

MỞ ĐẦU

1. Tính cấp thiết của đề tài

Kết cấu thép đã và đang ngày càng trở nên phổ biến trong lĩnh vực xây dựng cả ở Việt Nam và thế giới. Nhờ những ưu điểm như: dễ chế tạo, độ bền cao, khả năng vượt nhịp lớn, giá thành hợp lý... kết cấu thép đặc biệt được ưa thích trong các công trình dân dụng và công nghiệp; các nhà xưởng, nhà thi đấu thể thao...

Hiện nay việc kiểm tra, đánh giá mức độ ảnh hưởng của các sai số chế tạo và lắp đặt của các bộ phận kết cấu của công trình ở Việt Nam vẫn thường tiến hành theo những phương pháp thông dụng như quan sát bằng mắt các bộ phận kết cấu của công trình để phát hiện ra những hư hỏng như gì, nứt... Các quan sát dạng này chỉ có thể phát hiện được những hỏng hóc, khuyết tật dạng trực quan, chứ không thể phát hiện và lượng hóa được các khuyết tật bên trong như: độ võng, ứng suất trước; sự lỏng liên kết bu lông... Mà trong rất nhiều trường hợp công trình bị rung lắc, bị phá hủy lại chính bởi các nguyên nhân này.

Khi thiết kế cột thép, nhất là đối với công trình dạng nhà công nghiệp, các sai số chế tạo và lắp dựng luôn tồn tại. Khi các sai số này nhỏ, chúng thường không ảnh hưởng đến kết quả nội lực và chuyển vị của kết cấu. Nhưng khi sai số đủ lớn (cột bị ngắn; đoạn kèo bị vênh....), khi đó trong kết cấu sẽ xuất hiện các "Ứng suất trước". Các "Ứng suất trước" này có thể cùng chiều với ứng suất do tải trọng ngoài gây ra và sẽ gây hiệu ứng nguy hiểm, mất kiểm soát của kết cấu. Trong thực tế có nhiều trường hợp xảy ra các sự cố mất an toàn hay công trình kém chất lượng là do bị phá hoại bởi chính các sai số lắp đặt này. Tuy nhiên việc định lượng mức độ ảnh hưởng của sai số chế tạo là bài toán khó và đến nay còn ít được đề cập, nghiên cứu, các tài liệu về thiết

kết cấu thép nhà công nghiệp cũng đều chưa thấy đề cập sâu đến nội dung trên.

Do vậy, đề tài “*Xét ảnh hưởng của sai số lắp dựng đến nội lực và chuyển vị của kết cấu thép nhà công nghiệp*” là nội dung nghiên cứu cần thiết, có ý nghĩa khoa học và ý nghĩa thực tiễn.

2. Mục tiêu và nhiệm vụ của đề tài

Đề tài sẽ tập trung nghiên cứu các nguyên nhân dẫn đến sai số lắp dựng của công trình kết cấu thép nhà công nghiệp. Đánh giá mức độ ảnh hưởng của sai số lắp dựng giữa các bộ phận kết cấu nhà thép dạng khung Zamil. Xác định về định tính và định lượng mức độ ảnh hưởng của chúng đến nội lực và chuyển vị của kết cấu thép nhà công nghiệp. Qua đó đề xuất một số giải pháp, kiến nghị của các thiết kế kết cấu tương tự.

3. Phạm vi và phương pháp nghiên cứu

Luận văn sẽ nghiên cứu việc tính toán thiết kế kết cấu thép nhà công nghiệp nói chung và nhà thép dạng khung Zamil nói riêng. Nghiên cứu về nguyên nhân, về các ảnh hưởng có thể có của sai số lắp dựng đến chuyển vị, nội lực và độ bền kết cấu. Đề xuất phương pháp và thuật toán để lượng hóa việc đánh giá các ảnh hưởng của sai số lắp dựng đến độ bền kết cấu.

Luận văn cũng sẽ sử dụng phần mềm chuyên dụng Vn3DNC, để thực hiện bài toán thử nghiệm số, tính toán thiết kế kết cấu thép trên một công trình thực với các mức độ sai số chuyển dịch thẳng và xoay khác nhau do yếu tố lắp dựng. Từ đó đánh giá mức độ an toàn của thiết kế hiện hữu và có các khuyến nghị cho các dạng kết cấu tương tự.

4. Cấu trúc của luận văn

Chương 1: Tổng quan về kết cấu thép nhà công nghiệp.

Chương 2: Mức độ ảnh hưởng của sai số lắp dựng đến nội lực và chuyển vị của kết cấu thép nhà công nghiệp.

Chương 3: Thử nghiệm số.

Kết luận và khuyến nghị.

CHƯƠNG 1

TỔNG QUAN VỀ KẾT CẤU THÉP NHÀ CÔNG NGHIỆP

1.1. Kết cấu thép và kết cấu khung thép nhà công nghiệp

1.1.1. Sự phát triển của nhà công nghiệp kết cấu thép

a. Lịch sử phát triển nhà kết cấu thép

Nhà thép là một dạng kết cấu đã và đang được sử dụng rất nhiều trên thế giới và Việt Nam. Với ưu điểm: lắp dựng nhanh, không gian vượt nhịp lớn, giá thành hạ và khi cần có thể tháo dỡ, di dời đi nơi khác, nhà thép luôn tỏ rõ ưu thế trong các công trình đòi hỏi cao về không gian sử dụng, về khả năng vượt nhịp cũng như các yêu cầu khác về giá thành, về thời gian lắp dựng...

- Toà nhà đầu tiên sử dụng kết cấu khung thép là Ditherington Lanh Mill được xây dựng tại Shrewsbury, Anh, vào năm 1796. Trước đó 3 năm có một công trình được sử dụng các cột bằng gang để thay thế cho kết cấu gỗ thông thường trong một nhà máy sản xuất sợi bông ở Derby. Trong thời gian này các vụ hỏa hoạn thường tàn phá các nhà máy sợi bông ở Anh đã thúc đẩy các nhà xây dựng tìm kiếm giải pháp thay thế. Khi khả năng chống cháy của kim loại được chứng minh thì kết cấu thép làm bằng sắt và gang dần được phổ biến.

- Ở giữa thế kỷ XIX, tòa nhà Cooper Union ở thành phố New York là tòa nhà đầu tiên sử dụng dầm thép cán nóng. Vào năm 1889, Rand McNally Xây dựng ở Chicago đã trở thành tòa nhà chọc trời đầu tiên sử dụng thép cho tất cả các khung. 2 tòa nhà kim loại đúc sẵn đầu tiên xuất hiện tại cùng một thời điểm.

- Trong hai thập kỷ đầu tiên của thế kỷ XX, các công trình kết cấu thép đầu tiên dùng để làm nhà để xe. Được thành lập vào năm 1901, Công ty

Butler đã phát triển các nhà tiền chế đầu tiên của mình vào năm 1909 để làm các nhà để xe là công trình thép phổ biến, nhà có dạng cong, Hệ khung làm bằng các thanh gỗ phủ bằng tấm kim loại có sóng. Để cải thiện khả năng chịu lửa của các tòa nhà này, cuối cùng họ đã chuyển cả hệ kết cấu sử dụng hoàn toàn là kim loại được lợp với tôn thép tấm có dạng cong. Kết cấu dạng cong đã được các kiến trúc sư sử dụng ở rất nhiều các công trình tiền chế khác. Năm 1917, Công ty Austin Company of Cleveland, Ohio, đã cho ra 10 mẫu thiết kế nhà xưởng để khách hàng lựa chọn. Các khung được làm bằng kim loại gồm các cột thép và kèo mái dạng dàn đã được thiết kế chi tiết trước khi bàn giao đến khách hàng. Các tòa nhà Austin thực sự là khởi đầu của những gì sau này được gọi là “nhà tiền chế”, với ý tưởng mới mẻ này đã cho phép các nhà tiền chế đã đến tay khách hàng sớm hơn vài tuần lễ, vì không mất thời gian cho việc thiết kế. Trong những năm 1920, công ty Liberty Steel Products Company of Chicago đã cung cấp ra thị trường Mỹ các nhà xưởng tiền chế có thể lắp dựng nhanh chóng “với chỉ 10 công nhân, dùng các công cụ bình thường, như là cờ lê, mỏ lết... đã lắp dựng xong tòa nhà trong vòng 20 giờ.”

- Vào thời điểm đó, vật liệu thép trở thành một đối thủ cạnh tranh đối với các loại vật liệu xây dựng khác. Ấn bản đầu tiên về tiêu chuẩn kỹ thuật cho thiết kế, chế tạo và lắp dựng công trình kết cấu thép “Standard Specification for the Design, Fabrication and Erection of Structural Steel for Buildings” được xuất bản bởi Viện nghiên cứu Thép xây dựng Hoa Kỳ (AISC) “American Institute of Steel Construction” vừa mới được thành lập năm 1923.

- Một số công ty chế tạo nhà thép được hình thành vào những năm 1920 và 1930 để đáp ứng nhu cầu của ngành công nghiệp dầu mỏ bằng cách làm các nhà xưởng để bảo quản thiết bị; một số công ty cũng sản xuất các nhà trang trại. Ví dụ, Star Building Systems được thành lập vào năm 1927 để đáp

ứng nhu cầu khoan dầu trong sự bùng nổ dầu Oklahoma. Những tòa nhà bằng kim loại ban đầu có kích thước mặt bằng là khá nhỏ từ 8 x 10 ft (2.4 x 3m) hoặc 12 x 14 ft (3.6 x 4.2m) và kết cấu khung bao gồm giàn vì kèo nằm trên các cột rỗng. Các tấm tường điển hình thường có kích thước 8 x 12 ft (2.4 x 3.6m) và kéo dài theo chiều dọc nhà đã được sử dụng, chúng được tạo sóng, mạ kẽm và được liên kết bằng với khung thép bằng đinh tán.

- Ý nghĩa tiêu cực của thuật ngữ “nhà tiền chế” được củng cố sau khi chiến tranh kết thúc và thế hệ tiếp theo của các tòa nhà bằng kim loại ra đời. Sự bùng nổ kinh tế sau chiến tranh cần nhiều không gian nhà máy hơn để đáp ứng nhu cầu bị dồn nén cho các sản phẩm tiêu dùng. Ngành công nghiệp tấm kim loại lớn, được tổ chức tốt và hiệu quả nhanh chóng sản xuất ra hàng loạt phục vụ các nhà máy đóng tàu tại California Kaiser, góp phần làm cho việc thi công nhà máy trở nên nhanh chóng. Và tiêu chí đối với nhà tiền chế là xây dựng nhanh chóng và chi phí thấp, chứ không phải là thẩm mỹ.

b. Ứng dụng nhà thép tại Việt Nam

Hiện ở Việt Nam cũng đã có rất nhiều nhà xưởng chế tạo nhà tiền chế. Nhưng trước đây ở Việt Nam chỉ dùng kết cấu dàn thường là vì kèo tam giác, gọi là khung Tiệp. Sau khi mở cửa cho nước ngoài vào, thì Zamil - đã lần đầu tiên đưa khung nhà bằng thép tấm cắt hàn này vào nên các kỹ sư xây dựng Việt Nam quen gọi nó là khung Zamil. Thực tế Zamil Steel chỉ là một công ty chuyên làm nhà thép tiền chế, chứ Zamil không phải là cơ quan đặt ra tiêu chuẩn do đó tên gọi khung Zamil là không chính xác mà cần phải gọi là khung (thép) tiền chế (Pre-engineering Building-PEB).

Tại Việt Nam, lúc đầu Zamil Steel còn nhập luôn cả khung đã chế sẵn từ Thailand hay Trung Đông vào, nhưng sau đã lập nhà máy (thông qua pháp nhân thầu phụ nội địa) để sản xuất tại Việt Nam. Đến nay hầu hết các khung nhà xưởng đều dùng dạng khung này.

c. Xu hướng phát triển và ứng dụng nhà thép ở Việt Nam

Trong giai đoạn công nghiệp hoá và hiện đại hóa đất nước hiện nay kết cấu thép đã và đang được sử dụng rộng rãi. Nhờ các ưu điểm vượt trội như thi công nhanh, có thể tháo lắp di dời, giá thành hợp lý... kết cấu thép rất được ưa chuộng trong các thiết kế nhà dân dụng và công nghiệp nói chung, nhà công nghiệp nói riêng.

Giá thành kết cấu luôn là một trong những mối quan tâm lớn trong xây dựng nhà công nghiệp bằng thép cũng như mọi kết cấu thép dân dụng và công nghiệp khác. Cùng với tiến bộ khoa học và công nghệ, lý thuyết và phương pháp tính dùng trong thiết kế kết cấu thép đã và đang được nghiên cứu, phát triển và hoàn thiện mạnh mẽ. Trong kết cấu thép hiện đại, sự phân bố vật liệu rất gần với trạng thái làm việc tối ưu và kinh tế. Với những phương án thiết kế mới và công nghệ chế tạo tiên tiến, các cấu kiện cơ bản như kèo, cột được chế tạo với chất lượng cao và có trọng lượng nhỏ hơn.

1.1.2. Các dạng kết cấu nhà thép

Cho đến nay kết cấu nhà thép về cơ bản có các dạng kết cấu sau:

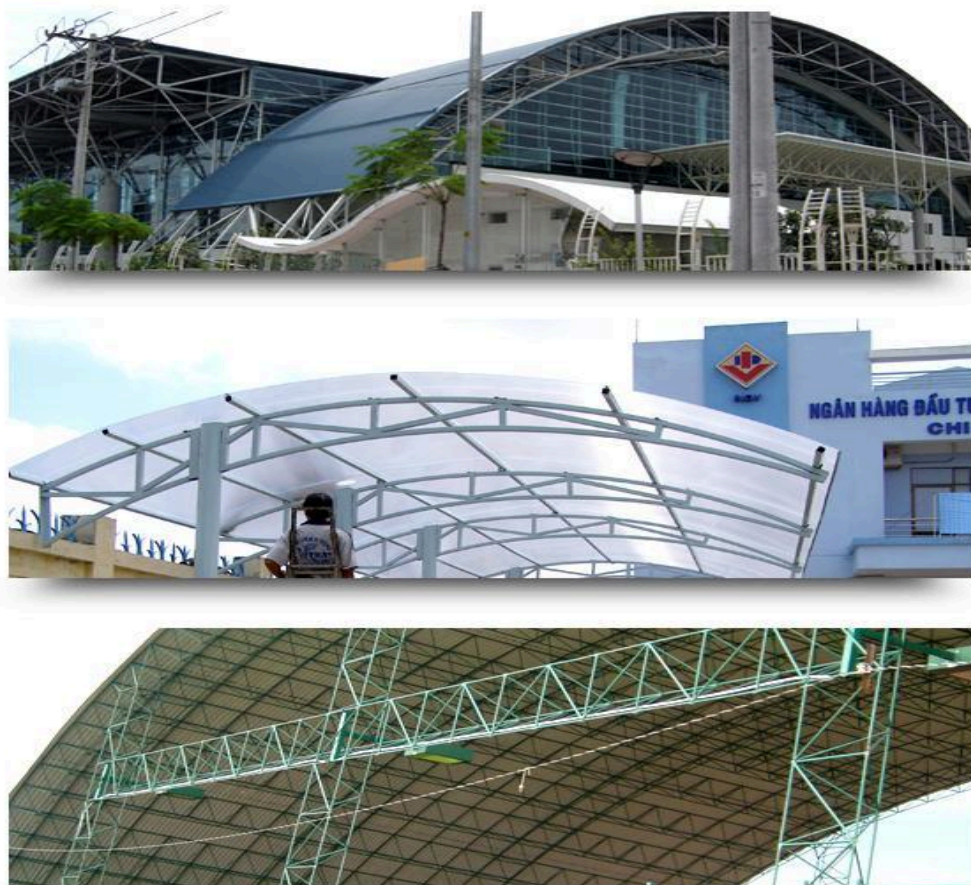
a. Dạng dàn kèo truyền thống (hoặc kèo Tiệp):



Hình 1.1. Nhà công nghiệp dạng dàn kèo thép.

Đây là dạng kết cấu đỡ mái gồm các thanh ngang, thanh đứng và thanh xiên. Đa số làm việc theo sơ đồ tĩnh định, kèo thường được thiết kế để đặt trên các gối tựa di động hoặc cố định (trên các đỉnh cột bê tông cốt thép hoặc cột gạch). Kết cấu dàn kèo có ưu điểm là gọn nhẹ, dễ chế tạo, dễ tính toán thiết kế, có khả năng vượt nhịp tương đối tốt (có thể lên đến $15 \div 20\text{m}$). Nhược điểm là số lượng thanh lớn, tiết diện thanh nhỏ nên khó kiểm soát về chất lượng thanh, khó trong bảo dưỡng, bảo trì nên tuổi thọ công trình thường không cao.

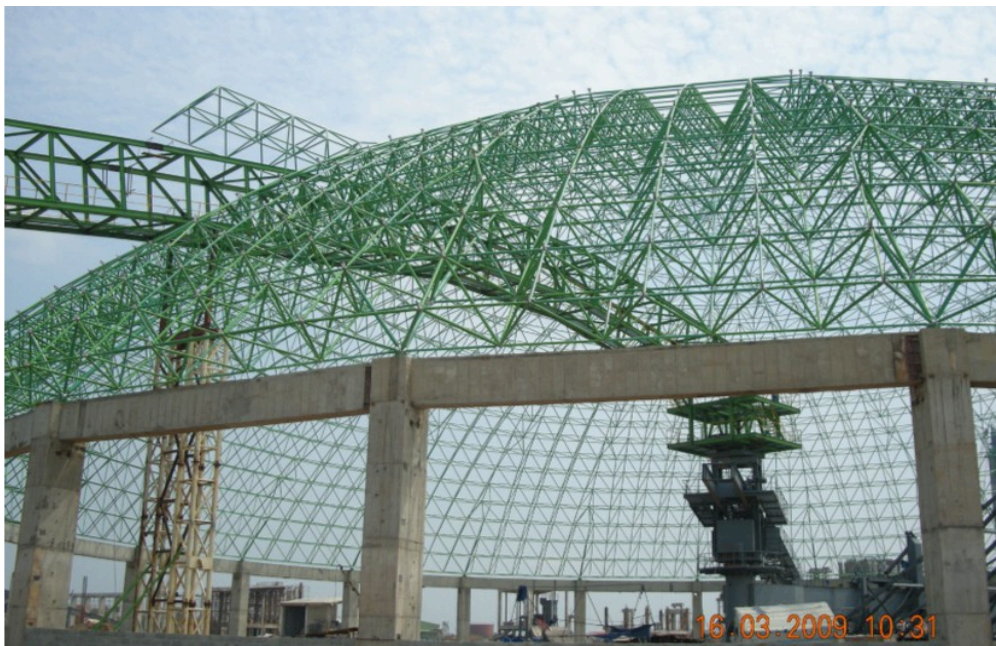
Dạng dàn kèo này, hiện nay nhờ sự tiến bộ của khoa học kỹ thuật và công nghệ cũng đã xuất hiện thêm một số biến thể, cải tiến, giúp tiết kiệm và có hình dáng thanh mảnh, phù hợp hơn như trên hình 1.2.



Hình 1.2 Nhà công nghiệp dạng dàn kèo thép.

b. Dạng kết cấu dàn tinh thể:

Đây cũng là dạng kết cấu thép hiện đại, các thanh dàn cơ bản chỉ chịu kéo nén, được liên kết với nhau thông qua nút cầu (bằng thép đúc). Kết cấu dạng này có thể tạo nên những công trình có hình dáng đẹp, thanh mảnh, vượt nhịp rất lớn (có thể đến trên 100 m), rất thích hợp cho các công trình công cộng cần không gian rộng như nhà thi đấu, rạp hát, bể bơi có mái che...

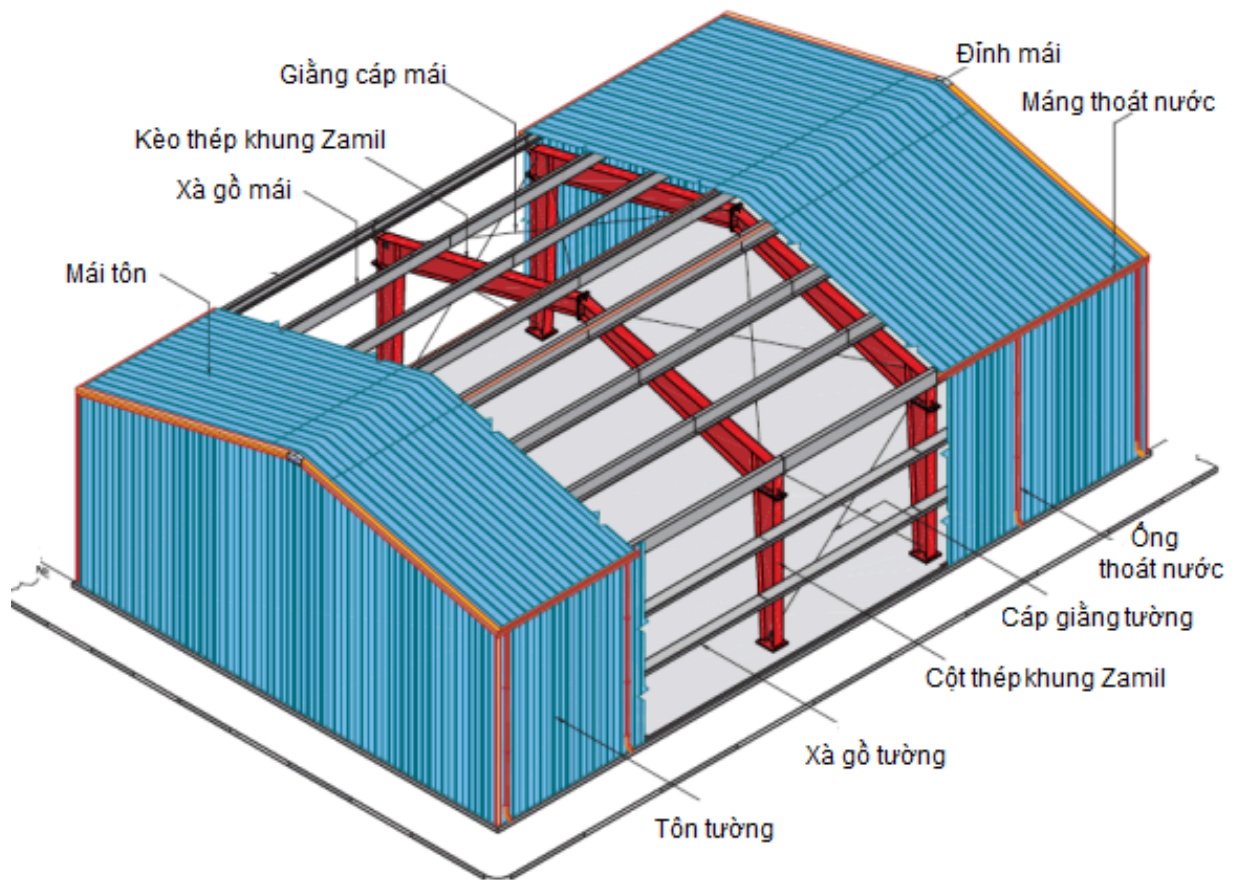




Hình 1.3. Nhà công nghiệp dạng dàn tinh thể.

c. Dạng khung thép tiền chế (khung Zamil):

Nhà công nghiệp bằng thép được sử dụng rộng rãi trong các công trình công nghiệp. Để tạo nên kết cấu của nhà có thể dùng vật liệu thép hoặc bê tông cốt thép. Khi dùng cột bê tông, vì kèo bằng thép thì kết cấu khung gọi là kết cấu khung liên hợp. Khi dùng tất cả các cấu kiện bằng thép thì gọi là khung toàn thép. Mặt khác do ưu điểm của vật liệu thép, nên kết cấu khung thép còn được sử dụng để làm các loại nhà công nghiệp thông dụng. Trong nhà công nghiệp, yếu tố ảnh hưởng lớn nhất đến sự làm việc của kết cấu là cầu trục. Tải trọng của cầu trục là tải trọng động, lặp dễ làm cho kết cấu bị phá hoại do hiện tượng mỏi. Có thể phân loại nhà xưởng theo bốn chế độ làm việc của cầu trục: nhà có cầu trục chế độ làm việc nhẹ, trung bình, nặng và rất nặng.



Hình 1.4. Các bộ phận chính của một nhà thép tiền chế điển hình.

Kết cấu nhà công nghiệp có hình thức đa dạng, nhịp nhà có thể từ 30 ÷ 60m, bước cột từ 12 ÷ 48m, chiều cao có thể đến 40m.

Diện tích các nhà xưởng cũng đã và đang ngày càng mở rộng, các nhà xưởng 5.000 m², 10.000m² và hơn nữa, xuất hiện ngày càng nhiều. Với các nhà xưởng diện tích lớn, vượt nhịp xa, kết cấu thép dạng dàn kèo và dạng dàn tinh thể tỏ ra không có nhiều ưu thế. Do vậy, đến nay các kết cấu nhà công nghiệp hầu hết đều sử dụng dạng kết cấu khung thép (còn gọi là khung Zamil). Kết cấu một khung Zamil điển hình được thể hiện như trên hình 1.4.

Khi xây dựng nhà công nghiệp luôn đòi hỏi rất cao về chất lượng, khối lượng và thời gian thi công, khi đó các ưu điểm của khung thép chế thức lại càng tỏ ra vượt trội. Đến nay, hầu hết các nhà công nghiệp thuộc dạng nhà xưởng, kho, mái che bãi vật liệu... đều được thiết kế kết cấu dạng khung thép

ché thức (khung Zamil). Do vậy trong luận văn này phân nghiên cứu cũng tập trung chủ yếu vào kết cấu khung thép tiền chế.



Hình 1.5. Trung tâm hội nghị Quốc gia có dạng khung thép công.



Hình 1.6. Khung thép nhà tiền chế Zamil điển hình đang thi công.

Trên đây là các giới thiệu sơ bộ về một dạng nhà công nghiệp được sử dụng rất rộng rãi ở Việt Nam. Các cấu kiện dầm, cột hầu hết được thiết kế với tiết diện chữ I. Phần sàn tầng trung gian có thể nằm ở một phần nhà hay toàn bộ nhà, tùy thuộc vào công năng sử dụng của công trình. Toàn bộ các cấu kiện, bộ phận đều được thiết kế và sản xuất đồng bộ tại nhà xưởng, rồi đem ra lắp dựng ngoài công trường, để tạo ra một công trình hoàn chỉnh.

Ngày nay cả ba dạng kết cấu trên vẫn đã và đang được sử dụng rộng rãi. Mỗi kết cấu lại có ưu nhược điểm riêng, tùy thuộc quy mô công trình, mục đích sử dụng, mức độ đầu tư... người ta lại có thể lựa chọn dạng kết cấu cho thích hợp và hiệu quả.

1.1.3. Ưu, nhược điểm của nhà công nghiệp kết cấu khung thép

+Ưu điểm của nhà khung thép

- Nhà thép có thể vượt được nhịp lớn mà các kết cấu khác khó có thể thực hiện được. trong khi với các vật liệu Gỗ, BTCT... việc vượt nhịp 30m là rất khó khăn, thì đối với kết cấu thép điều này là tương đối đơn giản và dễ dàng.
- Thời gian thi công nhanh: với công trình nhà thép tiền chế, người ta có thể hoàn thành công trình chỉ trong vòng 03 tháng, trong khi nếu sử dụng loại kết cấu khác thì thời gian thi công như trên mới chỉ thực hiện một phần nhỏ kết cấu.
- Giảm chi phí xây dựng do tận dụng được tính năng cơ lý cao của thép. Sử dụng ít năng lượng phục vụ thi công, sử dụng ít nước, chi phí vận chuyển, nhân công.
- Giảm các phát thải ra môi trường như bụi, nước thải.
- Sử dụng ít khối lượng vật liệu hơn các kết cấu truyền thống như khối xây hay bê tông.

