

# Мониторинг систем у ХЕ Вишеград

Марина Мракић, Мићо Плећић, Жељко

Крсмановић, Далибор Делић

ЗП „Хидроелектране на Дрини“ а.д.

Вишеград, РС-БиХ

[marina.mracic@gmail.com](mailto:marina.mracic@gmail.com), [mico.plecic@henadrini.com](mailto:mico.plecic@henadrini.com),

[zeljko.krsmanovic@henadrini.com](mailto:zeljko.krsmanovic@henadrini.com),

[dalibor.delic@henadrini.com](mailto:dalibor.delic@henadrini.com)

Огњен Ристић

Институт „Михајло Пупин“

Београд, Република Србија

[ognjen.ristic@pupin.rs](mailto:ognjen.ristic@pupin.rs)

*Садржај* — У овом раду је описан систем за надзор агрегата у хидроелектрани Вишеград, заснован на Бентлијевом систему за мониторинг и дијагностику (Bently Hydro Machinery). Такође, приказано је и мјерење вибрација, магнетног флукса, ваздушног зазора, брзине, референтне тачке, као и парцијална пражњења (PD).

*Кључне ријечи* – мониторинг систем; апсолутне вибрације; релативне вибрације; парцијално пражњење; сензори; агрегат

## I. Увод

Под мониторинг системом се подразумевају методе и активности које се користе да би се сагледало стање активног процеса хидроагрегата. Он укључује аутоматску аквизицију података, њихову обраду, меморисање, приказивање и коришћење за потребе дијагностике, заштите и дјелимично за систем управљања. То је тзв. ON-LINE праћење радног стања генератора уз могућност процјене разних величина и параметара које се непрекидно прате. У суштини се ради о интегрисаном ON-LINE мониторингу стања који укључује истовремено праћење разних параметара и величина који у потпуности дефинишу стање објекта и његову расположивост за корисника (у електрани и у систему). Систем мониторинга има превасходни задатак да припреми све релевантне податке за правилну дијагностику стања машине [1].

Параметри мониторинг система су величине које су повезане са структурним параметрима (вибрације, температура, зазор у лежају, притисак уља и др.) и носиоци су тачних информација о техничком стању система. Параметри који носе највише информација о стању система свакако су параметри вибрација. Поред њих такође су бити и параметри помјерања, температуре, буке, струјни параметри, параметри уља за подмазивање и др. Велики број техника се користи код мониторинга ротационих система, а који ће бити изабран зависи од дубине потребног дијагностиковања, уз економски оправдана улагања. Величине које се прате су: температуре дијелова и склопова генератора и расхладних флуида, вибрације механичких дијелова и релативна помјерања (орбите), форма статора, ротора и зазор генератора, парцијална пражњења у намотају, радни подаци генератора, присуство воде у уљу, брзина

обртања, магнетни флукс, проток - притисак воде за хлађење, нивои уља у лежајевима, контрола малих обртања, стање магнетног језгра статора, садржај гасова и влаге у расхладном ваздуху, степен искоришћења генератора, температуре намотаја ротора, квалитет расхладне воде (дестилата), мјерење буке у бурету генератора, кавитација и притисци кроз турбину [7].

