

# KHẢO SÁT HIỆU QUẢ PHÂN TÍCH DẦM CHUYỂN ỨNG LỰC TRƯỚC ĐỒNG THỜI VỚI KHUNG BÊ TÔNG CỐT THÉP

Đặng Việt Hưng<sup>a</sup>, Nguyễn Đàm Khánh<sup>a</sup>, Nguyễn Trường Thắng<sup>a,\*</sup>

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

*Nhận ngày 24/08/2018, Sửa xong 29/11/2018, Chấp nhận đăng 30/11/2018*

---

## Tóm tắt

Trong thực hành thiết kế, do hạn chế của các phần mềm phân tích kết cấu, dầm bê tông ứng lực trước (ULT) căng sau thường được xem xét riêng rẽ với các cấu kiện BTCT xung quanh nó. Bài báo này giới thiệu việc phân tích tổng thể kết cấu khung bê tông cốt thép (BTCT) có dầm chuyển bê tông ULT bằng phần mềm ADAPT-Edge (3D). Nhờ việc sử dụng phần mềm có khả năng phân tích đồng thời dầm chuyển ULT với các cấu kiện dầm, cột BTCT khác trong khung, ảnh hưởng của các phương án bố trí và của số lượng cáp ULT tới sự phân bố nội lực, cường độ, độ cứng và biến dạng của dầm chuyển cũng như của cả hệ khung có thể được làm rõ. Trong bài báo này, ba phương án thiết kế dầm ULT theo tiêu chuẩn Eurocodes được đề xuất cho một ví dụ thực tế gồm một khung không gian BTCT cao bảy tầng có dầm chuyển vượt nhịp 15m tại tầng hai nhằm khảo sát hiệu quả của phương pháp phân tích tổng thể này. Kết quả cho thấy phương án tập trung cáp ULT cho một dầm chuyển là hợp lý hơn về sử dụng vật liệu ULT trong khi vẫn đảm bảo các yêu cầu thiết kế về chịu lực và sử dụng. Tuy nhiên, do yêu cầu của các biện pháp cấu tạo đầu neo cho phù hợp với thực tế, phương án phân bố cáp ULT cho cả dầm chuyển và các dầm khung tại các tầng phía trên nó cũng có thể được áp dụng hiệu quả.

*Từ khóa:* dầm chuyển; ứng lực trước; khung bê tông cốt thép; phần mềm ADAPT.

EFFICIENCY EVALUATION OF ANALYZING POST-TENSIONED TRANSFER GIRDER SIMULTANEOUSLY WITH REINFORCED CONCRETE FRAME

## Abstract

In reality, post-tension prestressed (PT) girders are usually analysed separately from other surrounding structural elements due to the limits of the existing structural software packages. This paper introduces a numerical analysis on a reinforced concrete (RC) frame including a transfer PT girder using ADAPT-Edge (3D) software. As the software is capable of analyzing PT girders together with other RC beams and columns in the frame, the effects of the arrangement and number of prestressed cables on the internal forces distribution, strength, stiffness and deformation of the transfer PT girder as well as of the whole frame can be clarified. In this paper, three PT design options to the Eurocodes are proposed in a worked example on a three-dimensional frame having seven storeys and a 15m-span transfer PT girder on the second floor to investigate the effects of the overall analysis. The analysis results show that the solution of having only PT for the transfer girder is more reasonable in PT materials usage, whereas all the design criterion on strength and serviceability can still be satisfied. However, due to the detailing requirement of anchorage ends, the solution of distributing prestressed cables not only in the transfer girder but also in other girders on the above floors can also be applied efficiently.

*Keywords:* transfer girder; prestressed; frame; reinforced concrete; ADAPT software.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12\(7\)-05](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12(7)-05) © 2018 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

---

\*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: [thangnt2@nuce.edu.vn](mailto:thangnt2@nuce.edu.vn) (Thắng, N. T.)

## 1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây, cùng với sự phát triển nhanh của nền kinh tế, các công trình bê tông cốt thép (BTCT) xuất hiện ngày càng nhiều tại nhiều địa phương trong cả nước, đặc biệt là các thành phố lớn như Hà Nội, thành phố Hồ Chí Minh, Đà Nẵng v.v... Đối với các công trình dân dụng, yêu cầu kiến trúc về mặt thẩm mỹ và công năng sử dụng ngày càng được quan tâm. Do diện tích đất xây dựng công trình hạn chế, các khu vực công năng có nhịp lớn như sân khấu, hội trường, khu trưng bày... thường được thiết kế ở các tầng phía dưới khu vực văn phòng hoặc căn hộ có không gian nhỏ hơn. Trong những trường hợp này, phương án kết cấu thường được lựa chọn là sử dụng dầm chuyển tại cốt sàn phía trên của tầng có không gian lớn để đỡ toàn bộ các tầng còn lại trên đó. Do kết cấu vượt nhịp lớn cộng thêm phần tải trọng của tất cả các tầng phía trên truyền vào nên tiết diện dầm chuyển thường rất lớn về cả chiều cao và chiều rộng. So với kết cấu BTCT, bê tông ứng lực trước (ULT) có lợi thế hơn về tính hợp lý, kinh tế và khả năng thích ứng cho các kết cấu đặc biệt vượt nhịp lớn và chịu tải trọng nặng [1, 2]. Đối với những công trình hạn chế về chiều cao tầng, giải pháp ULT cần được cân nhắc để giảm chiều cao tiết diện của dầm chuyển.

Thông thường, dầm chuyển ULT chỉ được phân tích riêng rẽ so với các cấu kiện khác trong khung, với nội lực lấy từ bài toán phân tích kết cấu sử dụng các phần mềm thông dụng như ETABS, SAP, v.v... Tuy nhiên, những phần mềm này chưa có khả năng mô phỏng một cách hữu hiệu sự có mặt của cáp ULT trong dầm chuyển. Gần đây, đã xuất hiện một số phần mềm đủ mạnh để phân tích được dầm chuyển ULT đồng thời với hệ thống khung xung quanh như ETABS 2016 và ADAPT-Edge (3D), do vậy có thể tích hợp được trạng thái ứng suất - biến dạng của các cấu kiện trong khung khi có ULT trong dầm chuyển và đạt được hiệu quả cao hơn cho giải pháp thiết kế.

