

## Mô hình phân tích kết cấu nhà nhiều tầng với phần mềm ETABS

### A model of structural analysis for multi-storey buildings with ETABS software

Dương Hồng Thắm<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh, Thành phố Hồ Chí Minh, Việt Nam

\*Tác giả liên hệ, email: tham.dh@ou.edu.vn

#### THÔNG TIN

DOI:10.46223/HCMCOUJS.tech.vi.19.2.3266.2024

Ngày nhận: 23/02/2024

Ngày nhận lại: 20/03/2024

Duyệt đăng: 02/04/2024

#### Từ khóa:

mô hình kết cấu; thiết kế nhà nhiều tầng; tạo lưới; phân tích phi tuyến

#### Keywords:

structural modeling; design of multi-storey buildings; meshing; non-linear analysis

#### TÓM TẮT

Trong quá trình giảng dạy môn học Thiết Kế Nhà Nhiều Tầng (NNT) thuộc Chương trình Đào tạo Kỹ sư Xây dựng của Khoa Xây Dựng, Trường Đại học Mở Thành Phố Hồ Chí Minh, việc mô hình hệ kết cấu chịu lực sử dụng phần mềm chuyên dụng như SAP2000, ETABS, ... được chú trọng giảng dạy trong nội dung của phần thực hành (có thời lượng 30 tiết). Đối với yêu cầu kỹ năng đầu ra của môn học là mô phỏng được đạt mức tương đối đầy đủ sơ đồ kết cấu hệ chịu lực của tòa nhà, một vấn đề cốt lõi được đặt ra là giúp người học thông suốt được những khúc mắc trong thực hành lập và chạy mô hình, cụ thể bằng các khai báo cần thiết, gán tải trọng và chọn sơ đồ phân giải đúng, để kết quả phân tích có thể hữu dụng chấp nhận được. Thực tế, các sinh viên mô phỏng chưa đủ rõ ràng tòa nhà, nên kết quả (độ lớn, kích thước tiết diện, ...) chưa đạt tính tin cậy cao. Bài báo này nhằm chỉ ra một trình tự khai báo đầy đủ, thực tiễn, và nêu những nội dung cốt lõi trong việc mô phỏng sơ đồ phân tích tòa nhà, cùng với những thủ thuật cần thiết, để bảo đảm kết quả phân tích là ứng dụng được vào thực tế nếu cần. Cụ thể, tính chất phụ thuộc thời gian của vật liệu nhằm xét đến hiệu ứng dòn cột (column shortening), hiệu ứng thứ cấp P- $\Delta$  được xét đến ra sao, phân tích động lực hệ kết cấu, và những kỹ thuật phân tích khác được khai thác.

Nghiên cứu phục vụ giảng dạy này rất cần thiết cho các đồng nghiệp tham gia giảng dạy, sinh viên bậc Đại Học (ĐH) ngành Kỹ thuật Xây Dựng, và phần nào có thể giúp ích cho những người tham gia thiết kế sử dụng phần mềm ETABS trong thiết kế Nhà Nhiều Tầng. Bài báo không nêu phần đánh giá đầu ra của môn học, như một giới hạn phạm vi nghiên cứu.

#### ABSTRACT

During the process of instructing the course Design of Multi-storey Buildings in the curriculum for Undergraduate developed by the Faculty of Civil Engineering in the Ho Chi Minh City Open University, modeling the structural system using professional packages such as SAP2000, ETABS, etc., is notably taught in the practice (within 30 period hours). For the learning outcome of the course, that is, to properly model the structural system of the building, one of the main requirements is to help learners easily practice, create, and solve the model, i.e., by some specific input

data such as prescribing the element properties, assigning the loads and solving properly the model, to analyze the output in an acceptable level of accuracy. The fact is that, during the course, students have not sufficiently modeled the system, therefore the results (values of element dimensions, cross-section, etc.) are unreliable. This paper aims to point out a rigorous procedure of input data and to introduce the main content of structural modeling, with some necessary techniques, which in turn, the results of the analysis could be applied to reality. A few of the time-dependent properties of the material, concerning the column shortening, and geometric nonlinear P- $\Delta$  effects are considered in a dynamic analysis and other kinds of analyses.

This study for tutorial purposes is necessary for the teaching staff, undergraduate engineering students, and partially beneficial for designers using ETABS in analysing the multi-storey buildings. Without any course outcome assessment, the limitation of the study is tentatively outlined.

## 1. Giới thiệu

Trong chương trình đào tạo kỹ sư xây dựng tại khoa Xây Dựng Trường Đại học Mở Thành Phố Hồ Chí Minh có môn Thiết Kế Nhà Nhiều Tầng (sau đây viết gọn lại là TK NNT), thời lượng 45 tiết, có phần thực hành chiếm tỷ trọng 01 tín chỉ, tức 30 tiết thực hành tại lớp. Ngoài ra, để đảm bảo lợi ích cao nhất cho người học, nhà trường quy định tăng cường 03 buổi tương tác trên hệ thống quản lý học tập LMS. Được giảng dạy ở học kỳ 1 năm thứ 4, môn học TK NNT hướng đến trang bị người học có đủ năng lực thực hiện Đồ Án Tốt Nghiệp (ĐATN). Môn học được thiết kế với Chuẩn Đầu Ra (CDR) trong đề cương môn học (Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh, 2021) như sau:

### Bảng 1

Chuẩn đầu ra của môn học Thiết kế Nhà Nhiều Tầng

Mục tiêu môn học	CDR môn học (CLO)	Mô tả CDR
CO1	CLO1.1	Phân tích được các <b>giải pháp kết cấu</b> phù hợp với yêu cầu của kiến trúc và quy mô công trình.
	CLO1.2	Phân tích được các loại tải trọng cơ bản tác dụng vào công trình (tĩnh tải và hoạt tải) và phương pháp tính toán <b>các loại tải trọng</b> đó.
	CLO1.3	Phân tích được ý nghĩa các <b>đặc trưng động học</b> của công trình, ý nghĩa của việc phân tích dạng dao động trong bài toán tính toán tải trọng gió động và động đất.
	CLO1.4	Nhận biết được các dạng tổ hợp cơ bản và tổ hợp đặc biệt trong thiết kế kết cấu nhà nhiều tầng, các phương pháp <b>phân tích nội lực</b> .
	CLO1.5	Liệt kê được các quy trình để kiểm tra độ cứng của công trình khi chịu tải trọng ngang, các yêu cầu về <b>cấu tạo</b> cốt thép với các cấu

Mục tiêu môn học	CDR môn học (CLO)	Mô tả CDR
		kiện cột, dầm, vách, nút khung, .... đảm bảo điều kiện kháng chấn.
	CLO1.6	Áp dụng được <b>phương pháp PTHH</b> để lấy nội lực nhằm thiết kế các cấu kiện dầm, cột, vách.
CO2	CLO2.1	Phân tích và lựa chọn được sơ bộ phương án <b>kết cấu</b> theo quy mô công trình và đặc điểm kiến trúc.
	CLO2.2	<b>Sử dụng</b> được cơ bản được phương pháp PTHH để thiết lập và phân tích các đặc trưng động học của công trình, tổ hợp tải trọng và lấy kết quả nội lực cấu kiện.
CO3	CLO3.1	Tích cực tham gia làm việc nhóm, tuân thủ theo các tiêu chuẩn hiện hành.

Nguồn: Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh (2021)

Như vậy, yêu cầu đặt ra của môn học là khả năng chịu lực của các hệ kết cấu khác nhau, tính được tải trọng đầu vào, phân tích kết cấu để truy xuất nội lực và chuyển vị đầu ra, và sử dụng cơ bản phần mềm Phần Tử Hữu Hạn (PTHH).

Tuy vậy, để tiến đến trang bị năng lực thực hành tính toán NNT, phần mềm ETABS và SAP2000 của hãng CSI (viết tắt từ chữ Computers and Structures, Inc.) ra đời năm 1999 có nhiều điểm phải lưu ý để tránh nhầm lẫn và thiếu sót, dẫn đến kết quả không có tính thực tiễn, thậm chí ngộ nhận về độ an toàn cường độ, độ cứng và tính vững chãi của công trình.

Bài báo này lần lượt chỉ ra những trình tự cần thiết, để giúp người học tiến dần đến hoàn thiện kỹ năng mô phỏng hệ chịu lực của công trình NNT, để sau khi ra trường, có thể đóng góp thực sự hiệu quả vào lãnh vực chuyên môn thiết kế của nghề nghiệp.

## 2. Cơ sở lý thuyết

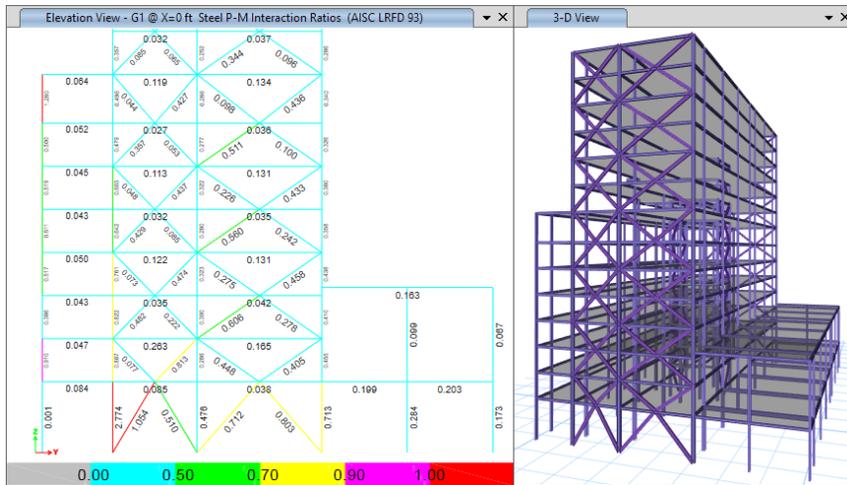
Hiểu lý thuyết nền tảng dùng cho phần thực hành giúp người học hiểu rõ phạm vi ứng dụng của phần mềm, những bước khai báo cần thiết và cách biểu thị dữ liệu đầu vào đầu ra, cũng như loại phân tích.

