

ANALIZA CU ELEMENT FINIT A DEFORMAȚIILOR ȘI TENSIUNILOR ÎN MANIVELA MECANISMULUI DE ROTIRE A PALETELOR ROTORULUI TURBINEI DE TIP KAPLAN

FEM ANALYSIS OF STRESSES AND DEFORMATIONS ON THE LEVER OF RUNNER BLADE MECHANISM FROM KAPLAN TURBINES

Camelia JIANU

Universitatea „Eftimie Murgu” Reșița
Facultatea de Mecanică și Ingineria Materialelor
Str. Traian Vuia, Nr. 1-4, 320085 Reșița, Romania
Colegiul Tehnic Reșița
B-dul Al. I. Cuza, nr. 39, Reșița, Romania
e-mail: jianu_camelia@yahoo.com

Rezumat. Utilizarea metodelor moderne de proiectare asistată de calculator și analiza comportării piesei la solicitări impuse prin metoda elementului finit, pune în mână inginerului instrumentul necesar de lucru pentru optimizarea proiectării, cu efecte puternic pozitive referitoare la cunoașterea răspunsului piesei la solicitările impuse și a deformației pieselor, reducerea greutății, detectarea zonelor critice. Acest fapt contribuie la creșterea încrederii inginerilor în soluția rezultată și permite luarea unor decizii de proiectare în cunoștință de cauză. Această lucrare folosește metoda elementului finit (FEM), utilizată pentru a calcula valorile tensiunilor și deformațiilor pentru turbinele Kaplan, folosind programul de simulare SolidWorks și software-ul Motion SolidWorks.

Cuvinte cheie: Kaplan, turbină, manivelă, tensiuni, deformații, metoda elementului finit

Abstract. Using modern computer aided engineering and analysis of the part's behavior on the imposed strains through the finite element method, gives the engineer the needed tools to optimize the design phase, with powerful positive effects on finding the response of the part under load and the bending of the parts, lowering the weight and finding out the critical parts. This in turn increases the engineer's confidence in the process, thus leading to better design decisions. This paper uses the finite element method (FEM) in order to calculate the values of strains and stresses for the Kaplan turbine with the help of the Solidworks and SolidWorks Motion simulation softwares.

Keywords: Kaplan, turbine, lever, stress, deformations, finite element method

1. INTRODUCERE

Determinarea eforturilor interioare în punctele corpului solid constituie una din problemele rezistenței materialelor. Dacă se cunosc valorile eforturilor interioare, se pot stabili care sunt cele mai solicitate puncte ale corpului solid, și pe această bază se poate aprecia dacă corpul solid rezistă sau nu acțiunii sarcinilor aplicate. În acest mod devine posibilă stabilirea dimensiunilor corpului solid, astfel încât rezistența lui să fie asigurată [1], [2].

Proiectarea unui produs se realizează pe baza unor scheme de funcționare, alegerea judicioasă a materialelor pieselor componente, determinarea dimensiunilor optime pe baza calculului de rezistență, întocmirea desenului de ansamblu și a desenelor de execuție. Criteriile care stau la baza alegerii soluției constructive și funcționale optime sunt: siguranța

în exploatare, consumul de material și energie și o tehnologie de fabricație care asigură un raport calitate/preț foarte bun [3].

2. DETERMINAREA FORȚEI DE ACȚIONARE DIN BIELĂ, UTILIZÂND PROGRAMUL SOLIDWORKS MOTION

Forța de acționare din bielă a rezultat din studiul cinetostatic al mecanismului. S-a considerat un motor liniar, cu o lege de mișcare determinată din cercetările efectuate pe turbine și aplicat pe suprafața plană a furcii mecanismului de reglare, în sensul închiderii paletelor.

În figura 1 se prezintă un detaliu de cursă studiată a pistonului servomotorului rotorului.

