

Quy trình và các khuyến nghị khi thiết kế kết cấu khung thép nhà công nghiệp một tầng theo tiêu chuẩn châu Âu EN 1993-1

Procedure and Recommendations for designing the steel frame of single-storey industrial building according to European standard EN 1993-1

> THS LÊ DŨNG BẢO TRUNG

Khoa Xây dựng, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội; Email: Trungldb@hau.edu.vn

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày tóm tắt về hệ thống tiêu chuẩn châu Âu EN 1993-1 trong tính toán kết cấu công trình nhà công nghiệp bằng thép, các tiêu chuẩn sử dụng trong tính toán kết cấu thép nói chung và các tiêu chuẩn sử dụng để tính toán kết cấu nhà công nghiệp nói riêng. Trên cơ sở đó lập quy trình thiết kế kết cấu khung thép nhà công nghiệp một tầng, một nhịp theo tiêu chuẩn châu Âu EN 1993-1 và đưa ra các khuyến nghị khi thiết kế dạng kết cấu này trong điều kiện Việt Nam. Thực hiện ví dụ tính toán khung thép nhằm minh họa lý thuyết tính toán và áp dụng trong tính toán thực hành.

Từ khóa: Tiêu chuẩn châu Âu EN 1993-1; quy trình thiết kế; khuyến nghị; khung thép nhà công nghiệp một tầng.

ABSTRACT

This paper presents a summary of the European Standard EN 1993-1 in the calculation of steel industrial building structures, the standards used in the calculation of steel structures in general, and the standards used for the calculate of the industrial buildings steel structure in particular. On this basic, establish the procedure for designing the steel frame of single-storey industrial building according to European standard EN 1993-1, and give some recommendations when designing this structures in the condition of Vietnam. Perform example calculation of steel frame, to illustrate calculation theory and apply it in practical calculation.

Key words: European standard; design procedure; recommendations; single-storey of industrial building.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Kết cấu khung thép nhà công nghiệp một tầng, một nhịp là kết cấu xây dựng quan trọng, được ứng dụng nhiều nhất trong các loại hình công trình công nghiệp ở nước ta. Cùng với chủ

trương hội nhập của Đảng và Nhà nước; nhất là trong những năm gần đây, để đón tiếp những làn sóng đầu tư nước ngoài đến Việt Nam, các khu công nghiệp đã được thành lập ngày càng nhiều tại các tỉnh và thành phố, nên loại hình công trình công nghiệp được dự báo sẽ phát triển mạnh trong tương lai gần.

Về pháp lý, Luật Xây dựng số 50/2014/QH13 ngày 18/05/2014 của Quốc hội cho phép sử dụng tiêu chuẩn nước ngoài trong thực hiện dự án trên lãnh thổ Việt Nam. Nghị định số 15/2021/NĐ-CP ngày 03/03/2021 của Chính phủ, quy định chi tiết một số nội dung về quản lý dự án đầu tư xây dựng, quy định: “nếu sử dụng tiêu chuẩn nước ngoài thì thuyết minh thiết kế xây dựng và chỉ dẫn kỹ thuật cần có đánh giá về tính tương thích, đồng bộ với quy chuẩn kỹ thuật quốc gia”. Ngày 12/05/2022 Bộ Xây dựng ban hành Quyết định số 390/QĐ-BXD về Phê duyệt Định hướng và Kế hoạch biên soạn, hoàn thiện hệ thống tiêu chuẩn quốc gia ngành Xây dựng đến năm 2030, trong đó Phụ lục 3 về Kế hoạch biên soạn TCVN chủ yếu thuộc các lĩnh vực kết cấu, địa kỹ thuật, vật liệu và phương pháp thử theo hệ thống tiêu chuẩn châu Âu.

Qua nghiên cứu, tác giả thấy rằng nhiều tiêu chuẩn tiên tiến trên thế giới, như tiêu chuẩn Mỹ (AISC 360-16) hoặc châu Âu như EN 1993-1 (sử dụng từ tháng 5 năm 2005) đã có các quy định rất chi tiết việc phân loại và tính toán các liên kết, các bộ phận, cấu kiện bằng kết cấu thép cho công trình, thậm chí có những quy định riêng đối với khung thép nhà công nghiệp một tầng. Thấy rằng, Tiêu chuẩn TCVN 5575:2012 được chuyển dịch từ Tiêu chuẩn TCXDVN 338:2006, và chúng được biên soạn trên cơ sở Tiêu chuẩn của Liên xô cũ (SNIIP II-23-81*) vào những năm 80. Cho đến nay, Tiêu chuẩn thiết kế Kết cấu thép của Nga cũng đã được cập nhật theo Tiêu chuẩn châu Âu, [1].