### 2.1. Phần Tử Hữu Hạn (PTHH)

Phương pháp Phần Tử Hữu Hạn (PTHH) được mô tả tóm gọn như sau: **Phương pháp phần tử hữu hạn** là phương pháp số gần đúng để giải các bài toán được mô tả bởi các phương trình vi phân đạo hàm riêng trên miền xác định có hình dạng và điều kiện biên bất kỳ mà nghiệm chính xác không thể tìm được bằng phương pháp giải tích. Cách làm của PTHH là chia (rời rạc hóa) hệ lớn thành những hệ nhỏ đơn giản hơn, gọi là phần tử hữu hạn. Liên kết với nhau bằng các lưới (mesh). Hình 1 là mô hình công trình tòa nhà được mô phỏng bằng phương pháp PTHH.

Vấn đề thứ nhất là sự kết nối giữa các phần tử khác loại với nhau đòi hỏi một sự tương thích (compatibility). Nếu các dịch chuyển khác nhau giữa các phần tử, hàm dạng (shape function) sẽ không liên tục; có thể hình dung ra khoảng trống nào đó khi các phần tử biến dạng do không tương thích. Việc sử dụng PTHH trước tiên là phải bảo đảm tính tương thích này. Những vấn đề kế tiếp là bậc của đa thức biểu diễn hàm dạng, tính ổn định của lời giải khi xem xét các điều kiện biên được thay đổi (Venkatesh, Prakash, & Murthy, 2013). Một cấu kiện có độ cứng vô cùng nhỏ so với một cấu trúc khác có độ cứng vô cùng lớn, độ cứng zero hoặc \_ vì lý do

tính toán sao đó độ cứng âm, có thể có nguyên nhân là thiếu tương thích, mà phần mềm báo chung là ill-conditioned, tức điều kiện khai báo không tốt; hoặc tải trọng không cùng tổ hợp khai báo chung với nhau như động đất đi với gió, ... cũng dẫn đến không tương thích. Trong quá trình chịu lực, có khả năng mất liên kết do khai báo sai, hoặc cấu kiện bị phá hoại, hoặc cơ chế cài đặt bất hợp lý, ... Thông thường điều kiện tương thích là về biến dạng tại các điểm lưới giao cắt nhau giữa các loại phân tử.

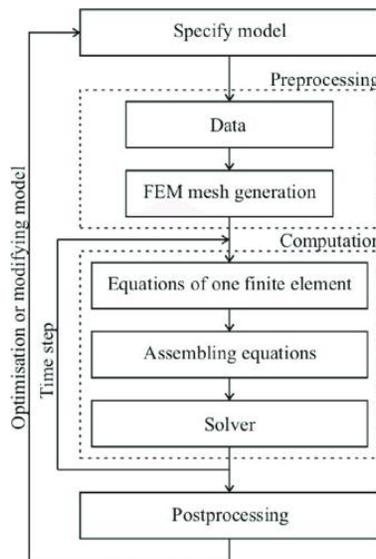


**Hình 1.** Mô hình PTHH tòa nhà nhiều tầng

Nguồn: Computer & Structures, Inc. (n.d.)

**2.2. Trình tự của phương pháp PTHH**

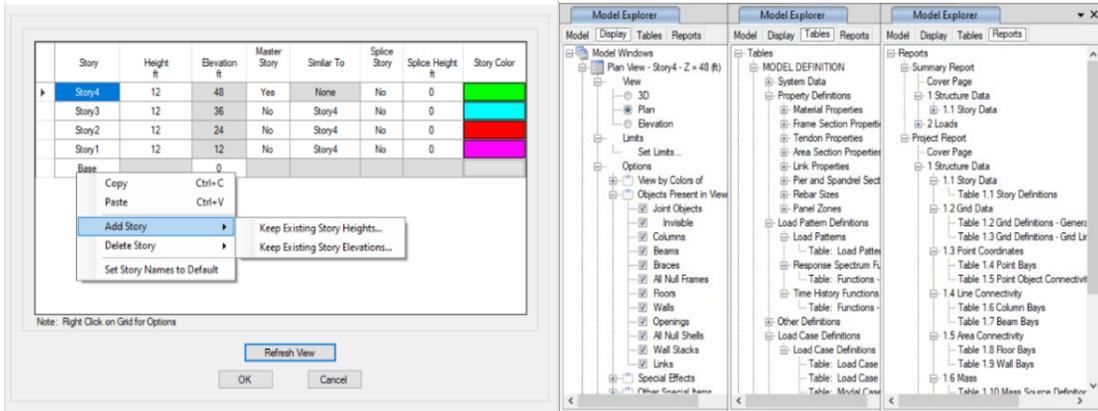
Một cách tổng quát, phương pháp PTHH đi theo trình tự như Hình 2 dưới đây:



**Hình 2.** Lưu đồ tổng quát của phương pháp PTHH

Nguồn: Daniel (2017)

Cùng với SAP2000, đã hơn 40 năm qua, phần mềm ETABS (viết tắt từ các chữ đầu của thuật ngữ **E**xtended **T**hree-D **A**nalysis of **B**uilding **S**ystems) đã được các nhà thiết kế toàn cầu sử dụng, nhằm mô phỏng mở rộng phân tích các kết cấu không gian (kết cấu 3D). Một trong những ưu điểm nổi bật của ETABS là dễ sử dụng, nhiều tiện ích, ... giúp cho việc tạo mô hình nhanh chóng, cụ thể như mô phỏng hàng loạt theo tầng giống nhau (chế độ “All stories”) hoặc cá biệt từng tầng.



**Hình 3.** Tiện ích mô hình theo cá thể hoặc hàng loạt tầng và menu của phần mềm

Nguồn: Tác giả tổng hợp

**2.3. Những lưu ý**

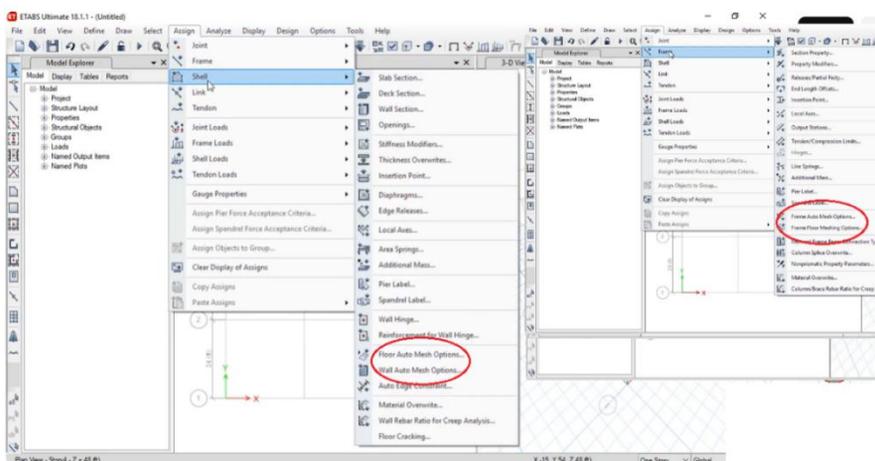
ETABS có rất nhiều ưu điểm (đa dạng menu, tích hợp tiêu chuẩn của một số quốc gia, phát sinh nhanh chóng, xuất/nhập từ phần mềm khác sang, ...) và nhược điểm duy nhất của ETABS là không điều chỉnh dữ liệu trong quá trình phân tích. Muốn thay đổi dữ liệu, phải tắt chế độ tiền xử lý (pre-processing) để bảo đảm dữ liệu không bị hiểu sai bởi bộ nhớ của máy. Ngoài ra, phần mềm sử dụng hệ điều hành iOS một cách riêng biệt, chiếm dụng nhiều không gian đĩa cho những dữ liệu trung gian; ngoài ra, khi số tầng của công trình lớn, dữ liệu có thể khó được kiểm soát bởi người sử dụng. Một ưu điểm khác của ETABS là sau khi phân tích xong, mô hình có thể nhập (import) sang mô hình khác (thí dụ CSI-SAFE) để phân tích cấu trúc con (substructure). Và sau cùng, bởi ETABS chú trọng phân tích NNT, nên thích hợp với mô hình nhà nhiều tầng, thay vì phân tích cơ cấu bất kỳ như ổ trục, rotor, hay cơ phận khác, vốn được mô phỏng rất tốt bởi các phần mềm chuyên dụng như SAP2000, ANSYS, ...

Do vậy, phân tích NNT, tốt nhất dùng ETABS và khai thác triệt để phần mềm này. Đây cũng chính là mục đích chủ yếu của bài báo này.

