

CERCETĂRI ASUPRA SOLICITĂRILOR ȘI TENSIUNILOR DIN MECANISMUL DE REGLARE AL PALETTELOR TURBINELOR HIDRAULICE DE TIP KAPLAN

RESEARCHES OF THE STRESSES AND STRAINS FROM THE ADJUSTMENT MECHANISM OF HYDRAULIC KAPLAN TURBINE BLADES

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. În prezenta lucrare „Cercetări asupra solicitărilor și tensiunilor din mecanismul de reglare al paletelor turbinelor hidraulice de tip Kaplan ” se prezintă o sinteză a activității de documentare și cercetare, teoretică și experimentală.

În prezenta lucrare am cercetat mecanismul de reglare al paletelor rotorului turbinei Kaplan, atât în varianta existentă în prezent, cât și în varianta propusă pentru re tehnologizare, la solicitarea beneficiarului. Re tehnologizarea turbinei înseamnă de fapt înlocuirea rotorului actual al turbinei, rotor cu patru palete, cu unul cu cinci sau șase palete, reducând astfel încărcarea până la limita la care solicitarea de oboseală să nu mai fie periculoasă.

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

Considerând situația reală, conform căreia piesele reprezintă nu solide rigide, ci solide deformabile constituite din materiale cu proprietăți mecanice specifice, este necesar să se stabilească în mod cât mai precis efectele tuturor interacțiunilor mecanice care se exercită asupra acestora (în afara și în timpul regimului de exploatare) pentru ca, ulterior, să se poată asigura proiectarea corespunzătoare.

Complexitatea sistemelor tehnologice din ultimul secol a limitat mult aria metodelor experimentale și analitice și a condus la apariția și dezvoltarea metodelor numerice de analiză și simulare pe modele virtuale. De asemenea, descoperirile din domeniul științelor exacte și progresul înregistrat de științele tehnice au condus la apariția și dezvoltarea acestor noi metode numerice de analiză și simulare [1]. La ora actuală, este de necontestat importanța

examinării aspectelor privind starea de tensiune și deformații, încă din faza de proiectare a unei piese sau structuri, pentru a se putea ajunge la optimizarea soluțiilor constructive și tehnologice.

De-a lungul timpului, ruperi ca urmare a solicitărilor și tensiunilor au fost înregistrate și la rotoarele hidraulice, cu precădere la nivelul paletelor rotorice, dar în ultimul timp au fost detectate ruperi și la nivelul mecanismului de reglare al poziției unghiulare al acestora.

Dacă se ia în considerare dificultatea realizării, întreținerii și reparării unor părți componente ale turbinelor hidraulice cu dublu reglaj, turbinele Kaplan, agregate de dimensiuni mari, peste care se suprapune și pierderea înregistrată de compania furnizoare de electricitate prin scoaterea din uz pe perioada reparațiilor a grupurilor vizate, este ușor de înțeles necesitatea aplicării unor restricții majore vis-à-vis de garantarea duratei de viață în exploatare. În baza celor menționate anterior se poate înțelege importanța majoră a examinării aspectelor privind starea de tensiune și deformații încă din faza de proiectare pentru a se putea ajunge la optimizarea soluțiilor constructive și tehnologice.

2. MODELUL 3D AL ROTORULUI ȘI AL MECANISMULUI DE REGLARE LA TURBINA KAPLAN

După proiectarea și desenarea fiecărui element sau corp solid al dispozitivului, acestea se grupează într-un ansamblu. Elementele proiectate se leagă între ele prin cuple cinematice (constrângeri între elemente), astfel încât să asigure funcționarea și desmodromia mecanismului.

În figura 1 se prezintă elementele componente ale ansamblului rotor de tip Kaplan, construcție cu 6 palete rotorice, sintetizate în tabelul 1 [2].

Lanțul cinematic al transmiterii mișcării de la servomotor la paleta turbinei hidraulice este schematizat în figura 2:

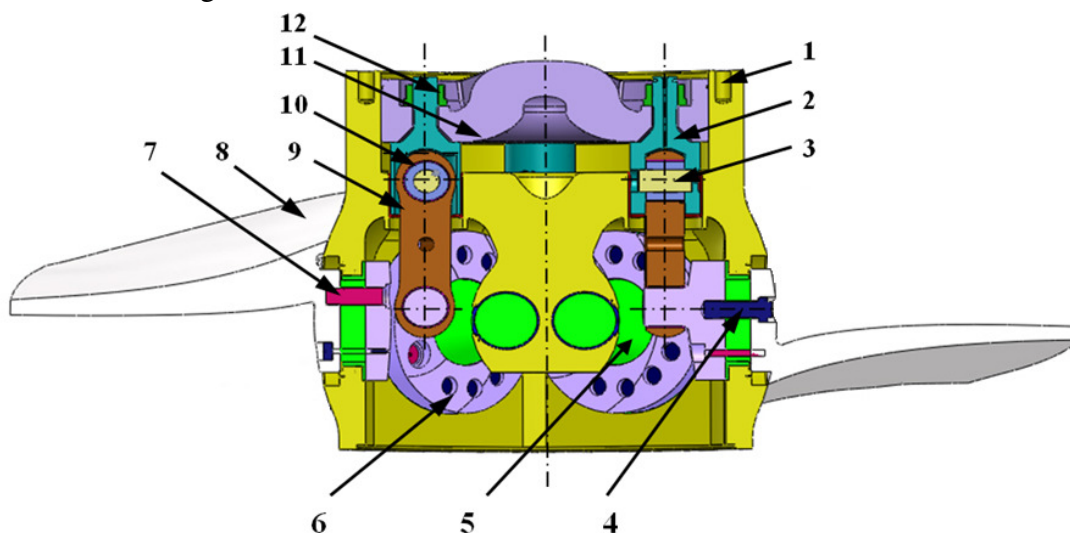


Fig. 1 Secțiune prin modelul 3D al ansamblului rotor cu planul Right Plane (secțiune longitudinală) [2]

Tabelul 1

Piese componente principale ale mecanismului de reglare a paletelor rotorice la turbina Kaplan

Poziția	Denumire piese componente	Poziția	Denumire piese componente
---------	---------------------------	---------	---------------------------

Cercetări asupra solicitărilor și tensiunilor din mecanismul de reglare al paletelor turbinelor hidraulice de tip Kaplan

1	Butuc rotor	7	Bolț Ø190
2	Furcă	8	Paletă rotor
3	Bolț	9	Bielă
4	Șurub M160x4	10	Bucea (bucșă)
5	Fus	11	Piston
6	Manivelă	12	Piuliță M225x4



Fig. 2 Lanțul cinematic al transmiterii mișcării de la pistonul servomotorului la paleta rotorică (Turbina Kaplan)

3. FORȚELE CARE SOLICITĂ MECANISMUL DE REGLARE A PALETTELOR ROTORICE LA TURBINA DE TIP KAPLAN

Exploatarea turbinelor hidraulice axiale de tip Kaplan, cu randamente maxime, presupune reglarea paletelor aparatului director și rotorice după o anumită lege care se numește legătură combinatorică. Legătura combinatorică se determină prin încercări în laborator pe modelul turbinei hidraulice și se verifică și corectează pe turbina industrială.

Turbinele Kaplan sunt prevăzute cu regulatoare automate de turație care acționează asupra paletelor aparatului director și paletelor rotorice, prin intermediul servomotorului, asigurând astfel echilibrul între cuplul motor M_t și cuplul rezistent M_g .

În figura 3 se prezintă schema forțelor care acționează asupra ansamblului fus–paletă–manivelă, atât în planul axei turbinei, cât și în planul perpendicular pe acesta.

- În cazul situației actuale existente, acțiunea forțelor F_{AH} , respectiv F_T s-a înlocuit cu momentul M_r , care acționează pe suprafața flanșei paletei;
- Acțiunea forțelor F_{AH} , respectiv F_T în cazul variantei propuse pentru re tehnologizare, se realizează în puncte, aflate la distanțele de 150 mm, 200 mm, respectiv 250 mm, pe suprafața paletei, față de axa de rotație a paletei, înspre muchia ei de ieșire. Forțele F_C , respectiv G acționează în centrul de greutate al subansamblului. Prin varianta propusă înțelegem turbina de la hidrocentrala cu rotor cu un număr de palete mai mare decât patru. Varianta finală de rotor cu 5 sau 6 palete va rezulta în urma calculului hidrodinamic.