Năm 2003, nhóm tác giả [3] đã tiến hành nghiên cứu về ứng xử của nhà thấp tầng có dầm chuyển khi chịu động đất. Kết quả nghiên cứu cho thấy với nhà thấp tầng có dầm chuyển, ảnh hưởng của tải trọng đứng lớn hơn so với tải gió và động đất. Năm 2014, nhóm tác giả [4] đã đề xuất một phương pháp áp dụng các thuật toán tối ưu hóa để tự động tối ưu tiết diện kết cấu dầm chuyển trong khi vẫn đáp ứng các yêu cầu thiết kế về chịu lực và sử dụng. Trong báo cáo kỹ thuật của tập đoàn Otte, biến dạng của kết cấu có dầm chuyển giữa phương pháp mô hình hóa kết cấu theo giai đoạn thi công được so sánh với mô hình hóa toàn bộ kết cấu đồng thời [5].

Tại Việt Nam, một trong những hệ kết cấu khung có dầm chuyển đầu tiên được áp dụng trong khu hội trường tầng một của tòa nhà Khách sạn Melia Hà Nội năm 1997. Trong tòa nhà Keang Nam (Hà Nội), dầm chuyển được đặt ở tầng kỹ thuật với chiều rộng  $b = 2700$  mm, chiều cao  $h = 2150$  mm. Các nghiên cứu về hệ kết cấu dầm ULT phần lớn được tiến hành trong một số luận văn thạc sĩ kỹ thuật [6–9], trong đó kết cấu ULT thường được tách ra khỏi hệ thống khung và tính toán như một cấu kiện riêng lẻ. Các liên kết gối tựa của dầm sau khi tách ra được giả thiết là các liên kết lý tưởng, tải trọng tác dụng vào dầm chuyển được giả thiết dựa vào diện truyền tải và số tầng được đỡ bởi dầm chuyển. Ngoài ra, khi phân tích hệ kết cấu có dầm chuyển, các phần mềm phân tích kết cấu phiên bản cũ (ETABS 9.7.4, SAFE v.12 v.v...) còn hạn chế trong việc mô phỏng cáp ULT trong mô hình tổng thể. Do đó, cần thiết phải tiến hành nghiên cứu về ảnh hưởng của dầm chuyển ULT khi được phân tích đồng thời với hệ khung BTCT.

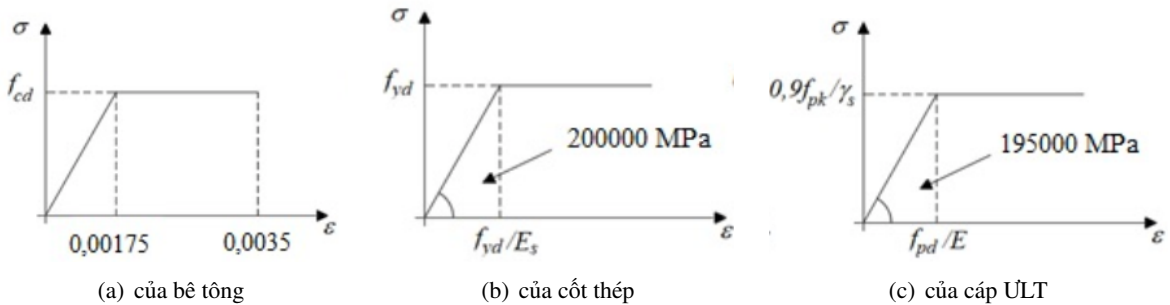
Bài báo này giới thiệu cơ sở và quy trình tính toán kết cấu dầm ULT theo tiêu chuẩn châu Âu và áp dụng vào một mô hình kết cấu khung không gian (3D) có dầm chuyển với nhiều phương án bố trí cáp ULT khác nhau để khảo sát hiệu quả của việc phân tích đồng thời dầm chuyển ULT trong kết cấu khung BTCT. Hệ khung chịu tải trọng thẳng đứng là chủ yếu, có chiều cao nhỏ hơn 40m, và thấp hơn 10 tầng. Các phương án bố trí cáp ULT khác nhau được mô hình hóa để đánh giá ứng xử của các kết cấu trong khung bao gồm dầm chuyển, cột đỡ dầm chuyển, cột được đỡ bởi dầm chuyển (vị trí bố cột

ở tầng dưới) v.v..., từ đó đưa ra được kết luận và kiến nghị cho việc phân tích kết cấu dầm chuyển ULT đồng thời với hệ kết cấu khung BTCT.

## 2. Tính toán kết cấu bê tông ULT theo tiêu chuẩn Eurocode [10]

### 2.1. Vật liệu

Theo tiêu chuẩn thiết kế kết cấu BTCT của châu Âu EN1992-1-1 (viết tắt là EC2) [10], bê tông có cường độ chịu nén tính toán  $f_{cd}$  xác định trên mẫu lăng trụ ở 28 ngày tuổi, biến dạng đàn hồi lớn nhất là  $\varepsilon = 0,00175$  và biến dạng cực hạn  $\varepsilon_u = 0,0035$ . Trong phạm vi nghiên cứu của bài báo, mô hình đơn giản hóa ở dạng song tuyến của quan hệ ứng suất - biến dạng của vật liệu được áp dụng theo mục 3.3 của Eurocode 2. Quan hệ ứng suất - biến dạng của bê tông thể hiện đơn giản hóa như trên Hình 1(a), các giá trị giới hạn 0,00175 và 0,0035 được lấy theo bảng 3.1 của Eurocode 2. Cốt thép được coi là vật liệu đàn hồi dẻo, với mô đun đàn hồi  $E_s = 200000$  MPa (Hình 1(b)). Ứng xử của cáp ULT được thể hiện trên Hình 1(c), với  $f_{pk}$  là cường độ cực hạn của cáp có giá trị lớn hơn khá nhiều so với cường độ tính toán của thép thường  $f_{yd}$ . Mô đun đàn hồi của cáp ULT là  $E = 195000$  MPa.