**3. Các mô đun của ETABS**

**3.1. Mô đun ‘Preprocessing’ (tiền xử lý): Dữ liệu và tạo lưới**

Theo lưu đồ của phương pháp PTHH ở Hình 2, hai mảng chính là tạo lập bộ dữ liệu (Data) và Xây dựng lưới (Meshing).



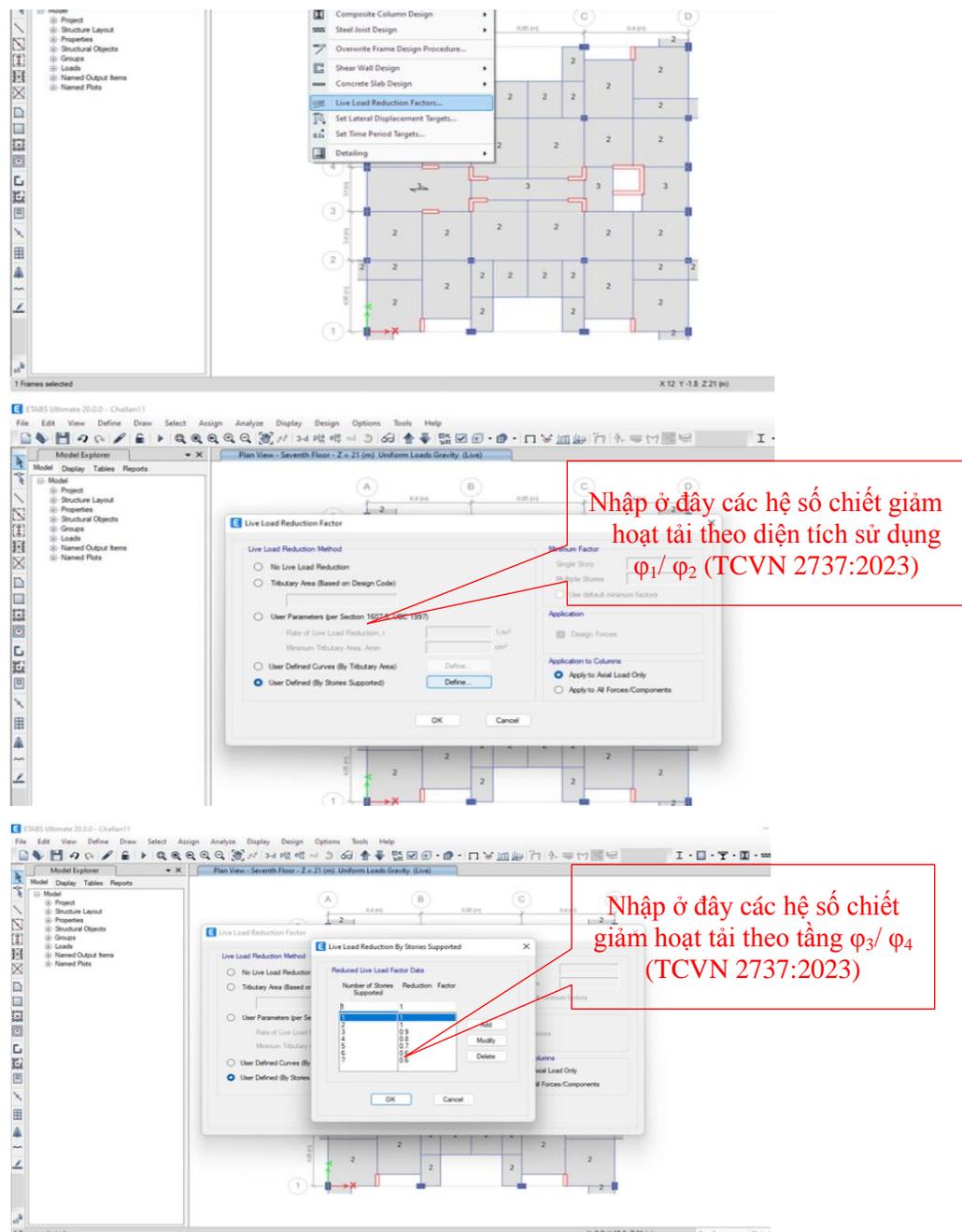
**Hình 4.** Các menu chủ yếu trong phần nhập dữ liệu, mục Mesh

Nguồn: Youtube (n.d.)

Mô hình được xây dựng bằng hình học trước, sau đó dữ liệu về vật liệu (materials) và tiết diện (Section properties) được định nghĩa (menu 'Define' trên thanh công cụ). Liên kết được gán (menu 'Assign' trên thanh công cụ), giải phóng mức độ chèn kẹt (menu con Release/Partial Fixity trên Hình 4).

Một số lưu ý riêng biệt, đó là chú ý đến các tiêu mục có chữ Meshing Option (gồm có Frame Auto Meshing Option và Wall/Floor Auto Meshing Option). Đây là thủ tục quan trọng, cần thiết để bảo đảm tính tương thích giữa các cấu kiện dầm cột (phần tử frame) và sàn (phần tử vật chất floor).

Có một tính năng rất hữu ích trong ETABS đó là Hệ Số Chiết Giảm Hoạt Tải (Live Load Reduction Factors, viết tắt là HSCGHT).

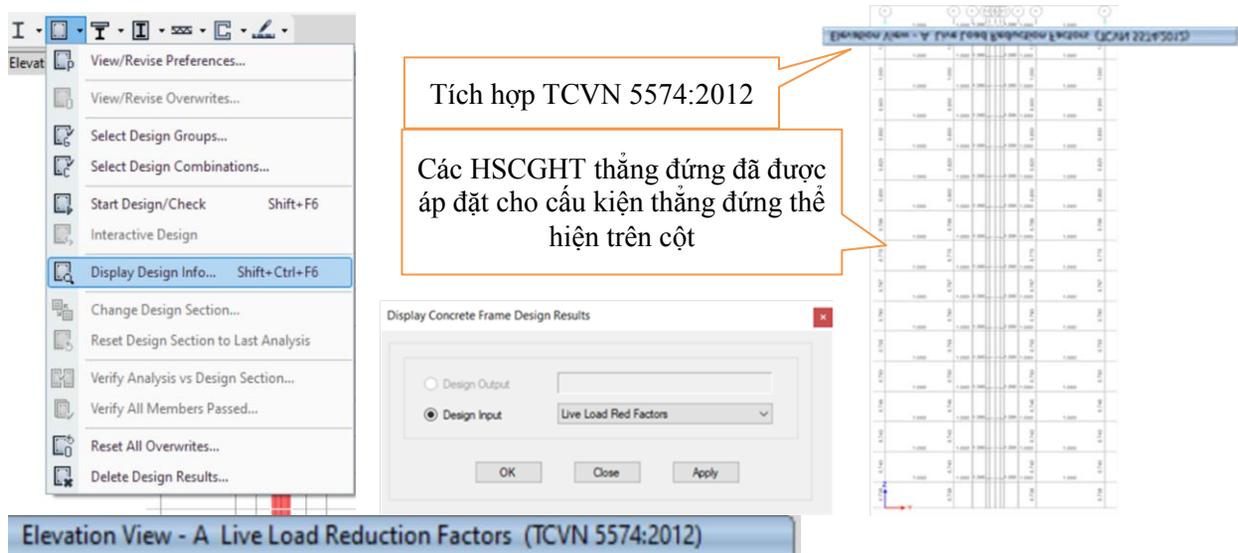


**Hình 5.** Nhập số % hoạt tải chiết giảm theo tầng (Reducible Live Load)

Nguồn: Tác giả tổng hợp

Theo TCVN 2737:2023, để đáp ứng 02 loại HSCGHT theo diện tích sử dụng (thí dụ  $\phi_1$  và  $\phi_2$  cho phòng loại A, B nhà dân dụng) và HSCGHT theo tầng (trương ứng là  $\phi_3$  và  $\phi_4$  theo thứ tự đó) có thể sử dụng theo tiêu chuẩn bằng cách tick vào ô Tributary Area Based on Design Code (xem Hình 5) (Tiêu chuẩn Quốc Gia, 2023). Tuy vậy, chỉ khi thiết kế sử dụng tải thiết kế, có các tổ hợp thì vào menu **Table > Design > Design forces** mới có kết quả từ việc áp đặt HSCGHT, nghĩa là phép nhân với hệ số này chỉ được áp cho giai đoạn đầu ra khi thiết kế (gọi bước này là ‘check design forces’), còn các trường hợp đặt tải thì hệ số này không ảnh hưởng; lý do giải thích cho việc này là tùy theo tiêu chuẩn, kết quả ứng xử đầu ra mới bị ảnh hưởng bởi hệ số này. Theo đó, nếu xuất phần lực chân cột ra, vẫn không thấy kết quả của việc áp đặt HSCGHT; vào giai đoạn thiết kế mới thấy.

Lệnh để hiển thị ra HSCGHT này áp cho cấu kiện thẳng đứng là **Design > Display Design Info >**



**Hình 6.** Hiển thị kết quả thiết kế để thấy HSCGHT theo tầng (Reducible Live Load Factor)

Nguồn: Tác giả tổng hợp

Các phiên bản ETABS từ version 9.7.xx hoặc version v2.16 (phổ biến khoảng 2014) trở về sau đã tích hợp TCVN 5574:2012 vào, áp cho kết cấu bê tông cốt thép (Hình 6) (Tiêu chuẩn Quốc gia, 2012).

