

**TRƯỜNG ĐẠI HỌC THỦY SẢN  
KHOA CƠ KHÍ  
BỘ MÔN TÀU THUYỀN  
~ &™**

**NGUYỄN HỒNG QUÂN**

**LUẬN VĂN TỐT NGHIỆP**

**PHÂN TÍCH ĐỘ BỀN CỤC BỘ KẾT CẤU KHUNG  
SƯỜN TÀU VỎ THÉP THEO PHƯƠNG PHÁP  
PHÂN TỬ HỮU HẠN.**

***CHUYÊN NGÀNH CƠ KHÍ TÀU THUYỀN***

**GVHD: TS. TRẦN GIA THÁI**

*Nha trang, tháng 11 năm 2005*





## **LỜI NÓI ĐẦU**

Tàu thủy là một công trình kỹ thuật nổi, phục vụ các mục đích khác nhau theo nhu cầu của con người. Phân tích độ bền kết cấu thân tàu là một giai đoạn hết sức quan trọng trong quá trình thiết kế tàu để đưa ra kết cấu hợp lý đảm bảo an toàn, điều kiện làm việc khắc nghiệt của con tàu. Tuy nhiên bài toán phân tích độ bền kết cấu thân tàu là một bài toán rất khó vì mỗi con tàu có một kết cấu hết sức phức tạp và luôn làm việc trong môi trường khắc nghiệt như : sóng gió, va đập, ăn mòn của nước... Hiện nay có rất nhiều phương pháp để giải quyết bài toán độ bền, mỗi phương pháp có mức độ chính xác khác nhau và tùy thuộc vào trình độ của người giải nó. Vì vậy, sử dụng phương pháp nào thì còn tùy thuộc vào người thiết kế và yêu cầu khi tính toán của con tàu.

Đề tài “**phân tích độ bền cục bộ kết cấu khung sườn tàu theo phương pháp phần tử hữu hạn**” mà tôi giải quyết trong đề tài sẽ góp phần giải quyết bài toán độ bền đối với khung sườn tàu. Đề tài được thực hiện theo bốn chương với nội dung chính như sau:

*Chương I : Đặt vấn đề.*

*Chương II : Phân tích độ bền cục bộ kết cấu khung sườn tàu theo phương pháp truyền thống.*

*Chương III : Phân tích độ bền cục bộ kết cấu khung sườn tàu theo phương pháp phần tử hữu hạn.*

*Chương IV : So sánh kết quả tính – nhận xét.*

Mục đích của đề tài thực hiện là tính độ bền cục bộ kết cấu khung sườn tàu và trên cơ sở đó nêu lên một vấn đề chính là phương pháp giải bài toán khung sườn tàu theo phương pháp phần tử hữu hạn và các ưu điểm của phương pháp số so với phương pháp giải truyền thống.

Nhân dịp đề tài hoàn thành tôi xin chân thành cảm ơn thầy giáo hướng dẫn **TS. Trần Gia Thái**, các thầy giảng dạy trong bộ môn cơ học trường đại học thủy sản cũng như các bạn sinh viên đã giúp đỡ tôi hoàn thành tốt đề tài này.

Do thời gian có hạn, kiến thức còn nhiều hạn chế, chắc chắn trong đề tài không tránh khỏi những thiếu sót. Rất mong nhận được những ý kiến đóng góp của các thầy và các bạn.

*Nha Trang, ngày 25 tháng 11 năm 2005*  
Sinh Viên thực hiện

**Nguyễn Hồng Quân.**

## **ĐỀ CƯƠNG THỰC HIỆN LUẬN VĂN TỐT NGHIỆP**

***Tên đề tài : Phân tích độ bền cục bộ kết cấu khung sườn tàu vỏ thép bằng phương pháp phần tử hữu hạn.***

Ngành : **Cơ khí Tàu Thuyền.**

Mã ngành: **18.06.10**

Họ và tên sinh viên: **Nguyễn Hồng Quân**

Địa chỉ liên hệ :

Cán bộ hướng dẫn : **TS. Trần Gia Thái**

### **I. ĐỐI TƯỢNG – PHẠM VI – MỤC TIÊU NGHIÊN CỨU :**

1. Đối tượng nghiên cứu:

Bài toán tính độ bền kết cấu thân tàu.

2. phạm vi nghiên cứu :

Phân tích độ bền cục bộ kết cấu khung sườn tàu vỏ thép.

3. Mục tiêu nghiên cứu :

Vận dụng kiến thức đã học để giải quyết bài toán độ bền cục bộ kết cấu khung sườn tàu vỏ thép bằng phương pháp phần tử hữu hạn.

### **II. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU :**

**Lời nói đầu.**

**Chương 1 :**

#### **ĐẶT VẤN ĐỀ**

**1.1 TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU:**

**1.2 KHÁI QUÁT VỀ BÀI TOÁN PHÂN TÍCH ĐỘ BỀN CỤC BỘ KẾT CẤU THÂN TÀU.**

**1.3 KHÁI QUÁT VỀ BÀI TOÁN PHÂN TÍCH ĐỘ BỀN CỤC BỘ KẾT CẤU KHUNG SƯỜN TÀU VỎ THÉP:**

1. Đặc điểm kết cấu khung sườn tàu thép thực tế.

2. Xây dựng mô hình tính kết cấu khung sườn tàu.
3. Xây dựng mô hình tải trọng tác dụng.
4. Phương pháp giải.
5. Đánh giá độ bền.

#### **1.4 GIỚI HẠN NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP TÍNH TOÁN:**

1. Giới hạn nội dung:
2. Phương pháp nghiên cứu:
3. Giới thiệu tàu tính toán:

## **Chương 2 : PHÂN TÍCH ĐỘ BỀN CỤC BỘ KẾT CẤU KHUNG SƯỜN TÀU BẰNG PHƯƠNG PHÁP TRUYỀN THỐNG .**

### **2.1 CƠ SỞ PHƯƠNG PHÁP TÍNH ĐỘ BỀN CỤC BỘ KẾT CẤU KHUNG SƯỜN TÀU THEO PHƯƠNG PHÁP TRUYỀN THỐNG:**

### **2.2 CƠ SỞ LÝ THUYẾT PHƯƠNG PHÁP MA TRẬN :**

### **2.3 ỨNG DỤNG TÍNH ĐỐI VỚI KHUNG SƯỜN TÀU LỰA CHỌN :**

## **Chương 3 : PHÂN TÍCH ĐỘ BỀN CỤC BỘ KẾT CẤU KHUNG SƯỜN TÀU BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN.**

### **3.1 KHÁI QUÁT VỀ PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN:**

1. Khái niệm.
2. Trình tự tính theo phương pháp phần tử hữu hạn.

### **3.2 PHÂN TÍCH ĐỘ BỀN KẾT CẤU KHUNG SƯỜN TÀU BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN:**

1. Mô hình tính khung sườn theo phương pháp phần tử hữu hạn.
2. Tính ma trận độ cứng { K }

3. Giải hệ phương trình.

4. Đặt điều kiện biên.

**3.3 ỨNG DỤNG TÍNH CHO KHUNG SƯỜN TÀU LỰA CHỌN:**

**Chương 4 : SO SÁNH KẾT QUẢ TÍNH – NHẬN XÉT**

4.1 SO SÁNH KẾT QUẢ TÍNH :

4.2 NHẬN XÉT VÀ ĐỀ XUẤT Ý KIẾN :

**III. KẾ HOẠCH VÀ THỜI GIAN THỰC HIỆN.**

1. Đi thực tế:

2. Kế hoạch và thời gian thực hiện bản thảo:

Chương 1 : từ ngày 31/8/2005 đến ngày 10/9/2005.

Chương 2 : từ ngày 11/9/2005 đến ngày 5/10/2005.

Chương 3 : từ ngày 6/10/2005 đến ngày 6/11/2005.

Chương 4: từ ngày 7/11/2005 đến ngày 12/11/2005.

Hoàn thành bản thảo ngày 12 tháng 11 năm 2005

Cán bộ hướng dẫn:

*Nha Trang*, ngày 31 tháng 8 năm 2005

Sinh viên thực hiện

**TS Trần Gia Thái**

**Nguyễn Hồng Quân**

**MUC LUC**

**MUC LUC**----- 2

**CHƯƠNG I: ĐẶT VẤN ĐỀ** ----- 6

1.1 TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU:----- 6

1.2 KHÁI QUÁT VỀ BÀI TOÁN PHÂN TÍCH ĐỘ BỀN KẾT CẤU THÂN TÀU:----- 7

1.2.1. Tổng quan về phân tích độ bền kết cấu thân tàu: ----- 7

1.2.2 Bài toán phân tích độ bền chung:----- 8

1.2.3 Bài toán phân tích độ bền cục bộ: ----- 9

1.3 KHÁI QUÁT VỀ BÀI TOÁN PHÂN TÍCH ĐỘ BỀN CỤC BỘ KẾT CẤU KHUNG SƯỜN TÀU: ----- 10

1.3.1 Đặc điểm kết cấu khung sườn tàu thép thực tế: ----- 10

1.3.2. Xây dựng mô hình tính kết cấu khung sườn: ----- 13

1.3.3. Xây dựng mô hình tải trọng cục bộ tác dụng lên kết cấu khung sườn. ----- 15

1.3.4. Lựa chọn phương pháp giải: ----- 17

1.3.5. Đánh giá độ bền: ----- 20

1.4.GIỚI HẠN NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU: ----- 21

1.4.1. Giới hạn về nội dung nghiên cứu: ----- 21

1.4.2. Phương pháp nghiên cứu: ----- 21

1.4.3. Giới thiệu tàu tính toán: ----- 21

1.4.4. Mô hình hoá khung sườn tàu lựa chọn.----- 23

1.4.5 Mép kèm và quy cách lấy mép kèm : ----- 24



**CHƯƠNG II: PHÂN TÍCH ĐỘ BỀN CỤC BỘ KẾT CẤU KHUNG SƯỜN TÀU BẰNG PHƯƠNG PHÁP TRUYỀN THỐNG.**----- 32

2.1 CƠ SỞ PHƯƠNG PHÁP TÍNH ĐỘ BỀN CỤC BỘ KẾT CẤU KHUNG SƯỜN TÀU THEO PHƯƠNG PHÁP TRUYỀN THỐNG. --- 32

2.1.1. Giả thiết cơ bản: ----- 32

2.1.2. Phương pháp tính toán: ----- 32

2.1.3. Xác định tải trọng tác dụng lên kết cấu khung sườn tàu:----- 32

2.2 CƠ SỞ LÝ THUYẾT PHƯƠNG PHÁP MA TRẬN : ----- 34

2.2.1. Mô hình tính khung sườn theo phương pháp ma trận. ----- 34

2.2.2. Tính ma trận độ cứng của các phần tử trong hệ tọa độ chung X,Y:  $\{K_e\}$ .----- 35

2.2.3. Giải hệ phương trình. ----- 38

2.2.4. Các thành phần nội lực của các phần tử tính như sau: ----- 38

2.3 ỨNG DỤNG TÍNH ĐỐI VỚI KHUNG SƯỜN TÀU LỰA CHỌN : 38

**CHƯƠNG III: PHÂN TÍCH ĐỘ BỀN KẾT CẤU KHUNG SƯỜN TÀU BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN.**----- 47

3.1 KHÁI QUÁT VỀ PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN: ----- 47

3.1.1. Khái niệm.----- 47

3.1.1.1 Tạo lưới các phần tử hữu hạn:----- 48

3.1.1.2 Ma trận độ cứng của các phần tử: ----- 50

3.1.1.3 Phần tử thanh:----- 51

3.1.1.4 Phần tử dầm:----- 52

3.1.1.5 Khung phẳng: ----- 52

3.1.2. Trình tự giải bài toán theo phương pháp phần tử hữu hạn nói chung:-----	54
3.1.3 Xây dựng điều kiện biên:-----	55
3.2 PHÂN TÍCH ĐỘ BỀN CỤC BỘ KẾT CẤU KHUNG SƯỜN TÀU BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN. -----	58
3.2.1. Mô hình tính khung sườn theo phương pháp phần tử hữu hạn: 58	
3.2.2. Tính ma trận độ cứng [K].-----	58
3.2.3. Giải hệ phương trình kết cấu :-----	61
3.2.4. Các thành phần nội lực của phần tử được tính như sau: -----	61
3.3 ỨNG DỤNG TÍNH CHO KHUNG SƯỜN TÀU LỰA CHỌN : -----	61
3.4 PHÂN TÍCH ĐỘ BỀN CỤC BỘ KẾT CẤU KHUNG SƯỜN TÀU THEO PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN CÓ XÉT ĐẾN ẢNH HƯỞNG CỦA MÃ NỐI LIÊN KẾT : -----	68
3.4.1. Đặc điểm liên kết tại đầu dầm: -----	68
3.4.2. Ứng dụng tính đối với khung sườn tàu lựa chọn: -----	71
3.5 KẾT QUẢ PHÂN TÍCH BẰNG PHẦN MỀM :-----	74
<b><u>CHƯƠNG IV: SO SÁNH KẾT QUẢ TÍNH – NHẬN XÉT.</u></b> -----	79
4.1 SO SÁNH KẾT QUẢ TÍNH : -----	79
Qua cách giải hai phương pháp đã trình bày trên ta nhận thấy điểm khác nhau dẫn đến kết quả tính khác nhau như sau:-----	79
4.2 NHẬN XÉT VÀ ĐỀ XUẤT Ý KIẾN :-----	80
<b>TÀI LIỆU THAM KHẢO</b> -----	833



# CHƯƠNG 1

## **ĐẶT VẤN ĐỀ**

### **1.1 TỔNG QUAN VỀ VẤN ĐỀ NGHIÊN CỨU:**

Tàu thủy là một công trình kỹ thuật nổi có hình dạng và kết cấu phức tạp, hoạt động trong môi trường khắc nghiệt, chịu tác dụng của nhiều yếu tố như: sóng, gió, va đập, tải trọng trên tàu,... vì vậy việc giải quyết bài toán cơ học kết cấu nhằm đảm bảo yêu cầu về mặt độ bền thân tàu có vai trò quan trọng trong quá trình khai thác con tàu. Như đã biết, kết cấu thân tàu có thể được xem như gồm các khung sườn ghép nối với nhau, nên khung sườn là kết cấu chính yếu của khung xương, ảnh hưởng trực tiếp tới độ ổn định cũng như độ bền thân tàu khi hoạt động trên biển. Về mặt độ bền kết cấu khung sườn thường chịu tác dụng của tải trọng cục bộ tác dụng theo phương ngang nên trong tính toán thiết kế kết cấu cần đặc biệt quan tâm tới độ bền cục bộ của khung sườn tàu.

Trước kia, người ta thường giải quyết bài toán độ bền cục bộ kết cấu khung sườn tàu theo phương pháp truyền thống. Phương pháp này có nhược điểm là mô hình tính không phản ánh được chính xác kết cấu thực tế và tốn nhiều thời gian, công sức. Do đó, hiện nay thường giải quyết bài toán này theo phương pháp phổ biến nhất là phương pháp phần tử hữu hạn. Mô hình tính theo phương pháp này phản ánh được kết cấu thực tế nên cho kết quả chính xác hơn. Công việc và khối lượng tính toán đơn giản hơn nhiều nhờ sự trợ giúp của máy tính điện tử, nên nó thay thế dần phương pháp tính truyền thống và ngày càng được sử dụng rộng rãi. Đặc biệt phương pháp PTHH còn cho phép tính đến ảnh hưởng của mã nối (được trình bày cụ thể trong phần 3.4 chương 4), nên đảm bảo kết quả chính xác hơn so với các phương pháp khác.

## **1.2 KHÁI QUÁT VỀ BÀI TOÁN PHÂN TÍCH ĐỘ BỀN KẾT CẤU THÂN TÀU.**

### **1.2.1. Tổng quan về phân tích độ bền kết cấu thân tàu:**

Đối với một con tàu khi thiết kế ra phải đảm bảo các yêu cầu sau:

- + Đủ bền: kết cấu thân tàu không bị gãy nứt.
- + Đủ cứng: biến dạng không vượt quá giá trị cho phép.
- + Đủ ổn định: hình dạng không thay đổi.

Để đảm bảo được điều kiện này khi chúng ta tăng kích thước của con tàu sẽ ảnh hưởng rất nhiều đến tính năng của con tàu như : tốc độ của con tàu. Vì vậy bài toán phân tích độ bền có vai trò rất quan trọng trong quá trình thiết kế và chế tạo con tàu. Bài toán phân tích độ bền nhằm giải quyết hai bài toán sau đây:

- Bài toán thuận : chúng ta đi kiểm tra và đánh giá độ bền kết cấu thân tàu cụ thể nhằm mục tiêu nâng cao mức độ an toàn cho tàu khi đi biển về phương diện độ bền.

- Bài toán ngược: chúng ta phải tính toán lựa chọn hình dạng, kích thước, liên kết của kết cấu thân tàu sao cho đảm bảo mục tiêu chi phí vật liệu là nhỏ nhất. Tuy nhiên do kết cấu thân tàu là một kết cấu phức tạp gồm nhiều loại hình kết cấu khác nhau đồng thời còn chịu tác dụng của ngoại lực phức tạp nên bài toán phân tích độ bền là rất phức tạp. Hiện nay tùy thuộc theo đặc điểm của mô hình tính có thể chia bài toán phân tích độ bền thân tàu thành hai bài toán chính như sau:

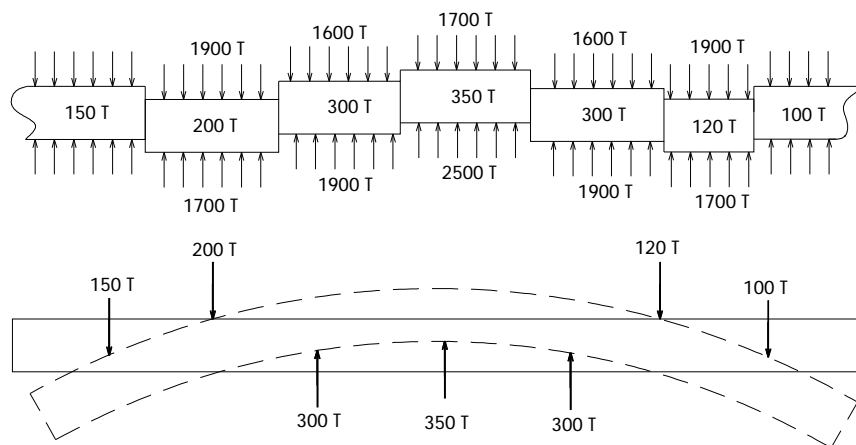
- Bài toán phân tích độ bền kết cấu thân tàu theo mô hình tổng thể: theo mô hình tổng thể kết cấu thân tàu xem như hệ kết cấu không gian gồm nhiều loại hình kết cấu như : dầm, tấm, khối liên kết với nhau và đặt

trên nền đàn hồi. Trong mô hình tính này các kết cấu khung giàn đáy, mạn,..v.v.. đều tham gia làm việc đồng thời trong mô hình tính. Các điều kiện biên được xây dựng trên cơ sở xem vật thể đàn hồi dưới tác dụng của hai nhóm lực: trọng lượng các tải trọng trên tàu và phản lực của nền đàn hồi chính là lực đẩy của nước. Mô hình tổng thể thể hiện tương đối chính xác tình trạng làm việc của con tàu nhưng mô hình tính toán phức tạp.

- Bài toán phân tích độ bền kết cấu thân tàu theo mô hình ước định: xem toàn bộ kết cấu thân tàu dưới dạng các thanh thành mỏng đặt trên nền đàn hồi và chịu tác dụng của các ngoại lực tương ứng với các ngoại lực tác dụng lên thân tàu. Khi đó bài toán phân tích độ bền phân thành hai nội dung chính: bài toán phân tích độ bền chung và bài toán phân tích độ bền tổng thể.

**1.2.2 Bài toán phân tích độ bền chung:**

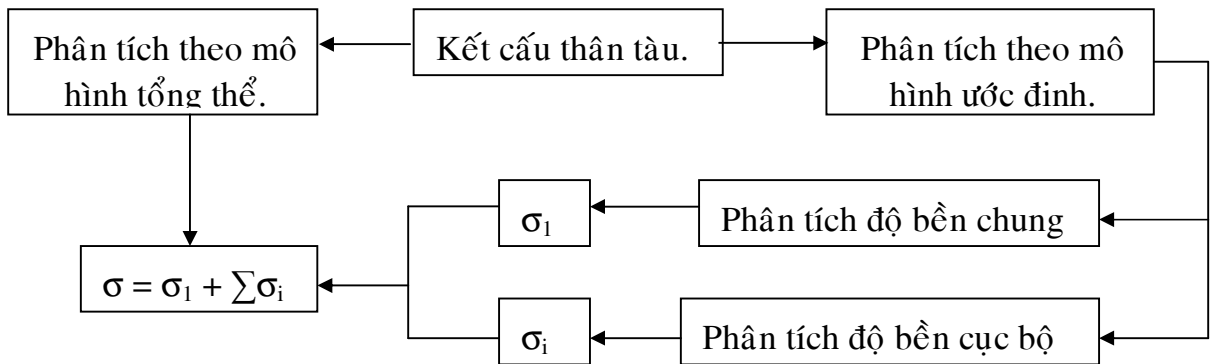
Là bài toán xác định ứng suất và biến dạng xuất hiện trong các mặt cắt ngang dưới tác dụng của các ngoại lực đặt theo phương thẳng đứng, khi đó toàn bộ kết cấu thân tàu xem giống như một thanh tương đương đặt trên nền đàn hồi và chịu tác dụng của hai lực thẳng đứng là trọng lượng và lực nổi, quá trình cho ta ứng suất chung  $\sigma_1$ .