## II. СИСТЕМ ЗА НАДЗОР АГРЕГАТА У ХЕ ВИШЕГРАД

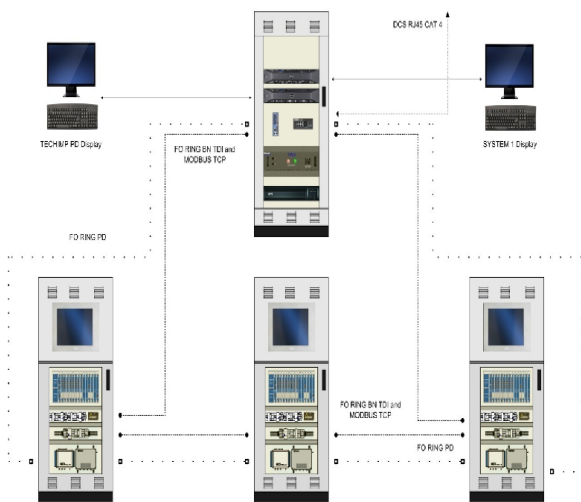
Хидроелектрана у Вишеграду има три идентична агрегата чије су карактеристике дате у табели I [9]. Агрегати су у употреби од 1989. године (први агрегат) и по годинама се налазе на средини предвиђеног експлоатационог живота. Такође, радни услови у ХЕ Вишеград су такви да сваки агрегат у просјеку на годишњем нивоу има преко 200 покретања и заустављања. Тај број доприноси бржем старењу машина које су пројектоване да раде у номиналном режиму на мрежи, када су сви параметри стационирани. Покретања и заустављања доводе до оптерећивања лежајева, термичких ширења и скупљања свих дијелова агрегата (лим пакета, намотаја, лежајева) услед пречестог загријевања и хлађења, промјена вискозности уља за подмазивање, свака синхронизација стресира машину механички, итд. Због конструкције агрегата, да би се смањила кавитација, неопходно је да минимално оптерећење буде веће од 70 MW, и у случајевима када су нивои горње и доње воде у прописаним границама. Секундарна регулација агрегата 2 често доводи до рада овог агрегата у режиму кавитације. Из свега овога закључујемо да су агрегати у ХЕ Вишеград изложени повећаном стресу [4]. Како је са друге стране неопходно да агрегати увијек буду оперативни и да се мора обављати предвиђање ремонта и њихова правовремена најава, одлучено је да се уведу надзорни систем који ће „уживо“ пратити:

- Апсолутне и релативне вибрације
- Магнетни флукс и ваздушни зазор
- Брзине и референтне тачке
- Парцијална пражњења

Основна фреквенција агрегата је доста ниска, што видимо на основу карактеристика агрегата. Машине се

окрећу брзином 136.64 ob/min и основна фреквенција износи 2.267 Hz. Такође, изражена је и појава „хидрауличког бича“ од радног кола која је фреквенције 0.5 Hz. Овако ниске фреквенције су захтјевале посебне сензоре и систем. За мјерење вибрација, брзине, референтне тачке и ваздушног зазора одабран је Бентли Невада систем (General Electric Bently Nevada System), управо из разлога јер може мјерити овако ниске фреквенције. За мјерење магнетног флукса одабран је сензор произвођача SENIS, који мјери у опсегу  $\pm 2$  T, док је за парцијална пражњења изабран Techimp јер посједују најнапредније алгоритме за класификацију, а и њихова сонда од 470 pF омогућава најбољи однос пропуштених PD појава и шума [2].

На Сл. 1 је приказан блок дијаграм повезивања система.



Слика 1. Блок дијаграм повезивања система

### III. МЈЕРЕЊЕ ВИБРАЦИЈА

Сензори који се користе за мјерења вибрација су:

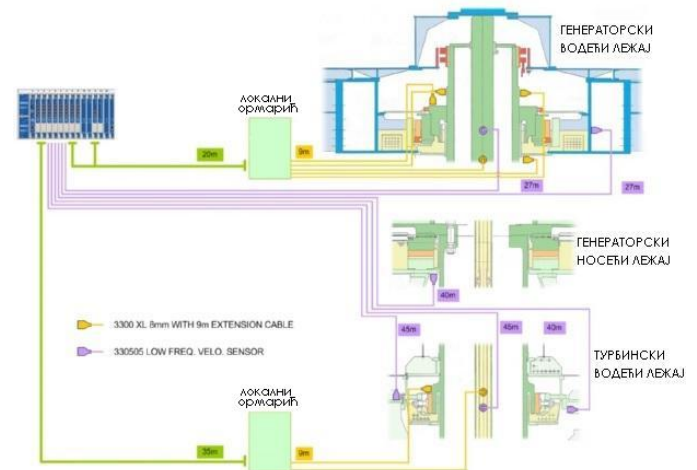
- Low Frequency Velocity сензори, који су moving coil сензори
- Velo CT, који су пиезо сензори
- 3300 XL, који су индуктивни сензори.

