



UNIVERSITATEA BABEŞ-BOLYAI

Facultatea de Inginerie

Şcoala Doctorală de Inginerie

REZUMAT

TEZĂ DE DOCTORAT

Cercetări efectuate pe turbina Francis de la Hidrocentrala Ruienii funcţionând în servicii de sistem, regimuri tranzitorii şi în regim cu eroziune cavitaţională. Influenţa acestor regimuri de funcţionare asupra rezistenţei camerei spirale

Autor:

Ing. Eugen BIRTARESCU (BIRTARESCU-BUNEI)

Coordonator ştiinţific:

Prof. univ. dr. ing. Viorel Constantin CÂMPIAN

Cuvinte cheie: turbina francis, hidrocentrala Ruieni, servicii de sistem, regimuri tranzitorii, regim cu eroziune cavitațională, rezistență cameră spirală

Rezumat: Teza este compusă din 7 capitole precedate de prefață, cuprins, lista figurilor, lista tabelor, lista abrevierilor și lista notațiilor, încheindu-se cu contribuții personale, direcții viitoare de cercetare, diseminarea rezultatelor și bibliografie.

În **capitolul 1** se prezintă generalități despre turbina hidraulică Francis stadiul actual al cercetărilor în domeniu și obiectivele tezei.

Capitolul 2 face o prezentare generală și un istoric al hidrocentralei Ruieni, prezentare cu referire și la amenajarea hidroenergetică Bistra – Poiana Mărului. S-au descris părțile componente ale unui hidroagregat și rolul funcțional, turbina hidraulică Francis (FVM 78 – 326) respectiv s-au evidențiat anumite recomandări legate de funcționarea turbinei Francis. De asemenea, s-au prezentat diagrama de exploatare a turbinei de la CHE Ruieni și diverse regimuri de exploatare a hidroagregatelor, ce au putut fi evidențiate în programul SCADA din vara anului 2020, în reglaj secundar și fără reglaj secundar.

Capitolul 3 este dedicat Serviciului de Sistem. Acesta asigură stabilitatea frecvenței, stabilitatea tensiunii, restaurarea funcționării sistemului energetic național (SEN), disponibilitatea consumatorilor SEN și cerințele privind sistemul teleinformațional. În acest context, s-au dat explicații despre reglajul frecvență-putere, s-au descris în detaliu echipamentele pentru realizarea reglajului frecvență-putere și sa-u prezentat principalele servicii de sistem oferite ca furnizor pentru SEN de către CHE Ruieni. În cadrul subcapitolului privind măsurătorile de certificare pentru furnizare servicii de sistem - CHE Ruieni, s-a evidențiat regulatorul digital de turație pentru turbina Francis, s-au prezentat sub formă grafică rezultatele măsurătorile de certificare pentru reglajul f-P a ambelor hidroagregate (HA1 și HA2) la diferite intervale de timp respectiv la diferite trepte de putere. De asemenea, în funcție de rezultatele măsurătorilor s-a arătat un model de calcul pentru statism respectiv s-a trasat caracteristica statismului.

În **capitolul 4** se prezintă rezultatele măsurătorilor în reglaj secundar și în regimuri tranzitorii de aruncări din sarcină în trei cazuri, după cum urmează:

- aruncarea din sarcină a HA1, la puterea activă maximă $P_a=76,5$ MW și căderea $H=339,39$ m, cu HA 2 oprit;
- hidroagregatul HA1 funcționând la puterea maximă atunci când HA2 este aruncat din sarcină de la puterea maximă;
- aruncarea din sarcină simultană a HA1 și HA2 de la puterea activă $P_a=70$ MW și căderea $H=300$ m.

Pe baza acestor măsurători s-au stabilit presiunile de calcul ale camerei spirale, din parametrii amenajării, presiunea de probă, garanțiile de reglaj și din probe efectuate în regimuri tranzitorii de aruncări din sarcină

Capitolul 5 este dedicat prezentării comportamentului la cavitație a rotorului turbinei de la CHE Ruieni, a pulsațiilor de presiune în conul tubului de aspirație și a regimurilor de exploatare a turbinelor. S-a întocmit diagrama de exploatare a turbinei cu domeniu marcat de debite și căderi la care apare eroziunea cavitațională. Aceasta a presupus:

- transpunerea rezultatelor de la model la prototip;
- determinarea ecuației cursei servomotorului în funcție de deschiderea aparatului director;
- calculul diagramei de exploatare.