Hình 1. Quan hệ ứng suất-biến dạng theo EC2 [10]

### 2.2. Tổ hợp tải trọng tính toán theo EC2 [10]

Nghiên cứu này tập trung xét tới ứng xử của hệ kết cấu trong công trình nhà thấp hơn 10 tầng chịu tải trọng thẳng đứng với giả thiết bỏ qua ảnh hưởng của tải trọng ngang. Do đó, các trường hợp tải trọng được xét đến là tải trọng bản thân, tĩnh tải, hoạt tải và tải trọng ULT (gồm ULT trong cáp và hiệu ứng siêu tĩnh của ULT gây ra tại các gối liên kết). Theo tiêu chuẩn EC2, việc tính toán thiết kế cần xét tới tổ hợp tải trọng bền, tổ hợp tổ hợp tải trọng tại thời điểm căng kéo, tổ hợp tải trọng dài hạn

Bảng 1. Các trường hợp tổ hợp tải trọng thiết lập theo tiêu chuẩn Eurocode

| STT | Tổ hợp       | Bản thân                                                                                                                                  | Tĩnh tải | Hoạt tải | Ứng lực trước | Hiệu ứng siêu tĩnh |
|-----|--------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|----------|---------------|--------------------|
| TH1 | Thường xuyên | 1,0                                                                                                                                       | 1,0      | 0,5      | 1,0           |                    |
| TH2 | Bền          | 1,35                                                                                                                                      | 1,35     | 1,5      |               | 1,0                |
| TH3 | Sử dụng      | 1,0                                                                                                                                       | 1,0      | 0,3      | 1,0           |                    |
| TH4 | Căng kéo     | 1,0                                                                                                                                       |          |          | 1,15          |                    |
| TH5 | Dài hạn      | $(1,0 \times \text{Bản thân} + 1,0 \times \text{Tĩnh tải} + 1,0 \times \text{Ứng lực trước} + 0,3 \times \text{Hoạt tải}) \times (1 + f)$ |          |          |               |                    |

và tổ hợp tải trọng thường xuyên. Hệ số tổ hợp của các trường hợp tải trọng trong từng tổ hợp được thể hiện ở Bảng 1. Bảng tổ hợp tải trọng được thành lập tham khảo theo tiêu chuẩn Eurocode EC0. Ví dụ với tổ hợp tải trọng bền được xác định theo bảng A1.2 của EC0, còn với tổ hợp tải trọng sử dụng xác định theo bảng A1.4 của EC0, như thể hiện ở Bảng 2 và 3, với  $G$ ,  $Q$  là giá trị tiêu chuẩn của tải trọng,  $\gamma$  và  $\psi$  là hệ số tổ hợp tải trọng được xác định theo phụ lục A1 của Eurocode 0 [11]

Bảng 2. Tổ hợp tải trọng bền theo Eurocode 0

| Tĩnh tải                    |                             | Hoạt tải               |                                   |
|-----------------------------|-----------------------------|------------------------|-----------------------------------|
| Bất lợi                     | Có lợi                      | Chủ đạo                | Kèm theo                          |
| $\gamma_{j,sup} G_{kj,sup}$ | $\gamma_{j,inf} G_{kj,inf}$ | $\gamma_{Q,1} Q_{k,1}$ | $\gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$ |

Bảng 3. Tổ hợp tải trọng sử dụng theo Eurocode 0

| Tổ hợp       | Tĩnh tải     |              | Hoạt tải            |                      |
|--------------|--------------|--------------|---------------------|----------------------|
|              | Bất lợi      | Có lợi       | Chủ đạo             | Kèm theo             |
| Đặc trưng    | $G_{kj,sup}$ | $G_{kj,inf}$ | $Q_{k1}$            | $\psi_{0,i} Q_{k,i}$ |
| Thường xuyên | $G_{kj,sup}$ | $G_{kj,inf}$ | $\psi_{1,1} Q_{k1}$ | $\psi_{2,i} Q_{k,i}$ |
| Tựa tĩnh     | $G_{kj,sup}$ | $G_{kj,inf}$ | $\psi_{2,1} Q_{k1}$ | $\psi_{2,i} Q_{k,i}$ |

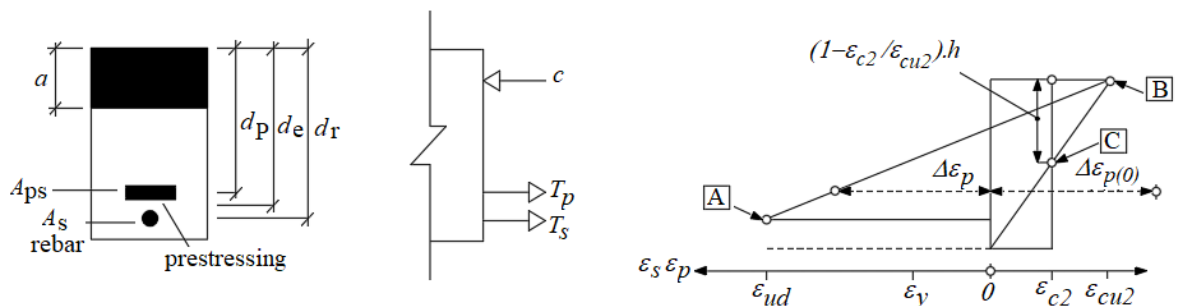
### 2.3. Kiểm tra khả năng làm việc của dầm chuyển [10, 12–15]

#### a. Tại thời điểm căng kéo

Tại thời điểm căng kéo cáp, tiêu chuẩn EC2 quy định ứng suất nén trong bê tông không vượt quá  $0,6f_{ck}(t)$ , ứng suất kéo trong cốt thép không vượt quá  $0,8f_{yk}$  và ứng suất kéo trong bê tông không vượt quá  $0,25\sqrt{f_{ck}(t)}$ , với  $t$  là tuổi của bê tông (tính theo ngày) ở thời điểm căng kéo cáp. Đặc biệt nếu ứng suất nén trong bê tông lớn hơn giá trị cho phép, phương án dầm chuyển cần được thay đổi bằng một trong hai cách là (i) tăng tiết diện; hoặc (ii) giảm số lượng cáp ULT trong dầm.

#### b. Khả năng chịu lực

Khi tính toán với tổ hợp bền, ảnh hưởng của ULT được kể đến thông qua hiệu ứng siêu tĩnh tại các gối tựa. Hiệu ứng này được xác định từ các phản lực tại gối do ULT trước trong cáp gây ra, nhờ



Hình 2. Biểu đồ ứng suất trong mặt cắt dầm ULT [10]

vào phương trình cân bằng của hệ kết cấu. Tiếp theo, giá trị mô men uốn yêu cầu của dầm chuyển sẽ được tính toán trong giai đoạn phân tích kết cấu. Khả năng chịu lực của dầm được xác định từ việc bố trí cốt thép và cấp ULT của tiết diện (Hình 2) với giả thiết biến dạng nén lớn nhất của bê tông là  $\varepsilon = 0,0035$ , chiều cao vùng nén tối đa là 50% khoảng cách từ cốt thép đến thớ nén ngoài cùng của bê tông.

