

QUY TRÌNH THIẾT KẾ KẾT CẤU TÀU CATAMARAN A PROCESS FOR HULL STRUCTURAL DESIGN OF CATAMARANS

Nguyễn Minh Trí *, Võ trọng Cang #, Nguyễn Thanh Hội *

Khoa Kỹ Thuật Giao Thông, Đại học Bách khoa, Tp. Hồ Chí Minh, Việt Nam

*Hoan My Engineering Co., LTD. (HME). Ho Chi Minh city, Viet Nam.

TÓM TẮT

Nội dung chính của bài viết là nêu lên một qui trình thiết kế kết cấu cho tàu Catamaran. Qui trình được đề nghị nhằm:

- Tính toán kết cấu cho các tàu chưa được hướng dẫn trong Quy phạm của Việt Nam.
- Chuẩn bị cho các thiết kế tàu Catamaran cỡ vừa và nhỏ.

ABSTRACT

This paper presents a process for structural design of Catamarans. This procedure suggests to:

- Calculating for ship's structure that is not recommended by Viet Nam Rules for Ship Building and Classing yet.
- Preparing for preliminary designs of small and medium catamarans.

1. GIỚI THIỆU CHUNG

Có nhiều cách chọn kết cấu phù hợp cho tàu đang được thiết kế. Đối với các loại tàu thông dụng, đã được sử dụng có hiệu quả và an toàn, người thiết kế có thể căn cứ vào tàu mẫu đó để rút ra kết luận và chọn thiết kế cho tàu tương tự. Các tàu làm việc theo nguyên lý mới hoặc đối với các tàu có kích thước không bình thường, cần phải thiết kế các kết cấu của nó trên cơ sở tính toán khoa học. Thông thường phải mô hình hoá thân tàu dưới dạng hệ thống cơ học, xử lý bằng các phương pháp cơ học. Trong thiết kế kết cấu thân tàu, người kỹ sư thường áp dụng 2 cách làm khác nhau.

- *Cách thứ nhất* là thiết kế kết cấu thân tàu phù hợp với yêu cầu đề ra trong quy phạm đóng tàu. Theo cách này có thể chọn toàn bộ kết cấu thân tàu đang được thiết kế. Điều kiện cần thiết để có thể áp dụng là kích thước chính của tàu, tỷ lệ kích thước, các đặc trưng kỹ thuật, loại tàu ... nằm trong phạm vi mà quy phạm đóng tàu chấp nhận. Các đòi hỏi ghi trong quy phạm thật nghiêm ngặt song chưa phản ánh đầy đủ các điều kiện môi trường, thiên nhiên và con người hoạt động trong đó. Thiết kế theo cách này có

khí phải chấp nhận sự tồn kém về vật liệu và công sức thực hiện vì bản thân kết cấu chưa phải dạng tối ưu.

- *Cách thiết kế thứ hai* là dựa vào tính toán độ bền thân tàu, chọn kết cấu chịu được độ bền chung và tải trọng cục bộ. Trước khi thiết kế kết cấu, người thiết kế phải giải đáp các vấn đề liên quan đến sức bền thân tàu:

- Tải trọng bên ngoài cần để tính sức bền chung và tải trọng cục bộ.
- Ứng suất cho phép của vật liệu tạo nên các chi tiết thân tàu.
- Điều kiện và môi trường làm việc của kết cấu.

Kết quả tính toán phải nêu được giá trị ứng suất lớn nhất trong các kết cấu và tỷ lệ giữa chúng với ứng suất cho phép. Trong tất cả các trường hợp tính toán nhất thiết tính đến ổn định kết cấu nhằm đạt yêu cầu không một chi tiết nào mất ổn định khi làm việc. Ngoài các phép tính thuần túy cơ học trên, độ tin cậy của kết cấu là việc không tránh được khi thiết kế kết cấu. Thông thường bằng cách này người thiết kế có thể chọn kết cấu vừa đủ bền đồng thời đạt giá trị tối ưu về kinh tế.

Tính toán thiết kế kết cấu tàu là quá trình cân nhắc, đối chiếu, so sánh nhằm tìm phương án tốt nhất cho kết cấu, thoả mãn yêu cầu bền, ổn định, phù hợp với môi trường làm việc và điều kiện làm việc.

