



A XV-a Conferință internațională – multidisciplinară  
„Profesorul Dorin Pavel – fondatorul hidroenergeticii românești”  
SEBEȘ, 2015

## **ASPECTE PRIVIND EROZIUNEA CAVITAȚIONALĂ LA CONURILE ASPIRATOARE DE LA TURBINELE FRANCIS**

Marius-Cristian GRECU, Valeriu PANAITESCU

### **ASPECTS OF CAVITATION EROSION AT SUCTION CONES FROM FRANCIS TURBINES**

In this article is presented the effect of cavitation applied to the suction cones that equip Francis turbines of HPP Motru. Cavitation erosion is evaluated through in-situ measurements are processed and presented in a new way in this article. It was determined a correlation between various regimes of functioning and the cavitation erosion appeared on the suction cones. Also experimentally was determined optimal maintenance period considering the cavitation attack intensity.

Keywords: cavitation, vacuum con, turbine, Francis, coefficients of cavitation, aeration

Cuvinte cheie: cavitație, con aspirator, turbină, Francis, coeficienți de cavitație, aerare

#### **1. Introducere**

C.H.E. Motru este o centrală hidroelectrică echipată cu două turbine Francis tip FVM 31,5 – 182 cu dispoziție verticală și cameră spirală metalică, prevăzută pentru cuplarea directă cu generatorul aferent. Problematika cavitației a apărut de la punerea în funcțiune atât la CHE Motru cât și la CHE Tismana, centrale componente ale amenajării Cerna-Motru-Tismana. Cu deosebire s-a manifestat la hidroagregatele de la CHE Motru, întrucât Lacul Motru, de retenție, în

avalul centralei a fost restricționat la cota 470 mdM față de 480 mdM, asigurând astfel o cotă de aspirație mult mai scăzută.

Conul de aspirație din echiparea turbinelor Francis are rolul de a conduce apa cu pierderi minime din rotorul turbinei spre bazinul de liniștire cât și de a recupera energia cinetică la ieșirea din rotor [1].

Corpul conului de aspirație este o construcție sudată din tablă de oțel cu grosime de 10 mm și se compune din manta și nervuri pentru rigidizare. Conul de aspirație este format din 3 porțiuni distincte: conul superior, conul intermediar și conul inferior.

Caracteristicile tehnice ale rotorului turbinei Francis de la CHE Motru sunt:

- cădere statică maximă -  $H_{st} = 220,4$  m
- căderea de calcul -  $H_c = 188$  m
- căderea maximă -  $H_{max} = 210$  m
- puterea cu randament maxim - 26500 kW
- căderea nominală -  $H_n = 182$  m
- căderea minimă la care se asigură  $P_{max}$   $P_{max}$  -  $H_{min} = 169$  m
- debit instalat pe turbină -  $Q_{max} = 19,8$  m<sup>3</sup>/s
- diametrul rotorului -  $D = 1250$  mm
- turația nominală -  $N = 750$  rot/min

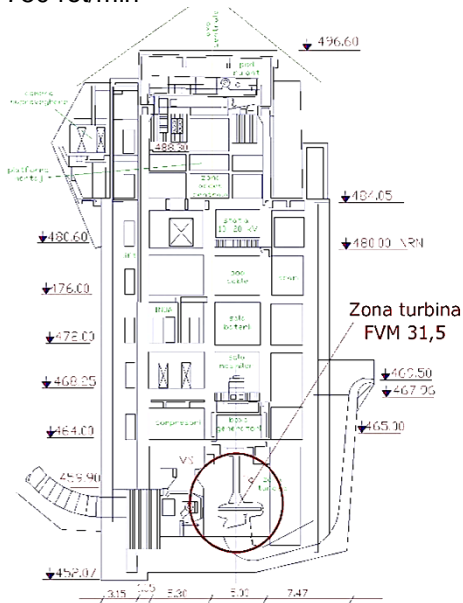


Fig. 1 Secțiune transversală CHE Motru cu localizare turbină

Centrala hidroelectrică Motru (figura 1) este încadrată în clasa a III-a de importanță conform STAS 4273/83.

CHE Motru este amplasată în bazinul Motru la circa 8 km distanță (în linie dreaptă) față de barajul Cerna pe versantul drept al râului Motru într-un puț aerian.