Như vậy việc nắm bắt và xây dựng quy trình thiết kế nhà công nghiệp theo Tiêu chuẩn châu Âu EN 1993-1 là phù hợp Định hướng và Kế hoạch của Bộ Xây dựng, cần thiết và cấp bách. Do đó, nhóm tác giả đề xuất nghiên cứu quy trình thiết kế, cũng như đưa ra những khuyến nghị khi sử dụng Tiêu chuẩn châu Âu EN 1993-1 trong tính toán, thiết kế kết cấu khung thép nhà công nghiệp một tầng, một nhịp; phục vụ cho công tác đào tạo cũng như áp dụng trong thực hành theo hướng hội nhập quốc tế, bổ sung những nội dung tương thích cho tiêu chuẩn hiện hành của Việt Nam khi thiết kế kết cấu khung thép nhà

công nghiệp, hoặc có thể sử dụng hoàn toàn Tiêu chuẩn châu Âu EN 1993-1 trong thiết kế khung thép nhà công nghiệp một tầng với các điều kiện tại Việt Nam.

2. QUY TRÌNH THIẾT KẾ VÀ CÁC KHUYẾN NGHỊ KHI THIẾT KẾ KẾT CẤU KHUNG THÉP NHÀ CÔNG NGHIỆP MỘT TẦNG THEO TIÊU CHUẨN CHÂU ÂU EN 1993-1

2.1. Tiêu chuẩn châu Âu, cấu tạo chung và quy trình thiết kế khung thép

2.1.1. Tiêu chuẩn châu Âu và các tài liệu sử dụng trong thiết kế khung thép

Tiêu chuẩn chung châu Âu sử dụng trong tính toán kết cấu công trình là một hệ thống tiêu chuẩn rất đầy đủ, chi tiết và đồ sộ, gồm 10 bộ tiêu chuẩn kí hiệu liên tục từ EN 1990 (Eurocode 0) tới EN 1999 (Eurocode 9), [1].

- EN 1990:2002+A1: Eurocode 0 - Nguyên lý thiết kế kết cấu: Sử dụng để xác định các nguyên lý, yêu cầu, trạng thái, tổ hợp tải trọng, tác động để tính toán kết cấu; cơ bản gồm trạng thái Ultimate Limit States (ULS) - tương đương tổ hợp tải trọng tính toán theo tiêu chuẩn Việt Nam và trạng thái Serviceability Limit States (SLS) - tương đương tổ hợp tải trọng tiêu chuẩn theo tiêu chuẩn Việt Nam.

- EN 1991: Eurocode 1 - Tác động lên kết cấu, gồm các quyển:

+ EN 1991-1-1: Khối lượng, trọng lượng bản thân, tải trọng sàn trên công trình

+ EN 1991-1-4: Tác động gió;

+ EN 1991-2: Tải trọng trên cầu;

+ EN 1991-3: tác động của cầu trục và máy móc được sử dụng trong tính toán các tải trọng, tác động lên khung thép.

- EN 1993: Eurocode 3 là bộ tiêu chuẩn về thiết kế kết cấu thép được chia thành 6 tập, trong đó tập EN 1993-1 quy định chung và quy định cho nhà bao gồm 12 quyển, trong đó:

+ EN 1993-1-1: Quy định chung và quy định cho nhà;

+ EN 1993-1-8: Thiết kế nút liên kết,

là các tài liệu được nhóm tác giả sử dụng chính trong thiết kế kết cấu khung thép nhà công nghiệp một tầng, đồng thời.

+ EN 1993-6: Kết cấu đỡ cầu trục,

được sử dụng để xác định các yêu cầu để ra đối với khung thép khi đỡ cầu trục.

Ngoài hệ thống tiêu chuẩn chung, nhóm tác giả còn sử dụng các tiêu chuẩn quốc gia như Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép của Anh, Pháp, Tây Ban Nha trong xác định các giá trị giới hạn chuyển vị đỉnh xà, đỉnh cột; cũng như tham khảo tiêu chuẩn Anh BS 5950 Part 1: 1990 trong xác định tổ hợp tải trọng và thiết kế kết cấu khung thép.

Các Hướng dẫn thiết kế chính gồm: Thiết kế kết cấu khung thép một tầng, một nhịp làm việc đàn hồi theo tiêu chuẩn Eurocode 3 của Viện thép xây dựng Anh (SCI) và Hiệp hội xây dựng công trình thép Anh (BCSA), ấn phẩm số P397, xuất bản năm 2012; Thiết kế mối nối chịu mô men theo tiêu chuẩn Eurocode 3 của SCI và BCSA, ấn phẩm số P398, xuất bản năm 2013, cùng nhiều tài liệu tham khảo khác.