### 3.2. Mô đun ‘Computation’: tính toán ‘hộp đen’

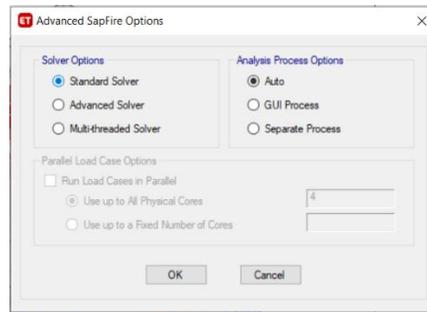
Theo lưu đồ ở Hình 2, hộp đen “Computation” là quá trình xử lý số liệu, giải số (Solver). Những dữ liệu nhập vào, những khai báo đúng hoặc sai đều được xử lý bên trong hộp đen này. Đây là quá trình giải hệ phương trình vi phân riêng phần trên từng phần tử (element equations), tích hợp vào kết cấu toàn cục (global system of equations). Vì là giải toán, nên có những điều kiện nhất định mà nghiệm của bài toán không giải được, không tìm được, hoặc suy biến để cho ra những kết quả bất thường. Thông thường, ngôn ngữ lập trình gọi đó là các điều kiện tồi (ill-conditioned) hoặc không bình ổn (unstable) do máy báo lỗi. Kết quả theo đó thật sự là không dùng được, người tạo mô hình không được sử dụng kết quả đầy rủi ro đó, dù chỉ là một phần. Có thể là một dịch chuyển cực lớn, nội lực không thể tưởng tượng được.

Theo website của hiệp hội Sheerforce Engineering (2021) có thể có mấy nguyên nhân sau:

- Điều kiện liên kết không phù hợp;
- Một hoặc nhiều cơ chế nội thân;

- Tính chất vật liệu bằng không hoặc số âm;
- Độ cứng quá lớn, gắn với phần tử có độ cứng quá bé, thiếu tương thích về biến dạng;
- Hiệu ứng bậc hai (thí dụ P- $\Delta$  effects, hoặc phi tuyến hình học) đã gây gãy đổ;
- Một sự sai lệch về tần số rơi đúng vào tần số tự nhiên;

Người sử dụng cần trước hết quay về sử dụng lời giải tiêu chuẩn (Standard Solver) (xem Hình 7) mà hạn chế sử dụng các kiểu lời giải nâng cao hoặc đa lõi xử lý (multiple cores).



**Hình 7.** Kiểm tra mô hình Lời giải tiêu chuẩn (Standard Solver)

Nguồn: Sheerforce Engineering (2021)

### 3.3. Mô đun hậu xử lý (Postprocessing)

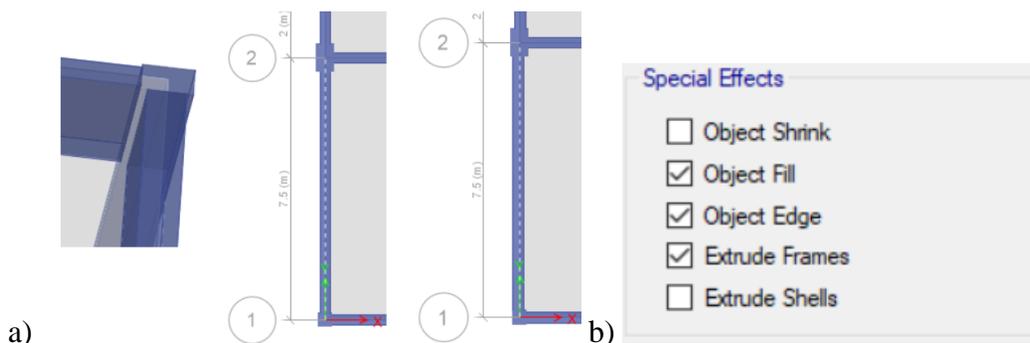
Mô đun này chủ yếu dành cho giai đoạn xử lý các kết quả tính toán để lập thành đồ họa (biểu đồ nội lực, ứng suất thể hiện thành màu sắc, ...) từ những tính toán bên trong của phương pháp PTHH. Một số menu liên quan đến thiết kế đều dựa trên tiêu chuẩn nào đó như ACI (American Concrete Institute) hoặc Tiêu chuẩn Quốc Gia về Thiết Kế Kết Cấu Bê Tông và Bê Tông Cốt Thép (TCVN 5574:2018) (Tiêu chuẩn Việt Nam, 2018) đối với kết cấu bê tông cốt thép, Eurocode 4 hoặc UBC97 đối với tính toán lực do động đất, ...

## 4. Một số danh mục nhập liệu tính toán NNT

Dưới đây là một số vấn đề tồn tại mà người học bỏ qua trong thực hành.

### 4.1. Đường trục và độ lệch tâm

Thông thường, sinh viên nhập và khai báo cấu kiện theo đường trục không chú trọng việc thay đổi tiết diện và độ lệch trục (thí dụ độ lệch trục cột bia giữ mép ngoài cột thẳng, độ lệch tim dầm với tim cột, ...). Cần mô phỏng xác đáng tình trạng lệch trục hoặc ăn mép ngoài của cấu kiện. Cách dễ nhất là dùng lệnh vẽ nhanh dầm \_ quick draw beam\_ để đưa dầm ăn mép sàn, hoặc chỉnh sửa (Hình 8).



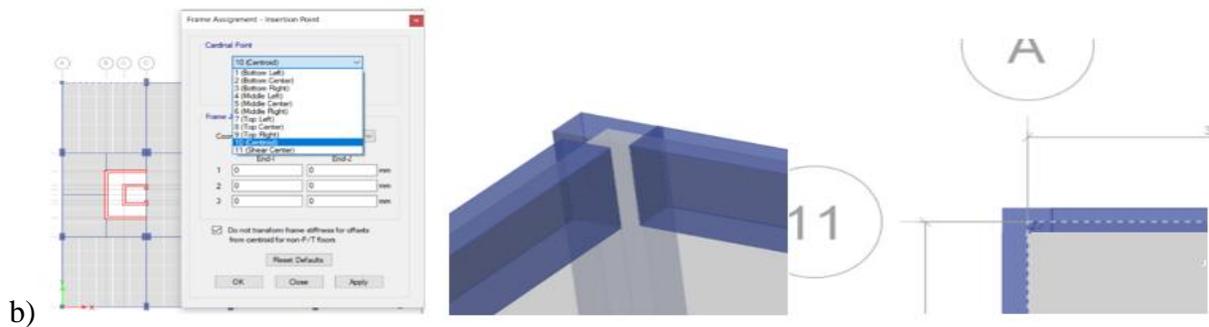
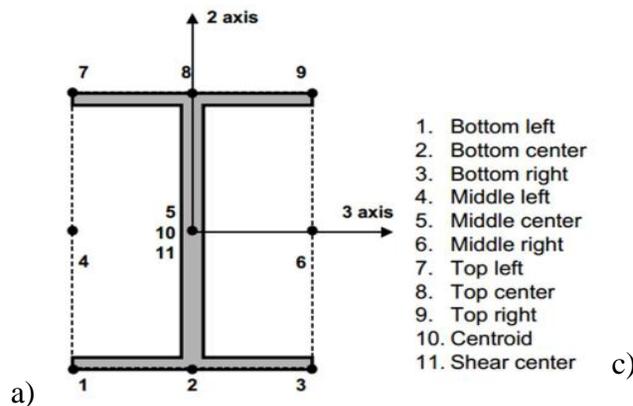
**Hình 8.** Kỹ thuật chỉnh sửa để dầm chuyển ra ăn mép ngoài cột

Nguồn: Tác giả tổng hợp

Trong chế độ Set Building view options, tick vào một trong 04 ô của tính năng hiệu ứng đặc biệt Special effect, tick box Extrusion để hiển thị dầm cột dạng thanh 3D. Trở vào dầm, vào thanh menu, tiến hành nhấp các lệnh sau:

**Assign > Frame/Line > Insert point >**

Thoạt đầu tiên, từ menu View, click vào Set display option, vào Special Effects và bật Extrude Frames, sẽ thấy khung dạng khối 3D thanh dầm (Hình 8a). Chuỗi dòng lệnh như trên, sẽ xuất hiện hộp đối thoại như Hình 8b và chú ý đến các lựa chọn trong thanh Cardinal point, lựa chọn Top left tức điểm 7 (hoặc Top Right tức điểm 9, tùy hướng i-j và trục địa phương 1 dọc trục, 02 hướng chiều cao, 03 hướng chiều rộng). Có 11 điểm cardinal point được thể hiện trong Hình 9a.