Khi khả năng chịu lực của tiết diện dầm nhỏ hơn giá trị mô men uốn yêu cầu, cần bổ sung thêm cốt thép, thêm cấp ULT hoặc tăng tiết diện dầm. Diện tích tiết diện ngang cốt thép tối đa trong dầm là:

$$A_{\max} = 0,04A_c \quad (1)$$

trong đó  $A_c$  là diện tích tiết diện dầm.

Khi thép thường và cấp ULT được kể tới đồng thời, diện tích thép quy đổi được xác định như sau:

$$A_{prov} = A_s + A_{ps} \frac{f_{pk}}{f_{py}} \quad (2)$$

Mặt khác, diện tích cốt thép tối thiểu trong dầm được xác định theo công thức:

$$A_{\min} \geq \frac{0,26b_t d f_{ctm}}{f_{yk}} \geq 0,0013b_t d \quad (3)$$

trong đó  $b_t$  là chiều rộng vùng ứng suất kéo,  $d$  là khoảng cách từ tâm vùng cốt thép chịu kéo đến thớ ngoài của bê tông,  $f_{ctm}$  là cường độ chịu kéo của bê tông,  $f_{yk}$  là cường độ đặc trưng của thép thường.

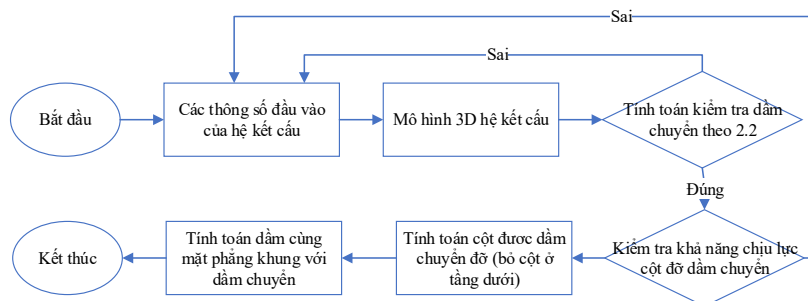
#### c. Trạng thái sử dụng

Ở trạng thái sử dụng thường xuyên, độ võng của dầm chuyển - đã tính đến ảnh hưởng của từ biến và co ngót của bê tông - phải nhỏ hơn 1/250 của nhịp dầm. Việc tính toán chính xác độ võng dài hạn của kết cấu là phức tạp và phụ thuộc vào nhiều yếu tố như biến dạng lớn, ứng xử phi tuyến của bê tông do co ngót và từ biến. Trong bài báo này, quy trình đơn giản hóa được sử dụng để tính toán kết cấu với giả thiết rằng vật liệu đàn hồi và biến dạng nhỏ. Sau đó, độ võng dài hạn được xác định bằng cách nhân độ võng tức thời với hệ số  $\varphi$  kể đến sự từ biến của bê tông (do mô đun đàn hồi của bê tông bị giảm xuống theo công thức 7.20 của tiêu chuẩn EC2) và có giá trị được lấy bằng 2,0 [16, 17].

Ứng suất nén và kéo trong bê tông không vượt quá các giá trị lần lượt là  $0,45f_{ck}$ , và  $0,3f_{ck}^{(2/3)}$ . Trong trường hợp ứng suất kéo trong bê tông vượt quá giới hạn, cần tính toán kiểm tra chiều rộng vết nứt và bố trí thêm cốt thép trong dầm. Đối với dầm ULT sử dụng cáp bám dính, thông thường giá trị cho phép không vượt quá 0,2 mm. Khi chiều rộng vết nứt lớn hơn giá trị thiết kế, trong dầm cần được bổ sung cốt thép thường, với đường kính và khoảng cách theo bảng 7.2 và chiều rộng vết nứt sẽ được tính toán theo các công thức trong mục 7.3.4 của tiêu chuẩn EC2 [10].

#### 2.4. Phần mềm ADAPT-Edge (3D) và sơ đồ khối [16, 17]

Phần mềm phân tích kết cấu ADAPT-Edge (3D) có khả năng phân tích tổng thể hệ kết cấu công trình khi sử dụng dầm chuyển ULT một cách hiệu quả, khắc phục được một số nhược điểm khi chỉ xét riêng dầm chuyển ULT mà bỏ qua tương tác của nó với toàn bộ hệ thống khung không gian xung quanh. So với các phần mềm khác cũng có khả năng đưa cấp ULT vào trong kết cấu bê tông như SAP 2000, ETABS 2016, phần mềm ADAPT-Edge (3D) cho phép tự động hóa các bước tính toán kiểm tra theo EC2 [10] và theo các tiêu chuẩn khác [12]. Các bước phân tích hệ khung BTCT có dầm chuyển ULT được giới thiệu ở Hình 3 [16].