Hình 1.1

**1.2.3 Bài toán phân tích độ bền cục bộ:**

Là bài toán xác định giá trị ứng suất và biến dạng xuất hiện bên trong các kết cấu dưới ảnh hưởng của ngoại lực riêng tác dụng lên từng kết cấu đang xét. Giải bài toán cục bộ dẫn đến giải quyết bài toán cơ học kết cấu cụ thể như: kết cấu khung giàn, dầm nhiều nhịp, v.v... Kết quả xác định được giá trị ứng suất cục bộ  $\sigma_i$  ( $i = 2 \div n$ ) và ứng suất tổng hợp tác dụng lên kết cấu thân tàu  $s = s_1 + \sum_{i=2}^n s_i$ . Mô hình tính được thể hiện trong sơ đồ dưới đây:



- Trình tự giải bài toán phân tích độ bền cục bộ kết cấu thân tàu:
  - Mô hình hoá kết cấu: xây dựng mô hình tính là một công việc đầu tiên và rất quan trọng ảnh hưởng đến độ chính xác, độ tin cậy của kết quả phân tích độ bền kết cấu thân tàu. Tuy nhiên do đặc điểm của kết cấu thân tàu khá phức tạp nên việc xây dựng được một mô hình tính thể hiện được đầy đủ điều kiện làm việc của kết cấu thân tàu là một vấn đề không đơn giản. Do đó cần cố gắng xây dựng mô hình tính sao cho vừa phản ánh được điều kiện làm việc thực tế của kết cấu thân tàu lại vừa đơn giản trong tính toán.
  - Mô hình hoá tải trọng: tải trọng tác dụng lên kết cấu thân tàu bao gồm: áp lực thuỷ tĩnh của nước bên ngoài tác dụng vào thân tàu, áp lực của hàng hoá trên tàu,... Việc mô hình hoá tải trọng tác dụng lên kết cấu

thân tàu là một công việc rất quan trọng, nó ảnh hưởng tới kết quả tính toán. Tuy nhiên, trong khuôn khổ của đề tài ta chỉ xét tải trọng tác dụng lên khung sườn tàu là áp lực nước và áp lực hàng hoá trên tàu.

- Lựa chọn phương pháp tính toán: hiện nay ta hoàn toàn có thể giải quyết bài toán độ bền cục bộ kết cấu khung sườn theo phương pháp phần tử hữu hạn. Tuy nhiên để có thể đánh giá kết quả tính toán được chúng ta tính theo hai phương pháp: phương pháp truyền thống và phương pháp phần tử hữu hạn.

- Kiểm tra đánh giá độ bền cục bộ kết cấu: theo qui định qui phạm cụ thể của các nước sau khi xác định được tiêu chuẩn bền thích hợp cần kiểm tra đánh giá độ bền kết cấu thân tàu trong trường hợp cụ thể: kiểm tra theo giá trị ứng suất pháp, ứng suất tiếp do uốn chung thân tàu gây ra; kiểm tra theo giá trị ứng suất pháp tổng hợp; kiểm tra theo giá trị mômen giới hạn.

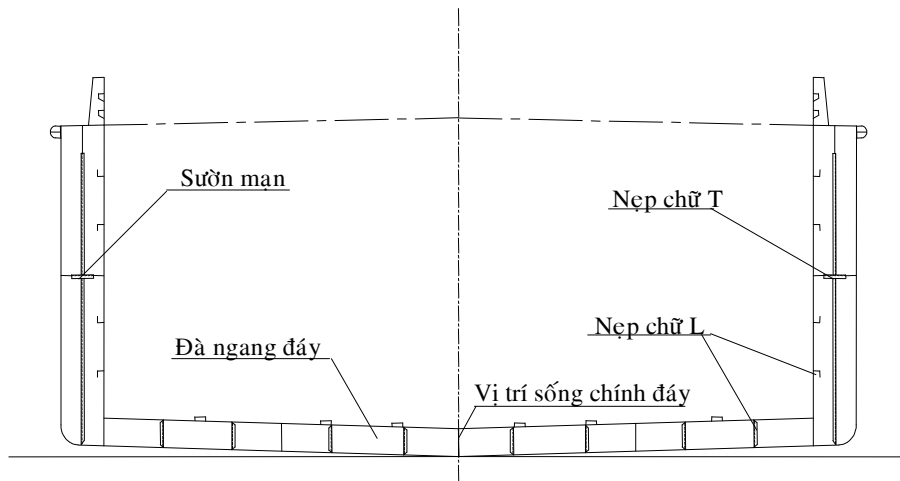
### ***1.3 KHÁI QUÁT VỀ BÀI TOÁN PHÂN TÍCH ĐỘ BỀN CỤC BỘ KẾT CẤU KHUNG SƯỜN TÀU:***

#### ***1.3.1 Đặc điểm kết cấu khung sườn tàu thép thực tế:***

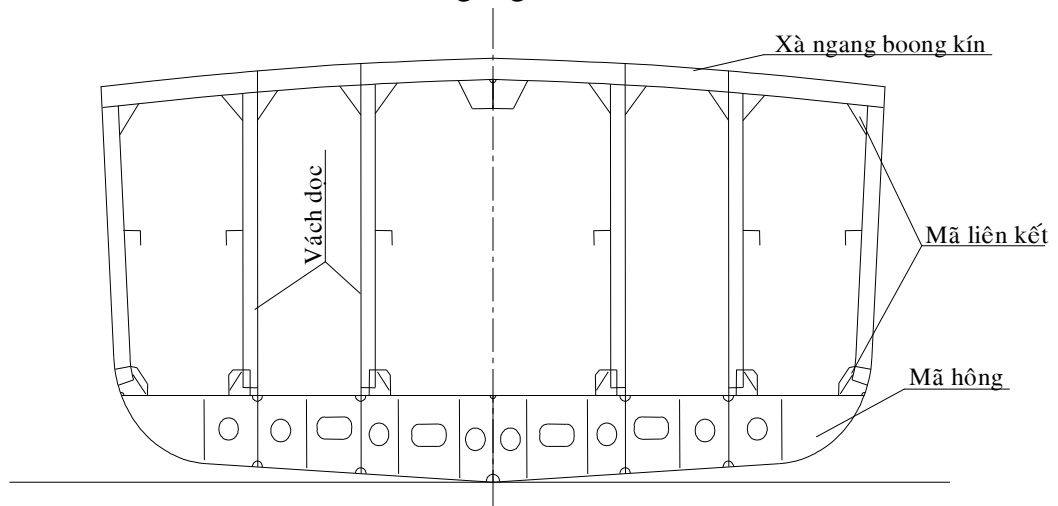
Như chúng ta đã biết, thân tàu là một kết cấu phức tạp bao gồm kết cấu khung xương bên trong được hàn kín với tôn bao bên ngoài. Khung xương bên trong lại được hình thành nên từ nhiều khung dàn khác nhau: khung dàn đáy, khung dàn mạn, khung dàn boong. Xét trong một mặt cắt ngang tàu thì ta có mặt cắt ngang - được gọi là khung sườn tàu. Khoảng cách giữa các khung sườn tàu được gọi là khoảng sườn. Khung sườn tàu thép thông dụng thường được hình thành từ các kết cấu: đà ngang đáy,



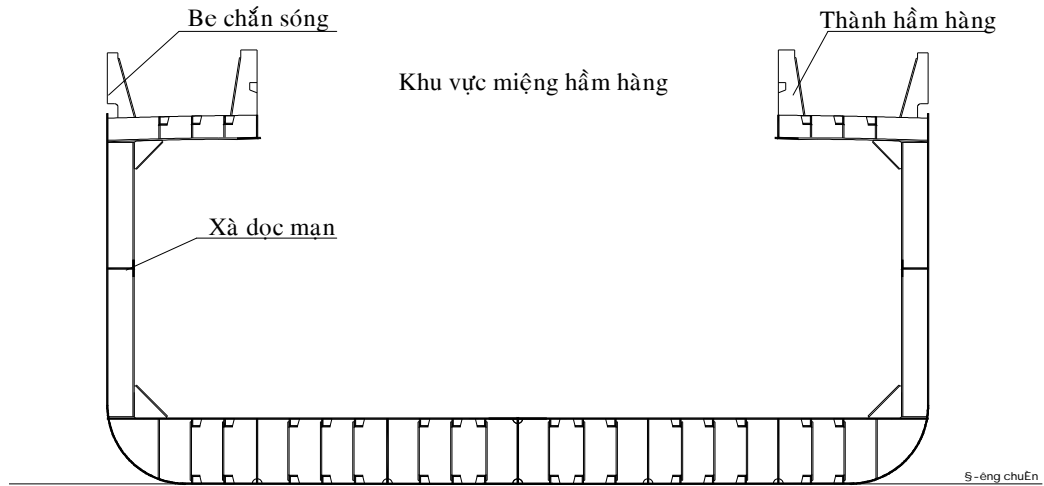
sườn mạn và xà ngang boong. Đà ngang đáy được kéo dài tới tận hông và được hàn kín với tấm tôn đáy. Xà ngang boong bao gồm xà ngang boong kín và xà ngang boong hở tương ứng với khung vực kín và miệng hầm hàng. Xà ngang boong hàn đối đầu với sườn mạn và thông thường có mã liên kết và có bẻ mép. Sườn mạn liên kết với đà ngang đáy qua mã hông và được hàn kín nước với tôn hông và tôn mạn. Tùy theo từng khu vực của tàu và tùy theo từng loại tàu khác nhau mà ta có các loại khung sườn khác nhau như: sườn thường, sườn khoẻ, sườn công xôn, sườn hộp,.v..v... Dưới đây là mô tả một số khung sườn của các loại tàu khác nhau:



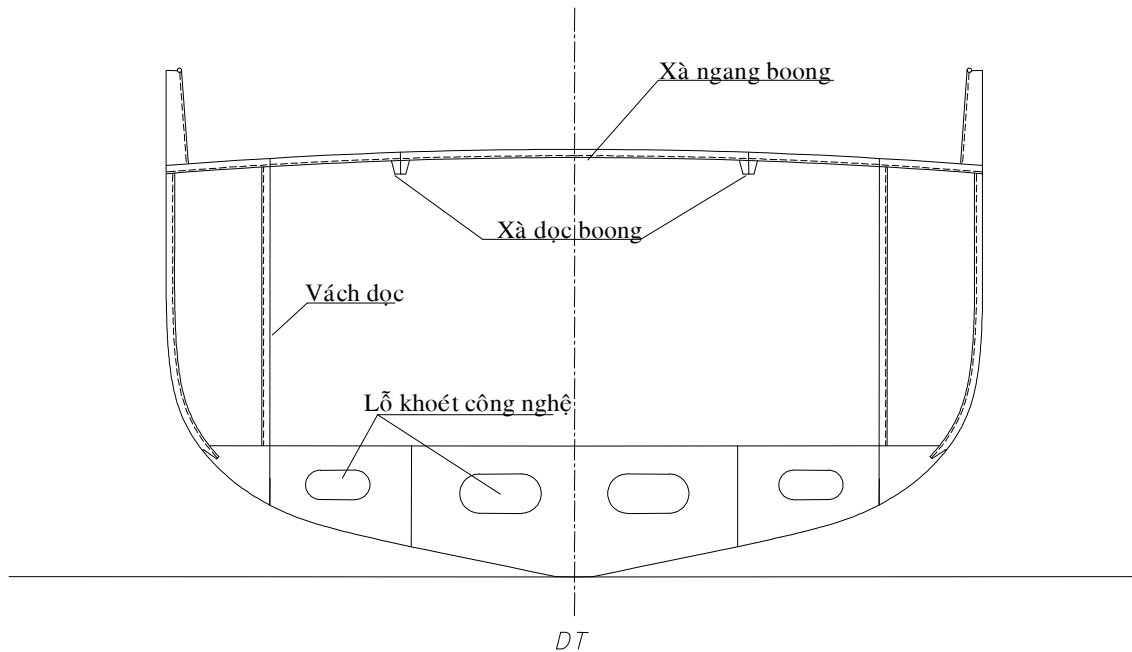
Hình 1.2 Mặt cắt ngang tàu chở Container



Hình 1.3 Mặt cắt ngang tàu chở dầu



Hình 1.4 Mặt cắt ngang tàu chở hàng rời.



Hình 1.5 Mặt cắt ngang tàu đánh cá.

**1.3.2. Xây dựng mô hình tính kết cấu khung sườn:**

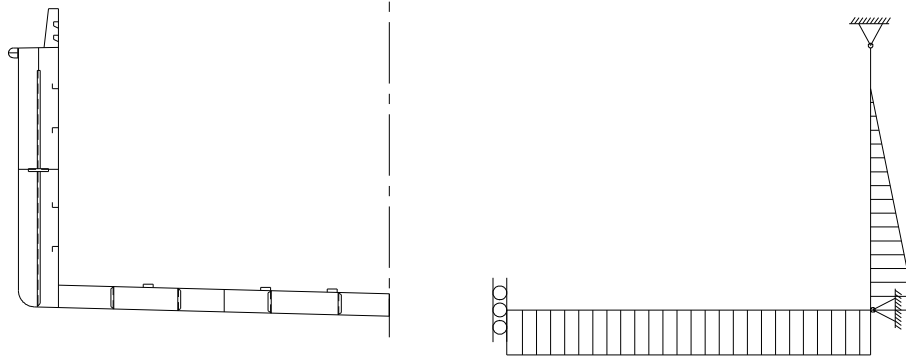
Mặt cắt ngang tàu bao gồm nhiều kết cấu liên kết với nhau theo phương pháp hàn. Nếu chúng ta để nguyên mặt cắt ngang tính toán thì gặp rất nhiều khó khăn trong tính toán, vì thế chúng ta phải mô hình hoá kết cấu về dạng đơn giản hơn để tiện lợi trong tính toán. Tuy nhiên mô hình tính phải phản ánh được đầy đủ điều kiện làm việc của các kết cấu đang xét. Điều này ảnh hưởng rất lớn đến kết quả tính toán sau này. Vì thế chúng ta phải căn cứ vào đặc điểm hình học, điều kiện làm việc, tính chất vật liệu, đặc điểm liên kết để xây dựng mô hình tính cho kết cấu khung sườn đang xét.

Nguyên tắc chung khi xây dựng mô hình hoá kết cấu tàu:

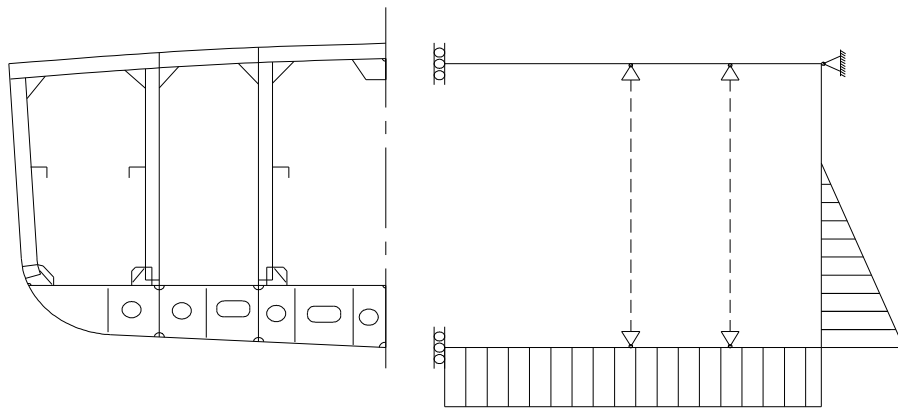
- Tách kết cấu phức tạp ra thành những kết cấu đơn giản hơn trên cơ sở là kết cấu có độ cứng lớn hơn phải là chỗ dựa cho các kết cấu có độ cứng nhỏ hơn.
- Đảm bảo được đặc tính hình học của các kết cấu trong mô hình tính toán và mô hình thực tế bằng nhau.
- Cần vận dụng tối đa tính đối xứng của kết cấu và tải trọng.
- Mô hình tính phải ở vị trí cân bằng lực và mômen.

Mặt cắt ngang tàu chúng ta mô phỏng về dạng khung phẳng chịu các tác dụng của các lực gồm: áp lực nước ngoài mạn và áp lực hàng hoá trọng các khoang hàng.

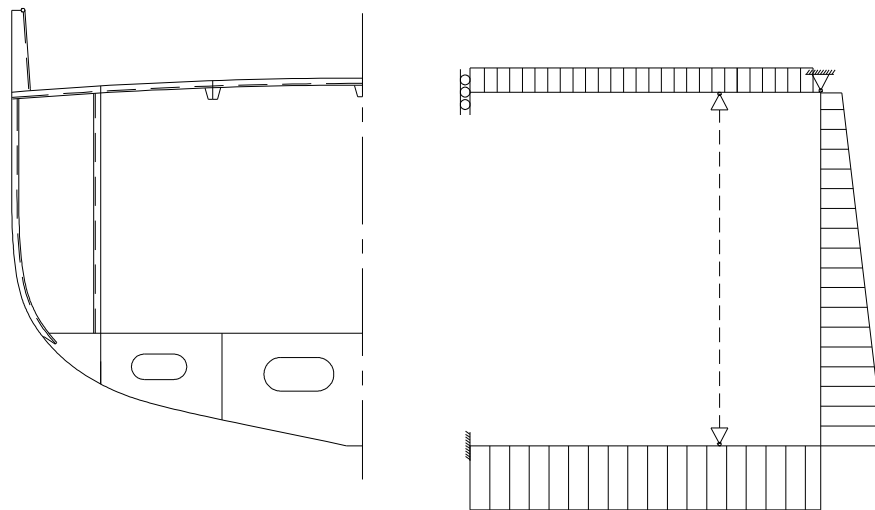
Dưới đây là một số khung sườn tàu được mô hình hoá về dạng khung phẳng để tính toán.



Hình 1.6 Mô hình hoá khung sườn tàu chở container



Hình 1.7 Mô hình hoá khung sườn tàu dầu.



Hình 1.8 Mô hình hoá khung sườn tàu cá.

**1.3.3. Xây dựng mô hình tải trọng cục bộ tác dụng lên kết cấu khung sườn.**

Tải trọng tác dụng cục bộ lên kết cấu thân tàu bao gồm hai loại sau: áp lực nước bên ngoài vỏ tàu và áp lực của trọng lượng hàng hoá trên tàu.

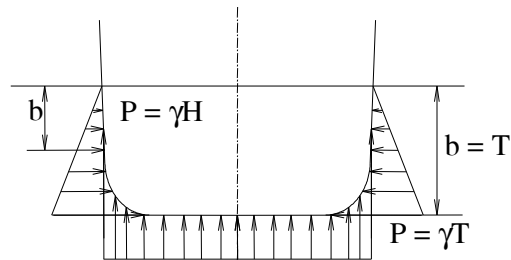
- Áp lực thuỷ tĩnh của nước bên ngoài vỏ tàu: áp lực nước xung quanh bề mặt vỏ tàu  $P_n$  tác dụng lên các bộ phận kết cấu thân tàu theo công thức:

$$P_n = \gamma \cdot h \tag{1.1}$$

Trong đó:  $\gamma$  \_ trọng lượng riêng của nước.

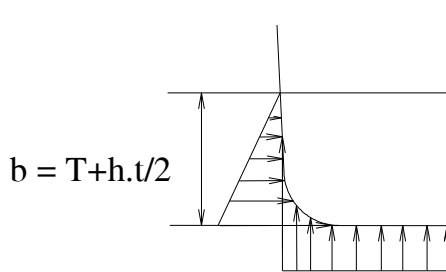
$h$  \_ chiều cao  $h$  phụ thuộc chủ yếu chiều chìm và trạng thái nổi của tàu nên cần chọn chiều cao cột áp phù hợp tàu nằm cân bằng trên nước tĩnh hay sóng.

+ Tàu nằm cân bằng trên nước tĩnh (hình 1.9)



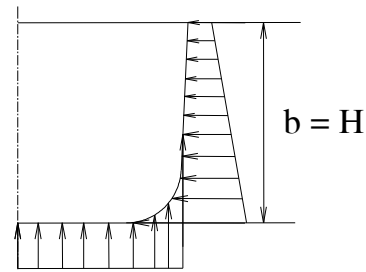
Hình 1.9

+ Tàu nằm cân bằng trên sóng:



$$P_n = \gamma \cdot (T + h \cdot t/2)$$

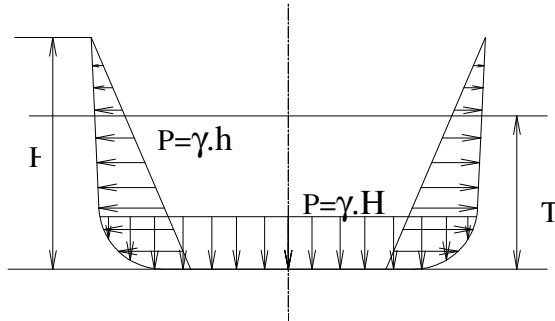
Hình 1.10



$$P_n = \gamma \cdot H$$

Hình 1.11

- Áp lực của trọng lượng hàng hoá: hàng hoá trên tàu gồm các loại: hàng lỏng, hàng rời... các qui phạm độ bền tàu hiện nay thường qui



Hình 1.12

đổi từ áp lực nước hàng hoá sang áp lực cột nước, và qui luật phân bố phụ thuộc chủ yếu đặc điểm hàng hoá.

Ta có mô hình tác dụng của hàng hoá lên kết cấu thân tàu như sau:

Áp lực trung bình  $P_{hh}$  do hàng hoá gây ra trên mặt sàn có thể tính theo công thức:

$$P_{hh} = \frac{W}{L * b} \tag{1.2}$$

Trong đó: W\_trọng lượng hàng.

L, b\_lần lượt là chiều dài, chiều rộng phần diện tích có đặt trọng lượng hàng hoá W (m).

