

# ПРИМЕНА САВРЕМЕНИХ МОНИТОРИНГ СИСТЕМА НА МАШИНСКИМ И ЕЛЕКТРО ПОСТРОЈЕЊИМА И СИСТЕМИМА КОЈИ РАДЕ НА ПРИНЦИПУ МАГНЕТНЕ ЛЕВИТАЦИЈЕ

Академик др Никола Жегарац, дипл. инж. маш.\*



У раду је приказана примена савремених мониторинг система на машинским и електро постројењима и системима који раде на принципу магнетне левитације, са посебним освртом и искуствима у примени новог начина одржавања система и спречавања отказа, неправилног рада и хаварије система. Крајњим корисницима нуде се широке могућности примене мониторинг система, који функционишу на принципу OFF-LINE или ON-LINE мониторинг система. Примена нових система омогућује корисницима постројења да обезбеде исправан рад у даљем коришћењу. Постижу се знатне уштеде у трошковима одржавања и експлоатацији система.

\*Аутор је члан Српске академије изумитеља и научника – САН у Београду

Мониторинг системи поседују широке могућности примене на машинским и електро постројењима и системима који раде на принципу магнетне левитације. Примењују се на: хидроелектранама, термоелектранама, гасним турбинама, турбинским система у процесној индустрији, моторима са унутрашњим сагоревањем који се користе као основни погони у многим системима, авио-индустрија, бродоградња, клипним компресорима, цементарама, алатним машинама и системима који раде на принципу магнетне левитације (област техничке дијагностике је нови изазов за многе научнике).

Крајњим корисницима нуде се комплетна решења за инсталацију

нових мониторинг система на постројењима, уређајима и опреми, која се налази у процесу производње, која знатно олакшава примену у даљој експлоатацији или уз деломично растављање система (минимални трошкови уградње), како би се модернизовали и уградили нови системи за надзор и праћење техничке исправности постојећих уређаја и опреме.

Мониторинг системи омогућавају брзо и поуздано мерење и праћење радних и функционалних параметара система с циљем повећања поузданости система у току експлоатације, превентивног одржавања, спречавања могућих хаварија, отказа и застоја у раду и знатног смањења трошкова одржавања постројења.

Постоје две концепције мониторинг система:

1. *ON-LINE мониторинг системи* – за континуално мерење и анализу техничке исправности система; мерни сензори (давачи) и мониторинг системи уграђени су на машинска и електро постројења;
2. *OFF-LINE мониторинг системи* – намењени су за периодична мерења и анализу техничког стања постројења; неки сензори су стално уграђени у постојећи систем на постројењу, у зависности које се дијагностичке величине мере, а други се постављају заједно са преносивим делом мониторинг система када се мери.

Мониторинг системи могу се користити за даљинско управљање и надзор, што је погодно када се надзор система и утврђивање техничке исправности врши без присуства посаде.

Посебну погодност и економску оправданост примене нових мониторинг система имају велики погонски системи као што су: бродски мотори, мотори који се користе у оклопним војним возилима (тенковима, транспортерима и тегљачима), грађевинским машинама, палтформе за бушење нафте, посебно на дизел-електричним агрегатима који поседују аутоматику за праћење функционалних параметара, али немају опцију за надзор истрошења клизних лежајева с циљем заштите целокупног система. Многи системи раде без присуства посаде тако да у случају настанка хаварије постројења штете могу бити знатне.

У овом раду приказују се савремени мониторинг системи на машинским и електро постројењима и системима који раде на принципу магнетне левитације. Због обимности рада биће описане важне дијагностичке методе и параметри, који презентују исправности постројења.

## ПРИМЕНА САВРЕМЕНИХ МОНИТОРНИГ СИСТЕМА НА МОТОРИМА СА УНУТРАШЊИМ САГОРЕВАЊЕМ КОЈИ СЕ КОРИСТЕ КАО ГЛАВНИ ПОГОНИ РАЗНИХ ВРСТА ПОСТРОЈЕЊА

Мониторинг системи обухватају дијагностичке методе и параметре да би се сагледала исправност постројења. Они укључују аутоматску аквизицију података, њихову обраду, меморисање, приказивање и коришћење за потребе техничке дијагностике, системе заштите и аутоматског управљања, уз могућност да се систем искључи из употребе ако измерене величине дијагностичких параметара прелазе границе дозвољених вредности. Овакве могућности обезбеђују ON-LINE мониторинг системи. Мониторинг системи укључују праћење разних параметара и величина који у потпуности дефинишу стање објекта и његову расположивост за коришћење (слика 1).

