



STROJARSTVO
OD IZAZOVA DO RJEŠENJA
MECHANICAL ENGINEERING
FROM CHALLENGE TO SOLUTION

7. MEĐUNARODNI KONGRES
DANI INŽENJERA STROJARSTVA

7TH INTERNATIONAL CONGRESS
MECHANICAL ENGINEERS DAYS



**Ocjena vibrodinamičkog
sustava agregata A u HE
Jaruga**

Anđela Jović
Duje Veža

HEP PROIZVODNJA D.O.O
PP HE JUG, Split



Hrvatska komora inženjera strojarstva
Croatian chamber of mechanical engineers



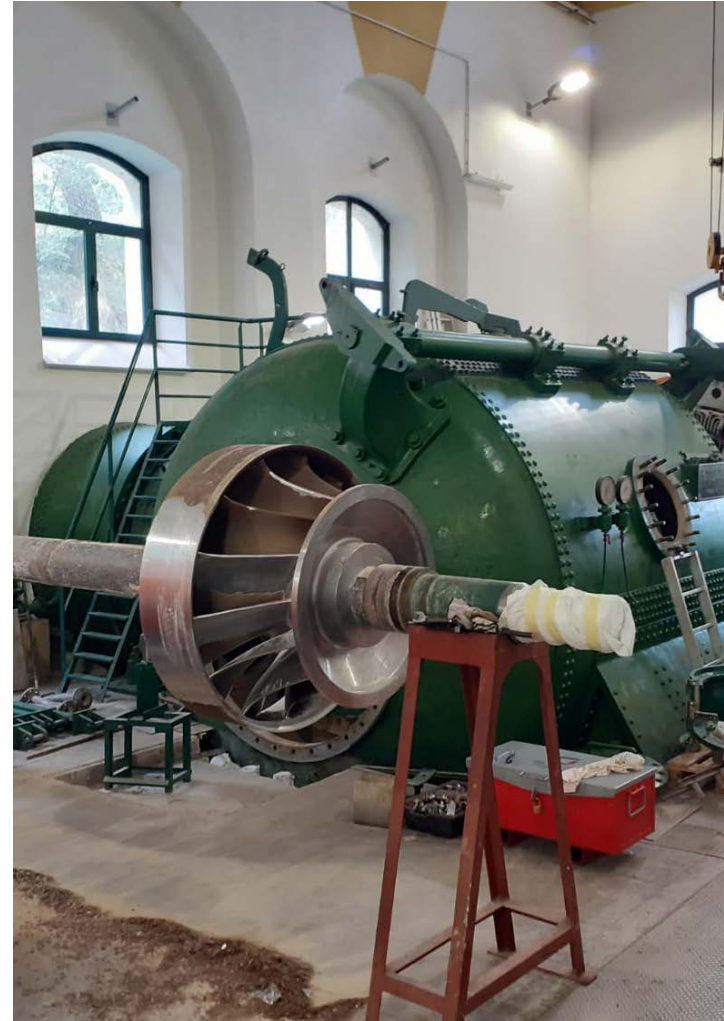
Sadržaj



1. Uvod
2. Problematika povećanih vibracija agregata A u HE Jaruga
3. Tehnički opis postrojenja HE Jaruga
4. Osvrt na teoriju i mjerenje vibracija u hidroenergetskim sustavima
5. Pregledni remont agregata A 2021. godine
6. Zaključak
7. Literatura

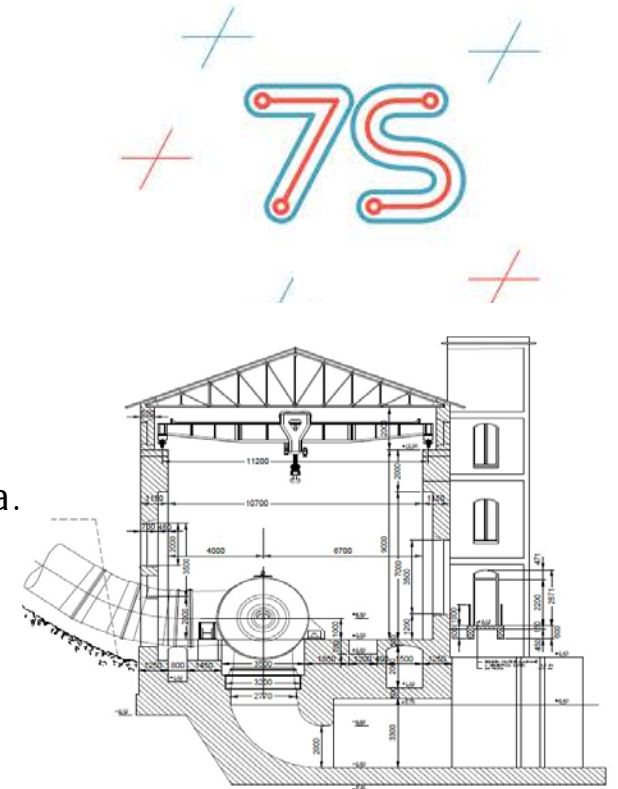
1. Uvod

- Dat je inženjerski pristup rješavanju problematike povećanih vibracija na horizontalnoj Francis turbini hidroelektrane Jaruga u Hrvatskoj.
- 2020. godine izvršen je kapitalni remont agregata A, posljedično tome postignuta je nova osovinska linija agregata.
- Problem se pojavljuje u postremontnom periodu eksploatacije agregata.