Centrala este echipată cu două hidroagregate, cu carcasă spirală metalică și aspirator metalic înglobat parțial în beton, formate fiecare din:

- turbină Francis cu ax vertical, tip FVM 31,5 – 157;
- hidrogenerator HVS 288 / 159 – 811;

Căderea centralei,  $H = 210,00$  m, rezultă din diferența de nivel dintre lacul Cerna și nivelul de restituție.

Puterea instalată în centrală este de 31,5 MW, iar înălțimea de aspirație este -11,6 m.

C.H.E. Motru este de tipul centrală semiîngropată pe derivație.

Infrastructura centralei este dispusă într-o cuvă cilindrică îngropată, puțul centralei având înălțimea de cca 60 m, diametrul interior de 17,00 m și grosimea peretelui de cca 1,00 m.

Structura de rezistență a infrastructurii este constituită din peretele de beton armat al cuvei cilindrice, stâlpi și planșee din beton armat monolit ce compartimentează pe verticală infrastructura.

## **2. Măsurători ale efectului cavitațional la conurile aspiratoare**

La diversele demontări din timpul reparațiilor programate, s-a observat pe parcursul mai multor ani apariția aceluiași tip de erodare a suprafețelor pieselor din componența circuitului hidraulic primar. În principal, manifestarea fenomenului cavitațional începe din zona de admisie a apei în aparatul director și până la ieșirea din cotul conului aspirator.

În majoritatea studiilor efectuate s-a acordat o mai mare importanță asupra eroziunilor rotoarelor Francis. În studierea pe teren a eroziunilor dezvoltate pe suprafața conurilor aspiratoare s-au identificat o serie de aspecte importante atât pentru stabilirea unor noi intervale de mentenanță cât și pentru modificarea optimă a soluțiilor de aerare [2].

În anul 2010, după 2450 ore de funcționare, la hidroagregatul 1 (HA1) s-a observat apariția unei benzi de eroziune superficială a vopselei conului aspirator sub labirintul inferior în imediata apropiere a zonei de îmbinare cu statorul turbinei. Ulterior la baza de date foto

creată s-au adăugat și ulterioarele demontări din anii 2011-2014. Perioadele de demontare au corespuns unor perioade de funcționare de 2500-3000 ore. Corelând toate aceste măsurători s-a putut efectua o estimare a zonelor erodate, a direcțiilor de dezvoltare cavitațională, dar efectul benefic a constat în determinarea unor soluții optime pentru sistemele de aerare ce au redus distrugerile cavitaționale. După cum se observă în figura 2, figura 3 și în diagramele de măsurători, această zonă erodată s-a echivalat cu o bandă constantă pe toată circumferința conului aspirator. Măsurătorile s-au efectuat la fața locului, după care s-au transpus pe materialul fotografiat pentru evaluare și stocare ulterioară. Modificarea pozei la scară a fost efectuată cu programul AutoCad, totodată fiind verificate și măsurătorile efectuate in-situ. S-au izolat prin contur roșu zonele afectate, după care au fost transpuse într-un format nou Blank Model în AutoCAD, la scară, pentru verificarea măsurătorilor in-situ. În zonele marcate se observă eroziunea din imediata vecinătate a rotorului turbinei, reprezentând prima zonă de impact a jetului de apă la ieșirea din palele turbinei.

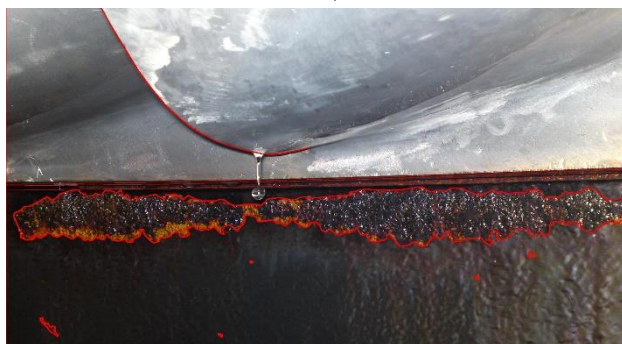
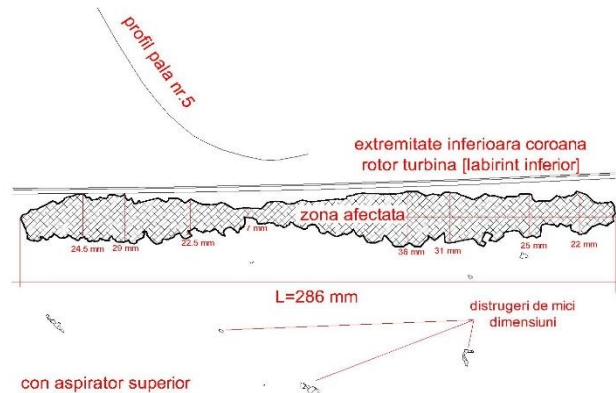