Hiện nay, các Quy phạm phân cấp và đóng tàu thủy hiện hành ở nước ta chưa nêu ra các quy định cũng như các hướng dẫn về tính toán thiết kế và chọn kết cấu cụ thể cho tàu 2 thân (Catamaran) - một dạng tàu mới. Trong tình hình đó, một khi thiết kế tàu 2 thân sẽ gặp khó khăn về tính chọn kết cấu như thế nào để đảm bảo an toàn khi khai thác vận hành. Do vậy việc xây dựng một bài toán để tính kết cấu cho tàu 2 thân là cần thiết.

Như vậy, giải bài toán kết cấu thân tàu bằng cách thứ nhất là không có khả năng thực hiện được trong điều kiện hiện nay của nước ta. Vì vậy cách giải thứ hai được chọn khi thiết kế kết cấu cho thân tàu Catamaran.

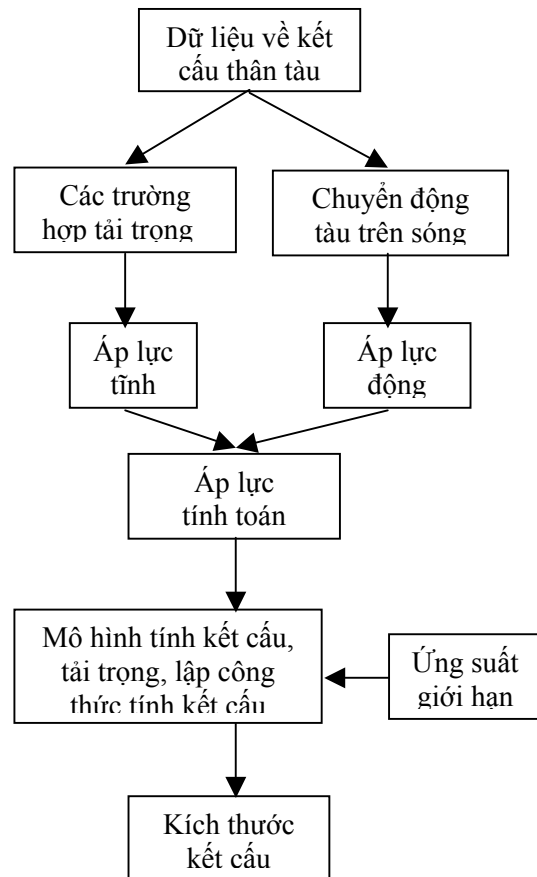
2. PHƯƠNG PHÁP THIẾT KẾ KẾT CẤU TÀU CATAMARAN DỰA VÀO TÍNH TOÁN ĐỘ BỀN THÂN TÀU

Chúng ta đã biết thân tàu là kết cấu liên tục gồm vỏ bao và các kết cấu gia cường vỏ. Kết cấu phức tạp này có thể chia thành các nhóm kết cấu liên kết với nhau: vỏ tàu hình thành từ các tấm, vỏ mỏng, còn các nẹp gia cường vỏ liên kết với nhau thành các khung phẳng hoặc khung trong không gian ba chiều trên đó được lợp vỏ. Để giải bài toán kết cấu tàu cần phải mô hình hoá kết cấu.

Mô hình hoá là chuyển bài toán kết cấu thực về các bài toán mô hình kết cấu thích hợp trên cơ sở đảm bảo tương đương về tính chất vật lý của vấn đề đang xét để thuận tiện và dễ dàng hơn khi giải mà vẫn có được kết quả chấp nhận được. Chọn mô hình toán đúng, lời giải mới có độ tin cậy. Khi chọn sai mô hình toán, các lời giải máy móc sẽ trở thành vô nghĩa vì lời giải đó không miêu tả được bản chất vật lý của vấn đề.

Trong bất kỳ mô hình toán nào, những vấn đề sau đây phải được xem xét kỹ:

- Đặc trưng hình học của kết cấu;
- Động học kết cấu;
- Vật liệu chế tạo;
- Tải;
- Điều kiện biên v.v...



