

# DEFORMAȚII ȘI TENSIUNI ÎN MANIVELA TURBINEI KAPLAN, CALCULATE CU ANALIZE DINAMICE ȘI METODA ELEMENTULUI FINIT

## STRESSES AND DEFORMATIONS ON KAPLAN LEVER TURBINE CALCULATED WITH DYNAMIC ANALYSIS AND BY FINITE ELEMENTS METHOD

Camelia JIANU<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitatea „Eftimie Murgu” Reșița  
Facultatea de Mecanică și Ingineria Materialelor  
Str. Traian Vuia, Nr. 1-4, 320085 Reșița, Romania  
E-mail: jianu\_camelia@yahoo.com

**Rezumat:** Mecanismul de rotire a paletelor turbinei Kaplan are o geometrie foarte complexă, datorită formei paletei cu grosime variabilă și a componentelor mecanismului de rotire a acesteia. Metodele analitice oferă un calcul laborios al tensiunilor și deformațiilor. Pot fi folosite metode experimentale, dar cu costuri scumpe pentru modelul paletei și pentru dispozitivele tehnice de măsurat. Ca o alternativă, pot fi folosite metodele numerice, metoda elementului finit. Această lucrare descrie pas cu pas 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, analiză dinamică.

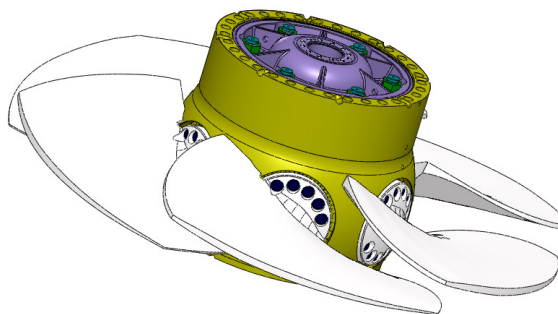
**Abstract:** In the mechanism for rotating the Kaplan turbine blades is a very complex geometry due to the blade shape with variable thickness and construction scheme adopted, link-lever mechanism. Analytical methods offer an appreciative calculus of the stress. Experimental methods can be used, but with expensive costs for blade model and technical measurements devices. As an alternative, numerical finite element method can be used. This paper describes step by step the finite element method (FEM) used to calculate deformation and stress values for the Kaplan turbine lever, using mixed SolidWorks Simulation and SolidWorks Motion software.

**Keywords:** Kaplan, turbine, lever, stress, deformations, finite element method, dynamic analysis.

### 1. INTRODUCERE

Asamblul turbinei Kaplan are o geometrie 3D complexă, fig. 1, generată în SolidWorks [1], [2]. Software-ul de simulare a mișcării poate fi utilizat pentru a studia deplasarea, viteza și accelerația componentelor în mișcare [3].

În plus, software-ul de simulare propus oferă, de asemenea, forțele/momentele care acționează pe fiecare componentă a mecanismului de reglare a paletelor rotorului turbinei Kaplan. Reacțiunile și forțele care acționează pe fiecare componentă pot fi exportate în SolidWorks pentru analize de tensiuni și deformații [4].



**Fig. 1. Geometria 3D a ansamblului turbinei Kaplan**

## 2. ANALIZA STATICĂ ȘI DINAMICĂ

Etapele necesare pentru a efectua analize statice și dinamice sunt: importarea geometriei modelului, selectarea analizei Motion, stabilirea componentelor fixe și mobile ale mecanismului studiat, specificarea timpului de simulare, executarea simulării propriu-zise, vizualizarea rezultatelor și transferul forțelor în software-ul de simulare SolidWorks Simulation pentru determinarea tensiunilor [5].

Înainte de a începe evaluarea cinematică mecanismului, fusul paletelor trebuie să fie fixat în bușele butucului rotorului.

## 3. DATE INIȚIALE

Datele de intrare pentru analiza cu SolidWorks sunt următoarele :

- Timpul de studiu al ansamblului a fost de 6 secunde;
- Cursa de translație a bielei de-a lungul axei mașinii, prezentată grafic (fig. 2) și în tabelul 1[6].

