

Peter Patek *

DIMENZOVANIE TRUPU MOTOROVEJ JACHTY GOLDEN SERIES

HULL STRUCTURAL SCANTLINGS OF THE GOLDEN SERIES MOTORYACHT

V článku sú uvedené postupy pri dimenzovaní niektorých prvkov trupu lode z kompozitových materiálov (FRP). Riešenie a softvér vychádzajú z pravidiel klasifikačných spoločností GL-BV-RINA. To dovoľuje stanovenie optimálnej hrúbky dosiek obšívky a ostatných dimenzií výstuh. Tieto postupy boli uplatnené pri návrhu veľkých rýchlych plavidiel Golden Series plne morskej triedy. Luxusné jachty sa stavajú v bratislavskej lodenici pre zahraničného zákazníka.

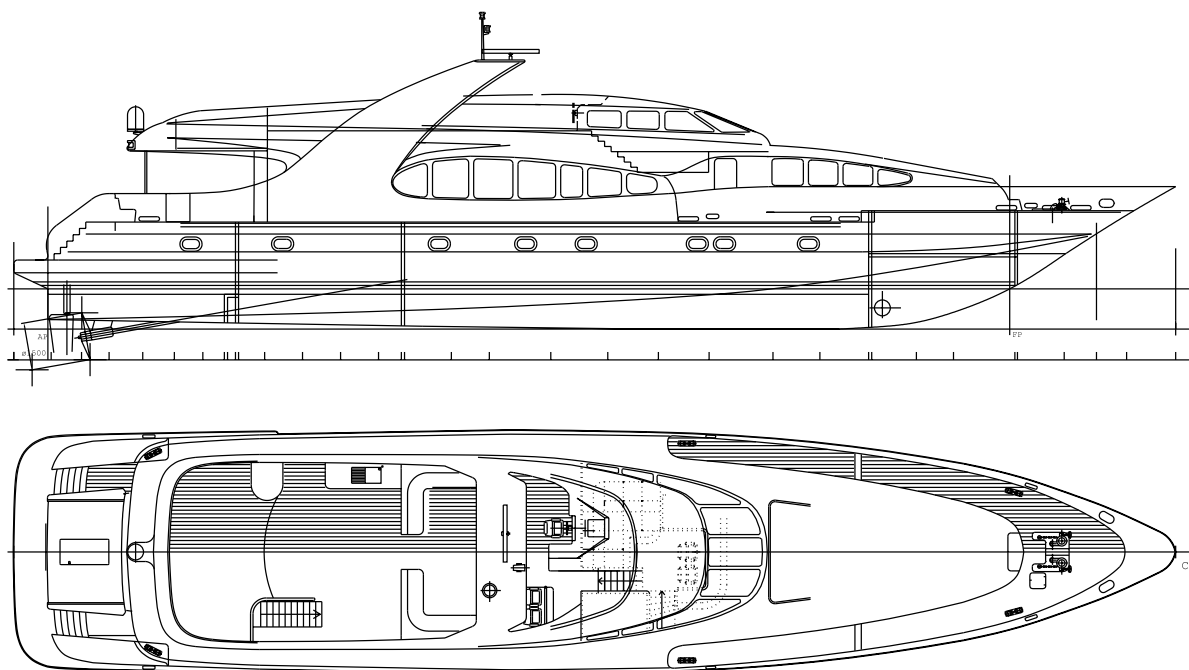
The paper describes the procedures for scantlings of some hull structural elements from FRP materials. The solution and software are based on the rules of classification societies GL-BV-RINA. It allows to estimate the optimal skin-plating thickness and other dimensions of the stiffeners. These procedures are applied for design of the large high-speed craft Golden Series designed for the open-sea class. The luxurious yachts built in Bratislava shipyard for foreign customer.

Úvod

V stavbe lodí, špeciálne pri stavbe rýchlych plavidiel sa často používajú kompozitové materiály pre trup a nadstavby. Kompozitový materiál v jeho najzákladnejšej forme tvoria aspoň dve spolupracujúce zložky tak, aby vytvorili materiál odlišných vlastností ako majú ony samotné. Kompozity s polymérovou maticou, známe

Introduction

In shipbuilding, especially in high-speed craft, building often uses composite materials for the hull and superstructures. In its most basic form a composite material is one, which is composed of at least two elements working together to produce material properties that are different to the properties of those elements on



Obr. 1. Generálny plán m/y FALCON
Fig. 1. General plan of 120' m/y FALCON

* Doc.Ing. Peter Patek, CSc.