Din analiza presiunilor din conul tubului de aspirație au rezultat următoarele:

- la puteri mari, peste 70 MW, presiunea sub rotor măsurată de traductorul P1 are valori negative, corelată cu sarcina de aspirație și comportarea la cavitație a turbinei Francis;
- pentru fenomenele pulsatorii din tubul de aspirație prezintă importanță valorile frecvenței armonicii fundamentale sub 48 MW. La 44 MW și 38 MW, frecvențele armoniilor fundamentale sunt între 1,667 Hz și 1,949 Hz. Aceste frecvențe sunt cuprinse în banda 20 – 30% din frecvența de rotație (7,14 Hz), fiind generate de turbionul central care apare după rotor. Amplitudinea armonicii

fundamentale măsurată în mbar este de asemenea crescută la puteri sub 48 MW, datorită turbionului central;

- nu s-au semnalat, în funcționarea turbinei, zgomote și vibrații specifice existenței unui turbion central dezvoltat. În aceste condiții se poate considera că mișcarea turbionară din conul tubului de aspirație asociată cu turbionul central este de intensitate mică și nu afectează performanțele turbinei.

S-a concluzionat că mișcarea turbionară din conul tubului de aspirație asociată cu turbionul central, care este de intensitate mică și cu fenomenul de cavitație, la puteri peste 70 MW, nu generează pulsații de presiune în camera spirală.

Capitolul 6 a prezentat analiza structurală a camerei spirale și statorului realizată cu ajutorul programului SolidWorks, prin utilizarea modului Simulation. S-au concluzionat următoarele:

- Tensiunile echivalente von Mises, pentru toate regimurile de calcul raportate la tensiunea admisibilă, dau coeficienți de siguranță mai mari decât 1 sau prin raportare la limita de curgere a materialului camerei spirale, coeficienții de siguranță de peste 1,5;

- Limita la oboseală ($\sigma-1$) a materialului din care este confecționată camera spirală este circa 220 MPa. Raportând tensiunile von Mises calculate, la această limită la oboseală, se obțin coeficienți de siguranță la oboseală mai mici de 1,5. Pentru părțile componente ale turbinei, de importanță majoră, cum este camera spirală, normele actuale de proiectare recomandă coeficienți de siguranță la oboseală mai mari de 1,5. În aceste condiții, pentru camera spirală analizată se necesită pe viitor măsurători pe hidroagregat pentru determinarea ciclurilor de oboseală și calcule de oboseală și propagare de fisură.

În final, **capitolul 7** s-au prezentat contribuțiile personale, direcții viitoare de cercetare și diseminarea rezultatelor.