Hình 1: Sơ đồ tính kết cấu thân tàu

Theo xu hướng chung, khi tính chọn kết cấu thân tàu mô hình được dùng phổ biến là hệ các khung phẳng, các dầm bố trí trong không gian. Chúng ta biết rằng tàu thủy có hình dáng đối xứng qua mặt cắt dọc giữa tàu nên có thể xem kết cấu và tải trọng tác động đối xứng vì vậy khi mô hình hoá trong tính toán có thể xét $\frac{1}{2}$ thân tàu. Điều này giúp giảm thiểu các phép tính trong bài toán.

Trong thành phần dầm tương đương đã bao gồm dải tôn kèm. Mô hình phải được gán các điều kiện biên trước khi giải. Các dầm có thể tựa tự do tại hai gối hoặc bị ngàm tại hai đầu mút. Hệ số ngàm có thể từ $0 \div 1$. Tùy vị trí kết cấu của thân tàu mà chúng ta có thể chọn mô hình thích hợp với một phương pháp giải thích hợp.

Thân tàu được xem như một dầm liên tục chịu uốn trên nước. Nếu xét thân tàu dưới dạng chịu uốn chung, bài toán thiết kế kết cấu thân tàu không khác bài toán cơ học thông thường áp dụng vào hệ thanh, dầm. Tuy nhiên trong thực tế, ngoài chịu uốn chung các tấm vỏ ngoài, tấm đáy trong và nhiều chi tiết khác còn chịu tải trọng cục bộ. Như vậy trong những kết cấu cụ thể như đáy ngoài, đáy trong, boong, vách,

mạn... xuất hiện ứng suất tổng hợp từ nhiều nguyên nhân chung và riêng khác nhau. Khi xác định tôn bao đáp ứng độ bền tàu phải dựa trên ứng suất tổng cộng đó. Trong trường hợp này xác định ứng suất trong kết cấu cụ thể của vỏ tàu không giống hoàn toàn với việc tính ứng suất trong hệ thanh thông thường. Điều đó buộc chúng ta khi thiết kế phải tiến dần từng bước xử lý bài toán, có thể áp dụng phương pháp đúng dần. Bài toán có thể giải bằng nhiều cách như dùng phương pháp phần tử hữu hạn, phương pháp giải tích, phương pháp thông dụng trong sức bền tàu ...

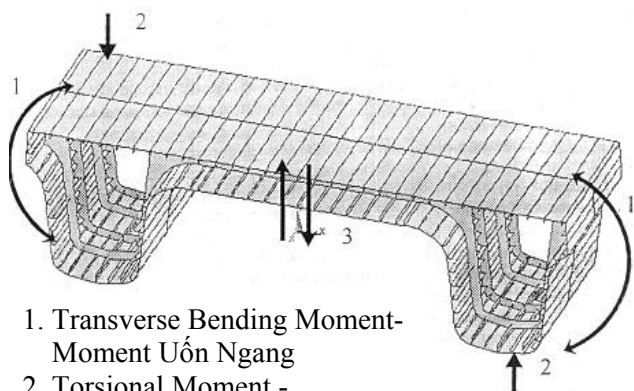
2.1 Tính độ bền thân tàu bằng phương pháp phần tử hữu hạn

Phương pháp này đã được GULF COAST REGION MARITIME TECHNOLOGY CENTER UNIVERSITY OF NEW ORLEANS áp dụng tính chọn kết cấu cho phà khách Catamaran [4] thỏa mãn các tiêu chuẩn của “Guide for Building and Classing High Speed Craft, American Bureau of Shipping, 1997”

Thông số của Catamaran kể trên là:

- Chiều dài L/Loa 30 / 35 m
- Chiều rộng B/Bmax 10 / 12 m
- Chiều chìm 1,3 m
- Chiều cao boong 1,5 m
- Lượng chiếm nước 110 tấn

Trước tiên là mô hình hoá kết cấu, chuyển kết cấu thực tế thành tập hợp các phần tử kết cấu



1. Transverse Bending Moment - Moment Uốn Ngang
2. Torsional Moment - Moment Xoắn
3. Shear Force - Lực Cắt dạng 3D solid.