Department of Cars, Ships and Engines, Faculty of Mechanical Engineering, Slovak University of Technology, Nám. slobody 17, SK-81231 Bratislava
Slovak Republic, Tel.: ++421-7-57 29 63 79, E-mail: patek@sjf.stuba.sk

tiež ako FRP (Fibre Reinforced Polymer/Plastic) využívajú ako maticu živice na polymérovom základe (polyester alebo vinylester). Ako armatúry sa používajú rôzne vlákna a to najčastejšie sklo, uhlík a aramid.

Osobitným druhom kompozitov, ktorý je často používaný na konštrukčné detaily je sendvič. Táto štruktúra je odskúšaná konštrukčná technika, ktorá kombinuje nízku hmotnosť s vysokou pevnosťou. Sendvič pozostáva z dvoch čiel/škrupín a jadra. Čelá (dosky FRP) preberajú normálové napätia a dávajú konštrukcii pevný povrch. Materiál jadra (pena PVC, Divinycell, balza voštiny) prenášajú priečne sily generované zaťaženie rozdeľujú ich do väčšej plochy.

Pri stavbe luxusných námorných jacht budovaných v bratislavskej lodenici sú použité oba druhy kompozitových štruktúr. Jachty dĺžky 36 m sú stavané v spolupráci CPMG Yachts International München a DMC Bratislava. Dimenzovanie trupu je robené v zmysle pravidiel klasifikačných spoločností GL-BV-RINA [3].

Mechanické charakteristiky materiálov FRP

Objemový obsah φ armovania so špecifickou hmotnosťou ρ_f v základnej vrstve pri hmotnostnom obsahu vystuženia ψ vo vrstve je daný vzťahom

$$\varphi = \frac{\psi \cdot (1 - \mu_o)}{\psi + (1 - \psi) \cdot \rho_f / \rho_r} \quad (1)$$

kde ρ_r je merná hmotnosť živice. Pre každý typ vystuženia použitý v jednotlivých vrstvách, ktorého elastické vlastnosti vrstvy s jednosmernými vláknami majú ten istý obsah vystuženia ako vrstva, sa najprv počíta modul pružnosti v ťahu rovnobežne s vláknami E_1 a kolmo na vlákna E_2

$$E_1 = \varphi \cdot E_f + (1 - \varphi) \cdot E_r, \quad E_2 = \frac{E_r}{1 - \nu_r^2} \cdot \frac{1 + 0,85\varphi^2}{(1 - \varphi)^2 + \varphi E_r / (E_f(1 - \nu_r^2))} \quad (2)$$

kde E_f a E_r sú moduly pružnosti v ťahu vlákien a živice. Poissonove čísla vrstvy s jednosmernými vláknami sú $\nu_{12} = \varphi \cdot \nu_f + (1 - \varphi) \cdot \nu_r$ a $\nu_{21} = \nu_{12} \cdot E_2 / E_1$. Modul pružnosti v šmyku vrstvy s jednosmernými vláknami je potom

$$G_{12} = \frac{G_r \cdot 1 + 0,6\varphi^{0,5}}{(1 - \varphi)^{1,25} + \varphi \cdot E_r / E_f}$$

Pre niektorý smer, ktorý zvierá so smerom vlákien uhol modul pružnosti v ťahu základnej vrstvy ako prvok matice tuhosti je potom

$$\frac{1}{E_x} = \frac{1}{E_1} \cdot \cos^4 \vartheta + \left(\frac{1}{G_{12}} - \frac{2 \cdot \nu_{12}}{E_1} \right) \cdot \sin^2 \vartheta \cdot \cos^2 \vartheta + \frac{1}{E_2} \cdot \sin^4 \vartheta \quad (4)$$

$$\frac{1}{E_y} = \frac{1}{E_1} \cdot \sin^4 \vartheta + \left(\frac{1}{G_{12}} - \frac{2 \cdot \nu_{12}}{E_1} \right) \cdot \sin^2 \vartheta \cdot \cos^2 \vartheta + \frac{1}{E_2} \cdot \cos^4 \vartheta \quad (5)$$

Vo všeobecnosti hmotnostný obsah vystuženia vo vrstve rohože je medzi 0,25 až 0,35. Modul pružnosti v ťahu pre laminát s rohožou sa môže určiť z Helpin-Tsaiovej rovnice pre náhodne orientované vlákna

their own. Polymer matrix composites, also known as FRP – Fibre Reinforced Polymer (Plastic), use a polymer-based resin (polyester or vinylester) as the matrix. A variety of fibers such as glass, carbon and aramid are used as reinforcement.

The special kind of composite material very often used for structural details is called a sandwich. This structure is a well-tried construction technique that combines low weight with high strength. A sandwich consists of two facings and core material. The facings (FRP skin) take up normal strains and give the structure a sturdy surface. The core material (PVC-foam, Divinycell, balsa, honeycomb) takes the shearing forces generated by loads and distributes them over a larger area.