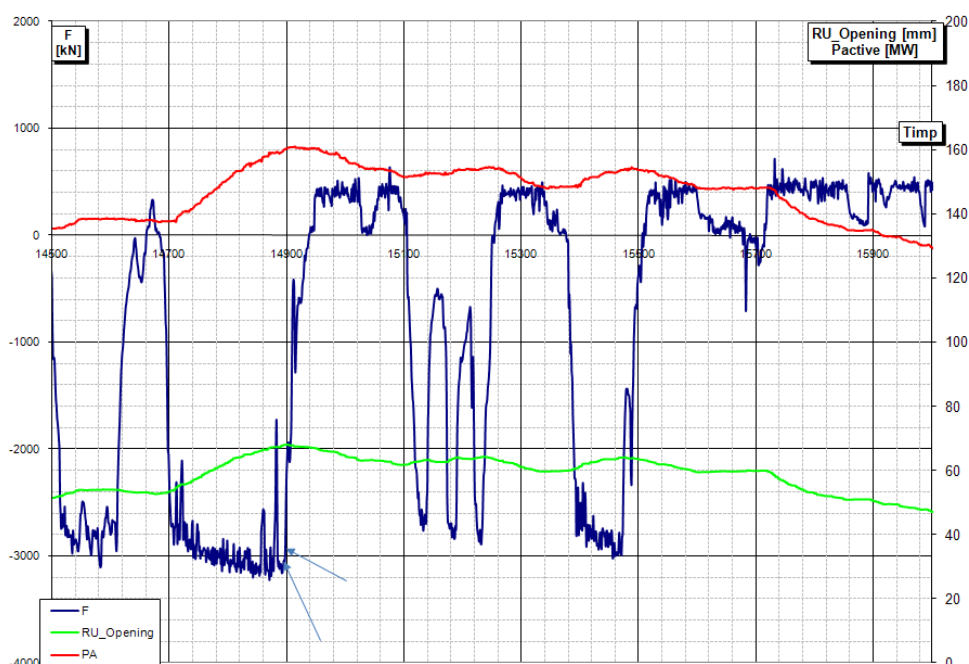


Fig. 1. Detaliu cu punctele de start și sfârșit de cursă studiată [4]

Notațiile din figura 1 reprezintă următoarele mărimi:

F–forța de acționare din bielă, în kN;

RU_Opening–cursa servomotorului rotorului, în mm;

PA–puterea activă a hidroagregatului, în MW.

În figura 2 este prezentată simularea mișcării mecanismului de reglare a unei palete rotorice. În vederea simulării mișcării mecanismului, se introduc parametrii de simulare necesari, în acord cu datele de proiectare [5].

Analiza cu element finit a deformațiilor și tensiunilor în manivela mecanismului de rotire a paletelor rotorului turbinei de tip Kaplan

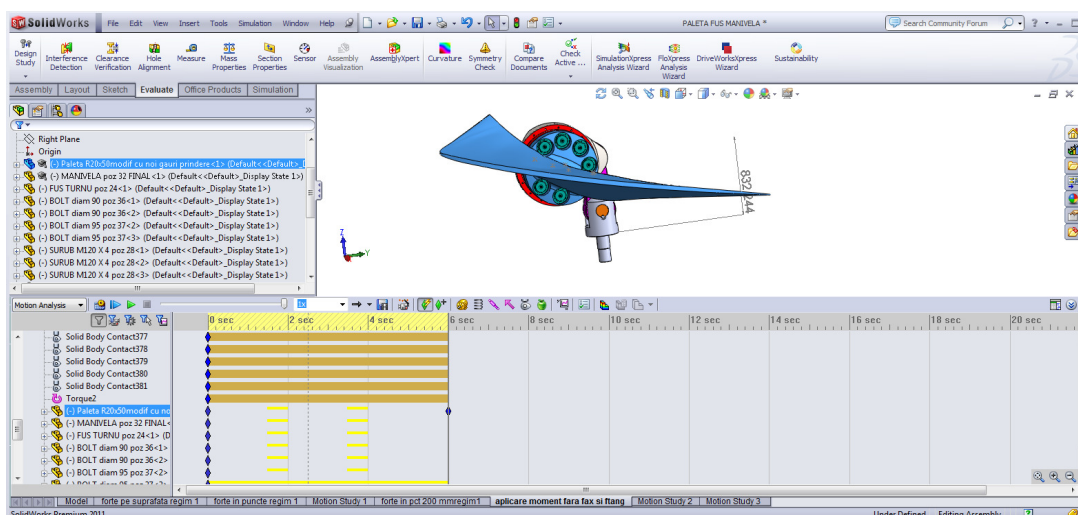


Fig. 2. Utilizarea modulului analizei mișcării, pentru studiul cinematic și cinetostatic al mecanismului de reglare al paletelor

Deplasarea pistonului servomotorului în funcție de timp, rezultate din experimentări realizate în hidrocentrală, este definită în SolidWorks Motion printr-un motor liniar-LinearMotor

În analiza mișcării, bușele care materializează lagărele sunt considerate fixe. Ansamblul a fost modelat utilizând constrângeri geometrice și dimensionale.