Ngoài ra, thép còn một số ưu điểm nổi bật khác, mà rất ít loại vật liệu khác có thể đạt được đó là:

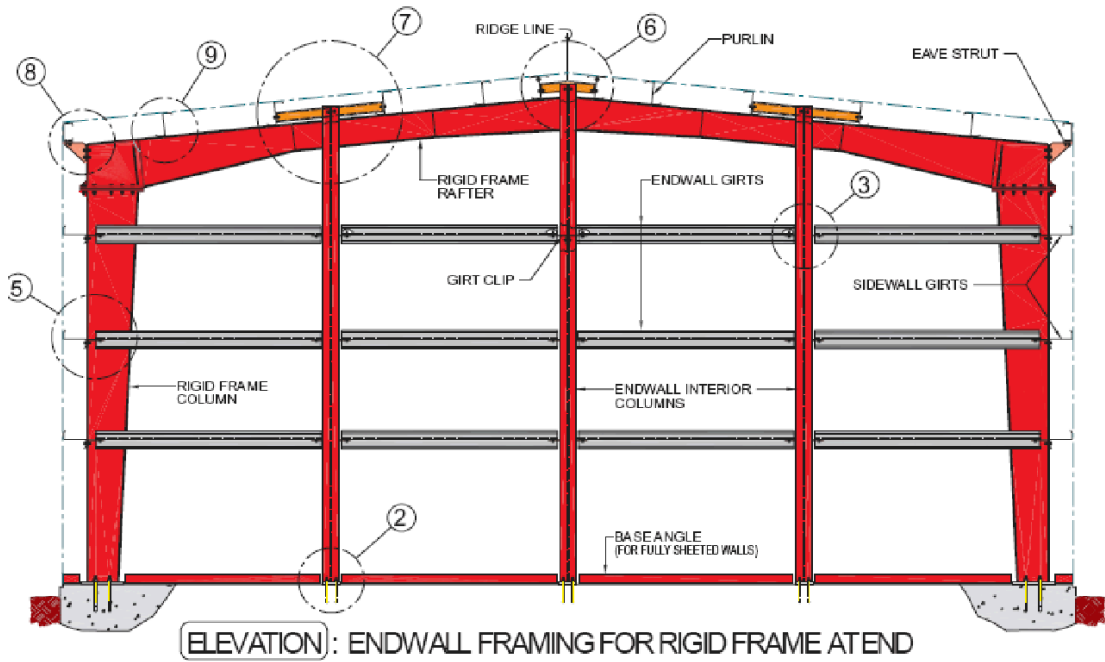
- Độ tin cậy và khả năng chịu lực cao: Độ tin cậy cao là do cấu trúc thuần nhất của thép. Sự làm việc đàn hồi và dẻo của vật liệu thép gần sát nhất với các giả thiết tính toán.
- Trọng lượng nhẹ: thép là một trong các kết cấu nhẹ nhất trong số các vật liệu thông thường nếu để cùng một mức độ chịu lực (gỗ, đá, bê tông đều không đạt được). Để đánh giá phẩm chất “nhẹ” của một vật liệu, người ta thường dùng hệ số c là tỷ số giữa trọng lượng riêng và cường độ tính toán của nó.
- Tính công nghiệp hóa cao: Do sự sản xuất vật liệu (thép cán) hoàn toàn trong các nhà máy luyện kim, và sự chế tạo kết cấu thép được làm chủ yếu trong các nhà máy chuyên ngành. Kết cấu thép thích hợp nhất với điều kiện xây dựng công nghiệp hóa.
- Tính cơ động trong vận chuyển, lắp ráp: Do trọng lượng nhẹ, độ cứng lớn nên việc vận chuyển và lắp ráp kết cấu thép dễ dàng và nhanh chóng. Kết cấu thép dễ sửa chữa, thay thế, tháo gỡ, di chuyển. Điều này đặc biệt quan trọng khi cần cải tạo các cơ sở sản xuất cho phù hợp với dây chuyền công nghệ mới, các công trình phải di chuyển khi cần thiết, hoặc dễ khôi phục sửa chữa như cầu, nhà tạm, nhà xưởng...

+Nhược điểm của kết cấu khung thép

- Nhà thép thường được thiết kế tối ưu để tiết kiệm chi phí do đó mức độ dự trữ cường độ trong các kết cấu là không nhiều dẫn đến kết cấu khó bền vững khi bị quá tải.
- Kết cấu thép có khả năng chống cháy tốt hơn gỗ, tuy nhiên khi bị hỏa hoạn thì kết cấu thép thường bị suy giảm khả năng chịu lực và sụp đổ.
- Thép dễ bị han rỉ, nên thường phải bảo dưỡng, bảo trì thường xuyên.

- Trong quá trình vận chuyển nếu không đúng cách có thể làm hỏng kết cấu thép do các cấu kiện thường chịu lực ngoài mặt phẳng là kém hơn.

1.1.4. Các bộ phận chịu lực chính của khung thép Zamil



Hình 1.7. Kết cấu điển hình của khung Zamil.

Đặc điểm của khung Zamil là các cấu kiện khung (kèo, cột) đều được chế thức sẵn tại nhà xưởng, sau đó mới được vận chuyển và lắp dựng tại công trường. Khi cần vượt nhịp lớn, kèo có thể được chế tạo thành các phân đoạn; khi cột có chiều cao lớn cũng có thể được chế tạo thành các phân đoạn. Các liên kết trong khung Zamil cơ bản đều là liên kết bu lông. Do các cấu kiện đều được chế tạo sẵn tại nhà xưởng nên về chất lượng, kiểu dáng của mỗi cấu kiện đều có thể được thiết kế và tính toán một cách hợp lý nhất (tối ưu), công tác kiểm soát chất lượng cũng tốt hơn. Việc chế tạo cũng có thể được chuẩn bị trước khi khởi công, thậm chí được chế tạo từ nhiều nhà xưởng khác nhau, do vậy thời gian xây dựng công trình có thể được rút ngắn rất đáng kể (thậm chí chỉ trong một vài tuần có thể hoàn thành một công trình nhà thép tiền chế).

Các khung thép tiền chế thường được thiết kế tương tự nhau (để dễ lắp dựng), khi đưa ra công trình chúng được liên kết với nhau bởi các thanh xà gồ, các thanh giằng mái và các thanh giằng tường. Do đặc điểm này, các khung thép tiền chế thường khá độc lập nhau, và hoàn toàn có thể tính toán theo mô hình khung phẳng.

Móng cho các khung nhà công nghiệp thường được thiết kế dưới dạng móng đơn hoặc móng băng giao nhau. Nếu là móng đơn thì thường có các giằng móng. Móng thường được chế tạo bằng vật liệu BTCT, khi chế tạo móng, các bu lông móng được chôn sẵn trong bê tông và có phần đầu chờ nhô lên để sau này liên kết với chân cột thép.

Khi xây dựng nhà công nghiệp luôn đòi hỏi rất cao về chất lượng và thời gian thi công, khi đó các ưu điểm của khung thép tiền chế lại càng tỏ ra vượt trội. Đến nay, hầu hết các nhà công nghiệp thuộc dạng nhà xưởng, kho, mái che bãi vật liệu... đều được thiết kế kết cấu dạng khung thép chế thức. Do vậy, trong luận văn này phân nghiên cứu, đánh giá cũng tập trung chủ yếu vào kết cấu khung thép tiền chế.

1.2. Bài toán lắp dựng và các sai số trong lắp dựng

1.2.1. Trình tự gia công và lắp dựng khung thép nhà công nghiệp

Lắp dựng là bước cuối cùng trong quy trình xây dựng nhà thép tiền chế và kết cấu thép. Ở bước này, toàn bộ các cấu kiện sẽ được lắp dựng tại công trường và kết nối với nhau bằng bu lông. Sau khi có thiết kế chi tiết, được chủ đầu tư phê duyệt, được xác nhận thẩm tra và thẩm định, các khung thép thường tuân thủ các quy trình gia công, chế tạo và lắp dựng như sau:

a) Giai đoạn chế tạo và chuẩn bị hiện trường

- ***Giai đoạn chế tạo các cấu kiện trong nhà xưởng:***

+ Chuẩn bị vật tư, trang thiết bị: các vật tư chính (chủ yếu là sắt thép các loại, thép tấm, thép hình...) được nhập và chuẩn bị theo yêu cầu bóc tách từ bản thiết kế kỹ thuật thi công.

+ Gia công chế tạo theo các cấu kiện: mỗi tổ sản xuất trong nhà xưởng được giao sản xuất một hoặc vài loại cấu kiện cụ thể. Số lượng và quy cách của từng cấu kiện được thể lấy từ bản vẽ thiết kế thi công.

+ Kiểm tra, đánh giá: Các cấu kiện được bộ phận kỹ thuật của nhà thầu, của đơn vị thiết kế và của Chủ đầu tư kiểm soát chặt chẽ và thường xuyên. Mọi sự thay đổi về kích cỡ, chủng loại vật tư bất kỳ tại vị trí nào đều phải được sự đồng ý của Chủ đầu tư, đơn vị thiết kế được xác nhận bằng văn bản.

+ Làm sạch và chống rỉ: mọi cấu kiện sắt thép của nhà thép Zamil đều phải được thực hiện các biện pháp chống rỉ theo đúng quy trình và yêu cầu kỹ thuật chặt chẽ. Thông thường các xà gồ được chống rỉ bằng hình thức mạ; cấu kiện kèo và cột được sơn 03 lớp độ dày từ 200 đến 500 μm ; tôn lợp được chống rỉ bằng sơn, mạ... và được đảm bảo từ nhà sản xuất.

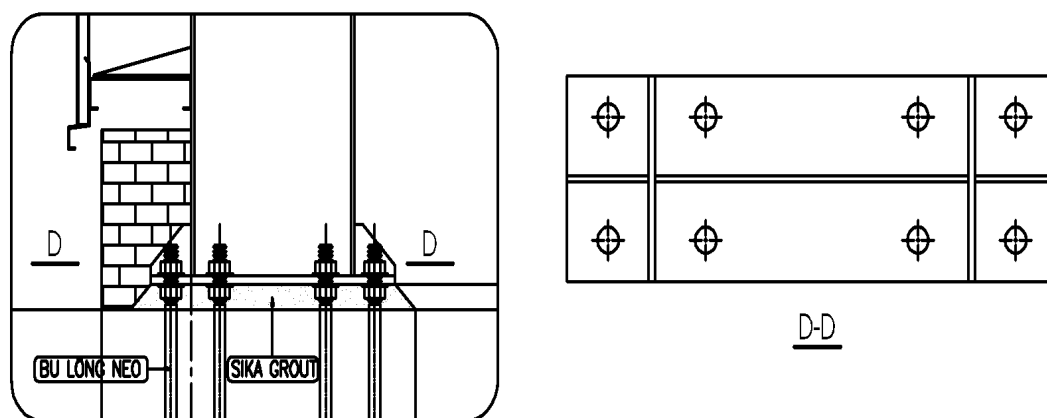
+ Chế tạo các phụ kiện: các phụ kiện của nhà khung Zamil gồm nhiều loại và chúng thường được các nhà cung ứng có uy tín đảm nhận việc gia công chế tạo sẵn. Các phụ kiện thông dụng nhất gồm: bu lông các loại; cáp, tăng đơ; phụ kiện thoát nước; phụ kiện tôn mái...

● **Các công việc tại hiện trường:**

+ Chuẩn bị mặt bằng xây dựng;

+ Thi công phần móng: Thông thường việc thi công móng phải bắt đầu trước nhất. Các công việc thi công móng tuy không quá phức tạp nhưng là công tác tại hiện trường nên dễ có phát sinh, rủi ro... thời gian tiến hành đào móng, đổ bê tông móng... cũng khá mất thời gian (thông thường mất từ 2 đến 3 tháng cho phần việc này).

+ Chuẩn bị phần liên kết với khung thép: Các liên kết móng BTCT với cột thép đa phần đều được thực hiện thông qua các bu lông móng (thường có đường kính từ 22 đến 32 mm). Các bu lông móng được chế tạo sẵn và được chôn một phần trong móng cột. Phần có ren được nhô lên để sau này thực hiện liên kết với bản mã cột thông qua các êcu.



Hình 1.8. Chi tiết liên kết chân cột thép với móng BTCT.

+ Vận chuyển các cấu kiện đã chế tạo từ nhà xưởng đến vị trí lắp đặt tại công trường.

b) Nguyên tắc lắp dựng

- Lắp dựng cột kết hợp xà gồ vách (nếu có) giằng các cột lại với nhau. Cột phải được cân chỉnh ngay ngắn xong mới tiến hành lắp dựng kèo;
- Lắp dựng khung kèo phía bên trong rồi mới tiến hành lắp dựng khung kèo bên ngoài (theo đường di chuyển của xe cẩu);
- Việc lắp dựng phải được bắt đầu từ gian có giằng (giằng cột và mái);
- Cố định hai khung lắp dựng tại vị trí giằng cột trước khi lắp dựng khung liền kề. Quá trình này được tịnh tiến cho các khung tiếp theo;
- Trong quá trình lắp dựng phải có giằng tạm. Dùng xà gồ mái, xà gồ vách kết hợp với cáp giằng để định vị, liên kết các khung kèo lại với nhau;

- Chỉ lắp dựng tôn mái sau khi cân chỉnh khung kèo, xà gồ thẳng, vệ sinh sạch sẽ, sơn dặm hoàn chỉnh các vết trầy xước trên kèo và xà gồ;
- Khi hoàn thiện bao che: thường xuyên dùng dây căng để định vị hoặc đánh dấu các vị trí cột mốc nhằm cân thẳng các tấm tôn lợp.

c) Trình tự lắp dựng

Bước 1: Chuẩn bị lắp dựng

Kiểm tra thiết bị, dụng cụ lắp lắp dựng, vật tư lắp dựng: số lượng, độ an toàn, chất lượng vật tư...

Bước 2: Lắp dựng cột

+ Thứ tự lắp dựng là : lắp hết các cột của 01 khung rồi mới lắp đến các đoạn kèo. Bắt đầu lắp từ cột có thiết kế giằng tường. Khi lắp dựng đến các đoạn kèo luôn có sự hỗ trợ của 01 đến 02 xe cẩu. Công tác an toàn trong giai đoạn này luôn được đặt lên vị trí hàng đầu.

- + Lắp đặt xà gồ và hệ giằng mái, giằng tường;
- + Lợp tôn mái;
- + Làm nền, cửa cho công trình, đường đi lại nội bộ...
- + Hoàn thiện hệ thống thoát nước, chống nóng...
- + Lắp đặt hệ thống điện, chống sét, phòng hỏa cho nhà xưởng.

Bước 3: Lắp dựng kèo

+ Sau khi lắp đặt được khung đầu tiên, người ta phải sử dụng các dây cáp neo giữ cho khung, trong quá trình chờ lắp các khung khác. Khi đã có 02 khung trở lên thì một số xà gồ, thanh giằng mái được lắp tạm để tạo thành hệ khung cứng theo phương ngang.

Bước 4: Lắp dựng xà gồ, giằng

Bước 5: Cân chỉnh khung nhà gian đầu tiên

Sau khi đã lắp được khung đầu tiên, cần căn chỉnh và kiểm tra thật tỉ mỉ các tham số thiết kế (cao trình; độ dốc, độ nghiêng, khoảng cách...). Để làm được việc này các kỹ sư phải sử dụng toàn đạc điện tử liên tục đo và điều chỉnh các êcu chân cột; các êcu nối kèo...Mặc dù vậy công việc này không hề đơn giản và cuối cùng bao giờ cũng có sai số lắp dựng nhất định.

Bước 6: Lắp gian kế tiếp

Tiến hành tương tự như với khung đầu tiên;



Hình 1.9. Công tác lắp dựng kèo và điều chỉnh khung thép.

Bước 7: Lắp hoàn chỉnh các gian còn lại

Đồng bộ cao trình: sau khi đã lắp được toàn bộ khung thép, điều kiện là các mặt phẳng từng khung phải phẳng; cao trình và độ dốc của các kèo phải đồng nhất với nhau; khoảng cách các khung phải đảm bảo đúng theo thiết kế...

Bước 8: Lắp khung công trời



Hình 1.10. Lắp dựng dầm dọc nhà và khung công trời.

Bước 9: Kiểm tra hoàn thiện trước lúc bao che

Bước 10: Lắp dựng bao che và hoàn thiện



Hình 1.11. Lắp dựng các kết cấu bao che và hoàn thiện.

1.2.2. Các sai số do chế tạo

Đây là dạng sai số luôn tồn tại, mức độ nhiều hay ít là do trình độ tay nghề của công nhân; do quá trình giám sát, kiểm soát có đúng và đủ hay chưa.

Thông thường trong chế tạo cơ khí xây dựng dung sai cho phép khoảng 02mm. Nghĩa là đoạn cột dài 06 mét thì chỉ cho phép chiều dài thực tế từ 5998 đến 6002 mà thôi. Điều này không phải lúc nào, đơn vị nào cũng đảm bảo được.

Sai số chế tạo xuất hiện do nhiều nguyên nhân chủ quan và khách quan. Ngay cả khi đã được kiểm tra, kiểm soát tốt thì vẫn có thể gặp sai số, ví dụ:

- + Sai số xuất hiện trong quá trình hàn, cắt, thép bị giãn nở nhiệt;
- + Sai số do thép tấm, thép hình bị cong vênh, sai lệch về kích thước;
- + Sai số do quá trình vận chuyển, do bị va chạm với cấu kiện khác....

Sai số này nếu không đủ lớn để mắt thường thấy được, thì sẽ chỉ có thể bị phát hiện sau khi đã lắp dựng vào vị trí làm việc của cấu kiện.

Các sai số chế tạo có ảnh hưởng rất lớn đến chất lượng của kết cấu công trình, đến khả năng chịu lực và tuổi thọ công trình. Tuy nhiên các sai số này hoàn toàn có thể kiểm tra, kiểm soát và giảm thiểu đáng kể nếu quá trình sản xuất được thực hiện đúng quy trình, quy phạm, được kiểm tra giám sát thường xuyên và nghiêm túc... Đây cũng chính là nguyên nhân giải thích cho việc các sản phẩm nhà thép của các hãng nổi tiếng và uy tín như Zamil; BHP... tuy giá thành có cao hơn một chút nhưng chất lượng và tuổi thọ công trình luôn vượt trội so với nhà thép chế tạo từ các công ty ít tên tuổi khác.

1.2.3. Các sai số do lắp dựng tại hiện trường

Sai số lắp đặt tại hiện trường luôn là nguy cơ khó kiểm soát và khó tránh né của tất cả các công trình nhà thép. Đây là dạng sai số luôn tồn tại và có trị số tương đối lớn so với sai số chế tạo trong nhà xưởng. Các sai số này cũng là nguyên nhân quan trọng nếu không nói là quyết định đến chất lượng kết cấu và tuổi thọ của các nhà thép được chế tạo theo mô hình khung Zamil. Một số nguyên nhân dẫn đến các dạng sai số này có thể chỉ ra là:

+ Sai số do phân thi công móng để lại: Đây là dạng sai số phổ biến nhất, công trình nào cũng có. Do đặc điểm của công tác thi công BTCT khác với chế tạo cấu kiện thép, nên trong thi công móng và ghép nối bu lông móng, các bu lông có thể bị xô lệch bị nghiêng do quá trình đầm nén bê tông; cao trình của mặt móng, của phân ren trên bu lông giữa các móng khác nhau cũng có thể lệch nhau từ vài đến vài chục mm. Đây cũng là sai số ảnh hưởng lớn đến nội lực và chuyển vị trong kết cấu thép cột và kèo.

+ Sai số do vận chuyển cấu kiện đến công trình: quá trình vận chuyển luôn khiến cho cấu kiện bị biến dạng, cong vênh. Sau khi nghiệm thu tại hiện trường, thông thường đơn vị thi công bao giờ cũng có quá trình hiệu chỉnh tại chỗ trước khi cho lắp dựng. Tuy nhiên điều kiện ở công trường thường không tốt như trong nhà xưởng, nên quá trình phát hiện và hiệu chỉnh sai số đều không thể đạt như đối với nhà xưởng.

+ Sai số do quá trình lắp dựng và cân chỉnh: Sau khi lắp dựng sơ bộ các nhà thầu thường tiến hành cân chỉnh cao độ, tầm và hướng cho từng khung, tường cấu kiện sau đó mới xiết chặt bu lông đến mô men lực thiết kế. Tuy nhiên khi tất cả các cấu kiện đã được dựng lên, việc căn chỉnh luôn gặp khó khăn và thường phải chấp nhận sai số này như một phần phải có của kết cấu nhà thép.

Các sai số lắp dựng là không thể tránh khỏi, và sai số này nếu đủ lớn sẽ ảnh hưởng trực tiếp và ảnh hưởng rất đáng kể đến quá trình làm việc của kết cấu thép công trình. Tuy nhiên mức độ ảnh hưởng của chúng là rất khác nhau và phụ thuộc khá nhiều vào "tay nghề" của nhà thầu lắp dựng. Nếu nhà thầu biết cách chia dần sai số cho các cấu kiện lân cận thì ảnh hưởng của chúng đến kết cấu cũng sẽ giảm xuống đáng kể.

1.2.4. Ảnh hưởng sai số lắp dựng đến nội lực và chuyển vị của kết cấu

+ Ảnh hưởng đến công năng của công trình:

Các sai số lắp đặt nếu đủ lớn có thể làm ảnh hưởng đến sự vận hành của công trình như: mái bị đọng nước trên mái; dầm cầu trục hoạt động hay trục trặc; nhà có vị trí bị rung lắc hơn chỗ khác... Các ảnh hưởng này tuy không lớn và gây hậu quả trực tiếp, nhưng chúng cũng sẽ gây khó chịu cho người sử dụng; làm giảm tuổi thọ công trình.

Một ảnh hưởng khác đến công năng của công trình nữa có thể kể đến là về mặt kiến trúc: mái nhà không thẳng, không nằm ngang; bờ chày không phẳng; tôn tường không phẳng... đây cũng là các sai số tuy không làm cho công trình sụp đổ hay ảnh hưởng nhiều đến công năng, nhưng chúng cũng là các yếu tố làm giảm giá trị thẩm mỹ của công trình.

+ Ảnh hưởng đến sự bền vững của kết cấu công trình:

Đây là vấn đề lớn nhất, đáng ngại nhất do các sai số chế tạo và lắp dựng gây ra đối với công trình xây dựng nói chung và đối với nhà khung thép dạng khung Zamil nói riêng. Các ảnh hưởng này tùy mức độ có thể có trị số lớn bé khác nhau. Nhưng thậm chí có thể trở thành nguyên nhân gây sụp đổ công trình. Các ảnh hưởng trực tiếp đến nội lực và chuyển vị của kết cấu có thể kể ra là:

+ Trường hợp cột bị hụt (ngắn hơn so với yêu cầu): Trường hợp này tùy mức độ, nếu độ hụt lên đến một vài cm, thì thậm chí phải chế tạo lại cột. Tuy nhiên tại công trường đa số các nhà thầu chọn giải pháp "ép kèo xuống" bằng cách dùng kích, dây néo... để hạ thấp cao độ điểm nối kèo cho đến lúc nối được bu lông. Cách làm này, nếu sai lệch là nhỏ thì cũng không phải là không thể, nhưng khi sai lệch đủ lớn sẽ khiến cho kèo (và cả cột) bị rơi vào trạng thái ứng suất trước không mong muốn.

+ Trường hợp cột bị đội (dài hơn so với yêu cầu): Tương tự như trường hợp cột bị hụt, các nhà thầu chọn giải pháp "đẩy kèo lên", để hạ nối kèo với

cột. Cách làm này, nếu sai lệch đủ lớn cũng sẽ khiến cho kèo (và cả cột) bị rơi vào trạng thái ứng suất trước không mong muốn.

+ Trường hợp các lỗ nối bu lông trên bản mã không đồng tâm: Đây cũng là trường hợp điển hình và thường gặp. Khi các bản mã nối có lỗ chờ để nối bu lông qua, bị lệch nhau (khoảng vài mm). Công nhân lắp dựng thường cố ép bằng cách sử dụng kích, xà beng.. để đưa được bu lông qua lỗ lệch đó. Cách làm này khiến cho nội lực trong cấu kiện cột, kèo xuất hiện thành phần lực ngang (nằm ngoài mặt phẳng khung). Điều này cũng hết sức bất lợi, vì kết cấu khung Zamil được thiết kế làm việc theo mô hình phẳng. Tuy khung vẫn có khả năng chịu lực ngang, nhưng yếu hơn nhiều so với khả năng chịu lực trong mặt phẳng chính.

1.3. Các nhiệm vụ và nội dung nghiên cứu của luận văn

Từ các nghiên cứu tổng quan trên đây luận văn chọn đề tài nghiên cứu: "*Xét ảnh hưởng của sai số lắp dựng đến nội lực và chuyển vị của kết cấu thép nhà công nghiệp*". Đây là đề tài có ý nghĩa khoa học và ý nghĩa thực tiễn. Các nội dung nghiên cứu của luận văn gồm:

- Nghiên cứu về kết cấu thép nhà công nghiệp; về phương pháp lắp dựng và nguyên nhân dẫn đến các sai số lắp dựng sự đối với kết cấu thép nhà công nghiệp.

- Nghiên cứu, đánh giá khả năng ảnh hưởng của các sai số lắp dựng đến nội lực và chuyển vị của kết cấu khung thép nhà công nghiệp.

- Thông qua các thử nghiệm số ước lượng về định tính và định lượng mức độ ảnh hưởng của sai số lắp đặt, đến nội lực và chuyển vị của kết cấu thép nhà công nghiệp.

- Đề xuất một số giải pháp, kiến nghị cho các kết cấu có dạng tương tự.

Kết luận chương 1

Các nghiên cứu của chương 1 cho thấy kết cấu thép nhà công nghiệp đã và đang là một xu hướng xây dựng trên thế giới và cả ở Việt Nam. Ngày nay, số lượng, chủng loại và quy mô của các kết cấu thép nhà công nghiệp đã và đang được mở rộng và phát triển ở mọi địa phương, ngành nghề. Nhà thép hiện đang phát huy tốt vai trò của mình và trong nhiều năm tới chúng vẫn sẽ là lựa chọn hàng đầu của nhiều công trình nhà công nghiệp khắp Việt Nam.

Chương 1 cũng chỉ ra rằng việc tính toán thiết kế kết cấu đối với nhà thép là rất quan trọng và trong tính toán nếu không kể đến các ảnh hưởng của sai số lắp dựng có thể sẽ dẫn đến những sự cố.

Việc luận văn chọn đề tài nghiên cứu là: “*Xét ảnh hưởng của sai số lắp dựng đến nội lực và chuyển vị của kết cấu thép nhà công nghiệp*”, là một hướng nghiên cứu có tính khoa học và thực tiễn, vừa giúp lý giải việc kết quả chuyển vị, nội lực thực tế có thể cao hơn so với thiết kế tính toán, vừa giúp cho các thiết kế kết cấu nhà thép được an toàn hơn, hiệu quả hơn.

CHƯƠNG 2

BÀI TOÁN ĐÁNH GIÁ MỨC ĐỘ ẢNH HƯỞNG CỦA SAI SỐ LẮP DỰNG ĐẾN NỘI LỰC VÀ CHUYỂN VỊ CỦA KẾT CẤU THÉP NHÀ CÔNG NGHIỆP

2.1. Phương pháp tính toán kết cấu thép nhà công nghiệp

2.1.1. Các bộ phận kết cấu chính của nhà công nghiệp

Kết cấu thép nhà công nghiệp gồm nhiều bộ phận tạo nên khung sườn chịu lực cho nhà công nghiệp. Với các nhà thép dạng khung Zamil, do đặc điểm thường phổ biến là các nhà 1 tầng, mặt bằng đơn giản (thường là mặt bằng dạng chữ nhật), các hệ thống khung cột là rõ ràng, thường có khoảng cách không đổi... Do vậy trong tính toán kết cấu thường phải xem xét đến các dạng cấu kiện như sau: khung (gồm cột và kèo); dầm đỡ ray (còn gọi là dầm đỡ cầu trục); thanh giằng (giằng mái và giằng tường); xà gồ; khung cổng trời...

Cũng do các tính chất nêu trên của nhà công nghiệp dạng khung Zamil nên trong đa số các thiết kế tính toán hiện nay, kết cấu được tính toán theo mô hình khung phẳng. Các nội dung thường được đề cập đến trong bảng tính thiết kế là:

- Tính toán khung (khung ngang);
- Tính toán các liên kết (hàn, bu lông...);
- Tính toán dầm đỡ cầu trục;
- Tính toán xà gồ;
- Tính toán thiết kế các thanh giằng;
- ...

Trong đó nội dung tính toán khung ngang là quan trọng nhất, phức tạp nhất và cũng là nội dung có số liệu nhập phụ thuộc vào các kết quả tính toán từ các nội dung khác. Các tính toán thiết kế xà gồ, thanh giằng, dầm đỡ cầu

trục đều có thể được tính toán độc lập theo sơ đồ phẳng, lấy kết quả làm số liệu đầu vào cho thiết kế khung (xem minh họa trên hình 2.1).



Hình 2.1. Các bộ phận kết cấu chính của nhà công nghiệp kiểu khung Zamil.

2.2. Tính toán kết cấu khung thép nhà công nghiệp

2.2.1. Tính theo mô hình bài toán phẳng

2.2.1.1. Tính toán khung ngang

Khung ngang là kết cấu chịu lực chính của nhà công nghiệp. Việc tính toán khung ngang thông thường gồm những nội dung sau:

- Chọn sơ đồ khung ngang: là khung 1 nhịp hay nhiều nhịp; có liên kết với móng dạng cột ngàm hay cột khớp. Các lựa chọn này thường tùy thuộc vào dạng công trình cụ thể, tính chất chịu lực của khung, yêu cầu cụ thể của dây chuyền công năng... Đối với các nhà công nghiệp dạng khung Zamil không có dầm cầu trục, thông thường chúng được thiết kế với cột có tiết diện thay đổi, phần chân cột được thu nhỏ để tăng diện tích sử dụng cho công trình. Khi đó, liên kết chân cột được khai báo là khớp. Đối với các nhà công

nghiệp có dầm cầu trục, tải trọng thẳng đứng truyền xuống chân cột lớn, nên cột thường được thiết kế có tiết diện không thay đổi, chân cột liên kết ngàm cứng xuống móng BTCT.

- **Bố trí lưới cột:** đây là việc làm rất quan trọng ảnh hưởng quyết định đến kết cấu khung, đến hiệu quả kinh tế của công trình cũng như đến các hoạt động công năng của nhà xưởng. Thông thường lưới cột cũng được chọn theo khung (mỗi khung mấy cột, khoảng cách giữa các cột, bước khung...).