Both kind of the structures are applied simultaneously for hull and superstructure of luxurious yachts built in a Bratislava shipyard. The 36 m high-speed craft are built in cooperation with CPMG Yachts International München and DMC Bratislava. The hull scantling is made by rules set by GL-BV-RINA classifications societies [3].

Mechanical characteristics of FRP materials

The content in volume φ of reinforcement with specific gravity ρ_f in elementary layer for content in mass of reinforcement ψ in a layer is given by the formula

$$\varphi = \frac{\psi \cdot (1 - \mu_o)}{\psi + (1 - \psi) \cdot \rho_f / \rho_r} \quad (1)$$

where ρ_r is specific gravity of resin. Whatever the type of reinforcement used in a particular layer, the elastic characteristics of a layer with unidirectional fibres having the same content of reinforcement as that layer are calculated first Young's moduli parallel to fibres E_1 and perpendicular to fibres E_2

$$E_1 = \varphi \cdot E_f + (1 - \varphi) \cdot E_r, \quad E_2 = \frac{E_r}{1 - \nu_r^2} \cdot \frac{1 + 0,85\varphi^2}{(1 - \varphi)^2 + \varphi E_r / (E_f(1 - \nu_r^2))} \quad (2)$$

where E_f and E_r are Young's moduli of reinforcement and resin. Poisson's ratios of layer with unidirectional fibres are $\nu_{12} = \varphi \cdot \nu_f + (1 - \varphi) \cdot \nu_r$ and $\nu_{21} = \nu_{12} \cdot E_2 / E_1$. Then Coulomb's modulus of a layer with unidirectional fibres is

$$\text{where} \quad G_r = \frac{E_r}{2 \cdot (1 + \nu_r)} \quad (3)$$

Following any direction that forms an angle with the direction of fibres, the Young's moduli of the elementary layer as elements of stiffness matrix becomes

$$\frac{1}{E_x} = \frac{1}{E_1} \cdot \cos^4 \vartheta + \left(\frac{1}{G_{12}} - \frac{2 \cdot \nu_{12}}{E_1} \right) \cdot \sin^2 \vartheta \cdot \cos^2 \vartheta + \frac{1}{E_2} \cdot \sin^4 \vartheta \quad (4)$$

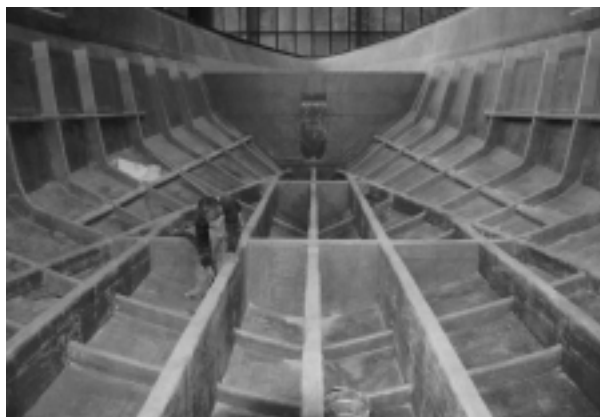
$$\frac{1}{E_y} = \frac{1}{E_1} \cdot \sin^4 \vartheta + \left(\frac{1}{G_{12}} - \frac{2 \cdot \nu_{12}}{E_1} \right) \cdot \sin^2 \vartheta \cdot \cos^2 \vartheta + \frac{1}{E_2} \cdot \cos^4 \vartheta \quad (5)$$

In general, the content in mass of reinforcement in layer of mat is between 0.25 and 0.35.

The Young's modulus of layer of mat may be estimated from Helpin-Tsai equation for random-oriented fibers

$$E_M = \frac{3}{8} \cdot E_1 + \frac{5}{8} \cdot E_2 \quad (6)$$

$$E_M = \frac{3}{8} \cdot E_1 + \frac{5}{8} \cdot E_2 \quad (6)$$



Obr. 2. Konštrukcia dna, priečky a chrbtice
Fig. 2. Bottom structure of hull, keelsons, floors



Obr. 3. Chrbtice a lôžka motorov v strojovni
Fig. 3. Keelsons and engine seating in engine room

Vo všeobecnosti hmotnostný obsah vystuženia vo vrstve tkaného rovingu (tkaniny) je medzi 0,4 až 0,6 a hmotnostný obsah vystuženia vrstvy s jednosmerne orientovanými vláknami je medzi 0,6 a 0,7. Celkove teda vrstva armovaná tkaným rovingom sa môže uvažovať ako vrstva dvoch jednosmerne kolmo na seba armovaných vrstiev a je možné použiť na ňu priamo vyššie uvedené vzťahy berúc do úvahy aktuálny stav obsahu vystuženia vo vrstve.

