

MODELAREA MATEMATICĂ ȘI ANALIZA STRUCTURALĂ PENTRU MATERIALELE COMPOZITELOR FLEXIBILE ALE SISTEMELOR MODULARE FLOTANTE UTILIZATE ÎN MAREA SALMASTRĂ

JOMIR Constantin¹, ENE Alexandra-Gabriela¹

¹Institutul National de Cercetare – Dezvoltare pentru Textile si Pielarie,
Bucuresti, Romania

*Corresponding author: JOMIR Constantin: e-mail constantin.jomir@incdtp.ro

Abstract: *The Romanian coastline of the Black Sea is approximately 245 km long and does not have closed, sheltered areas. The recently expanded port systems and activities are polluting and do not provide conditions for the cultivation of living organisms. The organisms from this area (e.g. *Mytilus galloprovincialis* and *Crassostrea gigas*) are resistant to large variations in temperature, salinity, density and can be recommended or suitable for directed growth or in captivity.*

The paper presents the prediction of the phenomena and the functional characteristics of the composite structure used for the construction of the modular systems for the development of the biofilter material was carried out with the help of a specialized software that allows setting the calculation parameters, performing the actual calculations, processing, viewing and exporting the numerical data. The values obtained for simulation at 5Bf will be the basis for determining the type of raw material for the composite and the textile matrix (fabric). The specialists in the textile field will transform the Von Mises nodal values into tear resistance on the systems (warp and weft) and will transpose them into the programming schemes for the fabric structure (which give information about the pattern, thickness, yarn density in warp and weft etc.), but also for determining the type of covering of this fabric, i.e. the finishing technology: impregnation, lamination (on one side or on both sides)

Key words: *solid, processing, numerical simulation, CAD, FEM*

1. INTRODUCERE

Caracteristicile costiere ale Marii Negre, sunt:

- litoralul romanesc are aproximativ 245 km lungime si nu prezinta zone inchise, adapostite;
- exista cateva zone, foarte mici, potrivite culturii speciilor de bivalve epibionte;
- sistemele si activitatile portuare recent extinse, sunt poluante si nu asigura conditii pentru cultivarea organismelor vii.
- dinamica costiera prezinta vulnerabilitati si se caracterizeaza printr-un proces de eroziune de 60% pe linia de tarm, partea de echilibru fiind destul de redusa.
- configuratia locala a fundului marii are o considerabila influenta specifica asupra conditiei valurilor puternice in fiecare din siturile sau locurile specifice selectate pentru acvacultura.
- regimul termic al apei in zona de mal este caracteristic marilor inchise, fara comunicare. Pe coloana de apa adanca in zona litorala, temperatura este scazuta in

timpul iernii (0,1°C - 4°C) și foarte mare în timpul verii (22°C-26°C). În timpul iernilor reci, apa îngheată, mai ales în zona costieră de nord, de-a lungul litoralului. În timpul sezonului de vară, vânturile de V și SE determină fenomenul de Welling, care produce răciră violentă a apei de mare (de 10- 15°C) pe o perioadă scurtă de timp (5-10 zile).

- organismele din zona costieră românească sunt rezistente la variații mari de temperatură, salinitate, densitate și pot fi recomandate sau pretabile creșterii dirijate sau în captivitate.

Sistemele modulare flotante ce se utilizează în mare deschisă prezintă particularități specifice legate de: principiile de construcție și funcționare ale întregului; analiza caracteristicilor tehnice și funcționale ale componentelor, precum și interdependențele dintre acestea; transferul anumitor proprietăți tehnico-funcționale (rezistență la rupere, soc, apă de mare, variații extreme de temperatură etc.) la întreg, s-a considerat că abordarea sistemică pentru determinarea modelului matematic este cea mai adecvată.

În acest sens, pentru sistemele modulare pentru dezvoltarea materialului biofiltrant s-a pornit de la următoarele ipoteze de lucru:

a. Distribuția masei este continuă în volumul ocupat de corp (mediu continuu), iar elementul de volum dv este suficient de mic (din punct de vedere matematic este o mărime infinit mică). Forțele interne infinitezimale din acest mediu se pot considera valori medii statistice ale forțelor de interacțiune dintre elementele constituente ale mediului.

b. Efectul mediei statistice a comportării elementelor constituente este independent de starea individuală a acestora.

c. Solidul este încărcat cu forțe concentrate F_i și încărcări distribuite p_i (Figura. 1), iar încărcările exterioare dau naștere la eforturi interioare, deci tensiuni [1,2]

d. Vectorul tensiune (definit ca valori medii) este definit ca raportul dintre forța într-un punct ΔF și elementul de suprafață, ΔA adică $t = \frac{\Delta F}{\Delta A}$. [1,3]. Suplimentar, acesta se descompune într-o componentă normală – tensiunea normală σ și una de forfecare tangenta la suprafață τ . Componentele tangențiale ($\tau_{xy}, \tau_{xz}, \tau_{yx}, \tau_{yz}, \tau_{zx}, \tau_{zy}$) (fig. 1b) nu sunt toate independente.