*Tabelul 1*

**Cursa de translație a bielei de-a lungul axei mașinii**

Timpul (s)	Deplasarea (mm)	Timpul (s)	Deplasarea (mm)
0.00	0.00	3.50	1.40
0.50	0.00	4.00	2.05
1.00	0.00	4.50	2.05
1.50	0.00	5.00	2.05
2.00	1.40	5.50	2.05
2.50	1.40	6.00	2.05
3.00	1.40		

Ca și element de antrenare a fost considerată cursa bielei turbinei Kaplan, care s-a introdus în cadrul analizei prin intermediul unui motor liniar cu lege de mișcare descrisă tabelar, funcție de timp. Sistemul va crea o interpolare liniară prin aceste valori și va impune o lege de mișcare continuă elementului conducător care este butucul paletelor turbinei, tabelul 1. Motorul liniar va acționa pe suprafața furcii mecanismului de reglare a paletelor, fig. 3.

Deformații și tensiuni în manivela turbinei Kaplan, calculate cu analize dinamice și metoda elementului finit

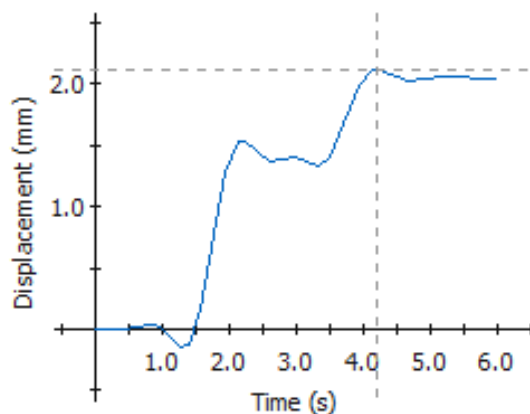


Fig. 2. Cursa de translație a bielei de-a lungul axei mașinii-reprezentare grafică

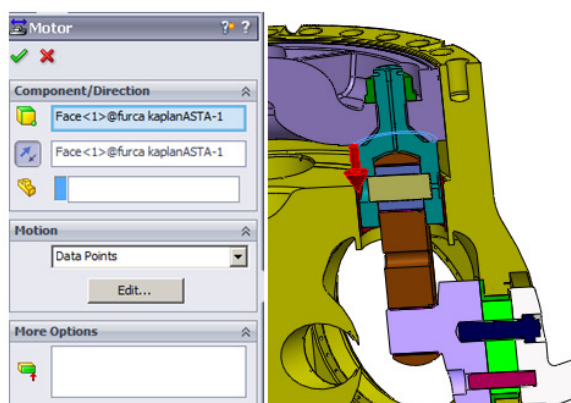


Fig. 3. Forța de acționare a motorului liniar

Solicitările (încărcările) aplicate pe paleta turbinei sunt:

- forța tangențială,  $F_T=1238,2$  kN;
- forța centrifugă,  $F_C=3992,315$  kN;
- forța axială,  $F_A=1845,656$  kN.

Schema de încărcare este prezentată în fig. 4, [6].

Alte elemente introduse în cadrul analizei cinematice sunt forța gravitațională după direcția OY. S-a considerat în calcul un coeficient de frecare de 0,2 între bucșe și piesele conjugate.

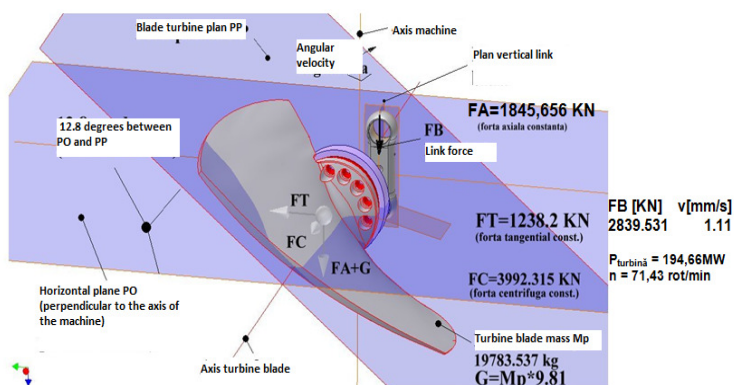


Fig. 4. Schema de solicitare a paletii turbinei

#### 4. ANALIZA STRUCTURALĂ

Se efectuează simularea și apoi se transferă solicitările stabilite din SolidWorks Motion către SolidWorks Simulation pentru o analiză structurală, fig. 5.