У зависности од сензора се мјери помјерај (3300 XL) и брзина вибрација (оба Velo сензора).

Мјерење вибрација се врше на следећим елементима:

1. Водећи генераторски лежај
2. Носећи лежај
3. Водећи турбински лежај
4. Турбински поклопац
5. Спојеви лим пакета статора
6. Кућиште статора

На Сл. 2 су приказани распореди лежајева. Генераторски водећи лежај и турбински водећи лежај имају по два сензора за релативне и по два сензора за апсолутне вибрације. Сензори за релативне вибрације су постављени испод лежаја, монтирани на кућиште и усмјерени ка вратилу. Сензори за апсолутне вибрације су монтирани на кућиште лежаја. Постављени су у хоризонталној равни под углом од  $90^\circ$ , у x и у оси, гдје је x оса у смјеру низводно (на Сл. 2 је смјер низводно десно). Оваква конфигурација два сензора представља ху пар [3].



Слика 2. Распоред лежајева

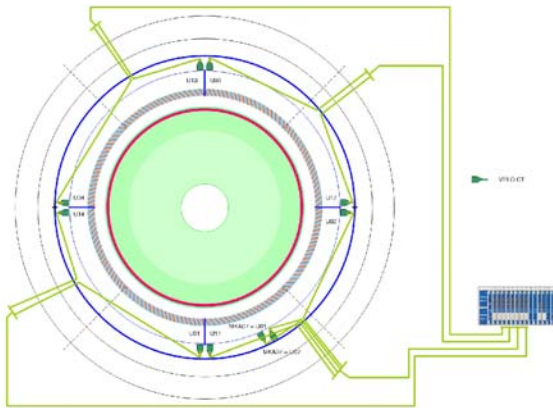
За мјерење релативних и апсолутних вибрација се користе 3300 XL 8 mm и Low Frequency Velocity сензори, респективно. Носећи лежај има један Low Frequency Velocity сензор у вертикалној оси, испод лежаја, усмјерен ка њему, а да би се мјерио вертикални помјерај ротора (колико се издиже у раду), са горње стране је монтиран 3300 XL 8 mm сензор. За мјерење на турбинском поклопцу користи се један Low Frequency Velocity сензор, који је усмјерен ка радном колу. На Сл. 3 је приказан ротор са Velo CT сензорима. Мјерења вибрација на спојевима лим пакета су значајна јер током рада долази до њихове разлабављености, те се услед њиховог неуједначеног помјерања таре изолација на спојевима. Лим пакети се константно надгледају, управо да не би дошло до њиховог кратког споја. Вибрације на спојевима се прате и потребно је да буду што мање и приближно истог интензитета. Пошто је овдје доминантна фреквенција од 100 Hz, користе се стандардни Velo CT сензори. Додатно, по један сензор је смјештен на кућиште и наспрамни лим пакет, како би имали информацију на који начин пакет и кућиште вибрирају један у односу на други.

### IV. МЈЕРЕЊЕ МАГНЕТНОГ ФЛУКСА И ВАЗДУШНОГ ЗАЗОРА

Магнетни флукс између статора и ротора генератора се мјери једним сензором монтираним на статор (постављен је један сензор магнетног флукса наспрам првог пола ротора када се овај налази у референтном положају). Производи га фирма Senis и 3500/46M долази посебно модификован за приказ информације овог сензора (F1A-

0YA02F-C02T2K5M - Hall-ова сонда). Приликом ротације, када се машина побуди, сви полови пролазе наспрам сензора и врши се снимање електромагнетног флукса сваког пола [4].