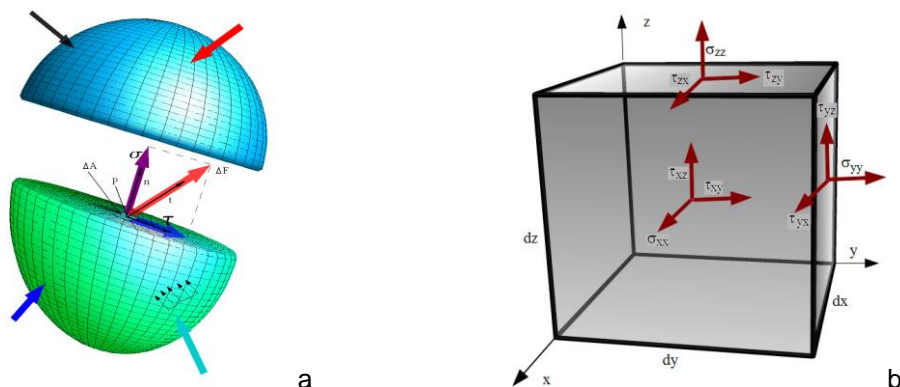


Figura 1: Reprezentare stare de tensiune într-un punct
a) conform legii acțiunii și reacțiunii; b) componentele tangențiale

2. CALCULE SI EXPERIMENTARI

Ecuatia de echilibru a momentelor in centrul paralelipipedului este:

$$2 \frac{dy}{2} \tau_{yz} dx dz - 2(\tau_{zy} dx dy) = 0$$

Componentele tangentele in doua plane perpendiculare au aceeasi valoare, deci vor exista 6 tensiuni independente si tensorul tensiunilor este:

$$\sigma = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \sigma_z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sigma_x & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{xy} & \sigma_y & \tau_{yz} \\ \tau_{xz} & \tau_{yz} & \sigma_z \end{bmatrix}$$

Componentele tensorului tensiunilor nu sunt independente, fiind legate prin conditii la echilibru care definesc starea de tensiune intr-un punct. Din punct de vedere matematic acest lucru se scrie succesiv:

$$\begin{aligned} \sigma_x dyt - \tau_{yx} dxt + \left(\sigma_x + \frac{\delta \sigma_x}{\delta x} dx \right) dyt + \left(\tau_{yx} + \frac{\delta \tau_{yx}}{\delta y} dy \right) dxt + f_x dx dt = 0 \\ \frac{\delta \sigma_x}{\delta x} + \frac{\delta \tau_{yx}}{\delta x} + f_x = 0 \\ \frac{\delta \sigma_y}{\delta y} + \frac{\delta \tau_{xy}}{\delta x} + f_y = 0 \end{aligned}$$

In spatiul tridimensional modelul se scrie:

$$\begin{aligned} \frac{\delta \sigma_x}{\delta x} + \frac{\delta \tau_{yx}}{\delta y} + \frac{\delta \tau_{zx}}{\delta z} + f_x = 0 \\ \frac{\delta \tau_{xy}}{\delta x} + \frac{\delta \sigma_y}{\delta y} + \frac{\delta \tau_{zy}}{\delta z} + f_y = 0 \\ \frac{\delta \tau_{xz}}{\delta x} + \frac{\delta \tau_{yz}}{\delta y} + \frac{\delta \sigma_z}{\delta z} + f_z = 0 \end{aligned}$$

Variatia tensiunii in jurul unui punct dintr-un corp solicitat este demonstrata prin izolarea in jurul acestuia a unui volum elementar in forma unui tetraedru ale carui suprafete rectangulare admit versorii $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ ale sistemului de axe x, y, z.