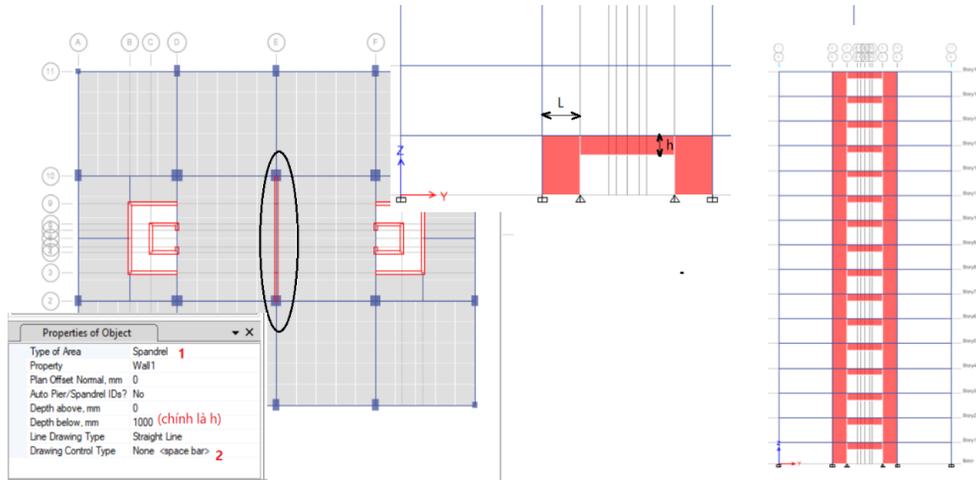


**Hình 9.** Đưa 02 dầm ngang và dọc về ăn mép ngoài cột; a) Menu kéo xuống gán điểm liên kết insert point (sau khi chọn dầm); b) Dầm dọc trục 11 ăn mép cột; c) Cả 2 dầm ăn mép (mặt bằng)  
 Nguồn: Frame Insertion Point (n.d.)

**4.2. Vẽ trụ (pier) và dầm đầu cửa (spandrel)**

Không giống với vách cứng, lõi cứng có một phần tiết diện đặc ở bên trên cửa, gọi là dầm đầu cửa (một kiểu dầm Lintel) hay đúng thuật ngữ của Etabs là dầm Spandrel. Thường khi mô phỏng, một cách làm thông thường và tốn công, đó là tạo lưới trung gian (Reference Planes) trong menu Grid System Data, theo đó, lưới trung gian nằm ở cao độ từ mép trên cửa lõi thang máy, được vẽ lên đến cao độ sàn kế tiếp, rồi vẽ vật liệu dầm Spandrel.

Một cách làm khác đó là sử dụng menu con ‘Properties of objects’ (chủ yếu sử dụng hộp đối thoại góc dưới bên trái của Hình 9), như sau:



**Hình 10.** Vẽ trụ (pier) và dầm trên lỗ cửa (spandrel)

Nguồn: Tác giả tổng hợp

Vẽ trong tầng trước thí dụ tầng 1 (xem Hình 10) dùng lệnh vẽ trên mặt bằng (có biểu tượng ) để vẽ khoảng vách đã định trước L có tính chất Pier (sửa dòng đã đánh số 1) và loại cố định chiều dài L (sửa dòng đã đánh số 2), hoặc tương tự vẽ Spandrel (dòng số 1) và độ thò xuống h (sửa ở lệnh ‘Depth below, mm’). Sau đó dùng lệnh replicate cho tất cả các tầng trên (xem Hình 10, ảnh bên phải). Các trụ và dầm sẽ được gán nhãn (pier/spandrel label) và tự động chia lưới (Wall Auto Mesh Option) chung với hệ dầm sàn (Frame Floor Auto Mesh Option). Việc chia lưới để bảo đảm tính tương thích giữa các phần tử, tránh sai sót (Hình 11).

Cách làm này thực dụng hơn việc tạo lưới tham khảo chỉ để vẽ phần đặc trên đầu lỗ cửa.



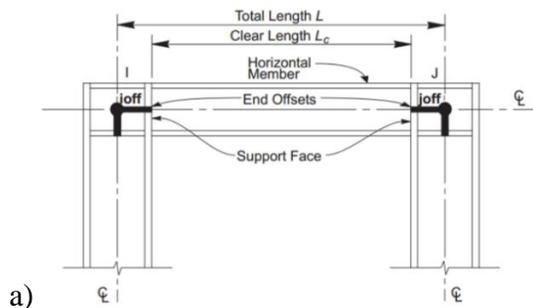
**Hình 11.** Vẽ trụ (pier) và dầm trên lỗ cửa (spandrel)

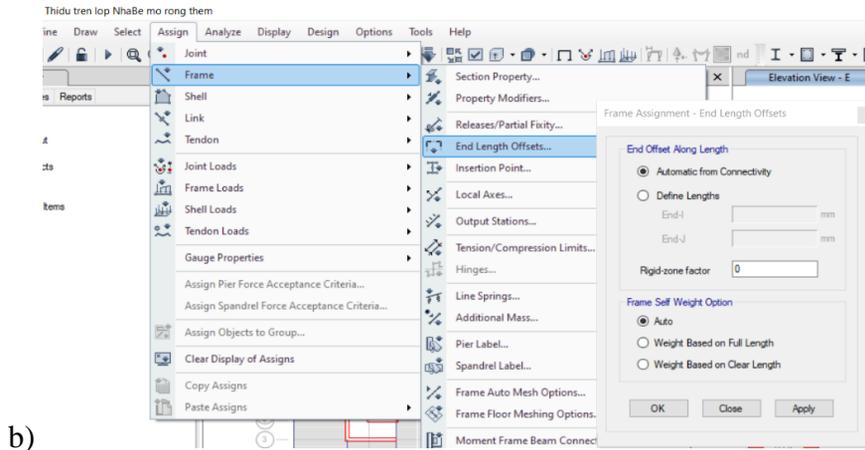
Nguồn: Tác giả tổng hợp

**4.3. Vùng cứng giao cắt dầm cột**

Một khi đã khai báo dầm đầu cửa lỗ cứng (spandrel) và trụ (pier), phần mềm mặc định hiểu là có vùng cứng đầu dầm. Tuy nhiên, đối với mỗi nối dầm và cột, việc không khai báo vùng cứng đầu dầm sẽ cho ra nội lực tại đường trục.

**Assign > Shell/Area > Pier label hoặc Spandrel label**





b)

**Hình 12.** Khai báo vùng cứng đầu dầm; a) Vùng cứng đầu dầm phía nút i và j; b) Các menu kéo xuống và hộp đối thoại

Nguồn: Tác giả tổng hợp

Trong hộp đối thoại Frame Assignment - End Length Offsets, tick vào hộp Define Lengths, thì định nghĩa 02 thông số i-offset và j-offset như trên Hình 12a.

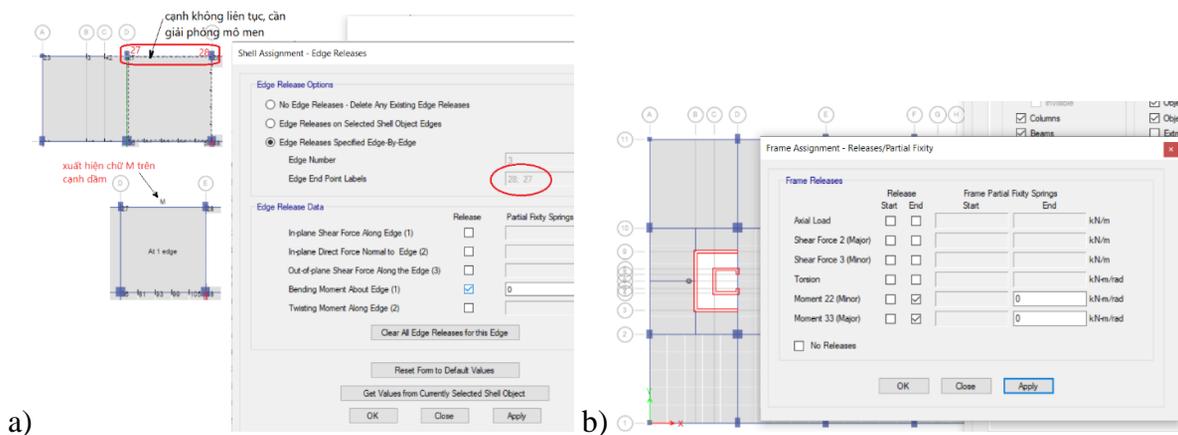
Việc khai báo vùng cứng đầu dầm là có ý nghĩa hơn đối với kết cấu thép.

#### 4.4. Kỹ thuật sử dụng dầm ảo

Dầm ảo là một đường thẳng mà tiết diện được khai báo ‘NONE’ nghĩa là không có tiết diện, được vẽ trên sàn, nhằm sắp xếp tải trọng lên đồ dạng đường thẳng (Line load). Có thể mô phỏng tường xây trên sàn bằng dầm ảo.

