

ANÁLISE MECÂNICA DE ESTRUTURAS SANDUÍCHE COM DIFERENTES NÚCLEOS

C. G. B. T. Dias ^a, E. J. S. Santos ^a, R. S. Brito^a, V. C. C. Oliveira ^a, V. M. Y. R. Taketa ^b

^a Universidade Federal do Pará (UFPA)

^b Instituto Federal do Pará (IFPA)

Email: voliveira@ufpa.br

RESUMO

Realizou-se um estudo mecânico entre estruturas sanduíches (S), com lâminas de fibra de vidro (L) e núcleos: de espuma de poli (cloreto de vinila) de células fechadas (PVC), de colmeia de polipropileno (PP) e de compensado naval (CN). Ensaios foram realizados na máquina EMIC, modelo DL2000, mostrando que os módulos de elasticidade médio sob tração das lâminas de fibra de vidro foi 1042 MPa; sob compressão os núcleos de compensado naval foi 19,40MPa; de colmeia de PP foi de 18,33 MPa e espuma de PVC foi 15,94 MPa; sob flexão os sanduíches com núcleos de compensado naval e colmeia de PP apresentaram módulos de elasticidade de 186,7 MPa e 70,75 MPa, respectivamente. Concluiu-se que para o piso da embarcação o sanduíche de CN é mais apropriado, para a casaria o mais indicado é o sanduíche de colmeia de PP e finalmente, para as divisórias sugerimos o sanduíche de PVC.

Palavras chaves: compósitos, sanduíche, polipropileno, poli cloreto de vinila, compensado naval

INTRODUÇÃO

A estrutura sanduíche (Fig. 1) é uma classe especial de material compósito, sendo constituídas por duas faces, um núcleo de baixa densidade responsável por manter um alto momento de inércia através do afastamento das faces e transmitir as solicitações de esforços de uma lâmina para outra e um adesivo responsável pela conexão da face com o núcleo e transmitir as solicitações de esforços cisalhantes. Esse tipo de estrutura pode ser comparado com vigas, onde a alma equivale ao núcleo e os flanges equivalentes às faces.

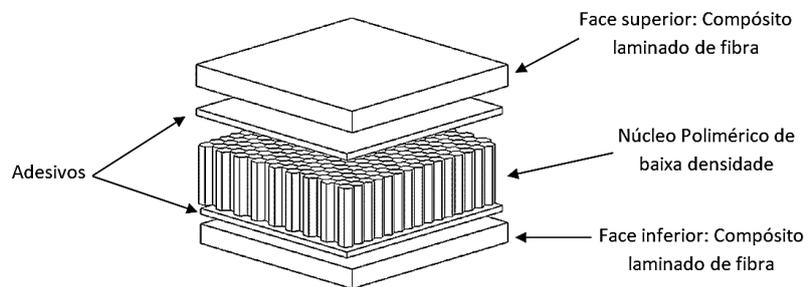


Figura 1: Estrutura sanduíche simplificada (Fonte: Arquivo pessoal)

Os sanduíches são empregados preferencialmente nos setores náuticos e aeronáuticos, devido suas, tão requisitadas, características que são leveza e resistência mecânica e química.

Estudos vêm sendo desenvolvidos para avaliar a performance dinâmica dos compósitos sanduíches, através de análises numéricas e experimentais, TSA (Análise de Tensão Termo Elástica) e EF (elementos Finitos), além de simulações computacionais e ensaios mecânicos com corpos de prova, para investigar seu desempenho dinâmico e comportamento de fratura ^(1, 2).

O conhecimento das características de diferentes núcleos pode ajudar na escolha do tipo e dimensão dos componentes dos sanduíches conforme sua aplicação estrutural. A Madeira balsa, por exemplo, tem muito mais elevado módulo de cisalhamento e tensão do que núcleo de espuma, o que o torna ideal para aplicações de setores em que as propriedades mecânicas mais altas são requeridas. No entanto, deve-se levar em consideração a grande dispersão nos padrões de deformação da

madeira Balsa, que é, devido à estrutura de células natural da madeira e a irregularidade de densidade local ⁽³⁾.