CUPRINS

Listă figuri	3
Listă tabele	6
Listă abrevieri	7
Listă notații	8
Cap. 1 INTRODUCERE. OBIECTIVELE TEZEI	9
1.1 Generalități	9
1.2 Turbina hidraulică Francis	10
1.2.1 Camera spirală	12
1.2.2 Statorul	12
1.2.3 Aparatul director	12
1.2.4 Rotorul	13
1.3 Stadiul actual al cercetărilor în domeniu	13
1.4 Obiectivele tezei	17
1.5 Concluzii	17
Cap. 2 HIDROCENTRALA RUIENI	18
2.1 Introducere	18
2.2 Amenajarea hidroenergetică Bistra – Poiana Mărului	18
2.3 CHE Ruieni – Prezentare generală	19
2.3.1 Scurt istoric	21
2.3.2 Părți componente hidroagregat	21
2.3.3 Turbina hidraulică Francis (FVM 78 – 326)	23
2.3.4 Recomandări privind funcționarea turbinei Francis	24
2.4 Diagrama de exploatare CHE Ruieni	24
2.5 Exemple de grafice SCADA în funcționarea CHE Ruieni	25
2.6 Etape de modernizări în CHE Ruieni	32
2.7 Concluzii	33
Cap. 3 SERVICIUL DE SISTEM	34
3.1 Introducere	34
3.2 Serviciul de Sistem	34
3.2.1 Servicii de sistem privind stabilitatea frecvenței	35
3.2.1.1 Rezervele de putere	35
3.2.2 Servicii de sistem privind stabilitatea tensiunii	37
3.2.3 Servicii de sistem privind restaurarea funcționării SEN	37
3.2.4 Disponibilitatea consumatorilor SEN	37
3.2.5 Cerințe privind sistemul teleinformațional (conducerea prin dispecer)	37
3.2.5.1 Regulatorul de frecvență – putere	37
3.3 Reglajul Frecvență-Putere	38
3.4 Echipamente pentru realizarea reglajului frecvență-putere	40
3.5 CHE Ruieni – Ca și furnizor de servicii de sistem pentru Sistemul Energetic Național	40
3.6 Măsurători de certificare pentru furnizare servicii de sistem - CHE Ruieni	42
3.6.1 Regulatorul digital de turaj pentru turbine Francis RTD – 01	42
3.6.2 Măsurători de certificare pentru furnizare servicii de sistem – HA1	46
3.6.3 Măsurători de certificare pentru furnizare servicii de sistem – HA2	49
3.7 Concluzii	53

Cap. 4 PROBE EFECTUATE PE HIDROAGREGATELE DE LA CHE RUIENI PENTRU DETERMINAREA PRESIUNILOR NECESARE LA VERIFICAREA REZISTENȚEI CAMEREI SPIRALE	55
4.1 Introducere	55
4.2 Echipamentele necesare pentru măsurarea și achiziția datelor experimentale	55
4.3 Probe în reglaj secundar	57
4.4 Probe în regimuri tranzitorii de aruncări din sarcină	59
4.4.1 Aruncarea din sarcină HA1, la puterea activă maximă Pa = 76,5 MW și căderea H=339,39 m, cu HA 2 oprit	59
4.4.2 Comportarea hidroagregatului HA1 funcționând la puterea maximă atunci când HA2 este aruncat din sarcină de la puterea maximă	66
4.4.3 Aruncarea din sarcină simultană HA1 și HA2 de la puterea activă Pa = 70 MW și căderea H=300 m	71
4.5 Concluzii	76
Cap. 5 COMPORTAREA LA CAVITAȚIE A ROTORULUI TURBINEI DE LA CHE RUIENI. PULSAȚII DE PRESIUNE ÎN CONUL TUBULUI DE ASPIRAȚIE. REGIMURI DE EXPLOATARE A TURBINELOR	77
5.1 Introducere	77
5.2 Coeficienți caracteristici de cavitație	77
5.3 Coeficienți de cavitație instalați în centrală	79
5.4 Evaluarea funcționării la cavitație a rotorului	81
5.5 Diagrama de exploatare a turbinei cu domeniu marcat de debite și căderi la care apare eroziune cavitațională	88
5.5.1 Transpunerea rezultatelor de la model la prototip	88
5.5.2 Determinarea ecuației cursei servomotorului funcție de deschiderea aparatului director	90
5.5.3 Calculul diagramei de exploatare	91
5.6 Măsurători privind pulsațiile de presiune	93
5.7 Regimuri de exploatare a turbinelor de la CHE Ruieni	97
5.8 Concluzii	98
Cap. 6 ANALIZA STRUCTURALĂ A CAMEREI SPIRALE ȘI STATORULUI	100
6.1 Introducere	100
6.2 Problematika studiului de simulare	100
6.3 Analiza statică liniară. Ipoteze de calcul și etape de analiză	101
6.4 Geometria camerei spirale și a statorului	104
6.5 Analiza statică liniară a camerei spirale și statorului	107
6.6 Concluzii	122
Cap. 7 CONTRIBUȚII PERSONALE. DIRECȚII VIITOARE DE CERCETARE. DISEMINAREA REZULTATELOR	123
7.1 Contribuții personale	123
7.2 Direcții viitoare de cercetare	123
7.3 Diseminarea rezultatelor	123
BIBLIOGRAFIE	126