Ak nie sú k dispozícii presné údaje o fyzikálnych vlastnostiach použitých zložiek, je možné brať hodnoty z nasledujúcej tabuľky [1], [3].

Jednoduchá laminátová obšívka je zostavená z n vrstiev. Základné charakteristiky vrstvy i je hrúbka vrstvy i laminátu t_i pri plošnej hmotnosti armatúry vo vrstve p_{fi} [g/m²], bez ohľadu na smer, je daná v [mm] podľa

$$t_i = 0,001 \cdot \frac{p_{fi}}{1 - \mu_o} \cdot \left(\frac{1}{\rho_f} + \frac{1 - \psi_i}{\psi_i \cdot \rho_r} \right) \quad (7)$$

kde μ_o je podiel vákua (ak nie sú dostupné presnejšie údaje berie sa 0) a ψ_i je hmotnostný obsah výstuži vo vrstve i . Vzdialenosť z_i od neutrálneho vlákna vrstvy i k referenčnej hrane je

$$z_i = z_{i-1} + 0,5 \cdot (t_{i-1} + t_i) \quad (8)$$

Ekvivalentný modul pružnosti v ťahu viacvrstvého laminátu sa môže vypočítavať podľa vzťahu

$$E_L = \frac{\sum E_i \cdot t_i}{\sum t_i} \quad i = 1, \dots, n \quad (9)$$

Vzdialenosť neutrálneho vlákna viacvrstvého laminátu vzhľadom na referenčnú hranu je potom

In general, the content in mass of reinforcement in a woven roving reinforced layer is between 0.4 and 0.6 and the content in mass of reinforcement in a unidirectional reinforced layer is between 0.6 and 0.7. Generally, a layer reinforced with woven rovings may be considered as made of two perpendicular unidirectional layers and it is possible to apply directly to them the formulae laid down above, taking into account the actual content of reinforcement in the layer. When there is no available information on physical characteristics of used components, the values given in next table [1], [3] may be considered.

	E-glass	Aramid	HS carbon	Polyester	Epoxy
ρ [g/cm ³]	2.54	1.45	1.80	1.20	1.20
E [N/mm ²]	73000	130000	230000	3000	2600
v [-]	0.25	0.35	0.35	0.32	0.40

A single-skin laminate is made from n layers. The basic characteristics of layer i of the laminate is thickness t_i , for mass of reinforcement by unit area in layer p_{fi} [g/m²], regardless of

direction, is given in [mm] by

$$t_i = 0,001 \cdot \frac{p_{fi}}{1 - \mu_o} \cdot \left(\frac{1}{\rho_f} + \frac{1 - \psi_i}{\psi_i \cdot \rho_r} \right) \quad (7)$$

where μ_o is vacuum content (equal 0 if there is no available information) and ψ_i is the content in mass of reinforcement in layer i . Distance z_i from the neutral fiber of layer i to an edge of reference is

$$z_i = z_{i-1} + 0,5 \cdot (t_{i-1} + t_i) \quad (8)$$

The equivalent tensile elasticity modulus of the multi-layer laminate may be calculated by

$$E_L = \frac{\sum E_i \cdot t_i}{\sum t_i} \quad i = 1, \dots, n \quad (9)$$

The distance of neutral fiber of the multilayer laminate is, with regard to the edge of reference

$$V = \frac{\sum E_i \cdot t_i \cdot z_i}{\sum t_i}$$

$$\text{a vzhľadom na druhú hranu je } V' = \sum t_i - V \quad (10)$$

Vzdialenosti neutrálnych vlákien jednotlivých vrstiev od neutrálneho vlákna celého laminátu sú $d_i = z_i - V$ a tak ohybová tuhosť výsledného viacvrstvého laminátu na milimeter šírky je potom

$$[EI] = \sum E_i \cdot t_i \cdot \left(\frac{t_i^2}{12} + d_i^2 \right) \quad (11)$$

Moment zotrvačnosti viacvrstvého laminátu na milimeter šírky je

$$[I] = \sum t_i \cdot \left(\frac{t_i^2}{12} + d_i^2 \right) \quad (12)$$

Teoretická pevnosť v ohybe viacvrstvého laminátu v N/mm² je napokon

$$\sigma_{br} = 0,001 \cdot k \cdot \frac{[EI]}{[I]} \cdot (1 - \mu_o)^2 \quad (13)$$

kde $k = 17$ pre lamináty používajúce ako matricu polyesterové/vinylesterové živice, $k = 25$ pre lamináty používajúce epoxidovú živicu.

Moment zotrvačnosti a ohybová tuhosť sandvičového laminátu sa vypočíta pomocou vyššie uvedených vzťahov tak, že jadro sa zahrnie ako elementárna vrstva s jeho vlastnými charakteristikami (hrúbka, špecifická hmotnosť a modul pružnosti v ťahu materiálu jadra).