As espumas de células fechadas apresentam melhor desempenho quando submetidas a impactos, se comparadas as espumas de células abertas. E estas podem melhorar sua resistência mecânica por meio de costura do núcleo com fibras ⁽⁴⁾. Outra maneira de melhorar a resistência de sanduíche com núcleo de espuma, é inserir pinos cilíndricos de polímeros, ligando uma face a outra ⁽⁵⁾, ou até mesmo inserir escamas retas protetoras nas faces do sanduíche, melhorando sua resistência ao impacto ⁽⁶⁾.

Os modos de falha apresentados por estruturas sanduíche, geralmente são provocados por esforços mecânicos de tração, compressão, cisalhamento ou impactos e sua resposta dinâmica depende de alguns parâmetros, como espessura do núcleo e das lâminas, massa, bem como a frequência vibratória a que são submetidas ^(7,8).

Altas temperaturas podem influenciar significativamente o desempenho de sanduíches reduzindo o rendimento de carga inicial de cisalhamento do núcleo ⁽⁹⁻¹³⁾. Ao passo que adicionando corte semicircular, ou também chamados de chaves cisalhantes na linha entre face e núcleo, melhora a interação nessa região aumentando a rigidez e resistência ao cisalhamento ⁽¹⁴⁾. Além de que painéis sanduíches com chave cisalhante defletem menos se comparados com aqueles que não possuem chaves cisalhantes ⁽¹⁵⁾.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram utilizados neste estudo materiais sanduíches com três diferentes tipos de núcleos, sendo eles: Sanduíche de núcleo de espuma de pvc de célula fechada (SPVC), Sanduíche de colmeia de polipropileno (SCPP) e Sanduíche de compensado naval (SCN). Conforme pode ser observado na figura 2.

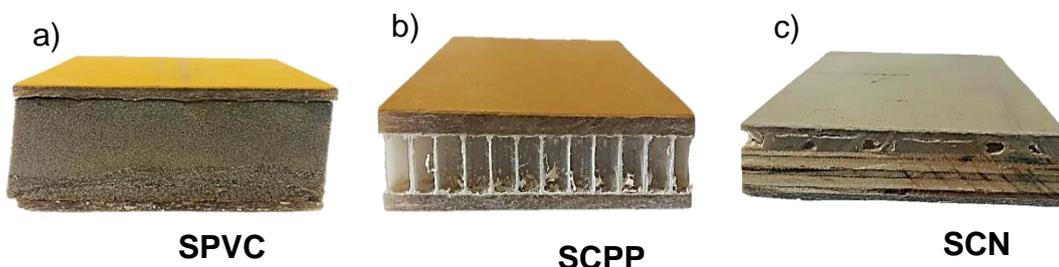


Figura 2: Estruturas sanduíches de núcleo de a) pvc de célula fechada b) colmeia de polipropileno c) compensado naval (Fonte: Arquivo pessoal)

Cada sanduíche é composto por Lamina Superior (LS), Núcleo, Lâmina inferior (LI). Onde a LS possui uma camada de gel ortoftálico, três mantas de fibra de vidro de 450 g/m² e a LI possui 2 mantas de fibra de vidro de 450 g/m² e resina ortoftálica. Já o núcleo de espuma de PVC possui espessura de 39,6 mm ($\pm 0,11$), o de colmeia de PP com espessura de 20,15 ($\pm 1,65$) e o núcleo de CN apresenta espessura de 16,16 ($\pm 0,011$).

Para a realização dos ensaios mecânicos, foram atendidas normas ASTM's correspondentes para cada tipo de ensaio e realizados sob temperatura ambiente. Valores médios e desvios-padrão foram calculados.

Tração nas Lâminas

Os testes de tração foram realizados de acordo com a ASTM D5083-10 ⁽¹⁶⁾. Os corpos de prova (CP) tinham as dimensões de 50 mm x 170 mm. Os testes foram realizados na máquina EMIC DL2000 com a velocidade de 5 mm/min.