Систем за надзор ваздушног зазора омогућава надзор и дијагностику за хидро мотор/генераторе. Надзорни систем



Слика 3. Ротор са Velo CT сензорима

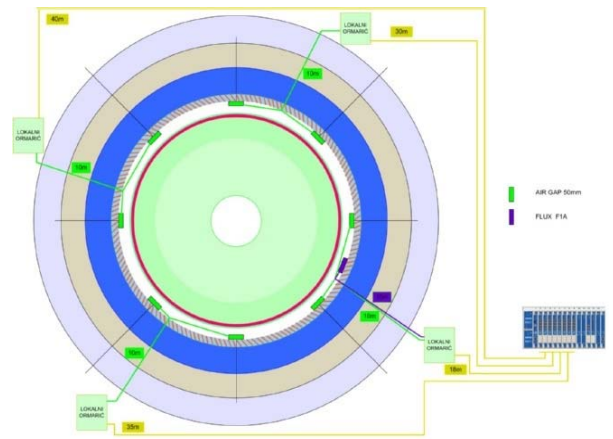
је преко 3500/46М Hidro Monitora интегрисан у 3500/Sistem 1™ платформу. Ваздушни зазор је мјера растојања између статора и ротора хидро генератора. Надзор ваздушног зазора је значајан зато што статор и ротор великих хидро машина могу бити флексибилни и њихов облик и локација могу бити зависни од центрифугалних, термичких и магнетних сила. Систем за надзор ваздушног зазора се састоји од: 50 mm сензора ваздушног зазора (Air Gap 50 mm, капацитивни сензор), продужног кабла и 4000 претварача. 50 mm сензори су капацитивне сонде за мјерење растојања. Предвиђени број сензора је осам (због физичких карактеристика ротора) и мјерења се врше у једној равни (сензори су равномјерно удаљени један од другог). Постављени су у горњем дијелу статора и окренути ка ротору. Сваки сензор је преко продужног кабла повезан на претварач, који је даље повезан на 3500/46М Hidro Monitor. У току рада агрегата, одређују минимално и максимално растојање између ротора и статора, као и центрираност и облик ротора. Ова мјерења заједно са мјерењем вибрација лежајева помажу у откривању узрока механичког дисбаланса [3].

На Сл. 4 је приказан ротор са Air Gap50 mm и F1A сензорима.

#### V. МЈЕРЕЊЕ БРЗИНЕ И РЕФЕРЕНТНЕ ТАЧКЕ

Мјерење брзине је смјештено гдје и мјерење за управљачки систем. Користи се сензор 3300 XL који „гледа“ у прстен око вратила са 22 зуба. Служи за мјерење апсолутних вибрација кућишта лежаја генератора и турбине, апсолутних вибрација водећег генераторског лежаја и апсолутних вибрација турбинског поклопца у вертикалном правцу. На Сл. 3 је приказано мјерење брзине (дио слике за мјерење вибрације). Мјерење референтне тачке је основ за правилан рад система. На основу њега систем одређује фазу мјерења са било ког

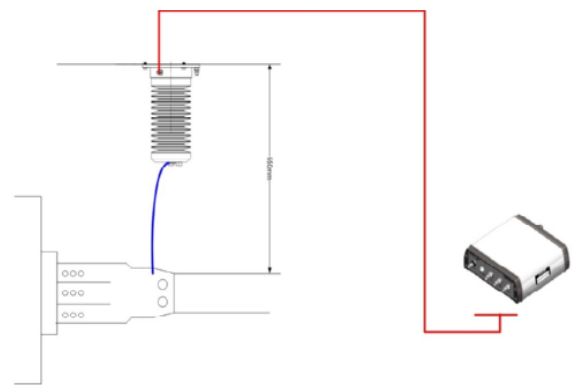
сензора и образује векторе. Постављено је на истом мјесту гдје и мјерење брзине.



Слика 4. Ротор са Air Gap и F1A сензорима

#### VI. ПАРЦИЈАЛНА ПРАЖЊЕЊА

Систем за мјерење парцијалних пражњења је пројектован као независан систем. Он служи за информацију о стању изолације [2]. Сигнали са сонди преко уређаја за аквизицију се шаљу на сервер гдје се обрађују и дају увид у стање парцијалних пражњења генератора. Мјерење се врши тако што су на изводима генератора постављени капацитивни сензори TCL 24, по један на сваку фазу. Они су преко разводних кутија повезани на уређај за аквизицију PDSCore. На Сл. 5 је приказана шема парцијалног пражњења.

