



# ZAŠTITA HIDROAGREGATA MANJIH SNAGA OD VIBRACIJA

Jovan Radaković, Zdenko Seman, Lalice Jekić-Aničić\*

NORTH Point, Subotica, Republic of Serbia

\*HE MORAVA, Čačak, Republic of Serbia

**Kratak sadržaj:** Projektovanjem sistema za zaštitu hidroagregata od vibracija vodilo se računa o sledećim zahtevima: usaglašenost sa standardom ISO 10816-1,5; preporuke HYDRO QUEBEC-a; **on-line** praćenje agregata i tehničko-ekonomsko optimiranje rešenja.

Ocena je da prikazani koncept rešenja zadovoljava kriterijum optimiranja za agregate snaga do 10 MVA.

Realizovano rešenje, prikazano u ovom radu, je za agregat u HE MORAVA snage 6,3 MVA sa 11 kanala (7 za ležaje i 4 za lim-paket statora generatora). Svaki od mernih krugova poseduje akcelerometar i pripadajući višefunkcionalni modul. Navedeni su kriterijumi prihvatljivosti, kao i rezultati merenja. Pored navedenog, ovaj koncept rešenja omogućava povezivanje sa SCADA sistemom u analognom domenu.

**Ključne reči:** hidroagregat, vibracije, ležaji, lim-paket, zaštita, akcelerometar, višefunkcionalni modul.

## 1. UVOD:

Kao što je naznačeno u naslovu rada, za primenu ove zaštite na agregate manjih snaga potrebno je uvesti kriterijum tehničko-ekonomskog optimiranja. Projektovanje sistema zaštite od vibracija za agregate do 10 MVA je bazirano na standardu ISO10816-5 (nerotacioni delovi mašina), tj na primeni akcelerometara. Za agregate snaga većih od 10 MVA, projektovanje ovakvih sistema bi bilo bazirano ne samo na napred navedenom standardu, već i na standardu ISO 7919-1 (rotirajuća vratila agregata), tj na primeni akcelerometara i beskontaktnih senzora.

## 2. ZAHTEVI ZA NIVOE VIBRACIJA

U ovom poglavlju su dati podaci o dozvoljenim nivoima zahteva prema standardu, kao i podaci definisani projektnim rešenjem za predmetni objekat i to kako za upozorenja, tako i za isključenja.

### 2.1. Zahtevi standarda ISO 10816-5

Za grupu vertikalnih hidroagregata kod kojih je kućište donjeg generatorskog ležaja oslonjeno na temelj, kućište gornjeg ležaja je oslonjeno samo na stator

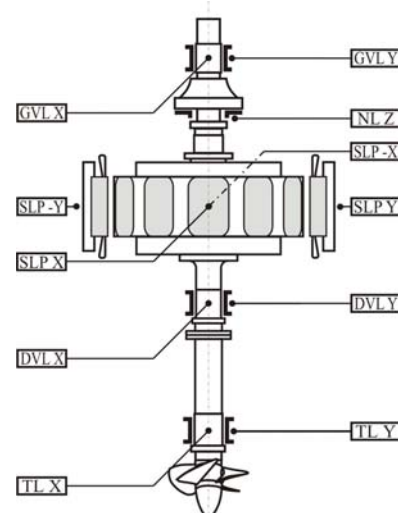
generatora, a pri tome se radne brzine najčešće nalaze u opsegu  $60 \div 1000 \text{ min}^{-1}$ , preporučene granice vibracija date u tabeli 1.