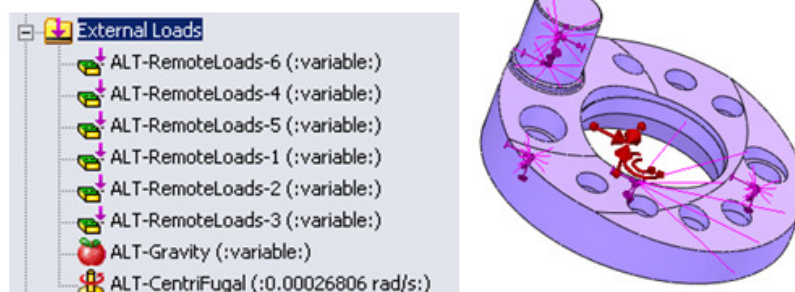


Fig. 5. Schema de solicitare a manivelei mecanismului de reglare a paletelor

#### 5. DETERMINAREA TENSIUNILOR ȘI DEFORMAȚIILOR

Analiza statică liniară calculează deplasări, tensiuni, forțe de reacțiune sub efectul unei sarcini aplicate [7], [8].

Etapele necesare pentru a efectua analize statice sunt: importarea geometriei modelului, definirea materialului, definirea restricțiilor adecvate, a discretizărilor, calculul de analiză și vizualizarea rezultatelor [9].

Un studiu este complet definit de tipul de analiză, de materialul componentei studiate, sarcini și condiții la limită, precum și de tipul de discretizare. Deci, este posibil să se creeze un număr de studii cu diferite materiale, sarcini, condiții la limită și discretizări.

Pentru această analiză, vom selecta opțiunea static ca tip analiză, opțiunea solid pentru tipul de discretizare și solverul FFE [9].

Pentru analiza de tip static, este necesar să se definească caracteristicile materialului: modulul de elasticitate  $E$  și coeficientul lui Poisson  $\nu$ , de asemenea, densitatea trebuie definită atunci când se analizează efectul gravitației și / sau încărcare centrifugală, cum ar fi în cazul nostru. Selectarea unui material din biblioteca SolidWorks, impune atribuirea în mod automat a acestor proprietăți, tabelul 2.

Tabelul 2

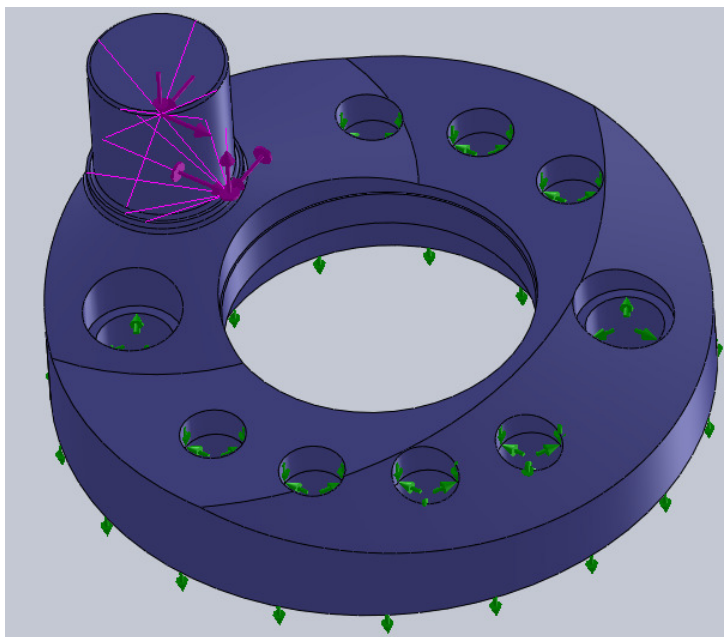
**Proprietăți ale materialului manivelei**