- **Sơ bộ xác định kích thước khung:** việc sơ bộ xác định kích thước khung một phần phải dựa vào các tiêu chuẩn quy phạm, một phần phải dựa vào tính chất tải trọng; các liên kết với cấu kiện khác; yêu cầu sử dụng... chọn đúng, chọn tốt kích thước sơ bộ cũng sẽ ảnh hưởng khá lớn đến bài toán kinh tế sau này. Ví dụ nếu ta chọn khung dầm tiết diện H có bề rộng bản cánh nhỏ quá sẽ khiến cho chiều cao tiết diện phải tăng lên, điều này sẽ dẫn đến nhiều hệ lụy khác như: độ ổn định của bản bụng, độ cứng chống xoắn của cấu kiện... sẽ phải đều phải có các gia cường thêm; ngược lại nếu chọn bề rộng cánh lớn quá, chiều cao tiết diện nhỏ, cũng sẽ làm lãng phí vật liệu thép, kết cấu trở nên nặng nề.

- **Xác định tải trọng tác động lên khung:** cũng giống như đối với các công trình xây dựng khác, tải trọng tác động lên khung gồm có: tĩnh tải, hoạt tải sử dụng, gió và các tải trọng đặc biệt khác (tải trọng cầu trục, tải trọng do máy, thiết bị...). Việc xác định trị số của các tải trọng này được tính toán như các công trình dạng nhà cửa, được quy về mô hình phẳng. Tải trọng gió, tùy thuộc vào địa điểm xây dựng công trình, độ cao công trình, bước khung, hình dạng mái... mà tính toán quy đổi theo TCVN 2737-1995.

Tải gió thông thường được xét gồm 02 trường hợp (gió trái và gió phải), các tải trọng gió được quy thành các tải trọng phân bố đặt trên phần tử cột, kèo; hoặc quy thành tải trọng nút đặt tại các nút khung.

Tải trọng cầu trục là tải trọng do tổ hợp các hoạt động của cầu trục trong quá trình sử dụng gây ra. Đây chính là thành phần phản lực gối tựa trong quá trình tính toán thiết kế dầm đỡ cầu trục (dầm đỡ ray). Các tải này được đặt tại vị trí vai cột, nên khi đưa vào sơ đồ tính toán khung chúng phải được thay thế bởi 01 lực thẳng P và 01 thành phần mô men uốn M.

Khi tính kết cấu theo các giới hạn về khả năng chịu lực thì dùng tải trọng tính toán là tải trọng tiêu chuẩn nhân với hệ số độ tin cậy về tải trọng γ_Q (còn gọi là hệ số tăng tải hoặc hệ số an toàn về tải trọng). Khi tính kết cấu theo các trạng thái giới hạn về sử dụng và tính toán về mỏi thì dùng trị số của tải trọng tiêu chuẩn.

Các trường hợp tải trọng đều được xét riêng rẽ và được tổ hợp để có tác dụng bất lợi nhất đối với kết cấu. Giá trị của tải trọng, các loại tổ hợp tải trọng, các hệ số tổ hợp, các hệ số độ tin cậy về tải trọng được lấy theo các quy định của TCVN 2737 - 1995.

Với kết cấu trực tiếp chịu tải trọng động, khi tính toán về cường độ và ổn định thì trị số tính toán của tải trọng phải nhân với hệ số động lực. Khi tính toán về mỏi và biến dạng thì không nhân với hệ số này. Hệ số động lực được xác định bằng lý thuyết tính toán kết cấu hoặc cho trong các Qui phạm riêng đối với loại kết cấu tương ứng.

- Tính toán nội lực và chuyển vị khung: công việc này thường do các phần mềm máy tính đảm nhận. Hiện nay có khá nhiều chương trình có thể giải quyết tốt nhiệm vụ này như SAP2000, Etabs, FBT5...

Sau khi nhập số liệu kết cấu, khai báo các liên kết, khai báo các nhóm tải trọng và gán trị số... kết quả của việc giải bài toán phần tử hữu hạn, nhận được là chuyển vị và nội lực tại vị trí bất kỳ của kết cấu khung. Các kết quả này đều có thể được thể hiện dưới dạng số hoặc dạng đồ họa.

- Tính toán thiết kế kết cấu khung: từ các kết quả nội lực và chuyển vị trên đây, bài toán kiểm tra bền, kiểm tra ổn định được thực hiện trên các cấu kiện cột, kèo.

Nếu tại vị trí nào đó có điều kiện không đảm bảo yêu cầu, tiết diện tại đó phải thiết kế lại (tăng thêm), nếu ứng suất cực đại tại vị trí nào đó đạt trị số quá thấp, có thể điều chỉnh giảm tiết diện.

Việc kiểm tra, đánh giá này phải được tiến hành trên tất cả các tổ hợp tải trọng có thể. Sau mỗi lần điều chỉnh tiết diện, dù nhỏ, đều phải tiến hành tính toán lại nội lực và chuyển vị.

Quá trình thiết kế khung chỉ dừng lại khi mọi cấu kiện trong khung đều đảm bảo yêu cầu kiểm tra bền, kiểm tra ổn định và không có tiết diện nào có tình trạng ứng suất cực đại đạt trị số quá thấp.

2.2.1.2. *Tính toán liên kết*

- Chọn kiểu liên kết: thông thường đối với các công trình thép người ta có thể chọn một trong ba kiểu liên kết là : hàn; bu lông hoặc đinh tán.

- Hàn: luôn là liên kết bền vững nhất, cho kết quả chịu lực cao nhất, tuy vậy liên kết hàn cũng có một số nhược điểm như: khó thi công tại hiện trường, khó cho việc tháo dỡ, di dời, giá thành cao...

- Bu lông: là kiểu liên kết phổ thông, được ưa dùng nhiều nhất hiện nay trong thiết kế kết cấu thép nhà công nghiệp, nhất là đối với các nhà thép dạng khung Zamil. Ưu điểm của bu lông là gia công lắp dựng nhanh, linh hoạt, có thể dễ dàng tháo lắp, thay thế. Tuy nhiên nhược điểm của bu lông là làm giảm yếu tiết diện của khung, khả năng chịu lực kém hơn, có độ “rơ” giữa thân bu lông và lỗ khoan, dễ bị lỏng, bị tuột. Hiện nay đã và đang xuất hiện ngày càng nhiều dạng bu lông cường độ cao giúp hạn chế các nhược điểm của bu lông nên ứng dụng bu lông cho nhà thép đến nay ngày càng được ưa chuộng.

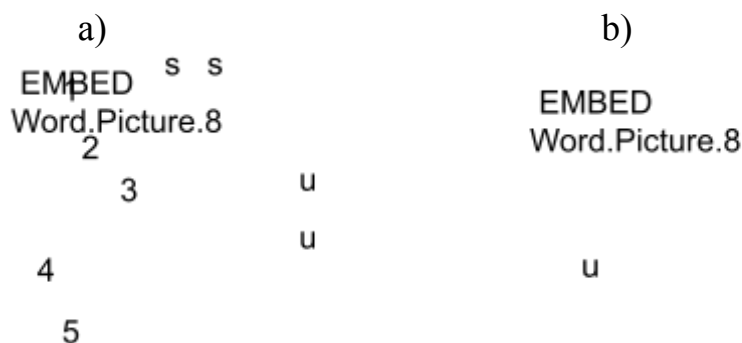
- Đinh tán: là kiểu liên kết cho khả năng chịu lực khá cao (hơn bu lông nhưng kém hơn liên kết hàn), khắc phục được các nhược điểm của liên kết bu lông (giảm độ “rơ”, ít bị lỏng, bị tuột). Tuy nhiên đinh tán cũng có nhược điểm là khó gia công lắp dựng (do phải có quá trình gia công nhiệt), khó trong thay thế, tháo dỡ. Hiện nay các liên kết đinh tán thường chỉ được sử dụng tại những vị trí có cao trình thấp, hoặc cho những cấu kiện gia công chế tạo sẵn trong nhà xưởng.

- Chọn bu lông: việc chọn bu lông bao gồm 03 nội dung: số lượng bu lông; đường kính bu lông và cấp độ bền của bu lông. Cả ba tham số này đều có liên hệ mật thiết với nhau và đều có ảnh hưởng trực tiếp đến kết cấu khung. Khi tính toán liên kết nói chung và liên kết bu lông nói riêng cần chú ý những nội dung sau:

- Khi thiết kế liên kết bu lông hoặc đinh tán bắt trực tiếp lên bản bụng hoặc bản cánh của tiết diện thì khi kiểm tra bền cho tiết diện phải tính toán với tiết diện thực của kết cấu;

- Diện tích tiết diện thực bằng diện tích tiết diện nguyên trừ đi diện tích giảm yếu. Diện tích giảm yếu là diện tích bị mất đi do yêu cầu chế tạo. Đối với liên kết bu lông khi các lỗ xếp thẳng hàng thì diện tích giảm yếu bằng tổng lớn nhất của diện tích các lỗ tại một tiết diện ngang bất kỳ vuông góc với chiều của ứng suất trong cấu kiện. Khi các lỗ xếp so le thì diện tích giảm yếu lấy trị số lớn hơn trong hai trị số sau (Hình 2.2, a):

Đối với thép góc có lỗ trên hai cánh thì khoảng đường lỗ u là tổng các khoảng cách từ tâm lỗ đến sống thép góc, trừ đi bề dày cánh (Hình 2.2, b).



Hình 2.2. Cách xác định diện tích thực.

- Khi liên kết bu lông chịu tác dụng của lực dọc N đi qua trọng tâm chịu kéo của liên kết thì lực phân phối lên các bu lông coi như đều nhau.

- Khi tác dụng của mô men gây trượt các cấu kiện được liên kết thì lực phân phối cho các bu lông tỷ lệ với khoảng cách từ trọng tâm của liên kết đến bu lông khảo sát.

- Bu lông chịu cắt và kéo đồng thời được kiểm tra chịu cắt và kéo riêng biệt. Bu lông chịu cắt do tác dụng đồng thời của lực dọc và mô men được kiểm tra theo hợp lực của các nội lực thành phần.

2.2.1.3. Tính toán dầm đỡ cầu trục

Dầm đỡ cầu trục hay còn gọi là dầm đỡ ray, là kết cấu trực tiếp nhận tải trọng từ dầm cầu trục sau đó truyền xuống cột thông qua vai cột. Thông thường dầm đỡ ray được tính toán độc lập theo mô hình dầm đơn giản (tĩnh định), có chiều dài tương đương bước khung. Trong tính toán thiết kế dầm đỡ ray có một số lưu ý như sau:

- Chuyển vị thẳng và chuyển vị ngang của dầm đỡ ray có tiêu chuẩn cao hơn so với dầm thép thông thường (xem bảng 2.1)

Bảng 2.1 Độ võng cho phép của cấu kiện chịu uốn

Loại cấu kiện	Độ võng cho phép
<i>Dầm của sàn nhà và mái:</i>	
1. Dầm chính	$L / 400$
2. Dầm của trần có trát vữa	$L / 350$
3. Các dầm khác, ngoài trường hợp 1 và 2	$L / 250$
4. Tấm bản sàn	$L / 150$
<i>Dầm có đường ray:</i>	
1. Dầm đỡ sàn có đường ray nặng 35 kg/m và lớn hơn	$L / 600$
2. Như trên, khi đường ray nặng 25 kg/m và nhỏ hơn	$L / 400$

Loại cấu kiện	Độ võng cho phép
Xà gỗ: 1. Mái lợp ngói không đắp vữa, mái tấm tôn nhỏ 2. Mái lợp ngói có đắp vữa, mái tôn múi và các mái khác	$L / 150$ $L / 200$
Dầm hoặc giàn đỡ cầu trục: 1. Cầu trục chế độ làm việc nhẹ, cầu trục tay, palăng 2. Cầu trục chế độ làm việc vừa 3. Cầu trục chế độ làm việc nặng và rất nặng	$L / 400$ $L / 500$ $L / 600$
Sườn tường: 1. Dầm đỡ tường xây 2. Dầm đỡ tường nhẹ (tôn, fibrô XM), dầm đỡ cửa kính 3. Cột tường	$L / 300$ $L / 200$ $L / 400$

GHI CHÚ: L là nhịp của cấu kiện chịu uốn. Đối với dầm công xôn thì L lấy bằng 2 lần độ vươn của dầm.

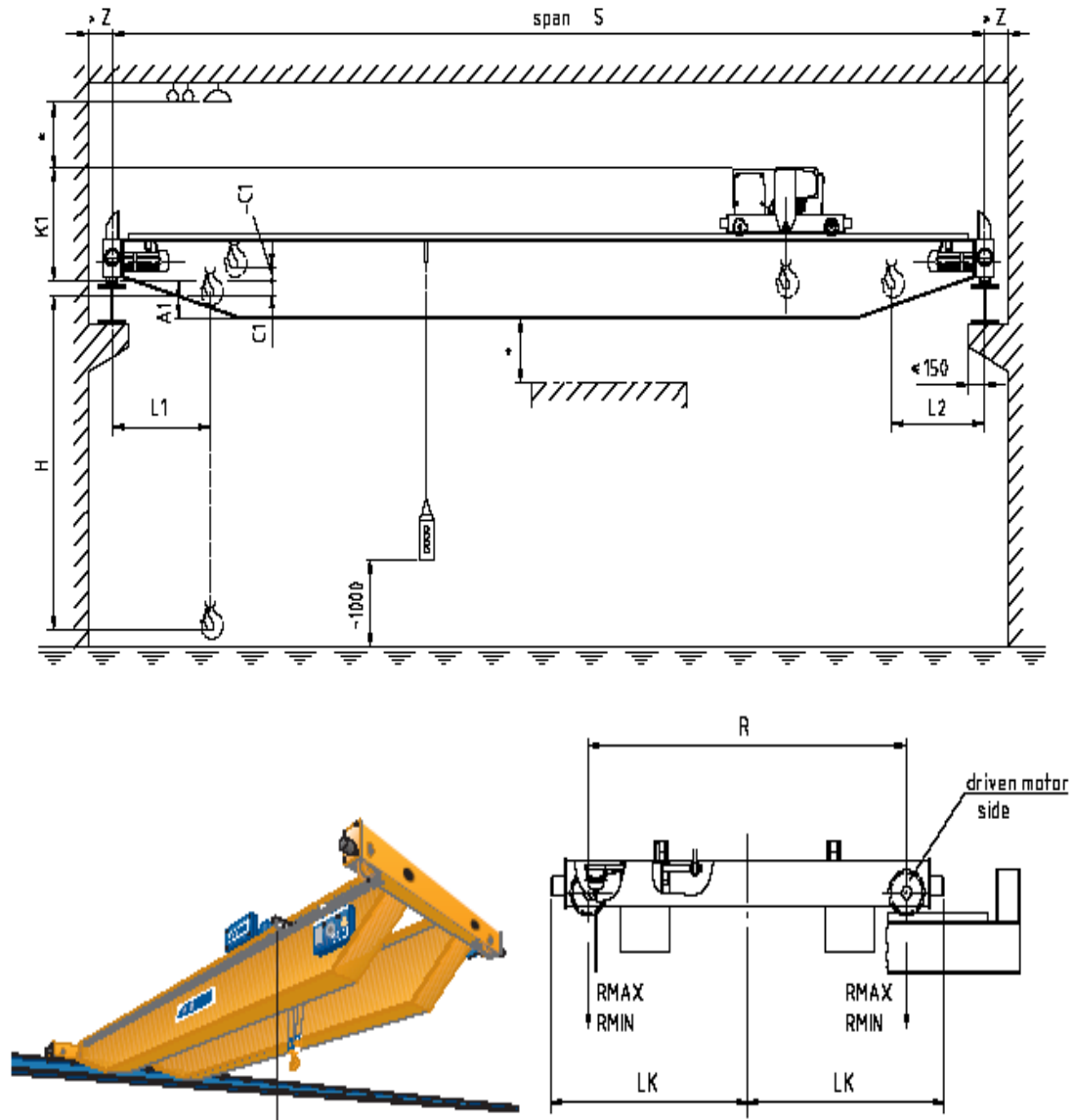
- Chuyển vị cho phép của cột thép có dầm cầu trục cũng có tiêu chuẩn cao hơn đối với các dạng cột thép khác (xem bảng 2.2)

Bảng 2.2 Chuyển vị cho phép của cột đỡ cầu trục

Chuyển vị	Tính theo kết cấu phẳng	Tính theo kết cấu không gian
1. Chuyển vị theo phương ngang nhà của cột nhà xưởng	$H_T / 1250$	$H_T / 2000$
2. Chuyển vị theo phương ngang nhà của cột cầu tải ngoài trời	$H_T / 2500$	—
3. Chuyển vị theo phương dọc nhà của cột trong và ngoài nhà	$H_T / 4000$	—

- Khi trong cùng một nhịp của nhà xưởng có từ 2 dầm cầu trục hoạt động trở lên, thì trong tính toán thiết kế phải kể đến ảnh hưởng đồng thời có thể có của các dầm cầu trục (tổ hợp);

- Trị số lực tác động từ dầm cầu trục lên dầm đỡ ray, thường được cung cấp bởi các hãng chế tạo dầm cầu trục (xem minh họa bảng 2.3)



Hình 2.3. Các thông số tính toán của cầu trục 2 dầm dạng hộp hãng ABUS

Bảng 2.3 Bảng tra các tham số tính toán cho dầm cầu trục hãng ABUS

Load,	S 1	A1	K1	C1	L1	L2	Z _{min}	H _{max}	R	LK	Wheel loads kN	
											R _{max}	R _{min}
	10	200	770	-50	650	650	150	9000	2700	1600	30.6	6.9
5000 kg	14	300	770	-50	650	650	150	9000	2700	1600	33.5	8.7
Rope hoist	16	300	770	-50	650	650	150	9000	2700	1625	35.5	10.4

Load,	S 1	A1	K1	C1	L1	L2	Z _{min}	H _{max}	R	LK	Wheel loads kN	
Hoist Type	m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm	R max	R min
GM 1050 H6	18	400	770	-50	650	650	150	9000	2700	1625	37.5	12.1
FEM 2m	20	500	770	-50	650	650	150	9000	2900	1725	39.6	14.0
	22	460	810	-90	650	650	170	9000	3200	1895	42.7	17.0
V Hoist =	24	560	810	-90	650	650	170	9000	3800	2230	45.7	19.7
0.8/5 m/min	26	500	870	-150	650	650	180	9000	4600	2650	50.7	24.4
	28	700	870	-150	650	650	180	9000	4600	2650	53.2	26.8
	30	700	870	-150	650	650	180	9000	4600	2650	57.2	30.7
	32	650	920	-200	650	650	180	9000	5100	2965	66.3	39.5
	34	660	920	-200	650	650	180	9000	5100	2965	71.7	44.9
	10	200	770	-30	650	650	150	9000	2700	1600	36.9	7.4
8000 kg	14	360	900	-30	750	750	170	10000	2700	1645	50.1	11.4
Rope hoist	16	460	900	-30	750	750	170	10000	2900	1745	52.4	13.1
GM 3080 H6	18	460	900	-30	750	750	170	10000	2900	1745	53.9	14.2
FEM 3m	20	460	900	-30	750	750	170	10000	2900	1745	56.6	16.4
	22	560	900	-30	750	750	170	10000	3200	1930	59.3	18.9
V Hoist =	24	500	960	-90	750	750	180	10000	3800	2250	65.8	25.0
0.8/5 m/min	26	700	960	-90	750	750	180	10000	3800	2250	68.5	27.5
	28	700	960	-90	750	750	180	10000	4600	2650	71.0	29.6
	30	650	1010	-140	750	750	180	10000	4600	2715	79.2	37.7
	32	900	1010	-140	750	750	180	10000	5100	2965	85.6	43.7
	34	900	1010	-140	750	750	180	10000	5100	2965	87.9	45.9
	10	260	900	-30	750	750	170	10000	2700	1620	55.6	10.5
10 000 kg	14	360	900	-30	750	750	170	10000	2700	1645	60.0	12.5
Rope hoist	16	460	900	-30	750	750	170	10000	2900	1745	62.8	14.6
GM 3100 H6	18	460	900	-30	750	750	170	10000	2900	1745	64.5	15.7
FEM 2m	20	500	960	-90	750	750	180	10000	2900	1765	67.8	18.6
	22	500	960	-90	750	750	180	10000	3200	1950	71.0	21.4
V Hoist =	24	700	960	-90	750	750	180	10000	3800	2250	76.0	26.0
0.8/5 m/min	26	700	960	-90	750	750	180	10000	3800	2250	78.0	27.8
	28	700	960	-90	750	750	180	10000	4600	2650	82.7	32.1
	30	660	1010	-140	750	750	180	10000	4600	2715	91.7	40.8
	32	900	1010	-140	750	750	180	10000	5100	2965	95.1	43.9
	34	900	1010	-140	750	750	180	10000	5100	3005	101.0	49.2
	10	300	1090	40	790	790	180	10000	2700	1665	70.4	13.2

2.2.1.4. *Tính toán xà gồ*

Xà gồ là dạng kết cấu thép đơn giản, thường được chế thức hàng loạt tại công xưởng với tiết diện tiêu chuẩn và có dạng tiết diện C hoặc Z. Trong tính toán kết cấu xà gồ thường được tính toán theo mô hình dầm tĩnh định (hoặc dầm liên tục nhiều nhịp nếu là xà gồ Z). Các tải trọng tác dụng lên xà gồ thường có: trọng lượng bản thân, trọng lượng mái tôn, hoạt tải sửa chữa và tải trọng gió.

Các nội dung tính toán và thiết kế xà gồ tương đối đơn giản và tường minh nên xin phép không trình bày tại đây.

2.2.1.5. *Tính toán hệ giằng*

Nhà công nghiệp dạng khung Zamil thường có hai dạng hệ giằng là giằng tường và giằng mái. Mỗi dạng giằng đều có các quy cách, quy chuẩn riêng, tuy nhiên có thể tập hợp trong các yêu cầu chung như sau:

- Hệ giằng tường giữa các cột chính thường được bố trí ở dưới cao trình dầm cầu trục của cột. Hệ giằng tường thường có hai nhánh được bố trí trong mặt phẳng của từng nhánh cột. Các nhánh của hệ giằng được liên kết với nhau bằng các thanh giằng hoặc bản giằng.
- Hệ giằng mái (giằng ngang) theo phương ngang nhà được bố trí ở mức cánh trên hoặc cánh dưới của giàn vì kèo tại các nhịp ở đầu mỗi khối nhiệt độ.
- Trong các nhà có ba nhịp trở lên, hệ giằng dọc cánh dưới còn được bố trí dọc các dãy cột giữa và không được cách nhau quá một nhịp đối với các nhà có cầu trục có chế độ làm việc nặng hoặc rất nặng, không được cách nhau quá hai nhịp đối với các nhà khác.
- Cánh dưới của dầm cầu trục có nhịp lớn hơn 12 m phải được tăng cường bằng hệ giằng ngang.
- Khi bố trí hệ giằng chéo chữ thập, việc tính toán chúng cho phép

tiến hành theo sơ đồ quy ước với giả thiết thanh xiên chỉ chịu kéo (bỏ qua sự làm việc của các thanh xiên chịu nén).

2.2.1.6. *Ưu nhược điểm của mô hình tính toán phẳng*

Mô hình tính toán nhà thép theo bài toán khung phẳng là mô hình hiện đã và đang được sử dụng rộng rãi không chỉ tại Việt Nam mà còn tại nhiều nơi trên thế giới. Đây là mô hình kết cấu đơn giản, tường minh, cho kết quả tương đối tin cậy.

Mô hình phẳng còn có ưu điểm lớn nữa là dễ sử dụng, dễ nhập, chỉnh sửa số liệu và kết xuất kết quả tính; không đòi hỏi cao về trình độ kết cấu và công nghệ thông tin của người sử dụng.

Đối với các dạng nhà công nghiệp 01 tầng, mặt bằng đơn giản, lưới cột bố trí theo khung, nhịp rõ ràng thì việc tính toán theo mô hình phẳng cơ bản đạt yêu cầu về độ tin cậy và thậm chí còn cho kết quả thiên an toàn.

Tuy nhiên tính toán khung theo mô hình phẳng vẫn có nhược điểm là đã bỏ qua các yếu tố độ cứng theo phương dọc nhà; bỏ qua tác dụng của gió vào các hồi nhà, điều này làm cho kết quả tính bị giảm mức độ tin cậy.

Ngoài ra với một số công trình đặc thù (mặt bằng phức tạp, khung đầu hồi diện tích lớn, bước khung, bước cột không đồng nhất...), việc tính toán thiết kế theo mô hình phẳng cho kết quả không chính xác; không kể đến được các yếu tố phức tạp về tải trọng, về độ cứng về hệ giằng dọc...

2.2.2. **Tính toán kết cấu nhà công nghiệp theo mô hình không gian**

2.2.2.1. *Tính toán kết cấu theo phương pháp phần tử hữu hạn*

Các phần tử kết cấu thép xét trường hợp tổng quát là hệ thanh không gian, kết quả tính toán cho phép xác định tất cả các thành phần nội lực. Các giá trị nội lực sẽ được sử dụng trong tính toán kết cấu thép khung nhà Zamil theo yêu cầu từng bài toán khác nhau. Để tính toán theo phương pháp PTHH phải căn cứ vào các phương trình cơ bản trong lý thuyết đàn hồi: phương trình

Navier - Cauchy, định luật Hooke mô tả các liên hệ biến dạng và chuyển vị; ứng suất và biến dạng, nguyên lý năng lượng.

2.2.2.2. Nguyên tắc tính toán khung Zamil theo mô hình không gian

Tính toán kết cấu theo mô hình không gian là giải bài toán kết cấu dưới dạng tổng quát. Mọi thành phần độ cứng kết cấu theo mọi phương chiều đều được kể đến; mọi thành phần tải trọng khả dĩ đều được xem xét tính toán. Cách giải này được thực hiện theo các nguyên tắc sau:

- Mọi khung thép đều được khai báo như các phần tử thanh không gian hai đầu nút cứng. Mỗi khung đứng cách nhau một khoảng đúng như thiết kế mặt bằng. Chân cột được khai báo liên kết ngàm cứng hoặc khớp (tùy thuộc từng bài toán cụ thể);

- Xà gồ và dầm đỡ cầu trục được khai báo như các phần tử thanh không gian nối các khung thép với nhau;

- Thanh giằng cũng được khai báo như các thanh không gian có hai đầu khớp hoặc hai đầu nút cứng tùy thuộc liên kết hai đầu giằng;

- Tất cả các tải trọng khả dĩ theo mọi phương đều được kể đến. Với nguyên tắc này thì số nhóm tải trọng gió tác động đến công trình có thể lên đến 04 nhóm; tải trọng do dầm cầu trục gây ra có thể có tới hàng chục nhóm...

- Kết quả tính toán bền cho cấu kiện được tính toán theo mô hình uốn xiên (có kể đến lực dọc và thành phần mô men uốn theo cả hai phương M_y và M_z);

2.2.2.3. Ưu nhược điểm chính của mô hình tính toán không gian

Cách tính toán theo mô hình không gian có ưu điểm nổi bật là đã phản ánh đúng hơn mô hình làm việc thực của bài toán kết cấu khung thép nhà công nghiệp. Mọi cấu kiện kết cấu (cột, kèo, dầm đỡ ray, xà gồ, giằng...) đều được kể đến trong ma trận độ cứng kết cấu.

Mọi thành phần tải trọng được tính đến, đã thể hiện được đầy đủ hơn các thành phần tải trọng có thể gây ra nguy hiểm cho kết cấu.

Tính toán bền và ổn định theo mô hình không gian các cấu kiện được soát xét theo cả hai phương chịu lực, giúp lời giải hoàn chỉnh hơn, đáng tin cậy hơn.

Nhược điểm của mô hình tính toán theo mô hình không gian là số lượng nút, số lượng phần tử của bài toán nhập tăng cao, việc nhập và xử lý số liệu phức tạp hơn.

Ngoài ra việc nhập và thiết kế kết cấu khung theo mô hình không gian cũng đòi hỏi người thực hiện phải có kiến thức về kết cấu và kỹ năng công nghệ thông tin cao hơn.

2.3. Nghiên cứu ảnh hưởng của sai số lắp đặt tới nội lực và chuyển vị của kết cấu thép nhà công nghiệp

2.3.1. Mô hình hóa sai số lắp đặt trong phần mềm PTHH

Thực chất các sai số lắp dựng chính là các “chuyển dịch trước” tại nút liên kết đây cũng có thể xem là một dạng tải trọng (tải trọng nút). Trị số và hướng của tải trọng này được xác định thông qua hai tham số là độ cứng của nút và giá trị tuyệt đối của chuyển dịch cưỡng bức.

Theo các trình bày trong lý thuyết phần tử hữu hạn. Độ cứng của nút được xác định thông qua việc “đóng góp” về độ cứng của các phần tử có kết nối tới nút đó. Trình tự thực hiện việc tính toán tải trọng quy nút của bài toán chuyển dịch cưỡng bức nút như sau:

- a) Tính toán ma trận độ cứng của từng phần tử và xây dựng ma trận độ cứng tổng thể $[K]$ cho toàn hệ kết cấu;
- b) Thiết lập và xác định véc tơ tải trọng nút $\{Q_m\}$ (hệ tọa độ tổng quát);
- c) Khai báo tên nút, hướng chuyển dịch (OX, OY, OZ theo hệ tọa độ tổng quát); trị số chuyển dịch trước của nút;

d) Xác định trị số độ cứng của bậc tự do tương ứng với nút có chuyển dịch trước từ ma trận độ cứng tổng thể $[K]$;

e) Tính toán trị số tải trọng nút tương đương của chuyển dịch Δ_i ,

$$P_i = K_i \times \Delta_i;$$

Trong đó:

P_i : tải trọng nút tương đương;

K_i : độ cứng của bậc tự do tương ứng với chuyển dịch trước hiện xét;

Δ_i : trị số chuyển dịch trước của nút.