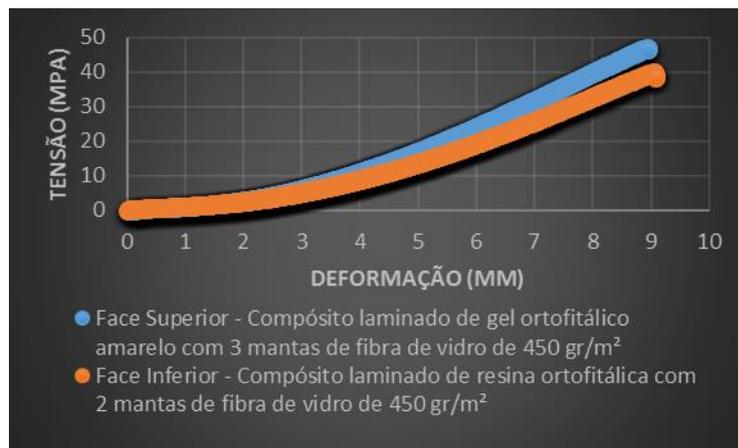


Gráfico 1: Ensaio de tração das Lâminas superior e inferior (Fonte: Arquivo pessoal)

Compressão

Os testes de compressão foram realizados de acordo com a ASTM C365/365M ⁽¹⁷⁾. Os corpos de prova tinham as dimensões de 85 mm x 85 mm e espessura do núcleo de 12 mm. Os testes foram realizados em temperatura ambiente na máquina Emic DL2000 com a célula de carga Trd 24 e velocidade de 0,5 mm/min para todas as amostras.

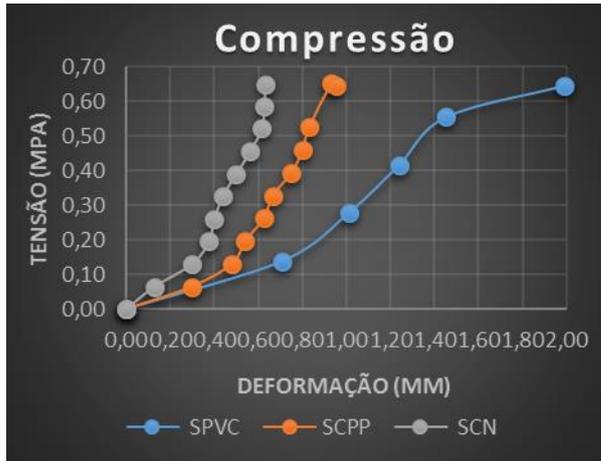


Gráfico 2: Resultado comparativo dos 3 materiais no ensaio de compressão. (Fonte: Arquivo pessoal)

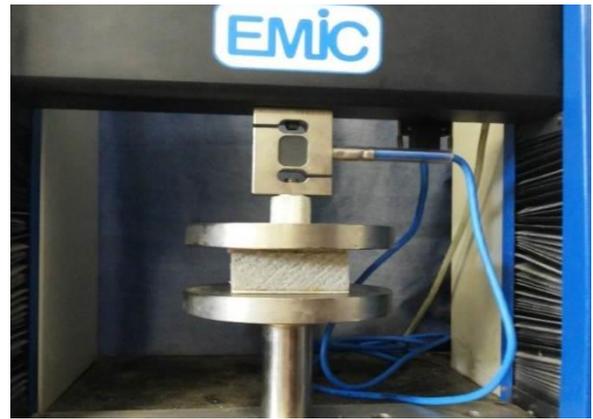


Figura 3: Ensaio de compressão em sanduíche de núcleo de espuma de pvc. (Fonte: Arquivo pessoal)

Resistência ao Impacto

Foi realizado o ensaio de impacto segundo a norma ASTM D 6110 ⁽¹⁸⁾ na máquina Gunt hamburg, modelo WP 410 com pêndulo de energia de impacto com escala até 150 N.m. Os corpos de prova apresentaram dimensões de 10,2 x 126 mm (Figura 4).