Caracteristica	Valoarea	Unitatea de măsură
Denumire material	OLC45	
Modulul de elasticitate	$2,1 \cdot 10^{11}$	$N/m^2$
Coeficientul lui Poisson	0,28	
Densitatea	7700	$kg/m^3$
Rezistența la rupere	$7,2383 \cdot 10^8$	$N/m^2$
Limita de curgere	$6,2042 \cdot 10^8$	$N/m^2$

## Deformații și tensiuni în manivela turbinei Kaplan, calculate cu analize dinamice și metoda elementului finit

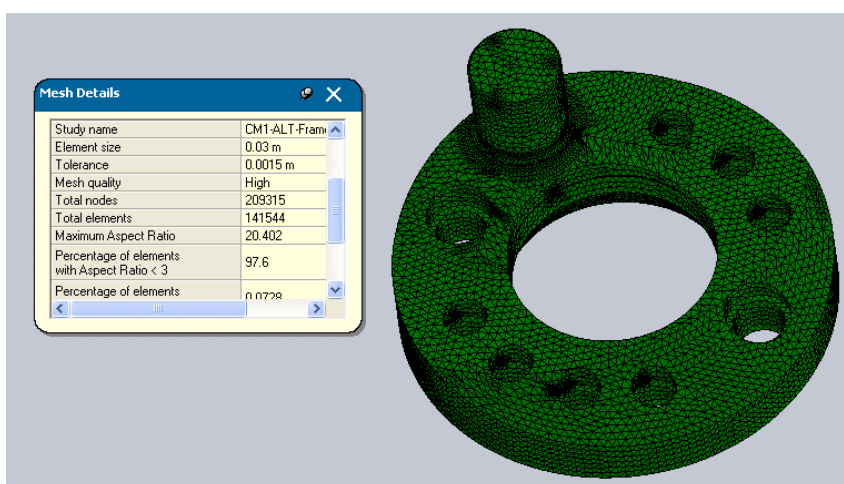
Se introduc următoarele constrângeri pentru a reconstitui prinderile piesei în cadrul ansamblului:

- Pe suprafața inferioară, de contact cu fusul se vor anula gradele de libertate pe direcție perpendiculară la suprafață;
- Pe suprafața cilindrică a găurilor de șurub se va introduce o constrângere de tip balama, care permite numai răsucirea în jurul axelor găurilor, anulând restul gradelor de libertate, fig.6.



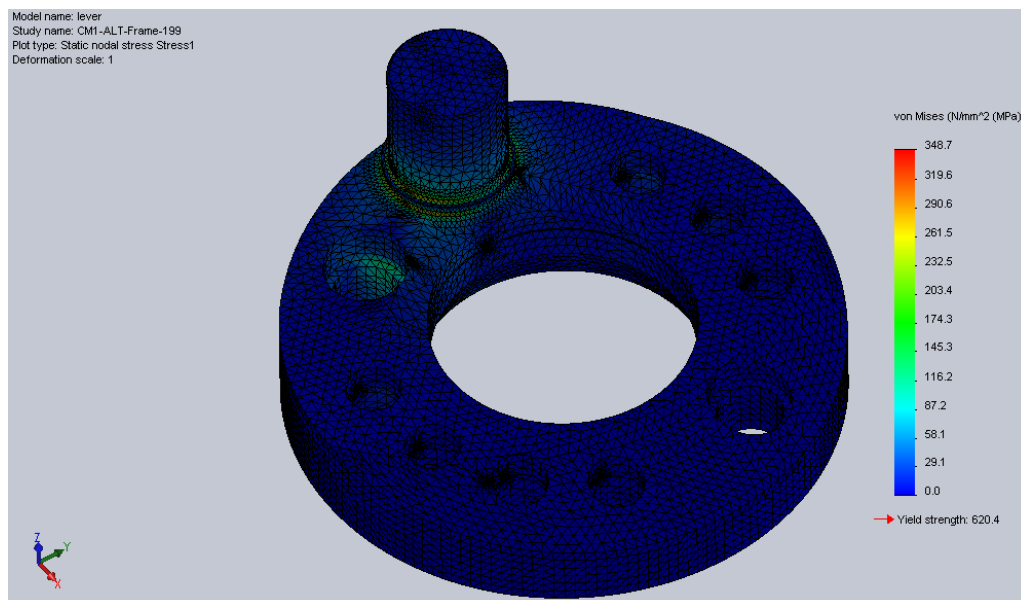
**Fig. 6. Constrângerile aplicate manivelei**

Discretizarea manivelei turbinei Kaplan s-a realizat cu o calitate ridicată, rezultând un număr de 209.315 noduri și un număr de 141.544 elemente finite, fig. 7.