Pentru acest studiu SolidWorks Motion, nu sunt necesare condiții limită. Condițiile limită sunt definite în mod obișnuit în modulul SolidWorks Simulation, într-un studiu static (forțe constante) sau dinamic (forțe variabile), pentru a realiza analiza cu element finit [4].

3. FORȚELE CARE ACȚIONEAZĂ ASUPRA FURCII ȘI PALETEI

Forțele care acționează asupra furcii și paletii sunt:

- forța de acționare F_a a pistonului servomotorului (pe suprafața furcii)–rezultată din SolidWorks Motion, figura 3;
- forța axială pe paletă $F_{AH}=878.642$ [N]–pentru regim 1, respectiv 762.300 [N] pentru regim 2, rezultate din probe pe model;
- forța tangențială pe paletă $F_T=381.508$ [N]–rezultată din putere;
- acțiunea forțelor F_{AH} , respectiv F_T s-a înlocuit cu momentul M_r , care acționează pe suprafața flanșei paletii;
- forța de greutate G a ansamblului paletă–fus–manivelă;
- forța centrifugă asupra ansamblului manivelă–fus–paletă $F_C=1.009.000$ [N].

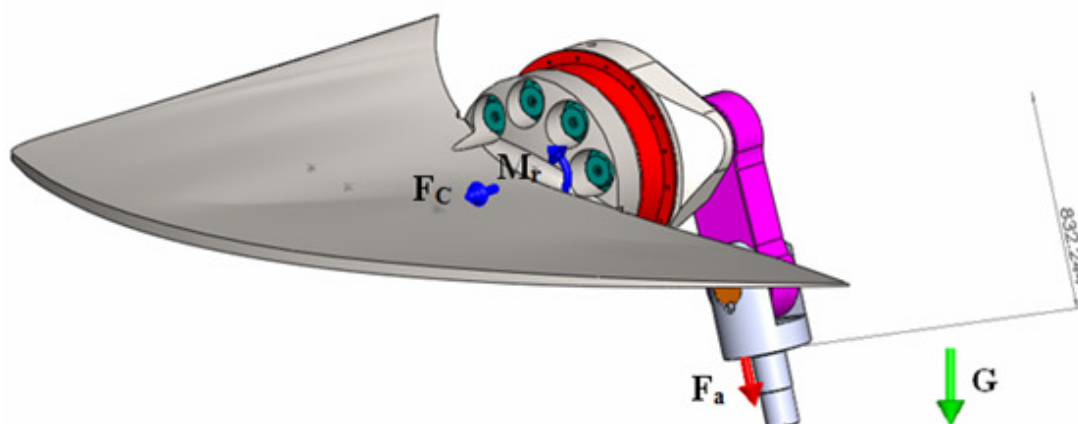


Fig. 3. Forțe și momente care acționează asupra furcii și paletii, regim 1 și regim 2

Forța de acționare a pistonului servomotorului este aplicată pe suprafața plană a furcii, cu care se realizează contactul cu pistonul. Variația modului acestei forțe, necesare pentru a realiza legea de mișcare impusă, este furnizată de către SolidWorks Motion, figura 4, pentru regimul 1, respectiv regim 2, figura 5.

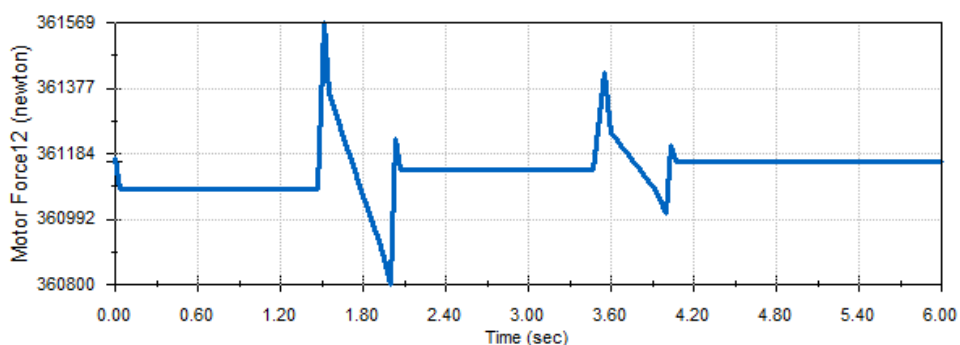


Fig. 4 Variația forței de acționare F_a a pistonului servomotorului, pentru regimul 1