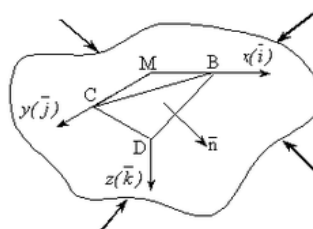


Figura 2: Volum elementar

Planul secant este definit in raport cu sistemul de axe adoptat de cosinusii directori l, m, n astfel: $dA_x = dA_l$; $dA_y = dA_m$; $dA_z = dA_n$

Dupa scrierea vectoriala a tensiunilor de pe fetele tetraedruului (fig. 3) se determina echilibrul fortelor elementare pe fiecare directie:

$$\begin{aligned} \vec{p}_n = p_{nx} \vec{i} + p_{ny} \vec{j} + p_{nz} \vec{k} \\ \vec{p}_x = \sigma_x \vec{i} + \tau_{xy} \vec{j} + \tau_{xz} \vec{k} \quad \vec{p}_y = \tau_{yx} \vec{i} + \sigma_y \vec{j} + \tau_{yz} \vec{k} \quad \vec{p}_z = \tau_{zx} \vec{i} + \tau_{zy} \vec{j} + \sigma_z \vec{k} \end{aligned}$$

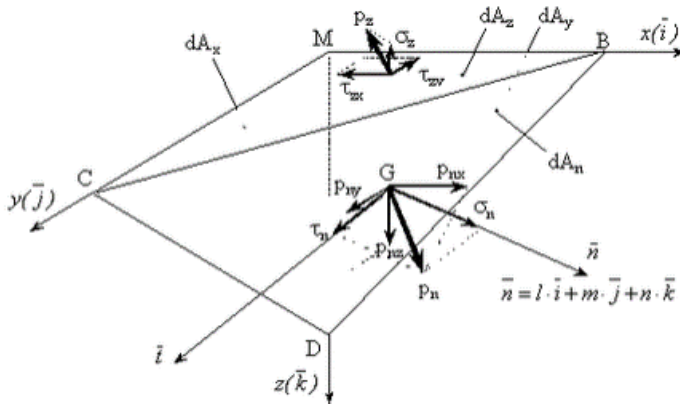


Figura 3: Tensiunile de pe fetele tetraedrului elementar

Utilizand elementele specifice geometriei analitice, prin rotirea axelor de coordonate se ajunge intr-o pozitie in care cosinusii directori au o valoare l', m', n', ceea ce inseamna ca termenii dublului produs ce contine tensiunile t sunt nuli.

3. REZULTATE

Ecuatiile explicitate anterior evidentiaza foarte clar faptul ca probabilitatea de aparitie a fisurilor la nivelul contactului structurii solide cu fluidul este dedus cu criteriul Von Mises, care din punct de vedere matematic reprezinta radacina patrata a celui de-al doilea invariant al tensorului tensiunilor, care in forma carteziana este:

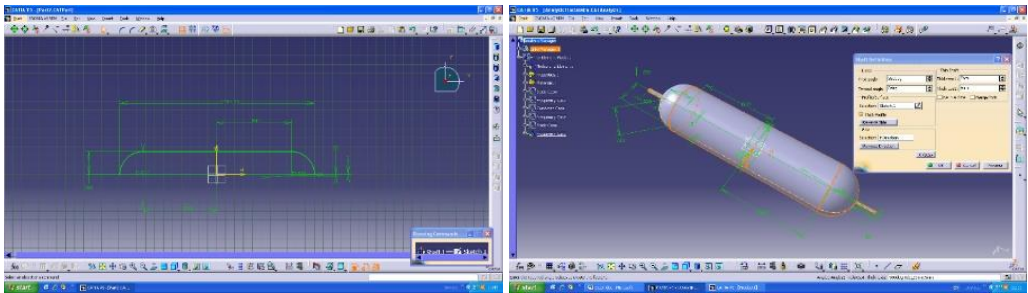
$$J_2 = \tau_{zy}^2 + \tau_{xz}^2 + \tau_{xy}^2 + \frac{1}{6} [(\tau_{yy} - \tau_{zz})^2 + (\tau_{zz} - \tau_{yy})^2]$$

Aceasta observatie deosebit de importanta a permis definirea parametrilor structurali care urmeaza sa intre in zona de simulare, in vederea predictiei caracteristicilor functionale ale materialelor composite flexibile.

Preprocesarea, procesarea – postprocesarea s-au efectuat cu ajutorul unui software specializat si: - s-au definit parametrii structurali: sistemul de unitati, sistemul de referinta, geometria structurii, materialul din care urmeaza a fi realizat structura, tipul de element pentru discretizarea structurii, tipul de analiza ce urmeaza a se efectua, conditiile pe contur; s-au vizualizat fenomenele care au loc asupra structurii compozite, fapt ce a permis determinarea intervalelor de variatie ale parametrilor structurali. [1, 3, 4] Simularea numerica s-a bazat pe teoriile mecanicii mediilor continue, deci structura a fost considerata mediu continuu, impermeabil ce umple un anumit domeniu din spatiu, astfel incat in fiecare punct geometric al acestuia se afla cate un punct material al mediului.