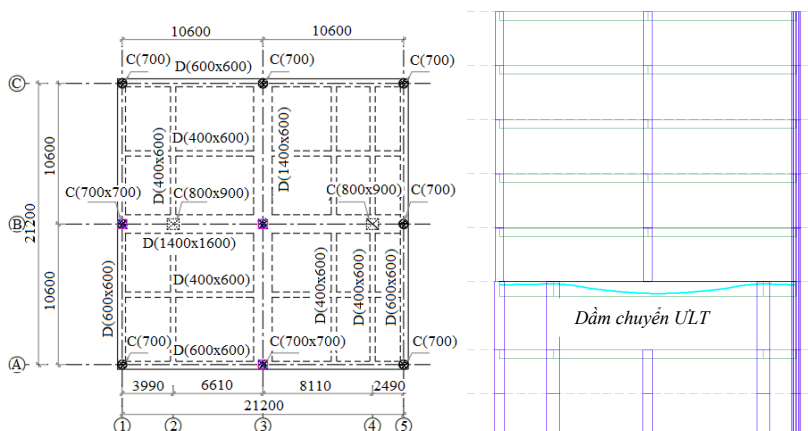


Hình 3. Các bước phân tích hệ khung BTCT có đảm chuyển ULT của ADAPT-Edge

### 3. Ví dụ tính toán

#### 3.1. Số liệu đầu vào

Xét một công trình 7 tầng có chiều cao 30 m được xây dựng tại thành phố Hồ Chí Minh (Hình 4). Dầm chuyển trục B được bố trí tại tầng hai, vượt nhịp 15,0 m và đỡ cột từ 5 tầng phía trên nó. Hệ kết cấu còn lại sử dụng khung BTCT toàn khối với cột có tiết diện là  $700 \times 700$  mm, dầm chính và dầm phụ có tiết diện tương ứng là  $600 \times 600$  mm và  $400 \times 600$  mm, sàn dày 150 mm. Tiết diện của dầm chuyển sẽ được thay đổi trong từng trường hợp nghiên cứu. Bê tông C25/30 theo EC2 với cường độ chịu nén của mẫu trụ  $f_{ck} = 25$  MPa. Tĩnh tải phân bố đều tác dụng lên sàn (chưa kể trọng lượng bản thân) là  $2,5$  kN/m<sup>2</sup>, hoạt tải phân bố đều tác dụng lên các sàn là  $3,0$  kN/m<sup>2</sup>. Sử dụng cáp ULT căng sau bơm dính, có đường kính danh định là 15,2 mm và cường độ  $f_{pu} = 1860$  MPa,  $f_{py} = 1680$  MPa theo tiêu chuẩn EN 10138, với các hệ số đầu vào bao gồm hệ số ma sát góc  $\mu = 0,2$ , hệ số ma sát do lắc  $k = 0,001$  rad/m, tổn hao trước dài hạn là 150 MPa cho mỗi sợi cáp. Lực kéo 80%  $f_{pu}$ , độ tụt nêi được tính toán tối đa là 6 mm.

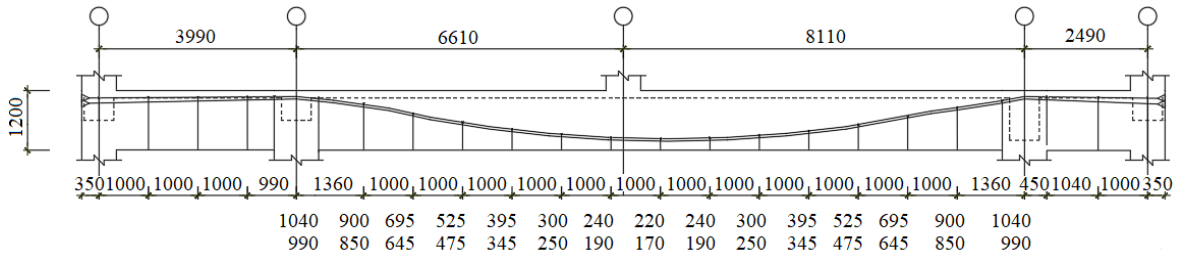


Hình 4. Mặt bằng kết cấu tầng hai và mặt đứng khung trục B

Hình dạng cáp ULT bố trí trong dầm chuyển thể hiện ở Hình 5. Trong phần tiếp theo, ba phương án bố trí ULT sẽ được khảo sát để đánh giá ảnh hưởng của dầm chuyển ULT với hệ khung BTCT.

#### 3.2. Các phương án bố trí dầm ULT trong khung

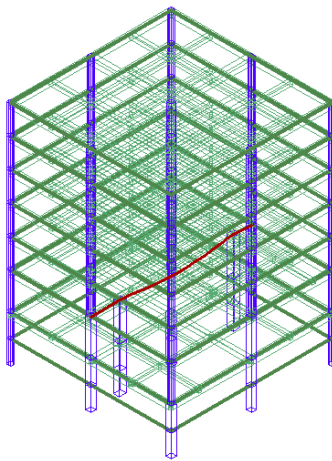
Ba phương án bố trí dầm ULT được khảo sát, cụ thể như sau (Hình 6 và Bảng 4).



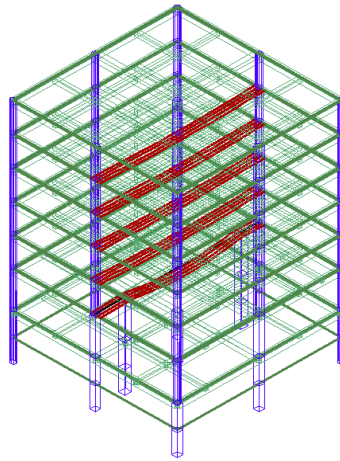
Hình 5. Bố trí cáp trong dầm chuyển

Bảng 4. Các phương án bố trí dầm ULT được khảo sát

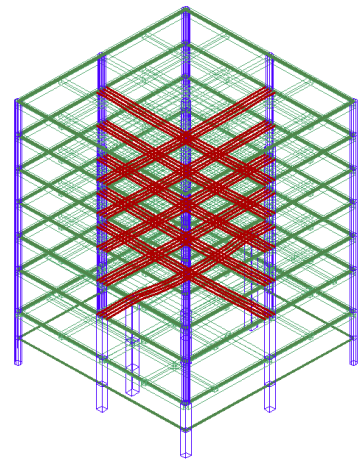
| Phương án | Bề rộng $b$ (mm) | Chiều cao $h$ (mm) | Số lượng cáp trong dầm chuyển (cáp) | Bố trí cáp với các dầm bên trên dầm chuyển |
|-----------|------------------|--------------------|-------------------------------------|--------------------------------------------|
| PA1       | 1400             | 800 ÷ 1600         | 20                                  | Không                                      |
| PA2       | 1400             | 1000               | 20 ÷ 80                             | Không                                      |
| PA3       | 1400             | 1000               | 80                                  | Có                                         |



(a) PA1



(b) PA2



(c) PA3

Hình 6. Các phương án khảo sát

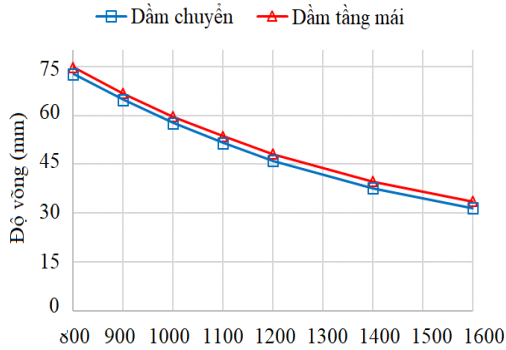
- Phương án 1 (PA1): Dầm chuyển ULT được đặt tại tầng 2 và trục B, số lượng cáp trong dầm chuyển cố định (20 cáp), bề rộng dầm không đổi ( $b = 1400$  mm), trong khi đó chiều cao dầm được thay đổi từ 800 đến 1600 mm.

- Phương án 2 (PA2): Dầm chuyển ULT được đặt tại tầng 2 và trục B, tiết diện dầm không đổi ( $b = 1400$  mm,  $h = 1000$  mm), trong khi đó số lượng cáp ULT trong dầm thay đổi từ 20 đến 80 cáp.