Teoretická pevnosť pri ohybe sendvičovej laminátovej obšívky v N/mm² je potom

$$\sigma_{br} = 0,001 \cdot k \cdot \frac{[EI]_{sw}}{[I]_{sw}} \cdot (1 - \mu_o)^2 \quad (14)$$

Pre výstuhy (chrťice, priečky, prievlaky, palubníky) sa používajú nasledujúce tri prvky: príruha, jadro a spolupôsobiaca pásnica (časť obšívky), symboly sú definované v nasledujúcej tabuľke.

	Šírka/výška	Hrúbka	Modul pružnosti	Prierez
Príruha	l_f	t_f	E_f	$S_f = t_f \cdot l_f$
Jadro	H	t_c	E_c	$S_c = t_c \cdot H$
Spolupôsobiaca pásnica	l_p	t_p	E_p	$S_p = t_p \cdot l_p$

Vzdialenosť neutrálneho vlákna po vonkajšiu stranu spolupôsobiacej pásnice je

$$V = \frac{\sum E_i \cdot S_i \cdot z_i}{\sum E_i \cdot S_i} \quad i = f, c, p \quad (15)$$

kde z_i sú vzdialenosti neutrálneho vlákna jadra, príruby a spolupôsobiacej pásnice po vonkajšiu stranu spolupôsobiacej pásnice. Vzdialenosť od neutrálneho vlákna výstuhy po vonkajšiu stranu príruby je $V' = H - V + t_f + t_b$ a vzdialenosti neutrálnych

$$V = \frac{\sum E_i \cdot t_i \cdot z_i}{\sum t_i}$$

$$\text{and with regard to the other edge } V' = \sum t_i - V \quad (10)$$

Distances from neutral fiber of each layer to the neutral fiber of the laminate are $d_i = z_i - V$ and the flexural rigidity of the multi-layer laminate by millimetre of width is

$$[EI] = \sum E_i \cdot t_i \cdot \left(\frac{t_i^2}{12} + d_i^2 \right) \quad (11)$$

The inertia of the multi-layer laminate by millimetre of width is

$$[I] = \sum t_i \cdot \left(\frac{t_i^2}{12} + d_i^2 \right) \quad (12)$$

The theoretical bending breaking strength of the multi-layer in N/mm² is

$$\sigma_{br} = 0,001 \cdot k \cdot \frac{[EI]}{[I]} \cdot (1 - \mu_o)^2 \quad (13)$$

where $k = 17$ for laminates using polyester/vinylester resin, $k = 25$ for laminates using epoxy resin.

The inertia and flexural rigidity of sandwich laminates are to be calculated according to above formulas, taking into account the core as an elementary layer with its own characteristics (thickness, specific gravity and Young modulus of the core material).

The theoretical bending breaking strength by bending skins of the sandwich laminate in N/mm² is

$$\sigma_{br} = 0,001 \cdot k \cdot \frac{[EI]_{sw}}{[I]_{sw}} \cdot (1 - \mu_o)^2 \quad (14)$$

For stiffeners (keelsons, floors, stringers, deck beams) we used three elements: flange, core and associated plating (part of the skin), symbols are defined in next table.

	Width/height	Thickness	Young's modulus	Section
Flange	l_f	t_f	E_f	$S_f = t_f \cdot l_f$
Core	H	t_c	E_c	$S_c = t_c \cdot H$
Associated plating	l_p	t_p	E_p	$S_p = t_p \cdot l_p$

Distance from the stiffener neutral fiber to the outer face of the associated plating is

$$V = \frac{\sum E_i \cdot S_i \cdot z_i}{\sum E_i \cdot S_i} \quad i = f, c, p \quad (15)$$

where z_i are distances from neutral fibers of core, flange and associated plating to the outer face of associated plating. Distance from the stiffener neutral fiber to the outer face of the flange is $V' = H - V + t_f + t_b$ and distances from neutral fiber of each

vlákien jednotlivých elementov od neutrálneho vlákna výstuhy sú $d_i = z_i - V$. Takto potom ohybová tuhosť výstuhy je

$$[EI] = [\Sigma E_i \cdot (I_i + S_i \cdot d_i^2)] \quad (16)$$

kde I_i je vlastný moment zotrvačnosti každého elementu. Moment zotrvačnosti kompletnej výstuhy (so spolupôsobiacou pásnicou) je potom

$$[I] = \Sigma(I_i + S_i \cdot d_i^2) \quad (17)$$

Teoretická pevnosť v ohybe celej výstuhy v N/mm^2 je napokon

$$\sigma_{br} = 0,001 \cdot k \cdot \frac{[EI]}{[I]} \quad (18)$$

element to the stiffener neutral fiber $d_i = z_i - V$. The rigidity of a stiffener is