2.1.2. Cấu tạo chung của khung thép

Kết cấu khung thép nhà công nghiệp một tầng, một nhịp gồm cột, xà ngang và các chi tiết liên kết. Khung đỡ các kết cấu bao che gồm các xà gỗ, tấm lợp. Hình dạng, kích thước khung thép phụ thuộc vào dây chuyền công nghệ, cách bố trí sản xuất và kiến trúc công trình. Khi khung có cầu trục, vai cột (đang vai) được sử dụng để đỡ dầm đỡ cầu trục. Cấu tạo khung ngang với các bộ phận điển hình khi công trình có cầu trục như trên Hình

1. Ngoài ra theo tiêu chuẩn châu Âu EN 1993-1, hệ thống xà gồ cũng có thể làm tăng cường khả năng ổn định của khung; đặc biệt hệ thống thanh chống dọc, thanh chống chéo bố trí tạo thành những điểm kiểm chế xoắn ngang cho cột, xà, tuy không thuộc khung nhưng là những thành phần cấu tạo không thể thiếu cho khung.

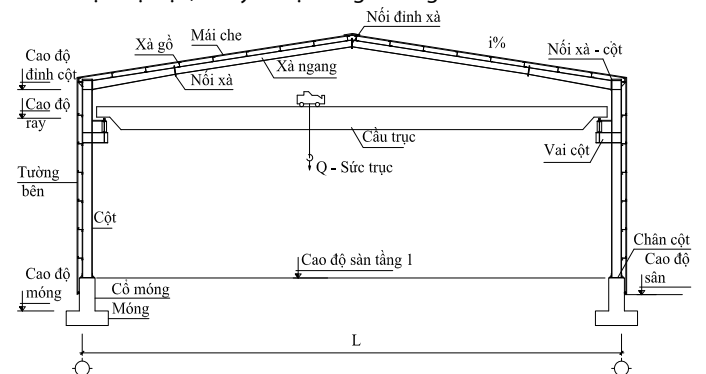
Liên kết trong khung thường được giả thiết gồm cột liên kết ngàm với móng, xà ngang liên kết cứng với cột. Đây là dạng liên kết phổ biến giúp phân bố nội lực đồng đều, giảm chuyển vị khung, quá trình tính toán cũng đơn giản hơn so với liên kết nửa cứng. Trường hợp công trình xây dựng trên nền đất yếu, để giảm mô men chân cột, có thể sử dụng dạng khung liên kết khớp với móng. Tiết diện cột khung giả thiết không đổi; tiết diện xà ngang có thể không đổi, hoặc thay đổi tạo thành nách khung tại vị trí đầu xà liên kết với cột. Mối nối khung bằng liên kết bu lông - bản bích.

2.1.3. Quy trình thiết kế khung thép nhà công nghiệp một tầng, một nhịp

Trên cơ sở nghiên cứu hệ thống Tiêu chuẩn châu Âu về nguyên tắc, tải trọng, kết cấu thép cùng các tài liệu liên quan; từ các bộ phận cấu tạo khung thép và sơ đồ tính, nhóm tác giả lập quy trình tính toán khung thép nhà công nghiệp một tầng, một nhịp theo Tiêu chuẩn châu Âu thể hiện như trên Hình 2, bao gồm năm quy trình thành phần cho thiết kế các bộ phận kết cấu chính của khung, gồm:

- Quy trình 1 - Xác định sơ đồ tính và phương pháp phân tích tổng thể:

Đây là quy trình được thực hiện đầu tiên, gồm các bước: Xác định kích thước khung ngang; Xác định tải trọng; Xác định sơ đồ tính khung; Tổ hợp tải trọng; Phân tích khung. Kết thúc quy trình tính được nội lực, chuyển vị trong khung.



Hình 1. Các bộ phận chính khung ngang nhà công nghiệp một tầng, một nhịp

- Quy trình 2 - Kiểm tra các điều kiện chuyển vị (trạng thái SLS):

Quy trình này đơn giản nên thực hiện trước. Có hai dạng khung: khung không đỡ cầu trục và khung đỡ cầu trục. Kết thúc quy trình khung đảm bảo điều kiện chuyển vị.

- Quy trình 3 - Kiểm tra khả năng chịu lực cột (trạng thái ULS):

Gồm các bước: Phân loại tiết diện cột; Kiểm tra các điều kiện bên; Kiểm tra ổn định tổng thể ngoài mặt phẳng khung; Kiểm tra ổn định tổng thể trong mặt phẳng khung. Kết thúc quy trình được tiết diện cột hợp lý, đảm bảo khả năng chịu lực.