Dấu của P_i , phụ thuộc vào dấu của Δ_i .

f) Gán trị số P_i vào véc tơ tải trọng nút $\{Q_m\}$.

Sau khi chuyển đổi ảnh hưởng của chuyển dịch trước nút thành các tải trọng quy nút. Việc giải bài toán kết cấu được thực hiện bình thường như đối với các bài toán khác.

2.3.2. Trình tự giải bài toán

Như vậy trình tự giải bài toán khung nhà thép có chuyển dịch trước của nút, được thực hiện như sau:

- Khai báo các phần tử của khung là các phần tử thanh (thanh phẳng hoặc thanh không gian). Loại phần tử của cột, kèo, dầm giằng... được định nghĩa là các phần tử có hai đầu nút cứng (phần tử có đầy đủ các thành phần nội lực).

- Khai báo các nhóm tải trọng (tĩnh tải, hoạt tải...), và các trị số thành phần cho mỗi nhóm tải trọng.

- Tính toán trị số tải trọng tương đương của các chuyển dịch trước của nút sau đó gán các trị số này vào nhóm tĩnh tải (là nhóm tải trọng sẽ có mặt trong mọi trường hợp tổ hợp);

- Tính toán nội lực, chuyển vị và ứng suất cho các phần tử, nút;

- Kiểm tra bền, ổn định cho kết cấu theo các tiêu chuẩn, quy phạm hiện hành, nếu không đạt thì phải thiết kế lại, nếu có tiết diện nào quá dư bền thì có thể điều chỉnh để tiết kiệm hơn;
- Tính toán và bố trí các liên kết (hàn, bu lông, đinh tán...) các cấu kiện và vị trí ghép nối;
- Tính toán móng: chọn kích thước móng, tính toán sức chịu tải, chuyển vị, tính toán các liên kết móng với khung thép...
- Đánh giá tổng thể và điều chỉnh thiết kế (nếu cần).

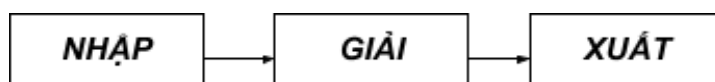
Việc tính toán và quy đổi chuyển dịch trước thành tải trọng nút như trên, cũng như việc tính toán thiết kế kết cấu khung thép theo phương pháp phần tử hữu hạn, đến nay đều đã được chuẩn hóa và được đưa vào thành các công cụ tính rất hữu ích trong nhiều phần mềm tính toán dạng nghiên cứu cũng như dạng thương phẩm, một vài phần mềm nổi tiếng có thể kể tên như SAP2000, Etabs, Ansys, Lusad...

Luận văn sẽ sử dụng một phần mềm chuyên dụng mang tên Vn3DNC-là phần mềm do PGS.TS Trần Nhất Dũng xây dựng và lập trình, để nghiên cứu, thử nghiệm số với bài toán thiết kế kết cấu khung thép có kể đến chuyển dịch trước tại đỉnh cột.

2.4. Phần mềm chuyên dụng Vn3DNC

2.4.1. Tổ chức chương trình

Sơ đồ khối đơn giản nhất của chương trình bao gồm 3 khối chính:



a) Tổ chức dữ liệu

Để đáp ứng yêu cầu đề ra của đề tài luận văn, khối 2 - khối trung tâm của chương trình phải đảm bảo thực hiện được các nội dung: tính toán các tham số nút, phần tử, điều kiện biên..., tính nội lực và chuyển vị tương ứng

với từng mức độ liên kết cụ thể của cột - móng, lưu trữ được các dữ liệu qua từng lượt tính. Nhiệm vụ đặt ra cho khối này bao gồm:

- + Xác định các tham số số liệu của bài toán.
- + Giải bài toán nội lực và chuyển vị cho bước tính hiện tại.
- + Lưu trữ số liệu và kết quả tính của bước tính hiện tại.

Tuỳ theo nhiệm vụ tính khác nhau mà yêu cầu nhập số liệu cũng khác nhau. Toàn bộ số liệu nhập có thể phân chia sơ bộ theo 3 khối:

*** Khối số liệu 1**

Đảm nhận việc cung cấp số liệu để cấu tạo ma trận độ cứng K và ma trận khối lượng M . Về chi tiết, cần nhập các nhóm số liệu sau:

- Số liệu nút: Chỉ số nút, Toạ độ X, Toạ độ Y, Toạ độ Z.
- Số liệu điều kiện biên.
- Số liệu về vật liệu: Chỉ số nhóm vật liệu, Môduyn đàn hồi E , Hệ số Poisson μ , Mật độ khối lượng ρ .
- Số liệu hình học: Chỉ số nhóm hình học, Các kích thước hình học, Mã tiết diện.
- Số liệu cho phần tử thanh không gian: Chỉ số phần tử, Chỉ số nút I, Chỉ số nút J, Chỉ số nút phụ K, Chỉ số nhóm vật liệu, Chỉ số nhóm hình học.

*** Khối số liệu 2**

Đảm nhận số liệu để cấu tạo véc tơ tải. Khối này có nhiệm vụ cung cấp số liệu về tải trọng tĩnh để cấu tạo véc tơ tải P . Tải trọng tĩnh đưa vào chương trình dưới ba dạng là trọng lượng bản thân, tải trọng nút, tải trọng phần tử.

*** Khối số liệu 3**

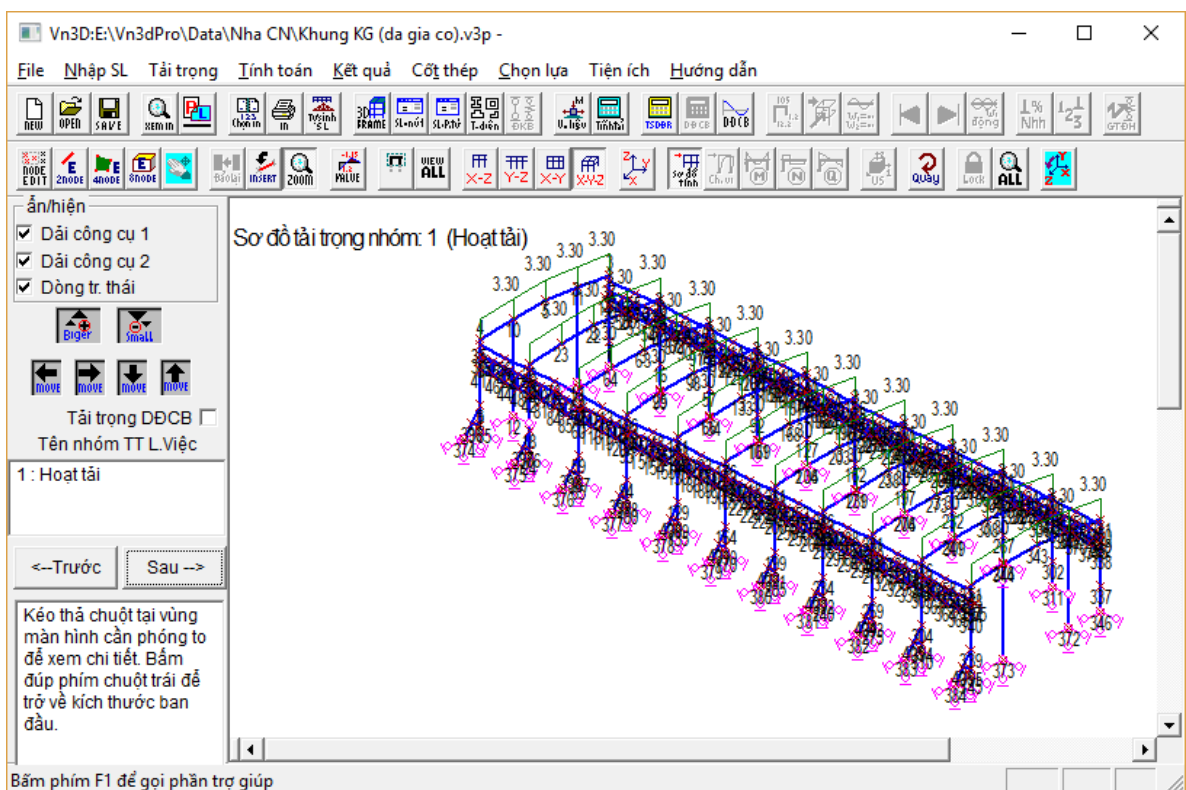
Đảm nhận việc phát sinh số liệu bài toán chuyển dịch trước, các số liệu khác phục vụ việc giải bài toán PTHH. Đây là khối số liệu rất quan trọng

quyết định mức độ chính xác cũng như tốc độ giải của bài toán khảo sát, nhưng ngoài ra đây cũng phải là khối số liệu được thiết kế mở, nghĩa là người sử dụng có thể dễ dàng điều chỉnh, thay đổi để phục vụ sát hơn các nhiệm vụ nghiên cứu.

2.4.2. Tổng quan về Vn3DNC

a) Các tính năng chủ yếu

Vn3DNC là chương trình tính kết cấu không gian dạng tổng quát, chương trình cho phép khai báo và làm việc với các dạng phần tử thanh, phần tử vỏ, phần tử khối; có thể tính giải bài toán chịu tác dụng của tải trọng tĩnh và động. Vn3DNC có thể tính kết cấu loại khung BTCT, khung thép, bể chứa có sườn tăng cường, kết cấu tấm, vỏ, nhà cao tầng kết hợp tấm tường, sàn chịu lực... Vn3DNC được viết bằng ngôn ngữ C++ chạy trong môi trường Windows trên cơ sở các thuật toán của lý thuyết phần tử hữu hạn.



Hình 2.4. Giao diện chính của Vn3DNC.

Chương trình có giao diện tiếng Việt với hệ thống MENU +

TOOLBAR tiện sử dụng, có khả năng phát sinh số liệu nhanh, chính xác, có phân thể hiện đồ hoạ phong phú, sinh động dễ dàng chỉnh sửa và in ấn.

b) Khả năng tính toán

- Vn3DNC có thể tính giải nội lực cho bài toán khung, dàn, dầm trên nền đàn hồi, tám kết hợp chịu lực, khối - vỏ - khung tương tác, ... với nhiều kiểu phân tử khác nhau thể hiện các mối liên kết đa dạng và phức tạp của bài toán cơ học. Vn3DNC cũng tính toán được với các bài toán chuyển dịch trước, chuyển dịch cưỡng bức gối tựa, bài toán nền đàn hồi, bài toán gối tựa đàn hồi... các khai báo số liệu nhập của Vn3DNC là thuận tiện để sử dụng, có thể hiệu chỉnh nhanh và hầu hết đều có phân thể hiện đồ hoạ.

- Vn3DNC cho phép người sử dụng có thể tự định nghĩa các trường hợp tải trọng cần tổ hợp. Khi ấy các phương án đặt tải là do người sử dụng không chế. Số lượng các phương án đặt tải là không hạn chế (có thể lên tới hàng trăm trường hợp). Khi cần tính toán với các dạng tổ hợp tải trọng cơ bản hoặc đặc biệt, các nhóm tải trọng này có thể được xếp thành tải trọng dài hạn, ngắn hạn một cách tùy ý.

- Vn3DNC có thể xuất kết quả ra bất kỳ thiết bị nào mà hệ thống cho phép do vậy NSD có thể in kết quả ra máy in màu hoặc đen trắng, ra máy vẽ khổ lớn, ra máy in phun hoặc xuất ra FILE để đem đi nơi khác in v.v..

VN3dNC là phần có độ tin cậy, đã được nhiều đơn vị, tổ chức và cá nhân trong cả nước sử dụng, đã được tính toán kiểm chứng với các dạng bài toán từ đơn giản đến phức tạp. Những bài toán có nghiệm giải tích hoặc có thể dễ dàng tính được nghiệm thông qua các chương trình tính thông dụng khác thì nghiệm từ Vn3dNC gần như hoàn toàn trùng khớp. Những kết quả tính toán với các bài toán lớn, bài toán phức tạp đã được Vn3dNC so sánh đối chứng với các chương trình nổi tiếng của nước ngoài như SAP, ETABs, STAAD ... đều cho kết quả với sự sai lệch không đáng kể.

2.5. Giải bài toán thiết kế khung thép có kể đến sai số lắp dựng bằng phần mềm Vn3dNC

Các sai số lắp dựng đã trình bày, sẽ được thay thế bằng các "chuyển dịch trước" (tương đương với việc các nhà thầu khi lắp dựng phải dùng kích, hoặc cầu để điều chỉnh kết cấu vào vị trí lắp dựng). Các "chuyển dịch trước" này sẽ khiến cho kết cấu ngay sau khi lắp dựng đã có thể xuất hiện nội lực và ứng suất trước. Trong trường hợp bất lợi các ứng suất trước này có thể cộng tác dụng với ứng suất do ngoại tải gây ra và có thể làm cho kết cấu bị hư hại.

Sai số lắp dựng là sai số không mong muốn, nhưng luôn tồn tại và có thể gồm nhiều kiểu dạng khác nhau. Tuy nhiên do khuôn khổ có hạn, nên trong các nghiên cứu, cũng như phần thể hiện tại thử nghiệm số chương 3, luận văn sẽ chỉ tập trung nghiên cứu 03 bài toán với sai số lắp dựng, cụ thể là:

+ **BT1**: Sai số lắp dựng khi cột không thật sự thẳng đứng:

Đây là trường hợp khung thép được giải với giả thiết đỉnh cột bị lệch trái (hoặc lệch phải) với độ lệch Δx . Độ lệch đỉnh cột được khảo sát với trị số biến thiên từ Δx_{\min} đến Δx_{\max} :

+ **BT2**: Sai số lắp dựng khi mã nối cột và mã nối kèo bị nghiêng:

Bài toán này khảo sát trường hợp mặt phẳng mã nối đỉnh cột và mã nối chân kèo không tiếp xúc toàn bộ. Đây là trường hợp cũng khá phổ biến trong lắp dựng. Thông thường các mã nối được thiết kế với tư thế làm việc ở phương nằm ngang, nhưng có thể vì lý do nào đó mà đến khi lắp dựng tại hiện trường mã cột hoặc mã chân kèo không đạt được điều đó. Lúc này, nhà thầu lắp dựng thường sử dụng bu lông liên kết siết chặt lại để "KHỬ" độ vênh. Kết quả sau khi lắp dựng mọi chi tiết vẫn ở tư thế làm việc đúng thiết kế, nhưng thực chất đã có một vài bộ phận, cấu kiện trong khung đã bị rơi vào trường hợp "ứng suất trước".

Trong phần mềm Vn3DNC, ”độ nghiêng” nói trên cũng được mô tả bởi độ chuyển dịch trước của nút, nhưng độ chuyển dịch trước lần này sẽ là chuyển dịch góc xoay (M_x hoặc M_y), đơn vị tính của loại chuyển dịch này là radian (hình 2.5).

Hình 2.5. Minh họa việc khai báo độ lệch $\Delta\phi_y$ cho nút đỉnh cột (BT2).

+ **BT3**: Sai số khi khung thép lắp dựng không cùng mặt phẳng:

Đây cũng là một dạng sai số lắp dựng khá thường gặp. Thông thường khung thép được thiết kế theo mô hình phẳng, nghĩa là mọi cấu kiện của khung sẽ cùng nằm trong cùng một mặt phẳng. Tuy nhiên để đảm bảo các cấu kiện thuộc khung K1 sau khi lắp dựng luôn cùng nằm trong một mặt phẳng là điều rất khó. Độ lệch phẳng Δy , có thể xuất hiện tại các nút khung, nơi có các liên kết bu lông khi lắp dựng (đỉnh cột, đỉnh kèo, mã nối kèo...). Bài toán này, có thể là ảnh hưởng của độ lệch thẳng Δy hoặc cũng có thể là góc xoay $\Delta\phi_z$ làm thay đổi nội lực và ứng suất trong kết cấu khung thép hiện xét.

+ Độ lệch thẳng : Δy (chuyển dịch thẳng hướng trục Y hệ tọa độ chung);

+ Độ lệch xoay : $\Delta\phi_z$ (xoay quanh trục Z hệ tọa độ chung).

Mỗi bài toán (BT1 ; BT2; BT3), trên đây lại được giải với nhiều "lượt" mỗi lượt tính có sai số lắp dựng khác nhau. Các kết quả sau mỗi lượt tính sẽ được lưu lại để so sánh đánh giá với kết quả của các bài toán khác.

Nội dung cụ thể của BT1 ; BT2; BT3 sẽ được trình bày kỹ và rõ hơn trong thử nghiệm số chương 3 của luận văn này.

Kết luận chương 2

Các nghiên cứu của chương 2 cho thấy vị trí và tầm quan trọng của việc đánh giá mức độ ảnh hưởng của sai số lắp đặt đến nội lực và chuyển vị của kết cấu khung thép nhà công nghiệp. Qua đó cũng đã chọn được phương thức tiếp cận và đánh giá mức độ ảnh hưởng của sai số lắp đặt đến nội lực và chuyển vị của kết cấu.

Các lý giải và thuật toán trình bày trong chương này cũng đã đề đạt được một mô hình xác định ảnh hưởng của sai số lắp đặt đến kết cấu, mô hình đưa ra là khá đơn giản và tường minh, có thể lập trình được. Qua đó luận văn đã sử dụng phần mềm chuyên dụng mang tên Vn3dNC, đây là phần mềm dạng thương phẩm do PGS.TS Trần Nhất Dũng xây dựng và lập trình, làm công cụ để tác giả luận văn thực hiện được các bài toán khảo sát, đánh giá trong phần thử nghiệm số của chương 3 sau đây.

CHƯƠNG 3. THỬ NGHIỆM SỐ

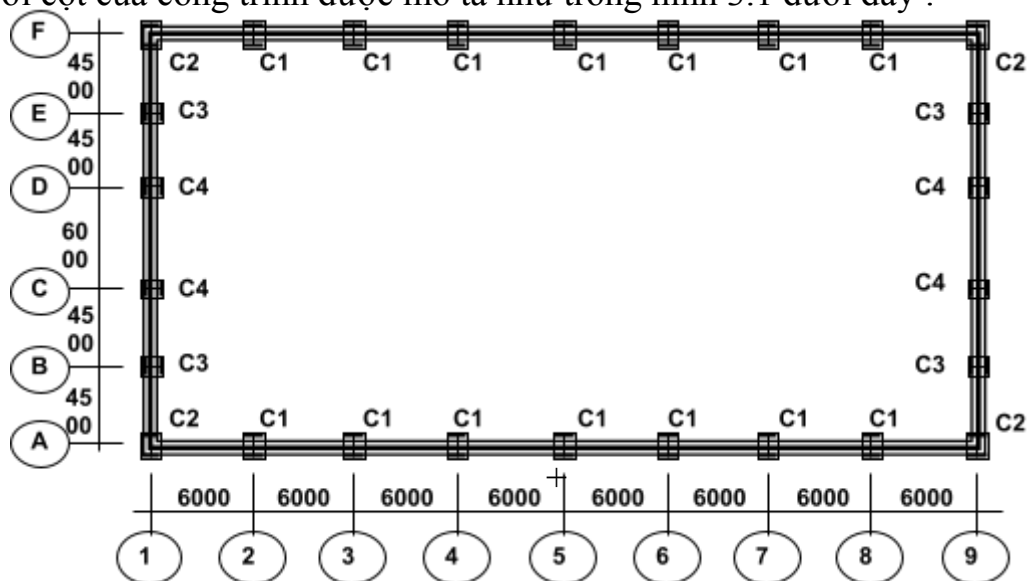
3.1. Mô tả công trình thử nghiệm

3.1.1. Giới thiệu về công trình

Công trình thử nghiệm số của luận văn là một công trình thực, đó là khung thép K1 – nhà xưởng A1 thuộc nhà máy Quốc phòng Z176, chuyên sản xuất các vật liệu nguy trang. Địa điểm xây dựng công trình là quận Long Biên – TP Hà Nội. Công trình được thiết kế bởi Công ty AIC – Học viện KTQS, năm 2006.

Nhà xưởng A1 Z176, kích thước 24m x 48m, là công trình dạng nhà công nghiệp được xây dựng trên một khu đất trống trải. Móng nhà được thiết kế theo phương án móng đơn làm bằng vật liệu bê tông cốt thép. Phần khung chịu lực chính được làm bằng thép hình dạng tổ hợp, dạng khung Zamil - là kiểu kết cấu thép đang rất được phổ biến hiện nay và là dạng kết cấu cho thấy có nhiều ưu điểm, có thể thi công nhanh, phù hợp với điều kiện khí hậu của Việt Nam.

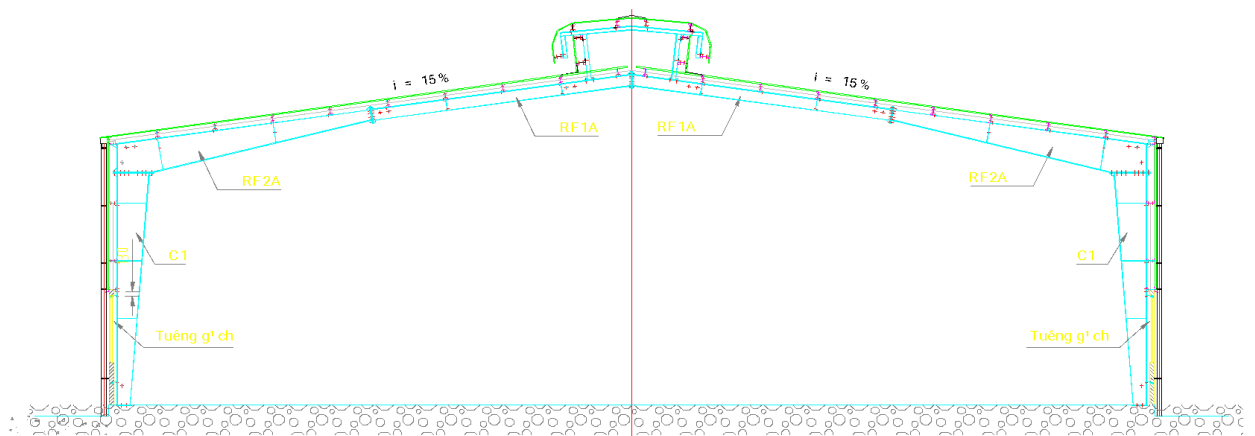
Nền nhà xưởng được đổ bê tông mác 250 dày 150. Quanh nhà được xây tường cao 3m, vừa để tạo cảm giác vững chãi cho công trình, vừa để giảm bớt tác dụng của tải trọng gió lên hệ kết cấu khung chịu lực bằng thép. Mái nhà xưởng được lợp bằng tôn dày 0.45, với độ dốc thoát nước là 15%. Mặt bằng lưới cột của công trình được mô tả như trong hình 3.1 dưới đây :



Hình 3.1. Mặt bằng móng của công trình.

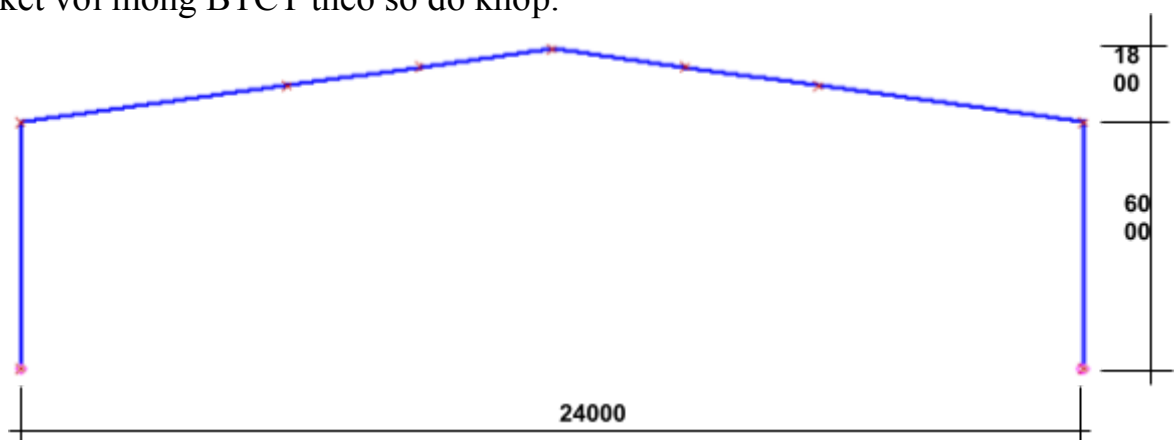
Các tính toán, thiết kế công trình được tính theo tiêu chuẩn Việt Nam, và dựa trên các căn cứ, tài liệu sau đây :

- Yêu cầu kinh tế, kỹ thuật, dây chuyền công năng của nhà xưởng (do chủ đầu tư cung cấp);
- Tài liệu khảo sát địa chất công trình;
- Tiêu chuẩn tải trọng và tác động TCVN 2737-1995;
- Tiêu chuẩn thiết kế kết cấu thép TCVN 5575-1991;
- Nguyên tắc cơ bản trong tính toán kết cấu xây dựng TCNN 40-1987;
- Phần mềm phân tử hữu hạn Vn3dNC.



Hình 3.2. Mặt đứng khung chính K1 trục 2 đến trục 8.

Khung thép K1 được tính toán theo sơ đồ khung phẳng, chân cột có liên kết với móng BTCT theo sơ đồ khớp.



Hình 3.3. Khung điển hình tính theo sơ đồ phẳng (khung K1)

3.1.2. Các số liệu đầu vào

- Diện tích công trình: $24 \times 48 = 1152 \text{m}^2$.
- Bước khung : 6.0m
- Khung chế tạo từ thép CT3 có cường độ chịu kéo, nén tiêu chuẩn là 2300 kG/cm^2 , cường độ tính toán là 2100 kG/cm^2 .
- Khoảng cách vượt nhịp : 24.0m
- Chiều cao đến vai cột 6.0m
- Độ dốc mái kèo : 15%

3.1.3. Xác định tải trọng

Bài toán được giải theo sơ đồ khung phẳng với các tải trọng tác động lên kết cấu khung gồm có: tĩnh tải, hoạt tải, gió trái, gió phải, các tải trọng này được khai báo theo nhóm để sau đó có thể tổ hợp tải trọng hoặc tổ hợp nội lực theo TCVN 2737-1995: [3]

- Nhóm 0: Tĩnh tải;
- Nhóm 1: hoạt tải sửa chữa;
- Nhóm 2 : gió đẩy trái;
- Nhóm 3: gió đẩy phải.

Từ các nhóm tải trọng cơ bản trên, ta khai báo các nhóm tải trọng tổ hợp để phần mềm Vn3dNC tính toán nội lực, chuyển vị và ứng suất cho các bài toán khảo sát:

- TH1: Tĩnh tải + hoạt tải sửa chữa;

- TH2: Tĩnh tải + gió đẩy trái;
- TH3: tĩnh tải + gió đẩy phải.

▪ Tải trọng thường xuyên

- Trọng lượng bản thân kết cấu : do chương trình tự tính toán
- Trọng lượng tôn, xà gồ : 10 kg/m²

▪ Hoạt tải mái 30 kg/m²

Bảng 3.1 - Kết quả tính toán tĩnh tải và hoạt tải mái

Loại tải trọng	trị số TT	Đ/V tính	HSVT (K)	Tải TT	Đ/V tính
Trọng lượng bản thân kèo, cột (chương trình tự tính)	0.0	kG/m ²	1.1	0	
Trọng lượng tôn mái, xà gồ	10.0	kG/m ²	1.1	11	
Tải trọng treo (trần, ống thông gió...)	10.0	kG/m ²	1.1	11	
Cộng	20.0	kG/m ²		22	
Tải trọng TT là tĩnh tải đặt lên kèo				132.00	kG/m

Hoạt tải dài hạn tác dụng lên khung kèo

Loại tải trọng			HSVT (K)	Tải TT	
Hoạt tải sửa chữa	30.0	kG/m ²	1.3	39	
Hoạt tải khác	0.0	kG/m ²	1.3	0	
Cộng	30.0	kG/m ²		39	
Tải trọng TT đặt lên kèo				234.00	kG/m

Trong đó hoạt tải mái (hoạt tải sửa chữa) sẽ chỉ tồn tại khi không có tải trọng gió (là hoạt tải loại trừ với tải trọng gió).