+ Áp lực hàng rời tác dụng lên khung sườn là:

$$P_{hr} = K. \gamma_{hr}.H \tag{1.3}$$

Trong đó:  $\gamma_{hr}$ \_trọng lượng riêng hàng chở trên tàu.

H \_ chiều cao hàng rời.

K \_ hệ số tính đến ảnh hưởng sự không đều từng mặt hàng cụ thể cho trong bảng 1.1:

Bảng 1.1

Tên gọi	Trọng lượng riêng $\gamma$ , (t/m <sup>3</sup> )	Hệ số K
Than đá	0.80	0.27
Muối	0.96	0.22
Lúa, gạo	0.73 – 0.78	0.25 – 0.33
Xi măng	1.2 – 1.3	0.42
Cát	1.5 – 2.0	0.22 – 0.42

+ Áp lực của hàng lỏng tác dụng lên đáy và vách khoang chứa:

$$P_{hl} = \rho \cdot g \cdot h = \gamma \cdot h \quad (1.4)$$

Trong đó:  $\rho$  \_ mật độ của hàng lỏng.

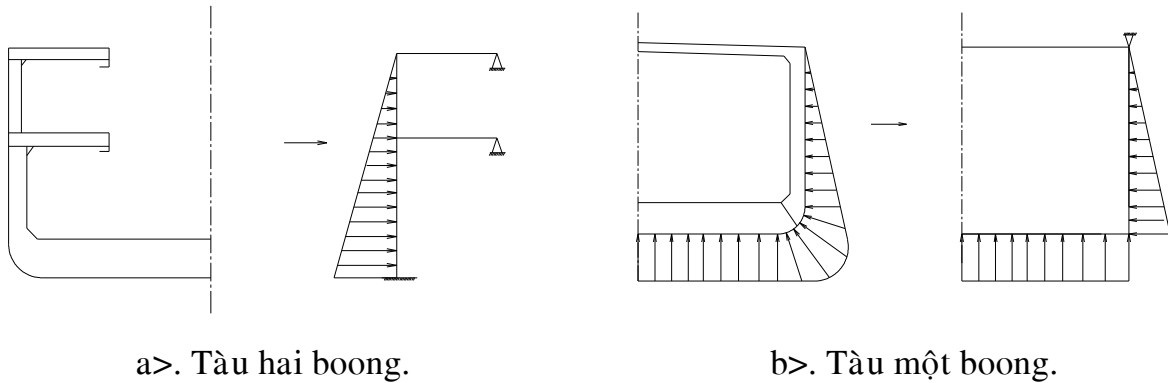
$g$  \_ gia tốc trường trái đất.

#### 1.3.4. Lựa chọn phương pháp giải:

##### a. Phương pháp truyền thống:

Khi chưa xuất hiện phương pháp hiện đại để tính sức bền kết cấu khung sườn tàu, người ta thường mô hình hoá kết cấu khung sườn tàu thành dạng khung phẳng. Ví dụ đối với khung sườn tàu, đà ngang đáy được coi là ngàm của sườn do đà ngang đáy có độ cứng lớn hơn rất nhiều so với sườn. Xà ngang boong được coi như tựa trên xà dọc boong và miêng hầm hàng do xà dọc boong và miêng hầm hàng được gia cường vững chắc hơn nhiều so với xà ngang boong. Xà ngang boong và sườn mạn được hàn đối đầu với nhau và có mã liên kết nên có thể coi đủ cứng vững và không bị biến dạng góc trong quá trình tính toán. Đà ngang đáy và sườn mạn được coi là vuông góc với nhau hoặc gần như là góc vuông (hình 1.12a). Hoặc

thay thế vào giữa vị trí giữa xà ngang boong và sườn bằng một gối đỡ trong trường hợp có mã giữa xà ngang boong và sườn (hình 1.12b).



a>. Tàu hai boong.

b>. Tàu một boong.

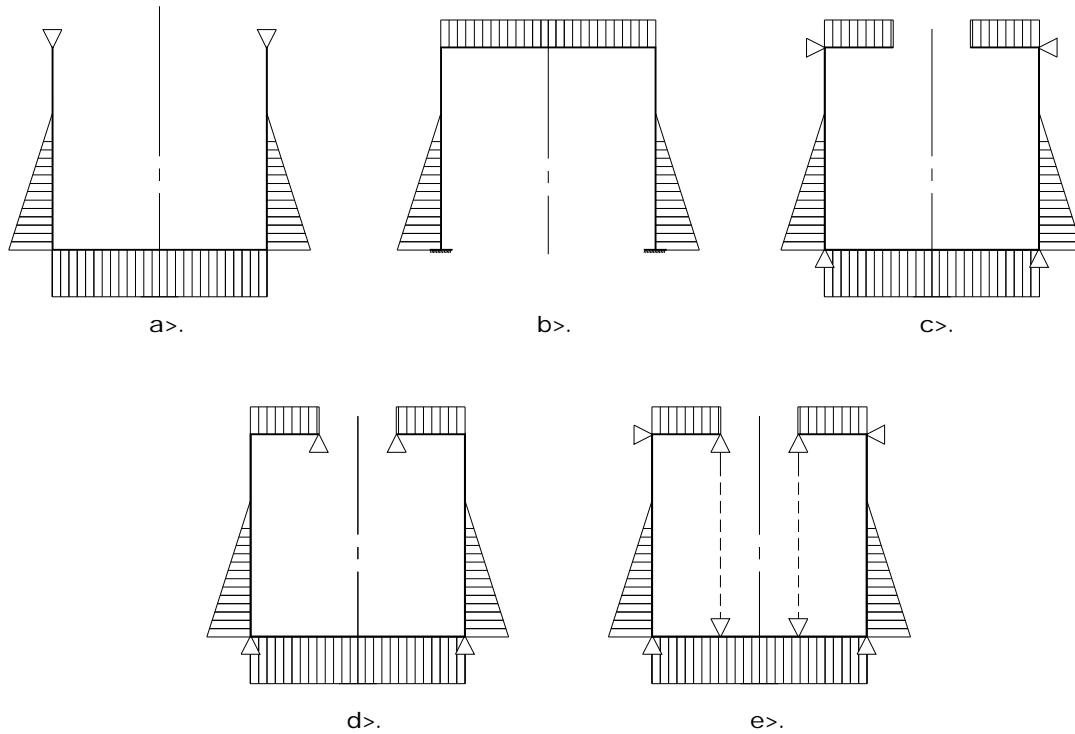
Hình 1.12

Trong nhiều trường hợp, để đơn giản hoá quá trình tính toán mà vẫn đảm bảo độ chính xác cần thiết, có thể xây dựng tách kết cấu theo nguyên tắc kết cấu có độ cứng lớn hơn phải làm chỗ dựa cho kết cấu có độ cứng nhỏ hơn. Ví dụ xà dọc boong hoặc xà dọc hầm hàng với độ cứng lớn hơn nhiều so với độ cứng của xà ngang boong và như vậy miệng hầm hàng dọc trở thành điểm tựa cho xà ngang. Đặc biệt, trong trường hợp kết cấu cần thay thế có độ cứng lớn hơn rất nhiều so với kết cấu đang xét, ta có thể coi liên kết giữa chúng là ngàm. Ví dụ so với đà ngang đáy thường cứng hơn nhiều so với sườn, trong trường hợp này ta có thể coi sườn chịu ngàm tại đáy.

Một vài ví dụ về lựa chọn điều kiện biên được thể hiện trên hình 1.13. Trong đó, hình (a) áp dụng cho trường hợp sườn tàu yếu, giữa sườn với đáy và giữa sườn với boong không nối mã. Hình (b) dùng cho trường hợp đà ngang đáy cứng. Hình (c) dùng cho tàu chở hàng khô, miệng



khoang hàng không đủ cứng để đỡ xà ngang boong cột. Hình (d) dùng cho kết cấu có miệng hầm hàng cứng. Hình (e) áp dụng cho trường hợp có hai cột chống không biến dạng dọc trục, làm điểm tựa cho boong.



Hình 1.13

Từ mô hình kết cấu khung sườn đó ta hoàn toàn có thể giải quyết bài toán theo hướng truyền thống. Tuy nhiên việc mô hình hoá như vậy chưa hoàn toàn sát với điều kiện làm việc thực tế của kết cấu khung sườn và do đó kết quả tính vì thế cũng không chính xác và tin cậy. Vì thực tế, khi các xà ngang boong liên kết với xà dọc boong, các biện pháp kết cấu công nghệ rất khó đảm bảo được tại đó không có chuyển vị thẳng đứng, nên việc thay bằng gối đỡ hoặc ngàm cứng sẽ không phản ánh hết điều kiện làm việc thực tế của kết cấu.

b. Bài toán phân tích theo phương pháp phần tử hữu hạn:

Đối với bài toán phân tích độ bền cục bộ kết cấu khung sườn tàu theo phương pháp truyền thống thì thường mô phỏng kết cấu khung sườn tàu về dạng khung phẳng. Tuy nhiên theo cách giải quyết này thì chúng ta chưa hoàn toàn mô phỏng được điều kiện làm việc thực của kết cấu khung sườn. Phương pháp phần tử hữu hạn thay thế các kết cấu thực bằng nhiều mô hình tính rời rạc, gồm một số hữu hạn các phần tử riêng biệt liên kết với nhau bằng một số hữu hạn các điểm nút, còn ngoại lực đưa về các lực tương đương tác dụng tại nút. Phương trình chính tắc được viết cho các nút của mô hình tính. Kết quả tính được sẽ là các trường ứng suất, biến dạng và chuyển vị tại các điểm nút.

#### **1.3.5. Đánh giá độ bền:**

- Tiêu chuẩn để đánh giá độ bền:
  - Đảm bảo yêu cầu đủ bền: an toàn, tin cậy trong mọi trường hợp.
  - Kiểm tra và đánh giá độ bền kết cấu thân tàu bằng cách so sánh giá trị ứng suất xuất hiện trong kết cấu với các tiêu chuẩn gọi là tiêu chuẩn bền.
  - Đảm bảo đủ một lượng dự trữ bền cần thiết để tránh quá tải trong điều kiện thực tế.
- Các phương pháp kiểm tra độ bền:
  - Kiểm tra đánh giá theo giá trị mômen giới hạn.
  - Kiểm tra đánh giá theo giá trị ứng suất cho phép.

## **1.4. GIỚI HẠN NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU.**

### **1.4.1. Giới hạn về nội dung nghiên cứu:**

Do thời gian làm đề tài có hạn, kết cấu thân tàu là một tổ hợp kết cấu phức tạp nên để tính độ bền của một con tàu thì cần rất nhiều thời gian. Vì vậy theo nội dung của đề tài ta tập chung đi sâu vào nghiên cứu độ bền cục bộ kết cấu khung sườn tàu. Các kết quả tính độ bền chung của tàu xem như đã có. Trong đề tài chọn kết cấu khung sườn của tàu hàng thông dụng, kết cấu khung sườn dạng này hiện đang được áp dụng phổ biến khi thiết kế kết cấu các loại tàu hàng hiện nay.

### **1.4.2. Phương pháp nghiên cứu:**

Theo cách giới hạn về nội dung nghiên cứu, ở đây ta chủ yếu đi sâu vào phân tích và tính toán độ bền cục bộ của kết cấu khung sườn tàu theo phương pháp phần tử hữu hạn. Tuy nhiên để có kết quả so sánh ta tính theo cả phương pháp truyền thống và phần mềm Sap để thấy được ưu điểm nổi bật của phương pháp phần tử hữu hạn.

### **1.4.3. Giới thiệu tàu tính toán:**

Tàu lựa chọn là tàu hàng khô, có các thông hình học như sau:

Chiều dài lớn nhất :  $L_{\max} = 79.57 \text{ m}$  ;

Chiều dài thiết kế :  $L_{\text{tk}} = 75.37 \text{ m}$  ;

Chiều rộng lớn nhất :  $B_{\max} = 12.60 \text{ m}$  ;

Chiều rộng thiết kế :  $B_{\text{tk}} = 12.60 \text{ m}$  ;

Chiều cao mạn :  $H = 6.00 \text{ m}$  ;

Chiều chìm :  $T = 5.00 \text{ m}$  ;

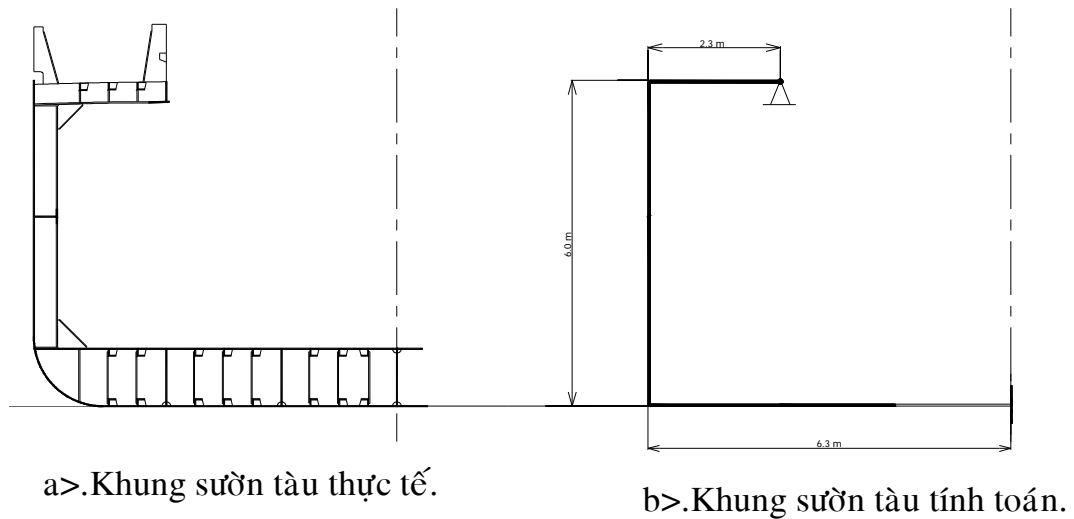
Trọng tải :  $D_w = 2600 \text{ Tấn}$ .

Tàu kết cấu theo hệ thống ngang, hoạt động trong vùng biển hạn chế cấp II. Các hình 1.14 ; 1.15 ; 1.16 là một số khung sườn thuộc tàu tính toán.





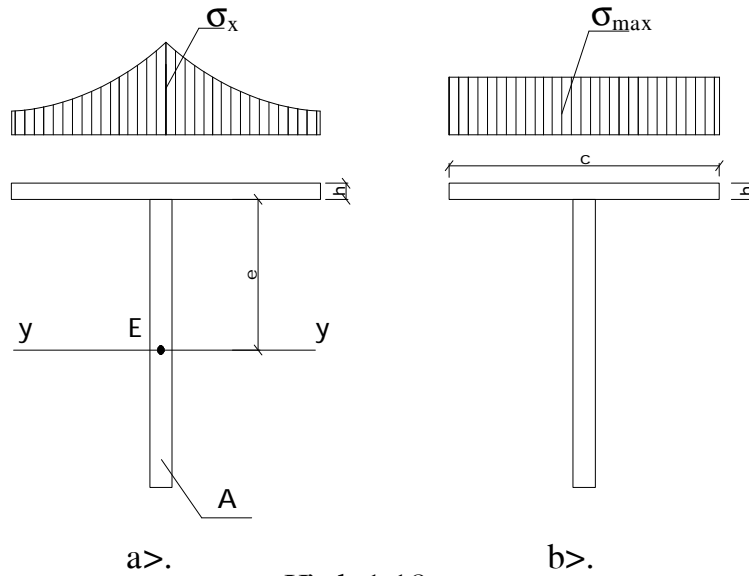
Chiều dài của nhánh sườn tính từ trục trung hoà đà ngang đáy đến mép tôn boong. Với mã hông và mã liên kết giữa đà ngang đáy và sườn mạn cũng như góc bề góc giữa sườn mạn và xà ngang boong được coi là không đổi trong quá trình tính toán. Tại vị trí các xà dọc mạn, đà dọc đáy phụ ta thay thế vào đó bằng các gối tựa đơn để đảm bảo chuyển vị cũng như điều kiện thực tế của khung sườn tàu. Vì khung sườn tàu là đối xứng qua mặt cắt giữa tàu nên ta chỉ cần tính toán trên  $\frac{1}{2}$  khung sườn tàu sau đó lấy đối xứng qua (hình 1.17).



Hình 1.17 Mô hình hoá khung sườn tàu tính toán.

#### 1.4.5 Mép kèm và quy cách lấy mép kèm :

Bài toán xem xét vai trò tham gia biến dạng uốn dầm của tôn vỏ và từ đó thay thế tôn vỏ bằng tấm mép tương đương, để đưa vào các đà dọc, đà ngang, xà dọc, xà ngang tạo thành dầm tương đương đã được Timoshenko.X.P giải quyết. Nội dung bài toán này là tính toán chiều rộng của tấm mép tương đương.



Hình 1.18

Để xác định tấm mép tương đương, sử dụng điều kiện cân bằng năng lượng giữa hệ thực với hệ tương đương giả thiết. Trong đó, hệ thực là một hệ bao gồm tấm thành và tấm mép có quy luật biến thiên ứng suất pháp không đều  $\sigma_x$  (hình 1.18a); hệ tương đương và tấm mép tương đương có chiều rộng “C”, chiều dày “h” (bằng chiều dày tấm mép thực) và trên đó ứng suất pháp  $\sigma_{max}$  phân bố đều (hình 1.18b).

Tấm mép tương đương thay thế phải giữ vai trò của tấm mép thực trong sự làm việc chung của toàn dầm. Tấm mép thay thế gọi là mép kèm. Chiều rộng “C” được gọi là chiều rộng mép kèm.

Trên cơ sở lí luận trên tính được (với 2b là chiều dài của một nhịp dầm):

$$C = \frac{4b}{\Pi(3+2n-n^2)} \tag{1.5}$$

Trường hợp hệ số poisson  $\nu = 0.3$ , ta có:

$$C = 0.181 \cdot 2b \tag{1.6}$$

Việc sử dụng các tấm mép tương đương thay thế, khi phân tích các

khung dàn đáy, boong, mạn tàu theo sơ đồ hệ dầm trực giao, cho phép kể đến sự làm việc của tôn vỏ vào sự làm việc của các cơ cấu khoẻ. Thực tế trong kết cấu tàu thủy, khoảng cách giữa các cơ cấu khoẻ không lớn lắm, tức là chiều rộng tấm mép có thể không phải là khá rộng như đã giả thiết. Nhưng trong một số các quy phạm quy định trị số của các đặc trưng hình học tiết diện ngang cơ cấu nẹp (kể cả mép kèm), bề rộng “C” theo tính toán là không sai khác nhiều so với kết quả tính theo công thức (1.5). Theo quy phạm đóng và phân cấp tàu thép (1980) của Đăng kiểm Pháp, những cơ cấu gắn với tấm tôn được chia làm hai loại có những quy định khác nhau về kích thước mép kèm:

1. Những cơ cấu thứ yếu (nẹp, vách, đà dọc, xà dọc trong hệ thống kết cấu của đáy, boong, mạn,..v.v...), chiều rộng của mép kèm được lấy bằng (lấy trị số nhỏ):

$$C = a \quad (1.7)$$

$$C = 0.2l \quad (1.8)$$

Trong đó: a \_ khoảng cách giữa các cơ cấu cùng loại;

l \_ chiều dài nhịp của cơ cấu kể cả mã liên kết cơ cấu.

2. Những cơ cấu chủ yếu (xà dọc boong, đà dọc đáy, xà dọc mạn, xà ngang boong khoẻ, đà ngang khoẻ, sườn khoẻ và nẹp khoẻ vách,..v.v..), kích thước mép kèm tùy thuộc tình hình liên kết ở đầu cơ cấu:

- Nếu hai đầu cơ cấu được liên kết ngàm thì chiều rộng của mép kèm được lấy bằng (lấy giá trị nhỏ):

$$C = a \quad (1.9)$$



$$C = \left( 0.27 - 0.0018 \frac{l}{a} \right) l \quad (1.10)$$

- Nếu một đầu cơ cấu được liên kết ngàm, đầu kia được liên kết khớp thì chiều rộng của mép kèm được lấy bằng (lấy giá trị nhỏ):

$$C = a \quad (1.11)$$

$$C = \left( 0.35 - 0.03 \frac{l}{a} \right) l \quad (1.12)$$

- Nếu tấm tôn mép kèm chỉ ở một phía của tấm thành thì chiều rộng của mép kèm được lấy bằng (lấy giá trị nhỏ):

$$C = a \quad (1.13)$$

$$C = \left( 0.13 - 0.004 \frac{l}{a} \right) l \quad (1.14)$$

Từ các trình bày trên đây, tôi chọn mép kèm để tính đối với tàu đang xét theo công thức (1.11 và 1.12) có kết quả tính như trong bảng 1.2:

Bảng 1.2

Kết cấu	Chiều rộng mép kèm C (m)
Boong	0.74
Mạn	1.45
Đáy	1.48

Các hình tiếp theo là hình vẽ đường hình, kết cấu cơ bản và bố trí chung của tàu lựa chọn.









**CHƯƠNG 2**

## **PHÂN TÍCH ĐỘ BỀN CỤC BỘ KẾT CẤU KHUNG SƯỜN TÀU BẰNG PHƯƠNG PHÁP TRUYỀN THỐNG.**

### **2.1 CƠ SỞ PHƯƠNG PHÁP TÍNH ĐỘ BỀN CỤC BỘ KẾT CẤU KHUNG SƯỜN TÀU THEO PHƯƠNG PHÁP TRUYỀN THỐNG.**

#### **2.1.1. Giả thiết cơ bản:**

Tải trọng tác dụng vào khung phẳng chỉ bao gồm các lực và mômen nằm trong mặt phẳng của khung sườn tàu và vật liệu làm việc trong miền đàn hồi. Biến dạng của khung không kèm theo sự xoắn của các thanh tức là tải trọng nằm trong cùng mặt phẳng với tâm uốn của lực tác dụng.