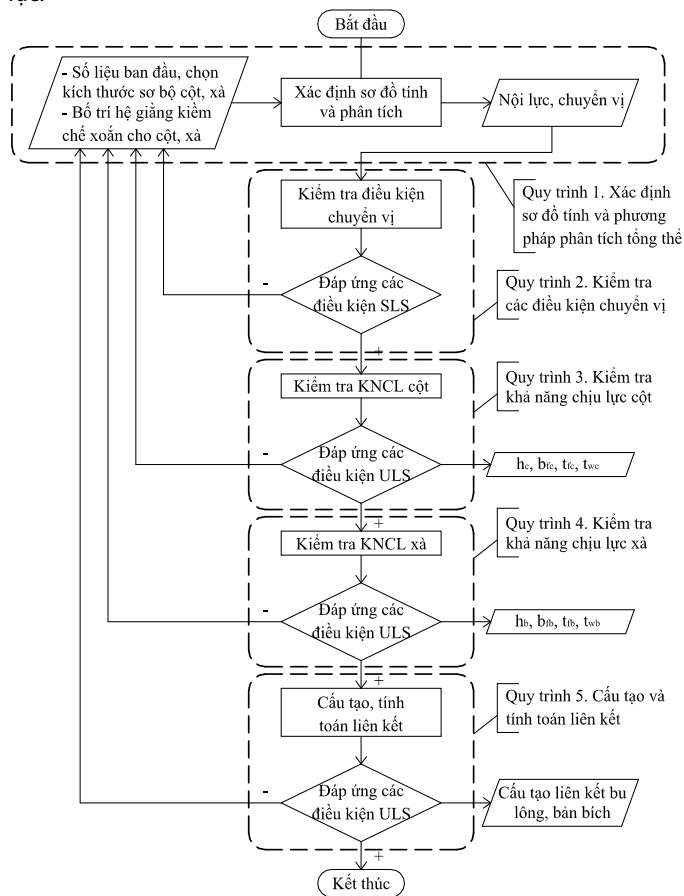
- Quy trình 4 - Kiểm tra khả năng chịu lực xà (trạng thái ULS):

Gồm các bước: Phân vùng làm việc xà; Kiểm tra khả năng chịu lực vùng F, C, B; Kiểm tra khả năng chịu lực vùng A, E. Kết thúc quy trình được tiết diện xà hợp lý, đảm bảo khả năng chịu lực.

Quá trình kiểm tra nếu một trong các điều kiện bền không thoả mãn thì cần tăng tiết diện cột, xà; nếu một trong các điều kiện ổn định không thoả mãn thì tùy từng trường hợp có thể tăng tiết diện cột hoặc giảm khoảng cách điểm kiểm chế xoắn hoặc cũng có thể giảm khoảng cách bố trí xà gỗ để tăng mô men uốn tới hạn.

- Quy trình 5 - Thiết kế liên kết cột - xà

Gồm các bước: Xác định khả năng chịu kéo của các hàng bu lông; Xác định khả năng chịu lực của vùng nén; Kiểm tra khả năng chịu cắt ngang; Hiệu chỉnh lực kéo phân bố trong các hàng bu lông; Kiểm tra khả năng chịu lực liên kết. Kết thúc quy trình nút liên kết cần có cấu tạo hợp lý, đảm bảo khả năng chịu lực.



Hình 2. Quy trình thiết kế kết cấu khung thép nhà công nghiệp một tầng, một nhịp theo tiêu chuẩn châu Âu EN 1993-1

Toàn bộ các nội dung từ Quy trình 1 đến Quy trình 5 trình bày chi tiết trong [3]. Riêng tính toán vai cột, mối nối xà - xà, mối nối đỉnh xà có thể vận dụng quy trình rút gọn; tính toán liên kết chân cột không phức tạp nên không lập thành quy trình riêng.

2.2. Các khuyến nghị khi thiết kế kết cấu khung thép nhà công nghiệp một tầng theo Tiêu chuẩn châu Âu

2.2.1. Đối với quy trình 1

a. Cấu tạo và vật liệu làm khung

Để khung thép nhà công nghiệp làm việc phù hợp với tiêu chuẩn và sơ đồ tính, các khuyến nghị sau cần được đáp ứng:

- Có thể sử dụng các mác thép châu Âu cho các công trình tại Việt Nam do cả hai tiêu chuẩn đều quy định nhiệt độ tính toán thiết kế kết cấu thép trong điều kiện thông thường là không thấp hơn - 60°C và không cao hơn 100°C;

- Tương quan độ cứng cột và xà: mô men quán tính tiết diện cột khung cần lớn hơn 50% mô men quán tính xà ngang, [9];

- Góc dốc của mái trong khoảng 5° đến 10°, thường chọn 6° (1/10) là phù hợp hình thức kiến trúc và yêu cầu thoát nước. Góc dốc của mái không vượt quá 1:2 (26°) để phù hợp tiêu chí lựa chọn phương pháp phân tích khung kể đến ảnh hưởng do biến dạng hình học của khung (phân tích bậc 2), [7].

b. Tải trọng và tác động lên khung

- Tải trọng và tác động lên kết cấu khung thép nhà công nghiệp xây dựng tại Việt Nam có tham khảo tiêu chuẩn châu Âu đã được nhóm tác giả nghiên cứu, đề xuất trong [2]. Một số khuyến nghị chính như sau:

+ Theo [4], hoạt tải phân bố đều khi sửa chữa mái q_k có thể chọn trong khoảng (0,0 ÷ 1,0) kN/m² và tác dụng trên diện tích kiến nghị A = 10 m², các khu vực còn lại trên mái lấy bằng 0. Quy định này rất hữu ích và thiết thực khi hoạt tải mái chỉ tính trên diện tích kiến nghị chứ không phải phân bố trên toàn bộ mái. Do đó khuyến nghị phân bố hoạt tải sửa chữa mái trên diện tích kiến nghị là 10m², thiên về an toàn bố trí tại khu vực đỉnh mái.