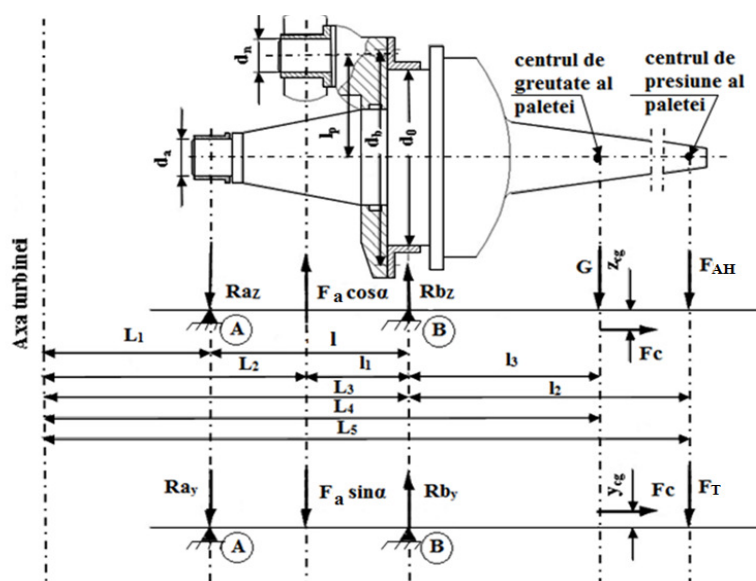


Fig. 3. Schema forțelor care acționează asupra ansamblului fus-paletă-manivelă atât în planul axei turbinei, cât și în planul perpendicular pe acesta [3]

4. SOLICITĂRI STATICE ȘI DINAMICE ALE MANIVELEI MECANISMULUI DE REGLARE A PALETELOR ROTORICE

Complexitatea turbinelor hidraulice, exploatarea lor în condiții tot mai solicitante, precum și necesitatea optimizării funcționării, face ca metodele de calcul analitice să nu mai satisfacă cerințele legate de gabarit, fiabilitate și costuri care se impun în proiectarea actuală.

Metodele numerice cele mai utilizate sunt: metoda diferențelor finite, metoda elementelor finite (MEF) și metoda elementelor de frontieră [4]. Metoda cea mai des folosită, în prezent, în analiza structurală, analiza fluidelor, analiza magnetică și analiza electrică, este metoda elementului finit. Motorul liniar, deplasarea pistonului funcție de timp, s-a determinat pe o turbină de la CHE. Acestea sunt turbine de tip Kaplan, cu regulator de turație numeric și cu hidraulică proporțională. Pentru analiză, s-au utilizat rezultate din măsurătorile efectuate în hidrocentrala dotată cu turbină de tip Kaplan, prezentate în figura 4.

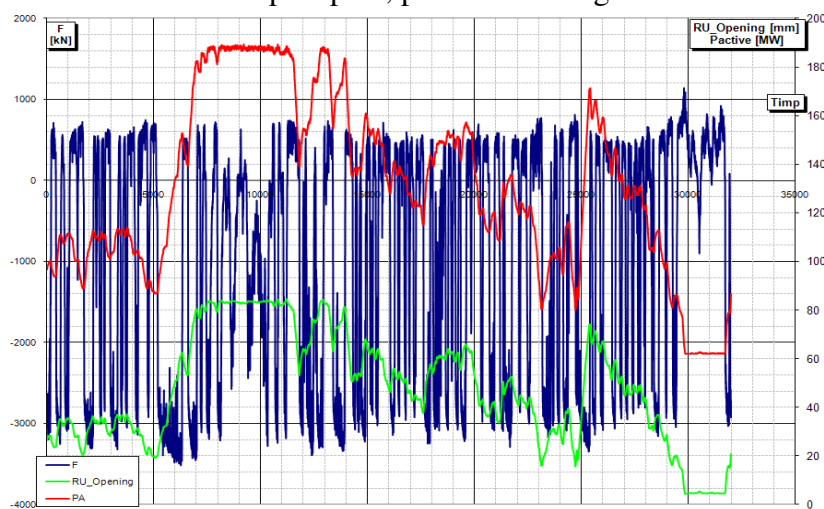


Fig. 4 Rezultatele măsurătorilor efectuate în hidrocentrală [5]

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

Calcululele se fac pentru situația cea mai dezavantajoasă, și anume închiderea paletii, deoarece momentul rezultat din forța axială și forța masică este un moment de deschidere.

Figura 5 prezintă încărcările aplicate asupra manivelei: respectiv directă (F_a) și la distanță (F_{AH} , F_T , G și F_C):

- forța de greutate G a ansamblului paletă–fus–manivelă;
- forța centrifugă F_C corespunzătoare turației 115,4 rot/min;
- forța axială pe paletă F_{AH} (împingerea axială), care rezultă din măsurători de forțe și momente efectuate pe paletile rotorului model, tabelul 2;
- forța tangențială pe paletă F_T , care dă cuplul mașinii, tabelul 2.

Tabelul 2 prezintă cele două regimuri luate în considerare în calculul de rezistență, regimuri care corespund treptei de putere: 35.5 MW și mai multor valori ale căderii.