Hình 2: Các lực tác động lên Catamaran

Độ chính xác đạt được trong tính toán theo phương pháp này không chỉ phụ thuộc vào việc

chọn đúng kiểu phần tử, phù hợp mô hình vật lý, mô hình toán mà còn chọn hợp lý kích cỡ phần tử. Tức là kích cỡ các phần tử nhỏ, đồng nghĩa tăng số lượng phần tử khi mô hình hoá vật thể có thể dẫn đến độ chính xác cao hơn. Đặt lực tác dụng lên mô hình và giải mô hình nhờ phần mềm ANSYS.

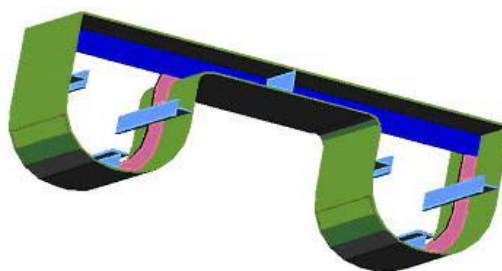
Một số kết quả tính toán lực tác động lên kết cấu đoạn sườn giữa của Catamaran trong chương trình nghiên cứu nói trên được trình bày ở các hình a và b ở phần Phụ lục.

Tính chọn kết cấu bằng phương pháp này chưa thể áp dụng trong điều kiện ở các đơn vị thiết kế của nước ta vì thiếu các điều kiện để mô phỏng 3D solid các kết cấu của thân Catamaran cần thiết kế. Do đó, cần chọn một mô hình tính toán gọn nhẹ hơn.

2.2 Tính độ bền kết cấu thân tàu bằng phương pháp sức bền vật liệu

Thân tàu chịu tải trọng tác dụng được mô tả như hình 2 mục 2.1.

Để mô hình hoá ta phân tích một phần tử strip (kết cấu sườn với mép kèm) như hình 3.



Hình 3

Trong quá trình mô hình hoá chúng ta cần lưu ý các điều như sau:

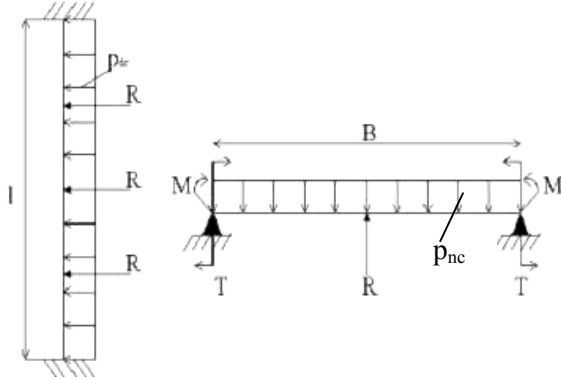
- Chấp nhận phần tử beam với bề rộng mép kèm bằng một khoảng sườn.
- Tính đối xứng hình học và đối xứng tải.
- Kết cấu có độ cứng lớn hơn phải đảm bảo làm chỗ tựa cho kết cấu có độ cứng thấp hơn.
- Bỏ qua độ cong boong, độ vát đáy và độ cong tôn hông.
- Hệ số gối tựa, ngầm $\chi = 0 \div 1$.
- Tách các phần tử mô hình hoá với các điều kiện biên phù hợp (như gối tựa, đặt lực liên kết...)

Bài toán kết cấu giải bằng phương pháp này có thể dùng để tính cho các dàn boong, dàn mạn, dàn đáy... được mô hình hoá như sau đây.

2.2.1 Mô hình tính kết cấu dàn boong

Trong mô hình tính kết cấu boong có thể xem xà ngang boong tựa ở trên mạn của 2 thân (vì xem như kết cấu mạn đủ cứng). Xà dọc boong coi như bị ngàm ở vách ngăn (vì xem như kết cấu vách đủ cứng).

Mô hình tính như sau:



a) Mô hình xà dọc boong b) Mô hình xà ngang boong
Hình 4: Mô hình tính kết cấu boong

Trong đó:

- l - khoảng cách 2 vách của đoạn boong xét, m.
- L_{tk} - chiều dài thiết kế, m.
- B - chiều rộng boong, m.
- B_{tk} - chiều rộng thiết kế, m
- a - khoảng cách sườn, m.
- k - khoảng cách sống dọc, m.
- R - phản lực xà ngang lên xà dọc boong và ngược lại, N.