2. Problematika povećanih vibracija agregata A u HE Jaruga

- Difuzori tipa „lule“ izvedeni i davno isprojektirani (1890. godine!) da mogu slobodno odvesti prerađenu vodu u rijeku Krku.
- Turbulencije na izlazu iz difuzora izazivaju i uvjeti rada agregata (A, B, A+B).
- Fenomen rijeke Krke „sedra“ uzrokuje prekomjerno obrastanje površine dijelova stroja. Za obrastanje nekoliko milimetara sedre potrebna je godina dana!
- Površine difuzora umanjene su za ukupno **50 m³** radi obrastanja sedrene obloge, što može biti jedan od razloga povećanih vibracija.



- Kod postremontne eksploatacije agregata A došlo je do pojave povećanih vibracija na ležajevima i povećane temperature na jednom segmentu generatora.
- Problem je u domeni spojke turbinskog i generatorskog vratila. Montirana je tzv. međuploča kočionog diska elektro - hidrauličke kočnice agregata.



3. Tehnički opis postrojenja HE Jaruga

- Jedna od najstarijih HE na svijetu.
- Godina izgradnje 1895. godina.
- Druga u svijetu puštena u rad, samo dva dana nakon HE na rijeci Niagari u SAD-u.
- Protočna elektrana derivacijskog tipa ukupne instalirane snage 5,4 MW i prosječne godišnje proizvodnje 35 GWh.
- Protočni sustav se sastoji od:
 - ❖ ulazne građevine
 - ❖ tunela (s gravitacijskim tečenjem)
 - ❖ betonskog kanala
 - ❖ vodne komore otvorenog tipa,
 - ❖ razdjelne građevine
 - ❖ 2 tlačna cjevovoda
 - ❖ 2 Francis turbine s horizontalnim osovima instaliranog protoka $15,5 \text{ m}^3/\text{s}$ i snage 3,65 MW.



- Tri ležaja, radijalni generatorski ležaj, radijalno-aksijalni ležaj između generatora i turbine te radijalni turbinski ležaj.
- U kapitalnom remontu prigraden je „aksijalni stabilizator“ na radijalnom TL.





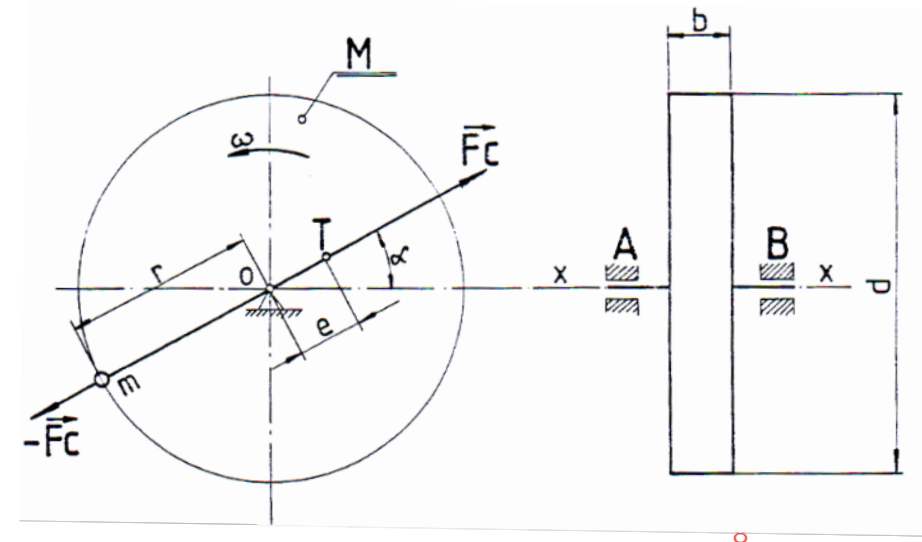
4. Osvrt na teoriju i mjerenje vibracija u hidroenergetskim sustavima