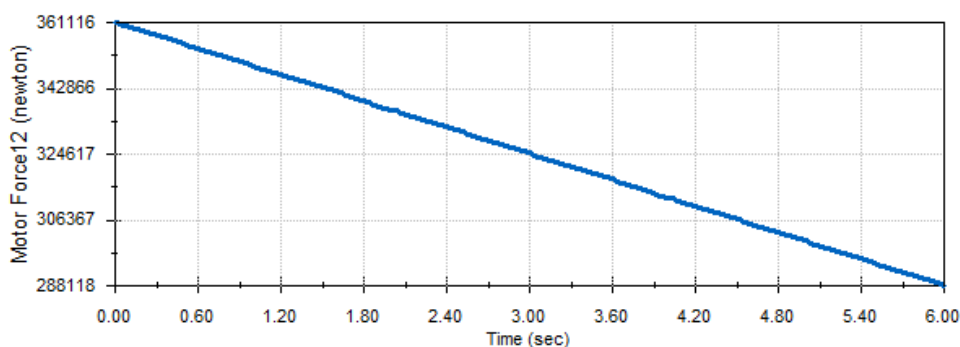


Fig. 5. Variația forței de acționare F_a a pistonului servomotorului, pentru regimul 2

4. SCHEMA DE SOLICITARE A MANIVELEI MECANISMULUI DE REGLARE, PENTRU ANALIZA CU SOLIDWORKS SIMULATION

Analiza cu SolidWorks Simulation presupune preluarea forței rezultante pentru componenta manivelă, pentru cel mai defavorabil caz al analizei cinematice, și anume pentru cea mai mare valoare a acesteia. În cazul de față, aceasta corespunde valorii maxime a forței de la servomotor de 361.569 N pentru regimul 1, respectiv 361.116 N pentru regimul 2. După exportul solicitărilor din Motion, se deschide piesa respectivă în modulul Simulation, unde se completează cu condițiile la limită și anume prinderile acesteia în cadrul ansamblului.

Există situații în care rezultatele locale ale unei componente nu interesează în analiză, dar efectul componentei asupra restului modelului nu poate fi neglijat. În aceste situații funcția componentei este numai de transfer a încărcărilor spre restul modelului. Simularea unei asemenea situații se realizează înlăturând componenta care nu interesează în analiză și aplicând încărcări și/sau restrângeri la distanță asupra restului modelului [6]. Aceasta conduce la o simplificare a modelului, fără prea mari erori numerice. Deci, încărcările la distanță sunt aplicate în locații exterioare modelului și efectul lor se transferă asupra modelului [7].

Încărcările la distanță (forțe și/sau momente) sunt aplicate în puncte definite prin coordonate X, Y, Z raportat la un sistem de coordonate. Programul calculează și aplică automat forțele echivalente fețelor selectate. O forță aplicată într-un punct la distanță își transferă efectul printr-o forță și un moment echivalent aplicate feței selectate.

În cazul prezentei analize, componenta de interes este manivela și componentele a căror efect va fi înlocuit prin încărcări la distanță sunt fusul și paleta. Aceasta conduce la o precizie mai mare de calcul, deoarece se evită discretizarea componentelor înlăturate, conservându-se însă acțiunea acestora asupra manivelei.

Încărcările ce acționează asupra manivelei sunt prezentate în figura 6 și valorile sunt centralizate în tabelul 1.