Các giá trị tải trọng do trọng lượng bản thân, tải trọng sàn, tải trọng các lớp cấu tạo có thể tham khảo một cách phong phú trong [2], [3], [4]; Tải trọng gió: khi tính toán tải trọng gió theo tiêu chuẩn châu Âu theo các điều kiện tại Việt Nam, giữa hai tiêu chuẩn có sự sai khác về phương pháp xác định số liệu vận tốc gió; ngoài ra hệ số kể đến sự thay đổi áp lực gió theo độ cao và dạng địa hình theo tiêu chuẩn châu Âu xác định theo hàm loga trong khi tiêu chuẩn Việt Nam xác định theo hàm mũ; các dạng địa hình quy ước theo hai tiêu chuẩn cũng khác nhau. Do vậy, khi tính toán cần thực hiện quy đổi vận tốc gió đo được theo Tiêu chuẩn Việt Nam sang vận tốc gió đo được theo Tiêu chuẩn châu Âu; và sử dụng đồng bộ các hệ số trong tính toán tải trọng gió của Tiêu chuẩn châu Âu. Để thuận tiện, nhóm tác giả đã thực hiện chuyển đổi vận tốc gió, cũng như thiết lập các bảng biểu cho toàn bộ các hệ số phục vụ cho tính tải trọng gió theo Tiêu chuẩn châu Âu trong [3].

Nhìn chung Tiêu chuẩn châu Âu xét đến nhiều trường hợp gió trên công trình, có nhiều phân vùng áp lực gió trên công trình, có nhiều dạng hệ số khí động cho các bộ phận khác nhau trên công trình, có nhiều yếu tố ảnh hưởng đến tải trọng gió lên công trình. Thông qua tính toán cho thấy nội lực do tải trọng gió theo Tiêu chuẩn châu Âu phân bố tương đối đồng đều trên khung, dù quá trình tính toán khá phức tạp, nên thấy rằng tính toán tải trọng gió theo tiêu chuẩn châu Âu là phù hợp đối với các công trình nhà công nghiệp tại Việt Nam, nhất là khi cần xét đến nhiều hơn các vấn đề liên quan đến tải trọng gió.

c. Tổ hợp tải trọng, tác động

Dưới tác dụng của các tải trọng, tác động nếu xét tất cả các trường hợp tổ hợp có thể thì sẽ có tới hàng trăm tổ hợp. Để thuận tiện cho việc tính toán, trên cơ sở các nguyên tắc tổ hợp tải trọng theo Tiêu chuẩn châu Âu, nhóm tác giả đề xuất các nhóm tổ hợp bất lợi cho khung gồm, [3]:

- Nhóm tổ hợp trạng thái ULS cho tính toán các điều kiện bền, ổn định;
- Nhóm tổ hợp trạng thái SLS cho kiểm tra độ võng xà;
- Nhóm tổ hợp trạng thái SLS cho kiểm tra chuyển vị ngang đỉnh cột;
- Nhóm tổ hợp trạng thái SLS cho kiểm tra chuyển vị ngang tại cao trình đỉnh ray.

2.2.2. Đối với Quy trình 2

Ngoại trừ chuyển vị ngang và độ lệch của chuyển vị ngang cho phép của cột tại cao trình đỉnh ray quy định trong EN 1993-

6; các giá trị giới hạn chuyển vị đỉnh cột, đỉnh xà không quy định cụ thể trong tiêu chuẩn chung châu Âu, do đó nhóm tác giả đã tham khảo một số tiêu chuẩn quốc gia châu Âu và khuyến nghị trong Phụ lục của [3].

2.2.3. Đối với quy trình 3 và Quy trình 4

Quy trình 3 và Quy trình 4 tính toán cột và xà. Đây là hai cấu kiện khác nhau trong khung nhưng sự làm việc và phương pháp tính toán là giống nhau (riêng đoạn xà ngang tiếp giáp cột nếu làm thành nách khung thì có phương pháp tính toán riêng). Đối với các quy trình này nhóm tác giả khuyến nghị như sau:

- Việc tính toán ổn định ngoài mặt phẳng khung theo Tiêu chuẩn châu Âu liên quan chặt chẽ đến bố trí hệ giằng để tạo điểm chống xoắn ngang. Đối với cánh ngoài của cột và xà ngang, vị trí xà gỗ đóng vai trò là điểm kiểm chế xoắn; còn đối với cánh trong của cột và xà thì cần dựa trên hình dạng của biểu đồ mô men để xác định các khu vực cột và xà có phần cánh trong bị nén - là khu vực có thể bị mất ổn định xoắn ngang, từ đó có giải pháp bố trí điểm kiểm chế tại khu vực này.