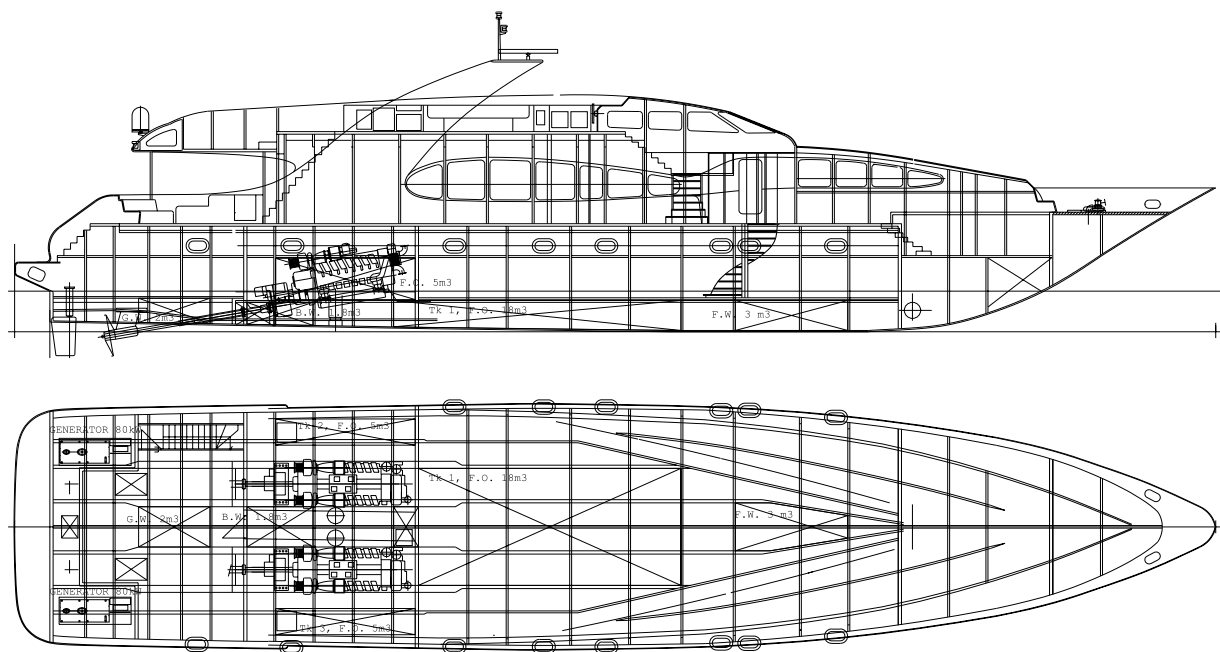
$$[EI] = [\Sigma E_i \cdot (I_i + S_i \cdot d_i^2)] \quad (16)$$

where I_i is specific inertia of each element. The inertia of a complete stiffener (with associated plating) is then

$$[I] = \Sigma(I_i + S_i \cdot d_i^2) \quad (17)$$

The theoretical bending breaking strength of stiffener in N/mm^2

$$\sigma_{br} = 0,001 \cdot k \cdot \frac{[EI]}{[I]} \quad (18)$$



Obr. 4. Konštrukcia trupu m/y FALCON

Fig. 4. Structural plan of m/y FALCON

Dimenzovanie prvkov konštrukcie trupu

Dimenzovanie dosiek obšívky a výstuh sa robí na základe toho, že napätie spôsobené miestnym návrhovým zaťažením a od celkového ohybu lodného trupu musia byť nižšie ako zodpovedajúce dovolené napätie pre materiál, napríklad pevnosť delená bezpečnostným faktorom SF . Bezpečnostné faktory sú definované podľa [3] osobitne pre ohybové a šmykové napätia. Dimenzie sa môžu zväčšiť, keď uzly podliehajú ďalším silám alebo ak ide o lode osobitnej konštrukcie.

Ohybové napätie σ_s v doske jednoduchej obšívky spôsobené miestnym návrhovým zaťažením p je dané vzťahom

$$\sigma_s = k_s \cdot \frac{V}{[I]} \cdot \frac{p \cdot s^2}{12} \cdot 10^3 \quad (19)$$

Hull elements structural scantlings

The platings and stiffeners scantlings are determined by the fact that the sum of stress due to local design load and longitudinal bending of the hull is to be less than corresponding allowable stress of the material, i.e. the breaking strength divided by safety factor SF . The safety factors are defined by [3] for bending and shear stresses separately. Scantlings may be increased where the structure is likely to be subjected to particular forces or for ships of unusual construction.