Tabelul 2

Regimuri de încărcare în varianta propusă pentru re tehnologizare [6]

Date de intrare	UM	Regim 1	Regim 2
Număr palete		6	6
D	m	5,5	5,5
D_b	m	2,2	2,2
n	rot/min	115,4	115,4
ω	rad/s	12,08	12,08
H	m	28,2	24
P	MW	35,5	35,5
Q	m ³ /s	143,59	168,00
η	%	89,33	89,82
n_{11}	rot/min	119,52	129,56
Q_{11}	m ³ /s	0,89	1,13
$F_{AH11rotor}$	–	412	420
F_{AH11}	daN	351.457	304.920
F_{AH} paletă (6 palete)	N	585.761	508.200
M_{brotor}	Nm	2.937.609	2.937.609
Braț F_T	m	1,9	1,9
F_{Trotor}	N	1.526.030	1.526.030
$F_{Tpaletă}$ (6 palete)	N	254.338	254.338

6. REZULTATELE ANALIZEI CU SOLIDWORKS SIMULATION PENTRU MANIVELA PROPUȘĂ PENTRU RETEHNOLOGIZARE A MECANISMULUI DE REGLARE

În tabelul 3 sunt indicate rezultatele numerice obținute în urma analizei statice a manivelei, cu SolidWorks Simulation, cu următoarele încărcări aplicate: directă (F_a) și la distanță (F_{AH} , F_T , G și F_C), corespunzătoare regimului 1 și 2.

Dependența tensiunii von Mises de tipul de discretizare pentru cele două regimuri 1 și 2 și pentru diferite puncte de aplicație a forțelor F_{AH} , F_T față de axa de rotație a paletei este prezentată în figura 5.

Tabelul 3

Rezultate numerice obținute în urma analizei statice cu SolidWorks Simulation a manivelei propuse pentru re tehnologizare

F_{AH} , F_T aplicate în punctul aflat la distanța 150 mm față de axa de rotație a paletei, regim 1, $F_a=226.525$ N				
Tipuri discretizare	Tensiune $\sigma_{\text{von Mises}}$ [MPa]	Deplasare rezultantă δ (URES) [mm]	Deformație echivalentă ϵ (ESTRN)	Factor de siguranță (FOS)
Discretizare standard mesh, 423.765 elemente finite	86,60	$4,060 \cdot 10^{-2}$	$2,644 \cdot 10^{-4}$	3,69
Discretizare standard mesh, 601.252 elemente finite	78,10	$4,030 \cdot 10^{-2}$	$2,937 \cdot 10^{-4}$	4,10
Discretizare curvatures based mesh, 423.848 elemente finite	93,20	$4,060 \cdot 10^{-2}$	$2,684 \cdot 10^{-4}$	3,43
Discretizare curvatures based mesh, 425.551 elemente finite	90,80	$4,063 \cdot 10^{-2}$	$2,753 \cdot 10^{-4}$	3,53
F_{AH} , F_T aplicate în punctul aflat la distanța 150 mm față de axa de rotație a paletei, regim 2, $F_a=194.863$ N				
Tipuri discretizare	Tensiune $\sigma_{\text{von Mises}}$ [MPa]	Deplasare rezultantă δ (URES) [mm]	Deformație echivalentă ϵ (ESTRN)	Factor de siguranță (FOS)
Discretizare standard mesh, 423.765 elemente finite	74,50	$3,493 \cdot 10^{-2}$	$2,274 \cdot 10^{-4}$	4,29
Discretizare standard mesh, 601.252 elemente finite	67,20	$3,467 \cdot 10^{-2}$	$2,526 \cdot 10^{-4}$	4,76
Discretizare curvatures based mesh, 423.848 elemente finite	80,20	$3,493 \cdot 10^{-2}$	$2,309 \cdot 10^{-4}$	3,99
Discretizare curvatures based mesh, 425.551 elemente finite	78,10	$3,495 \cdot 10^{-2}$	$2,368 \cdot 10^{-4}$	4,10