Fig. 2 Zonă cavitațională în zona superioară a conului aspirator



Suprafața conturată s-a estimat la o bandă circulară constantă cu o lățime medie de 23,4 mm, având axa amplasată la o distanță medie de 14 mm față de extremitatea inferioară a coroanei rotorului turbinei.

Fig. 3 Conturarea suprafețelor afectate cu ajutorul AutoCAD

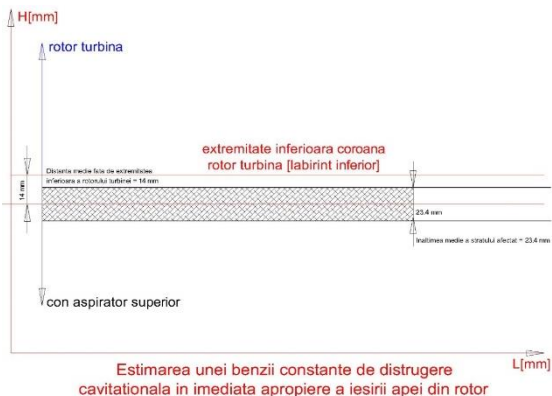


Fig. 4. Conturarea suprafețelor afectate

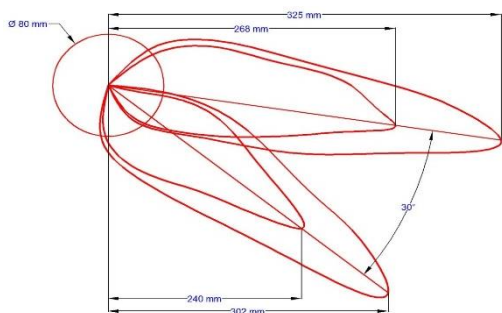
Mai jos de această bandă de eroziune mai apar câteva ciupituri sporadice ale vopselei, fără a fi afectat materialul conului aspirator. În schimb în zona de fixare a instalației de

aerare s-a observat un alt tip de dezvoltare a eroziunii cavitaționale în jurul brațelor de prindere (figura 5).



Fig. 5 Conturarea suprafețelor afectate

Se observă împărțirea pe două direcții a eroziunilor corespunzând regimului de mers în gol și cel de sarcină nominală. La repetate măsurători s-a determinat că diferența unghiulară între cele două forme de eroziune la demontări repetate au variat de la 30 grade la 35 grade, corespunzând unor funcționări îndelungate la diferențe semnificative de cotă în lacul Cerna, adică la diferențe importante de cădere.



Măsurătorile s-au făcut pentru toate cele 4 puncte de prindere (figura 6), valorile fiind relativ constante. În figura 6 este prezentată măsurătoarea realizată pe axa „+y-y” în zona „-y”.

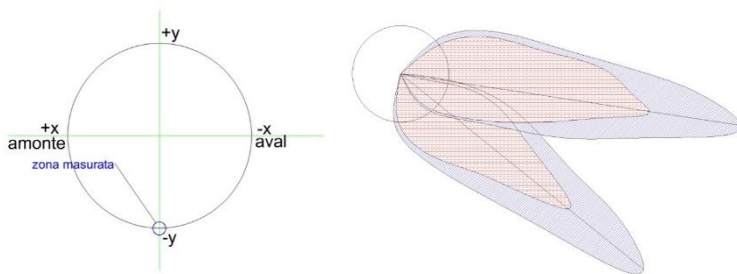


Fig. 6 Dezvoltarea cavitațională bidirecțională

Se observă două direcții principale de eroziune cavitațională corespunzătoare la două regimuri principale de funcționare a turbinei: regimul de mers în sarcină nominală [sus-25MW] și regimul de mers în gol [jos-0MW], defazate cu un unghi de  $30^\circ$ . Acest unghi se menține la toate cele 4 puncte.