The bending stress σ_s of the single-skin laminates due to the design pressure p is given by the formula

$$\sigma_s = k_s \cdot \frac{V}{[I]} \cdot \frac{p \cdot s^2}{12} \cdot 10^3 \quad (19)$$

kde V a $[I]$ sú definované vyššie a k_s je redukčný faktor, ktorý zahŕňa pomer l/s rozmerov dosky (s je rozstup výstuh), šírku základne pripojených výstuh k doske a/s a zakrivenie dosky f/s , teda $k_s = \mu_1 \cdot \alpha \cdot \varphi$, kde $\mu_1 = 1$ ak $l \geq 2s$, $= 1 - 1,5(1 - 1/2s)^2$ ak $s < l < 2s$, $= 0,625$ ak $l \leq s$ a $\alpha = 1 - 3(a/s) \cdot (1 - a/s)$ a $\varphi = 1 - 0,8 \cdot f/s$. Výsledná podmienka pre jednoduchú obšívku je

$$\sigma_s < \frac{\sigma_{br}}{SF} - \sigma_{tb} \quad (20)$$

kde σ_{tb} je ohybové napätie od celkového pozdĺžneho ohybového momentu. Pre lode dĺžky pod 24 m, pre dosky v pozdĺžnej sústave vystuženia a pre dosky na koncoch lode sa napätie σ_{tb} môže brať nulové. Priehyb jednoduchej obšívky spôsobený návrhovým tlakom p medzi výstuhami je

$$f = \frac{\mu_2}{384} \cdot \frac{p \cdot s^4}{[EI]} \cdot 10^9 \quad (21)$$

kde $\mu_2 = 1$ ak $l \geq 2s$, $= 1 - 2,1 \cdot (1 - 1/2s)^2$, ak $s < l < 2s$, $= 0,475$ ak $l \leq s$. Medzná hodnota priehybu dosky je 1 % rozstupu výstuh.



Obr. 5. Konštrukcia dna kormy
Fig. 5. Bottom structure of stern

where V and $[I]$ are defined above and k_s is the reduction factor that included the plate ratio l/s (s is stiffener spacing), a wide base of the stiffeners attached on plate a/s and the plate curvature f/s following $k_s = \mu_1 \cdot \alpha \cdot \varphi$, where $\mu_1 = 1$ if $l \geq 2s$, $= 1 - 1,5(1 - 1/2s)^2$ if $s < l < 2s$, $= 0,625$ if $l \leq s$ and $\alpha = 1 - 3(a/s) \cdot (1 - a/s)$ and $\varphi = 1 - 0,8 \cdot f/s$. The result condition for single skin laminates is

$$\sigma_s < \frac{\sigma_{br}}{SF} - \sigma_{tb} \quad (20)$$

where σ_{tb} is bending stress due to the total bending moment. For ships of less than 24 m in length, for longitudinal framed platings and platings at ends of ships stress σ_{tb} may be taken zero. The bending deflection due to design pressure of a single skin laminate between stiffeners is

$$f = \frac{\mu_2}{384} \cdot \frac{p \cdot s^4}{[EI]} \cdot 10^9 \quad (21)$$

where $\mu_2 = 1$ if $l \geq 2s$, $= 1 - 2,1 \cdot (1 - 1/2s)^2$, if $s < l < 2s$, $= 0,475$ if $l \leq s$. The limit value for the bending deflection is 1 % of the stiffeners spacing.



Obr. 6. Výstuhy hlavnej paluby
Fig. 6. Main deck stiffeners

Príklad výpočtu dimenzovania dnových dosiek

Example of bottom plates structural scantlings calculation

PRINCIPAL DIMENSIONS

Project identification	PR 116_01	
Class	GERMANISCHER LLOYD +100 A5	
Ice strengthening region	NO	
Length of waterline at T	LWL	29.5 m
Scantling length	L	28.615 m
Greatest moulded breadth	B	7.54 m
Breadth o.t. waterline at T	BWL	7.21 m
Depth	H	3.6 m
Draught	T	1.39 m
Displacement in sea water	D	139.4 t

Block coefficient	CB	0.460			
Speed	V	30 kn	r1	r2	
Restricted services		OPEN SEA	1	16.5	
Hull type		MONO HULL			
	L/H	7.95	< r2		
S- factor		60	%		
Vertical acceleration at LCG	aCG	0.70	g		
Type of ship		PASSENGER SHIP			
Deadrise angle at LCG in deg.	alfCG	13	deg.		
Trimm angle in deg.	tau	4	deg.		
Relative speed	V/sqrt(L)	5.608			
Limit sign. wave height /C.3.3.4.1.6/	Hsm	1.78	m		
Sign. wave height /C.3.3.4.2/	Hs	0.762	m		