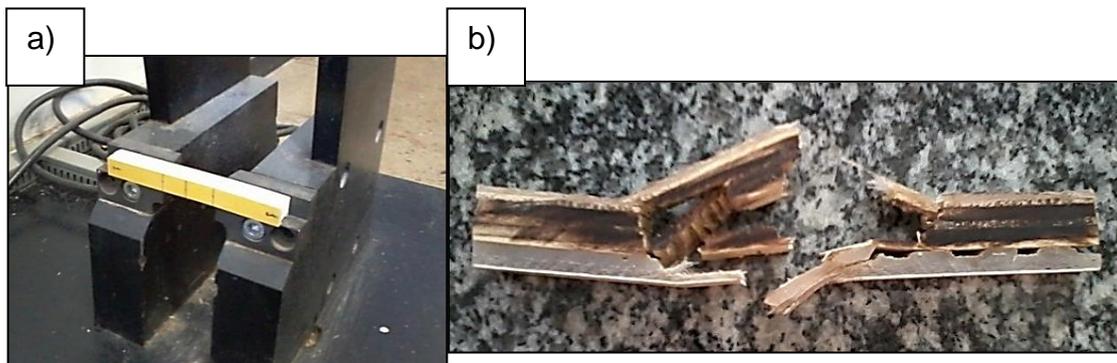


Figura 4: a) CP sanduíche de núcleo colmeia posicionado na máquina; b) CP sanduíche de núcleo de compensado naval, após ensaio.



Gráfico 3: Resultado comparativo do ensaio de impacto (Fonte: Arquivo pessoal)

Cisalhamento

Foi realizado o ensaio de cisalhamento de acordo com a norma ASTM C 273-11⁽¹⁹⁾ e através do ensaio foi determinado módulo de elasticidade ao cisalhamento da estrutura sanduiche os corpos de prova de dimensões 60 x 150 mm para sandwich de núcleo colmeia e 60 x 110 para sandwich de núcleo compensado naval. As Figuras 5.a e 5.b ilustram os corpos de prova de cisalhamento prontos para o ensaio.

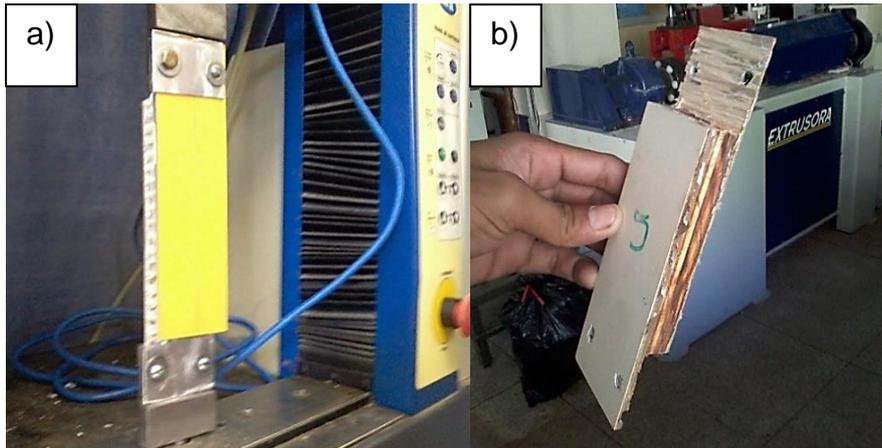


Figura 5: CP de a) SHPP e b) SCN (Fonte: Arquivo pessoal)

Nota-se que não foi realizado o cisalhamento no SPVC, devido a multiplicação de chaves cisalhantes no pvc ser muito maior e, portanto, não interessar para o resultado comparativo.

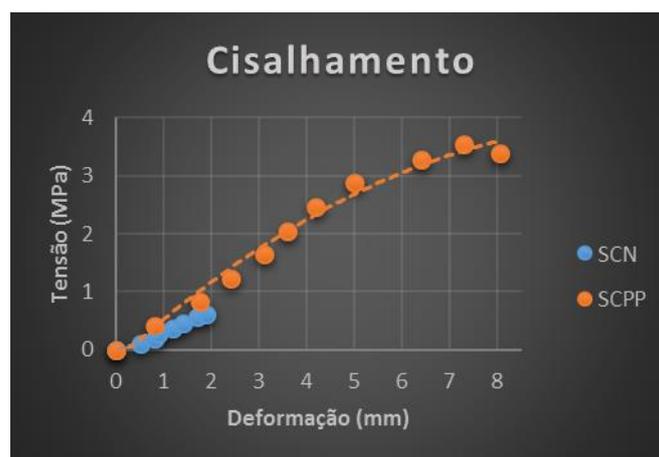


Gráfico 4: Resultado comparativo de cisalhamento nos sanduíches SHPP e SCN (Fonte: Arquivo pessoal)

Flexão

Os testes de flexão em três pontos foram realizados de acordo com a ASTM C393/393M ⁽²⁰⁾. Os corpos de prova tinham as dimensões de 75 mm x 200 mm. Os testes foram realizados na máquina EMIC DL2000 com a velocidade de 4 mm/min.