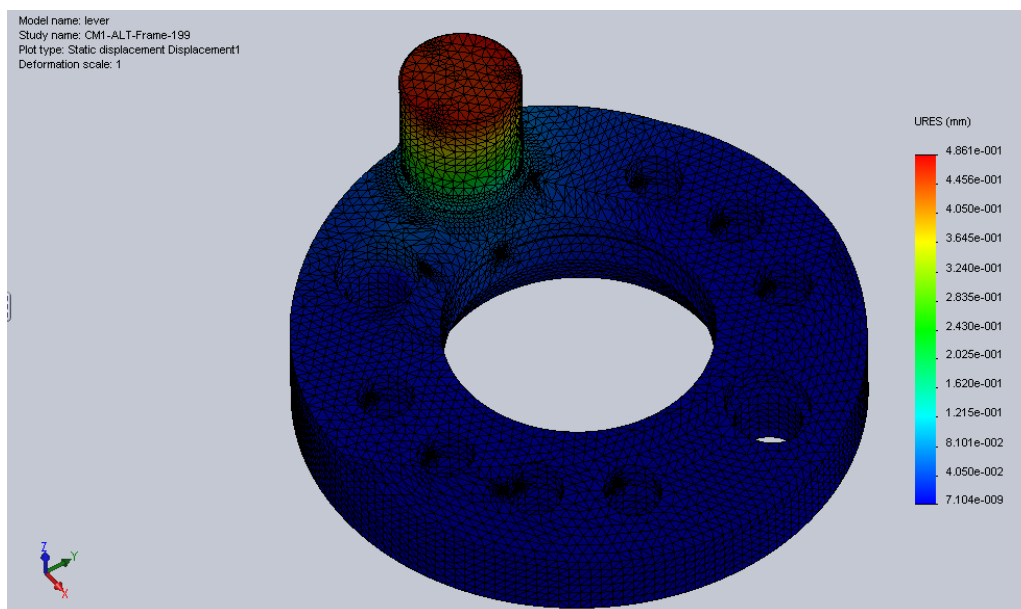


**Fig. 7. Discretizarea manivelei mecanismului de reglare a paletelor turbinei Kaplan**

După definirea unui studiu complet, rezultatele pot fi obținute prin rularea studiului de analiză. Rularea unui studiu calculează rezultatele bazate pe geometria piesei, materialul ei, sarcinile și condițiile de frontieră și tipul de discretizare. După finalizarea programului de analiză a studiului, există posibilitatea de a vizualiza rezultatele. Rezultatele finale sunt prezentate în fig. 8, fig. 9, fig. 10 și tabelul 3.