Tải trọng gió:

Tải trọng gió được xác định thông qua địa điểm xây dựng công trình (Gia Lâm – Hà Nội), bản đồ phân vùng gió, và TCVN 2737-1995. Các trị số xác định tải trọng, được tính toán và lập thành bảng 1 dưới đây:

Bảng 3.2 - Kết quả xác định tải trọng gió lên khung K1

Tính toán tải trọng gió theo công thức: $W=W_0.k.C.g$. Trong đó :					
<i>W₀-Tải trọng gió lấy theo bản đồ phân vùng</i>	95.00	kG/m²			
<i>Các kích thước hình học (h₁; L; b)</i>	h ₁ (m)	L(m)	b (m)	h ₁ /L	b/L
	6.00	24.00	48.00	0.25	2.00
độ dốc mái (%)	15%	=	8.53	độ	
<i>K - Hệ số độ cao</i>					
Dạng địa hình					
Địa hình dạng A (trống trải)					
Chân cột	1.00				
Đỉnh cột	1.09				
<i>C - Hệ số khí động</i>					
Đặt lên tường tại mặt đón gió (C _e)	0.80				
Đặt lên tường tại mặt hút gió (C _{e3})	-0.50	tra bảng với b/L=2.00 và h ₁ /L=0.25			
Đặt lên mái phía đón gió (C _{e1}) - ép xuống	-0.21	tra bảng với b/L=2.00 và Alpha=8.53			
Đặt lên mái phía hút gió (C _{e2}) - bóc lên	-0.40				
<i>g - Hệ số độ tin cậy</i>	1.20				
<i>Khoảng cách dồn tải trọng (m)/bước khung</i>	6.00	m			
<i>Trị số tải trọng gió tính toán đặt lên khung</i>					
Chân cột (mặt đón gió)	547.20	kG/m	TB		
Đỉnh cột - Mặt đón gió	597.54	kG/m	572.37		
Chân cột (mặt hút gió)	-342.00	kG/m			
Đỉnh cột - Mặt hút gió	-373.46	kG/m	-357.73		
Mái kèo - mặt đón gió	-160.36	kG/m			
Mái kèo - mặt hút gió	-298.77	kG/m			

3.1.4. Mô tả các bài toán thử nghiệm

Để xem xét ảnh hưởng của sai số lắp dựng đến nội lực và chuyển vị của kết cấu thép công trình thử nghiệm, luận văn sẽ thực hiện 02 bài toán với cùng số liệu khung K1 như sau:

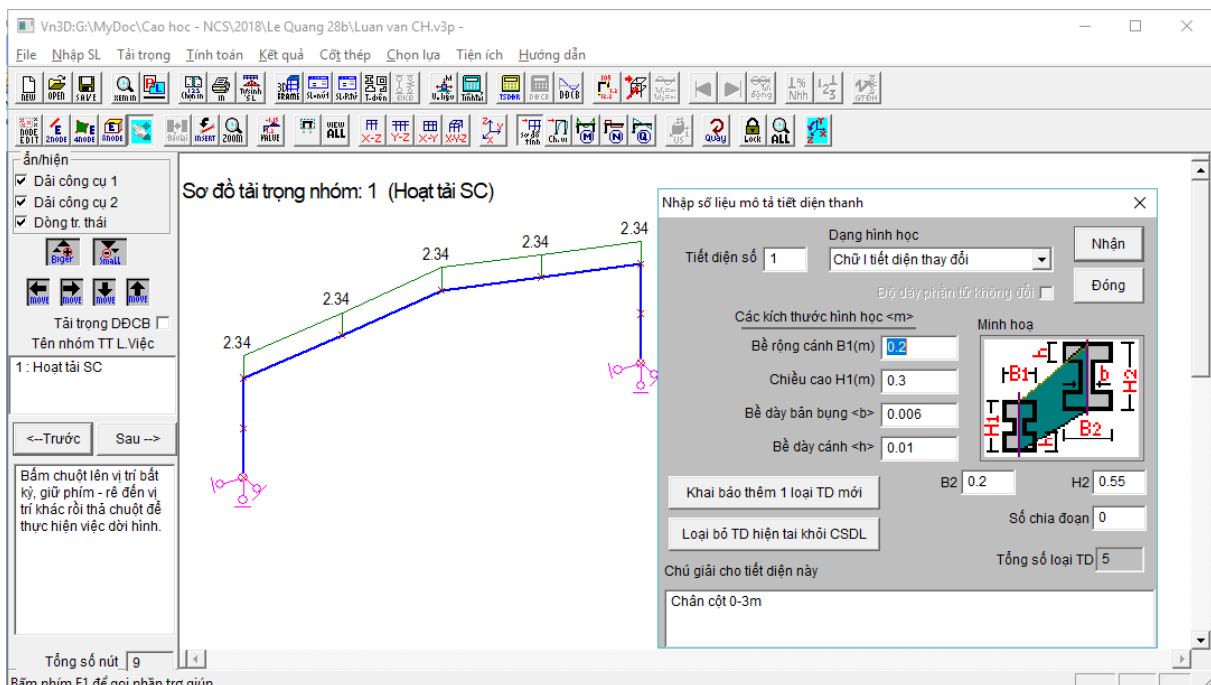
Bài toán 1: Tính toán thiết kế khung theo mô hình truyền thống

Với mô hình tính của bài toán 1, phần số liệu kết cấu, tải trọng liên kết... được nhập và tính toán như một bài toán thiết kế thông thường. Các kết cấu cột, kèo được mô tả như các phần tử thanh 3D (nhưng giải theo mô hình phẳng); các tải trọng được khai báo theo nhóm và tổ hợp tải trọng như đã trình bày trong mục 3.1.3 trên đây. Các kết quả tính toán của bài toán 1 sẽ được sử dụng làm số liệu đối chứng, cho kết quả nghiên cứu của bài toán 2.

Bài toán 2: Tính toán thiết kế khung có kê đến sai số lắp dựng

Bài toán 2 sẽ sử dụng lại toàn bộ số liệu kết cấu, tải trọng... khung K1 từ bài toán 1, nhưng trong tính toán có thêm một lượng nhất định các trường hợp ”chuyển dịch trước” do lắp dựng. Các kết quả tính toán của bài toán 2 sẽ được so sánh đánh giá với kết quả đã có từ bài toán 1 để đưa ra các nhận xét, khuyến cáo cần thiết.

3.2. Bài toán 1: Tính toán thiết kế khung theo mô hình truyền thống



Hình 3.4. Màn hình giao diện chính của Vn3DNC.

3.2.1. Các số liệu nhập của bài toán

Tên bài toán: Tính toán kết cấu khung thép K1

Tổng số nút : 9
 Tổng số phần tử thanh: 8
 Số loại tiết diện: 5
 Số loại vật liệu : 1
 Số nhóm tải trọng: 4
 Số tải trọng nút: 0
 Số tải trọng phần tử: 20

Các thông số về vật liệu

VL số	MĐ Đ.hồi	HS nở hông	KL riêng	Mô tả
1	210000000.00	0.300	78.500	Thép xây dựng

Các thông số về tiết diện hình học

TĐ số	Hình dạng	KT1 (m)	KT2 (m)	KT3 (m)	KT4 (m)	F (cm ²)	Jx (cm ⁴)	Jy (cm ⁴)	Jz (cm ⁴)
1	I TD thay đổi	0.200	0.300	0.006	0.010	64.30	10844.8	1333.8	9510.9
2	I TD thay đổi	0.200	0.700	0.006	0.008	61.04	55379.4	1067.9	54311.5
3	Chữ I đều cánh	0.200	0.300	0.006	0.008	49.04	9035.3	1067.2	7968.1
4	I TD thay đổi	0.200	0.300	0.006	0.008	61.04	9035.3	1067.2	7968.1
5	I TD thay đổi	0.200	0.550	0.006	0.010	77.80	37941.5	1334.3	36607.2

Các số liệu nút

Số TT	Toạ độ			Điều kiện LK					
	X (m)	Y (m)	Z (m)	X	Y	Z	fX	fY	fZ
1	0.00	0.00	0.00	1	1	1	1	0	1
2	24.00	0.00	0.00	1	1	1	1	0	1
3	0.00	0.00	6.00	0	0	0	0	0	0
4	24.00	0.00	6.00	0	0	0	0	0	0
5	12.00	0.00	7.80	0	0	0	0	0	0
6	6.00	0.00	6.90	0	0	0	0	0	0
7	18.00	0.00	6.90	0	0	0	0	0	0
8	0.00	0.00	3.00	0	0	0	0	0	0
9	24.00	0.00	3.00	0	0	0	0	0	0

Các số liệu phần tử thanh 2 nút

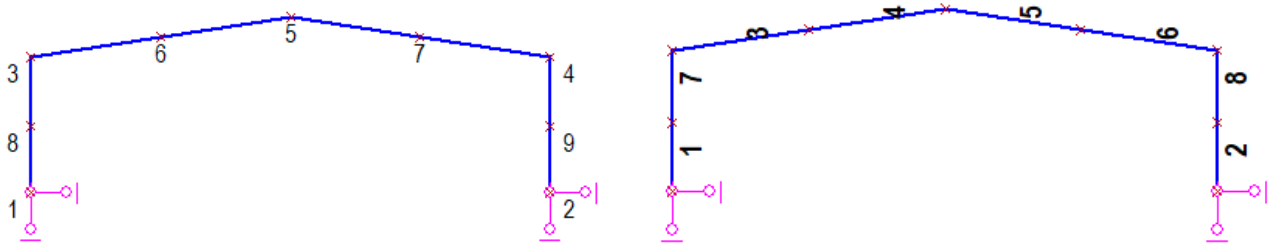
Số TT	Nút i	Nút j	Nút K	Loại VL	Loại TD
1	1	8	X	1	1
2	2	9	X	1	1
3	3	6	Z	1	2
4	6	5	Z	1	3
5	5	7	Z	1	3
6	7	4	Z	1	4
7	8	3	X	1	5
8	9	4	X	1	5

Các số liệu tải trọng phần tử (20 tải)

Số TT	Tại	Ptử	Nhóm	Pi (kN/m)	Pj (kN/m)	L0 (m)	L1 (m)	Hướng
1	3	0		-1.32	-1.32		Dài PT	0
2	4	0		-1.32	-1.32		Dài PT	0
3	5	0		-1.32	-1.32		Dài PT	0
4	6	0		-1.32	-1.32		Dài PT	0
5	3	1		-2.34	-2.34		Dài PT	0
6	4	1		-2.34	-2.34		Dài PT	0
7	5	1		-2.34	-2.34		Dài PT	0

8	6	1	-2.34	-2.34	Dài PT	0
9	3	2	1.60	1.60	Dài PT	0
10	4	2	1.60	1.60	Dài PT	0
11	5	2	2.99	2.99	Dài PT	0
12	6	2	2.99	2.99	Dài PT	0
13	7	2	5.72	5.72	Dài PT	0
14	8	2	3.58	3.58	Dài PT	0
15	5	3	1.60	1.60	Dài PT	0
16	6	3	1.60	1.60	Dài PT	0
17	3	3	2.99	2.99	Dài PT	0
18	4	3	2.99	2.99	Dài PT	0
19	7	3	-3.58	-3.58	Dài PT	0
20	8	3	-5.72	-5.72	Dài PT	0

Sơ đồ đánh số nút, số phần tử của bài toán khảo sát được thể hiện như trên hình vẽ 3.5 dưới đây

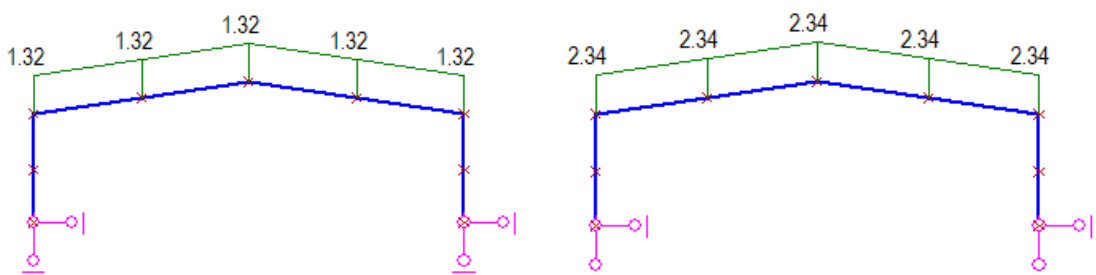


a) Sơ đồ đánh số nút

b) Sơ đồ đánh số phần tử

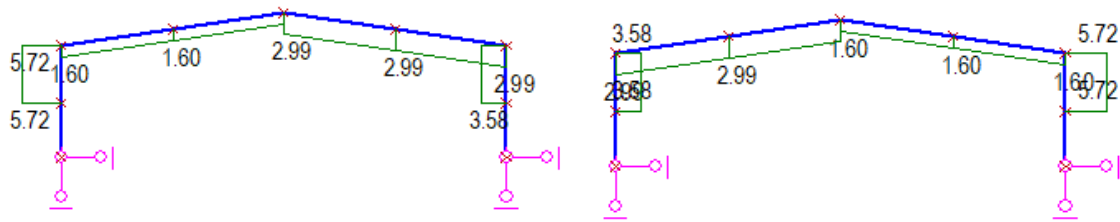
Hình 3.5. Sơ đồ đánh số nút, số phần tử.

Các sơ đồ tính toán theo từng nhóm tải trọng cơ bản như sau:



a) Sơ đồ tĩnh tải (nhóm 0)

b) Sơ đồ hoạt tải sửa chữa (nhóm 1)



c) Sơ đồ tải trọng gió trái (nhóm 2) d) Sơ đồ tải trọng gió phải (nhóm 3)

Hình 3.6. Sơ đồ các nhóm tải trọng tính toán.

3.2.2. Kết quả tính toán chuyển vị, nội lực và ứng suất (bài toán 1)

a) Kết quả tính toán chuyển vị

KẾT QUẢ CHUYỂN VỊ THẲNG DO TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)

Chuyển dịch thẳng cực đại $dX<m> = 0.01318$ tại nút : 4
 Chuyển dịch thẳng cực đại $dY<m> = 0.00000$ tại nút : 1
 Chuyển dịch thẳng cực đại $dZ<m> = -0.09123$ tại nút : 5
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiX<rad> = 0.00000$ tại nút : 1
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiY<rad> = 0.01171$ tại nút : 6
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiZ<rad> = 0.00000$ tại nút : 1

KẾT QUẢ CHUYỂN VỊ THẲNG DO TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH2:0(1.00)+2(1.00)

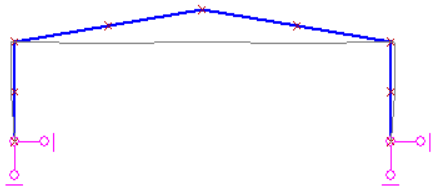
Chuyển dịch thẳng cực đại $dX<m> = 0.06707$ tại nút : 7
 Chuyển dịch thẳng cực đại $dY<m> = 0.00000$ tại nút : 1
 Chuyển dịch thẳng cực đại $dZ<m> = 0.03378$ tại nút : 7
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiX<rad> = 0.00000$ tại nút : 1
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiY<rad> = 0.01187$ tại nút : 1
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiZ<rad> = 0.00000$ tại nút : 1

KẾT QUẢ CHUYỂN VỊ THẲNG DO TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH3:0(1.00)+3(1.00)

Chuyển dịch thẳng cực đại $dX<m> = -0.06707$ tại nút : 6
 Chuyển dịch thẳng cực đại $dY<m> = 0.00000$ tại nút : 1
 Chuyển dịch thẳng cực đại $dZ<m> = 0.03378$ tại nút : 6
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiX<rad> = 0.00000$ tại nút : 1
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiY<rad> = -0.01187$ tại nút : 2
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiZ<rad> = 0.00000$ tại nút : 1

Sơ đồ chuyển vị nút gây ra bởi tải trọng nhóm: 4
(TH1:0(1.00)+1(1.00))

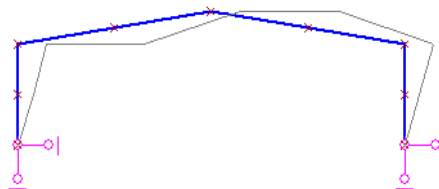
Ch.vị thẳng dXmax=13.178mm, tại nút: 4
Ch.vị thẳng dZmax=-91.231mm, tại nút: 5



a) Chuyển vị do TH1 gây ra

Sơ đồ chuyển vị nút gây ra bởi tải trọng nhóm: 5
(TH2:0(1.00)+2(1.00))

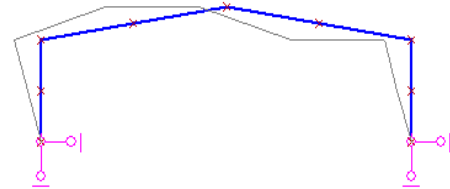
Ch.vị thẳng dXmax=67.071mm, tại nút: 7
Ch.vị thẳng dZmax=33.782mm, tại nút: 7



b) Chuyển vị do TH2 gây ra

Sơ đồ chuyển vị nút gây ra bởi tải trọng nhóm: 6
(TH3:0(1.00)+3(1.00))

Ch.vị thẳng dXmax=-67.071mm, tại nút: 6
Ch.vị thẳng dZmax=33.782mm, tại nút: 6



c) Chuyển vị do TH3 gây ra

Hình 3.7. Kết quả tính toán chuyển vị theo PA thiết kế truyền thống.

b) Kết quả tính toán nội lực và ứng suất

KẾT QUẢ NỘI LỰC DO TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)

NMax= 56.632<kN> tại nút: 2 (Ptử:2<2,9>)

NMin= 43.389<kN> tại nút :6 (Ptử:4<6,5>)

QyMax= 44.602<kN> tại nút: 3 (Ptử:3<3,6>)

QyMin= -44.602<kN> tại nút :4 (Ptử:6<7,4>)

QzMax= 0.000<kN> tại nút: 1 (Ptử:1<1,8>)

QzMin= 0.000<kN> tại nút :1 (Ptử:1<1,8>)

MxMax= 0.000<kN.m> tại nút: 1 (Ptử:1<1,8>)

MxMin= 0.000<kN.m> tại nút :1 (Ptử:1<1,8>)

MyMax= 0.000<kN.m> tại nút: 1 (Ptử:1<1,8>)

MyMin= 0.000<kN.m> tại nút :1 (Ptử:1<1,8>)

MzMax= 220.209<kN.m> tại nút: 4 (Ptử:8<9,4>)

MzMin= -220.209<kN.m> tại nút :3 (Ptử:7<8,3>)

USMax= 147.3<MPa> tại nút: 4 (Ptử:6<7,4>) [US nén]

USMin= 9.2<MPa> tại nút :7 (Ptử:6<7,4>) [US kéo]

KẾT QUẢ NỘI LỰC DO TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH2:0(1.00)+2(1.00)

NMax= 3.417<kN> tại nút: 4 (Ptử:6<7,4>)

NMin= -2.301<kN> tại nút :3 (Ptử:7<8,3>)

QyMax= -1.691<kN> tại nút: 4 (Ptử:6<7,4>)

QyMin= -16.283<kN> tại nút :1 (Ptử:1<1,8>)

QzMax= 0.000<kN> tại nút: 1 (Ptử:1<1,8>)

QzMin= 0.000<kN> tại nút :1 (Ptử:1<1,8>)

MxMax= 0.000<kN.m> tại nút: 1 (Ptử:1<1,8>)

MxMin= 0.000<kN.m> tại nút :1 (Ptử:1<1,8>)

MyMax= 0.000<kN.m> tại nút: 1 (Ptử:1<1,8>)

MyMin= 0.000<kN.m> tại nút :1 (Ptử:1<1,8>)

MzMax= 72.434<kN.m> tại nút: 3 (Ptử:7<8,3>)

MzMin= -71.679<kN.m> tại nút :3 (Ptử:3<3,6>)

USMax= 100.8<MPa> tại nút: 7 (Ptử:5<5,7>) [US nén]

USMin= -88.3<MPa> tại nút :6 (Ptử:4<6,5>) [US kéo]

KẾT QUẢ NỘI LỰC DO TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH3:0(1.00)+3(1.00)

NMax= 3.417<kN> tại nút: 3 (Ptử:3<3,6>)

NMin= -2.301<kN> tại nút :4 (Ptử:8<9,4>)

QyMax= 16.283<kN> tại nút: 2 (Ptử:2<2,9>)

QyMin= 1.691<kN> tại nút :3 (Ptử:3<3,6>)

QzMax= 0.000<kN> tại nút: 1 (Ptử:1<1,8>)

QzMin= 0.000<kN> tại nút :1 (Ptử:1<1,8>)

MxMax= 0.000<kN.m> tại nút: 1 (Ptử:1<1,8>)

MxMin= 0.000<kN.m> tại nút :1 (Ptử:1<1,8>)

MyMax= 0.000<kN.m> tại nút: 1 (Ptử:1<1,8>)

MyMin= 0.000<kN.m> tại nút :1 (Ptử:1<1,8>)

MzMax= 69.357<kN.m> tại nút: 3 (Ptử:3<3,6>)

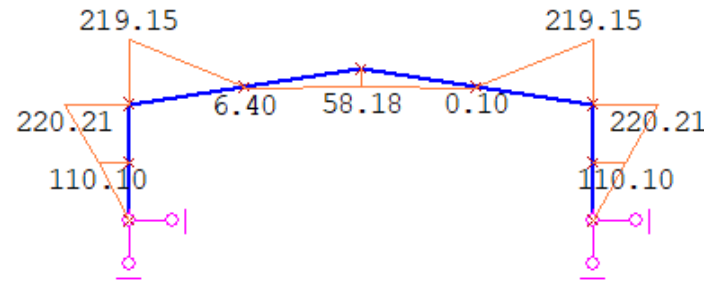
MzMin= -72.434<kN.m> tại nút :4 (Ptử:8<9,4>)

USMax= 100.8<MPa> tại nút: 6 (Ptử:4<6,5>) [US nén]

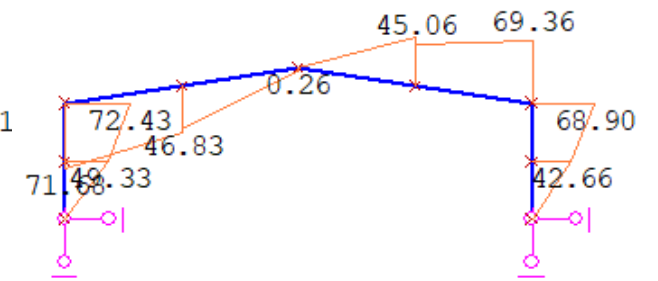
USMin= -88.3<MPa> tại nút :7 (Ptử:5<5,7>) [US kéo]

Các kết quả đồ họa của bài toán 1 được thể hiện trên các hình 3.8 và 3.9 dưới đây. Chúng được sử dụng để làm cơ sở so sánh, đánh giá cho bài toán khảo sát ảnh hưởng của sai số lắp dựng đến nội lực và chuyển vị của kết cấu khung thép sẽ được thực hiện từ bài toán 2.

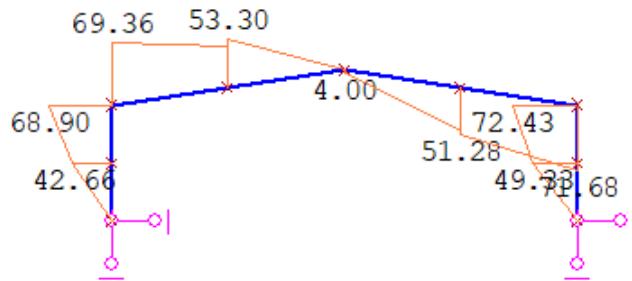
Môment trong PT thanh do tải trọng nhóm: 4
 (TH1:0(1.00)+1(1.00))
 $M_{zmax} = -220.21 <kN.m>$ tại nút : 4



Môment trong PT thanh do tải trọng nhóm: 5
 (TH2:0(1.00)+2(1.00))
 $M_{zmax} = -72.43 <kN.m>$ tại nút : 3



Môment trong PT thanh do tải trọng nhóm: 6
 (TH3:0(1.00)+3(1.00))
 $M_{zmax} = 72.43 <kN.m>$ tại nút : 4

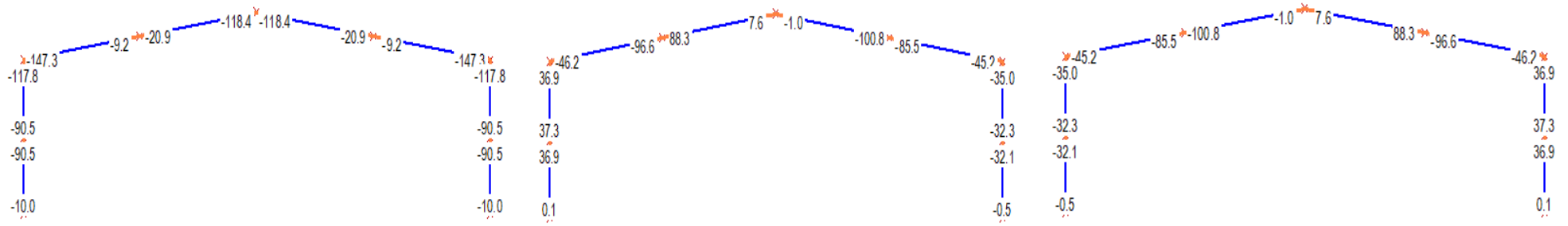


a) Mô men do TH1 gây ra

b) Mô men do TH2 gây ra

c) Mô men do TH3

Hình 3.8. Kết quả tính toán mô men theo PA thiết kế truyền thống.



a) Ứng suất do TH1 gây ra

b) Ứng suất do TH2 gây ra

c) Ứng suất do TH3 gây ra

Hình 3.9. Kết quả tính toán ứng suất theo PA thiết kế truyền thống (Bài toán 1).

3.3. Bài toán 2: Tính toán khung K1 có kể đến sai số lắp dựng

3.3.1. Các nội dung nghiên cứu của bài toán 2

Bài toán 2 sử dụng lại toàn bộ số liệu nhập của bài toán 1. Nghĩa là các sơ đồ nút, sơ đồ phân tử, sơ đồ tải trọng... đã mô tả trong mục 3.2.1. sẽ được sử dụng làm số liệu kết cấu cho các nhiệm vụ của bài toán 2 này.

Phần số liệu "thêm vào" của bài toán 2 là các "chuyên dịch trước", xuất hiện do quá trình lắp dựng khung thép nhà công nghiệp. Các tham số này có thể là một trong các dạng sau:

- + **BT2-1**: Sai số lắp dựng khi cột không thật sự thẳng đứng;
- + **BT2-2**: Sai số lắp dựng khi mã nối cột và mã nối kèo bị nghiêng;
- + **BT2-3**: Sai số khi khung thép lắp dựng không cùng mặt phẳng.

Mỗi bài toán (**BT2-1** ; **BT2-2**; **BT2-3**), lại được giải với nhiều "Lượt" mỗi lượt tính có sai số lắp dựng khác nhau. Các kết quả sau mỗi lượt tính sẽ được lưu lại để so sánh đánh giá với kết quả của Bài toán 1.

Các sai số lắp dựng này trên thực tế có thể cùng tồn tại trên khung thép, nhưng để khảo sát, đánh giá được mức độ ảnh hưởng của từng dạng sai số trên, Bài toán 2 sẽ lần lượt khảo sát từng dạng sai số này để sau đó có thể làm rõ hơn sai số nào có ảnh hưởng lớn nhất đến nội lực, ứng suất trong kết cấu khung thép.

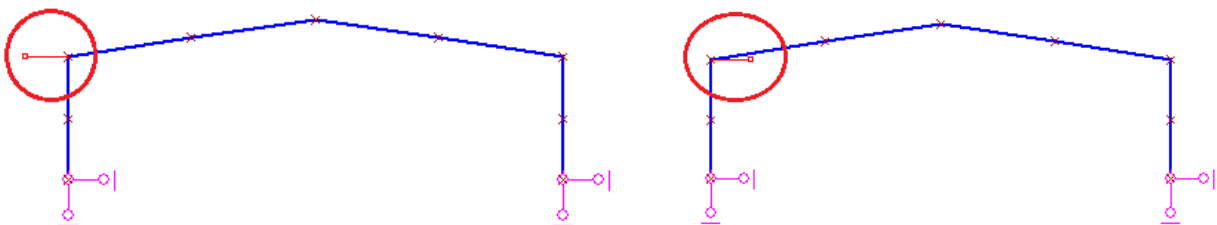
3.3.2. BT2-1 : Tính toán khung K1 khi cột không thẳng đứng

3.3.2.1. Mô tả bài toán và số liệu đầu vào

Trường hợp này, Bài toán 2 giải nội lực khung K1 với giả thiết đỉnh cột bị lệch trái (hoặc lệch phải) với độ lệch Δx . Độ lệch đỉnh cột được khảo sát với trị số biến thiên $\Delta X = -30 \text{ mm} \div +30 \text{ mm}$, bước khảo sát của mỗi lượt tính là 10 mm (tổng cộng có 06 lượt tính).

Việc khai báo độ lệch Δx cho nút 3 (đỉnh cột), được thực hiện thông qua hộp thoại hình 3.10 của Vn3DNC.

Hình 3.10. Khai báo độ lệch Δx cho nút đỉnh cột (BT2-1).



a) Độ lệch $\Delta x = -0.010$

b) Độ lệch $\Delta x = 0.010$

Hình 3.11. Minh họa sơ đồ tính khung K1 sau khi khai báo độ lệch Δx .

