàn hồi khi phần khung phía trên gần sụp đổ.

#### 4. Kết luận

- Phương pháp phân tích đẩy dần khung BTCT theo Eurocode 8 được trình bày trong phần 1 và phần 3 của tiêu chuẩn này, quy trình tính toán tương đối phức tạp.

- Khung BTCT có dầm chuyển có thể sử dụng làm kết cấu kháng chấn chính với cấp độ dẻo trung bình theo Eurocode 8.

- Khi thiết kế khung BTCT kháng chấn có dầm chuyển với cấp độ dẻo trung bình, dầm chuyển và các cột đỡ nó có thể không cần tuân thủ điều kiện hình thành tầng mềm. Trong trường hợp khung đã khảo sát, tầng có dầm chuyển là một tầng cứng và làm việc hoàn toàn đàn hồi, với việc hình thành khớp dẻo ở các đầu dầm của các tầng phía trên của tầng chuyển thì khung đã có thể đạt đến cường độ và chuyển vị yêu cầu tại tất cả các trạng thái giới hạn khi phân tích bằng phương pháp tĩnh đẩy dần Pushover. Hệ số vượt cường độ tìm được từ phương pháp này cũng đều lớn hơn giá trị tối thiểu quy định trong tiêu chuẩn.

## Tài liệu tham khảo

- [1] EN 1998-1 (2004). *Eurocode 8: Design for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings*.
- [2] TCVN 9386:2012. *Thiết kế công trình chịu động đất - Phần 1: Quy định chung, tác động động đất và quy định đối với kết cấu nhà*. Tiêu chuẩn quốc gia.
- [3] Ninh, N. L., Huệ, P. V. (2018). *Kết cấu nhà bê tông cốt thép nhiều tầng*. Nhà xuất bản Xây Dựng, Hà Nội.
- [4] Quang, V. M., Kiên, N. T., Tùng, V. M. (2021). Một số vấn đề trong thiết kế khung bê tông cốt thép cấp độ dẻo thấp và trung bình theo TCVN 9386:2012. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Xây dựng, Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng*, 4.
- [5] Hưng, Đ. V., Khánh, N. Đ., Thắng, N. T. (2018). Khảo sát hiệu quả phân tích dầm chuyển ứng lực trước đồng thời với khung bê tông cốt thép. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng*.
- [6] Tùng, V. M. (2019). *Mô hình tính toán kết cấu dầm chuyển trong thiết kế nhà cao tầng*. *Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng (KHCN XD) - ĐHXDHN*, 13(4V):12–21.
- [7] ATC 40 (1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*.
- [8] EN 1998-3 (2005). *Eurocode 8: Design for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting of buildings*.
- [9] Fardis, M. N. (2009). *Seismic design, assessment and retrofitting of concrete buildings*. Springer Netherlands.