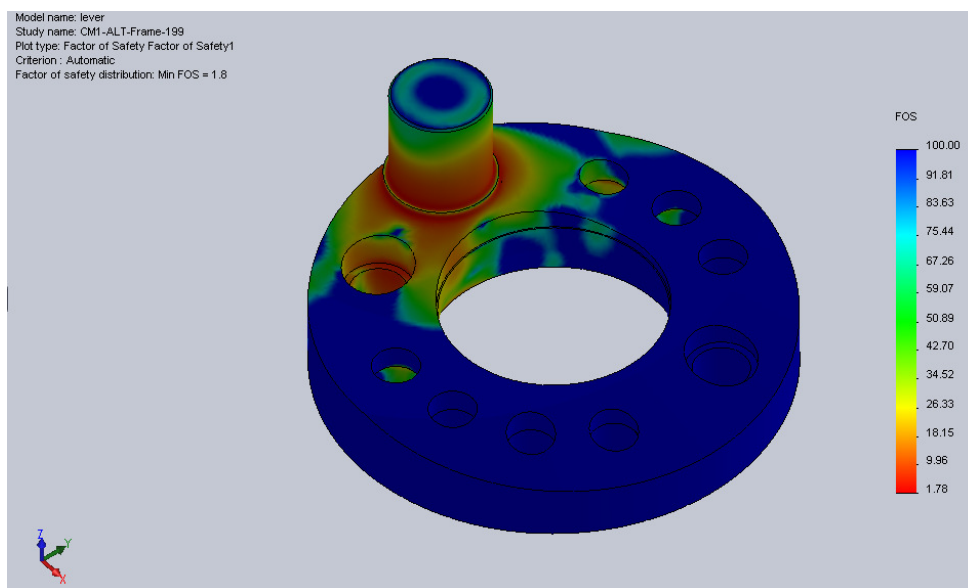


**Fig. 8. Distribuția tensiunii von Mises**



**Fig. 9. Distribuția deplasării rezultante**

## Deformații și tensiuni în manivela turbinei Kaplan, calculate cu analize dinamice și metoda elementului finit



**Fig. 10. Distribuția coeficientului de siguranță**

*Tabelul 3*

### Rezultatele analizei statice

Denumire	Unitatea de măsură	Valoare
Tensiunea von Mises	N/mm <sup>2</sup> (MPa)	348,7 Max.
Deplasarea rezultantă	mm	0,486 Max.
Coeficientul de siguranță	-	1,8 Min.

## 6. CONCLUZII

Tensiunea von Mises are valoarea maximă în zona de racordare între butonul și corpul manivelei. Valoarea maximă a deplasării este situată la extremitatea butonului manivelei.

SolidWorks Simulation și SolidWorks Motion oferă inginerilor proiectanți o soluție numerică pentru a verifica rezistența manivelei mecanismului de reglare a paletelor turbinei Kaplan. Geometria complexă a rotorului turbinei Kaplan trebuie să fie realizată cu mare precizie. Discretizarea în zonele sensibile-zone de racordări- trebuie creată mult mai fin, pentru o bună precizie a rezultatelor finale.

### Bibliografie

- [1] C. Jianu - *Computer Aided Design of Kaplan Turbine piston with SolidWorks*, Analele Universității „Eftimie Murgu”, Reșița, Anul XVII, Nr.2, 2010, pp 155÷165;
- [2] C. Jianu, A. M. Budai, C. V. Câmpian - *Computer Aided Design of the link-fork head-piston assembly of the Kaplan turbine with Solidwork*”, Analele Universității „Eftimie Murgu”, Reșița, Anul XVII, Nr.2, 2010, pp 165÷175;
- [3] W. E. Howard, J. C. Musto - *Introduction to Solid Modeling Using SolidWorks 2010*, McGraw-Hill Higher Education, 2010;



- [4] **D. Nedelcu, T. Șt. Mănescu, C. V. Câmpian** - *Finite Element Through COSMOS M/Design STAR, FME Transactions*, Volume 32, Number 1, 2004, University of Belgrade, Faculty of Mechanical Engineering, pp. 191-202;
- [5] T. Șt. Mănescu, D. Nedelcu - *Analiză structurală prin metoda elementului finit*, Editura „Orizonturi Universitare” Timișoara, 2005;
- [6] \*\*\* *Strength and lifetime duration calculus for runner blade lever of CHE Portile de Fier I turbine*, CCHAPT, Technical Report No.U-09-400-289, November, 2009;
- [7] **D. C. Planchard, M. P. Planchard** - *Commands guide Tutorial for Solidworks 2010*, SDC Publications, SchroffDevelopment Corporation, 2010;
- [8] **D. Nedelcu** - *Stress Analyse of an Admission Valve with Finite Element Method*, Analele Universității “Eftimie Murgu” Reșița, Anul XIV, Nr. 1, 2007, pp 139÷144;
- [9] \*\*\* *SolidWorks 2009 Bible*, Published by Wiley Publishing, Inc, Indianapolis, Indiana.