Idealizarea conturului a fost posibila cu ajutorul aplicatiei de schitare (sketcher) din cadrul sistemului integrat. Forma elementului 2D care va constitui punctul de plecare pentru modelul 3D (realizat cu modulul Part Design) ce urmeaza a fi supus analizei structurale este prezentata in Figura 4.

Cu ajutorul modulului Assembly Design au fost pozitionate elementele de legare dintre elementele flotante. Geometria rezultata este prezentata in figura 5.



a

b

Figura 4. a. Initializare Sketcher pentru model 2D - dimensionare system;
b. Configuratia sistemului modular flotant

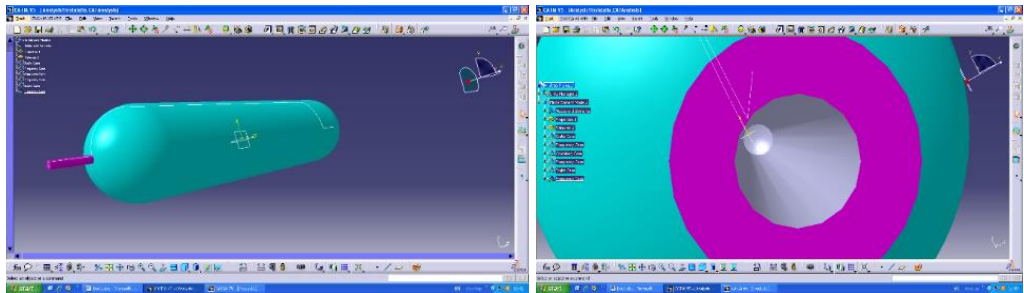


Figura 5. Ansamblul sistemului modular flotant – elemente de legare

Predictia fenomenelor si caracteristicilor functionale ale structurii compozite utilizata pentru constructia sistemelor modulare pentru dezvoltarea materialului biofiltrant a fost posibila prin utilizarea modulului Generative Structural Anaysis din cadrul pachetului software. [4,5]. Calculul si simularea au fost efectuate prin utilizarea FEM, si prin stabilirea valorilor elementelor constituyente ale retelei de discretizare, conditiile de calcul fiind cele specifice unei stari de agitatie a marii de 5° Beaufort pana la 10° Beaufort, respectiv:

- viteza vant: 16 – 20 kt (29-38 km/h) – pentru 5Bf;
- viteza vant: 48 – 55 kt (89 - 102 km/h) – pentru 10Bf;
- starea marii: valuri - 2.5 m, cu creste ce se sparg – pentru 5Bf;
- starea marii: inaltime val -12m, vizibilitate redusa – pentru 10Bf;
- pe pamant: varfurile copacilor se misca - 5Bf;
- pe pamant: copacii sunt scosi din radacina, cladirile sunt afectate – pentru 10Bf

Cu ajutorul solver-ului programului s-a determinat: deformarea structurii sub efectul presiunii dinamice (fig. 6), valorile nodale Von Mises (fig. 7) si distributia vectorilor de deplasare (fig. 8). Starea de tensiune (eventualele fisuri) la nivelul contactului structurii textile cu fluidul a fost predictionata utilizand criteriul Von Mises.