Системи мониторинга имају преваходни задатак да припреме све релевантне податке за исправну дијагностику техничког стања постројења<sup>1</sup>.

Параметри мониторинг система су величине које су повезане са структурним параметрима: вибрације, температура, зазор у лежају – истрошење лежаја, притисак уља у систему подмазивања и многе друге мерне величине. Измерене вредности показатељи су тачних информација о техничком стању система. Вибрацијски параметри дају највише информација о техничкој исправности система. Поред њих, веома су важне вредности и других параметара: температуре на одређеним мерним местима, бука, струјни параметри, параметри о притиску и температури уља за подмазивање и др.

Многе дијагностичке методе користе се код ротационих постројења, а која ће метода бити примењена зависи од врсте и сложености постројења, уз економску оправданост улагања.

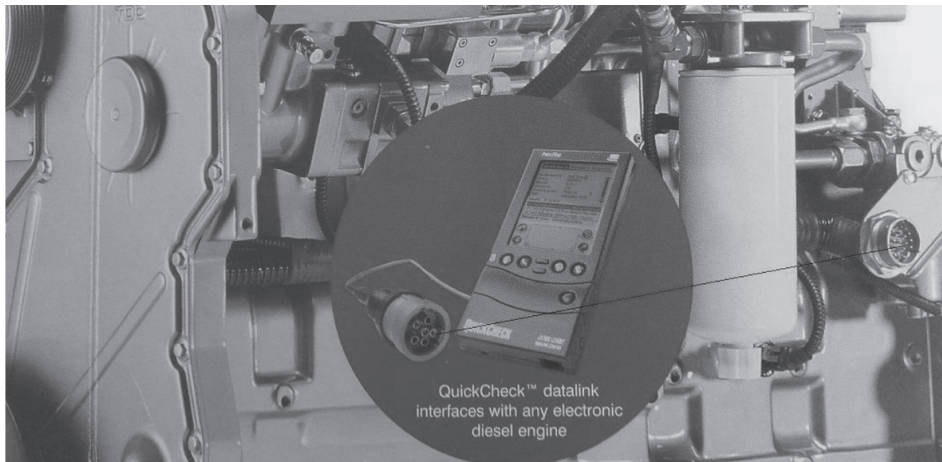
Мотори са унутрашњим сагоревањем су главни погонски део разних система и могу изазвати многе поремећаје у раду. При томе се мисли на:

- карактеристике потрошача – гоњеног уређаја, може бити моторно возило, грађевинска машина, трактор, генератор, пумпа, брод и др.;
- систем преноса снаге;

<sup>1</sup> Жегарац, Н.: *Дијагностика клизних лежајева у дизел моторима*, докторска дисертација, Факултет стројарства и бродоградње, Свеучилиште у Загребу, 1989.

- помоћне уређаје – опрема мотора;
- услове у моторном простору;
- еластично ослањање мотора;
- начине и услове експлоатације мотора и др.

Веома је важно да се мотором са унутрашњим сагоревањем правилно рукује и користи: хладан старт, мотори који имају систем за преднабијање моторног уља у систему подмазивања пре старта мотора (мотори високе специфичне снаге – тенковски мотори), коришћење мотора који поседују турбокомпресоре, оспособљеност корисника да рукују системима и да обрате пажњу на правилан рад мотора, да оцене да ли је потпуно сагоревање у мотору, издувна емисија, исправност система за напајање горивом, квалитет горива, температура раскладне течности, квалитет и притисак уља за подмазивање, притисци уласног ваздуха у систему турбопрехрањивања мотора и сл.