#### 4.5. Giải phóng mô men trong cấu kiện sàn, dầm

Nằm trong số các tính năng giải phóng liên kết (lệnh **Assign > Frame/Line > Frame Releases/Partial Fixity**), tính năng giải phóng mô men là cần thiết cho các cạnh ô sàn không liên tục, hoặc nơi sàn/dầm gắn kết với vách/lõi cứng (Hình 13).



a)

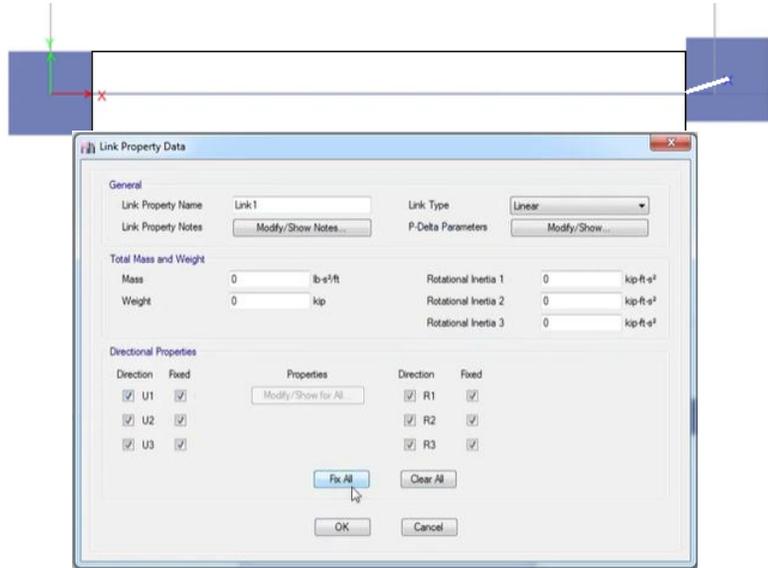
b)

**Hình 13.** Khai báo giải phóng mô men cho a) Sàn không liên tục qua dầm; b) Đầu dầm liên kết với vách/lõi cứng

Nguồn: Tác giả tổng hợp

#### 4.6. Phần tử Link

Có nhiều loại phần tử link như tuyến tính (linear), cản (damper), khoảng hở (Gap), móc (hook), ... đều có công dụng riêng. Một trong những công dụng thiết thực của phần tử link là xử lý dầm lệch trục cột như Hình 14.



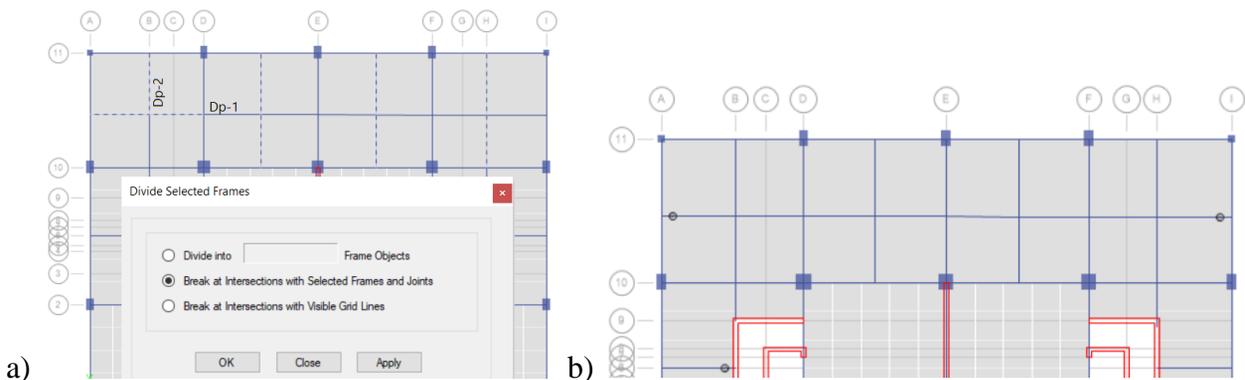
**Hình 14.** Sử dụng phần tử link để xử lý vượt qua sai sót khi có độ lệch trục dầm với tim cột

Nguồn: Tác giả tổng hợp

Các cột tiết diện khác nhau có thể dẫn đến lệch giữa tim dầm với tim/trục cột; nếu không xử lý kết quả sẽ sai có khi rất lớn. Phần tử Link với khóa tất cả các hướng là một giải pháp chấp nhận được (ít nhất cho kết quả không sai).

#### 4.7. Sàn có dầm trục giao

Các ô sàn lớn, cụ thể từ 7m trở lên, về mặt lý thuyết nếu làm sàn dày cũng không sai, nhưng tử trọng lớn, sàn võng bất lợi; thay vì làm sàn dày, rất thường hay sử dụng hệ dầm phụ trục giao. Tuy nhiên, đa số sinh viên cứ vẽ dầm bằng qua các dầm khác và nghĩ rằng đã mặc nhiên giao cắt. Hình 15 cho thấy chỉ có đoạn dầm ở ô sàn AD10-11 mới được gắn thập giao với dầm phụ Dp-1, các dầm phụ khác chưa được gắn kết thích hợp (đúng theo ý định của người thiết kế). Do đó, phải chia cắt dầm ra để những đoạn dầm gắn với nhau theo nút. Lệnh đưa ra như ở hộp Divide Selected Frames của Hình 15.



**Hình 15.** Cắt các đoạn dầm với khung và nút được chọn (Selected Frames and Joints);  
a) hộp đối thoại; b) Khai báo đầu dầm phụ khớp với dầm chính

Nguồn: Tác giả tổng hợp

Hai đầu dầm phụ Dp-1 (Hình 15a) gắn với dầm chính, cần được khai báo khớp bằng kỹ thuật giải phóng mô men. Sau khi áp lệnh **Assign > Frame > Release/Partial Fixity**, hai đầu dầm thể hiện khớp (dấu chấm đen tròn đầu dầm phụ trên (Hình 15b).

#### 4.8. Phân tích phi tuyến

Nhà nhiều tầng có thể được thiết kế sơ bộ và sau đó tinh chỉnh (refine) nhiều cấp độ chi tiết khác nhau. Trong giai đoạn tinh chỉnh, phân tích phi tuyến là nhất thiết áp dụng. Hiểu một cách đơn giản, phân tích phi tuyến là phù hợp vì quan hệ lực - chuyển vị không tuyến tính, và quan hệ giữa ứng suất - biến dạng là không tỷ lệ theo định luật Hooke; đặc biệt, một số vật liệu như bê tông còn có tính chất phụ thuộc thời gian (time-dependent properties).

Trước hết là phi tuyến hình học. Hai hiệu ứng phi tuyến quan trọng là P-Delta và Auto Construction Sequence Case sẽ được nói ở phần sau.

Một số tiêu chuẩn quy định chiết giảm tiết diện nguyên (gross cross-section) của dầm, cột và vách để đưa vào tính toán hiệu ứng cấp 2 như P-Delta, chứ không đơn thuần khai báo cho phần mềm chạy hiệu ứng P-Delta thì tức khắc hiệu ứng này được thi hành, và nội lực tính toán được là đủ an toàn; nội dung hiệu chỉnh tiết diện nguyên, theo hướng giảm thiểu mô men quán tính này thường được bỏ qua trong quá trình khai báo hệ kết cấu. Bảng dưới đây nêu các tiết diện được chiết giảm để đưa vào mục 'Properties modifier' để phát huy tác dụng thiết kế phi tuyến của hiệu ứng P-Delta (lấy theo điều 10.11.1 của tiêu chuẩn ACI 318, cụ thể ACI 318-2014, bảng Table 6.6.3.1.1.a trong The American Concrete Institute, 2014).

Dầm  $0.35I_g$

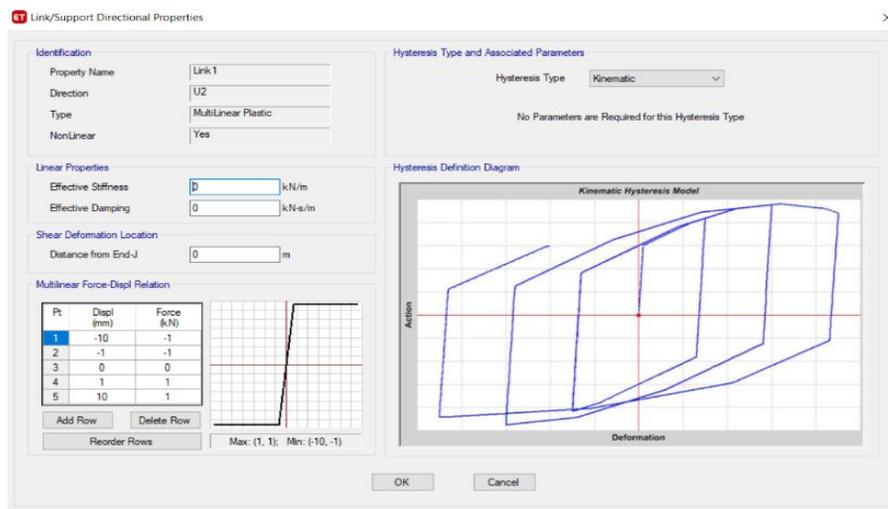
Cột  $0.7I_g$

Vách chịu lực  $0.7I_g$

Sàn phẳng  $0.25 I_g$

Trong đó  $I_g$  là mô men quán tính của tiết diện không kể cốt thép. Như vậy, xét hiệu ứng P-Delta, phải đồng thời xét tiết diện có mô men quán tính được giảm thiểu, như tiêu chuẩn quy định.

Một phương diện khác của phân tích phi tuyến là *phi tuyến vật liệu*, trong đó có thể biểu thị *vật liệu* phi tuyến thể hiện bởi quan hệ phi tuyến giữa lực và chuyển vị kiểu Multi-linear Elastic hoặc Multi-linear Plastic, theo đó quan hệ lực và chuyển vị thể hiện một vòng trễ kiểu nào đó (Hình 16). Khi phân giải kết cấu nhà nhiều tầng, có thể xét nhiều kiểu quan hệ phi tuyến giữa ứng suất - biến dạng, kể cả mô hình vật liệu bị giảm cấp (degrading hysteresis model).