#### **2.1.2. Phương pháp tính toán:**

Theo cách phân loại khung thì khung tàu tính toán thuộc loại khung đơn giản có nút cố định, tức là tại một nút chỉ có hai thanh gặp nhau. Vì tại nút hai thanh được gắn cứng với nhau nên tại vị trí nút đảm bảo điều kiện liên tục của góc quay tiết diện, cho nên giải loại khung thông thường này ta có thể dùng các phương pháp tính toán kết cấu theo hướng giải truyền thống như: phương pháp lực, phương pháp chuyển vị, phương pháp mômen, phương pháp góc xoay, phương pháp ma trận, v.v... Tuy nhiên ta chọn một phương pháp tính theo phương pháp ma trận vì phương pháp này biểu diễn công thức tính theo ngôn ngữ ma trận nên có ưu điểm trong cách trình bày, phương pháp tính toán đơn giản.

#### **2.1.3. Xác định tải trọng tác dụng lên kết cấu khung sườn tàu:**

Tải trọng tác dụng lên khung sườn gồm áp lực nước bên ngoài tàu và áp lực hàng hoá (ở đây là hàng rời).

Ta có:  $q = q_n - q_{hr}$  (2.1)

Trong đó:

§  $q_n$  – Áp lực nước bên ngoài vỏ tàu tác dụng lên tính trong trường hợp nguy hiểm nhất là tàu nằm cân bằng trên đỉnh sóng với bước sóng bằng chiều dài tàu  $\lambda = L_{TK} = 75.37$  m.

$$q_n = \gamma^*(T + h_s/2) \tag{2.2}$$

chiều cao sóng  $h_s = 4.5$  m

$$\Rightarrow q_n = 1.025*(5.00 + 4.5/2) = 7.43 \text{ (T/m)}$$

§  $q_{hr}$  – Áp lực của hàng hoá tác dụng lên khung sườn tàu.

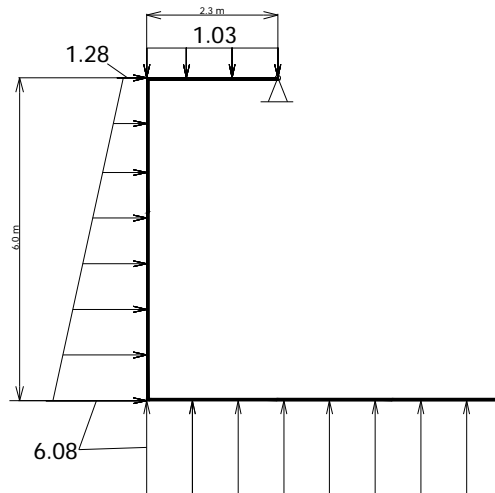
$$q_{hr} = \gamma^*h_n*k = 0.75*6.00*0.3 = 1.35 \text{ (T/m)}$$

Đ  $q = 7.43 - 1.35 = 6.08 \text{ (T/m)}$ .

Áp lực của nước khi tràn lên boong tàu, tính bằng chiều cao be chắn sóng:

$$q = \gamma.h_{bs} = 1.025*1 \approx 1.03 \text{ (T/m)}$$

Với tải trọng tính toán được phân trên ta có sơ đồ tải trọng tác dụng lên khung sườn tàu lựa chọn như hình (2.1):



Hình 2.1

## 2.2 CƠ SỞ LÝ THUYẾT PHƯƠNG PHÁP MA TRẬN.

### 2.2.1. Mô hình tính khung sườn theo phương pháp ma trận.

- Rời rạc hoá kết cấu: chia kết cấu thành các phần tử nhỏ, đánh số các phần tử và các đầu nút của phần tử.

- Chọn hệ toạ độ chung X,Y và xác định

Bảng 2.1

bậc tự do của các nút. Ta có bảng (2.1) toạ độ của các nút :

Nút	x	y
1	-	-

- Xác định bậc tự do của hệ theo công thức

sau:

$$N = 3 \times \text{Số nút cứng} - \text{Số bậc tự do bị triệt tiêu tại các gối.}$$

⇒ Ta thống kê bậc tự do của hệ như sau:

Bảng 2.2

Nút	u	v	θ
1	-	-	-

- Xác định vị trí đầu một và đầu hai của các phần tử và các côsin định hướng của chúng.

$$l = (x_2 - x_1)/L \quad ; \quad m = (y_2 - y_1)/L \quad ; \quad L = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$

Bảng 2.3. Vị trí các điểm đầu, điểm cuối và các côsin định hướng.

Phần tử	Điểm đầu	Điểm cuối	l	m
1	-	-	-	-

- Dùng các thành phần chuyển vị của các nút để biểu thị các thành phần chuyển vị của các phần tử. Ta xác định được bảng các thành phần chuyển



vị tại các đầu nút của các phần tử trong bảng sau:

Bảng 2.4 Các thành phần chuyển vị của phần tử.

Phần tử	Điểm đầu			Điểm cuối		
	u <sub>1</sub>	v <sub>1</sub>	θ <sub>1</sub>	u <sub>2</sub>	v <sub>2</sub>	θ <sub>2</sub>
1	-	-	-	-	-	-

**2.2.2. Tính ma trận độ cứng của các phần tử trong hệ tọa độ chung X,Y: {K<sub>e</sub>}.**

$$\{F_e\} = [K_e] \cdot \{d_e\}$$

$$\begin{bmatrix} F_{x1} \\ F_{y1} \\ M_1 \\ F_{x2} \\ F_{y2} \\ M_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_4 & -C_1 & -C_2 & C_4 \\ & C_3 & -C_5 & -C_2 & -C_3 & -C_5 \\ & & C_6 & -C_4 & C_5 & C_7 \\ & & & C_1 & C_2 & -C_4 \\ & & & & C_3 & C_5 \\ Dx & & & & & C_6 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} u_1 \\ v_1 \\ q_1 \\ u_2 \\ v_2 \\ q_2 \end{bmatrix} \quad (2.3)$$

Các ký hiệu dùng trong công thức:

$$C_1 = \frac{12EI}{L^3(1+b)}(m^2 + a.l^2) \quad ; \quad C_2 = \frac{-12EI}{L^3(1+b)}(1-a).l.m \quad ; \quad C_3 = \frac{12EI}{L^3(1+b)}.l^2 + a.m^2$$

$$C_4 = \frac{6EI}{L^2(1+b)}.m \quad ; \quad C_5 = \frac{6EI}{L^2(1+b)}.l \quad ; \quad C_6 = \frac{(4+b)EI}{L(1+b)} \quad ; \quad C_7 = \frac{(2-b)EI}{L(1+b)}$$

$$b = 12 \frac{EIg}{GAL^2} \quad ; \quad a = \frac{AL^2}{12I}(1+b) \quad ;$$

trong đó:

A \_ Diện tích tiết diện.

I \_ Mômen quán tính.

E \_ Môđun đàn hồi của vật liệu, với thép đóng tàu E = 2.41\*10<sup>5</sup> (MPa).

G \_ Môđun đàn hồi trượt được xác định theo công thức sau:

$$G = \frac{E}{2(1+m)} \quad (MPa) \quad (2.4)$$

$\mu$  \_ Hệ số Poisson;  $\mu = 0.25 \div 0.33$ . Đối với loại thép đóng tàu, là loại thép có hàm lượng cacbon thấp (<1%), nên chọn  $\mu = 0.3$  ; giá trị này được lấy đồng nhất trong tất cả các phương pháp tính để thuận tiện khi so sánh các kết quả tính.

$\gamma$  \_ Hệ số điều chỉnh, kể tới sự phân bố không đều của ứng suất tiếp. Hệ số này chỉ phụ thuộc hình dạng của tiết diện. Với thép chữ T,  $\gamma$  tính theo công thức sau:

$$g = \frac{A}{A_b} \quad (2.5)$$

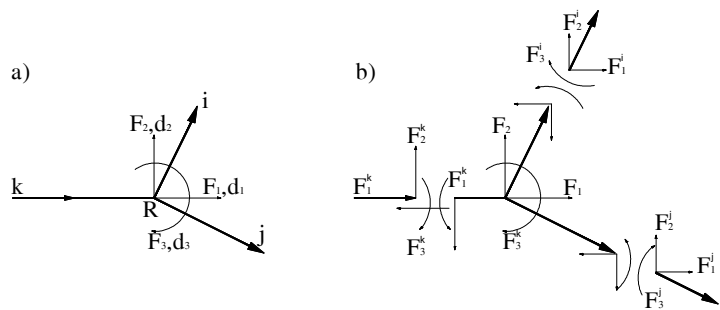
Với : A \_ Diện tích toàn bộ tiết diện.

$A_b$  \_ Diện tích bản bụng.

- Khi bỏ qua ảnh hưởng của lực cắt thay  $\beta = 0$ ; khi bỏ qua ảnh hưởng của lực dọc thay  $\alpha = 0$ .

- Tại mỗi nút tính tổng của các thành phần nội lực trên phương của mỗi bậc tự do đối với các phần tử qui tụ tại đó. Bằng cách này, ta sẽ thành lập trực tiếp ma trận độ cứng toàn bộ [K]. Điều này được minh hoạ như sau:

Giả sử tại một nút nào đó, có 3 thành phần tải trọng  $F_1, F_2, F_3$  và có 3 phần tử i, j, k quy tụ (Hình 2.2a). Các thành phần nội lực cùng phương với một bậc tự do đều được kí hiệu bằng những chỉ số như nhau.



Hình 2.2

Từ điều kiện cân bằng nút, ta có:

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= F_1^i + F_1^j + F_1^k \\ F_2 &= F_2^i + F_2^j + F_2^k \\ F_3 &= F_3^i + F_3^j + F_3^k \end{aligned} \right\} \quad (2.6)$$

Các số hạng ở vế phải của các phương trình là những hàm tuyến tính của các bậc tự do  $d_1, d_2, d_3, \dots$ . Từ (2.6), ta viết phương trình đầu tiên như sau:

$$\begin{aligned} F_1^i &= a_1 d_1 + a_2 d_2 + a_3 d_3 + \dots \\ F_1^j &= b_1 d_1 + b_2 d_2 + b_3 d_3 + \dots \\ F_1^k &= c_1 d_1 + c_2 d_2 + c_3 d_3 + \dots \end{aligned} \quad (2.7)$$

Do đó ta có:

$$\Rightarrow F_1 = F_1^i + F_1^j + F_1^k = (a_1 + b_1 + c_1)d_1 + (a_2 + b_2 + c_2)d_2 + (a_3 + b_3 + c_3)d_3 + \dots$$

trong đó:  $F_1$  – phần tử của véctơ tải trọng ứng với bậc tự do  $d_1$ ,  $a, b, c$  – là các phần tử lần lượt ứng với các ma trận độ cứng của các ma trận các phần tử  $i, j, k$ .

Nếu so sánh hai vế của (2.7), ta thấy phần tử của ma trận  $[K]$  cùng hàng với  $F_1$ .

- Ứng với  $d_1$  là  $(a_1 + b_1 + c_1)$
- Ứng với  $d_2$  là  $(a_2 + b_2 + c_2)$
- Ứng với  $d_3$  là  $(a_3 + b_3 + c_3)$

Đối với các phương trình còn lại của (2.6), ta cũng làm tương tự như trên.

Sau khi thành lập được ma trận độ cứng toàn bộ  $[K]$ , ta thay  $\Sigma F_i$  bằng  $F_i$  để được hệ thức ma trận:

$$\{F\} = [K].\{d\} \quad (2.8)$$

Trong đó:  $\{K\}$  – Véctơ tải trọng;  $[K]$  – Ma trận độ cứng tổng thể;

$\{d\}$  – Véctơ chuyển vị của các nút.

**2.2.3. Giải hệ phương trình.**

Giải hệ phương trình trên để được giá trị của vectơ chuyển vị.

**2.2.4. Các thành phần nội lực của các phần tử tính như sau:**

$$\begin{aligned} M_1 &= \frac{EI}{L(1+b)} \left[ (4+b)q_1 + (2-b)q_2 + \frac{6}{L}((u_1 - u_2).m - (v_1 - v_2))l \right] \\ M_2 &= \frac{EI}{L(1+b)} \left[ (2-b)q_1 + (4+b)q_2 + \frac{6}{L}((u_1 - u_2).m - (v_1 - v_2))l \right] \\ F &= \frac{AE}{L} [(u_2 - u_1)l + (v_2 + v_1).m] \end{aligned} \quad (2.9)$$

**2.3 ỨNG DỤNG TÍNH ĐỐI VỚI KHUNG SƯỜN TÀU LỰA CHỌN :**

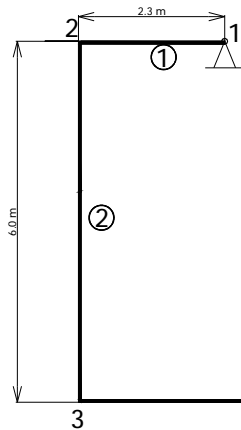
Các đặc trưng hình học của khung sườn được tính toán cho trong bảng 2.5:

Bảng 2.5. Các đặc trưng hình học của các phần tử.

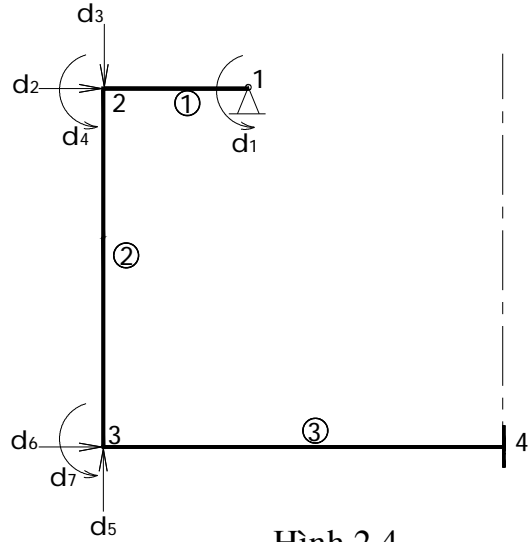
Phần tử	L (m)	I x 10 <sup>-4</sup> (m <sup>4</sup> )	A x 10 <sup>-3</sup> (m <sup>2</sup> )	$\gamma$	$\beta$	$\alpha$
1	2.3	1.34	7.7	1.83	0.19	30.14
2	6.0	1.89	7.0	1.75	0.04	115.56
3	6.3	7.5	10	1.2	0.07	47.19

Ta đánh số các phần tử được chia và các đầu nút của phần tử như trên hình (2.3).

Trên hình (2.4) thể hiện số bậc tự do của các phần tử. Với số phần tử ta chia ra là 3 và số bậc tự do tính được là 7. Ta có bảng mối tương quan giữa các phần tử và số bậc tự do và tọa độ của các nút trong hệ tọa độ chung như trong bảng (2.6)



Hình 2.3



Hình 2.4

Bảng 2.6

Nút	u	v	$\theta$	x	y
1	0	0	$d_1$	2,3	6,0
2	$d_2$	$d_3$	$d_4$	0	6,0
3	$d_5$	$d_6$	$d_7$	0	0
4	0	0	0	6,3	0

Bảng 2.7

Phần tử	Đầu 1	Đầu 2	l	m
1	2	1	1	0
2	3	2	0	1
3	3	1	1	0

§ Phần tử 1:

$$\begin{bmatrix} F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{x2} \\ F_{y2} \\ M_2 \\ M_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_4 & C_4 \\ & C_3 & -C_5 & -C_5 \\ & & C_6 & C_7 \\ Dx & & & C_6 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} d_2 \\ d_3 \\ d_4 \\ d_1 \end{bmatrix}$$

Thay giá trị vào ta được:

$$\begin{bmatrix} F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{x2} \\ F_{y2} \\ M_2 \\ M_1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 80670.7 & 0 & 0 & 0 \\ & 2676.5 & -3182.6 & -3182.6 \\ & & 4943.8 & 2135.6 \\ Dx & & & 4943.8 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} d_2 \\ d_3 \\ d_4 \\ d_1 \end{bmatrix}$$

§ Phần tử 2:

$$\begin{bmatrix} F_5 \\ F_6 \\ F_7 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{x3} \\ F_{y3} \\ M_3 \\ F_{x2} \\ F_{y2} \\ M_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_4 & -C_1 & -C_2 & C_4 \\ & C_3 & -C_5 & -C_2 & -C_3 & -C_5 \\ & & C_6 & -C_4 & C_5 & C_5 \\ & & & C_1 & C_2 & -C_4 \\ & & & & C_3 & C_5 \\ Dx & & & & & C_6 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} d_5 \\ d_6 \\ d_7 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{bmatrix}$$

Thay thế giá trị vào ta được:

$$\begin{bmatrix} F_5 \\ F_6 \\ F_7 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{x3} \\ F_{y3} \\ M_3 \\ F_{x2} \\ F_{y2} \\ M_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 243.3 & 0 & 729.9 & -243.3 & 0 & 729.9 \\ & 115.6 & 0 & 0 & -115.6 & 0 \\ & & 2949 & -729.9 & 0 & 1430.7 \\ & & & 243.3 & 0 & -729.9 \\ & & & & 115.6 & 0 \\ Dx & & & & & 2949 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} d_5 \\ d_6 \\ d_7 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \end{bmatrix}$$

§ Phần tử 3:

$$\begin{bmatrix} F_5 \\ F_6 \\ F_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{x3} \\ F_{y3} \\ M_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C_1 & C_2 & C_4 \\ & C_3 & -C_5 \\ Dx & & C_6 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} d_5 \\ d_6 \\ d_7 \end{bmatrix}$$

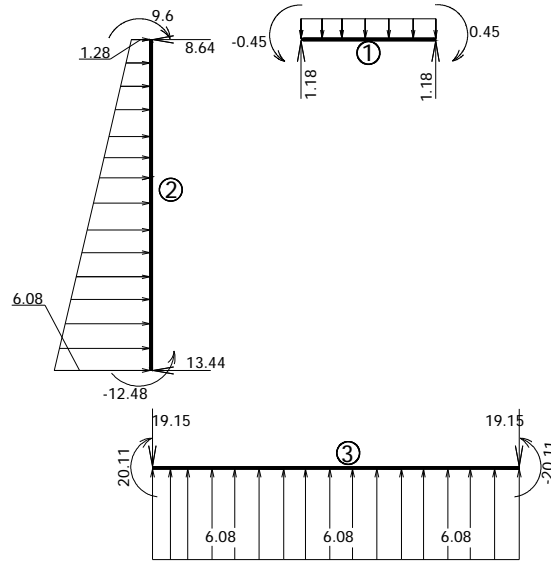
Thay giá trị vào ta được:

$$\begin{bmatrix} F_5 \\ F_6 \\ F_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} F_{x3} \\ F_{y3} \\ M_3 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 38256.4 & 0 & 0 \\ & 8107 & -2553.7 \\ Dx & & 10193.1 \end{bmatrix} * \begin{bmatrix} d_5 \\ d_6 \\ d_7 \end{bmatrix}$$

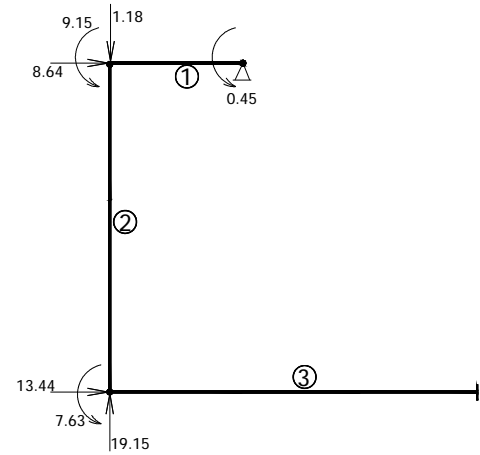
Tạo trạng thái ngàm và trạng thái tự do như trên hình (2.5a) và hình (2.5b). Nội lực trong trạng thái ngàm được thống kê trong bảng ( 2.8)

Bảng 2.8. Thành phần nội lực ở trạng thái ngàm.