**Слика 1.** Мониторинг систем Quick Check QC 5200 на дизел-мотору америчког произвођача Cummins

Развој нових Common rail система за напајање горивом омогућио је већу снагу мотора, истовремено је повећао топлотне вредности мотора, а самим тим наметнуо и строже захтеве у систему за хлађење мотора. Системи су посебно осетљиви на квалитет погонског горива. Велики проблем чине нечистоће у гориву, присуство воде и других недозвољених компонената. Услед тога настају оштећења делова у горивном систему, чија је замена веома скупа.

Посебно је важно да се корисник система придржава свих норми

за одржавање које су прописане за сваку врсту мотора са унутрашњим сагоревањем.

Познати светски произвођачи мотора са унутрашњим сагоревањем (Cummins, Perkins, Volvo, Mercedes, MTU, MWM, DUTZ, Mitsubishi и др.) развили су мониторинг системе за своје производне. Развијени су и системи тзв. Engine Modul Menagment, који прате и регулишу све моторне параметре.

На слици 1 дат је приказ мониторинг система Quick Check QC 5200 (handeld computer), америчке фирме Cummins<sup>2</sup>.

Савремени мониторинг системи за моторе са унутрашњим сагоревањем имају функције праћења температуре и притиска уља на одређеном местима у систему подмазивања мотора. Не поседују мониторинг систем за дијагностику клизних лежаја, који је веома важан за даљу експлоатацију мотора, што је потврђено безброј пута у експлоатацији мотора. Аутор рада наводи пример оштећења и санације једног клизног лежаја на коленастом вратилу мотора, на највећем дизел-електроагрегату снаге 2 MW. Произвођач агрегата је фирма Mitsubishi – Јапан. Постројење је инсталирано педесетих година прошлог века, у времену када није било савремених мониторинг система. У саставу система били су уграђени само основни инструменти за мерење радних параметара на дизел-електроагрегату. Уз бројне проблеме, корисник је заменио клизни лежај, пошто постоји могућност замене лежаја на мотору тако што се демонирају само поклопци на мотору, без великог растављања мотора.

Корисник није могао ни да помишља о машинској обради коленастог вратила. На нашим просторима то се није могло урадити, нити у земљама у окружењу. Велико је питање да би то могао урадити и произвођач система, пошто се ради о застарелој производњи мотора. Ипак је овај проблем успешно решен на основу знања и богатог искуства наших стручњака из Србије.

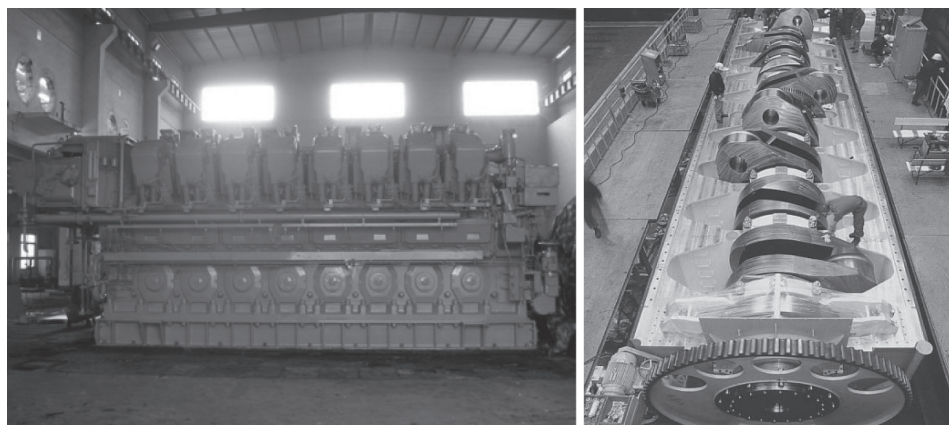
Аутор овог рада радио је на истраживању и развоју новог мониторинг система за клизне лежајеве за све врсте машинских и електро постројења. Крајњем кориснику нуди се комплетно решење за мониторинг постројења без растављања, само у неким случајевима потребно га је делимично раставити ради монтаже мониторинг система<sup>3</sup>. Истраживање и развој новог мониторинг система извршено је на

<sup>2</sup> Техничка документација америчке фирме Cummins.