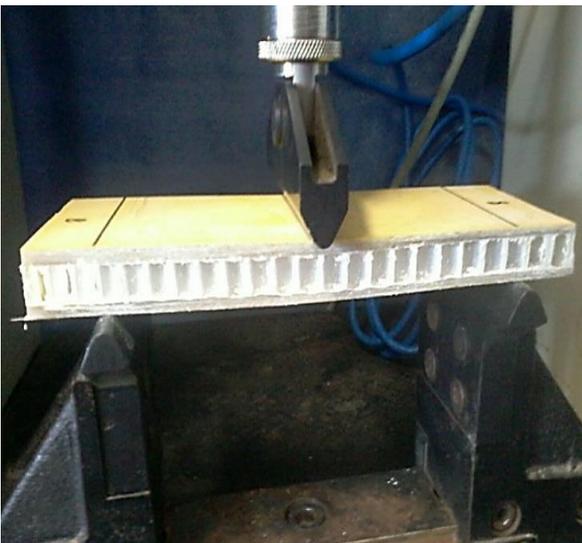


Figura 6: CP do sanduíche de colmeia de polipropileno durante a flexão (Fonte: Arquivo pessoal)

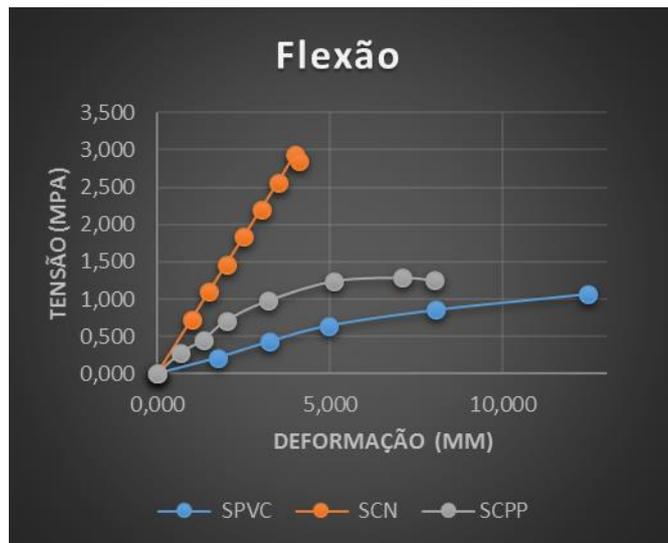


Gráfico 5: Resultado comparativo do ensaio de flexão. (Fonte: Arquivo pessoal)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos mostraram que os módulos de elasticidade médio sob tração da lâmina superior de fibra de vidro foi maior que da lâmina inferior, o que já era esperado, considerando a quantidade de camadas de fibras em cada lâmina; Sob compressão o SCN foi de 19,40 MPa; O SCPP foi de 16,6 MPa e o SPVC foi de 15,94 MPa; o que permite dizer que os núcleos escolhidos estão com rigidez na mesma escala de grandeza. Sob flexão o SCN, SCPP e SPVC apresentaram módulos de elasticidade de 186,7 MPa, 70,75 MPa e 26,32 MPa respectivamente. E sob cisalhamento, o SCPP apresentou melhor resposta em relação ao SCN, este com valor de 35 MPa e aquele com 144 MPa.