3.3.2.2. Kết quả tính toán nội lực và ứng suất (BT2-1)

▪ *Lượt tính 1: Khi $\Delta x = -0.030$*

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)
 NMax= 60.215<kN> tại nút: 1 (Ptừ:1<1,8>)
 NMin= 36.891<kN> tại nút :5 (Ptừ:5<5,7>)
 QyMax= 49.040<kN> tại nút: 3 (Ptừ:3<3,6>)
 QyMin= -41.954<kN> tại nút :4 (Ptừ:6<7,4>)
 MzMax= 268.937<kN.m> tại nút: 3 (Ptừ:3<3,6>)
 MzMin= -270.001<kN.m> tại nút :3 (Ptừ:7<8,3>)
 σ Max= 178.6<MPa> tại nút: 3 (Ptừ:3<3,6>) [σ S nén]

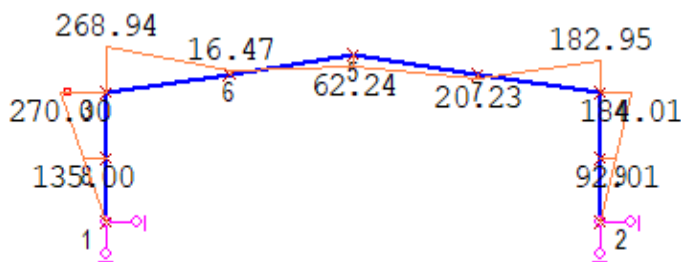
$U_{SMin} = 9.3 < \text{MPa} >$ tại nút :2 (Ptừ:2<2,9>) [US kéo]

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH2:0(1.00)+2(1.00)

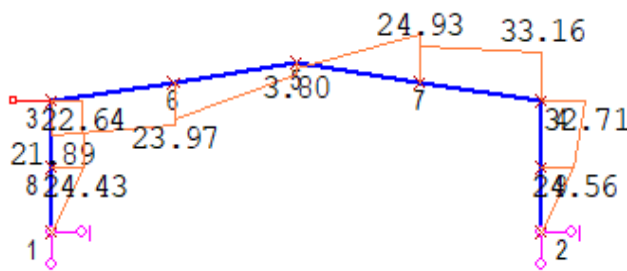
NMax= 2.814<kN> tại nút: 1 (Ptừ:1<1,8>)
 NMin= -5.989<kN> tại nút :6 (Ptừ:4<6,5>)
 QyMax= 6.316<kN> tại nút: 3 (Ptừ:7<8,3>)
 QyMin= -8.086<kN> tại nút :9 (Ptừ:2<2,9>)
 MzMax= 33.167<kN.m> tại nút: 7 (Ptừ:5<5,7>)
 MzMin= -28.415<kN.m> tại nút :6 (Ptừ:3<3,6>)
 $U_{SMax} = 18.6 < \text{MPa} >$ tại nút: 8 (Ptừ:7<8,3>) [US nén]
 $U_{SMin} = -63.3 < \text{MPa} >$ tại nút :7 (Ptừ:5<5,7>) [US kéo]

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH3:0(1.00)+3(1.00)

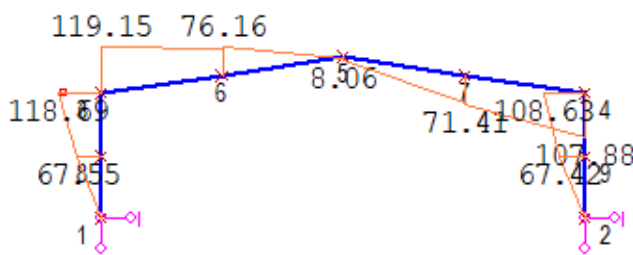
NMax= 6.375<kN> tại nút: 1 (Ptừ:1<1,8>)
 NMin= -7.052<kN> tại nút :5 (Ptừ:5<5,7>)
 QyMax= 22.418<kN> tại nút: 8 (Ptừ:1<1,8>)
 QyMin= 5.513<kN> tại nút :4 (Ptừ:6<7,4>)
 MzMax= 119.149<kN.m> tại nút: 3 (Ptừ:3<3,6>)
 MzMin= -118.694<kN.m> tại nút :3 (Ptừ:7<8,3>)
 $U_{SMax} = 60.6 < \text{MPa} >$ tại nút: 3 (Ptừ:7<8,3>) [US nén]
 $U_{SMin} = -144.0 < \text{MPa} >$ tại nút :6 (Ptừ:4<6,5>) [US kéo]



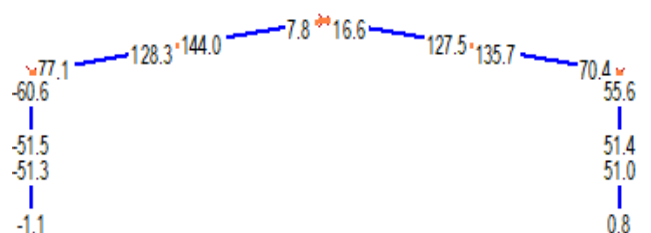
a) Mô men do TH1 gây ra



b) Mô men do TH2 gây ra



c) Mô men do TH3 gây ra



d) Ứng suất do TH3 gây ra

Hình 3.12. Mô men và ứng suất của BT2-1 (lượt tính 1).

▪ **Lượt tính 2: Khi $\Delta x = -0.020$**

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)

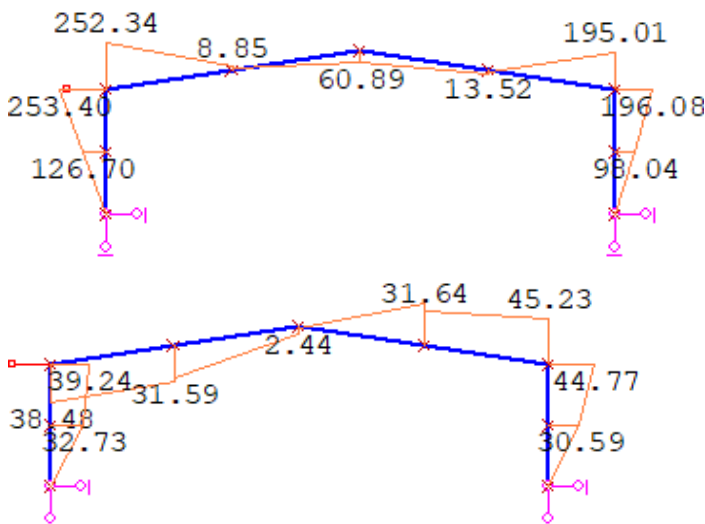
NMax= 59.021<kN> tại nút: 1 (Ptừ:1<1,8>)
 NMin= 39.057<kN> tại nút :5 (Ptừ:5<5,7>)
 QyMax= 47.561<kN> tại nút: 3 (Ptừ:3<3,6>)
 QyMin= -42.837<kN> tại nút :4 (Ptừ:6<7,4>)
 MzMax= 252.339<kN.m> tại nút: 3 (Ptừ:3<3,6>)
 MzMin= -253.404<kN.m> tại nút :3 (Ptừ:7<8,3>)
 USMax= 168.2<MPa> tại nút: 3 (Ptừ:3<3,6>) [US nén]
 USMin= 9.5<MPa> tại nút :2 (Ptừ:2<2,9>) [US kéo]

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH2:0(1.00)+2(1.00)

NMax= 1.620<kN> tại nút: 1 (Ptừ:1<1,8>)
 NMin= -4.177<kN> tại nút :6 (Ptừ:4<6,5>)
 QyMax= 3.549<kN> tại nút: 3 (Ptừ:7<8,3>)
 QyMin= -10.751<kN> tại nút :1 (Ptừ:1<1,8>)
 MzMax= 45.226<kN.m> tại nút: 4 (Ptừ:6<7,4>)
 MzMin= -38.484<kN.m> tại nút :3 (Ptừ:3<3,6>)
 USMax= 24.7<MPa> tại nút: 8 (Ptừ:7<8,3>) [US nén]
 USMin= -75.5<MPa> tại nút :7 (Ptừ:5<5,7>) [US kéo]

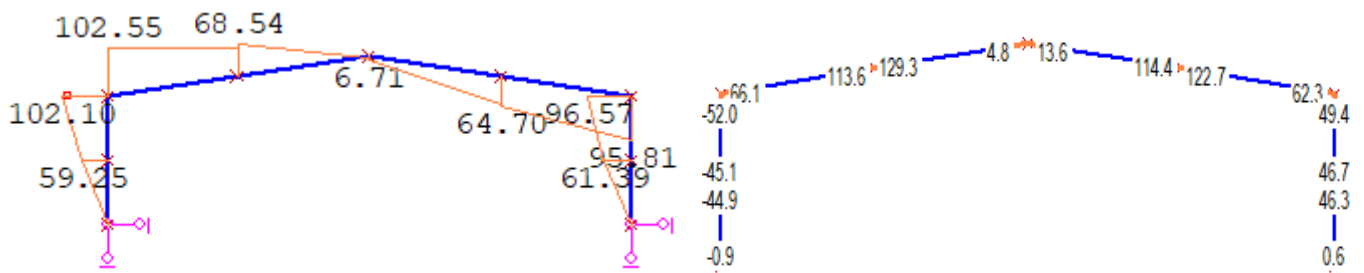
KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH3:0(1.00)+3(1.00)

NMax= 5.181<kN> tại nút: 1 (Ptừ:1<1,8>)
 NMin= -4.886<kN> tại nút :5 (Ptừ:5<5,7>)
 QyMax= 20.305<kN> tại nút: 2 (Ptừ:2<2,9>)
 QyMin= 4.630<kN> tại nút :4 (Ptừ:6<7,4>)
 MzMax= 102.551<kN.m> tại nút: 3 (Ptừ:3<3,6>)
 MzMin= -102.097<kN.m> tại nút :3 (Ptừ:7<8,3>)
 USMax= 52.0<MPa> tại nút: 3 (Ptừ:7<8,3>) [US nén]
 USMin= -129.3<MPa> tại nút :6 (Ptừ:4<6,5>) [US kéo]



a) Mô men do TH1 gây ra

b) Mô men do TH2 gây ra



c) Mô men do TH3 gây ra

d) Ứng suất do TH3 gây ra

Hình 3.13. Mô men và ứng suất của BT2-1 (lượt tính 2).

▪ **Lượt tính 3: Khi $\Delta x = -0.010$**

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)

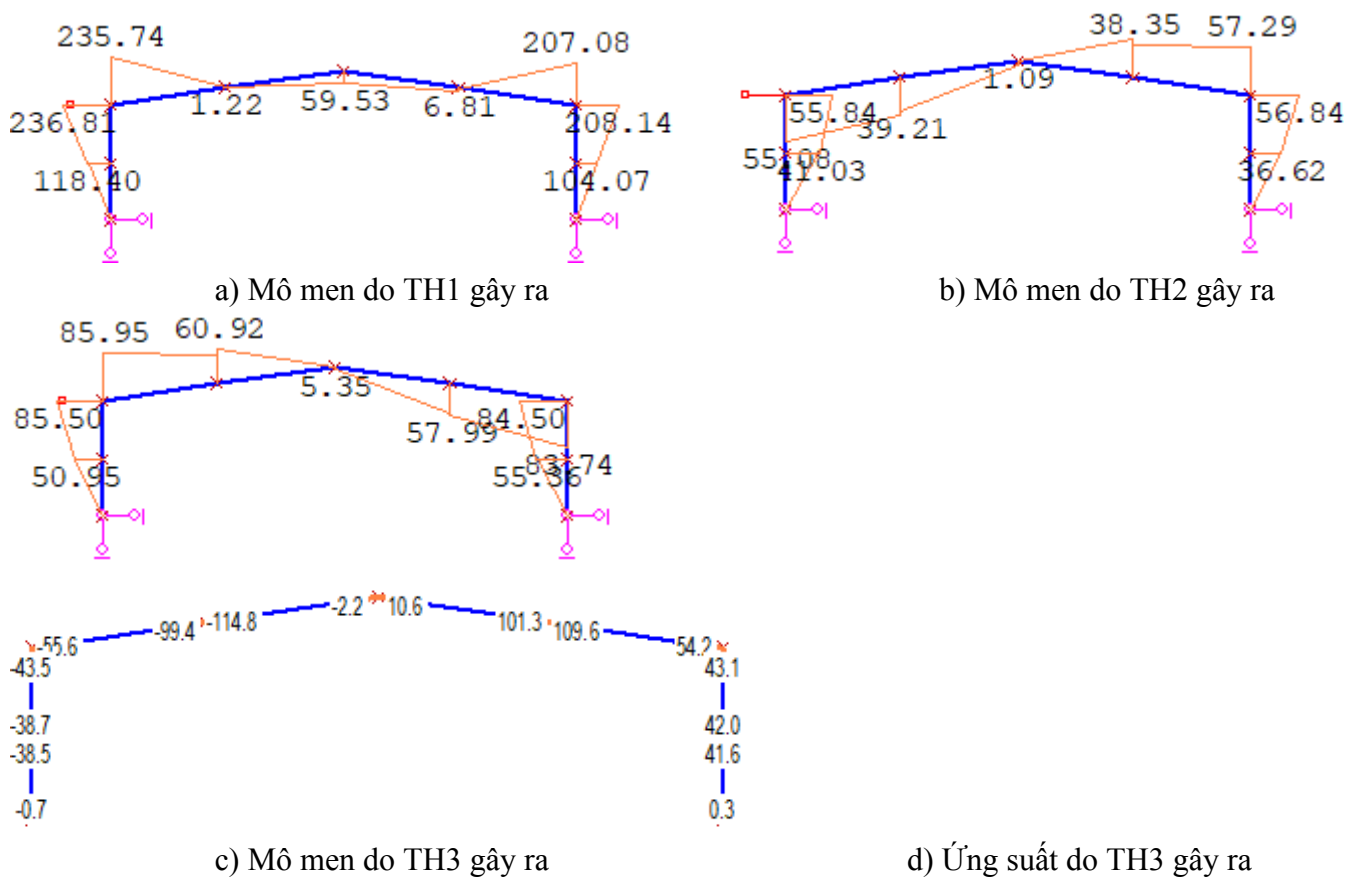
NMax= 57.826<kN> tại nút: 1 (Ptử:1<1,8>)
 NMin= 41.223<kN> tại nút :5 (Ptử:5<5,7>)
 QyMax= 46.082<kN> tại nút: 3 (Ptử:3<3,6>)
 QyMin= -43.720<kN> tại nút :4 (Ptử:6<7,4>)
 MzMax= 235.742<kN.m> tại nút: 3 (Ptử:3<3,6>)
 MzMin= -236.806<kN.m> tại nút :3 (Ptử:7<8,3>)
 σ Max= 157.7<MPa> tại nút: 3 (Ptử:3<3,6>) [σ S nén]
 σ Min= 9.8<MPa> tại nút :2 (Ptử:2<2,9>) [σ S kéo]

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH2:0(1.00)+2(1.00)

NMax= 1.598<kN> tại nút: 2 (Ptử:2<2,9>)
 NMin= -2.366<kN> tại nút :6 (Ptử:4<6,5>)
 QyMax= 0.783<kN> tại nút: 3 (Ptử:7<8,3>)
 QyMin= -13.517<kN> tại nút :1 (Ptử:1<1,8>)
 MzMax= 57.291<kN.m> tại nút: 4 (Ptử:6<7,4>)
 MzMin= -55.082<kN.m> tại nút :3 (Ptử:3<3,6>)
 σ Max= 87.8<MPa> tại nút: 7 (Ptử:5<5,7>) [σ S nén]
 σ Min= -82.5<MPa> tại nút :6 (Ptử:3<3,6>) [σ S kéo]

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH3:0(1.00)+3(1.00)

NMax= 3.987<kN> tại nút: 1 (Ptử:1<1,8>)
 NMin= -3.496<kN> tại nút :4 (Ptử:8<9,4>)
 QyMax= 18.294<kN> tại nút: 9 (Ptử:2<2,9>)
 QyMin= 3.171<kN> tại nút :3 (Ptử:3<3,6>)
 MzMax= 85.954<kN.m> tại nút: 3 (Ptử:3<3,6>)
 MzMin= -85.500<kN.m> tại nút :3 (Ptử:7<8,3>)
 σ Max= 114.8<MPa> tại nút: 6 (Ptử:4<6,5>) [σ S nén]
 σ Min= -109.6<MPa> tại nút :7 (Ptử:6<7,4>) [σ S kéo]



Hình 3.14. Mô men và ứng suất của BT2-1 (lượt tính 3).

▪ **Lượt tính 4: Khi $\Delta x = +0.010$**

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)

NMax= 57.826<kN> tại nút: 2 (Ptừ:2<2,9>)
 NMin= 45.200<kN> tại nút :6 (Ptừ:4<6,5>)
 QyMax= 43.123<kN> tại nút: 3 (Ptừ:3<3,6>)
 QyMin= -45.485<kN> tại nút :4 (Ptừ:6<7,4>)
 MzMax= 232.275<kN.m> tại nút: 4 (Ptừ:8<9,4>)
 MzMin= -203.612<kN.m> tại nút :3 (Ptừ:7<8,3>)
 σ SMax= 155.4<MPa> tại nút: 4 (Ptừ:6<7,4>) [σ S nén]
 σ SMin= 9.8<MPa> tại nút :1 (Ptừ:1<1,8>) [σ S kéo]

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH2:0(1.00)+2(1.00)

NMax= 5.583<kN> tại nút: 4 (Ptừ:6<7,4>)
 NMin= -3.496<kN> tại nút :3 (Ptừ:7<8,3>)
 QyMax= -2.574<kN> tại nút: 4 (Ptừ:6<7,4>)
 QyMin= -19.049<kN> tại nút :1 (Ptừ:1<1,8>)
 MzMax= 89.031<kN.m> tại nút: 3 (Ptừ:7<8,3>)
 MzMin= -88.276<kN.m> tại nút :3 (Ptừ:3<3,6>)
 σ SMax= 113.9<MPa> tại nút: 7 (Ptừ:5<5,7>) [σ S nén]
 σ SMin= -45.4<MPa> tại nút :3 (Ptừ:7<8,3>) [σ S kéo]

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH3:0(1.00)+3(1.00)

NMax= 5.229<kN> tại nút: 3 (Ptừ:3<3,6>)

NMin= -1.107<kN> tại nút :4 (Ptừ:8<9,4>)

QyMax= 14.272<kN> tại nút: 2 (Ptừ:2<2,9>)

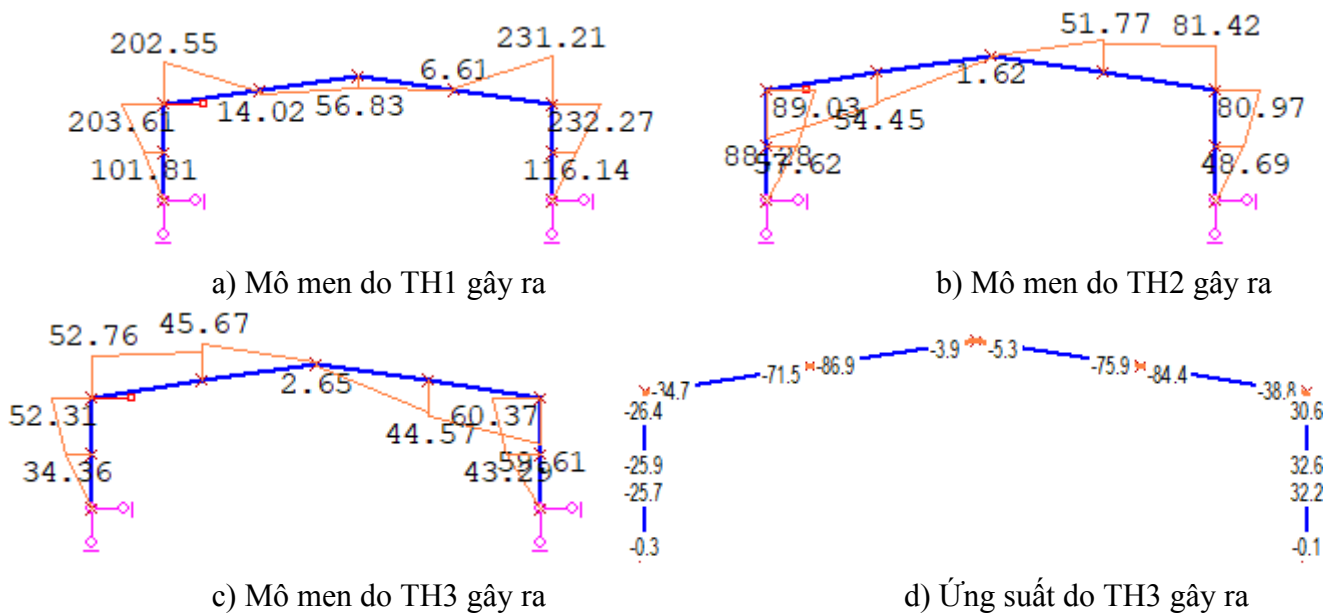
QyMin= -0.028<kN> tại nút :4 (Ptừ:8<9,4>)

MzMax= 52.760<kN.m> tại nút: 3 (Ptừ:3<3,6>)

MzMin= -60.369<kN.m> tại nút :4 (Ptừ:8<9,4>)

ŪSMax= 86.9<MPa> tại nút: 6 (Ptừ:4<6,5>) [ŪS nén]

ŪSMin= -32.6<MPa> tại nút :9 (Ptừ:8<9,4>) [ŪS kéo]



Hình 3.15. Mô men và ứng suất của BT2-1 (lượt tính 4).

▪ **Lượt tính 5: Khi $\Delta x = +0.020$**

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)

NMax= 59.021<kN> tại nút: 2 (Ptừ:2<2,9>)

NMin= 47.012<kN> tại nút :6 (Ptừ:4<6,5>)

QyMax= 41.644<kN> tại nút: 3 (Ptừ:3<3,6>)

QyMin= -46.368<kN> tại nút :4 (Ptừ:6<7,4>)

MzMax= 244.340<kN.m> tại nút: 4 (Ptừ:8<9,4>)

MzMin= -187.015<kN.m> tại nút :3 (Ptừ:7<8,3>)

ŪSMax= 163.4<MPa> tại nút: 4 (Ptừ:6<7,4>) [ŪS nén]

ŪSMin= 9.5<MPa> tại nút :1 (Ptừ:1<1,8>) [ŪS kéo]

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH2:0(1.00)+2(1.00)

NMax= 7.749<kN> tại nút: 4 (Ptừ:6<7,4>)

NMin= -4.690<kN> tại nút :3 (Ptừ:7<8,3>)

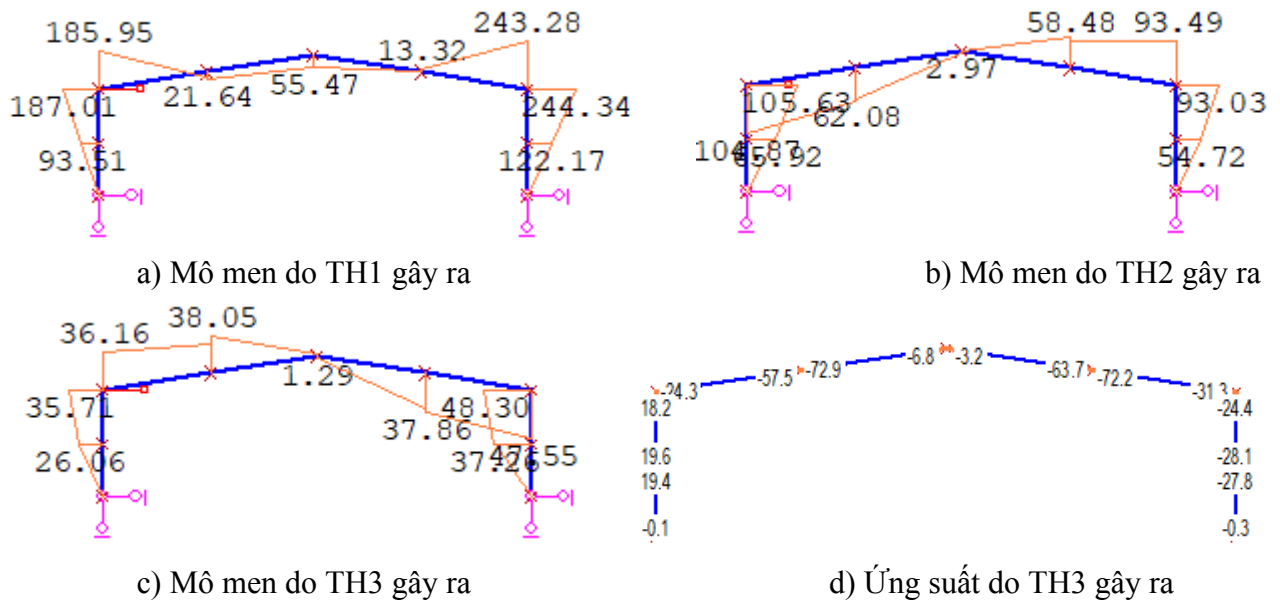
QyMax= -3.457<kN> tại nút: 4 (Ptừ:6<7,4>)

QyMin= -21.815<kN> tại nút :1 (Ptừ:1<1,8>)

$M_{zMax} = 105.629 <kN.m>$ tại nút: 3 (Ptừ:7<8,3>)
 $M_{zMin} = -104.873 <kN.m>$ tại nút :3 (Ptừ:3<3,6>)
 $U'SMax = 127.0 <MPa>$ tại nút: 7 (Ptừ:5<5,7>) [U'S nén]
 $U'SMin = -53.9 <MPa>$ tại nút :3 (Ptừ:7<8,3>) [U'S kéo]

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH3:0(1.00)+3(1.00)

$NMax = 7.040 <kN>$ tại nút: 3 (Ptừ:3<3,6>)
 $NMin = -1.129 <kN>$ tại nút :3 (Ptừ:7<8,3>)
 $QyMax = 12.261 <kN>$ tại nút: 2 (Ptừ:2<2,9>)
 $QyMin = -2.039 <kN>$ tại nút :4 (Ptừ:8<9,4>)
 $MzMax = 38.053 <kN.m>$ tại nút: 6 (Ptừ:4<6,5>)
 $MzMin = -48.303 <kN.m>$ tại nút :4 (Ptừ:8<9,4>)
 $U'SMax = 72.9 <MPa>$ tại nút: 6 (Ptừ:4<6,5>) [U'S nén]
 $U'SMin = -19.6 <MPa>$ tại nút :8 (Ptừ:7<8,3>) [U'S kéo]



Hình 3.16. Mô men và ứng suất của BT2-1 (lượt tính 5).

▪ **Lượt tính 6: Khi $\Delta x = +0.030$**

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)

$NMax = 60.215 <kN>$ tại nút: 2 (Ptừ:2<2,9>)
 $NMin = 48.823 <kN>$ tại nút :6 (Ptừ:4<6,5>)
 $QyMax = 40.164 <kN>$ tại nút: 3 (Ptừ:3<3,6>)
 $QyMin = -47.251 <kN>$ tại nút :4 (Ptừ:6<7,4>)
 $MzMax = 256.406 <kN.m>$ tại nút: 4 (Ptừ:8<9,4>)
 $MzMin = -170.418 <kN.m>$ tại nút :3 (Ptừ:7<8,3>)
 $U'SMax = 171.5 <MPa>$ tại nút: 4 (Ptừ:6<7,4>) [U'S nén]
 $U'SMin = 9.3 <MPa>$ tại nút :1 (Ptừ:1<1,8>) [U'S kéo]

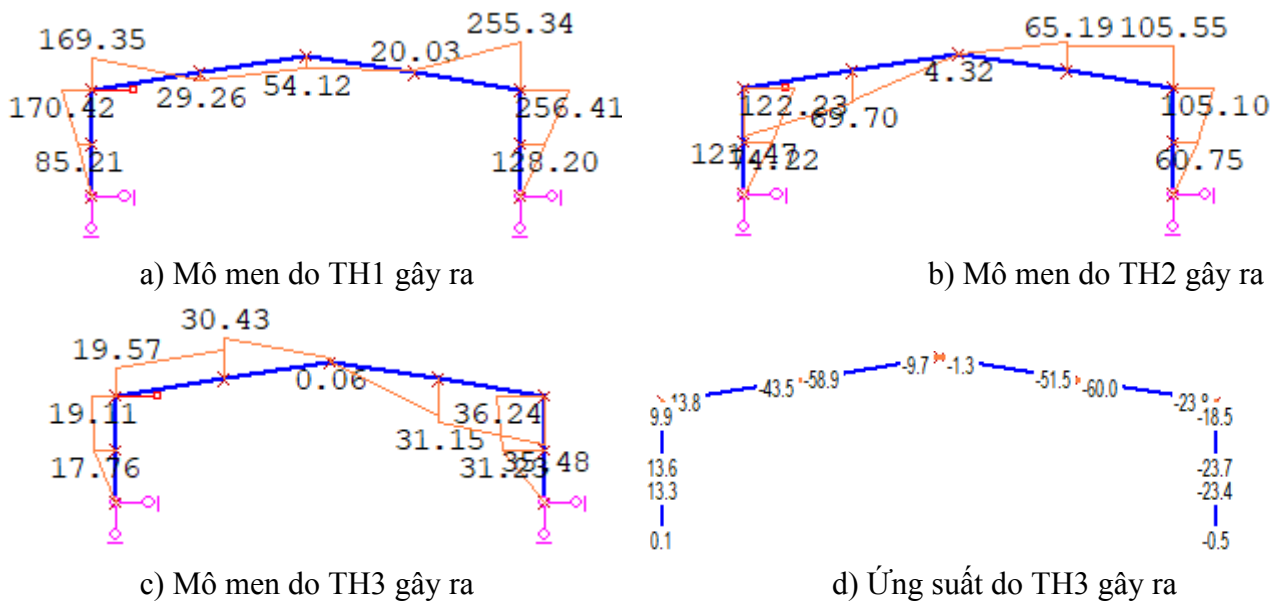
KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH2:0(1.00)+2(1.00)

$NMax = 9.915 <kN>$ tại nút: 4 (Ptừ:6<7,4>)

$N_{Min} = -5.884 <kN>$ tại nút :3 (Ptừ:7<8,3>
 $Q_{yMax} = -4.340 <kN>$ tại nút: 4 (Ptừ:6<7,4>
 $Q_{yMin} = -24.582 <kN>$ tại nút :1 (Ptừ:1<1,8>
 $M_{zMax} = 122.226 <kN.m>$ tại nút: 3 (Ptừ:7<8,3>
 $M_{zMin} = -121.470 <kN.m>$ tại nút :3 (Ptừ:3<3,6>
 $\sigma_{SMax} = 140.7 <MPa>$ tại nút: 6 (Ptừ:3<3,6>) [US nén]
 $\sigma_{SMin} = -62.5 <MPa>$ tại nút :3 (Ptừ:7<8,3>) [US kéo]

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH3:0(1.00)+3(1.00)

$N_{Max} = 8.852 <kN>$ tại nút: 3 (Ptừ:3<3,6>
 $N_{Min} = -2.323 <kN>$ tại nút :3 (Ptừ:7<8,3>
 $Q_{yMax} = 10.250 <kN>$ tại nút: 2 (Ptừ:2<2,9>
 $Q_{yMin} = -4.050 <kN>$ tại nút :4 (Ptừ:8<9,4>
 $M_{zMax} = 30.431 <kN.m>$ tại nút: 6 (Ptừ:4<6,5>
 $M_{zMin} = -36.238 <kN.m>$ tại nút :4 (Ptừ:8<9,4>
 $\sigma_{SMax} = 60.0 <MPa>$ tại nút: 7 (Ptừ:6<7,4>) [US nén]
 $\sigma_{SMin} = -13.6 <MPa>$ tại nút :8 (Ptừ:7<8,3>) [US kéo]



Hình 3.17. Mô men và ứng suất của BT2-1 (lượt tính 6).