Tabela 1. Preporučene granične vrednosti vibracija

preporuč. zone	mer. na gor. gen. lež.		ostala lež. mesta	
	p-p( $\mu\text{m}$ )	rms(mm/s)	p-p( $\mu\text{m}$ )	rms(mm/s)
A/B	65	2,5	30	1,6
B/C	100	4,0	50	2,5
C/D	160	6,4	80	4,0

### 2.2. Nivoi vibracija definisani projektom

Na pojedinim tačkama ležaja agregata: gornji vodeći, donji vodeći i turbinski po x i y-osi (GVLX, GVLY; DVLX, DVLY i TLX, TLY) i na nosećem ležaju po z-osi (NLZ) montirano je sedam akcelerometara. Još četiri akcelerometra sa montirana na statorski lim paket i to u središnjoj zoni. Dva su u pozitivnim poluosama (SLPX i SLPY), a dva u negativnim poluosama (SLP-X i SLP-Y). Pravic i smerom ulaska vode u turbinu, a prvac i smer y-ose je pomenen za 90° u suprotnom smeru od kretanja kazaljke na časovniku. Prikaz pozicija ovih senzora je dat na sl. 1, a karakteristične vrednosti vibracija su date u tabeli 2.



Sl. 1. Šematski prikaz mernih mesta na agregatu

Tabela 2. Karakteristične vrednosti vibracija

senzor	podr sig rada mm/s	vredn.upoz. mm/s	vredn.isklj. mm/s
GVLX	<4,0	4,0	6,4
GVLY	<4,0	4,0	6,4
DVLX	<2,5	2,5	4,0
DVLY	<2,5	2,5	4,0
TLX	<2,5	2,5	4,0
TLY	<2,5	2,5	4,0
NLZ	<4,0	4,0	6,4
SLPX	<2,0	2,0	----
SLPY	<2,0	2,0	----
SLP-X	<2,0	2,0	----
SLP-Y	<2,0	2,0	----

Izabrani tip senzora ima prenosnu konstantu 0,1 V/g i potražuje napajanje 20±30 V dc, a meri opseg mu je ±50g. Za svaki od senzora predviđen je po jedan elektronski modul koji je kalibrisan na prenosnu konstantu senzora (0,1 mV/g), a za potrebe ovog objekta oni su podešeni na sledeće merne opsege:

- a) ubrzanje: 10 m/s<sup>2</sup>; fr. opseg 1 Hz ÷ 50 kHz
- b) vibrobrzina: 10 mm/s; fr. opseg 3 Hz ÷ 1,0 kHz
- c) pomak: 100 µm; fr. opseg 3 Hz ÷ 0,2 kHz.

U ovom slučaju izabrana je fizička veličina vibrobrzina, naznačene vrednosti 10 mm/s i njoj odgovarajući izlazni dc napon 10 V rms. Sa ovako normiranim signalima izvršeno je povezivanje senzora i pripadajućih modula sa računarskim sistemom na kojem je realizovan prikaz merenih vrednosti u realnom vremenu, SCADA sl. 4.

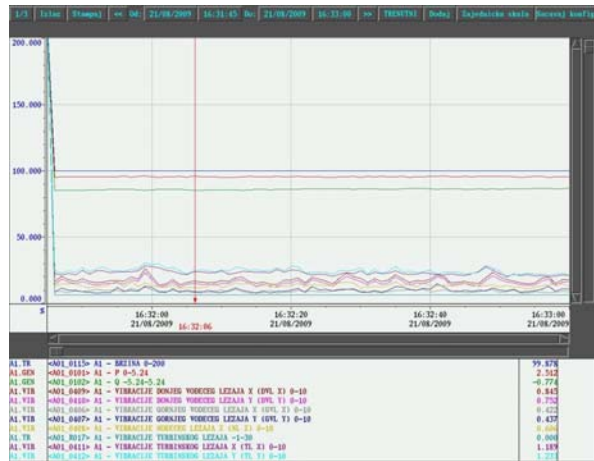
### 3. REZULTATI MERENJA

Nakon instalisanja ovog mernog sistema izvršeno je snimanje rezultata njegovog merenja i isti su delimično prikazani, sl. 2. Za verifikaciju ovog sistema korišćen je etalonirani prenosni sistem čiji su rezultati takođe delimično prikazani, sl. 3. Iz poređenja dobijenih rezultata merenja zaključuje se da je instalisani sistem verifikovan.