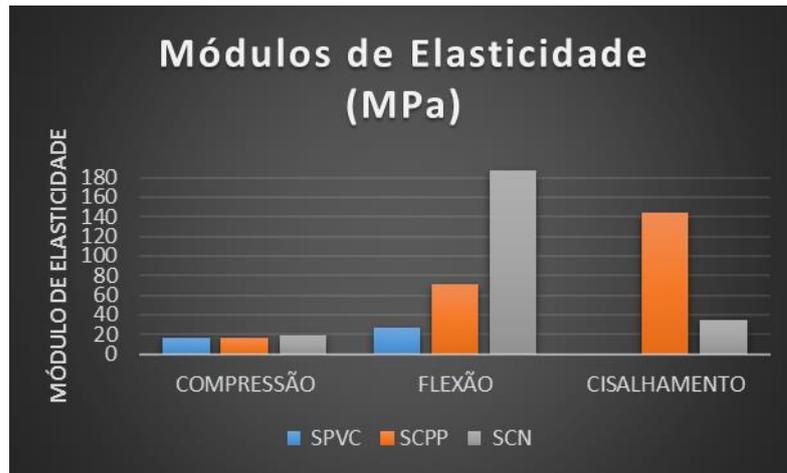


Gráfico 6: Resumos dos resultados com seus respectivos módulos médios

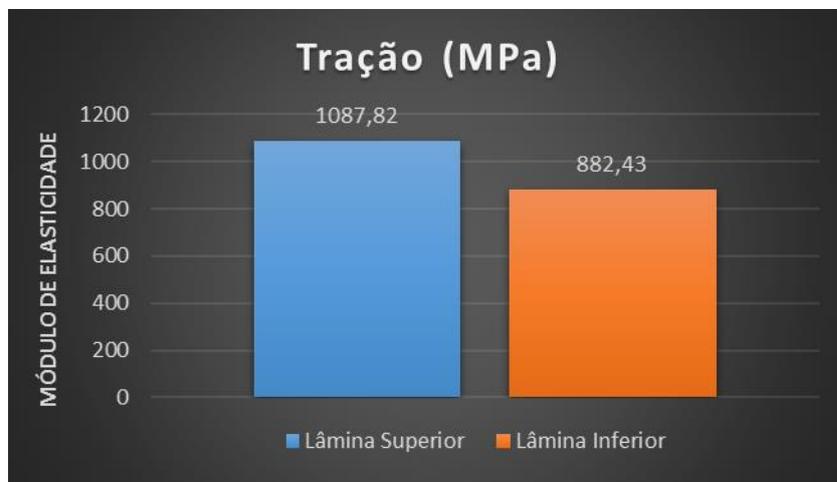


Gráfico 7: Comportamento das lâminas sob tração.

CONCLUSÃO

O comportamento mecânico dos sanduíches SPVC, SCPP e SCN foram investigados e comparados entre si. Considerando que os materiais aqui trabalhados são empregados na construção de embarcações, concluiu-se que para o piso dos barcos, o sanduíche de compensado naval é mais apropriado, para a casaria o mais indicado é o sanduíche de colmeia de PP e finalmente, para as divisórias sugerimos o sanduíche de núcleo de espuma PVC de célula fechada.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio do CNPQ e Capes para realização deste trabalho.