3.3.2.3. Nhận xét về kết quả tính trường hợp cột có độ lệch Δx (BT2-1)

So với kết quả từ Bài toán 1 (khi độ lệch $\Delta x = 0$), các trị số về nội lực, ứng suất của kết cấu đều có sự thay đổi đáng kể khi xuất hiện độ lệch $\Delta x \neq 0$;

Khi trị số độ lệch Δx càng lớn mức độ ảnh hưởng đến nội lực và chuyển vị của kết cấu càng nhiều;

Bài toán 1 và BT2-1, đều cho thấy kết quả nội lực và ứng suất của nhóm tải trọng TH1 (Tĩnh tải + Hoạt tải SC) là có trị số lớn nhất. Hay nói cách khác, TH1 là nhóm tải trọng nguy hiểm nhất đối với khung K1 hiện xét.

3.3.3. BT2-2 : Tính toán khung K1 khi mã nổi cột với kèo bị nghiêng

3.3.3.1. Mô tả bài toán và số liệu đầu vào (BT2-2)

Trong phần mềm PTHH "độ nghiêng" nói trên cũng được mô tả bởi độ chuyển dịch trước của nút, nhưng độ chuyển dịch trước lần này sẽ là chuyển dịch góc xoay (M_x hoặc M_y), đơn vị tính của loại chuyển dịch này là radian.

Với bài toán khung K1 hiện nhập, mặt phẳng khung được nhập theo hướng mặt phẳng X0Z, nên "độ nghiêng" khảo sát sẽ là M_y (góc xoay quanh trục 0Y – hệ tọa độ tổng quát). Giống như với bài toán BT2-1 trên đây, mức độ "nghiêng" sẽ được tính bằng radian và sẽ khảo sát góc xoay với phạm vi: $\Delta\phi_y = 0.0001 \text{ rad} \div 0.0006 \text{ rad}$, với bước tăng sau mỗi lượt tính là 0.0001 rad (sẽ có 06 lượt tính).

Do khuôn khổ luận văn có hạn, do các kết quả cực trị của nội lực, ứng suất như đã nhận xét trên đây đều thuộc về nhóm tải trọng TH1, nên các kết quả tính sau đây cũng xin phép chỉ trích in kết quả của nhóm TH1.

3.3.3.2. Kết quả tính toán nội lực và ứng suất (BT2-2)

▪ *Lượt tính 1: Khi $\Delta\phi_y = 0.0001 \text{ rad}$*

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)

NMax= 59.717<kN> tại nút: 2 (Ptừ:2<2,9>)

NMin= 47.905<kN> tại nút :6 (Ptừ:4<6,5>)

QyMax= 41.731<kN> tại nút: 8 (Ptừ:1<1,8>)

QyMin= -46.907<kN> tại nút :4 (Ptừ:6<7,4>)

MzMax= 250.384<kN.m> tại nút: 4 (Ptừ:8<9,4>)

MzMin= -250.384<kN.m> tại nút :3 (Ptừ:7<8,3>)

USMax= 167.5<MPa> tại nút: 4 (Ptừ:6<7,4>) [US nén]

USMin= 9.4<MPa> tại nút :1 (Ptừ:1<1,8>) [US kéo]

▪ *Lượt tính 2: Khi $\Delta\phi_y = 0.0002 \text{ rad}$*

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)
NMax= 62.801<kN> tại nút: 2 (Ptử:2<2,9>)
NMin= 48.930<kN> tại nút :3 (Ptử:7<8,3>)
QyMax= 46.760<kN> tại nút: 8 (Ptử:7<8,3>)
QyMin= -49.211<kN> tại nút :4 (Ptử:6<7,4>)
MzMax= 280.559<kN.m> tại nút: 4 (Ptử:8<9,4>)
MzMin= -280.559<kN.m> tại nút :3 (Ptử:7<8,3>)
USMax= 187.7<MPa> tại nút: 4 (Ptử:6<7,4>) [US nén]
USMin= 8.9<MPa> tại nút :1 (Ptử:1<1,8>) [US kéo]

▪ **Lượt tính 3: Khi $\Delta\phi_y = 0.0003$ rad**

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)
NMax= 65.886<kN> tại nút: 2 (Ptử:2<2,9>)
NMin= 45.845<kN> tại nút :3 (Ptử:7<8,3>)
QyMax= 51.789<kN> tại nút: 8 (Ptử:7<8,3>)
QyMin= -51.789<kN> tại nút :4 (Ptử:8<9,4>)
MzMax= 310.733<kN.m> tại nút: 4 (Ptử:8<9,4>)
MzMin= -310.733<kN.m> tại nút :3 (Ptử:7<8,3>)
USMax= 207.9<MPa> tại nút: 4 (Ptử:6<7,4>) [US nén]
USMin= 8.3<MPa> tại nút :1 (Ptử:1<1,8>) [US kéo]

▪ **Lượt tính 4: Khi $\Delta\phi_y = 0.0004$ rad**

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)
NMax= 68.971<kN> tại nút: 2 (Ptử:2<2,9>)
NMin= 42.761<kN> tại nút :3 (Ptử:7<8,3>)
QyMax= 56.818<kN> tại nút: 8 (Ptử:7<8,3>)
QyMin= -56.818<kN> tại nút :9 (Ptử:8<9,4>)
MzMax= 340.908<kN.m> tại nút: 4 (Ptử:8<9,4>)
MzMin= -340.908<kN.m> tại nút :3 (Ptử:7<8,3>)
USMax= 228.1<MPa> tại nút: 4 (Ptử:6<7,4>) [US nén]
USMin= 7.8<MPa> tại nút :1 (Ptử:1<1,8>) [US kéo]

▪ **Lượt tính 5: Khi $\Delta\phi_y = 0.0005$ rad**

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)
NMax= 72.055<kN> tại nút: 2 (Ptử:2<2,9>)
NMin= 39.676<kN> tại nút :3 (Ptử:7<8,3>)
QyMax= 61.847<kN> tại nút: 8 (Ptử:1<1,8>)
QyMin= -61.847<kN> tại nút :4 (Ptử:8<9,4>)
MzMax= 371.083<kN.m> tại nút: 4 (Ptử:8<9,4>)
MzMin= -371.083<kN.m> tại nút :3 (Ptử:7<8,3>)
USMax= 248.2<MPa> tại nút: 4 (Ptử:6<7,4>) [US nén]
USMin= 7.3<MPa> tại nút :1 (Ptử:1<1,8>) [US kéo]

▪ **Lượt tính 6: Khi $\Delta\phi_y = 0.0006 \text{ rad}$**

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)

NMax= 76.944<kN> tại nút : 4 (Ptừ:6<7,4>)

NMin= 36.591<kN> tại nút :3 (Ptừ:7<8,3>)

QyMax= 66.876<kN> tại nút: 8 (Ptừ:7<8,3>)

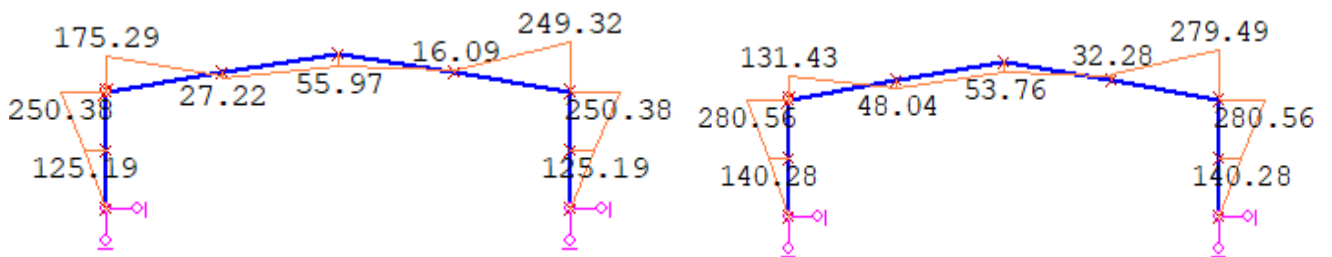
QyMin= -66.876<kN> tại nút :9 (Ptừ:8<9,4>)

MzMax= 401.258<kN.m> tại nút: 4 (Ptừ:8<9,4>)

MzMin= -401.258<kN.m> tại nút :3 (Ptừ:7<8,3>)

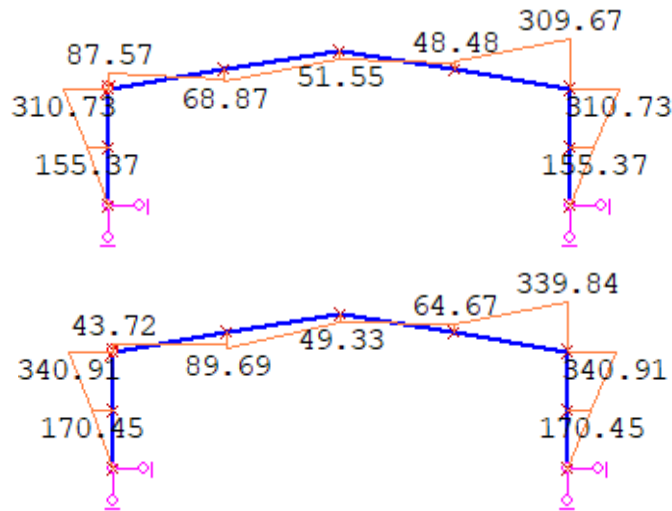
USMax= 268.4<MPa> tại nút: 4 (Ptừ:6<7,4>) [US nén]

USMin= 6.7<MPa> tại nút :1 (Ptừ:1<1,8>) [US kéo]



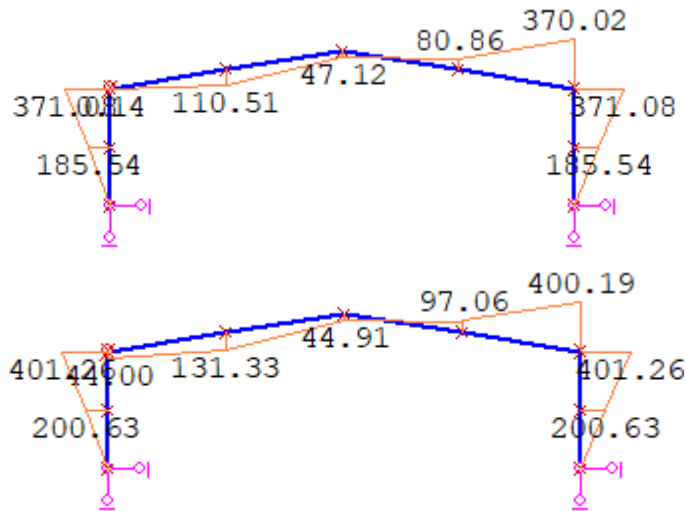
a) Mô men do TH1 lượt tính 1

b) Mô men do TH1 lượt tính 2



c) Mô men do TH1 lượt tính 3

d) Mô men do TH1 lượt tính 4



e) Mô men do TH1 lượt tính 5

f) Mô men do TH1 lượt tính 6

Hình 3.18. Kết quả mô men TH1 của BT2-2 sau 06 lượt tính.

3.3.3.3. Nhận xét về kết quả tính trường hợp mã nổi bị nghiêng (BT2-2)

Ảnh hưởng của độ lệch (độ nghiêng) mã nổi đến kết quả nội lực và ứng suất trong khung là khá rõ rệt và đáng kể. Lượng điều chỉnh sau mỗi lần tính dù khá nhỏ (0.0001 rad), cũng làm tăng đáng kể kết quả nội lực, ứng suất trong khung;

Sau lần thử nghiệm thứ 4, khi $\Delta\phi_y = 0.0004 \text{ rad}$ kết quả ứng suất cực đại đã lên đến 228.1 Mpa, và vượt cả giới hạn của ứng suất cho phép ($[\sigma]=210 \text{ Mpa}$).

3.3.4. BT2-3: Tính toán khung K1 khi các cấu kiện không cùng mặt phẳng

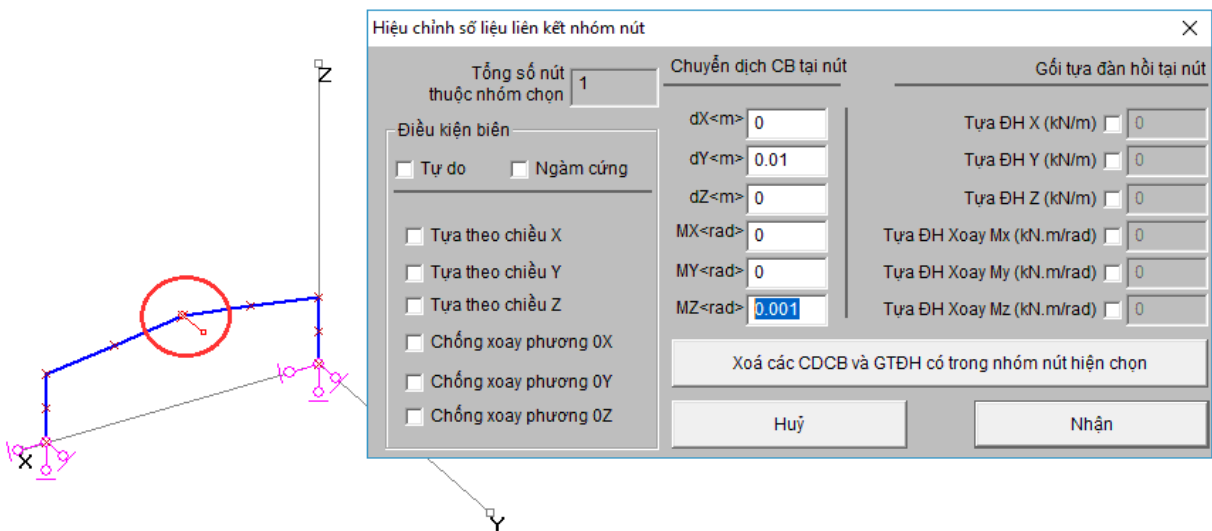
3.3.4.1. Mô tả bài toán và số liệu đầu vào (BT2-3)

BT2-3, sẽ xem xét mức độ ảnh hưởng của độ lệch phẳng Δy đến nội lực và ứng suất trong kết cấu khung K1. Để có cái nhìn đa dạng hơn về kết cấu khung K1, trường hợp lệch phẳng này, Bài toán 2, giả thiết nút bị lệch phẳng là nút đỉnh kèo (nút số 5), và độ lệch sẽ gồm 02 thành phần (theo phương án cùng tác dụng):

+ Độ lệch thẳng : Δy (chuyển dịch thẳng hướng trục Y hệ tọa độ chung);

+ Độ lệch xoay : $\Delta\phi_z$ (xoay quanh trục Z hệ tọa độ chung)

Với bài toán khung K1 hiện nhập, mặt phẳng khung được nhập theo hướng mặt phẳng XOZ, ”độ lệch thẳng” Δy được tính toán với 06 lượt bắt đầu từ $\Delta y = 0.01\text{m} \div 0.06\text{m}$ (từ 10mm đến 60mm), bước tăng sau mỗi lượt tính là 10mm. Tương tự, ”độ lệch xoay” $\Delta\phi_z$ được khảo sát trong phạm vi góc xoay: $\Delta\phi_z = 0.001 \text{ rad} \div 0.006 \text{ rad}$, với bước tăng sau mỗi lượt tính là 0.001 rad (cũng là 06 lượt tính). Sau mỗi lượt tính thì Δy và $\Delta\phi_z$ cùng tăng tương ứng.



Hình 3.19. Khai báo ”độ lệch” Δy và $\Delta\phi_z$ cho nút 5 đỉnh kèo (BT2-3).

3.3.4.2. Kết quả tính toán chuyển vị, nội lực và ứng suất (BT2-3)

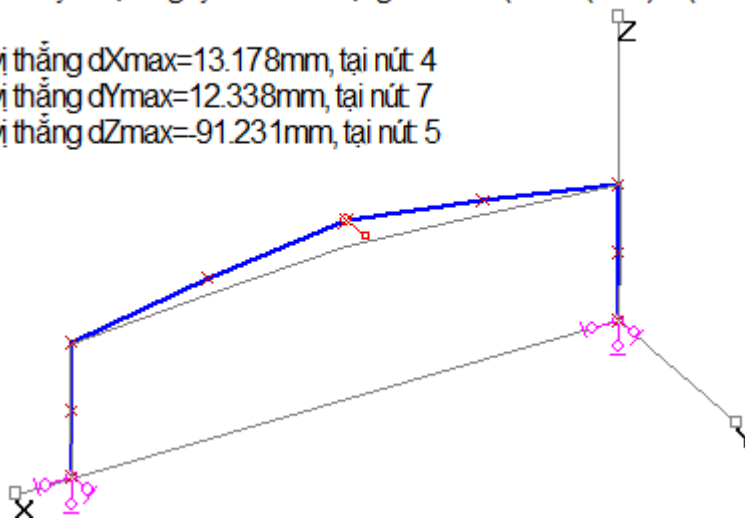
▪ **Lượt tính 1: Khi $\Delta y = 0.01\text{m}$ và $\Delta\phi_z = 0.001 \text{ rad}$**

KẾT QUẢ CHUYỂN VỊ THẲNG DO TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)

Chuyển dịch thẳng cực đại $dX<\text{mm}> = 13.18$ tại nút : 4
 Chuyển dịch thẳng cực đại $dY<\text{mm}> = 12.34$ tại nút : 7
 Chuyển dịch thẳng cực đại $dZ<\text{mm}> = -91.23$ tại nút : 5
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiX<\text{rad}> = -0.00149$ tại nút : 7
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiY<\text{rad}> = 0.01171$ tại nút : 6
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiZ<\text{rad}> = 0.00260$ tại nút : 5

Sơ đồ chuyển vị nút gây ra bởi tải trọng nhóm: 4 (TH1:0(1.00)+1(1.00))

Ch.vị thẳng $dX_{max}=13.178\text{mm}$, tại nút 4
 Ch.vị thẳng $dY_{max}=12.338\text{mm}$, tại nút 7
 Ch.vị thẳng $dZ_{max}=-91.231\text{mm}$, tại nút 5



Hình 3.20. Kết quả chuyển vị của nhóm tải trọng TH1 (lượt tính 1).

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)

NMax= 56.632<kN> tại nút: 2 (Ptừ:2<2,9>)
 NMin= 43.389<kN> tại nút :6 (Ptừ:4<6,5>)
 QyMax= 44.602<kN> tại nút: 3 (Ptừ:3<3,6>)
 QyMin= -44.602<kN> tại nút :4 (Ptừ:6<7,4>)
 QzMax= 0.091<kN> tại nút: 8 (Ptừ:1<1,8>)
 QzMin= -0.241<kN> tại nút :2 (Ptừ:2<2,9>)
 MxMax= 0.943<kN.m> tại nút: 4 (Ptừ:8<9,4>)
 MxMin= 0.096<kN.m> tại nút :8 (Ptừ:7<8,3>)
 MyMax= 1.999<kN.m> tại nút: 5 (Ptừ:5<5,7>)
 MyMin= -1.051<kN.m> tại nút :5 (Ptừ:4<6,5>)
 MzMax= 220.209<kN.m> tại nút: 4 (Ptừ:8<9,4>)
 MzMin= -220.209<kN.m> tại nút :3 (Ptừ:7<8,3>)
 U_SMax= 156.0<MPa> tại nút: 4 (Ptừ:6<7,4>) [U_S nén]
 U_SMin= 11.8<MPa> tại nút :1 (Ptừ:1<1,8>) [U_S kéo]

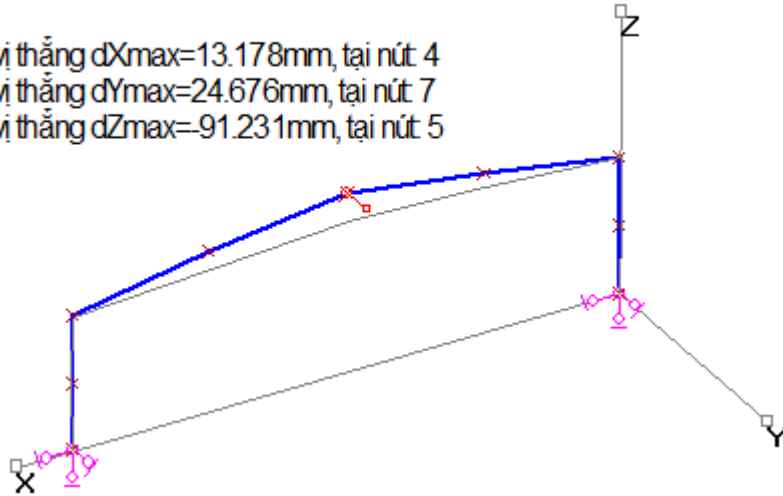
▪ **Lượt tính 2: Khi $\Delta y=0.02\text{m}$ và $\Delta\phi_z = 0.002\text{ rad}$**

KẾT QUẢ CHUYỂN VỊ THẲNG DO TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)

Chuyển dịch thẳng cực đại $dX<\text{mm}> = 13.18$ tại nút : 4
 Chuyển dịch thẳng cực đại $dY<\text{mm}> = 24.68$ tại nút : 7
 Chuyển dịch thẳng cực đại $dZ<\text{mm}> = -91.23$ tại nút : 5
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiX<\text{rad}> = -0.00299$ tại nút : 7
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiY<\text{rad}> = 0.01171$ tại nút : 6
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiZ<\text{rad}> = 0.00520$ tại nút : 5

Sơ đồ chuyển vị nút gây ra bởi tải trọng nhóm: 4 (TH1:0(1.00)+1(1.00))

Ch.vị thẳng $dX_{max}=13.178\text{mm}$, tại nút 4
 Ch.vị thẳng $dY_{max}=24.676\text{mm}$, tại nút 7
 Ch.vị thẳng $dZ_{max}=-91.231\text{mm}$, tại nút 5



Hình 3.21. Kết quả chuyển vị của nhóm tải trọng TH1 (lượt tính 2).

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)

NMax= 56.632<kN> tại nút: 2 (Ptừ:2<2,9>)
 NMin= 43.389<kN> tại nút :6 (Ptừ:4<6,5>)
 QyMax= 44.602<kN> tại nút: 3 (Ptừ:3<3,6>)
 QyMin= -44.602<kN> tại nút :4 (Ptừ:6<7,4>)
 QzMax= 0.181<kN> tại nút: 8 (Ptừ:1<1,8>)
 QzMin= -0.482<kN> tại nút :2 (Ptừ:2<2,9>)
 MxMax= 1.886<kN.m> tại nút: 4 (Ptừ:8<9,4>)
 MxMin= 0.192<kN.m> tại nút :8 (Ptừ:7<8,3>)
 MyMax= 3.998<kN.m> tại nút: 5 (Ptừ:5<5,7>)
 MyMin= -2.101<kN.m> tại nút :5 (Ptừ:4<6,5>)
 MzMax= 220.209<kN.m> tại nút: 4 (Ptừ:8<9,4>)
 MzMin= -220.209<kN.m> tại nút :3 (Ptừ:7<8,3>)
 USMax= 164.7<MPa> tại nút: 4 (Ptừ:6<7,4>) [US nén]
 USMin= 13.5<MPa> tại nút :1 (Ptừ:1<1,8>) [US kéo]

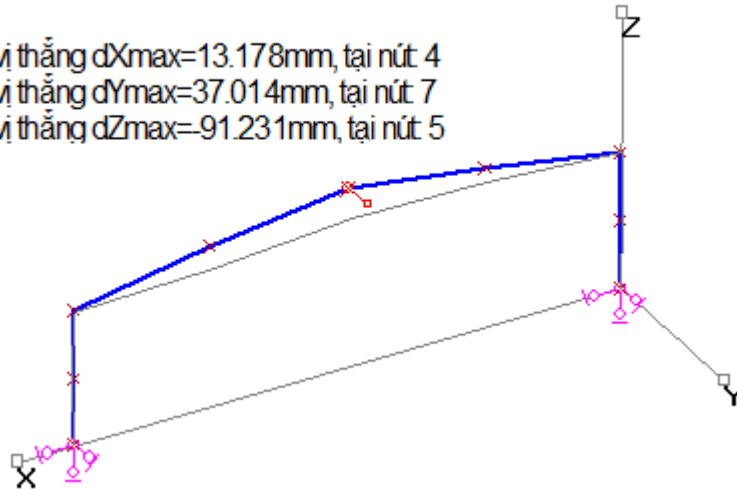
▪ **Lượt tính 3: Khi $\Delta y=0.03\text{m}$ và $\Delta\phi_z = 0.003\text{ rad}$**

KẾT QUẢ CHUYỂN VỊ THẲNG DO TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)

Chuyển dịch thẳng cực đại $dX<\text{mm}> = 13.18$ tại nút : 4
 Chuyển dịch thẳng cực đại $dY<\text{mm}> = 37.01$ tại nút : 7
 Chuyển dịch thẳng cực đại $dZ<\text{mm}> = -91.23$ tại nút : 5
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiX<\text{rad}> = -0.00448$ tại nút : 7
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiY<\text{rad}> = 0.01171$ tại nút : 6
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiZ<\text{rad}> = 0.00780$ tại nút : 5

Sơ đồ chuyển vị nút gây ra bởi tải trọng nhóm: 4 (TH1:0(1.00)+1(1.00))

Ch. vị thẳng $dX_{max}=13.178\text{mm}$, tại nút 4
 Ch. vị thẳng $dY_{max}=37.014\text{mm}$, tại nút 7
 Ch. vị thẳng $dZ_{max}=-91.231\text{mm}$, tại nút 5



Hình 3.22. Kết quả chuyển vị của nhóm tải trọng TH1 (lượt tính 3).