#### 3.1. Rezultati merenja instalisanog sistema

Na sl. 2 su prikazani signali vibracija za pripadajuća merna mesta. U toku ovog merenja agregat je radio snagom 2,5 MW u navedenom vremenskom opsegu, a pošto je generator 20-polni, nazivna brzina obrtanja agregata je 300 min<sup>-1</sup>. Na ordinati su date procentualne vrednosti vibracionih brzina, pri čemu je nazivna vrednost ovih vibracionih brzina 10 mm/s. Uvažavajući činjenicu da je predmetni agregat revitalizovan posle 50 godina rada i to u obimu da se isti može smatrati da spada u grupu novih agregata, nivo vibracija treba da bude u klasi A kako je definisano standardom ISO 10816-5.

Analizirajući prikazane rezultate merenja na sl. 2, uočljivo je da je za ovo radno stanje agregata nivo vrednosti vibracionih brzina svih senzora u datom vremenskom intervalu u opsegu 0,43÷1,3 mm/s, što je manje od standardom propisane vrednosti (2,5 mm/s), te da agregat pripada klasi A.

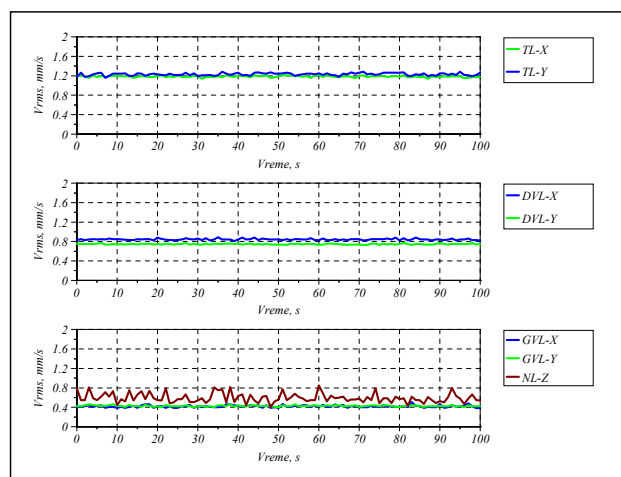


Sl. 2 Signali vibracija ležaja TLX, TLY, DVLX, DVLY, GVLX, GVLY i NLZ pri radu agregata sa 2,5 MW – instalisani sistem

#### 3.2. Rezultati merenja sa etaloniranim sistemom

Pri korišćenju etaloniranog sistema u paralelnom radu sa instalisanim sistemom, upotrebljeni su za ovaj program isti tipovi senzora i hardver za akviziciju signala od proizvođača National Instruments sa pripadajućim softverom – sertifikovani sistem. Signali dobijeni od ovog sistema za vibracione brzine na ležajnim mestima su prikazani na sl. 3. Analizom istih se zaključuje da je nivo vibracija u opsegu 0,4÷1,3 mm/s (rms), što upućuje na zaključak da je agregat u klasi A (vibraciona brzina manja od 2,5 mm/s)

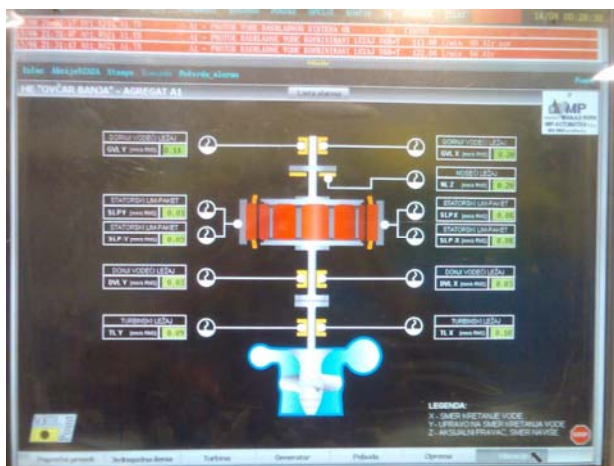
Signali od senzora sa lim-paketa statora generatora nisu prikazani iz razloga što se u standardu ISO 10816-5 ova pozicija ne navodi, pa se po tom osnovu ne navode ni njene vrednosti vibracionih brzina. Razlog uvođenju senzora za lim-paket statora generatora je sa ciljem da se na osnovu praćenja istih dođe do sopstvenih saznanja o ponašanju istog po osnovu dejstva vibracija na njega.