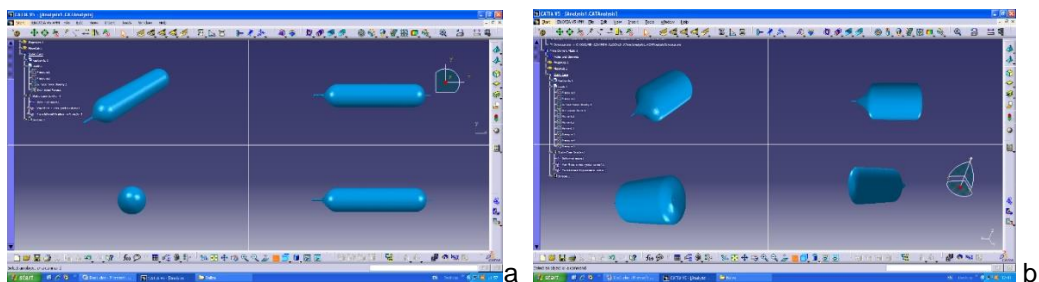


Figura 6. Deformarea sistemului modular flotant a. la 5Bf; b. la 10Bf

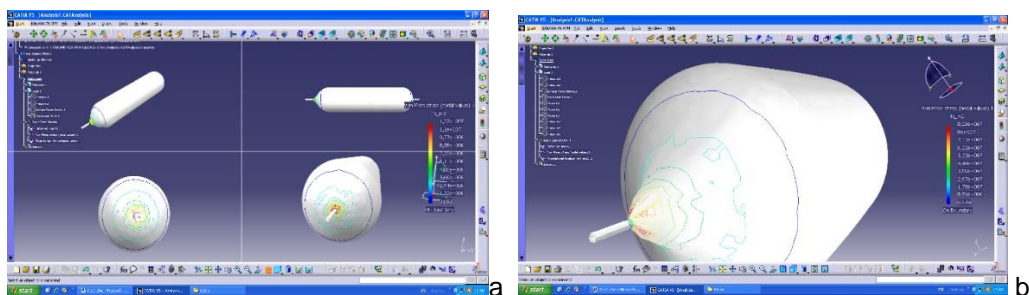


Figura 7. Von Mises (valori nodale) ale sistemului modular flotant
a. $[0.018; 1.01e+002]$ N_m2 - la 5Bf; b. 10Bf $[0.649; 8.89e+007]$ N_m2

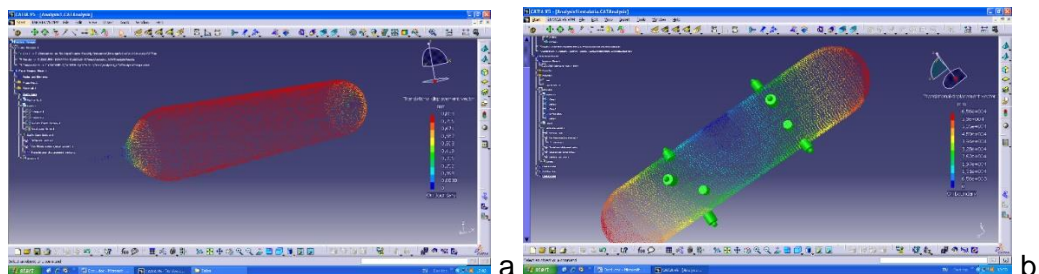


Figura 8. Vizualizare vectori de deplasare : directie val - catre tarm, directie vant. SE
a. la 5Bf; b. la 10Bf

Valorile obtinute evidentiaza faptul ca structura compozita va rezista actiunii vantului si valurilor pentru o stare de agitatie a marii de la 5 la 10 Bf.

4. CONCLUZII

Predictionarea fenomenelor si a caracteristicilor functionale ale structurii compozite utilizata pentru constructia sistemelor modulare pentru dezvoltarea materialului biofiltrant s-a realizat cu ajutorul unui software specializat care permite fixarea

parametrilor de calcul, realizarea calculelor efective, prelucrarea, vizualizarea si exportul datelor numerice.

Elementele teoretice evidentiata mai sus, precum si ecuatiile determinate pentru, descrierea comportarii sistemului modular au dus la concluzia ca entitatile matematice care descriu acest fenomen pe parcursul solicitarilor dinamice care au loc in momentul utilizarii sistemului sunt reprezentate de tensori.

Materialul compozit va rezista unui scenariu pentru o stare de agitatie a marii de 10Bf, daca se vor realiza structuri compozite cu materice tesatura din fire high-tech, pentru care rezistenta admisibila se fie de ordinal $e+007N_m2$, pentru aceasta geometrie modelata. Alte tipuri de geometrii pot impune valori superioare acesteia (de ex. in cazul frustum, octaedru, decaedru etc.).

Acknowledgment. This scientific paper is funded by the Ministry of Research, Innovation, Digitalisation within Program 1 - Development of the national RD system, Subprogram 1.2 - Institutional Performance - RDI excellence funding projects, Contract no. 4PFE/2021.

5. References

1. L.Dragos – Starea de tensiune, Editura tehnica, 2008, p.312
2. Ghionea, I. C.: Proiectare asistata in CATIA V5. Elemente teoretice si aplicatii, Ed. Bren, (2015).
3. Shankhadeep, D., Bai, H., Wu, C., Barney, B., Kidd, M., Kuettel, M: Improving the performance of industrial clarifiers using three-dimensional computational fluid dynamics, *Engineering Applications of Computational Fluid Mechanics*, 10 (1), 130-144 (2016)
4. Guermond J L, Mineev P and Shen J 2006 An overview of projection methods for incompressible flows *Comput. Methods Appl. Mech. Engrg.* **195** p 6011
5. Becker R and Rannacher R 2001 *Acta Numerica* (Cambridge: Cambridge University Press)