- Uzroci nastanka povećanih vibracija mogu biti mehaničke prirode, volumetrijsko hidrauličke prirode i/ili elektromagnetske prirode.
- Prema normi ISO 20816-5:2018 vrše se mjerenjima:
 - Apsolutne vibracije kućišta ležaja (v_{rms}) i
 - Relativne vibracije osovine (S_{p-p}).
- Neuravnoteženost dinamičkog sustava rotacionog stroja uzrokuje povećanje centrifugalne sile zbog čega dolazi do povećanja centrifugalne sile, a koja se računa izrazom:

$$\vec{F}_c = M \cdot \vec{e} \cdot \omega^2$$

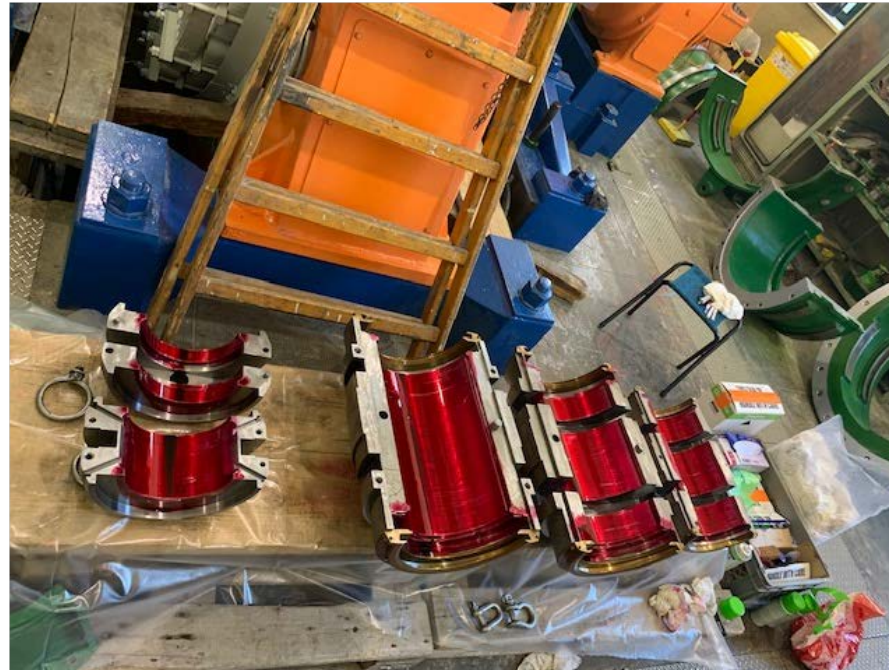
gdje su:

- ❖ M – masa rotora rotacionog stroja,
- ❖ ω – kutna brzina rotacionog stroja i
- ❖ e – ekscentricitet težišta rotora u odnosu na os rotacije O .



5. Pregledni remont agregata A 2021. godine

- Dogovoren je pregled u garantnom roku 2021.godine od strane tadašnjih Izvođača gdje je nužno detektirati uzroke i izvršiti poboljšanja agregata i otkloniti možebitne uzroke problema.
- U ovogodišnjem preglednom remontu izvršena su:
 - mjerenja prije i nakon demontaže
 - stanje indikacija
 - stanje kvalitete ležajeva
 - pregled brtvenice turbine.



6. Zaključak



- Mjerenjem vibracija pratimo stanje stroja i planiramo otklanjanje kvara prije nego se dogodi jer smo upoznati sa „zdravljen“ njegovih dijelova.
- Često necentričnost linije stroja i izvanredni neplanirani događaji na agregatima dovode do oštećenja brtvenice, ležajeva i poremećaja postignutih volumetrijskih zazora između rotacijskih i stacionarnih dijelova pogonskog stroja što se kasnije manifestira pojavom povećanih vibracija.
- Rezultati preglednog remonta 2021. godine ukazuju na minimalno tehničko zadovoljavajuće stanje agregata A.
- S obzirom na dotrajalost nekih dijelova agregata nemoguće je postići idealnu liniju stroja. Sukladno tome, potrebno je težiti prilagodbi turbinskog i generatorskog dijela prema pravilima tehničke struke.
- U budućoj eksploataciji agregata predlaže se kontinuirani nastavak istraživanja i praćenja odnosa vibracija i temperatura.



7. Literatura

Časopisi i knjige:

Mašinski fakultet u Beogradu, Zavod za mehaniku mašine i GALEB-IZOLA, Ljubljana

Internetski izvori:

<https://hr.wikipedia.org/wiki/Sedra>

(10.05.2021)

<https://strojarskaradionica.wordpress.com/tag/vibracije-elektromotora/>

(12.05.2021)

<https://strojarskaradionica.wordpress.com/category/rotacijska-oprema/>

(15.05.2021)

HVALA
THANK YOU

Andela.jovic@hep.hr
Duje.veza@hep.hr

Andela Jović
Duje Veža



STROJARSTVO
OD IZAZOVA DO RJEŠENJA
MECHANICAL ENGINEERING
FROM CHALLENGE TO SOLUTION



Hrvatska komora inženjera strojarstva
Croatian chamber of mechanical engineers