- Tiêu chuẩn châu Âu [7] đưa ra công thức xác định chiều dài tính toán của cột trong khung kể đến ảnh hưởng độ cứng của cột trên và cột dưới, dầm trên và dầm dưới bên trái, dầm trên và dầm dưới bên phải cột đang xét. Dựa trên công thức này, để thuận tiện cho tính toán khung thép nhà công nghiệp một tầng, tác giả xây dựng và khuyến nghị sử dụng công thức xác định chiều dài tính toán của cột khung thép nhà công nghiệp một tầng, một nhịp với trường hợp liên kết ngàm và liên kết khớp với móng như trong [3].

Sức trục Qh,nom (kN)	Nhịp Lk (m)	Chiều cao gabarit Hk(m)	Khoảng cách zmin (mm)	Bề rộng gabarit Bk (mm)	Bề rộng đáy Kk (mm)	Trọng lượng cầu trục G (kN)	Trọng lượng xe con GH (kN)	Áp lực đứng Pmax (kN)	Áp lực đứng Pmin (kN)
160	28	1140	180	5030	4200	151,8	13,01	118	37,9

Kích thước chính của khung ngang như Hình 3.

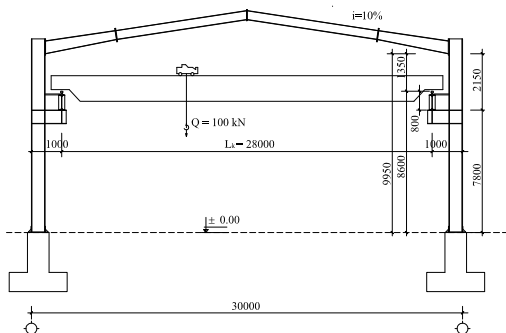
Toàn bộ các nội dung thực hiện của ví dụ trình bày chi tiết trong tài liệu [3]. Sau đây là các kết quả tính toán chính.

Cột, xà có tiết diện hình chữ I tổ hợp hàn. Đường hàn góc có chân dài 8 mm.

Cột tiết diện không đối kích thước: $h_c \times b_c \times t_{fc} \times t_{wc} = 600 \times 280 \times 20 \times 10$ mm.

Xà ngang tiết diện không đối kích thước: $h_x \times b_x \times t_{fx} \times t_{wx} = 450 \times 280 \times 16 \times 10$ mm.

Xà ngang tiết diện nách khung kích thước: $h_n \times b_n \times t_{fn} \times t_{wn} = 750 \times 280 \times 16 \times 10$ mm.



Hình 3. Các kích thước chính của khung ngang

Sau khi xác định được giá trị tiêu chuẩn của các tác động lên khung theo các tài liệu [4], [5] và [6], trong đó tải trọng gió quy đổi

2.2.4. Đối với Quy trình 5

Quy trình thiết kế các chi tiết liên kết khung được lập theo các tài liệu [8] và [10]. Khuyến nghị nên thường sử dụng các cặp sườn ngang đặt giữa phạm vi hai cánh của cột, tương ứng cao độ cánh kéo và cánh nén của xà để làm tăng cường đáng kể khả năng chịu mô men cho nút khung.

3. VÍ DỤ TÍNH TOÁN

Thiết kế cột của khung thép nhà công nghiệp một tầng, một nhịp theo tiêu chuẩn châu Âu Eurocode 3. Nhà có mặt bằng hình chữ nhật, chiều dài 90,0 m, mái dốc 2 phía đối xứng, độ dốc mái $i = 10\%$, cùng các số liệu sau:

Cao trình ray $H_1 = 8,6$ m; Độ sâu chôn móng $H_3 = 0,0$ m; Bước khung $B = 6,0$ m; Nhịp cầu trục $L_k = 28,0$ m; Sức trục danh nghĩa $Q = 160$ kN.

Nhà có hai cầu trục hoạt động, thuộc phân loại theo cấp cầu HC3. Vận tốc tải cầu ổn định 6 m/phút.

Địa điểm xây dựng Hà Nội. Địa hình dạng B. Giả định các công trình lân cận không ảnh hưởng đến công trình đang xét khi tính toán tải trọng gió. Các lớp bao che mái, tường bằng tôn chắn kín quanh nhà. Kích thước lỗ mở không xác định. Khoảng cách giữa các xà gỗ mái và xà gỗ tường là 1,5 m, chiều cao tiết diện xà gỗ 180 mm.

Thép có S235 có $f_y = 235$ MPa; $f_u = 360$ MPa cho toàn bộ các bộ phận khung.