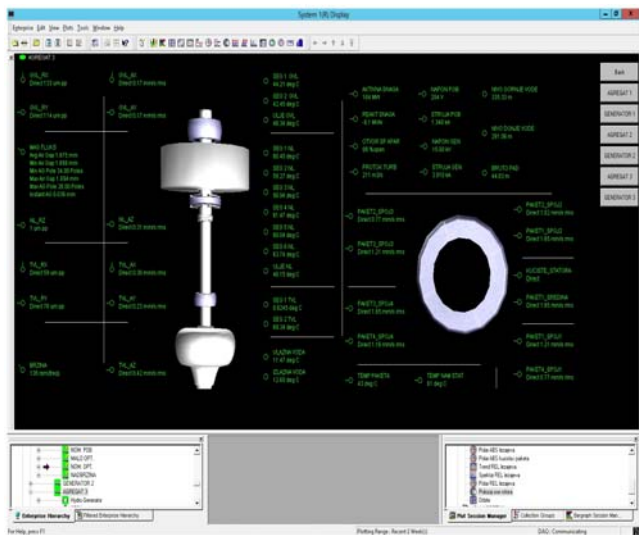


Слика 5. Парцијална пражњења

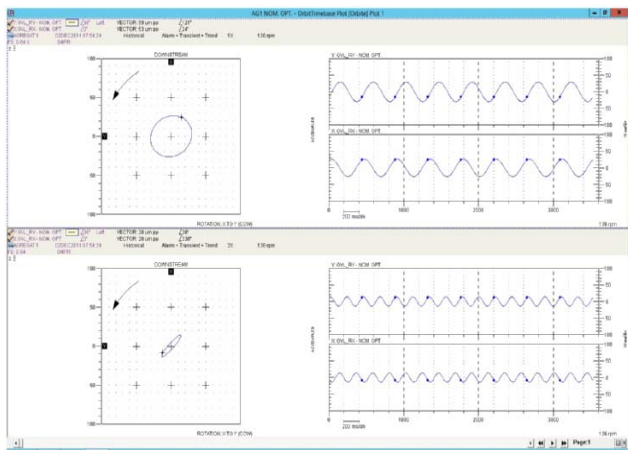
Сваки агрегат посједује три сензора и један аквизициони уређај. Аквизициони уређаји свих агрегата су повезани у оптички прстен и комуницирају са Techimp сервером. Сам сервер посједује монитор за приказ резултата анализе, а такође је повезан са GE Sistem 1 сервером. Снима се изолација статора агрегата. На изводе генератора се постављају капацитивни сензори Misa, на сваку фазу по један, који улазе у аквизициони уређај у локалном ормару агрегата, а одатле се информације шаљу у сервер поред централне команде (VF просторија гдје се налазе два екрана за приказ мјерења). На серверу алгоритми за класификацију сигнала раздвајају

прикупљене импулсе пражњења по времену трајања и фреквенцији па је омогућено додатно филтрирање од стране корисника. Информацији са сервера се приступа или директно на серверу или преко интернета.

Сви сигнали од сензора се сабирају, или директно или преко локалних ормарића са претварачима, у локалном ормару за тај агрегат. За мјерење брзине, референтне тачке, вибрација, ваздушног зазора и флукса, сигнали улазе у GE BN 3500 за мониторинг, док мјерење за парцијална пражњења улази у посебан уређај за аквизицију. Сваки локални ормар посједује тач панел за екрански приказ. На Сл. 6 и 7 је приказан примјер приказа и обраде података.



Слика 6. Приказ и обрада података Sistem 1



Слика 7. Приказ и обрада података Sistem 1

TABELA I. КАРАКТЕРИСТИКЕ АГРЕГАТА

Тип турбине	Вертикална Каплан турбина
Број агрегата	3
Називна снага	3*105=315 MW
Него пад	42.7 m
Називни проток	3*267 m <sup>3</sup> /s