Phần tử	M <sub>1</sub>	M <sub>2</sub>
1	-0.45	0.45
2	-12.48	9.6
3	20.11	-20.11



Hình 2.5a



Hình 2.5b

Các thành phần tải trọng ở trạng thái tự do trên hình (2.5b) có giá trị được tính như sau:

$$F_1 = -(-0.45)$$

$$F_2 = -(-8.64)$$

$$F_3 = -(-1.18)$$

$$F_4 = -(-9.6+0.45) = 9.15$$

$$F_5 = -(-13.44)$$

$$F_6 = -(-19.15)$$

$$F_7 = -(-20.11+12.48) = 7.63$$

Tính tổng  $[K]=\Sigma F_i$ ,  $i = 1, 2, 3...10$ . Ta được ma trận độ cứng tổng thể

$[K]$  như sau:

$$[K] = \begin{bmatrix} 4943.8 & 0 & -3182.6 & 2135.6 & 0 & 0 & 0 \\ & 80670.7 & & & & & \\ & \frac{243.3}{80914} & & & & & \\ & & 2676.5 & & & & \\ & & \frac{115.6}{27912.3} & -3182.6 & 0 & -115.6 & 0 \\ & & & 4943.8 & & & \\ & & & \frac{2949.0}{7892.8} & 729.9 & 0 & 1430.7 \\ & & & & 38256.4 & & \\ & & & & \frac{243.3}{38499.7} & 0 & 729.9 \\ & & & & & 115.6 & \\ & & & & & \frac{810.7}{9263} & -2553.7 \\ & & & & & & 10193.1 \\ & & & & & & \frac{2949.0}{13142.1} \end{bmatrix}$$

$Dx$

Ta có phương trình của phần tử là:  $\{F\} = [K].\{d\}$

$$\begin{bmatrix} F_1 \\ F_2 \\ F_3 \\ F_4 \\ F_5 \\ F_6 \\ F_7 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.45 \\ 8.64 \\ 1.18 \\ 9.15 \\ 13.44 \\ 19.15 \\ 7.63 \end{bmatrix} = \begin{matrix} \\ \\ \\ K \\ \\ \\ \end{matrix} \begin{bmatrix} d_1 \\ d_2 \\ d_3 \\ d_4 \\ d_5 \\ d_6 \\ d_7 \end{bmatrix} \quad (*)$$

Giải hệ phương trình (\*) trên ta được các chuyển vị và góc xoay như sau:

$$\begin{aligned} d_1 &= 0.55 \cdot 10^{-3} & (\theta_1) & & d_2 &= 0.19 \cdot 10^{-3} & (v_2) \\ d_3 &= 0.22 \cdot 10^{-3} & (u_2) & & d_4 &= -0.7 \cdot 10^{-3} & (\theta_2) \\ d_5 &= 0.17 \cdot 10^{-3} & (u_3) & & d_6 &= 0.34 \cdot 10^{-3} & (v_3) \\ d_7 &= 0.49 \cdot 10^{-3} & (\theta_3) & & & & \end{aligned}$$

Các thành phần nội lực của phần tử ở trạng thái tự do được tính theo



công thức (2.9), thể hiện trong bảng sau:

Bảng 2.9. Thành phần nội lực ở trạng thái tự do.

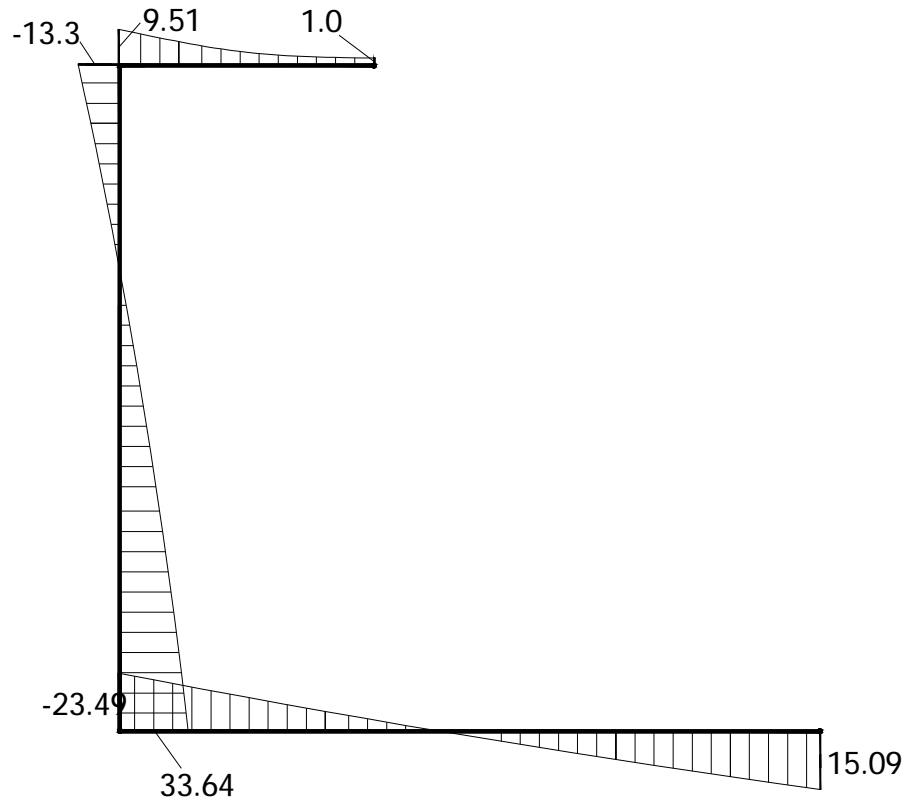
Phần tử	$M_1$	$M_2$	F
1	9.96	0.55	-17.75
2	-21.61	-22.9	14.9
3	-43.6	35.0	-6.5

- Nội lực tổng = Nội lực ở trạng thái ngàm + Nội lực ở trạng thái tự do.  
Các giá trị của mômen tổng cho trong bảng (2.10) dưới đây.

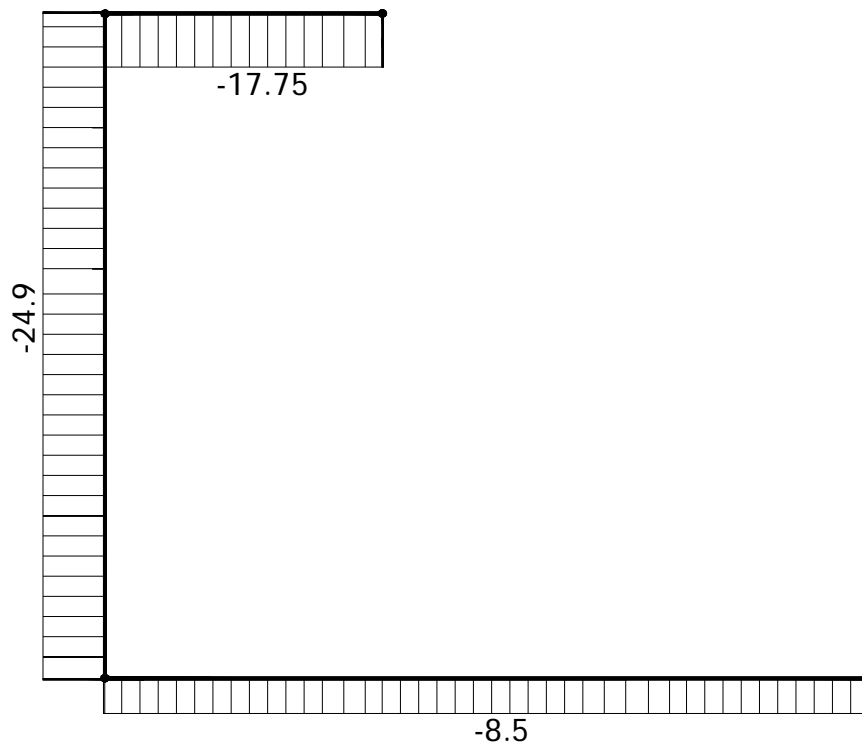
Bảng 2.10. Thành phần nội lực ở trạng thái tổng.

Phần tử	$M_1$	$M_2$
1	$9.96 - 0.45 = 9.51$	$0.55 + 0.45 = 1.0$
2	$21.61 + 12.48 = 33.64$	$-22.9 + 9.69 = -13.3$
3	$-43.6 + 20.11 = -23.49$	$35.0 - 20.11 = 15.09$

- Ta có biểu đồ mômen uốn và lực dọc của ½ khung sườn theo bảng giá trị trên như sau:



Hình 2.6. Biểu đồ mômen uốn  $M_n$  (T.m)



Hình 2.7 Biểu đồ lực dọc N (Tấn).

Dưới tác dụng của tải trọng cục bộ, khung sườn chủ yếu bị uốn và nén.

- Ứng suất uốn:

$$s_u = \frac{M_u}{W_u} = \frac{33.64}{1.89 \cdot 10^{-4}} = 17798 \quad (T/m^2) \quad (177.9 \text{ MPa})$$

- Ứng suất nén:

$$s_n = \frac{N}{A} = \frac{24.9}{7.0 \cdot 10^{-3}} = 3557 \quad (T.m^2) \quad (= 35.57 \text{ MPa})$$

#### **F** Kiểm tra bền:

Kiểm tra bền cục bộ khung sườn theo tiêu chuẩn ứng suất cục bộ cho phép:

$$s_{cb} \leq [s] = K_{cb} \cdot s_{ch}$$

Trong đó:  $K_{cb}$  – hệ số dự trữ bền cục bộ, lấy bằng 0.8

$\sigma_{ch}$  – ứng suất chảy của vật liệu.  $\sigma_{ch} = 240$  (MPa).

- Ứng suất uốn cho phép:

$$[\sigma_u] = 0.8 \cdot 240 = 192 \text{ (MPa)}$$

- Ứng suất nén cho phép:

$$[s_n] = 0.8 \cdot \frac{240}{1.5} = 128 \quad (\text{MPa})$$

Từ kết quả tính toán trên ta có:  $\sigma_u < [\sigma_u]$

$$\sigma_n < [s_n]$$

Kết luận: theo phương pháp tính ma trận, khung sườn tàu đang xét đảm bảo độ bền cục bộ. Tuy nhiên, do mô hình tính theo phương pháp này chưa phản ánh hết các điều kiện làm việc thực tế của kết cấu nên để đảm bảo độ chính xác yêu cầu, cần phải tính độ bền theo phương pháp PTHH.



**CHƯƠNG 3**

## PHÂN TÍCH ĐỘ BỀN KẾT CẤU KHUNG SƯỜN TÀU BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN.

### 3.1 KHÁI QUÁT VỀ PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN.

#### 3.1.1. Khái niệm:

Phương pháp phần tử hữu hạn (PTHH) phân tích kết cấu trên cơ sở thay thế kết cấu thực bằng một mô hình tính rời rạc. Mô hình tính bao gồm một số hữu hạn các phần tử riêng biệt liên kết với nhau bằng một số hữu hạn các điểm nút, còn ngoại lực được đưa về các lực tương đương tác dụng tại nút. Phương trình chính tắc được viết cho các nút của mô hình tính. Kết quả tính sẽ là các trường ứng suất, biến dạng và chuyển vị tại các điểm nút. So với các phương pháp phân tích kết cấu truyền thống, phương pháp phần tử hữu hạn có nhiều ưu điểm nổi bật. Có thể khái quát các ưu điểm chủ yếu của phương pháp phần tử hữu hạn thay cho những lời giải thích tại sao phương pháp này ngày càng được áp dụng rộng rãi trong cơ học.

+ *Khả năng tự động hoá*: tất cả các bài toán cơ học nói chung, xác định ma trận  $[K_e]$  và ma trận  $[K]$  đều được thực hiện bằng các phép tính sơ cấp của lý thuyết ma trận và các toán tử chu trình thể hiện khả năng tự động hoá cao của phương pháp PTHH.

+ *Độ tin cậy*: ưu điểm thứ hai của phương pháp PTHH là cho kết quả tính đảm bảo độ tin cậy. Trong phương pháp PTHH, thay thế các kết cấu thực (là một hệ liên tục) bằng một hệ rời rạc bao gồm một số các phần tử riêng biệt liên kết với nhau ở một số hữu hạn các điểm nút dựa trên cơ sở là thừa nhận năng lượng bên trong của mô hình tính thay thế bằng năng

lượng bên trong của kết cấu thực.

Nếu trên biên của các phần tử, điều kiện biên liên tục về lực và chuyển vị được thoả mãn (tức là xác định được chính xác các lực tương tác giữa các phần tử lân cận), thì mô hình thay thế làm việc hoàn toàn giống kết cấu thực.

+ *Khả năng áp dụng*: có thể xem phương pháp PTHH là một phương pháp vạn năng. Đó là ưu điểm thứ ba. Áp dụng phương pháp PTHH có thể giải được những bài toán hết sức phức tạp, thậm chí trước đây dùng các phương pháp khác không giải được.

Trong lĩnh vực cơ học môi trường liên tục, người ta áp dụng phương pháp PTHH bằng cách sử dụng phối hợp các phần tử khác nhau (các phần tử điểm, phần tử đường, phần tử khối, v.v...) và theo nguyên lý cộng tác dụng, dễ dàng phân tích được các bài toán kết cấu hỗn hợp, kết cấu có sườn bất kỳ, kết cấu có hình dạng phức tạp, v.v... Với bài toán kết cấu có lỗ khoét, một số tác giả sử dụng khái niệm phần tử ảo để phân tích và đã cho kết quả đảm bảo độ tin cậy.

### **3.1.1.1 Tạo lưới các phần tử hữu hạn:**

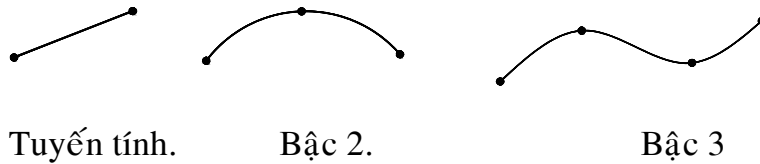
Trước tiên kết cấu phải được rời rạc hoá thành một số các phần tử có kích thước hữu hạn (hoặc phần tử hữu hạn), sao cho không có lỗ hổng cũng như phủ lên nhau giữa các phần tử. Người ta cũng mong muốn có một sai số nhỏ nhất khi thể hiện miền biên của kết cấu. Kết quả của sự rời rạc hoá nêu trên tạo nên một lưới các phần tử hữu hạn.

Thường thì đối với các kết cấu (miền khảo sát) đã cho, người ta có khuynh hướng dùng các phần tử có cùng dạng hình học như tam giác, hình

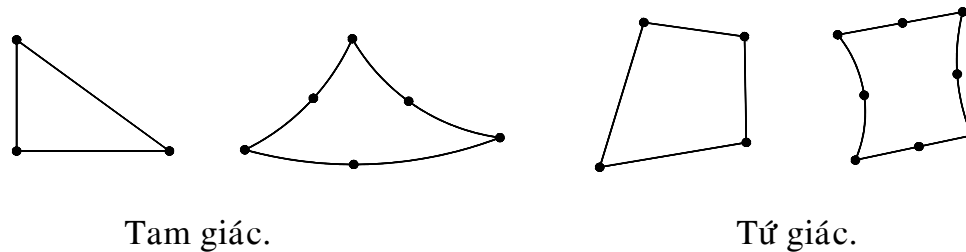
chữ nhật,..v.v... Tuy nhiên điều này thường không phải là bắt buộc. Rõ ràng là các phần tử này thuộc các loại khác nhau nếu như miền rời rạc hoá là một đường, một bề mặt hoặc một khối.

Dưới đây là các loại phần tử thông dụng nhất thường gặp trong việc tạo lưới các miền một chiều ( $R_1$ ), hai chiều ( $R_2$ ) và ba chiều ( $R_3$ ).

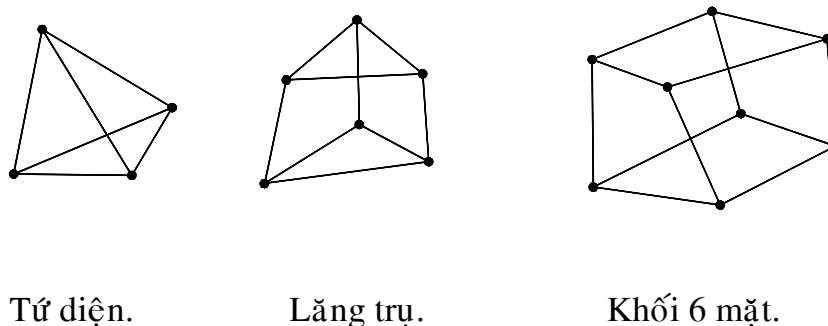
- Các phần tử một chiều:



- Các phần tử hai chiều:



- Các phần tử ba chiều:



**3.1.1.2 Ma trận độ cứng của các phần tử:**

Là độ cứng biểu thị khả năng mà kết cấu chống lại biến dạng dưới tác dụng của ngoại lực. Ma trận độ cứng là ma trận cơ bản của phương pháp các phần tử hữu hạn.

- Ma trận độ cứng phần tử có thể xây dựng dựa trên sự cân bằng tĩnh của bản thân phần tử. Qua việc xây dựng công thức ta có công thức tổng quát để xác định ma trận độ cứng phần tử như sau:

$$[K_e] = \int_V [B]^T [D] [B] dv \quad (3.1)$$

Trong đó:  $[K_e]$  – là ma trận độ cứng phần tử.

$V$  – công sinh ra do điểm đặt của vectơ ngoại lực nút  $\{F_e\}$ .

$[B]$  – ma trận đạo hàm.

$[D]$  – ma trận đàn hồi.

- Các tính chất của ma trận độ cứng phần tử  $[K_e]$ .

+ Ở vế phải của công thức (3.1) bằng tích ba ma trận:  $[B]^T [D] [B]$  cho ta một ma trận vuông, đối xứng (qua đường chéo chính), do vậy mà ma trận độ cứng  $[K_e]$  cũng là ma trận vuông và đối xứng.

+ Nếu gọi số bậc tự do  $n$  là số thành phần chuyển vị  $u, v, \theta, \dots$  có thể có tại mỗi nút của phần tử và  $n_e$  là tổng số nút của phần tử thì tổng số bậc tự do của phần tử là:

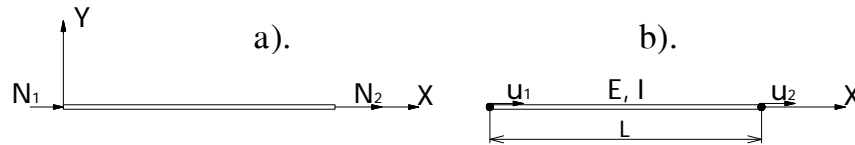
$$\Sigma \text{BTD} = nn_e \quad (3.2)$$

Lúc đó ma trận độ cứng của phần tử  $[K_e]$  sẽ có kích thước là  $(nn_e \times nn_e)$ .



3.1.1.3 Phần tử thanh:

Khái niệm: thanh là tất cả các kết cấu có kích thước theo một chiều thì khá lớn so với kích thước hai chiều còn lại và chỉ chịu kéo hoặc nén trong quá trình làm việc. Như vậy thanh có thể mô hình hoá bởi những phần tử một chiều và trên tất cả tiết diện của thanh chỉ có một thành phần nội lực duy nhất là lực dọc. (Hình 3.1a)



Hình 3.1 Phần tử thanh.

Phần tử thanh cổ điển nhất là phần tử thanh hai nút. Trong toạ độ địa phương (là toạ độ có trục x trùng với trục thanh), mỗi nút có một bậc tự do là chuyển vị \$u\_i\$ dọc theo trục x, với “i” là số thứ tự nút (Hình 3.1b). Tiết diện ngang A được giả thiết là không đổi dọc theo chiều dài L, E là môđun đàn hồi của vật liệu.

- Ma trận độ cứng của phần tử thanh trong hệ toạ độ riêng là:

$$[K_e] = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 1 \end{bmatrix} \tag{3.3}$$

- Ma trận độ cứng của phần tử thanh trong hệ toạ độ tổng thể:

$$[K] = [T]^T . [K_e] . [T] \tag{3.4}$$

Trong đó:  $[T] = \begin{bmatrix} \cos a & \cos b & \cos g & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos a & \cos b & \cos g \end{bmatrix} \tag{3.5}$

\$\cos\alpha, \cos\beta, \cos\gamma\$ là các cosin chỉ hướng của trục thanh trong hệ toạ độ tổng thể.

$$\cos a = \frac{X_2 - X_1}{L} ; \quad \cos b = \frac{Y_2 - Y_1}{L} ; \quad \cos g = \frac{Z_2 - Z_1}{L}$$

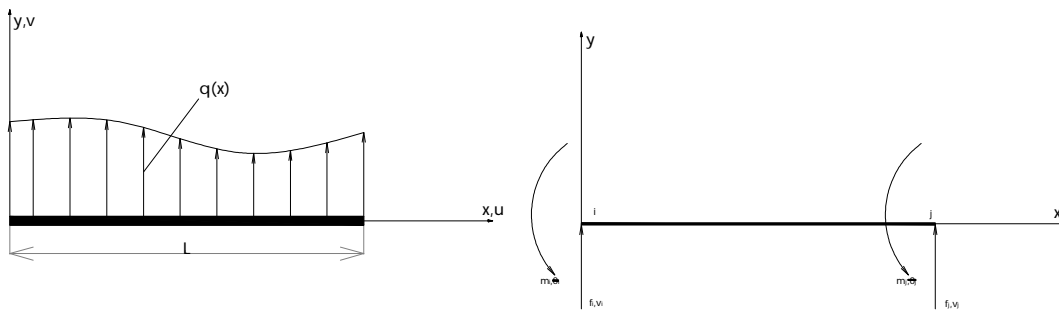
Hay viết dưới dạng ma trận, ma trận độ cứng [K] như sau:

$$[K] = \frac{EA}{L} \begin{bmatrix} C^2 & CS & -C^2 & -CS \\ & S^2 & -CS & -S^2 \\ & & C^2 & CS \\ Dx & & & S^2 \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Ở đây:  $C = c.\alpha$  ;  $C^2 = c^2.\alpha$  ;  $S = s.\alpha$  ;  $S^2 = s^2.\alpha$

**3.1.1.4 Phần tử dầm:**

Dầm là tất cả những kết cấu một chiều có thể chịu kéo - nén, uốn xoắn đồng thời trong quá trình làm việc. Ở đây ta chỉ xét phần tử dầm chịu uốn.



Hình 3.2. Phần tử dầm chịu uốn.