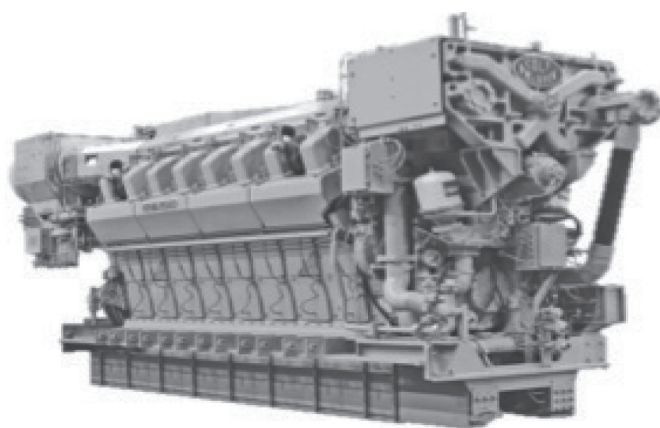
<sup>3</sup> Жегарац, Н.: *Поступак и уређај за одређивање зазора у клизним лежајевима, мерењем динамичке путање главних рукаваца коленастог вратила мотора са унутрашњим сагоревањем*, Патент бр. 48216-П-640/93, Завод за интелектуалну својину у Београду, 1993.

бродским дизел-моторима познатог произвођача Sulzer, Швајцарска, и Pielstick, Француска, у Творници дизел-мотора Југотурбина, Карловац, и Творници дизел-мотора Уљаник Пула, Хрватска, које су имале лиценцу за производњу мотора. На овим типовима мотора инсталиран је и мониторинг систем клизних лежајева.

На слици 2 приказани су један тип дизел-мотора фирме Sulzer и коленасто вратило мотора<sup>4</sup>, које је веома осетљиво на правилну експлоатацију. Ако изостану основне функције у раду, у том случају долази до хаварије мотора. Штете су огромне пошто су то веома скупи мотори.



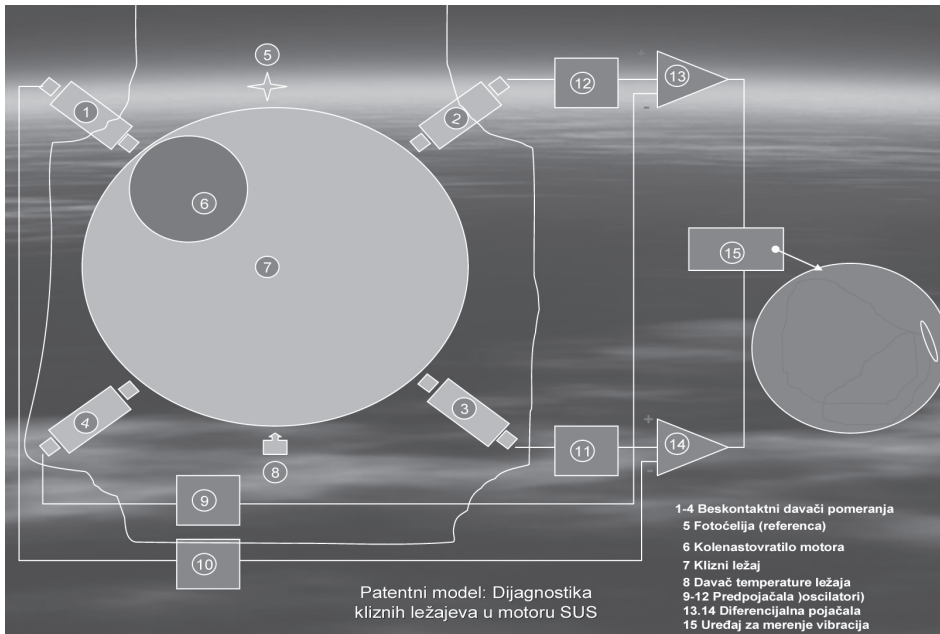
**Слика 2.** Приказ бродског мотора и коленастог вратила швајцарске фирме Sulzer



**Слика 3.** Приказ бродског дизел-мотора француске фирме SEMT Pielstick

<sup>4</sup> Техничка документација швајцарске фирме Sulzer

На слици 4 приказан је мониторинг систем клизних лежајева на моторима са унутрашњим сагоревањем<sup>5</sup>.