Tra bảng Catalogue cầu trục có các thông số:

phù hợp điều kiện tại Việt Nam, tiến hành tổ hợp tải trọng cho khung gồm: Tổ hợp cho trạng thái ULS khi tính khung trong trường hợp bất lợi; Tổ hợp cho trạng thái SLS khi kiểm tra độ võng xà; Tổ hợp cho trạng thái SLS khi kiểm tra chuyển vị ngang đỉnh cột; Tổ hợp cho trạng thái SLS khi kiểm tra chuyển vị ngang đỉnh ray. Sơ đồ tính khung gồm các phần tử được mô phỏng theo kích thước thực của khung, liên kết cột - móng là liên kết ngàm, liên kết các phần tử trong khung là liên kết cứng. Chi tiết tải trọng tác dụng lên khung trình bày ở Chương 3, [3]; các tổ hợp cần xem xét phù hợp để xuất ở Mục 2.2, Chương 2, [3]; chi tiết nội lực, chuyển vị khung trong [3].

Phân loại tiết diện cột

Bản bụng cột phân loại tiết diện 2 dưới tác dụng của tổ hợp bất lợi Comb3, bản cánh cột phân loại 1, tổng thể tiết diện cột thuộc phân loại 2.

Kiểm tra điều kiện chuyển vị (SLS)

- Kiểm tra chuyển vị ngang đỉnh cột:

$$\Delta = 20,58 \text{ mm} < [\Delta] = H/300 = 9950/300 = 33,2 \text{ mm}, \text{ đảm bảo}$$

- Kiểm tra chuyển vị ngang tại cao trình đỉnh ray:

$$\Delta = 20,99 \text{ mm} < [\Delta] = H_1/400 = 8600/400 = 21,5 \text{ mm}, \text{ đảm bảo}$$

Kiểm tra điều kiện bền

- Kiểm tra bền cắt:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \left(\frac{f_y}{\sqrt{3}} \right)}{\gamma_{M0}} = \frac{6720 \times 235}{\sqrt{3} \times 1,0} = 911,7 \text{ kN} > V_{Ed} = 122,7 \text{ kN},$$

đảm bảo bền cắt.

- Kiểm tra bền uốn và cắt tương tác:

Do $0,5 \times V_{pl,Rd} = 455,9 \text{ kN} > V_{Ed} = 122,7 \text{ kN}$ và lực cắt nhỏ hơn 50% khả năng chịu cắt dẻo nên ảnh hưởng của lực cắt đến khả năng chịu mô men uốn có thể bỏ qua.

- Kiểm tra bền nén:

$$N_{c,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1,68 \times 10^4 \times 235}{1,0} = 3948 \text{ kN} > N_{Ed} = 496,6 \text{ kN}, \text{ đảm}$$

bảo bền nén.

- Kiểm tra bền uốn và nén tương tác:

Cột thuộc phân loại tiết diện 2 có

$$N_{Ed} \leq 0,25 N_{pl,Rd} = 0,25 \times 3948 = 987 \text{ kN}, \text{ và}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0,5 h_w t_w f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0,5 \times 560 \times 10 \times 235 \times 10^{-3}}{1,0} = 658 \text{ kN},$$

nên ảnh hưởng của lực dọc đến đến khả năng bền uốn có thể bỏ qua.

Cột được kiểm tra điều kiện ổn định tổng thể giữa các điểm kiểm tra chế oằn ngang. Khoảng cách giới hạn của xà gỗ để xà gỗ có thể tăng cường khả năng chịu oằn ngang của cột là $L_m = 2,379 \text{ m}$. Bố trí hệ giằng chống oằn ngang ở cánh trong của cột, chia cột thành hai đoạn: cột dưới có chiều dài 7,3m và cột trên có chiều dài 2,65m.

Kiểm tra ổn định tổng thể ngoài mặt phẳng cho đoạn cột dưới

- Kiểm tra ổn định uốn dọc:

$$N_{b,z,Rd} = \chi_z \frac{Af_y}{\gamma_{M1}} = 0,44 \frac{1,68 \times 10^4 \times 235}{1,0} \times 10^{-3} = 1748,0 \text{ kN} >$$

$N_{Ed} = 180,0 \text{ kN}$ đảm bảo ổn định uốn dọc.

- Kiểm tra ổn định xoắn ngang:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,741 \times 4,03 \times 10^6 \times \frac{235}{1,0} \times 10^{-6} = 701,9$$

$\text{kNm} > M_{Ed} = 479,4 \text{ kNm}$ đảm bảo ổn định xoắn ngang.

- Kiểm tra ổn định tương tác giữa lực dọc và mô men uốn:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{180,0}{1748,0} + 0,984 \times \frac{479,4}{701,9} = 0,76 < 1,0,$$

đảm bảo

Kiểm tra ổn định tổng thể ngoài mặt phẳng cho đoạn cột trên

- Kiểm tra ổn định uốn dọc:

$$N_{b,z,Rd} = \chi_z \frac{Af_y}{\gamma_{M1}} = 0,88 \frac{1,68 \times 10^4 \times 235}{1,0} \times 10^{-3} = 3484,8 \text{ kN} >$$

$N_{Ed} = 61,5 \text{ kN}$ đảm bảo ổn định uốn dọc.