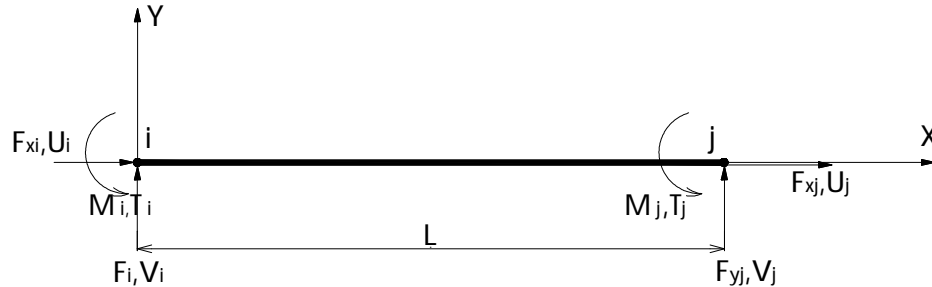
- Ma trận độ cứng của phần tử dầm:

$$[K_e] = \frac{EI}{L} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ & 4L^2 & -6L & 2L^2 \\ & & 12 & -6L \\ Dx & & & 4L^2 \end{bmatrix} \quad (3.7)$$

**3.1.1.5 Khung phẳng:**

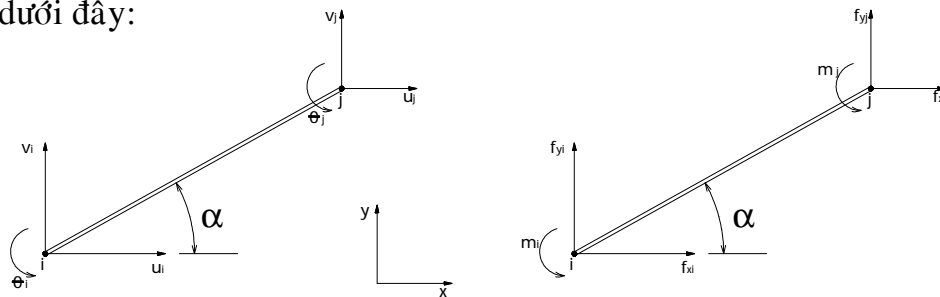
Bao gồm các thanh (cùng nằm trên một mặt phẳng) liên kết lại với nhau tại các điểm nút. Các phần tử thanh trong khung phẳng chịu kéo - nén đồng thời.

- Phần tử khung phẳng trong hệ tọa độ địa phương vừa chịu kéo – nén và uốn đồng thời được mô phỏng trong hình dưới đây:



Hình 3.3. Phần tử thanh chịu kéo – nén và uốn đồng thời.

Từ cách biến đổi hệ trục tọa độ trong phần tử dàn phẳng, ta thực hiện biến đổi phần tử từ hệ trục tọa độ địa phương sang hệ trục tọa độ tổng thể dưới đây:



Hình 3.4. Phần tử khung trong hệ tọa độ tổng thể.

- Ma trận độ cứng của phần tử trong hệ tọa độ tổng thể:

$$[K_e] = [T_e]^T \cdot [K_e] \cdot [T_e] = \begin{bmatrix} (Ac^2 + Bs^2) & (A-B)cs & -Cs & -(Ac^2 + Bs^2) & -(A-B)cs & -Cs \\ & (As^2 + Bc^2) & Cc & -(A-B)cs & (As^2 + Bc^2) & Cc \\ & & 4D & Cs & -Cc & 2D \\ & & & (As^2 + Bc^2) & (A-B)cs & Cs \\ & & & & (As^2 + Bc^2) & -Cc \\ Dx & & & & & 4D \end{bmatrix} \quad (3.8)$$

Với  $c = \cos\alpha$  ;  $s = \sin\alpha$  ;  $A = \frac{EA}{L}$  ;  $B = \frac{12EI}{L^3}$  ;  $C = \frac{6EI}{L^2}$  ;  $D = \frac{EI}{L}$  ;

- Nếu bỏ qua ảnh hưởng của lực dọc đến lực cắt đến chuyển vị, ma trận độ cứng được viết lại như sau:

$$[K_e] = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12s^2 & -12cs & -6Ls & -12s^2 & -12cs & -6Ls \\ & 12c^2 & 6Lc & 12cs & -12c^2 & 6Lc \\ & & 4L^2 & 6Ls & -6Lc & 2L^2 \\ & & & 12s^2 & -12cs & 6Ls \\ & & & & 12c^2 & -6Lc \\ D_x & & & & & 4L^2 \end{bmatrix} \quad (3.9)$$

### 3.1.2. Trình tự giải bài toán theo phương pháp phần tử hữu hạn nói chung:

- ✓ Chia kết cấu ra thành một số hữu hạn các phần tử (thanh, dầm, hai chiều, ba chiều...). Mỗi phần tử liên kết với một số nút nhất định.
- ✓ Đánh số các phần tử và các nút.
- ✓ Xây dựng ma trận độ cứng cho phần tử của kết cấu trong hệ tọa độ địa phương.
- ✓ Xây dựng ma trận độ cứng phần tử của kết cấu trong hệ tọa độ tổng thể (toàn cục).
- ✓ Nối các ma trận độ cứng phần tử trong hệ tọa độ toàn cục để nhận được ma trận độ cứng của cả kết cấu.
- ✓ Giải hệ phương trình cân bằng:

$$[F] = [K].\{d\} \quad (3.10)$$

Trong đó:  $\{d\}$  – Vectơ chuyển vị nút.

$[F]$  – Vectơ tải trọng.

Từ công thức (3.10), ta xác định được vectơ chuyển vị nút như sau:

$$\{d\} = [K]^{-1}.[F] \quad (3.11)$$

▼ Tính ứng suất và các biến dạng nhờ các quan hệ sau:

$$\begin{cases} \{e\} = [B] \cdot \{d\} \\ \{s\} = [D] \{e\} \end{cases} \quad (3.12)$$

Với  $\{e\}$  – Véc tơ biến dạng.

$[B]$  – Ma trận đạo hàm.

$[D]$  – Ma trận đàn hồi.

$\{s\}$  – Véc tơ ứng suất.

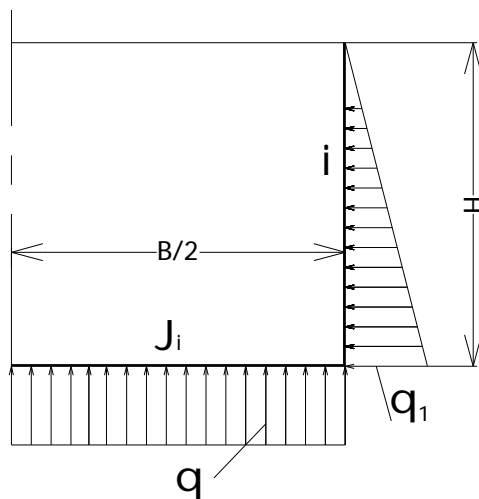
▼ Tính các phản lực gối tựa.

▼ Xác định nội lực theo yêu cầu.

### 3.1.3 Xây dựng điều kiện biên:

Về đường nối, việc mô tả điều kiện biên của kết cấu khung sườn có thể thực hiện thông qua hai hình thức sau:

1. Thay thế các bộ phận kết cấu lân cận của kết cấu đang xét bằng các ứng lực tương đương, dựa trên cơ sở điều kiện cân bằng.
2. Thay thế các bộ phận kết cấu lân cận của kết cấu đang xét bằng các liên kết đàn hồi, dựa trên điều kiện liên tục về chuyển vị.



Hình 3.5

Việc lựa chọn lấy một trong hai hình thức trên, phụ thuộc vào phương pháp tính sử dụng. Thông thường, phương pháp phân tích kết cấu là phương pháp chuyển vị, nên việc mô tả điều kiện biên được thực hiện bằng các liên kết đàn hồi.

Khi mô tả điều kiện biên bằng các liên kết đàn hồi, vấn đề quan trọng là phải xác định được độ cứng của các liên kết đàn hồi thay thế. Về mặt lý thuyết, các liên kết đàn hồi thay thế phải có độ cứng tính toán sao cho khi thay vào mô hình tính, cho chuyển vị bằng chuyển vị của hệ thực. Cụ thể chúng ta sẽ xét trong các ví dụ sau:

a). Hệ số liên kết đàn hồi tại đầu đà ngang đáy (vị trí liên kết đà ngang đáy liên kết với sườn mạn) được tính như sau:

$$c = \frac{1 + \frac{4}{15} \cdot \frac{q_1}{q} \cdot \left(\frac{H}{B}\right)^3 \cdot \frac{J}{i}}{1 + \frac{2}{3} \cdot \frac{B}{H} \cdot \frac{J}{i}} \quad (3.13)$$

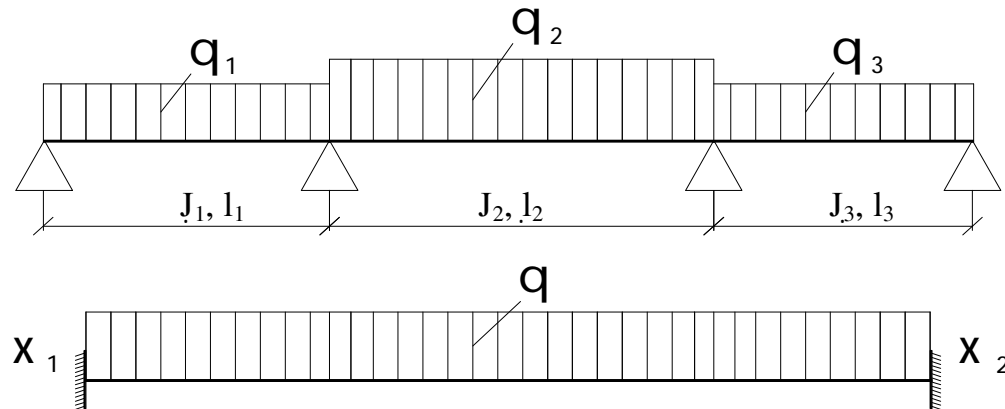
trong đó:  $J, i$  – mômen quán tính tiết diện ngang của đà ngang và sườn mạn.

$q, q_1$  – cường độ tải trọng tính toán đặt trên đà ngang và ở mép dưới sườn mạn (hình 3.5)

b). Hệ số ngàm đàn hồi tại đầu dầm ngang (với trường hợp như trên hình 3.6), được tính như sau:

$$\left. \begin{aligned} c_1 &= 3 \frac{2(a_3 + 1)(1 + a_1 b_1) - (1 + a_3 b_3)}{4(a_1 + 1)(a_3 + 1) - 1} \\ c_2 &= 3 \frac{2(a_3 + 1)(1 + a_3 b_3) - (1 + a_1 b_1)}{4(a_1 + 1)(a_3 + 1) - 1} \end{aligned} \right\} \quad (3.14)$$

$$\text{Với: } \begin{aligned} a_1 &= \frac{J_2 l_1}{J_1 l_2} ; & a_3 &= \frac{J_2 l_3}{J_3 l_2} ; \\ b_1 &= \frac{q_1 l_1^2}{q_2 l_2^2} ; & b_3 &= \frac{q_3 l_3^2}{q_2 l_2^2} ; \end{aligned} \quad (3.15)$$



Hình 3.6

c). Hệ số lún đàn hồi tải đều nút của xà ngang boong được tính như sau:

$$A = \frac{l^3}{12EJ_3} \left( \frac{b_1}{2l} \right)^3 \cdot \frac{3 + 8 \frac{J_3}{J_2} \cdot \frac{B_1}{b_1}}{3 + 2 \frac{J_3}{J_2} \cdot \frac{b_1}{2B_1} + \frac{b_1}{2B_1} \left( 3 + \frac{b_1}{2B_1} \right)} \quad (3.16)$$

trong đó:

$l$  \_ nửa chiều rộng của khung dàn.

$J_2$  \_ mômen quán tính tiết diện ngang tại đầu nút xà ngang boong.

$J_3$  \_ mômen quán tính tiết diện ngang tại đầu nút xà ngang boong, ở vùng lỗ khoét.

d). Hệ số lún đàn hồi tại đầu xà ngang boong cụt (vị trí liên kết với sườn mạn), được tính theo:

$$a = \frac{l_s}{3EJ_s} \quad (3.17)$$

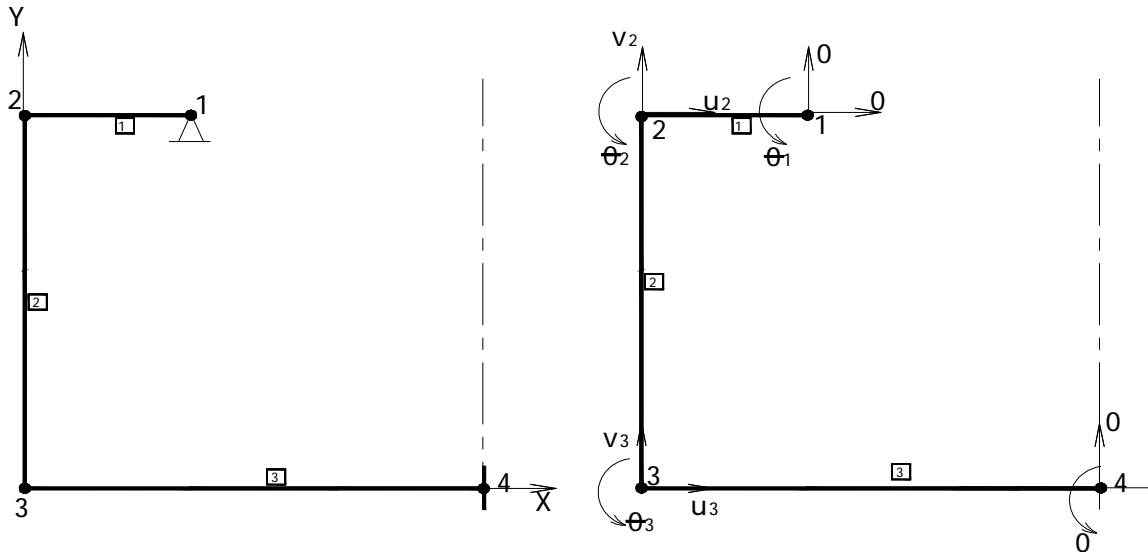
trong đó :  $l_s$  \_ chiều dài sườn mạn tàu;

$J_s$  \_ mômen quán tính tiết diện ngang sườn mạn.

### 3.2 PHÂN TÍCH ĐỘ BỀN CỤC BỘ KẾT CẤU KHUNG SƯỜN TÀU BẰNG PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN.

#### 3.2.1. Mô hình tính khung sườn theo phương pháp phần tử hữu hạn:

- Rời rạc hoá kết cấu: chia kết cấu thành những phần tử nhỏ, đánh số các phần tử và các đầu nút của phần tử.



Hình 3.7 Rời rạc hoá kết cấu.

- Xây dựng ma trận liên hệ của các phần tử.

Bảng 3.1

Phần tử	Điểm đầu			Điểm cuối		
	$u_2$	$v_2$	$\theta_2$	$u_1$	$v_1$	$\theta_1$
1	$u_2$	$v_2$	$\theta_2$	0	0	$\theta_1$
2	$u_3$	$v_3$	$\theta_3$	$u_2$	$v_2$	$\theta_2$
3	$u_4$	$v_4$	$\theta_4$	0	0	0

#### 3.2.2. Tính ma trận độ cứng [K].

- Xây dựng ma trận độ cứng của các phần tử  $[K_e]$

§ Ma trận độ cứng phần tử 1:  $\cos\alpha = 1$  ;  $\sin\alpha = 0$



$$[K_1] = \begin{bmatrix} A_1 & 0 & 0 & -A_1 & 0 & 0 \\ & B_1 & C_1 & 0 & B_1 & C_1 \\ & & 4D_1 & 0 & -C_1 & 2D_1 \\ & & & A_1 & 0 & 0 \\ & & & & B_1 & C_1 \\ Dx & & & & & 4D_1 \end{bmatrix} \tag{3.18}$$

§ Ma trận độ cứng của phần tử 2:  $\cos\alpha = 0$  ;  $\sin\alpha = 1$

$$[K_2] = \begin{bmatrix} B_2 & 0 & -C_2 & -B_2 & 0 & -C_2 \\ & A_2 & 0 & 0 & A_2 & 0 \\ & & 4D_2 & C_2 & 0 & 2D_2 \\ & & & B_2 & 0 & C_2 \\ & & & & A_2 & 0 \\ Dx & & & & & 4D_2 \end{bmatrix} \tag{3.19}$$

§ Ma trận độ cứng của phần tử 3:  $\cos\alpha = 1$  ;  $\sin\alpha = 0$

$$[K_3] = \begin{bmatrix} A_3 & 0 & 0 & -A_3 & 0 & 0 \\ & B_3 & C_3 & 0 & B_3 & C_3 \\ & & 4D_3 & 0 & -C_3 & 2D_3 \\ & & & A_3 & 0 & 0 \\ & & & & B_3 & C_3 \\ Dx & & & & & 4D_3 \end{bmatrix} \tag{3.20}$$

Từ các ma trận của các phần tử ta suy ra ma trận của kết cấu:  $[K] = \Sigma[K_e]$

- Xây dựng véctơ chuyển vị nút của các phần tử trong toạ độ tổng thể:

$$\{d_e\} = \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ q_i \\ u_{ij} \\ v_j \\ q_j \end{Bmatrix} \tag{3.21}$$

Từ véctơ chuyển vị nút của các phần tử trong toạ độ tổng thể ta suy ra được véctơ chuyển vị nút của kết cấu trong hệ toạ độ tổng thể.  $\{d\} = \Sigma\{d_e\}$

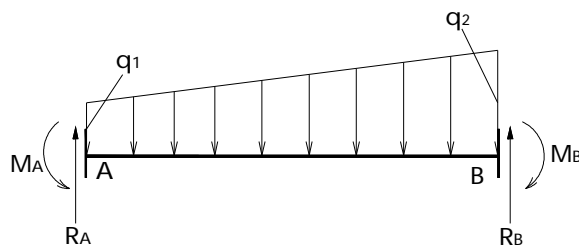
- Xác định vectơ lực nút của phần tử (vectơ tải phần tử) trong hệ tọa độ tổng thể. Đối với trường hợp vectơ tải phần tử chịu lực phân bố đều vuông góc với phần tử được xác định dựa trên giả thiết tương đương về công (cân bằng về lực và mômen) có dạng như sau:

$$[F_e] = \begin{Bmatrix} f_{xi} - qls/2 \\ f_{yi} + qlc/2 \\ m_i + ql^2/12 \\ f_{xj} - qls/2 \\ f_{yj} + qlc/2 \\ m_j - ql^2/12 \end{Bmatrix} \quad (3.22)$$

Với trường hợp vectơ tải phần tử chịu lực phân bố đều theo hình thang (như ta gặp trong bài toán trong khung sườn tàu khi chiều cao sóng lớn hơn chiều cao mạn khô tàu), thì vectơ tải phần tử có dạng sau:

$$[F_e] = \begin{Bmatrix} f_{xi} - R_A s \\ f_{yi} + R_A c \\ m_i + M_A \\ f_{xj} - R_B s \\ f_{yj} + R_B c \\ m_j - M_A \end{Bmatrix} \quad (3.23)$$

Trong đó :  $M_A, M_B, R_A, R_B$  – Là mômen và phản lực qui về hai đầu phần tử.



Hình 3.8

$$R_A = \frac{L}{6} (2q_1 + q_2)$$

$$R_B = \frac{L}{6} (q_1 + 2q_2)$$

$$M_A = \frac{L^2}{60} (3q_1 + 2q_2)$$

$$M_B = -\frac{L^2}{60} (2q_1 + 3q_2)$$

**3.2.3. Giải hệ phương trình kết cấu :**

$$[F] = [K].\{d\} \quad (3.24)$$

Giải hệ phương trình trên để được các giá trị của vectơ chuyển vị.

**3.2.4. Các thành phần nội lực của phần tử được tính như sau:**

- Mômen uốn trong phần tử được xác định theo công thức:

$$M_{zi} = EI_i \frac{d^2v}{dx^2} = \frac{EI_i}{L^3} [(-6L_i + 12x)v_i + (-4L^2 + 6Lx)q_i + (6L_i - 12x)v_j + (-2L_i^2 + 6L_i x)q_j] \quad (3.25)$$

- Lực cắt trong phần tử:

$$Q_{yi} = \frac{dM_{zi}}{dx} = \frac{EI_i}{L^3} [12v_i + 6L_i q_i - 12v_j + 6L_i q_j] \quad (3.26)$$

- Lực cắt và mômen ở hai đầu của phần tử:

$$\{S_e\} = \begin{Bmatrix} Q_{yi} \\ M_{zi} \\ Q_{yj} \\ M_{zj} \end{Bmatrix} = \frac{EI}{L^3} \begin{bmatrix} 12 & 6L & -12 & 6L \\ -6L & -4L^2 & 6L & -2L^2 \\ 12 & 6L & -12 & 6L \\ 6L & 2L^2 & -6L & 4L^2 \end{bmatrix} * \begin{Bmatrix} v_i \\ q_i \\ v_j \\ q_j \end{Bmatrix} \quad (3.27)$$

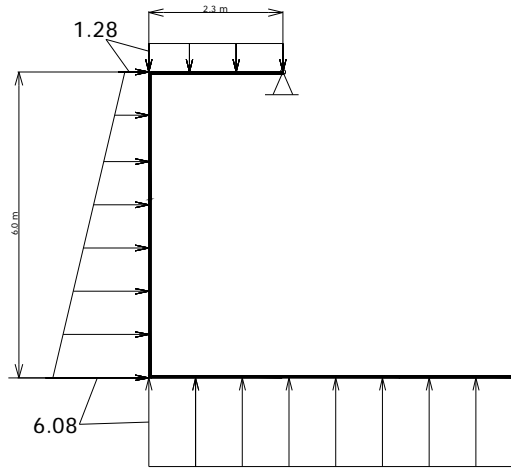
- Lực dọc trên phần tử:

$$N_e = \frac{EA}{L} [-C \quad -S \quad C \quad S] * \begin{Bmatrix} u_i \\ v_i \\ u_j \\ v_j \end{Bmatrix} \quad (3.28)$$

**3.3 ỨNG DỤNG TÍNH CHO KHUNG SƯỜN TÀU LỰA CHỌN :**

Mô hình tính khung sườn tàu:

Vì khung sườn tàu có tính chất đối xứng qua mặt cắt giữa tàu nên khi tính toán ta chỉ cần tính trên ½ khung sườn tàu, phần còn lại ta lấy đối xứng qua. Vì vậy ta có mô hình tính được đơn giản như sau:



Bảng 3.2

Phần tử	L (m)	I x 10 <sup>-4</sup> (m <sup>4</sup> )	A x 10 <sup>-3</sup> (m <sup>2</sup> )
1	2.3	1.34	7.7
2	6.0	1.89	7.0
3	6.3	7.5	10.0

Hình 3.9 Mô hình tính trên ½ khung

- Rời rạc hoá kết cấu: ta chia kết cấu ra thành 3 phần tử và các đầu nút được đánh số thứ tự như trong hình (3.7a)

Chọn hệ toạ độ tổng thể như hình (3.7a). Các vectơ chuyển vị nút thể hiện trên hình (3.7b).