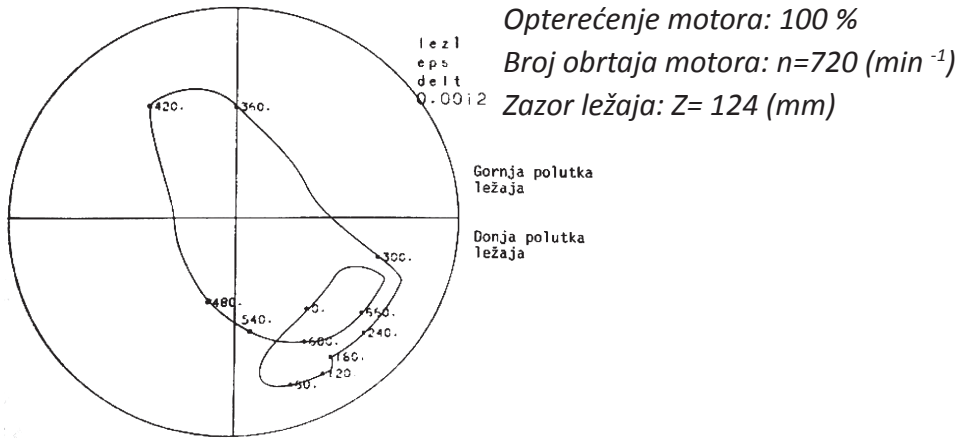
**Слика 4.** Приказ мониторинг система клизних лежајева

Провера функционалности и верификација мониторинг система реализована је на основу израде динамичких модела мотора са унутрашњим сагоревањем и прорачуна динамичких путања главних рукаваца у систему клизних лежајева коленастог вратила мотора.

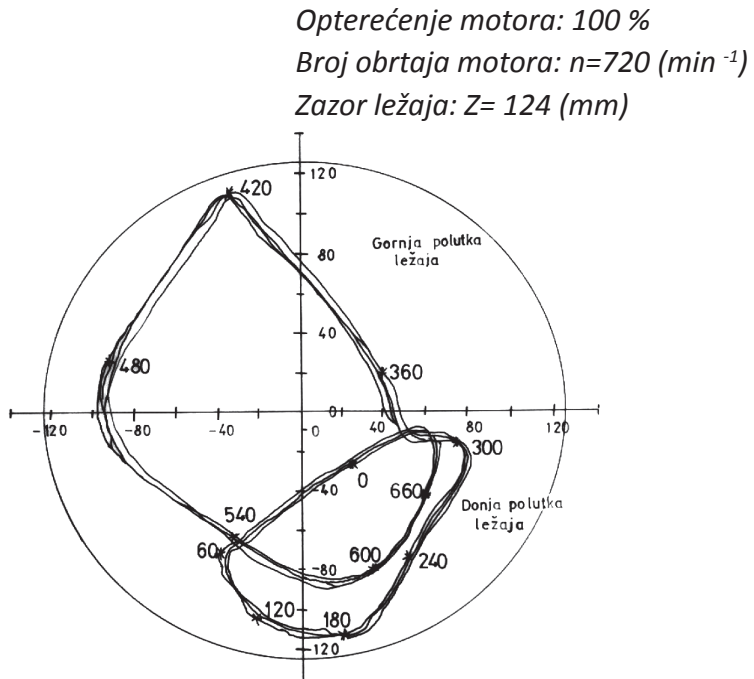
На слици 5 дат је приказ прорачунате динамичке путање рукавца на првом темељном лежају коленастог вратила мотора са унутрашњим сагоревањем.

На слици 6 дат је приказ измерене динамичке путање главног рукавца на првом лежају коленастог вратила мотора са унутрашњим сагоревањем.

<sup>5</sup> Жегарац, Н.: *Мониторинг систем за клизне лежајеве*, Београд, 2004.