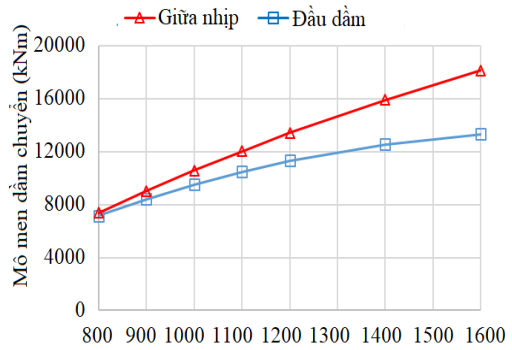
- Phương án 3 (PA3): Dầm chuyển ULT được đặt tại tầng 2, tiết diện dầm tại tầng 2 là  $b = 1400$  mm,  $h = 1000$  mm), số lượng cáp ULT trong dầm chuyển là 80 cáp. Cùng lúc đó, các dầm phía trên cũng sử dụng ULT với 20 cáp trong mỗi dầm. Trong trường hợp cần thiết, cáp ULT được áp dụng cho các dầm trục 3 (Hình 4).

### 3.3. Kết quả phân tích Phương án 1

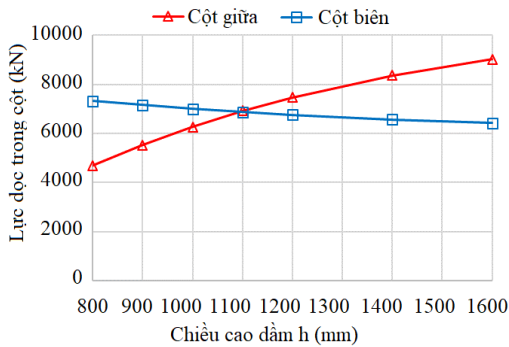
Kết quả phân tích của Phương án 1 được thể hiện trong Hình 7.



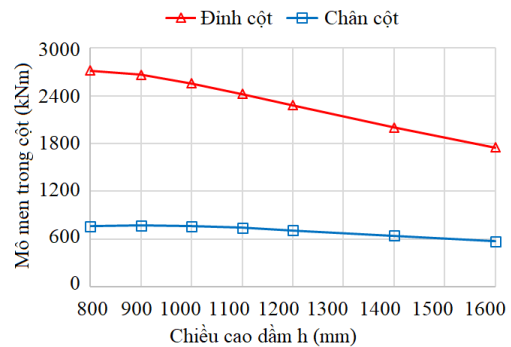
(a) Quan hệ của độ võng dài hạn trong dầm chuyển và dầm tầng mái so với chiều cao dầm chuyển



(b) Biến thiên của mô men trong dầm chuyển ở giữa nhịp và đầu dầm



(c) Biến thiên của lực dọc trong cột được đỡ bởi dầm chuyển: cột giữa (bỏ cột ở tầng dưới) và cột biên



(d) Mô men trong cột đỡ dầm chuyển

Hình 7. Kết quả phân tích Phương án 1

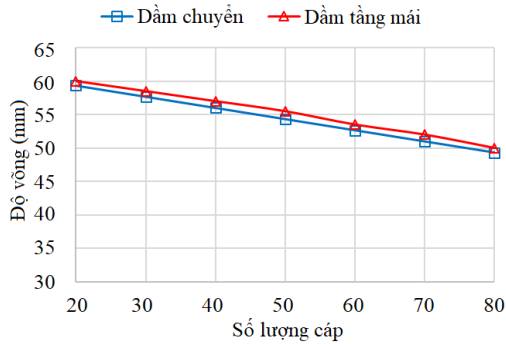
Hình 7(c) trình bày quan hệ của lực dọc trong các cột phía trên dầm chuyển với chiều cao dầm nhận được khi phân tích với tổ hợp bền. Khi chiều cao dầm chuyển tăng lên, lực dọc trong cột ở hai đầu dầm chuyển giảm nhẹ. Tuy nhiên, lực dọc trong cột ở giữa dầm chuyển thay đổi đáng kể, khi chiều cao dầm chuyển  $h = 800$  mm, lực dọc trong cột là  $N = 4000$  kN, khi  $h = 1600$  mm, lực dọc trong cột tăng lên gấp đôi thành  $N = 8000$  kN.

### 3.4. Kết quả phân tích Phương án 2

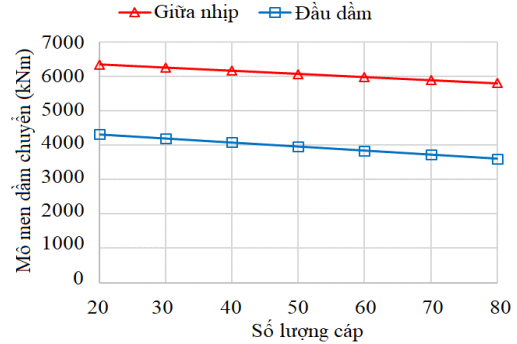
Kết quả phân tích của Phương án 2 được thể hiện trong Hình 8.

Hình 8(a) cho thấy độ võng dài hạn của dầm chuyển giảm tuyến tính với số lượng cấp ULT bố trí trong dầm, đường xấp xỉ các giá trị độ võng có góc nghiêng là khoảng 1:5, nghĩa là độ võng sẽ được giảm 2 mm mỗi khi số lượng cấp tăng lên 10 cấp.

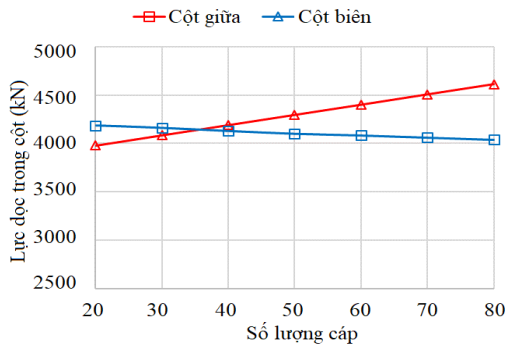
Tương tự như sự biến thiên của độ võng, giá trị của mô men uốn trong dầm chuyển do tổ hợp tải trọng sử dụng thường xuyên cũng giảm tuyến tính khi số lượng cấp tăng lên, mức độ giảm là tương đương đối với cả giá trị mô men ở giữa nhịp và ở gối. Sự thay đổi rõ rệt nhất là đối với mô men uốn trong cột đỡ dầm chuyển. Giá trị mô men uốn ở đầu cột giảm 40% (từ 1160 kNm giảm xuống còn