- Kiểm tra ổn định xoắn ngang:

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}} = 0,931 \times 4,03 \times 10^6 \times \frac{235}{1,0} \times 10^{-6} = 882,2$$

$\text{kNm} > M_{Ed} = 237,5 \text{ kNm}$ đảm bảo ổn định xoắn ngang.

- Kiểm tra ổn định tương tác giữa lực dọc và mô men uốn:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,z,Rd}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{61,5}{3484,8} + 0,999 \times \frac{237,5}{882,2} = 0,29 < 1,0,$$

đảm bảo

Kiểm tra ổn định tổng thể trong mặt phẳng khung

- Kiểm tra khả năng ổn định uốn dọc:

$$N_{b,y,Rd} = \chi_y \frac{Af_y}{\gamma_{M1}} = 0,76 \frac{1,68 \times 10^4 \times 235}{1,0} \times 10^{-3} = 2994,1 \text{ kN} >$$

$N_{Ed} = 180,0 \text{ kN}$, đảm bảo điều kiện ổn định uốn dọc trên toàn bộ chiều cao cột.

- Kiểm tra ổn định tương tác giữa lực dọc và mô men uốn:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{180}{2994,1} + 0,50 \times \frac{479,4}{701,9} = 0,402 < 1,0,$$

đảm bảo.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Bài báo đã trình bày tổng quan về hệ thống Tiêu chuẩn châu Âu trong tính toán kết cấu công trình, trong đó có các Tiêu chuẩn châu Âu sử dụng trong thiết kế kết cấu khung nhà thép EN 1993-1, đồng thời thiết lập quy trình thiết kế kết cấu khung thép nhà công nghiệp một tầng, một nhịp, đưa ra các khuyến nghị cần thiết và thực hiện ví dụ tính toán cấu kiện cột khung điển hình để minh họa cho lý thuyết tính toán.

Tiêu chuẩn châu Âu là hệ thống tiêu chuẩn đồ sộ và chi tiết, từ vật liệu, đến tải trọng, phương pháp tổ hợp tải trọng, phương pháp phân tích khung, phương pháp tính toán các cấu kiện chịu lực, tính toán liên kết, v.v.. Có thể nói hệ tiêu chuẩn này tiên tiến và giải quyết được hầu hết các vấn đề thường gặp đối với kết cấu chính, kết cấu phụ trong khung. Tuy nhiên việc sử dụng tiêu chuẩn cũng khá phức tạp, khối lượng tính toán nhiều, đòi hỏi người dùng ngoài kỹ năng tính toán còn cần những kiến thức sâu rộng về cơ học và kết cấu thép. Do đó quy trình và các kiến nghị trong bài báo này sẽ giúp ích cho các kỹ sư Việt Nam khi sử dụng Tiêu chuẩn châu Âu trong tính toán, thiết kế kết cấu khung thép nhà công nghiệp một tầng, một nhịp.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Hồng Sơn, Võ Thanh Lương, Nguyễn Lệ Thủy, Kết cấu thép thiết kế theo Tiêu chuẩn châu Âu (2019), Nhà xuất bản Xây dựng, Hà Nội;
2. Lê Dũng Bảo Trung, Đề xuất điều chỉnh, bổ sung tải trọng và tác động lên kết cấu nhà công nghiệp theo tiêu chuẩn TCVN 2737-1995 có tham khảo tiêu chuẩn châu Âu EN 1991, Kỷ yếu Hội thảo khoa học quốc tế về Kiến trúc và Xây dựng (2019), Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội;
3. Lê Dũng Bảo Trung, Nguyễn Hồng Sơn, Nghiên cứu xây dựng quy trình thiết kế kết cấu khung thép nhà công nghiệp một tầng theo Tiêu chuẩn châu Âu Eurocode 3 (2020), Dự thảo đề tài nghiên cứu khoa học cấp Trường, Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội;
4. EN 1991-1-1: General actions - Densities, self-weight, imposed loads for building (2002), European Standard;
5. EN 1991-3: Actions on structures (2006): Actions induced by cranes and machinery;
6. EN 1991-1-4: Actions on structures - Wind actions (2010), European Standard;
7. EN 1993-1-1: Eurocode 3: Design of steel structures - Part 1-1: General rules and rules for buildings (2005), European Standard;
8. EN 1993-1-8: Eurocode 3: Design of steel structure - Part 1-8: Design of joints (2005), European Standard;
9. Elastic Design of Single-Span Steel Portal Frame Buildings to Eurocode 3 (2012), The Steel Construction Institute (SCI) of UK, P397;
10. Joints in steel construction Moment-Resisting Joints to Eurocode 3 (2013), The Steel Construction Institute (SCI) of UK, P398.