Слика 5. Приказ прорачунате динамичке путање главног рукавца на првом темељном лежају коленастог вратила мотора



Слика 6. Приказ измерене динамичке путање главног рукавца на првом темељном лежају коленастог вратила мотора



Динамичка путања главног рукавца у клизном лежају представља нову дијагностичку методу за утврђивање степена истрошења клизног лежаја. Повећањем зазора у клизном лежају мењају се параметри динамичке путање.

Радијални зазор лежаја који се утврђује дефинише се као:

$$Z = R - r$$

где ознака:  $R$  – означава унутарњи полупречник лежаја,

$r$  – означава спољни полупречник рукавца лежаја.

У случају када се поклапају тачке центара лежаја и центра рукавца, долази до максималног радијалног зазора у лежају. Уколико рукавац налегне на површину клизног лежаја, вредност радијалног зазора износи  $Z = 0$  (mm).

У рачунским моделима динамичких путања дефинише се величина зазора у лежају  $e$ , која означава релативни ексцентритет лежаја:

$$\varepsilon = e/Z$$

Ознака  $e$  означава ексцентритет рукавца, а то практично представља величину колико је центар рукавца удаљен од центра лежаја. У случају да је величина  $e=Z$ , тада је вредност  $e=1$ , што значи да рукавац додирује лежајну површину. У дијагностичким процедурама то су веома неповољни случајеви, јер тада долази до сувог трења рукавца у лежају и неизбежне хаварије система подмазивања мотора („заривавања лежаја”).

На графичким приказима прорачунатих и измерених динамичких путања означени су углови заокрета коленастог мотора  $\alpha = 0^\circ - 720^\circ$ , пошто се ради о четворотактном мотору. Угао заокрета коленастог вратила мотора  $\alpha = 0^\circ$  означава почетак такта експанзије, затим следе тактови мотора: издувавање, усисавање и завршетак такта компресије у мотору када је  $\alpha = 720^\circ$ , пошто се ради о четворотактном мотору. На графичким приказима измерених динамичких путања приказано је више циклуса рада мотора („фамилија” циклуса рада мотора). На приказу се може уочити изузетна поновљивост резултата мерења. Измерене су и дебљине уљног филма за време рада мотора, које се налазе у границама од 15 до 30 (mm), што показује да нема опасности за заривавање лежаја. По неким научницима минимална дебљина уљног филма за поуздан рада мотора треба да износи 5 (mm)<sup>6</sup>.

<sup>6</sup> Чернеј, А. и др., *Радни услови подмазивања лежаја дизел-мотора*, „Горива и мазива” 36 (5-6) 229–236.