Áp lực tải trên boong lên đà ngang, N/m:

$$p_{nc} = p.a \quad (1)$$

Áp lực tải trên boong lên sống dọc, N/m:

$$p_{dc} = p.k \quad (2)$$

Áp lực trung bình của hàng hoá, hành khách,... lên đoạn boong, N/m^2 :

$$p = \frac{\sum_{j=1}^m W_j}{b.l} \quad (3)$$

Moment xoắn, N.m:

$$T = \frac{1}{4} P \cdot \frac{L_{tk}}{4} \quad (4)$$

Moment uốn, N.m:

$$M = \frac{1}{2} P \cdot \frac{B_{tk}}{2} \quad (5)$$

Áp lực của trọng lượng thân tàu, hàng hoá, hành khách... , N:

$$P = \sum_{i=1}^n P_i + \sum_{j=1}^m W_j \quad (6)$$

Giải mô hình trên tính được moment uốn M (N.m) sau đó tính được modun chống uốn W (m^3) bằng cách dùng công thức sau để tính:

$$[\sigma] = \frac{M}{W} \quad (N/m^2) \quad (7)$$

$[\sigma]$ - ứng suất cho phép của vật liệu chế tạo.

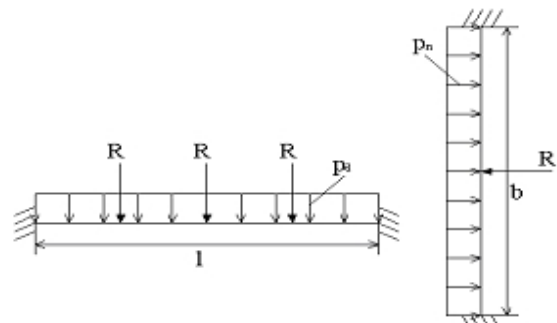
Chọn tiết diện kết cấu thỏa mãn điều kiện mô đun chống uốn W vừa tìm được. Tấm thành và mép kèm của kết cấu chọn sao cho thỏa các điều kiện ổn định khi tham gia chống uốn thân tàu.

2.2.2 Mô hình tính cho dàn đáy và dàn mạn

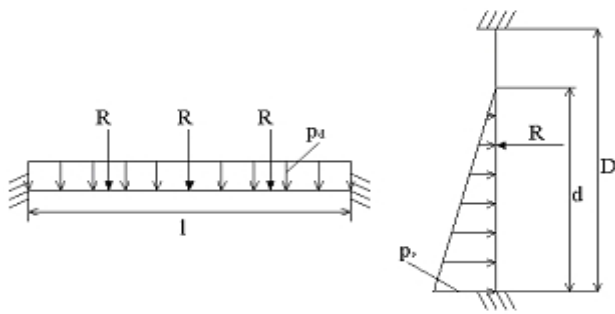
Trong mô hình tính kết cấu đáy có thể xem đà ngang đáy ngàm ở 2 đầu tại mạn (vì xem kết cấu mạn là đủ cứng). Sống dọc đáy được coi như bị ngàm ở vách ngăn (vì xem kết cấu vách ngăn là đủ cứng). Đà ngang đáy và sống dọc đáy chịu tải trọng phân bố đều do áp lực thủy tĩnh của nước gây ra.

Đối với mô hình tính kết cấu mạn có thể xem sườn ngàm ở 2 đầu tại boong và đáy (vì xem kết cấu đáy và boong là đủ cứng). Sống dọc mạn được coi như bị ngàm ở vách ngăn (vì xem kết cấu vách đủ cứng). Chúng chịu tải trọng phân bố do áp lực thủy tĩnh của nước gây ra.

Mô hình tính mô tả như sau:



a) Mô hình sống dọc đáy b) Mô hình đà ngang



c) Mô hình sống dọc mạn d) Mô hình sườn
Hình 5

Trong đó:

- R - phản lực cơ cấu ngang lên cơ cấu dọc và ngược lại, N.
- γ - trọng lượng riêng của nước, kg/m^3 .
- d - chiều chìm trung bình của tàu, m.
- D - chiều cao mạn, m.
- l - khoảng cách 2 vách, m.
- b - chiều rộng mỗi thân, m.
- a - khoảng cách sườn, m.
- c - khoảng cách sống dọc, m.