Тип турбине	Вертикална Каплан турбина
Брзина обртања	136.36 ob/min
Пречник радног кола	6020 mm
Пречник ротора генератора	8744 mm
Унутрашњи пречник статора	8800 mm
Спољашњи пречник статора	11000 mm
Број група статорских намотаја (четвртки)	4
Број слотова за намотаје статора	480
Растојање између оса два сусједна слота намотаја статора	57.59 mm
Растојање између слотова намотаја статора (ширина пакета између слотова)	36.09 mm
Ширина зазора слотова намотаја статора	21 mm
Дебљина штапова намотаја статора са изолацијом (ширина слота)	20.5 mm
Број намотаја по полу ротора	22
Висина гвоздених штапова намотаја статора	1450 mm
Број лопатица ротора радног кола турбине	7
Број лопатица статора радног кола турбине	20
Број спроводних лопатица	20
Ваздушни зазор између статора и ротора	28 mm
Максимални аксијални помјерај вратила	20 mm(у раду до 0.15 mm)
Број паралелних путања по фази	2 намотаја по фази
Растојање између агрегата и Командне собе	3*145 m
Нормални напон генератора	15.75 kV
Номинална фреквенција мреже	50 Hz
Број пари полова	22

## VII. ЗАКЉУЧАК

Предложени концепт представља оригинално рјешење система за надзор агрегата у ХЕ Вишеград. GE Sistem 1 сервер омогућава праћење свих агрегата: графички приказ, архивски приказ, као и напредни систем за дијагностику агрегата на основу мјерених информација. Развојем микропроцесорске технологије и на њој засноване дигиталне обраде сигнала, омогућен је значајан искорак у заштити машина. Непосредним праћењем и анализом стања добија се квалитетан увид у рад машине. На тај начин се управља машинама и процесом у цјелини што резултује повећању сигурности и искористивости машина и погона, смањују се трошкови и повећава профитабилности, што је услов за тржишно пословање [8].

## ЗАХВАЛНИЦА

Рад је настао у овире пројекта уградње Бентлијевог система за мониторинг и дијагностику агрегата у ХЕ Вишеград, финансиран од стране Електропривреде Републике Српске, ХЕ Вишеград. Посебну захвалност дугујемо Проф. др Ранку Антуновићу, декану Машинског факултета Универзитета у Источном Сарајеву, за несребичну помоћ приликом израде овог рада.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Schneider Electric, "Bently Hydro Machinery, Monitoring and Diagnostics, System 1, Ge's Optimization and Diagnostic Platform", Sacramento, California Area, US, 2014.
- [2] Schneider Electric, "System 1 Fundamentals, System 1, Ge's Optimization and Diagnostic Platform", Sacramento, California Area, US, June 2014.
- [3] Schneider Electric, "3500 Operation and Maintenance", Sacramento, California Area, US, 2014.
- [4] Огњен Ристић, „Систем за надзор три агрегата ХЕ Вишеград, техничка документација“, Вишеград, јануар 2014.
- [5] [http://www.ge-mcs.com/download/monitoring/GEA\\_13978C\\_L.pdf](http://www.ge-mcs.com/download/monitoring/GEA_13978C_L.pdf), јануар 2015.
- [6] <http://www.ge-mcs.com/en/bently-nevada-application-solutions/hydro-turbine-condition-monitoring.html>, јануар 2015.
- [7] S. Zelingher, „ON-LINE condition monitoring and expert system for hzdraulic pump storage units“, CIGRE R11-206, Paris, 1996.
- [8] M. Šarenac, R. Antunović, "Monitoring and Managment rotating machinery", 9 Internaciona Research/Expert Conference "Trends in the

Development of Machinery and Associated technology" TMT 2005, Turkey, Antalya 26-30 September 2005. god.

- [9] O. Karabeg, Č. Vujović, „HE Višegrad 3\*115MVA, elektromašinski dio, glavni projekat, opšta knjiga“, Energoinvest, 1989.

## ABSTRACT

This paper presents a system for monitoring and diagnostics of aggregates in HPP Višegrad, based on Bently system for monitoring and diagnostics (Bently Hidro Machinery). Also, it's shown the measurement of vibration, magnetic flux, air gap, speed and reference point, as well as partial discharge (PD).

## MONITORING SYSTEM IN HPP VIŠEGRAD

Marina Mrakić, Mićo Plečić, Željko Krsmanović, Dalibor Deliћ, Ognjen Ristić