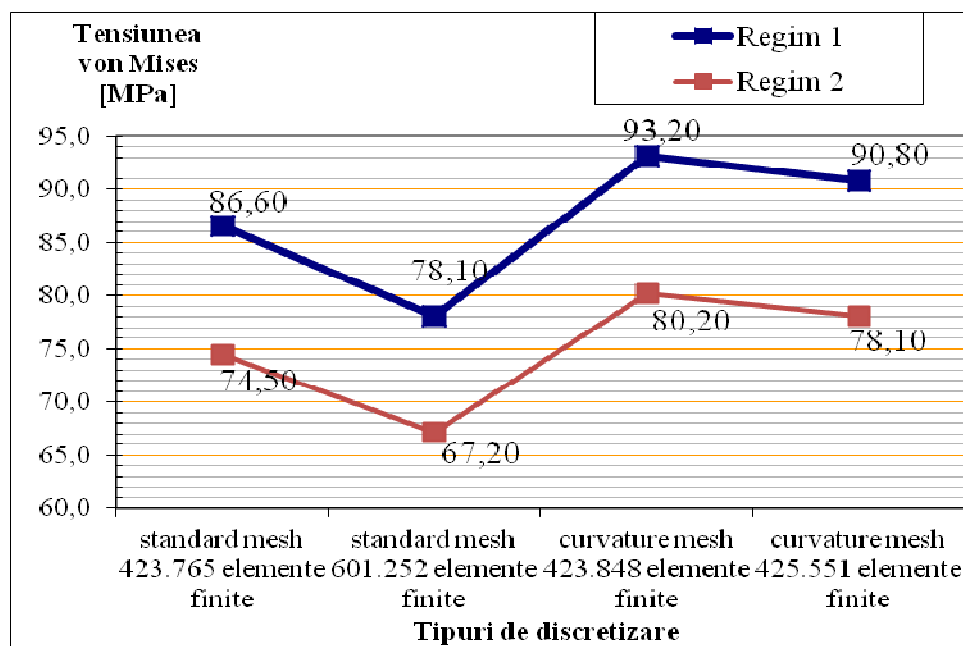


Fig. 5 Dependența tensiunii von Mises de tipul de discretizare pentru regimul 1 și 2; punctul de aplicație al forțelor–150 mm față de axa paletelor

7. CONCLUZII

Cauza principală a producerii fisurilor pe paletelor rotoarelor turbinelor, care este oboseala corodantă sub sarcină. Fisurile au apărut și s-au propagat din concentratorul de tensiune existent pe paletă la decuparea către bordul de atac.

Scăderea tensiunii din concentratori sub limita admisibilă se poate realiza numai prin reducerea încărcării pe paletă. Pentru condiții de funcționare date (debit, cădere, turație, puteri) reducerea încărcării se poate realiza numai prin creșterea numărului de palete la rotor.

Calculul de rezistență efectuat în cazul manivelei propuse pentru rețehnologizare permit formularea următoarelor concluzii:

- Condițiile de discretizare s-au păstrat identice cu cele de la calculul manivelei existente, pentru a se putea face un studiu comparativ;
- Modelul geometric utilizat pentru calculele de rezistență ale mecanismului de reglare este cel utilizat și în cazul manivelei existente;
- Pentru studiul cinetostatic s-a considerat un motor liniar, cu o lege de mișcare impusă și aplicat pe suprafața plană a furcii mecanismului de reglare, identic ca și în cazul manivelei existente. Toate aceste calcule s-au efectuat pentru regim static, în ipoteza unui material fără defecte interne și considerând absența fenomenului de oboseală;
- 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.

BIBLIOGRAFIE

- [1] Gordunov, S.K., Reabenki, V. S., Scheme de calcul cu diferențe finite, Editura Tehnică, București, 1977;
- [2] Jianu, C., Câmpian, C.V., Rigou, V., Szabolcs, S., & Iuhasz, D., A Dynamic Analysis of Inner Bearing Bush from Blade Adjustment Mechanism of Kaplan Turbines, Annals of DAAAM for 2011&Proceedings of the 22nd International DAAAM Symposium, Editor B[ranko] Katalinic, Published by DAAAM International, Vienna, Austria, 2011, pp 1667÷1668, ISBN 978–3–901509–83–4, ISSN 1726–9679;
- [3] Jianu, C., Câmpian, C.V., Cojocar, V., Nedelcu, D., Finite Element Analysis and Dynamic Analysis of the Outer Bearing Bush from the Blade Adjustment Mechanism of Kaplan Turbines, The 4th International Conference "Computational Mechanics and Virtual Engineering" COMEC 2011 20÷22 october 2011, Brașov, Romania, pp 281÷287, ISBN 978–973–131–122–7;
- [4] Negru, R.M., Contribuții la studiul efectului de concentrare a tensiunilor cu aplicații în mecanica ruperii și oboseala materialelor, teză de doctorat, Editura Politehnica, Seria 9: Inginerie Mecanică, Nr. 72, 2009, ISSN 1842–4937, ISBN 978–606–554–034–7;
- [5] Câmpian, C.V, ș.a., 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;
- [6] Nedelcu, D., Câmpian, C.V., Calcule de rezistență și durată de viață pentru paletele rotorului turbinei de la CHE Turnu, Raport nr. U–07–400–227, august 2007.