Totodată, la nivelul conului superior în zonele de prindere ale instalației de spargere a vidului (4 puncte) la depășirea a 6000 de ore de funcționare, s-a observat dezvoltarea unei eroziuni puternice, cu rupere accentuată de material. Adâncimile ciupiturilor au ajuns până la 5 mm (figura 7), adâncime, fiind necesară trimiterea conului superior în fabrică și umplerea cu material.



Fig. 7  
Dezvoltarea  
cavitațională  
bidirecțională

### 3. Estimarea cantitativă experimentală a eroziunii

Pentru determinarea unui timp optim de intervenție în refacerea protecției anticorozive la conurile aspiratoare, s-au efectuat măsurători repetate la diverse intervale de intervenție. Mai jos se prezintă

măsurătorile efectuate la cotul conului aspirator (figura 8) aferent HA2 CHE Motru în anul 2012 la un interval de funcționare de la ultima refacere a protecției anticorozive a conului de 5950 de ore.

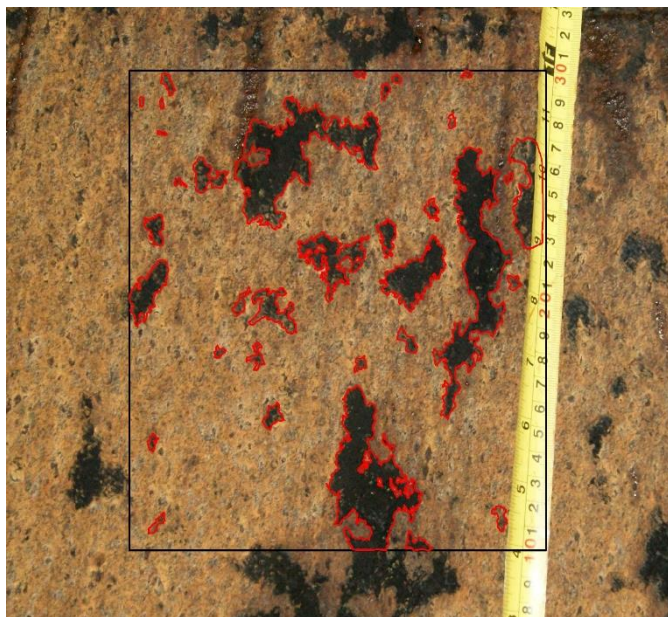


Fig. 8

Măsurătoare  
pe suprafața  
cotului conului  
aspirator

A fost aleasă o suprafață caracteristică de 20x20 cm din suprafața cotului conului aspirator. Suprafața a fost scalată în AutoCAD și au fost identificate și izolate zonele rămase intacte fenomenului de eroziune cavitațională.

Această metodă a fost adoptată întrucât eroziunile cavitaționale pe toată structura conului aspirator sunt destul de uniforme. Practic, 70-80 % din întreaga suprafață a fost afectată de cavitație. Nemaiputând fi demontat, cotul conului aspirator este tratat periodic pe suprafața rugoasă, afectată cavitațional, cu vopsea specială cu efect în limitarea efectului cavitațional pe durate scurte.

Odată identificate zonele (figura 9), s-a început analiza suprafețelor intacte și stabilirea exactă a proporției erodate. Acestea se regăsesc în tabelul 1.

Pentru a identifica fiecare suprafață, a fost alocat un număr fiecărei suprafețe determinate, de la 1 la 34, iar valorile corespunzătoare (număr, suprafață, perimetru [mm], arie [mm<sup>2</sup>]) au fost trecute în tabelul 1.