Áp lực thủy tĩnh trung bình của nước lên các cơ cấu như sau:

- lên đà ngang, N/m:

$$p_n = \gamma \cdot d \cdot a \quad (8)$$

- lên sống dọc, N/m:

$$p_d = \gamma \cdot d \cdot c \quad \text{- khi tính dàn đáy;} \quad (9)$$

$$p_d = \gamma \cdot (D-d/2) \cdot c \quad \text{- khi tính dàn mạn;} \quad (10)$$

- lên sườn, N/m:

$$p_s = \gamma \cdot d \cdot a \quad (11)$$

Tiếp theo, giải tương tự như 2.2.1.

2.3 Quy trình tính kết hợp

Nếu chúng ta xem mỗi thân của Catamaran là 1 con tàu độc lập và chúng được liên kết với nhau bằng kết cấu boong nối thì khi tính kết cấu cho tàu 2 thân ta tiến hành tính theo 2 giai đoạn:

- Tính kết cấu mỗi thân tàu và thượng tầng (ngoại trừ kết cấu boong nối 2 thân tàu) được tính theo các điều kiện thỏa mãn yêu cầu của Quy phạm hiện hành cho tàu 1 thân với các thông số hình học L, B, d, D... áp dụng trong công thức tính là kích thước của mỗi thân độc lập.

- Tính kết cấu boong nối giữa 2 thân tàu theo phương pháp sức bền (đã nêu ở 2.2.1), trong đó chiều rộng boong là tính từ mép mạn trái đến mép mạn phải toàn tàu.

Công việc cuối cùng để có kết cấu hoàn chỉnh cho tàu Catamaran sau khi tính chọn kết cấu theo sức bền cục bộ là phải kiểm tra sức bền chung của thân tàu ứng với các kết cấu đã chọn.

Ví dụ: Quy trình tính chọn kết cấu cho tàu 2 thân Mỗi thân và thượng tầng của tàu Catamaran được áp dụng theo các yêu cầu của Quy phạm phân cấp và đóng tàu thủy cao tốc. Các công thức tính cho trong Quy phạm với các thông số hình học L, B, d, D... là kích thước của mỗi thân độc lập.

Quy trình tính được thực hiện theo bảng sau:

Bảng 1: Quy trình tính toán kết cấu Catamaran

Stt	Hạng mục	Công thức	Ghi chú (theo [6])
1	Tấm vỏ	$t_{\min} = \alpha \sqrt{L}$ (mm)	Theo điều 4.1.5
2	Kết cấu đáy	$Z = \frac{mCSpl^2}{\sigma_{all}}$ (cm^3)	Theo điều 4.1.7
3	Kết cấu mạn		Theo điều 4.1.7
4	Kết cấu vách		Theo điều 4.1.7
5	Kết cấu kết		Theo điều 4.1.7
6	Kết cấu thượng tầng		Theo điều 4.1.7
7	Cột chống		$F = \frac{21,54W}{\sigma_r - \frac{2533}{E} \sigma_r^2 \left(\frac{l}{k_0} \right)^2}$ (cm^2)
8	Độ bền dọc thân tàu	$Z = \frac{M}{\sigma_{all}} 10^3$ (cm^3)	Theo điều 4.1.4
9	Môđun chống uốn tiết diện ngang thân tàu		Theo điều 4.1.4
10	Tính kết cấu cho boong nối	theo trình tự như ở (2.2.1)	