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)

NMax= 56.632<kN> tại nút: 2 (Ptừ:2<2,9>)
 NMin= 43.389<kN> tại nút :6 (Ptừ:4<6,5>)
 QyMax= 44.602<kN> tại nút: 3 (Ptừ:3<3,6>)
 QyMin= -44.602<kN> tại nút :4 (Ptừ:6<7,4>)
 QzMax= 0.272<kN> tại nút: 8 (Ptừ:7<8,3>)
 QzMin= -0.723<kN> tại nút :9 (Ptừ:8<9,4>)
 MxMax= 2.828<kN.m> tại nút: 4 (Ptừ:8<9,4>)
 MxMin= 0.287<kN.m> tại nút :8 (Ptừ:1<1,8>)
 MyMax= 5.997<kN.m> tại nút: 5 (Ptừ:5<5,7>)
 MyMin= -3.152<kN.m> tại nút :5 (Ptừ:4<6,5>)
 MzMax= 220.209<kN.m> tại nút: 4 (Ptừ:8<9,4>)
 MzMin= -220.209<kN.m> tại nút :3 (Ptừ:7<8,3>)
 USMax= 174.6<MPa> tại nút: 5 (Ptừ:5<5,7>) [US nén]
 USMin= 15.3<MPa> tại nút :1 (Ptừ:1<1,8>) [US kéo]

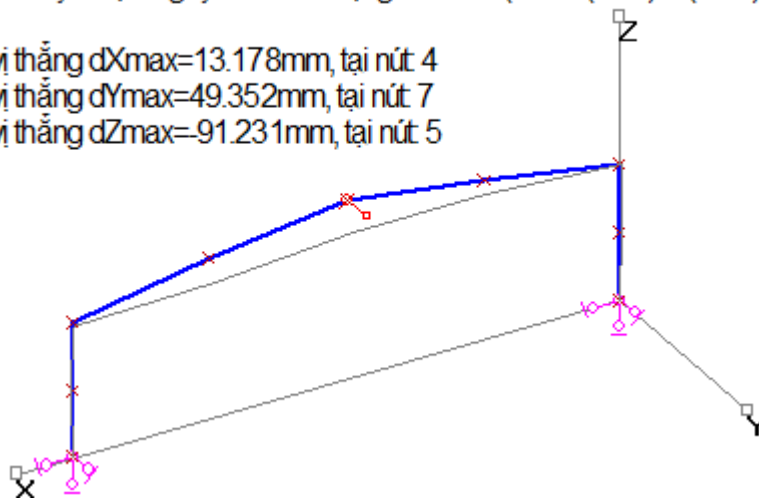
▪ **Lượt tính 4: Khi $\Delta y=0.04\text{m}$ và $\Delta \phi_z = 0.004\text{ rad}$**

KẾT QUẢ CHUYỂN VỊ THẲNG DO TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)

Chuyển dịch thẳng cực đại $dX<\text{mm}> = 13.18$ tại nút : 4
 Chuyển dịch thẳng cực đại $dY<\text{mm}> = 49.35$ tại nút : 7
 Chuyển dịch thẳng cực đại $dZ<\text{mm}> = -91.23$ tại nút : 5
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiX<\text{rad}> = -0.00598$ tại nút : 7
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiY<\text{rad}> = 0.01171$ tại nút : 6
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiZ<\text{rad}> = 0.01040$ tại nút : 5

Sơ đồ chuyển vị nút gây ra bởi tải trọng nhóm: 4 (TH1:0(1.00)+1(1.00))

Ch. vị thẳng $dX_{max}=13.178\text{mm}$, tại nút 4
 Ch. vị thẳng $dY_{max}=49.352\text{mm}$, tại nút 7
 Ch. vị thẳng $dZ_{max}=-91.231\text{mm}$, tại nút 5



Hình 3.23. Kết quả chuyển vị của nhóm tải trọng TH1 (lượt tính 4).

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)

NMax= 56.632<kN> tại nút: 2 (Ptử:2<2,9>)
 NMin= 43.389<kN> tại nút :6 (Ptử:4<6,5>)
 QyMax= 44.602<kN> tại nút: 3 (Ptử:3<3,6>)
 QyMin= -44.602<kN> tại nút :4 (Ptử:6<7,4>)
 QzMax= 0.363<kN> tại nút: 8 (Ptử:1<1,8>)
 QzMin= -0.965<kN> tại nút :2 (Ptử:2<2,9>)
 MxMax= 3.771<kN.m> tại nút: 4 (Ptử:8<9,4>)
 MxMin= 0.383<kN.m> tại nút :8 (Ptử:7<8,3>)
 MyMax= 7.996<kN.m> tại nút: 5 (Ptử:5<5,7>)
 MyMin= -4.202<kN.m> tại nút :5 (Ptử:4<6,5>)
 MzMax= 220.209<kN.m> tại nút: 4 (Ptử:8<9,4>)
 MzMin= -220.209<kN.m> tại nút :3 (Ptử:7<8,3>)
 USMax= 193.3<MPa> tại nút: 5 (Ptử:5<5,7>) [US nén]
 USMin= 17.1<MPa> tại nút :1 (Ptử:1<1,8>) [US kéo]

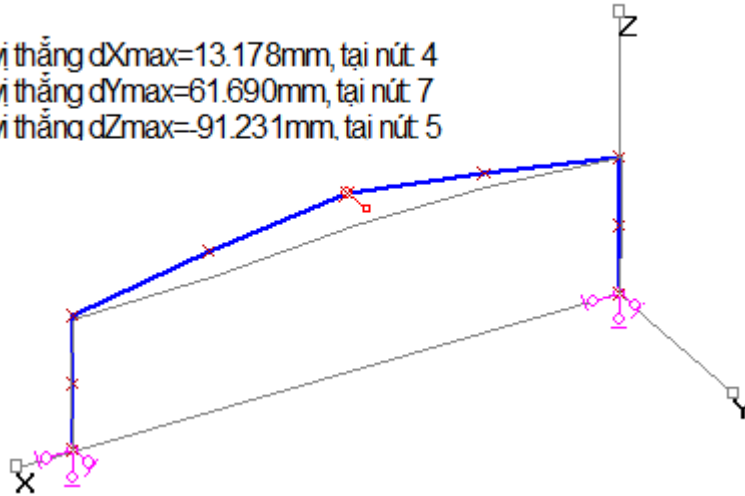
▪ **Lượt tính 5: Khi $\Delta y=0.05\text{m}$ và $\Delta\phi_z = 0.005\text{ rad}$**

KẾT QUẢ CHUYỂN VỊ THĂNG DO TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)

Chuyển dịch thẳng cực đại $dX<\text{mm}> = 13.18$ tại nút : 4
 Chuyển dịch thẳng cực đại $dY<\text{mm}> = 61.69$ tại nút : 7
 Chuyển dịch thẳng cực đại $dZ<\text{mm}> = -91.23$ tại nút : 5
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiX<\text{rad}> = -0.00747$ tại nút : 7
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiY<\text{rad}> = 0.01171$ tại nút : 6
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiZ<\text{rad}> = 0.01301$ tại nút : 5

Sơ đồ chuyển vị nút gây ra bởi tải trọng nhóm: 4 (TH1:0(1.00)+1(1.00))

Ch. vị thẳng $dX_{max}=13.178\text{mm}$, tại nút 4
 Ch. vị thẳng $dY_{max}=61.690\text{mm}$, tại nút 7
 Ch. vị thẳng $dZ_{max}=-91.231\text{mm}$, tại nút 5



Hình 3.24. Kết quả chuyển vị của nhóm tải trọng TH1 (lượt tính 5).

KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)

NMax= 56.632<kN> tại nút: 2 (Ptừ:2<2,9>)
 NMin= 43.389<kN> tại nút :6 (Ptừ:4<6,5>)
 QyMax= 44.602<kN> tại nút: 3 (Ptừ:3<3,6>)
 QyMin= -44.602<kN> tại nút :4 (Ptừ:6<7,4>)
 QzMax= 0.453<kN> tại nút: 8 (Ptừ:7<8,3>)
 QzMin= -1.206<kN> tại nút :9 (Ptừ:2<2,9>)
 MxMax= 4.714<kN.m> tại nút: 4 (Ptừ:8<9,4>)
 MxMin= 0.479<kN.m> tại nút :8 (Ptừ:1<1,8>)
 MyMax= 9.995<kN.m> tại nút: 5 (Ptừ:5<5,7>)
 MyMin= -5.253<kN.m> tại nút :5 (Ptừ:4<6,5>)
 MzMax= 220.209<kN.m> tại nút: 4 (Ptừ:8<9,4>)
 MzMin= -220.209<kN.m> tại nút :3 (Ptừ:7<8,3>)
 USMax= 212.0<MPa> tại nút: 5 (Ptừ:5<5,7>) [US nén]
 USMin= 18.9<MPa> tại nút :1 (Ptừ:1<1,8>) [US kéo]

▪ **Lượt tính 6: Khi $\Delta y=0.06\text{m}$ và $\Delta\phi_z = 0.006\text{ rad}$**

KẾT QUẢ CHUYỂN VỊ THẲNG DO TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)

Chuyển dịch thẳng cực đại $dX<\text{mm}> = 13.18$ tại nút : 4
 Chuyển dịch thẳng cực đại $dY<\text{mm}> = 74.03$ tại nút : 7
 Chuyển dịch thẳng cực đại $dZ<\text{mm}> = -91.23$ tại nút : 5
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiX<\text{rad}> = -0.00897$ tại nút : 7
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiY<\text{rad}> = 0.01171$ tại nút : 6
 Chuyển dịch xoay cực đại $dFiZ<\text{rad}> = 0.01561$ tại nút : 5

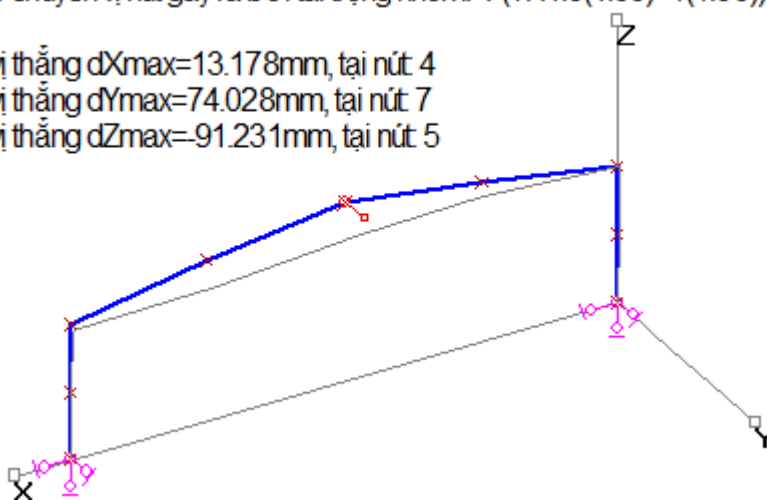
KẾT QUẢ NỘI LỰC GÂY RA BỞI TẢI TRỌNG TỔ HỢP: TH1:0(1.00)+1(1.00)

NMax= 56.632<kN> tại nút: 2 (Ptừ:2<2,9>)
 NMin= 43.389<kN> tại nút :6 (Ptừ:4<6,5>)
 QyMax= 44.602<kN> tại nút: 3 (Ptừ:3<3,6>)
 QyMin= -44.602<kN> tại nút :4 (Ptừ:6<7,4>)

$Qz_{Max} = 0.544 <kN>$ tại nút: 8 (Ptừ:7<8,3>)
 $Qz_{Min} = -1.447 <kN>$ tại nút :9 (Ptừ:8<9,4>)
 $Mx_{Max} = 5.657 <kN.m>$ tại nút: 4 (Ptừ:8<9,4>)
 $Mx_{Min} = 0.575 <kN.m>$ tại nút :8 (Ptừ:1<1,8>)
 $My_{Max} = 11.995 <kN.m>$ tại nút: 5 (Ptừ:5<5,7>)
 $My_{Min} = -6.303 <kN.m>$ tại nút :5 (Ptừ:4<6,5>)
 $Mz_{Max} = 220.209 <kN.m>$ tại nút: 4 (Ptừ:8<9,4>)
 $Mz_{Min} = -220.209 <kN.m>$ tại nút :3 (Ptừ:7<8,3>)
 $\sigma_{S_{Max}} = 230.8 <MPa>$ tại nút: 5 (Ptừ:5<5,7>) [US nén]
 $\sigma_{S_{Min}} = 20.7 <MPa>$ tại nút :1 (Ptừ:1<1,8>) [US kéo]

Sơ đồ chuyển vị nút gây ra bởi tải trọng nhóm: 4 (TH1:0(1.00)+1(1.00))

Ch.vị thẳng $dX_{max} = 13.178 \text{mm}$, tại nút 4
 Ch.vị thẳng $dY_{max} = 74.028 \text{mm}$, tại nút 7
 Ch.vị thẳng $dZ_{max} = -91.231 \text{mm}$, tại nút 5



Hình 3.25. Kết quả chuyển vị của nhóm tải trọng TH1 (lượt tính 6).

3.3.4.3. Nhận xét kết quả tính toán (BT2-3)

Ảnh hưởng của ”độ lệch thẳng” Δy và ”độ lệch xoay” $\Delta \phi_z$ đến kết quả nội lực và ứng suất trong khung là khá rõ rệt và đáng kể.

Khi có ảnh hưởng của ”độ lệch thẳng” Δy và ”độ lệch xoay” $\Delta \phi_z$, trong các phần tử của khung, xuất hiện thêm các thành phần nội lực khác (Qz_{Max} , Qz_{Min} , Mx_{Max} , Mx_{Min} , My_{Max} , My_{Min}). Trong khi các bài toán thử nghiệm trước, khung làm việc thuần túy trong mặt phẳng X0Z nên các thành phần nội lực này không tồn tại (có trị số =0).

3.4. So sánh các kết quả tính Bài toán 1 và Bài toán 2

Các kết quả tính từ Bài toán 1 các bài toán BT2-1; BT2-2; BT2-3, được tổng hợp và trình bày trong các bảng 3.3; 3.4 và 3.5 sau đây:

Bảng 3.3: Tổng hợp các kết quả tính từ Bài toán 1 và BT2-1 (chỉ tổng hợp các kết quả do tải trọng tổ hợp gây ra)

TT	Đại lượng thống kê	Đơn vị tính	Bài toán 1	BT2-1						Sai lệch (%)
				Lượt tính 1	Lượt tính 2	Lượt tính 3	Lượt tính 4	Lượt tính 5	Lượt tính 6	
			$\Delta x = \pm 0.00$	$\Delta x = -0.03$	$\Delta x = -0.02$	$\Delta x = -0.01$	$\Delta x = +0.01$	$\Delta x = +0.02$	$\Delta x = +0.03$	
1	Chuyển vị ngang cực đại tại đỉnh cột (dX tại nút 3)	mm	62.17	-92.78	-82.52	-72.25	72.43	82.69	92.96	49.52
2	Chuyển vị đứng cực đại tại đỉnh kèo (dZ tại nút 5)	mm	-91.23	-95.16	-93.85	-92.54	-89.92	-88.61	-87.30	4.30
3	Lực dọc max tại chân cột (N_{zmax} tại nút 1)	kN	56.63	60.21	59.02	57.83	55.44	54.24	53.05	6.31
4	Ứng suất max tại chân cột (σ_{max} tại nút 1)	MPa	9.97	10.60	10.39	10.18	9.76	9.55	9.34	6.32
5	Mô men max tại đỉnh cột (M_{zmax} tại nút 3)	kN.m	220.21	268.94	252.34	235.74	202.55	185.95	169.35	22.13
6	Ứng suất max tại đỉnh cột (σ_{max} tại nút 3)	MPa	-117.85	-178.64	-168.19	-157.74	-136.85	-126.40	-115.95	51.58
7	Mô men max tại đỉnh kèo (M_{zmax} tại nút 5)	kN.m	58.18	62.24	60.89	59.53	56.83	55.47	54.12	6.98
8	Ứng suất max tại đỉnh kèo (σ_{max} tại nút 5)	MPa	-118.37	-124.91	-122.73	-120.55	-116.19	-114.01	-112.05	5.52

Ghi chú: các trị số in đậm và gạch chân là trị số được chọn để so sánh mức độ "Sai lệch"

Bảng 3.4: Tổng hợp các kết quả tính từ Bài toán 1 và BT2-2 (chỉ tổng hợp các kết quả do tải trọng tổ hợp gây ra)

TT	Đại lượng thống kê	Đơn vị tính	Bài toán 1	BT2-2						Sai lệch (%)
				Lượt tính 1	Lượt tính 2	Lượt tính 3	Lượt tính 4	Lượt tính 5	Lượt tính 6	
			$\Delta\phi = \pm 0.00(\text{rad})$	$\Delta\phi = 0.0001$	$\Delta\phi = 0.0002$	$\Delta\phi = 0.0003$	$\Delta\phi = 0.0004$	$\Delta\phi = 0.0005$	$\Delta\phi = 0.0006$	
1	Chuyển vị ngang cực đại tại đỉnh cột (dX tại nút 3)	mm	62.17	83.66	105.15	126.64	148.14	169.63	191.12	207.42
2	Chuyển vị đứng cực đại tại đỉnh kèo (dZ tại nút 5)	mm	-91.23	-92.40	-93.58	-94.75	-95.93	-97.10	-98.27	7.72
3	Lực dọc max tại chân cột ($N_{z\max}$ tại nút 1)	kN	56.63	53.55	50.46	47.38	44.29	41.21	38.12	32.69
4	Ứng suất max tại chân cột (σ_{\max} tại nút 1)	MPa	9.97	9.43	8.88	8.34	7.80	7.26	6.71	32.70
5	Mô men max tại đỉnh cột ($M_{z\max}$ tại nút 3)	kN.m	220.21	250.38	280.56	310.73	340.91	371.08	401.26	82.22
6	Ứng suất max tại đỉnh cột (σ_{\max} tại nút 3)	MPa	-117.85	-132.72	-147.60	-162.48	-177.36	-192.24	-207.12	75.75
7	Mô men max tại đỉnh kèo ($M_{z\max}$ tại nút 5)	kN.m	58.18	55.97	53.76	55.55	49.33	47.12	44.91	22.81
8	Ứng suất max tại đỉnh kèo (σ_{\max} tại nút 5)	MPa	-118.37	-115.13	-111.98	-108.65	-105.40	-102.16	-98.92	16.43

Ghi chú: các trị số in đậm và gạch chân là trị số được chọn để so sánh mức độ "Sai lệch"

Bảng 3.5: Tổng hợp các kết quả tính từ Bài toán 1 và BT2-3 (chỉ tổng hợp các kết quả do tải trọng tổ hợp gây ra)

TT	Đại lượng thống kê	Đơn vị tính	Bài toán 1	BT2-2						Sai lệch (%)
				Lượt tính 1	Lượt tính 2	Lượt tính 3	Lượt tính 4	Lượt tính 5	Lượt tính 6	
				$\Delta y=0.00$ $\Delta \phi z=0.00$	$\Delta y=0.01$ $\Delta \phi z=0.001$	$\Delta y=0.02$ $\Delta \phi z=0.002$	$\Delta y=0.00$ $\Delta \phi z=0.003$	$\Delta y=0.04$ $\Delta \phi z=0.004$	$\Delta y=0.05$ $\Delta \phi z=0.005$	
1	Chuyển vị ngang cực đại tại đỉnh cột (dX tại nút 3)	mm	62.17	62.17	62.17	62.17	62.17	62.17	62.17	0.00
2	Chuyển vị đứng cực đại tại đỉnh kèo (dZ tại nút 5)	mm	-91.23	-91.23	-91.23	-91.23	-91.23	-91.23	-91.23	0.00
3	Lực dọc max tại chân cột (N_{zmax} tại nút 1)	kN	56.63	56.63	56.63	56.63	56.63	56.63	56.63	0.00
4	Ứng suất max tại chân cột (σ_{max} tại nút 1)	MPa	<u>9.97</u>	<u>11.75</u>	<u>13.54</u>	<u>15.32</u>	<u>17.10</u>	<u>18.88</u>	<u>20.66</u>	107.22
5	Mô men max tại đỉnh cột (M_{zmax} tại nút 3)	kN.m	220.21	220.21	220.21	220.21	220.21	220.21	220.21	0.00
6	Ứng suất max tại đỉnh cột (σ_{max} tại nút 3)	MPa	<u>-117.85</u>	<u>-120.14</u>	<u>-122.43</u>	<u>-124.73</u>	<u>-127.02</u>	<u>-129.31</u>	<u>-131.61</u>	11.68
7	Mô men max tại đỉnh kèo (M_{zmax} tại nút 5)	kN.m	58.18	58.18	58.18	58.18	58.18	58.18	58.18	0.00
8	Ứng suất max tại đỉnh kèo (σ_{max} tại nút 5)	MPa	<u>-118.37</u>	<u>-128.21</u>	<u>-138.06</u>	<u>-147.90</u>	<u>-157.75</u>	<u>-167.59</u>	<u>-177.43</u>	49.89

Ghi chú: trong bảng 3.5, các trị số tô đậm và gạch chân là trị số có biến thiên sau các lượt tính.

Nhận xét:

- Các sai số lắp dựng đều có ảnh hưởng khá lớn đến kết quả tính toán chuyển vị, nội lực và ứng suất trong kết cấu khung. Có sai số làm tăng trị số của nội lực, ứng suất, nhưng cũng có sai số lắp dựng làm giảm trị số nội lực và ứng suất trong thanh.
- Khi mức độ sai lệch càng lớn thì ảnh hưởng của nó lên chuyển vị, nội lực và ứng suất của kết cấu khung thép càng lớn.
- Bài toán BT2-2, (mã nổi bị nghiêng) sẽ làm ảnh hưởng lớn nhất đến kết cấu. Khi độ "vênh" chỉ 0.0006 rad (khoảng trên 1°) sẽ làm tăng chuyển vị ngang (207.42%); tăng M đỉnh cột 82.22%; và tăng ứng suất đỉnh cột lên 75.75%.
- Các kết quả tổng hợp của BT2-3 cho thấy khi khung không "phẳng" chúng cơ bản không làm tăng các trị số so sánh về chuyển vị và nội lực, nhưng lại làm tăng đáng kể về ứng suất cực đại trên kết cấu khung. Lý do là khi có các thành phần "chuyển dịch trước" ngoài mặt phẳng khung, sẽ làm cho khung chuyển chế độ từ làm việc theo mô hình phẳng sang mô hình làm việc theo không gian. Trong kết cấu xuất hiện thêm các thành phần mô men uốn ngang, mô men xoắn và lực cắt ngoài mặt phẳng khung, dẫn đến sự gia tăng ứng suất trong khung.

3.5. Kết luận chương 3

Thử nghiệm số chương 3 cho thấy tầm quan trọng của các sai số lắp dựng đến chất lượng chịu lực của kết cấu khung thép. Các sai số này nếu

không được không chế và xử lý tốt có thể gây nên hiện tượng ứng suất trước trong khung thép, nếu ứng suất trước này cộng hưởng với ứng suất do ngoại tải gây ra thì có thể sẽ khiến cho trạng thái chịu lực của kết cấu bị vượt giới hạn, thậm chí dẫn đến phá hoại kết cấu khung thép.

Việc không chế và xử lý các sai số lắp dựng là rất cần thiết và phải được tính toán, khuyến cáo bởi các quy trình, quy phạm xây lắp và rất cần phải được tư vấn thiết kế xem xét, tính toán đến nhằm tăng mức độ an toàn cho kết cấu.

Ảnh hưởng của các sai số lắp dựng đến kết cấu là rất đáng kể, nhưng không phải lúc nào nó cũng làm mất an toàn cho kết cấu. Nếu được tính toán và khống chế tốt, người ta còn có thể lợi dụng hiệu ứng này để giúp giảm chuyển vị, giảm ứng suất trong kết cấu, nghĩa là giúp tăng mức độ an toàn cho khung thép nhờ biết sử dụng các “chuyển dịch trước” một cách có chủ đích. Nhưng đây là một vấn đề lớn và hiện còn nằm ngoài khuôn khổ nghiên cứu của luận văn này.

KẾT LUẬN CỦA LUẬN VĂN

Các kết quả đã đạt được

Các nghiên cứu của luận văn, đặc biệt là từ phần thử nghiệm số chương 3, đã cho thấy tầm quan trọng của việc khống chế các sai số lắp dựng đối với công trình khung thép nhà công nghiệp. Các nghiên cứu cũng đã chỉ ra rằng nếu các sai số lắp dựng này đủ lớn; nếu kết cấu không được lắp dựng một cách chính xác, đúng quy cách, có thể dẫn đến hiện tượng làm thay đổi kết quả nội lực, ứng suất trong kết cấu, thậm chí phá hoại kết cấu.

Khi kể đến các sai số lắp dựng, các kết quả tính toán, thiết kế kết cấu thép cho cột, kèo... có thể bị biến đổi đáng kể. Các sai lệch này có thể dẫn đến các ảnh hưởng bất lợi gây nguy hiểm cho kết cấu công trình.

Sai số lắp dựng tuy không thể loại bỏ, nhưng cần được khống chế trong giới hạn cho phép để không gây nguy hiểm cho kết cấu khung cũng như độ an toàn của toàn công trình.

Thử nghiệm số của luận văn, tuy chỉ là đối với 01 công trình cụ thể (với kết cấu thép khung Zamin cho một nhà xưởng khẩu độ 24m), nhưng các kết quả nghiên cứu của luận văn này vẫn có ý nghĩa tham khảo tốt cho các công trình nhà công nghiệp khác, và trên phạm vi rộng hơn là có thể áp dụng tốt cho mọi kết cấu lắp ghép nói chung.

Các nhận xét và kết luận chương 3, cho thấy việc tính toán và nghiên cứu thêm về mức độ ảnh hưởng của sai số lắp dựng đến nội lực và ứng suất trong thiết kế kết cấu thép nhà công nghiệp là việc làm cần thiết và có ý nghĩa khoa học, ý nghĩa thực tiễn.

Kiến nghị

Trong thiết kế kết cấu thép nhà công nghiệp, cần lưu ý khuyến cáo và kiểm tra việc lắp dựng một cách sâu sát và chặt chẽ để các liên kết được lắp ghép chính xác, đủ độ cứng vững và có sai số trong giới hạn an toàn cho phép.

Khi tính toán thiết kế các khung thép nhà công nghiệp, các tác giả cần có tính toán và khuyến cáo đầy đủ đối với các nhà thầu lắp dựng để đảm bảo tốt các quy trình và sai số lắp dựng.

Khi tính toán thiết kế kết cấu thép nhà công nghiệp, cần phải có "độ dự trữ" nhất định để đề phòng trường hợp lắp dựng có thể có sai số ngoài vòng kiểm soát.

Các đơn vị chủ quản như Bộ Xây dựng, ban Tiêu chuẩn đo lường... nên ban hành các quy trình, quy phạm cụ thể về nội dung này để cả đơn vị thiết kế lẫn các nhà thầu xây lắp có cơ sở thực hiện và tuân thủ.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. TCXDVN 170-2007, *Kết cấu thép - Gia công, lắp ráp và nghiệm thu, yêu cầu kỹ thuật.*
2. TCVN 1916-1995, *Bulông, vít, vít cấy và đai ốc - Yêu cầu kỹ thuật.*
3. TCVN 2737-1995, *Tải trọng và tác động - Tiêu chuẩn thiết kế.*
4. TCVN 5575-2012, *Kết cấu thép - Tiêu chuẩn thiết kế.*
5. Nguyễn Quốc Bảo, Trần Nhất Dũng (2013), *Phương pháp phần tử hữu hạn (tập 1, 2)*, NXB Khoa học và Kỹ thuật.
6. Nguyễn Thanh Bình, Nguyễn Tương Lai, Vũ Ngọc Quang, Lê Anh Tuấn, Nguyễn Văn Tú (2009), *Giáo trình tính toán kết cấu bằng phương pháp phần tử hữu hạn*, NXB Học viện Kỹ thuật quân sự.
7. Võ Như Cầu (2003), *Tính kết cấu theo phương pháp tối ưu*, NXB Xây dựng.
8. Trần Nhất Dũng (2015), *Bài giảng kết cấu thép công trình cao.*
9. Phạm Văn Hội (chủ biên), Nguyễn Quang Viên, Phạm Văn Tư, & Lưu Văn Tường (2006), *Kết cấu thép - Cấu kiện cơ bản*, Hà Nội, NXB Khoa học và Kỹ thuật.
10. Nguyễn Văn Yên (chủ biên), *Tính toán kết cấu thép*, Trường đại học Bách khoa Thành phố Hồ Chí Minh.

LÝ LỊCH TRÍCH NGANG

Họ và tên: **Lê Quang**

Ngày tháng năm sinh: 27/7/1983

Nơi sinh: Tân Châu, Khoái Châu, Hưng Yên

Địa chỉ liên lạc: Ban Doanh trại, Phòng Hậu cần – Kỹ thuật, Bệnh viện TWQĐ 108, Số 1 Trần Hưng Đạo, Hai Bà Trưng, Hà Nội

Quá trình đào tạo:

+ Từ 9/2002 đến 7/2007: Học viên khoa Doanh trại – Học viện Hậu cần

+ Từ 3/2011 đến 7/2014: Học văn bằng 2 chuyên ngành kỹ thuật công trình xây dựng – Đại học xây dựng Hà Nội

+ Từ 1/2017 đến nay: Học cao học chuyên ngành Kỹ thuật Xây dựng công trình đặc biệt – Học viện Kỹ thuật Quân sự

Quá trình công tác:

+ Từ 7/2007 đến 3/2011: Trợ lý Doanh trại, phòng Hậu cần, Trường Trung cấp trinh sát, Tổng Cục II

+ Từ 3/2011 đến nay: Trưởng ban Doanh trại, phòng Hậu cần – Kỹ thuật, Bệnh viện TWQĐ 108

XÁC NHẬN QUYỀN LUẬN VĂN ĐỦ ĐIỀU KIỆN BẢO VỆ

Họ và tên tác giả luận văn: Lê Quang

Đề tài luận văn: " Xét ảnh hưởng của sai số lắp dựng đến nội lực và chuyển vị của kết cấu thép nhà công nghiệp "

Chuyên ngành: Kỹ thuật Xây dựng công trình đặc biệt

Mã số: 8 58 02 06

Cán bộ hướng dẫn: Đại tá, PGS.TS Trần Nhất Dũng

Đã đủ điều kiện bảo vệ trước Hội đồng chấm luận văn.

CÁN BỘ HƯỚNG DẪN KHOA HỌC

(Ký và ghi rõ họ tên)

HỌC VIÊN

(Ký và ghi rõ họ tên)

CHỦ NHIỆM KHOA (BỘ MÔN)

QUẢN LÝ CHUYÊN NGÀNH

(Ký và ghi rõ họ tên)

CÁN BỘ KIỂM TRA

(Ký và ghi rõ họ tên)