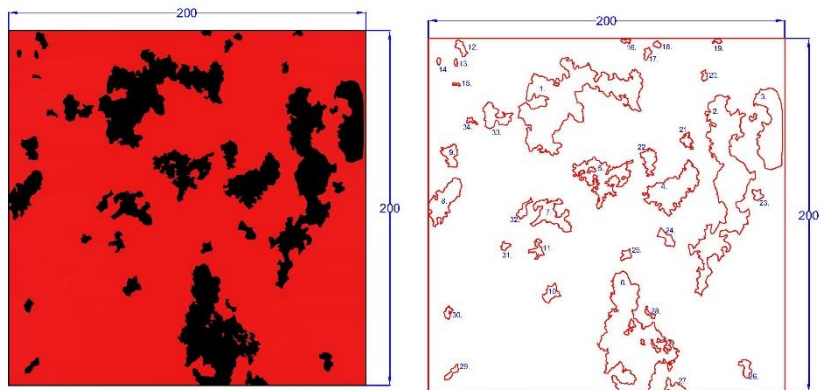


Fig. 9 Evidențiere eroziuni pe suprafața conului

Tabelul 1

Nr. pata	Perimetrul petei [mm]	Aria petei [mm <sup>2</sup> ]
1	438	1450
2	457	1379
3	498	133
4	418	152
5	232	365
6	359	1417
7	117	195
8	98	238
9	49	74
10	36	56
11	46	37
12	27	31
13	10	6
14	10	7
15	11	5
16	14	9
17	20	17
18	13	11
19	15	8
20	19	14
21	38	34



22	54	79
23	23	24
24	34	44
25	23	23
26	33	41
27	40	47
28	22	12
29	26	24
30	23	20
31	18	15
32	35	34
33	71	120
34	19	10
Total suprafață verificată [mm <sup>2</sup> ]		<b>40000</b> <b>100 %</b>
Total suprafață rămasă intactă [mm <sup>2</sup> ]		<b>6131</b> <b>15,32 %</b>
Total suprafață erodată [mm <sup>2</sup> ]		<b>33869</b> <b>84.68 %</b>

Se observă că după aproape 6000 de ore de funcționare, 85 % din suprafața cotului conului de aspirație a fost erodat cavitațional, afectând suprafața vopsită pentru protecție anticorozivă.

O astfel de estimare ajută la stabilirea perioadei de refacere a protecției anticorozive pentru componentele conului aspirator. Vopsirea aplicată pentru cazul studiat este vopsea de nave de culoare neagră.

#### 4. Concluzii

Cu ajutorul măsurătorilor prezentate s-au determinat următoarele:

- S-a determinat zona reală de ieșire a apei din rotorul turbinei, ceea ce a ajutat la identificarea vortexului creat și stabilirea unor soluții optime pentru deplasarea instalațiilor de aerare în conul aspirator.
- S-a determinat unghiul de deplasare a vortexului între regimul de mers în gol și în sarcină a hidroagregatelor pe baza urmelor lăsate pe con în jurul tijelor de montaj a instalațiilor de aerare.
- S-a determinat că este necesară refacerea protecției anticorozive după 6000 de ore de funcționare fapt ce duce la o prognoză și o eșantionare a cheltuielilor de mentenanță.

- S-a găsit o metodă simplă și la îndemâna exploatatorilor de a și evalua intensitatea atacului cavitațional prin determinări precise ale suprafeței atacate dar și de păstrare facilă într-o bază de date.

## **BIBLIOGRAFIE**

[1] \* \* \* *FTR 66-79, Fișă tehnologică privind execuția lucrărilor de revizie, reparații la instalațiile auxiliare aferente hidroagregatelor Francis vertical de 22,5 MW*, ICEMENERG, București, 1984.

[2] \* \* \* *Studiu privind reducerea cavitației la rotoarele HA de la CHE Motru SH Tg-Jiu, Hidroelectrica*, contract de cercetare ICEMENERG-UPB, octombrie 2003.

Drd. Ing. Marius-Cristian GRECU  
Șef Atelier Exploatare Motru, UHE Tg-Jiu, SPEEH Hidroelectrica  
e-mail: marius.grecu@hidroelectrica.ro

Dr. Ing. Valeriu PANAITESCU, profesor universitar emerit  
Universitatea POLITEHNICA din București, Facultatea de Energetică  
membru AGIR  
e-mail: valeriu.panaitescu@yahoo.com