KẾT LUẬN

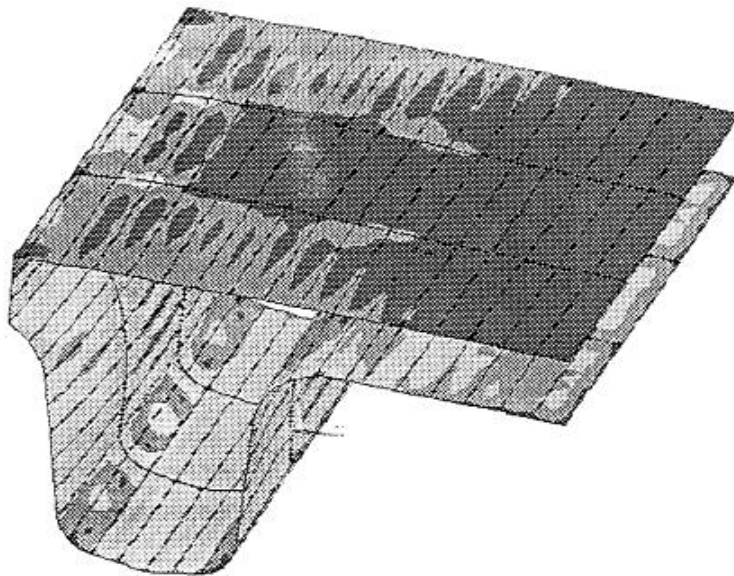
Bài viết chỉ mới nêu ra phương pháp tính kết cấu áp dụng được cho các Catamaran mà không đòi hỏi khắc khe về tính chính xác (tối ưu kích thước) và kinh tế với một hệ số an toàn đủ lớn chấp nhận được.

Phương pháp này chỉ là đề nghị để áp dụng cho Catamaran kích cỡ nhỏ và trong điều kiện tính toán, thiết kế bị giới hạn tại một số đơn vị.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Trần Công Nghị, Tính toán thiết kế kết cấu tàu. NXB Đại học Quốc gia TPHCM, 2001.
2. Nguyễn Đức Ân và các tác giả. Sổ tay Kỹ thuật đóng tàu -T2. NXB.KHKT, Hà nội, 1982
3. Trần Công Nghị, Lý thuyết tàu thủy -Tập 3. NXB Đại học Quốc gia TPHCM, 2001.
4. R.G.Latorre and P.D.Herrington , Development Of Catamaran For Worldwide Market, GCRMTC Final Report Project No.95-10, March 1998.
5. Cơ học kết cấu - phần IV. Phương pháp phần tử hữu hạn trong phân tích kết cấu.
6. Quy phạm phân cấp và đóng tàu thủy cao tốc. TCVN 6451:1998.

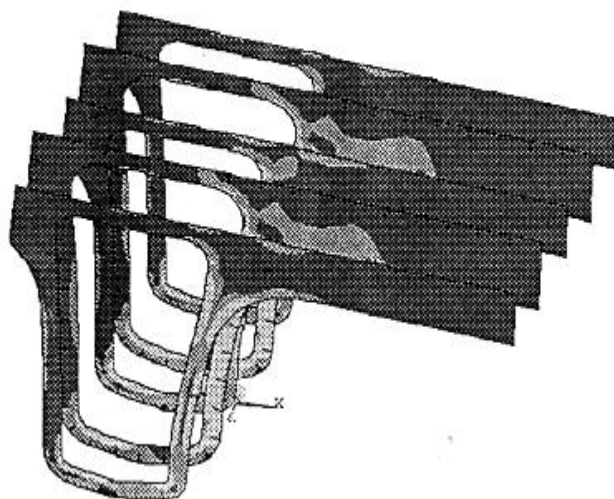
Phụ lục



```

ANSYS 5.3
MAR 9 1998
12:13:17
PLOT NO. 8
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SEQV (AVG)
TOP
DKE = 145561
DKI = 50.787
DKL = 7614
DKCB=10092
██████ 50.787
██████ 891.866
██████ 1732
██████ 2573
██████ 3413
██████ 4291
██████ 5094
██████ 5935
██████ 6775
██████ 7516
    
```

Hình PL.a: Biểu đồ ứng suất trên vỏ bao



```

ANSYS 5.3
MAR 6 1998
16:45:51
PLOT NO. 4
NODAL SOLUTION
STEP=1
SUB =1
TIME=1
SEQV (AVG)
TOP
DKE = 1339675
DKI = 41.619
DKL = 10854
DKCB=11645
██████ 41.619
██████ 1243
██████ 2444
██████ 3645
██████ 4847
██████ 6049
██████ 7250
██████ 8451
██████ 9653
██████ 10854
    
```

Hình PL.b: Biểu đồ ứng suất trên sườn khoé