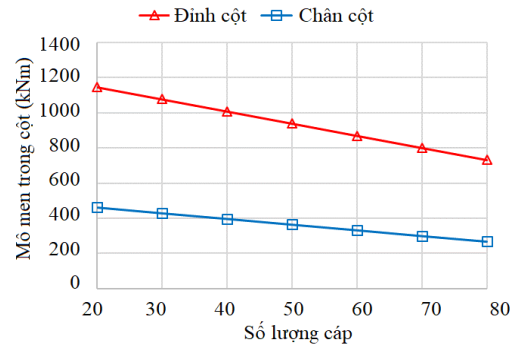
(a) Quan hệ của độ võng dài hạn trong dầm chuyển và dầm tầng mái so với số lượng cáp ULT



(b) Biến thiên của mô men trong dầm chuyển ở giữa nhịp và đầu dầm



(c) Biến thiên của lực dọc trong cột được đỡ bởi dầm chuyển: cột giữa (bỏ cột ở tầng dưới) và cột biên



(d) Mô men trong cột đỡ dầm chuyển

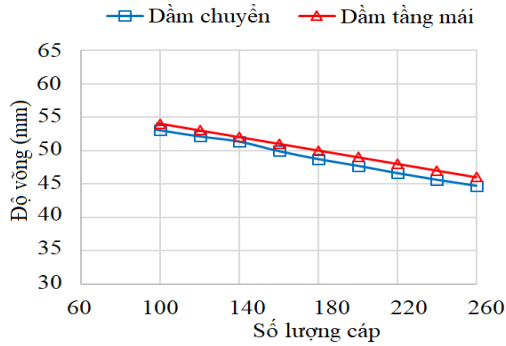
Hình 8. Kết quả phân tích Phương án 2

720 kNm), khi số lượng cáp ULT tăng từ 20 lên 80 cáp. Ở chiều ngược lại, khi tăng số lượng cáp thì lực dọc trong cột được đỡ bởi dầm chuyển (vị trí bỏ cột tầng dưới) tăng lên xấp xỉ tuyến tính. Như vậy việc tăng số lượng cáp trong dầm chuyển, giúp tăng độ cứng dầm và tăng khả năng làm việc của cột. Tuy nhiên, số lượng cáp thực tế có thể bố trí trong dầm chuyển bị giới hạn bởi các điều kiện cấu tạo và biện pháp thi công.

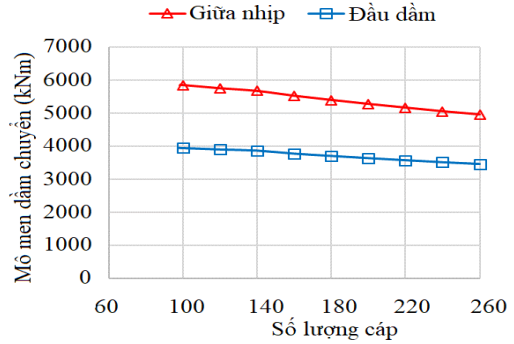
### 3.5. Kết quả phân tích Phương án 3

Kết quả phân tích của Phương án 3 được thể hiện trong Hình 9.

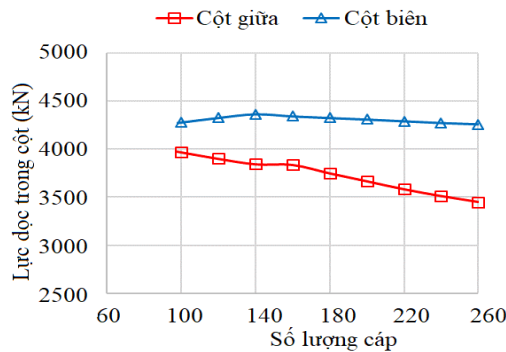
Để tăng hiệu quả của cáp ULT đối với cả hệ kết cấu khung, trong Phương án 3, không chỉ dầm chuyển mà các dầm khung phía ở tầng trên cũng sẽ được bố trí cáp ULT. Trước hết, các dầm trong cùng mặt phẳng với dầm chuyển (trục B) được bố trí cáp ULT. Khi số lượng cáp lớn, các dầm theo phương vuông góc với dầm chuyển (trục 3) cũng sẽ được áp dụng ULT. Tương tự như kết quả ở Phương án 2, khi số lượng cáp tăng lên độ võng của dầm chuyển sẽ giảm đi, tuy nhiên góc nghiêng của đường xấp xỉ ở phương án này giảm xuống là 1:10, hiệu quả của việc tăng số lượng cáp chỉ bằng một nửa so với khi các cáp tăng lên tập trung trong dầm chuyển. Các kết quả tương tự cũng quan sát được với mô men dầm chuyển, mô men trong cột đỡ dầm chuyển. Các biểu đồ cũng cho thấy việc bố trí cáp ULT trong các dầm theo phương vuông góc với dầm chuyển cũng có tác dụng tương đương khi bố trí cáp trong các dầm cùng mặt phẳng với dầm chuyển. Tuy nhiên, ngược lại với Phương án 2, khi



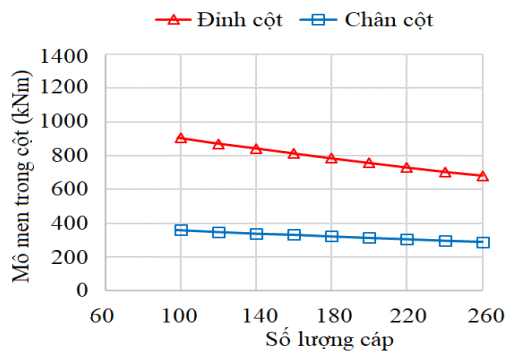
(a) Quan hệ của độ võng dài hạn trong dầm chuyển và dầm tầng mái so với số lượng cáp ULT



(b) Biến thiên của mô men trong dầm chuyển ở giữa nhịp và đầu dầm



(c) Biến thiên của lực dọc trong cột được đỡ bởi dầm chuyển: cột giữa (bỏ cột ở tầng dưới) và cột biên



(d) Mô men trong cột đỡ dầm chuyển

Hình 9. Kết quả phân tích Phương án 3

tăng số lượng cáp ULT trong các dầm trực B phía trên dầm chuyển sẽ giúp cho lực dọc tác dụng lên dầm chuyển trong tổ hợp tải trọng sử dụng thường xuyên giảm xuống, giảm ứng suất kéo, do đó hạn chế nguy cơ xuất hiện vết nứt trong dầm chuyển (Hình 9(a)–9(d)).