REFERENCIAS

- [1] W. WANG, AT ALL. **Fracture behaviour at tri-material junctions of crack stoppers in sandwich structures**. Composite Structures. 2015.
- [2] MICHELLE S. HOO FATT, DUSHYANTH SIRIVOLU. **Blast response of double curvature, composite sandwich shallow shells**. Engineering Structures. 2015.
- [3] AMIR FATHI, JAN-HENDRIK KELLER, VOLKER ALTSTAEDT. **Full-field shear analyses of sandwich core materials using Digital Image Correlation (DIC)**. Composites: Part B. 2015.
- [4] HUSEYIN ERDEM YALKIN, BULENT MURAT ICTEN, TUBA ALPYILDIZ. **Enhanced mechanical performance of foam core sandwich composites with through the thickness reinforced core**. Composites Part B. 2015.
- [5] B. ABDI, S. AZWAN, M.R. ABDULLAH, AMRAN AYOB, YAZID YAHYA. **Comparison of Foam Core Sandwich Panel and Through-Thickness Polymer Pin-Reinforced Foam Core Sandwich Panel Subject to Indentation and Flatwise Compression Loadings**. Polymer Composites. 2016.
- [6] YIE SUE CHUA, ELLIOT LAW, SZE DAI PANG, SER TONG QUEK. **Fish scale-cellular composite system for protection against low-velocity impact**. Composite Structures. 2016.
- [7] S. MONDAL, A.K. PATRA, S. CHAKRABORTY, N. MITRA. **Dynamic performance of sandwich composite plates with circular hole/cut-out: A mixed experimental-numerical study**. Composite Structures. 2015.
- [8] SIDDHARTH AVACHAT, MIN ZHOU. **High-speed digital imaging and computational modeling of dynamic failure in composite structures subjected to underwater impulsive loads**. International Journal of Impact Engineering. 2015.
- [9] SHUFENG ZHANG, JANICE M DULIEU-BARTON, OLE T THOMSEN. **The effect of elevated temperatures on the bending behaviour of foam cored sandwich structures**. Journal of Composite Materials. 2015.
- [10] S. ZHANG, J.M. DULIEU-BARTON, O.T. THOMSEN. **The effect of temperature on the failure modes of polymer foam cored sandwich structures**. Composite Structures. 2015.
- [11] P. VIDAL, L. GALLIMARD, O. POLIT. **Thermo-mechanical analysis of laminated composite and sandwich beams based on a variables separation**. Composite Structures. 2016.

- [12] PENG YANG, SEYEDMOHAMMAD S. SHAMS, ALEXANDRA SLAY, BRUCE BROKATE, RANI ELHAJJAR. **Evaluation of temperature effects on low velocity impact damage in composite sandwich panels with polymeric foam cores.** Composite Structures. 2015.
- [13] W. WANG, J.M. DULIEU-BARTON, O.T. THOMSEN. **A Methodology for Characterizing the Interfacial Fracture Toughness of Sandwich Structures using High Speed Infrared Thermography.** Experimental Mechanics. 2016.
- [14] A. MOSTAFA. **Numerical analysis on the effect of shear keys pitch on the shear performance of foamed sandwich panels.** Engineering Structures. 2015.
- [15] A. MOSTAFA, K. SHANKAR, E. V. MOROZOV. **Independent analytical technique for analysis of the flexural behaviour of the composite sandwich panels incorporated with shear keys concept.** Materials and Structures. 2015.
- [16] ASTM D5083-10, **Standard Test Method for Tensile Properties of Reinforced Thermosetting Plastics Using Straight-Sided Specimens**
- [17] ASTM C365/365M, **Standard Test Method for Flatwise Compressive Properties of Sandwich Cores**
- [18] ASTM D 6110, **Standard Test Method for Determining the Charpy Impact Resistance of Notched Specimens of Plastics**
- [19] ASTM C 273-61, **Standard Test Method for Shear Properties of Sandwich Core Materials**
- [20] ASTM C393/393M, **Standard Test Method for Core Shear Properties of Sandwich Constructions by Beam Flexure**

MECHANICS STRUCTURAL ANALYSIS SANDWICH WITH DIFFERENT CORES

ABSTRACT

Composite materials have been widely used in various sectors of industry due to high demand for lighter structures and at the same time resistant. Especially the nautical sector, has shown its great interest in composite materials, manufacturing boats with innovative designs, using the principles of pressure and temperature in their construction processes. With this we conducted a comparative study of the mechanical behavior of sandwich structures with glass fiber cores and: of polyethylene foam (vinyl chloride) - PVC closed cell honeycomb polypropylene -PP and plywood. All assays were performed in EMIC machine, DL2000 model. The results showed that the average moduli of elasticity under tension of the glass fiber strip was 1042 MPa; under compression the plywood cores was 19,40MPa; PP honeycomb was 18,33MPa and

PVC foam was 15,94 MPa; bending under the sandwiches with core plywood and PP honeycomb had to 186.7 MPa modulus of elasticity and 70.75 MPa, respectively. It was concluded that for the floor of the vessel plywood sandwich is more appropriate to marry the most suitable is the sandwich honeycomb PP and finally to encourage the partitions sandwich PVC core.

Key words: composite, sandwich, polypropylene, polyvinyl chloride, plywood