- Tính ma trận độ cứng của kết cấu:  $[K] = \Sigma[K_e]$

$$[K] = \begin{bmatrix} A_1 & 0 & 0 & -A_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ B_1 & -C_1 & 0 & B_1 & -C_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & 4D_1 & 0 & C_1 & 2D_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & (A_1+B_2) & 0 & C_2 & -B_2 & 0 & C_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & (B_1+A_2) & C_1 & 0 & A_2 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & 4(D_1+D_2) & -C_2 & 0 & 2D_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & (B_2+A_3) & 0 & -C_2 & -A_3 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & (A_2+B_3) & C_3 & 0 & B_3 & C_3 & 0 \\ & & & & & & & 4(D_2+D_3) & 0 & -C_3 & 2D_3 & 0 \\ & & & & & & & & A_3 & 0 & 0 & 0 \\ & & & & & & & & & B_3 & -C_3 & 0 \\ D_x & & & & & & & & & & & 4D_3 \end{bmatrix}$$

Áp điều kiện biên  $u_1 = v_1 = u_4 = v_4 = \theta_4 = 0$  ; ta có ma trận độ cứng của kết cấu viết lại như sau:

$$[K] = \begin{bmatrix} 4D_1 & 0 & C_1 & 2D_1 & 0 & 0 & 0 \\ (A_1 + B_2) & 0 & C_2 & -B_2 & 0 & 0 & C_2 \\ & (B_1 + A_2) & C_1 & 0 & A_2 & 0 & 0 \\ & & 4(D_1 + D_2) & -C_2 & 0 & 0 & 2D_2 \\ & & & (B_2 + A_3) & 0 & 0 & -C_2 \\ & & & & (A_2 + B_3) & 0 & C_3 \\ Dx & & & & & & 4(D_2 + D_3) \end{bmatrix}$$

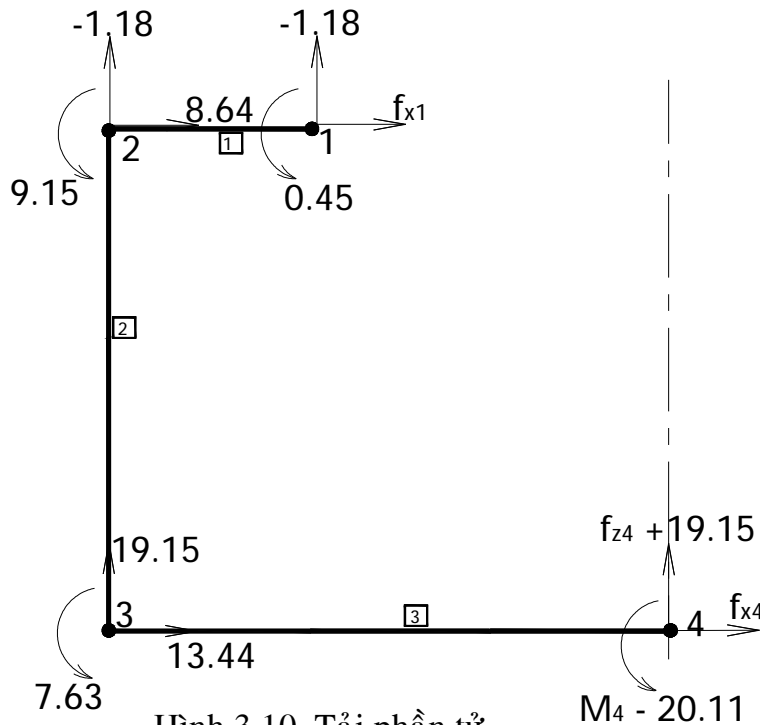
Ta có tải phần tử quy về các đầu nút của phần tử như hình 3.10:

- Véc tơ tải kết cấu áp luôn điều kiện biên:  $\{F_c\}$

$$\{F\} = [0.45 \quad 8.64 \quad -1.18 \quad 9.15 \quad 13.44 \quad 19.15 \quad 7.63]^T$$

- Véc tơ chuyển vị nút của kết cấu:

$$\{d\} = [q_1 \quad u_2 \quad v_2 \quad q_2 \quad u_3 \quad v_3 \quad q_3]^T$$



Hình 3.10. Tải phần tử.

Đ Ta có phương trình cân bằng của cả kết cấu là:  $[F] = [K].\{d\}$



+ Phần tử 1: Mômen uốn trong phần tử :

$$M_{z1} = \frac{EI_1}{L_1^3} [(-6L_1 + 12x)v_2 + (-4L_1^2 + 6L_1x)q_2 + (-2L_1^2 + 6L_1x)q_1] = 8.56 - 0.79x$$

Lực dọc trên phần tử:

$$N_1 = 80683 * [-1 \ 0 \ 1 \ 0] * \begin{bmatrix} 0.0013 \\ -0.0047 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = -16.5 \quad (Tan)$$

+ Phần tử 2: Mômen uốn trong phần tử :

$$M_{z2} = \frac{EI_2}{L_2^3} [(-6L_2 + 12x)v_3 + (-4L_2^2 + 6L_2x)q_3 + (6L_2 - 12x)v_2 + (-2L_2^2 + 6L_2x)q_2] = -20.98 + 2.07x$$

Lực dọc trên phần tử:

$$N_2 = 28116.67 * [0 \ -1 \ 0 \ 1] * \begin{bmatrix} 0.003 \\ 0.0042 \\ 0.0013 \\ -0.0047 \end{bmatrix} = -18.2 \quad (Tan)$$

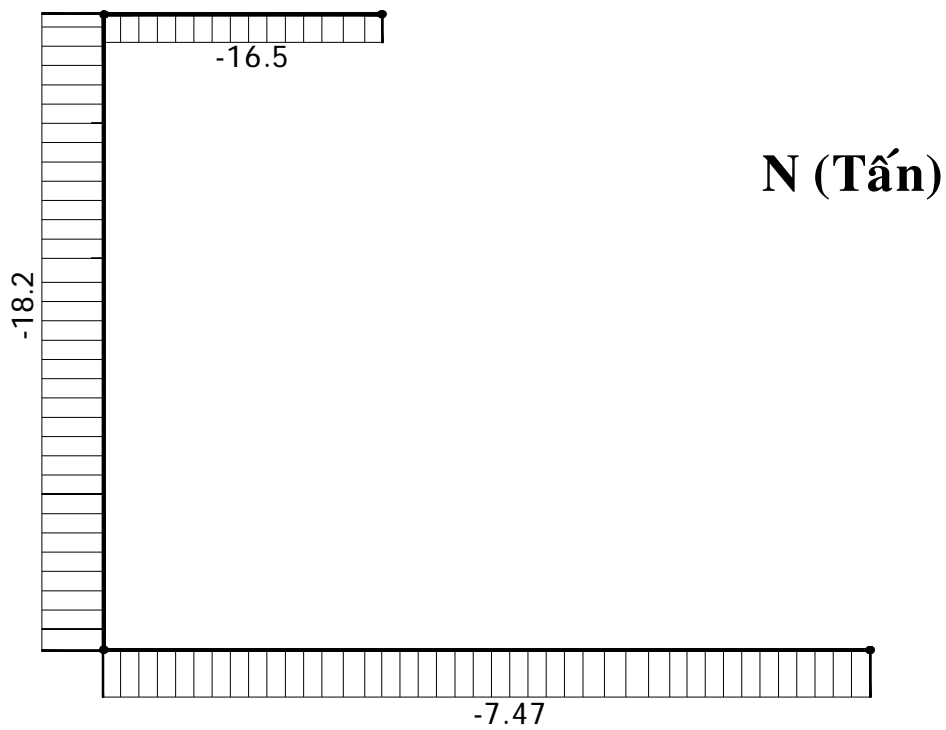
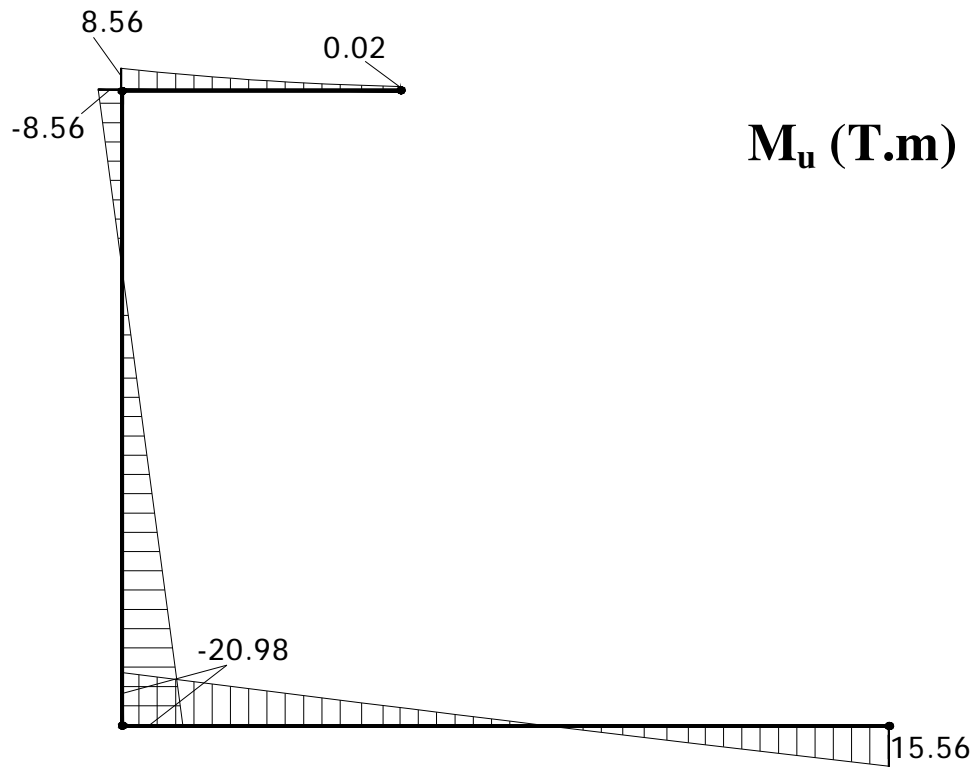
+ Phần tử 3: Mômen uốn trong phần tử :

$$M_{z3} = \frac{EI_3}{L_3^3} [(-6L_3 + 12x)v_3 + (-4L_3^2 + 6L_3x)q_3] = -20.98 + 5.8x$$

Lực dọc trên phần tử:

$$N_3 = 38253.96 * [-1 \ 0 \ 1 \ 0] * \begin{bmatrix} 0.0003 \\ 0.0042 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} = -7.47 \quad (Tan)$$

Từ số liệu được tính toán trên ta có biểu đồ của các thành phần nội lực trên kết cấu trên hình 3.9:



Hình 3.9. Biểu đồ mômen uốn và lực dọc.



Dưới tác dụng của tải trọng, khung sườn chủ yếu bị uốn và nén.

- Ứng suất uốn:

$$s_u = \frac{M_u}{W_u} = \frac{20.98}{2.5 * 10^{-3}} = 8392 \quad (T.m^2) \quad (= 83.92 MPa)$$

- Ứng suất nén:

$$s_n = \frac{N}{A} = \frac{18.2}{7.0 * 10^{-3}} = 2600 \quad (T.m^2) \quad (= 26.00 MPa)$$

? Kiểm tra bền:

Kiểm tra bền cục bộ khung sườn tàu theo tiêu chuẩn ứng suất cục bộ cho phép:

$$\sigma_{cb} \leq [\sigma] = K_{cb} * \sigma_{ch}$$

Trong đó:  $K_{cb}$  – Hệ số dự trữ bền cục bộ, lấy bằng 0.8

$\sigma_{ch}$  – Ứng suất chảy của vật liệu.  $\sigma_{ch} = 240$  (MPa)

- Ứng suất uốn cho phép:

$$[\sigma_u] = 0.8 * 240 = 192 \quad (MPa)$$

- Ứng suất nén cho phép:

$$[s_n] = 0.8 * \frac{240}{1.5} = 128 \quad (MPa)$$

Từ kết quả trên ta thấy:  $\sigma_u < [\sigma_u]$

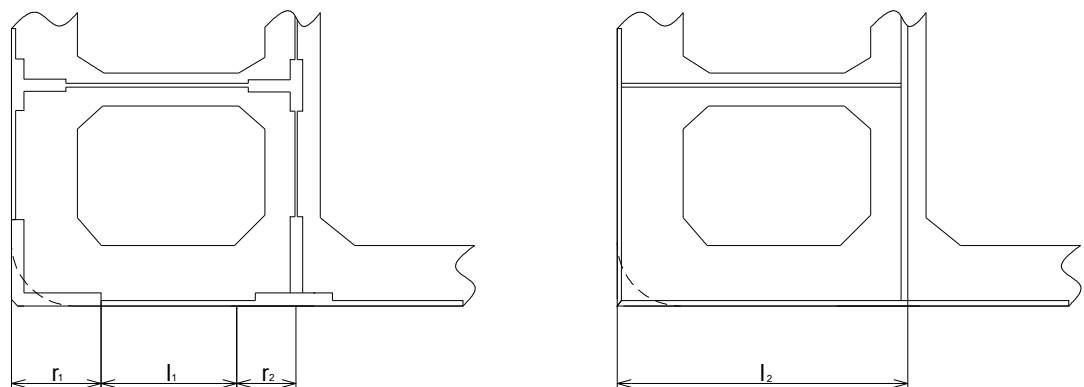
$$\sigma_n < [s_n]$$

Đ Kết luận: theo phương pháp tính phần tử hữu hạn, khung sườn tàu đang xét đảm bảo độ bền cục bộ.

### **3.4 PHÂN TÍCH ĐỘ BỀN CỤC BỘ KẾT CẤU KHUNG SƯỜN TÀU THEO PHƯƠNG PHÁP PHẦN TỬ HỮU HẠN CÓ XÉT ĐẾN ẢNH HƯỞNG CỦA MÃ NỐI LIÊN KẾT.**

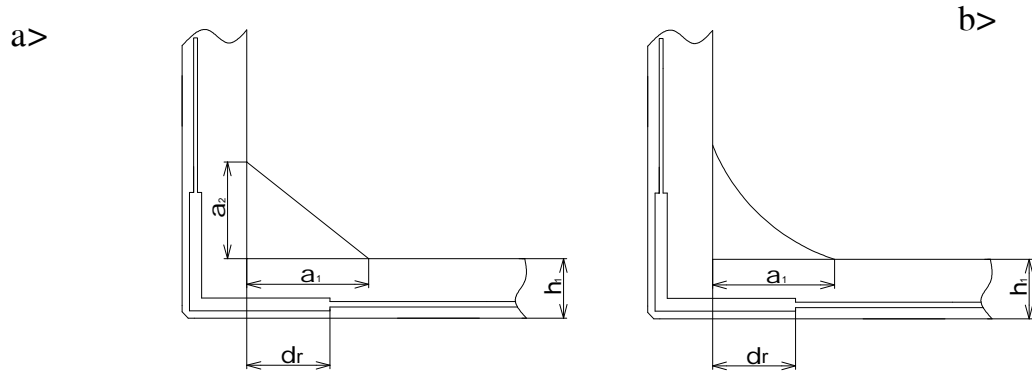
#### **3.4.1. Đặc điểm liên kết tại đầu dầm:**

Khi xét sự làm việc đồng thời của kết cấu dầm gắn với tôn vỏ, ta thấy rằng các trục trung hoà thường nằm tương đối gần phần tôn vỏ. Điều này dẫn đến chiều dài của các dầm luôn bao gồm một phần ở đầu có độ lớn gần bằng chiều cao của dầm trục giao liên kết với nó (Hình 3.10). Khi xét đến uốn của dầm, các phần đầu này có thể được coi như hoàn toàn cứng, tức là chúng luôn thẳng và đơn giản chỉ quay như một vật rắn tuyệt đối quanh điểm liên kết. Nếu dầm là mảnh, tức là chiều dài phần cứng này ngắn so với tổng chiều dài (thường là ít hơn 10%). Độ cứng bổ sung có thể được bỏ qua và các phần đầu này có thể được coi là một phần bình thường của dầm. Nếu dầm là ngắn và “sâu “ như trường hợp khung ngang tàu dầu như trên hình 3.10 thì ảnh hưởng của các đầu cứng là đáng kể và phải được tính đến. Với các phần đầu này phải được tính đến như một phần của dầm hoặc như là một chiều dài cứng tách biệt – vì các điểm liên kết này là không thay đổi, chiều dài của các dầm luôn là chiều dài đầy đủ giữa các nút.



Hình 3.10

Sự xuất hiện của mã liên kết sẽ làm cho chiều dài phần cứng này tăng lên. Chiều dài phần cứng bổ sung này ( $d_r$ ) thường là phụ thuộc vào hình dạng mã liên kết.



Hình 3.11

Ví dụ khi mã có hình tam giác (Hình 3.11a):

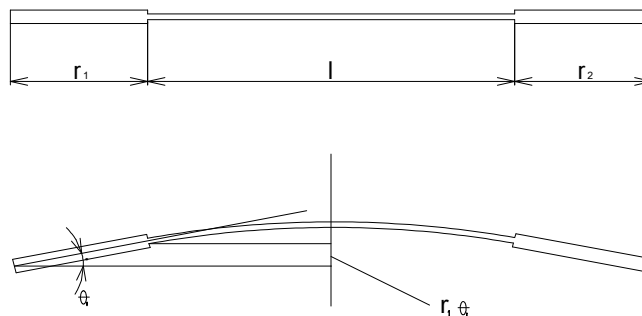
$$d_r = a_1 \cdot \left( 1 - \frac{h_1}{h_1 + a_2} \right) \quad (3.26)$$

Trường hợp mã nối hình lượn (Hình 3.11b)

$$d_r = a_1 \cdot \left[ 1 - \frac{h_1}{a_1} \ln \left( 1 + \frac{a_1}{h_1} \right) \right] \quad (3.27)$$

Việc đưa vào đầu cứng ở đầu dầm dẫn đến sự thay đổi trong mô hình phần tử hữu hạn.

Ta xét phần tử chịu uốn. Giả thiết phần tử gồm hai đầu cứng với chiều dài là  $r_1$  và  $r_2$  (hình 3.12). Phần tử có 4 nút bao gồm hai nút bên ngoài và hai nút bên trong.



Hình 3.12

Do các đầu cứng vẫn thẳng một cách lý tưởng nên độ võng và góc xoay tại các nút trong và các nút ngoài có mối quan hệ sau:

$$\begin{aligned} \bar{v}_1 &= v_1 + r_1 q_1 \\ \bar{v}_2 &= v_2 - r_2 q_2 \end{aligned} \quad (3.28)$$

Biểu diễn dưới dạng ma trận biến đổi từ chuyển vị nút ngoài sang nút trong như sau:

$$\begin{Bmatrix} \bar{v}_1 \\ q_1 \\ \bar{v}_2 \\ q_2 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & r_1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & -r_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} v_1 \\ q_1 \\ v_2 \\ q_2 \end{Bmatrix} \quad (3.29)$$

hay

$$\{\bar{d}\} = [T]\{d\} \quad (3.30)$$

Vì chuyển vị bên trong có thể được biểu diễn toàn bộ các chuyển vị bên ngoài nên đáp ứng của toàn bộ dầm được đặc trưng bởi các giá trị góc xoay và độ võng tại các nút bên ngoài và do đó không thêm bất cứ bậc tự do nào. Phần tử dầm tương ứng với các nút nên bên trong có chiều dài được cho bởi :

$$l = L - (r_1 + r_2) \quad (3.31)$$

với phần tử này là phần tử dầm chịu uốn thông thường và có ma trận độ cứng  $[K']$  như đã nêu ở phần trên.

Vì thế ma trận độ cứng của phần tử dầm có đầu cứng sẽ là tổng các số hạng của hai ma trận:

$$[K_e] = [K'] + [K_r]$$

Với ma trận do chiều dài cứng bổ sung là:

$$[K_r] = \frac{12EI}{l^3} \begin{bmatrix} 0 & r_1 & 0 & r_2 \\ r_1(l+r_1) & -r_1 & r.l & \\ 0 & 0 & -r_2 & \\ Dx & & r_2(l+r_2) & \end{bmatrix} \quad (3.32)$$

trong đó:  $r = \frac{r_1 r_2}{l} + \frac{r_1 + r_2}{2}$

### 3.4.2. Ứng dụng tính đối với khung sườn tàu lựa chọn:

Ta nhận thấy, đối với khung sườn tàu lựa chọn thì tại các đầu nút liên kết giữa xà ngang boong và sườn mạn cũng như liên kết giữa đà ngang đáy và sườn mạn đều có mã liên kết. Vì thế ta khi mô hình hoá khung sườn ta không thể bỏ qua ảnh hưởng của các mã nối cứng này được.

Theo lập luận như trên, ta tính ma trận độ cứng bổ sung và cộng thêm vào ma trận của phần tử khi chịu uốn và nén.