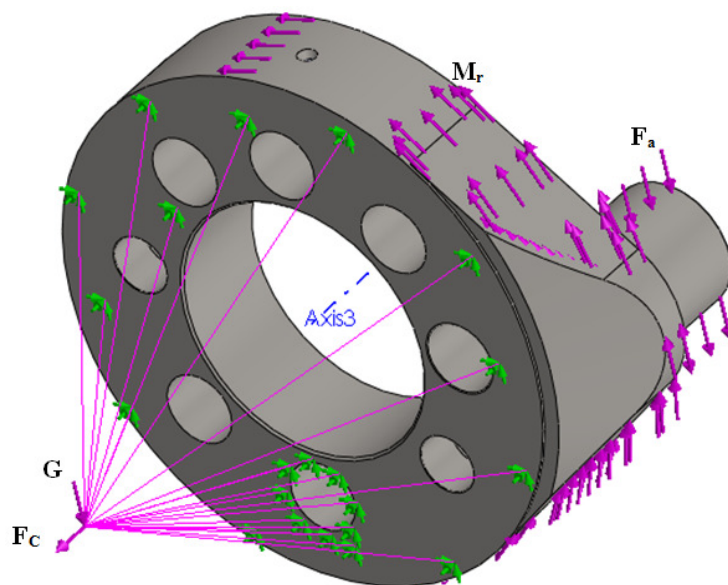


Fig. 6 Schema de solicitare a manivelei existente pentru analiza cu Solidworks Simulation

Tabelul 1

Încărcări aplicate asupra manivelei existente			
Forța centrifugă [N]			1.009.000
Forța de greutate paletă – fus – manivelă [N]			51.750
Regim	H [m]	Moment hidraulic M_r [Nm]	Forța servomotor F_a [N]
1	28,2	154.828,5	361.569
2	24	123.783	361.116

5. REZULTATELE ANALIZEI CU SOLIDWORKS SIMULATION PENTRU MANIVELA EXISTENTĂ A MECANISMULUI DE REGLARE

Rezultatele pot fi consultate sub formă grafică (hărți de culori și diagrame), respectiv valori numerice și depind de tipul de analiză efectuat, descrise succint în cele ce urmează.

În urma analizei prin metoda elementelor finite cu software-ul SolidWorks Simulation s-a obținut următoarea distribuție a tensiunilor, deplasărilor, deformațiilor și coeficientului de siguranță pentru piesa manivelă, prezentată în tabelul 2, tabelul 3, pentru cazul cel mai defavorabil–discretizare curvatură mesh, 423.848 elemente finite.

Tabelul 2

Rezultate numerice obținute în urma analizei statice cu SolidWorks Simulation a manivelei încărcate cu moment hidraulic M_r , regim 1

Tipuri discretizare	Tensiune $\sigma_{\text{von Mises}}$ [MPa]	Deplasare rezultantă δ (URES) [mm]	Deformație echivalentă ϵ (ESTRN)	Factor de siguranță (FOS)
Discretizare curvatură based mesh, 423.848 elemente finite	177,50	$7,602 \cdot 10^{-2}$	$5,100 \cdot 10^{-4}$	1,80

Tabelul 3

Rezultate numerice obținute în urma analizei statice cu SolidWorks Simulation a manivelei încărcate cu moment hidraulic M_r , regim 2

Tipuri discretizare	Tensiune $\sigma_{\text{von Mises}}$ [MPa]	Deplasare rezultantă δ (URES) [mm]	Deformație echivalentă ϵ (ESTRN)	Factor de siguranță (FOS)
Discretizare curvatură based mesh, 423.848 elemente finite	171,40	$7,319 \cdot 10^{-2}$	$4,927 \cdot 10^{-4}$	1,87

Analiza cu element finit a deformațiilor și tensiunilor în manivela mecanismului de rotire a paletelor rotorului turbinei de tip Kaplan

Dependența comparativă a tensiunii von Mises de tipul de discretizare pentru cele două regimuri 1 și 2 pentru manivela existentă rezultă din figura 7.