**Hình 16.** Khai báo phần tử Link có quan hệ ứng xử lực-chuyển vị dạng trễ (hysteresis)

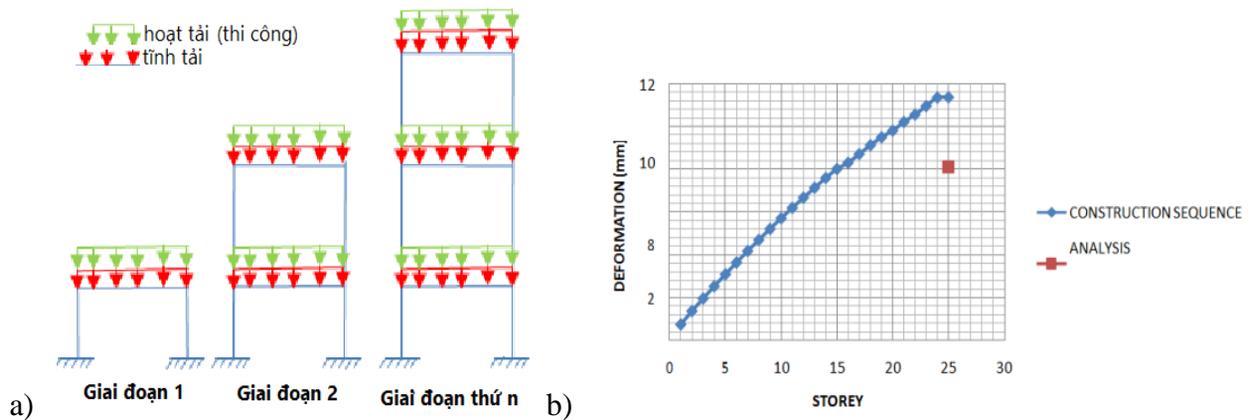
Nguồn: Tác giả tổng hợp

#### 4.9. Phân tích kiểu tĩnh học phi tuyến đẩy dần (Pushover analysis)

Theo nhiều nghiên cứu, cả trong hai lãnh vực hàn lâm là nghiên cứu cơ bản và nghiên cứu ứng dụng phát triển vào sản xuất, phương pháp phân tích dùng tĩnh học đẩy dần (Pushover analysis, sau đây gọi tắt là PO) cho thấy tính phi tuyến được bộc lộ một cách rõ rệt (Saisaran, Prasad, & Das, 2016). Tuy nhiên, do khuôn khổ thực hành 30 tiết tại lớp, phần này lại có tính khoa học nâng cao (liên hệ đến tính toán động đất), yêu cầu hiểu rất sâu, nên nội dung về ‘phân tích tĩnh học phi tuyến đẩy dần PO’ này được giới thiệu trên lớp, theo đó không trình bày trong bài báo này.

#### 4.10. Phân tích có xét tự động trình tự thi công (Auto Construction Sequence Case)

Một nội dung thực tế khác về phân tích hiệu ứng bậc hai (tức nói về nội lực phát sinh thêm chuyển vị) có trường hợp xét trình tự thi công, gọi là mục Auto Construction Sequence Case. Dường như nội dung này song song áp dụng với P-Delta nếu muốn phân tích phi tuyến; cái trước liên quan đến tính chất phụ thuộc thời gian, cái sau liên quan chuyển vị sinh thêm nội lực.



**Hình 17.** a) Các giai đoạn xây dựng; b) Độ dãn  $U_z$  theo tầng do tích lũy biến dạng dọc trục (tương ứng với một tổ hợp); chấm đỏ là phân tích mô hình hoàn chỉnh, lumped model

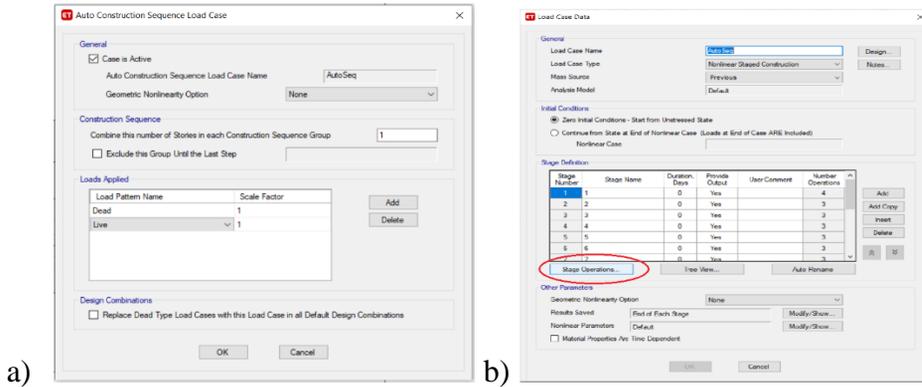
Nguồn: a) Balaji và Vivek (2022); b) Sivareddy và Yamuna (2021)

Theo thông lệ, người thiết kế chỉ phân tích tòa nhà thi công xong xuôi, hoàn chỉnh chịu tải trọng. Mô hình hoàn chỉnh tòa nhà (với đầy đủ tải trọng) gọi là lumped model. Điều này khá nguy hại vì tải trọng phân bố gây hiệu ứng P-Delta sẽ khác nhau (theo những tổ hợp khác nhau và theo giai đoạn khác nhau) chứ không phải theo tải của tòa nhà hoàn chỉnh (Hình 17). Vì chênh lệch độ dãn dọc trục (DAS, Differential Axial Shortening) của các cấu kiện cột/vách sẽ gây gia tăng nội lực bất lợi.

Mỗi giai đoạn, dịch chuyển (axial shortening) tương ứng với tổ hợp tải trọng của giai đoạn ấy, sẽ được trích xuất theo các tầng, và vẽ thành đường cong “biến dạng (mm) - tầng” như Hình 17b. Có thể vẽ theo giá trị tổng cộng của  $U_z$ , hoặc theo dõi từng cao độ tầng. Để có được giá trị đúng của độ dãn, phải kê biên thời gian thi công đúng, *tính chất phụ thuộc thời gian* đúng, và luôn tổ hợp với hiệu ứng bậc hai P-Delta. Đây là mục phải đi vào tính phụ thuộc thời gian của vật liệu bê tông, đó là 04 tính chất: Độ bền trung bình  $f_{cm}$ , độ cứng không cố định theo thời gian  $E$ , từ biến Creep, và Biến dạng co ngót. Các menu như sau:

#### Define > Auto Construction Sequence Case >

Tích vào ô **Case in Active**, khai báo các tải trọng tham gia, tạo một trường hợp tải trọng riêng. Sau đó xét Time-dependent Properties (Hình 18a).



**Hình 18.** a) Kích hoạt trường hợp tải xét trình tự thi công; b) Khai báo thời gian từng giai đoạn và tính chất phi tuyến của vật liệu muốn xét (04 tính chất)

Nguồn: Tác giả tổng hợp

Trên Hình 18b, Stage Operations (khoanh đỏ) sẽ yêu cầu người phân tích nhập thời gian, kiểu tải trọng được xét trong từng giai đoạn.

Vào hộp đối thoại, CEB\_FIP\_50 được chọn, và tick tất cả 04 tính chất trên. CEB là viết tắt của Hội đồng quốc tế về Bê tông (Comite. Euro-Intl du Beton, 1993, FIP), đây là một kiểu mô hình xét tính chất phi tuyến vật liệu của bê tông, theo châu Âu; chữ FIP là một liên đoàn quốc tế dự áp Intl Federation of Prestressing). Đặt tên một trường hợp đặt tải thí dụ như AutoSeq, một hộp đối thoại dẫn đến khai báo dữ liệu (load case data), biên soạn 'edit' thừa số cho tĩnh tải, hoạt tải, nhập thời gian (duration) từng giai đoạn, kết quả được cung cấp, ...

Lợi ích của trường hợp đặt tải này, là xác định đúng độ dòn vi chênh dọc trục giữa các tầng (Differential Axial Shortening), từ đó khi xét nội lực phát sinh chuyển vị dòn cột, thì cao độ các sàn được xác định đúng nhất có thể. So sánh có thể dễ thấy khi xem nội lực trong cột bê, lõi cứng/vách khi chỉ chịu Tĩnh tải, giữa kết quả của số liệu Có/Không Có xét theo Staged construction, trong dài hạn.

Đây là một nội dung ít được quan tâm ở giáo trình bậc bậc ĐH, một phần do không đủ thời lượng thực hành trên lớp, một phần vì tính chất phụ thuộc thời gian như từ biến, co ngót, đàn dẻo của vật liệu không được giảng dạy trong học phần liên quan. Trong mức độ đào tạo bậc ĐH, sinh viên được khuyến khích tự đào sâu mở rộng mô hình, nhất là trong thời gian làm ĐATN phần thi công, với điều kiện tham chiếu trình tự khối lượng và thời gian thi công cho 1 tầng mà sinh viên đã ghi nhận được trong giai đoạn thực tập tốt nghiệp.