Sl. 3 Signali vibracija ležaja TLX, TLY, DVLX, DVLY, GVLX, GVLY i NLZ pri radu agregata sa 2,5 MW – etalonirani sistem

### 3. 3. Prikaz rezultata merenja na monitoru

U okviru revitalizacije agregata opredeljenje investitora je bilo da se isti opremi SCADA sistemom koji je primarno bio namenjen za prikaz rezultata merenja svih električnih i hidrauličnih veličina, kao i realizaciju njegove zaštite po određenim kriterijumima. Realizacijom ovog zadatka za SCADA sistem, isti je proširen podsistemom za prikaz merenja vibracija kao i zaštita agregata od istih. Na sl. 4 je prikazan verikalni presek agregata sa prikazom pozicija mernih mesta, njihovim tehnološkim oznakama i vrednostima vibracionih brzina. Pored prikaza merenih podataka u realnom vremenu, organizovano je i njihovo memorisanje u trajanju od tri meseca. Paralelno sa niže prikazanim monitorom lociranim u lokalu, instalisan je takav monitor i u komandnoj sali.



Sl. 4 Jedno od radnih stanja agregata, dato na monitoru sa prikazom vrednosti vibracija

### 4. ZAKLJUČAK

Na osnovu izmerenih vrednosti apsolutnih vibracija kućišta ležaja, odnosno vibracionih brzina (sl. 2 i sl. 3), zaključuje se da je revitalizovani agregat u vibracionoj klasi A, ISO 10816-5).

Komparacijom prikazanih rezultata merenja na sl. 2 i sl. 3, zaključuje se da je visok nivo podudarnosti, te da je instalisani sistem verifikovan.

Opravdanost realizacije podsistema za vibrodijagnostiku (merenja i zaštita) je brzina realizacije zaštitne funkcije tehničkog sistema i mogućnost izvođenja analize stanja koja su prethodila, npr. zaštitnom isključenju agregata.

Iskustva do kojih će se doći, a počivaće na merenjima vibracija na lim-paketu statora, poslužiće utvrđivanju budućih odluka za ovaj segment agregata.

### 5. LITERATURA

- [1] Donald E. Bently, "Fundamentals of rotating machinery diagnostics", BPB PRESS Nevada, sept 2002.
- [2] Cornelius Scheffer, "Practical Machinery Vibration Analysis & Predictive Maintenance", Oxford OX2DP, 2004.
- [3] Internacionalni standard ISO 10816-1,5
- [4] Internacionalni standard ISO 7919-1,5

### PROTECTION HIDRO POWER UNITS SMALLER POWER OF THE VIBRATION

**Abstract:** Design of system for vibration protection of hidro power units of was guided by requirements stated in standard ISO 10816-1,5; recommendation of HYDRO-Québec and monitoring of hidro power units and econo-technical optimization of the solution.

Estimation was made that presented concept of solutions meet the criteria of optimization for hidro power units up to 10 MVA. Realized solution, shown in this paper, is made for the hidro power units in HPP MORAVA, rated power 6,3 MVA with 11 channels (7 for bearings and 4 for lamination generator stator). Each of circuits measurement consists of an accelerometer and multifunction module. Criteria of acceptability are presented, as well as results of measurement. In addition, recommended solution concept allows a connection of such system to analogue domain of SCADA system.

**Key words:** hidro power units, vibrations, bearings, lamination, protection, accelerometer, multifunction module.