### 3.6. Nhận xét

Các nghiên cứu trước đây về hệ khung thuần BTCT đã chỉ ra rằng độ cứng dầm chuyển tầng dưới càng lớn thì sẽ càng giảm chuyển vị giữa dầm và thu hút nhiều lực dọc vào cột giữa phía trên dầm. Tuy nhiên, đến nay còn có ít nghiên cứu phân tích dầm ULT đồng thời với các cấu kiện dầm cột BTCT khác xung quanh nó ở trong khung. Đối với dầm ULT, việc tăng số lượng cáp sẽ làm tăng ứng suất nén trong dầm, giảm ứng suất kéo, giảm nứt và cải thiện độ cứng của dầm ULT so với dầm BTCT. Ví dụ minh họa trong mục này đã khảo sát được hiệu quả của hiện tượng đó nhờ sử dụng công cụ phân tích mạnh là phần mềm ADAPT-Edge (3D) để phân tích mô hình tổng thể (3D) của một công trình thực tế có hệ kết cấu khung BTCT chứa dầm chuyển ULT và xem xét mối quan hệ giữa sự thay đổi các thông số của dầm chuyển (tiết diện dầm chuyển, số lượng cáp sử dụng trong dầm chuyển, việc cấu tạo khung dầm chuyển...) với độ võng, mô men, lực dọc, lực cắt của các cấu kiện dầm chuyển, cột đỡ dầm chuyển, cột phía trên dầm chuyển v.v. .

#### 4. Kết luận

Kết quả phân tích từ ví dụ minh họa cho thấy khi sử dụng một dầm chuyển ULT ở tầng hai với tiết diện dầm được lựa chọn hợp lý và số lượng cáp bố trí tập trung sẽ mang lại hiệu quả hơn về vật liệu ULT trong khi vẫn đảm bảo khả năng an toàn chịu lực và điều kiện sử dụng tương đương với các phương án khác. Tuy nhiên, cần có biện pháp cấu tạo phù hợp khi số lượng cáp tập trung toàn bộ vào một dầm chuyển duy nhất. Bên cạnh đó, trong trường hợp chiều cao dầm chuyển bị hạn chế do yêu cầu kiến trúc, phương án sử dụng cáp ULT cho các dầm khung của các tầng phía trên cũng có thể được áp dụng nhưng với chi phí về vật liệu ULT cao hơn.

Ngoài ra, giá trị nội lực trong bản thân dầm chuyển phụ thuộc trực tiếp vào giá trị lực tập trung tác dụng lên dầm chuyển ở vị trí cột được bỏ đi ở tầng dưới. Khi áp dụng phương pháp tính toán bằng công thức hoặc bằng các phần mềm kết cấu không chuyên dụng cho kết cấu bê tông ULT, giá trị dự báo của lực dọc từ các tầng phía trên truyền vào dầm chuyển thường cao hơn so với sự làm việc thực tế. Nguyên nhân là do cột đỡ dầm chuyển được coi là gối đỡ cho hệ dầm sàn tầng trên với diện truyền tải như các cột thông thường. Tuy nhiên, trên thực tế giá trị lực dọc này biến thiên nhiều và phụ thuộc vào độ cứng của các dầm trong mặt phẳng khung làm việc của dầm chuyển.

Ví dụ minh họa trình bày trong bài báo được thực hiện trên bản thiết kế của một công trình thực tế dự kiến được xây dựng trong năm 2019. Công tác quan trắc chuyển vị của dầm chuyển sẽ được đề xuất tiến hành trong quá trình thi công và sử dụng công trình để kiểm chứng mô hình tính toán bằng phần mềm ADAPT-Edge (3D).

#### Tài liệu tham khảo

- [1] Minh, P. Q., Phong, N. T., Công, N. Đ. (2013). *Kết cấu bê tông cốt thép - Phần cấu kiện cơ bản*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [2] Minh, P. Q. (2008). *Thiết kế sàn phẳng bê tông ứng lực trước*. Nhà xuất bản Khoa học và Kỹ thuật.
- [3] Li, J. H., Su, R. K. L., Chandler, A. M. (2003). [Assessment of low-rise building with transfer beam under seismic forces](#). *Engineering Structures*, 25(12):1537–1549.
- [4] Zou, X. K., Lee, H. Y., Chan, E. S. C., Xiang, P. (2014). [Cost design optimisation of concrete transfer beam structures](#). *HKIE Transactions*, 21(3):178–191.
- [5] Otte Technical Note No.TN-S03 (2017). *Defining sequential construction analysis for buildings in ETABS 2016 and SAP 2000*.
- [6] Thắng, N. T. (2003). *Tính toán và bố trí cáp ứng lực trước trong dầm liên tục*. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật, Đại học Xây Dựng.
- [7] Khoa, N. Đ. (2010). *Tính toán dầm chuyển bê tông cốt thép ứng lực trước trong nhà nhiều tầng*. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật, Đại học Kiến trúc Hà Nội.
- [8] Tâm, N. N. (2011). *Dầm chuyển và ứng dụng của dầm chuyển trong xây dựng*. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật, Đại học Kiến trúc Hà Nội.
- [9] Thắng, N. D. (2016). *Bố trí cáp ứng lực trước trong dầm có tiết diện thay đổi*. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật, Đại học Xây Dựng.
- [10] EN 1992-1-1:2014. *Tiêu chuẩn châu Âu - Kết cấu bê tông cốt thép*.
- [11] EN 1990:2002. *Tiêu chuẩn châu Âu - Cơ sở thiết kế*.
- [12] ACI 318-2011. *Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu bê tông cốt thép*. Viện Bê tông Hoa Kỳ.
- [13] Lin, T. Y., Burns, N. H. (1982). *Design of prestressed concrete structures*. John Wiley & Sons, New York.
- [14] Kong, F. K., Evans, R. H. (2014). *Reinforced and prestressed concrete*. Van Nostrand Reinhold (UK), Hong Kong.
- [15] Warner, R. F., Faulkes, K. A. (1992). *Prestressed concrete*. Longman Cheshire, Australia.
- [16] Bijian, O. A. (2017). *ADAPT-Builder user manual*. ADAPT Corporation.
- [17] ADAPT Technical Note (2012). *Deflection of concrete floor systems for serviceability*.