- Phần tử 1 :

$$[K_1^r] = \frac{12EI_1}{l_1^3} \begin{bmatrix} 0 & 0.23 & 0 & 0 \\ & 0.53 & -0.23 & 0.25 \\ & & 0 & 0 \\ Dx & & & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1004.87 & 0 & 0 \\ & 2315.57 & -1004.87 & -1092.25 \\ & & 0 & 0 \\ Dx & & & 0 \end{bmatrix}$$

⇒ Ma trận độ cứng của phần tử 1 có kể đến đầu cứng là:

$$[\bar{K}_1] = [K_1^c] + [K_1^r] = \begin{bmatrix} A_1 & 0 & 0 & -A_1 & 0 & 0 \\ & B_1 & (C_1 + 1004.87) & 0 & B_1 & C_1 \\ & & (4D_1 + 2315.57) & 0 & (-C_1 + 1004.87) & (2D_1 + 1092.25) \\ & & & A_1 & 0 & 0 \\ & & & & B_1 & -C_1 \\ Dx & & & & & 4D_1 \end{bmatrix}$$

- Phần tử 2 :

$$[K_2^r] = \frac{12EI_2}{l_2^3} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0.2 & 0 & 0.2 \\ & 1.16 & -0.2 & 1.51 \\ & & 0 & -0.2 \\ Dx & & & 1.16 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 62.2 & 0 & 62.2 \\ & 360.76 & -62.2 & 470.23 \\ & & 0 & -62.2 \\ Dx & & & 360.76 \end{bmatrix}$$

⇒ Ma trận độ cứng của phần tử 2 có kể đến đầu cứng là:

$$[K_2] = [K_2'] + [K_2^r] = \begin{bmatrix} B_2 & 0 & -C_2 & -B_2 & 0 & -C_2 \\ & A_2 & (0+62.2) & 0 & A_2 & (0+62.2) \\ & & (4D_2+360.76) & C_2 & (0-62.2) & (2D_2+470.23) \\ & & & B_2 & 0 & C_2 \\ & & & & A_2 & (0-62.2) \\ Dx & & & & & (4D_2+360.76) \end{bmatrix}$$

- Phần tử 3 :

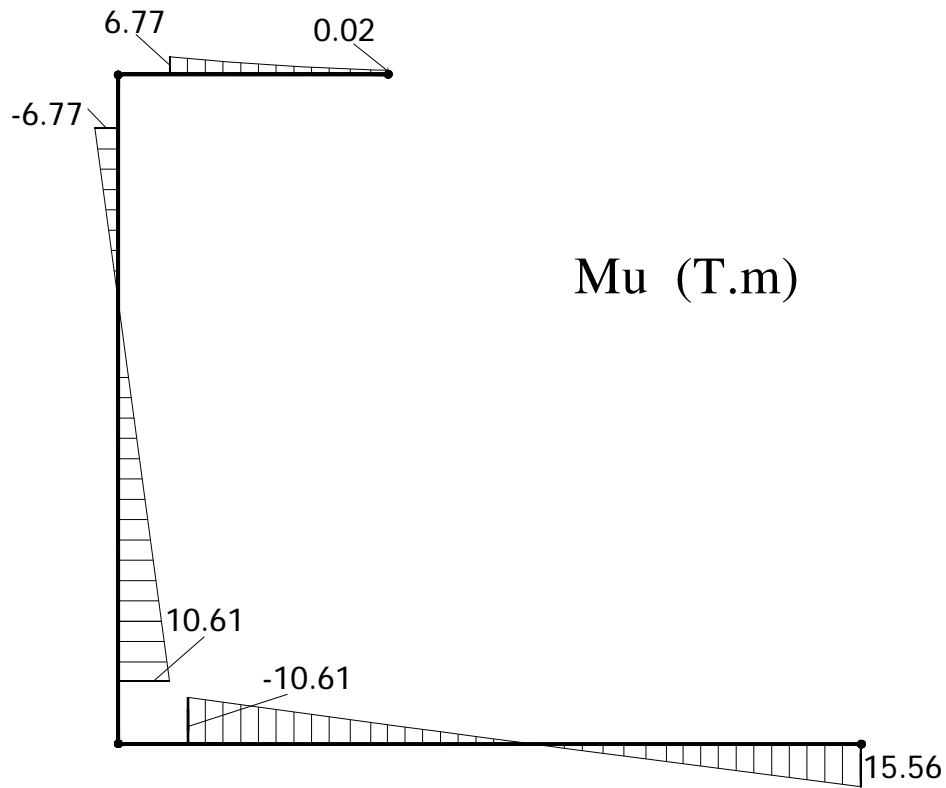
$$[K_3^r] = \frac{12EI_3}{l_3^3} \cdot \begin{bmatrix} 0 & 0.11 & 0 & 0 \\ & 0.63 & -0.11 & 0.31 \\ & & 0 & 0 \\ Dx & & & 0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 100.1 & 0 & 0 \\ & 573.3 & -100.1 & 282.1 \\ & & 0 & 0 \\ Dx & & & 0 \end{bmatrix}$$

⇒ Ma trận độ cứng của phần tử 3 có kể đến đầu cứng là:

$$[K_3] = [K_3'] + [K_3^r] = \begin{bmatrix} A_3 & 0 & 0 & -A_3 & 0 & 0 \\ & B_3 & (C_3+100.1) & 0 & B_3 & C_3 \\ & & (4D_3+573.3) & (0-100.1) & -C_3 & (2D_3+282.1) \\ & & & A_3 & 0 & 0 \\ & & & & B_3 & -C_3 \\ Dx & & & & & 4D_3 \end{bmatrix}$$

Ta có ma trận độ cứng của toàn kết cấu khi có đầu cứng (áp luôn điều kiện biên):





Hình 3.13

Ta nhận thấy khi sử dụng mô hình khung có đầu cứng, ta sẽ có biểu đồ mômen uốn như trên hình 3.13. Ta thấy rằng mômen uốn có giá trị lớn nhất tại ngàm với giá trị 15.56 (T.m) tương ứng với ứng suất uốn lớn nhất là 62.00 (MPa). Giá trị ứng suất này chỉ bằng 74% giá trị ứng suất tính theo mô hình không có đầu cứng. Và vị trí xuất hiện ứng suất lớn nhất cũng khác nhau, điều này cho ta thấy mô hình khung phẳng có đầu cứng cho vị trí ứng suất chính xác hơn và do đó phản ánh thật hơn trạng thái chịu lực của kết cấu.

### 3.5 KẾT QUẢ PHÂN TÍCH BẰNG PHẦN MỀM :

Thực tế nhận thấy, kết quả tính theo phương pháp phần tử hữu hạn và phương pháp truyền thống có độ sai lệch nhau. Để có thể đánh giá được kết quả tính, trong phần này tôi sử dụng phần mềm đã có sẵn để tính. Hiện



nay có rất nhiều phần mềm được bán trên thị trường như : Sap, Staad.pro, RDM,..v.v... Tuy nhiên, tôi chọn phần mềm Sap để tính vì phần mềm này khá phổ biến trong tính toán kết cấu và dễ sử dụng.

Kết quả phân tích bằng phần mềm Sap200:

SAP2000 v7.40 File: ADD Ton-m Units PAGE 1  
11/28/05 16:02:34

LOAD COMBINATION MULTIPLIERS

COMBO	TYPE	CASE	FACTOR	TYPE	TITLE
COMB3	ADD				TT-HQ
	PHANBO	1.0000		STATIC(DEAD)	
	THANG	1.0000		STATIC(DEAD)	
	COMB1	1.0000		COMBO	

SAP2000 v7.40 File: ADD Ton-m Units PAGE 2  
11/28/05 16:02:34

JOINT DISPLACEMENTS

JOINT	LOAD	U1	U2	U3	R1	R2	R3
1	COMB3	1.775E-04	0.0000	0.0456	0.0000	6.657E-03	0.0000
2	COMB3	1.937E-04	0.0000	0.0450	0.0000	8.960E-03	0.0000
4	COMB3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0241	0.0000
7	COMB3	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

SAP2000 v7.40 File: ADD Ton-m Units PAGE 3  
11/28/05 16:02:34

JOINT REACTIONS

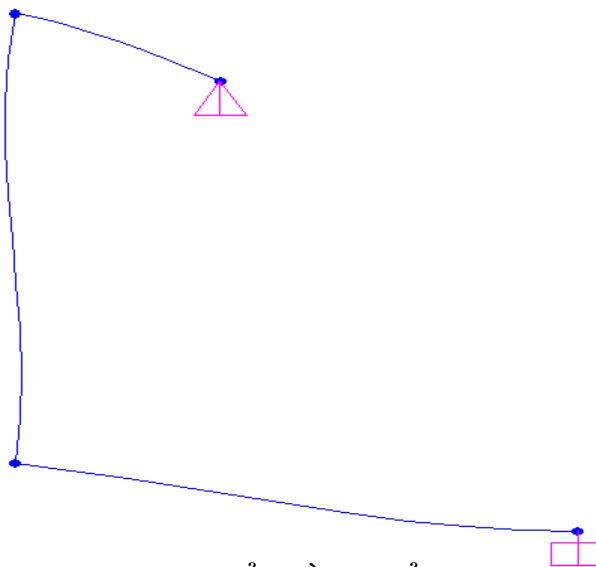
JOINT	LOAD	F1	F2	F3	M1	M2	M3
4	COMB3	-15.2906	0.0000	-11.5739	0.0000	0.0000	0.0000

7 COMB3 -6.7894 0.0000 -60.2961 0.0000 -13.72 0.0000  
SAP2000 v7.40 File: ADD Ton-m Units PAGE 4  
11/28/05 16:02:34

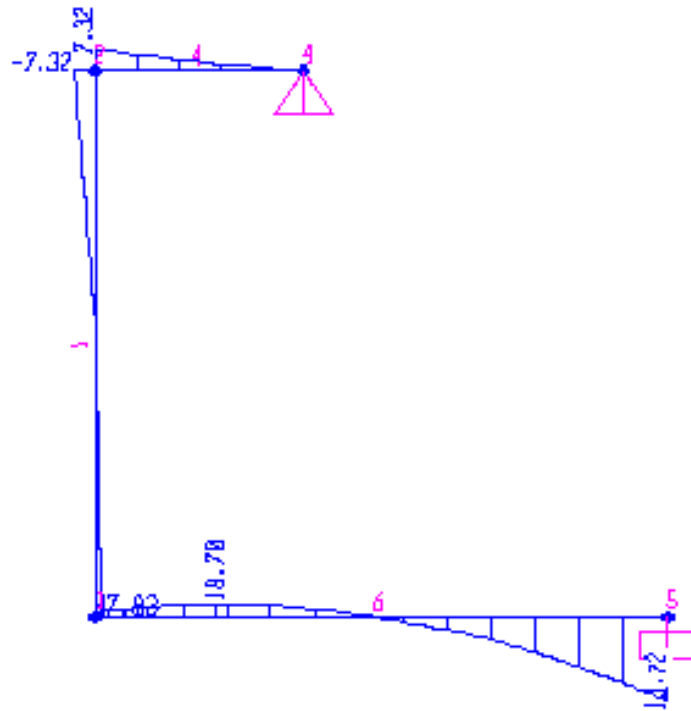
FRAME ELEMENT FORCES

FRAME	LOAD	LOC	P	V2	V3	T	M2	M3
1 COMB3								
	0.00	-6.79	16.31	0.00	0.00	0.00	-17.83	
	1.58	-6.79	-2.84	0.00	0.00	0.00	-18.44	
	3.15	-6.79	-21.99	0.00	0.00	0.00	1.11	
	4.73	-6.79	-41.14	0.00	0.00	0.00	5.83	
	6.30	-6.79	-60.30	0.00	0.00	0.00	13.72	
2 COMB3								
	0.00	-16.31	6.79	0.00	0.00	0.00	17.83	
	3.00	-16.31	-7.85	0.00	0.00	0.00	-4.44	
	6.00	-16.31	-15.29	0.00	0.00	0.00	-7.32	
3 COMB3								
	0.00	-15.29	-16.31	0.00	0.00	0.00	7.32	
	5.8E-01	-15.29	-15.13	0.00	0.00	0.00	3.03	
	1.15	-15.29	-13.94	0.00	0.00	0.00	1.67	
	1.73	-15.29	-12.76	0.00	0.00	0.00	1.00	
	2.30	-15.29	-11.57	0.00	0.00	0.00	0.00	

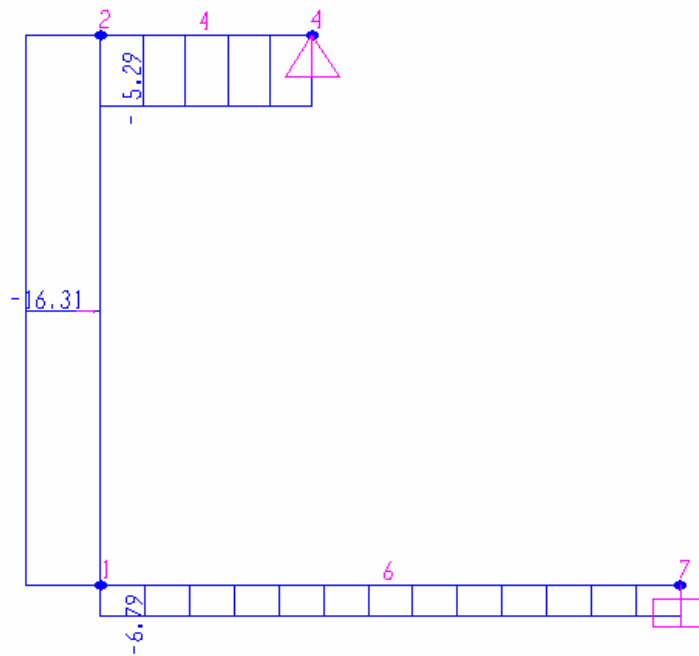
Từ kết quả tính trên ta có biểu đồ mômen của khung sườn như sau:



Hình 3.14 Biểu đồ chuyển vị.



Hình 3.15 Biểu đồ mômen uốn  $M_u$  (T.m)



Hình 3.16 Biểu lực dọc N (Tấn).



**CHƯƠNG 4**

## SO SÁNH KẾT QUẢ TÍNH – NHẬN XÉT.

### 4.1 SO SÁNH KẾT QUẢ TÍNH :

Từ kết quả tính của hai phương pháp phần tử hữu hạn và phương pháp truyền thống, có thể nhận thấy rằng khung sườn đảm bảo độ bền cục bộ. Tuy nhiên kết quả tính của hai phương pháp có sự chênh lệch (được ghi trong bảng 4.1) mặc dù trong cả hai phương pháp ta đều sử dụng một khung sườn để tính và các thông số của khung sườn đã cho là như nhau.

Bảng 4.1 So sánh kết quả tính.

Kết cấu	Phương pháp ma trận ( $M_{umax}$ ) (T.m)	Phương pháp PTHH ( $M_{umax}$ ) (T.m)	Phương pháp PTHH tính đến ảnh hưởng của mã nối ( $M_{umax}$ ) (T.m)	Sap2000 (T.m)
Boong	9.51	8.56	6.77	7.32
Sườn mạn	33.64	20.98	10.61	17.32
Đà ngang	23.49	20.98	15.56	17.32

Qua cách giải hai phương pháp đã trình bày trên ta nhận thấy điểm khác nhau dẫn đến kết quả tính khác nhau như sau:

- Giống nhau: cả hai phương pháp giải đều dùng ngôn ngữ ma trận để biểu diễn dạng toán học, vì thế trong cách trình bày và tính toán trở nên đơn giản hơn, dễ hiểu và ngắn gọn.
- Khác nhau: Chúng ta có thể hiểu rằng, trong phương pháp truyền thống, mô hình khung sườn tàu tính toán được đưa về dạng khung phẳng với các giả thuyết là các đầu nút và ngàm là nút cứng và ngàm cứng. Do đó mômen sinh ra do tải trọng cục bộ tác dụng lên khung sườn là lớn hơn

phương pháp số và đạt giá trị lớn nhất tại ngàm và nút cứng.

Trong phương pháp phần tử hữu hạn, các gối đỡ và ngàm là các gối đàn hồi và ngàm đàn hồi, nên mô tả chính xác hơn tình trạng hoạt động của khung sườn tàu, vì thế cho kết quả chính xác hơn. Mặt khác, phương pháp phần tử hữu hạn còn cho phép tính đến ảnh hưởng của mã liên kết tham gia mà trong phương pháp truyền thống không tính đến. Vì thế phương pháp phần tử cho kết quả chính xác hơn và mô tả đúng tình trạng chịu lực của khung sườn tàu. Và ngày nay với sự phát triển của tin học ứng dụng trong tính toán thiết kế, phương pháp phần tử hữu hạn còn được viết thành các phần mềm tính toán thiết kế tự động và do đó khả năng tự động hoá cao, giảm được thời gian tính toán và cho kết quả chính xác hơn do tránh được những sai số trong khi giải bằng tay.

#### **4.2 NHẬN XÉT VÀ ĐỀ XUẤT Ý KIẾN :**

Với kết quả được ghi trong bảng 4.1 trong quá trình tính toán tôi có một số nhận xét về kết quả như sau:

+ *Thứ nhất:* chúng ta đều nhận thấy rằng kết quả tính theo phương pháp truyền thống lớn hơn kết quả tính theo phương pháp phần tử hữu hạn. Nguyên nhân là vì mô hình tính theo phương pháp truyền thống thường được xây dựng trên cơ sở một số giả thiết để đơn giản hoá mô hình tính. Để đảm bảo kết quả kiểm tra độ bền, mô hình tính này có xu hướng tăng bền, nghĩa là giá trị ứng suất xuất hiện khi tính theo mô hình tính thường phải lớn hơn giá trị ứng suất xuất hiện trong kết cấu thực tế để nếu tính theo mô hình tính xây dựng đảm bảo đủ bền thì chắc chắn kết cấu thực tế đủ bền với hệ số bền tính được là  $K_{u-TR} = 0.92$  trong khi đó hệ số bền tính

theo phương pháp phần tử hữu hạn nhỏ hơn và bằng  $K_{u-PTHH} = 0.44$ , như vậy phương pháp truyền thống đã tăng hệ số bền lên gấp hai lần so với phương pháp phần tử hữu hạn. Vì mô hình tính theo phương pháp phần tử hữu hạn phản ánh gần với kết cấu thực hơn nên cho kết quả nhỏ hơn khi tính theo phương pháp truyền thống.

Mặt khác, phương pháp phần tử hữu hạn còn cho phép tính đến ảnh hưởng của mã nối vì phương pháp phần tử hữu hạn tách kết cấu thực thành các phần tử riêng biệt để tính. Mã nối là một kết cấu tham gia đảm bảo độ bền trong khung sườn, khi tách các phần tử, mã nối là một phần tử tấm chịu uốn hoặc ta có thể coi mã nối là một phần làm tăng độ cứng của đầu dầm như đã trình bày mục 3.4 chương IV. Điều này trong phương pháp truyền thống không thể xét đến.

+ *Thứ hai:* kết quả tính theo phương pháp phần tử hữu hạn và kết quả tính theo phần mềm Sap là khác nhau mặc dù phần mềm Sap là được viết dựa theo cách tính của phương pháp phần tử hữu hạn. Điều này thì tôi đã kiểm tra rất kỹ nhiều lần và nhận thấy một số điểm khác có thể là nguyên nhân dẫn đến có sự sai lệch về giá trị tính được như sau: đối với phương pháp phần tử hữu hạn khi giải bài toán giá trị mômen quán tính tôi đã tra trong sách theo giá trị của thép định hình, còn trong phần mềm ta chỉ cần nhập các thông số hình học của mặt cắt ngang các kết cấu nó sẽ tự động tính giá trị mômen quán tính. Mặt khác trong Sap tôi còn nhận thấy khi nhập đặc trưng vật liệu, còn xét đến hệ số giãn nở nhiệt của vật liệu mà trong cách tính tay tôi không thể xét đến.

Về mặt phương pháp giải chúng ta đã nắm rõ được trong quá trình học tập và qua hai bài toán ví dụ trên đây. Tuy nhiên để đáp ứng nhu cầu đất nước ngày một phát triển thì trong nhà trường cần đưa vào giảng dạy chính thức các phần mềm tính toán trên máy tính để sinh viên phần nào làm quen được các phương pháp giải hiện đại giúp ích sau này khi rời ghế nhà trường.



---

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

**1. Trần Gia Thái**

Bài giảng “Sức bền thân tàu” – Đại Học Thủy Sản 2004.

**2. Quách Hoài Nam**

Phương pháp “Phần tử hữu hạn” – Đại Học Thủy Sản 2003.

**3. Trần Công Nghị**

Tính toán thiết kế tàu – nhà xuất bản Đại Học Quốc Gia  
Thành Phố Hồ Chí Minh 2002.

**4. Lê Thọ Trình**

Cơ học kết cấu (tập 1) – nxb Khoa Học Kỹ Thuật\_Hà Nội  
2001.

**5. Trần Gia Thái**

Tính toán thiết kế theo Quy phạm – Đại Học Thủy Sản 2004.

**6. Trần Công Nghị**

Cơ học kết cấu thân tàu – nxb ĐH Quốc Gia Thành Phố HCM  
2004.

**7. Võ Như Cầu**

Tính kết cấu theo phương pháp Ma trận – nxb Xây Dựng 2004.

**8. Nguyễn Văn Ba**

Sức Bền Vật Liệu (tập 1-2) – nxb Nông Nghiệp 2000.

**9. Hoàng Anh Dũng – Ngô Côn – Hồ Văn Bính**

Phân tích độ bền kết cấu tàu thủy bằng phương pháp phần tử  
hữu hạn – tập 1. Nxb Giao Thông Vận Tải - Hà Nội – 1987.