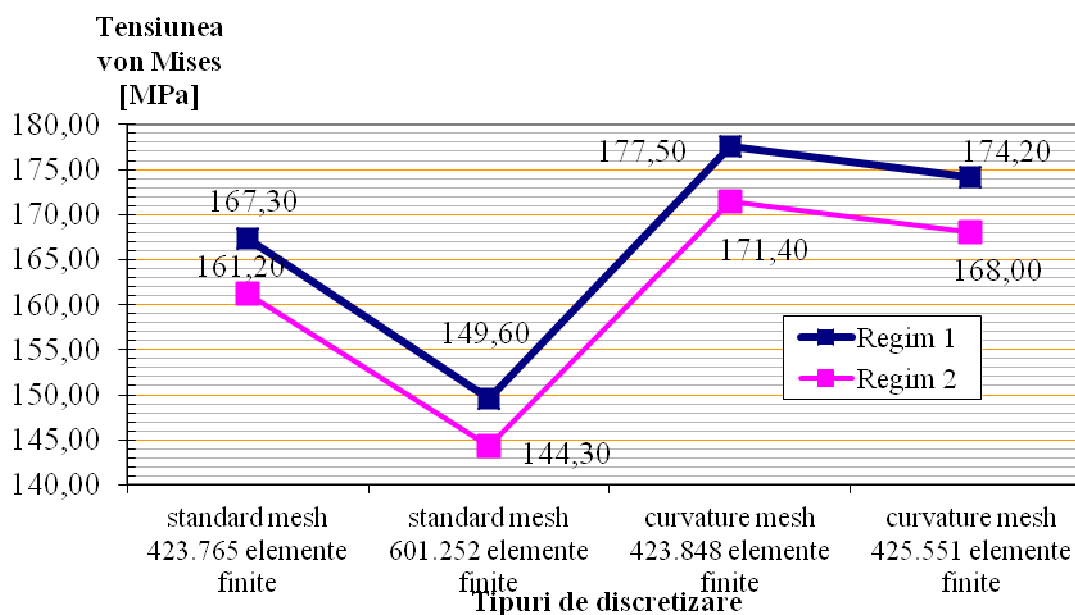


Fig. 7 Dependența tensiunii von Mises de tipul de discretizare pentru regimul 1 și 2, pentru manivela existentă

6. CONCLUZII

Calcululele de rezistență efectuate în cazul manivelei existente permit formularea următoarelor concluzii:

- Calcululele de rezistență s-au efectuat pe modelul geometric al mecanismului de reglare a paletei rotorice;
- Încărcarea paletei în modulul SolidWorks Motion, pentru calcule de rezistență, s-a făcut cu forțe rezultate din măsurătorile pe model;
- Forța de acționare din bielă a rezultat din studiul cinetostatic al mecanismului. S-a considerat un motor liniar, cu o lege de mișcare determinată din cercetările efectuate pe turbine industriale și aplicat pe suprafața plană a furcii mecanismului de reglare, în sensul închiderii paletelor.
- Acțiunea forțelor F_{AH} , respectiv F_T în studiul cinetostatic al manivelei existente s-a înlocuit cu momentul hidraulic M_r , care acționează pe suprafața flanșei paletei, cu sensul pozitiv, spre închiderea paletei;
- Cazul cel mai defavorabil, cu cele mai mari valori ale tensiunii von Mises și ale alungirii maxime, s-a obținut pentru discretizarea de tip curvature based mesh;
- Încărcările aplicate asupra manivelei existente sunt: directă (F_a și M_r), respectiv la distanță (G și F_C);
- Calcululele s-au efectuat pentru două regimuri 1 și 2.
- În urma analizei structurale s-a obținut o tensiune maximă localizată în zona de racordare dintre buton și corpul manivelei

• Pentru regimurile de funcționare luate în calcul, fără o solicitare la oboseală a materialului butonului manivelei, tensiunile rezultate sunt în limite admisibile, piesa prezentând un factor de siguranță minim de 1,80 în zona butonului.

BIBLIOGRAFIE

- [1] **T. Babeu**, *Rezistența materialelor vol I si II*, I.P.T.V. Timișoara, 1982;
- [2] **G. Sofonea, A.M. Pascu**, *Rezistența materialelor, vol. I*, Editura Universității „Lucian Blaga”, Sibiu, 2007, ISBN (13) 978-973-739-362-3
- [3] **A. Dimofte, B. Ioniță**, *Rezistența materialelor I. Solicitățile barelor. Elasticitate*, Editura Fundația Universității “Dunărea de Jos”, Galați, 2007, ISBN 978-973-672-355-1;
- [4] **C.V. Câmpian**, *Forțele care apar pe bușele mecanismului de reglare al bușelor paletelor rotorului turbinei de la CHE Porțile de Fier I*, Raport Tehnic nr. U-10-400-325, august 2011
- [5] **D. Nedelcu**, *Proiectare și simulare numerică cu SolidWorks*, Editura Eurostampa, Timișoara, 2011, ISBN 978-606-569-276-3
- [6] **M. Shahid, P.K. Das**, *Structural Reliability and Finite Element Methods, Shock and Vibration* IOS Press, volume 6, Amsterdam, The Netherlands, 2008, pp 281÷300, ISSN 1070-9622
- [7] **T.Ș. Mănescu, D. Nedelcu**, *Analiză structurală prin metoda elementului finit*, Editura Orizonturi Universitare, Timișoara, 2005, ISBN 973-638-217-6