*Nói chung, nội dung phân tích phi tuyến rất rộng và sâu. Theo đó trong phạm vi giảng dạy bậc ĐH, chỉ cần đưa vào khai báo phi tuyến hình học, giới thiệu nội dung phân tích tĩnh học phi tuyến đẩy dần Pushover, xét hiệu ứng P-Delta, và tổ chức trường hợp đặt tải “Auto Construction Sequence Case” là khá đầy đủ rồi.*

### 5. Tính toán kiểm tra

Số liệu cần được kiểm tra tính phù hợp và độ nhạy đối với kết quả ứng xử đầu ra. Thí dụ bài toán phẳng 2D, chỉ có mô men quán tính quanh trục địa phương 3 của cấu kiện là có thể áp đặt hệ số điều chỉnh (modifier), chiều dài khớp dẻo (khi khai báo vị trí khớp trong phân tích tĩnh học phi tuyến đẩy dần), ... Những vấn đề đi sâu nhất thiết phải đứng trên căn cứ khoa học được khảo lược từ những nghiên cứu đã có; thí dụ như ảnh hưởng của cường độ thép dọc đối với chiều dài khớp dẻo để kê khai trong phân tích Pushover. Dưới đây, chỉ nêu một số kiểm tra chủ yếu:

a. Dùng bộ giải tiêu chuẩn (Standard Solver) để thử mô hình trước hết (xem mục 3.2). Tuy thời gian chạy ở mode này hơi lâu hơn, nhưng tổng thể được check, sai lỗi do bất ổn định, sai số được thông báo. Lệnh là **Analyses > Advanced SapFire Options**.

b. Chu kỳ dao động tự nhiên mode 1 nằm trong khoảng 0.08 đến 0.15 nhân số tầng. Tỷ số khối lượng tham gia hài (modal mass participation) từ 0.9 trở lên (vào menu **Display > Show Tables...**); tổng các % khối lượng tham gia dao động là > 90%. Số lượng mode sẽ phải tăng lên cho đến khi tổng SumUX và SumUY là > 90%.

c. Kiểm tra phản lực khi chịu tĩnh tải (trọng lượng bản thân, lớp phủ 'siêu tĩnh tải') so kết quả tổng phản lực chân cột với toàn bộ diện tích sàn bên trên cộng lại. Sai biệt phải không được quá 5% đến tối đa 10%.

d. Dao động trong modal analysis theo phương dự đoán được khi kết cấu đối xứng là 100% khối lượng tham gia dao động chỉ theo hướng trục đối xứng.

f. Khi xét hiệu ứng bậc hai như P-Delta, thiết lập điều kiện độ cứng ban đầu là không (zero initial stiffness).

g. Trong phân tích tĩnh học phi tuyến đẩy dần, dịch chuyển ngang kiểm soát ban đầu lấy không nhỏ hơn 2% chiều cao công trình. Ngoài ra, nên khai báo số bước tối thiểu/tối đa cách xa nhau (thí dụ 200/1,000, 1,000/5,000, hoặc 05 lần) để tránh hội tụ lời giải.

h. Phá hoại tại khớp dẻo hình thành thông thường từ dưới lên trên. Nếu có sự bất thường, mô hình phải được xem lại.

## 6. Kết luận

Thực hành sử dụng phần mềm ETABS để phân tích Nhà Nhiều Tầng rất cần mức độ chính xác, không quá sơ sài sẽ bị sai sót, ảnh hưởng đến phân tích đúng và đủ nội lực. Sự đúng đắn được đề cao trước tiên, từ mô hình vị trí dầm so với cột (lệch tim dầm - cột), giải phóng liên kết nơi sàn dầm gắn với lõi cứng, chia lưới và tương thích lưới giữa các cấu kiện gồm sàn, dầm, vách, cột; trục giao nhau tại nút, ... Nhiều mô phỏng chi tiết như spandrel (tấm vách như dầm lintel đầu cửa thang máy) phải được chú ý. Tải trọng tĩnh, hoạt tải/ngắn hạn (reducible live load) và gió ngang, nhất thiết tuân thủ TCVN 2737:2023 (Tiêu chuẩn Quốc Gia, 2023) về chiết giảm hoạt tải theo diện tích (phụ thuộc công năng các phòng) và theo tầng cao. Nhà cao tầng kèm theo các phân tích dao động (modal analysis) rất cần khai báo nguồn gốc khối lượng (mass source) và hạn chế các dầm ảo, vốn là nguyên nhân gây xoắn tòa nhà xảy ra ở mode đầu tiên. Giai đoạn phân tích cần chú trọng phi tuyến hình học (P-Delta) và xét ảnh hưởng của giai đoạn thi công (Auto Construction Sequence Case) để có những kết quả an toàn. Việc kiểm chứng mô hình cũng rất dè dặt, dường như phải dựa trên kinh nghiệm phân tích của các nghiên cứu về phân tích kết cấu nhà nhiều tầng. Ngoài ra, các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, tính phi tuyến có thể bộc lộ rõ trong phân tích tĩnh học phi tuyến đẩy dần Pushover, tuy nhiên nội dung này được giới hạn đối với môn học Thiết kế Nhà Nhiều Tầng.

Bài báo này hy vọng sẽ được các đồng nghiệp góp ý thêm, chia sẻ kinh nghiệm, và giúp các sinh viên hiểu rõ hơn nhiệm vụ của mình trong quá trình rèn luyện để hoàn thành ĐATN nghiệp, ngõ hầu trở thành một kỹ sư phân tích có kỹ năng và sử dụng phần mềm thuần thục.

## Tài liệu tham khảo

Balaji, G. C., & Vivek, S. S. (2022). Construction sequence analysis of multi-storey setback building placed in slope with P-Delta and time-dependent effects. *Revista de la Construcción. Journal of Construction*, 21(2), 408-426. doi:10.7764/RDLC.21.2.408

- Computer & Structures, Inc. (n.d.). *The industry standard for building design*. Truy cập ngày 10/01/2024 tại <https://www.csiamerica.com/products/etabs>
- Đại học Mở Thành phố Hồ Chí Minh. (2021). *Đề cương môn học chương trình đào tạo năm 2021 [2021 training program course outline]*. Truy cập ngày 10/01/2023 tại <http://ce.ou.edu.vn/de-cuong-mon-hoc-chuong-trinh-dao-tao-nam-2021-1868-view/>
- Daniel, M. (2017). *Induction motors simulation by finite element method and different potential formulations with motion voltage term*. Truy cập ngày 10/01/2023 tại [https://www.researchgate.net/publication/2664054\\_-76](https://www.researchgate.net/publication/2664054_-76)
- Frame Insertion Point. (n.d.). *Frame - Insertion point*. Truy cập ngày 10/01/2024 tại [https://docs.csiamerica.com/help-files/csibridge/Advanced\\_tab/Assign/Frame/Frame\\_Insertion\\_Point.htm](https://docs.csiamerica.com/help-files/csibridge/Advanced_tab/Assign/Frame/Frame_Insertion_Point.htm)
- Saisaran, G. S., Prasad V., & Das, T. (2016). Push over analysis for concrete structures at seismic zone-3 using etabs software. *International Journal of Engineering Research and Technology*, 5(03), 739-746. doi:10.17577/IJERTV5IS031262
- Sheerforce Engineering. (2021). *Structure is unstable or Ill-conditioned: Etabs warning fix*. Truy cập ngày 10/01/2024 tại <https://sheerforceeng.com/2021/12/17/structure-is-unstable-or-ill-conditioned-etabs-warning-fix/#>
- Sivareddy, M., & Yamuna, K. (2021). Study and comparison of construction sequence analysis with conventional lumped analysis by using Etabs. *International Journal of Scientific Engineering & Technology Research (IJSETR)*, 10(1), 16-25.
- The American Concrete Institute. (2014). *Building code requirements for structural concrete. Code ACI 318-2014*. Truy cập ngày 10/01/2024 tại <https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=318U14>
- Tiêu Chuẩn Quốc Gia. (2012). *TCVN 5574:2012 về Kết cấu bê tông và bê tông cốt thép - Tiêu chuẩn thiết kế [TCVN 5574:2012 about concrete and reinforced concrete structures - Design standards]*. Truy cập ngày 10/10/2023 tại <https://caselaw.vn/van-ban-phap-luat/251452-tieu-chuan-quoc-gia-tcvn-5574-2012-ve-ket-cau-be-tong-va-be-tong-cot-thep-tieu-chuan-thiet-ke-nam-2012>
- Tiêu Chuẩn Quốc Gia. (2023). *TCVN 2737:2023 về: Tải trọng và tác động [TCVN 2737:2023 on: Loads and impacts]*. Truy cập ngày 10/10/2023 tại <https://thietbipcccbinhduong.com/tcvn-2737-2023-tai-trong-va-tac-dong/>
- Tiêu chuẩn Việt Nam. (2018). *Thiết kế kết cấu Bê tông và Bê tông cốt thép [Design of concrete and reinforced concrete structures]*. Truy cập ngày 10/10/2023 tại [https://kiemdinheverest.vn/storage/documents/November2019/03.TCVN5574\\_2018\\_917896.pdf](https://kiemdinheverest.vn/storage/documents/November2019/03.TCVN5574_2018_917896.pdf)
- Venkatesh K., Prakash S. V., & Srinivasa Murthy P. L. (2013). Completeness-compatibility and reviews for finite element analysis results. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, 2(1), 1-4.
- YouTube. (n.d.) *01 user interface of ETABS*. Truy cập ngày 10/01/2024 tại <https://youtu.be/rGumsKXm-AA?si=Mu2NZ8Jd0F2LF4-1>