BOTTOM PLATES

Material properties				Km	fi	E1	E2	EM		
Content in mass	for mat	psi	0,3	0.00234	0.1600	14197	4196	7947		
	for roving web	psi	0,5	0.00123	0.3048	24337	24337	24337		
	for UD lam	psi	0.6	0.00095	0.3940	30581	6826	15734		
Woven balance coeff.		k	1							
Vacuum content		mi	0,05							
Laminate type			single skin	rho	E	ni				
				[g/cm ³]	[n/mm ²]	[-]				
Fibre material		E-Glass	2.54	73000	0.25					
Resin material		Polyester	1.2	3000	0.316	3332.8				
layer	[g/m2]		Ei	ti	zi	Ei.ti	Ei.ti.zi	di		
				[mm]						
1	300	mat	7947	0.70	0.35	5574	1955	-7.29	37.31	296456
2	300	mat	7947	0.70	1.05	5574	5865	-6.59	30.48	242193
3	1150	RW	24337	1.41	2.11	34342	72407	-5.53	43.42	1056747
4	100	mat	7947	0.23	2.93	1858	5446	-4.71	5.19	41224
5	1150	RW	24337	1.41	3.75	34342	128895	-3.89	21.56	524648
6	100	mat	7947	0.23	4.58	1858	8502	-3.06	2.20	17462
7	1150	RW	24337	1.41	5.40	34342	185384	-2.24	7.33	178386
8	100	mat	7947	0.23	6.22	1858	11558	-1.42	0.47	3755
9	1150	RW	24337	1.41	7.04	34342	241872	-0.60	0.74	17960
10	100	mat	7947	0.23	7.87	1858	14615	0.22	0.01	102
11	1150	RW	24337	1.41	8.69	34342	298361	1.05	1.78	43370
12	100	mat	7947	0.23	9.51	1858	17671	1.87	0.82	6505
13	1150	RW	24337	1.41	10.33	34342	354849	2.69	10.46	254617
14	100	mat	7947	0.23	11.16	1858	20727	3.51	2.89	22961
15	1150	RW	24337	1.41	11.98	34342	411338	4.34	26.78	651700
16	100	mat	7947	0.23	12.80	1858	23783	5.16	6.23	49473
17	1150	RW	24337	1.41	13.62	34342	467826	5.98	50.73	1234620
18	100	mat	7947	0.23	14.45	1858	26840	6.80	10.83	86039
Thickness of the laminate			t	14.56 mm	300745	2297894		259	4728218	
Equivalent tensile modulus of M.L.L.				EL	20653	N/mm2				
Neutral axis				V	7.64	mm				
Flexural rigidity of M.L.L. by mm				[EI]	4728218	Nmm2/mm				
Inertia of M.L.L. by mm				[I]	259	mm4/mm				
Theoretical bending braking strength				sig_br	279.86	N/mm2				

Distance betw. AP at position	x	14.305	m	x/L	0.50	BOTTOM PLATES
Supported area	s	1.63	m ²			
Local deadrise angle	alf_x	12	deg		u ^{0.75}	
	K1	1.000	u	2.318	1.88	
	K2	0.438	K2 calc.	0.5	plate	
	K3	1.018				
Design slamming pressure	psl	49.50	kN/m ²			
Frame spacing	s	1.05	m			
Unsupported span	l	1.55	m	l/s	1.476	
Actual laminate thickness	t	14.56	mm			
Wide base of the stiffener	a	0.40	m	a/s	0.381	
Global long.bending stress (GL)	sig_bl_m	9.96	N/mm ²			
Curvature factor	rc	1				
Factor dimension ratio of plate	mi1	0.897		mi2	0.856	
	alf	0.293				
	ks	0.262				
Safety factor	SF	4.500				
Width of the keel plate	b_keel	0.886	m	sig_br/SF-sig_bl		
Bending stress	sig_d	35.18	N/mm ²	52.23	N/mm ²	
Bending deflection	f	28.4	mm			

Literatúra - References

- [1] SP Systems: Composite Engineering Materials, Guide to composites, Structural Polymer Systems Ltd., Newport, 1999
- [2] Divinycell: *Sandwich theory*, Divinycell International AB, Laholm, 1991
- [3] Germanischer Lloyd: *Rules for Classification and Construction*, Ship Technology Seagoing Ships, High Speed Craft, BV-GL-RINA Hamburg, 1997
- [4] PETRTÝL, M.: *Mechanics of Composite Bodies*, ES ČVUT Praha 1991 (in Czech)
- [5] PATEK, P., MERVA, Z.: *Structural Scantlings*, PR-116 Golden Series Motoryacht, Fibre-Reinforced Plastic Craft, for PR-Marine Yachtbau, Saal/Donau, DMC Bratislava 1998