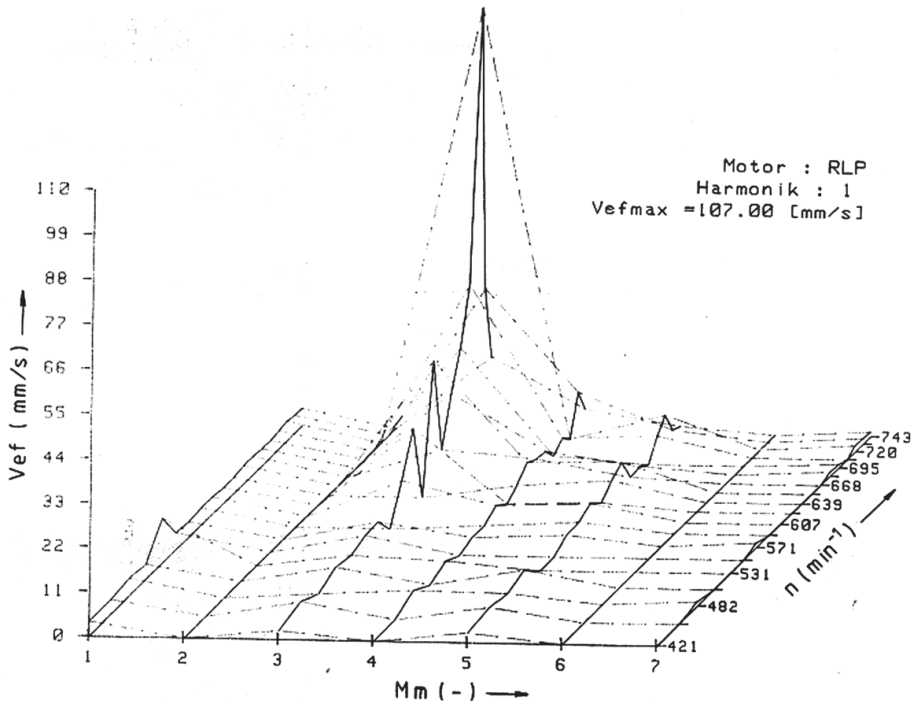
Подударност прорачунатих вредности и измерених вредности параметара динамичких питања налази се у границама до 5%. Прорачун динамичких питања главних рукаваца захтева врло прецизно моделирање мотора са унутрашњим сагоревањем. Мерење динамичких питања рукаваца спада у групу врло прецизних мерења. Разлика у величинама радијалног зазора код испитиване врсте мотора за случај новог мотора и радијалног зазора лежаја када се мотор треба генерално ремонтovati, када се лежајеви требају мењати по захтеву произвођача мотора износи  $DZ = 60$  (mm). Дакле, ради се о невидљивем величинама за људско око. Аутор патента ради на развоју и истраживању још једног пројекта који би омогућио мерење истрошења лежаја пре стартовања постројења (у стању мировања)<sup>7</sup>. Нови систем знатно би поједноставио мониторинг систем који се сада користи када је систем у оперативном раду.

Мониторинг систем клизних лежајева обухвата и мерење вибрационих параметара на унутрашњим и вањским површинама мотора. На слици 7 приказани су резултати мерења на седам мерних места у зависности од броја обртаја мотора  $n$  ( $min^{-1}$ ), за случај када се радијални зазор лежаја налази на самој граници дозвољених вредности  $Z = 144$  (mm). Приказане су вредности 1-хармоника, ефективне вибрацијске брзине  $V_{ef}$  (mm/s), који је највише изражен. У мањој мери изражен је и хармоник 0,5 реда.

На мерном месту 1, 2 извршено је мерење на доњем поклопцу кућишта темељног лежаја коленастог вратила. Поклопац се учвршћује у блок мотора са два вертикална завртња и са два бочна завртња у хоризонталној равни самог лежаја. Резултати мерења показују да нема значајних променама у нивоу вибрација. Разлог је у томе што је поклопац лежаја много крут део и вибрације се у хоризонталном и вертикалном смеру не преносе на површине од побудних сила које делују на мотор. Извршено је мерење на мерном месту 3, на бочном завртању 1. темељног лежаја, у хоризонталној равни мотора. Измерене су значајне промене у нивоу вибрација. На овом месту унутар кућишта (блока) мотора налазе се канали (шупљине) за циркулацију расхладне течности, мотора који савршено преносе вибрације на вањску површину мотора. Слична појава утврђена је и на бочном завртњу 4. и 7. темељног лежаја коленастог вратила мотора. Нивои вибрација на доњем поклопцу 7. темељног лежаја изразито су мали,

<sup>7</sup> Жегарац, Н., *Идејни пројекат мониторинг за клизне лежаје пре стартовања система у погон*, Београд, 2015.

исти случај као и на доњем поклопцу 1. темељног лежаја коленастог вратила мотора.



Слика 7. Ефективне вредности вибрацијске брзине  $V_{ef}$  (mm/s) за разна мерна места на мотору при различитим бројевима обртаја и оптерећењима мотора

## ПРИМЕНА САВРЕМЕНИХ МОНИТОРИНГ СИСТЕМА НА МАШИНСКИМ И ЕЛЕКТРО ПОСТРОЈЕЊИМА У ХИДРОЕЛЕКТРАНАМА

Мониторинг системи поседују широке могућности примене. Омогућавају брзо и поуздано мерење величине истрошења (зазора) у клизним и котрљајним лежајевима, мерење вибрацијских параметара и моћну анализу вибрација, посебне вибрацијске методе за утврђивање техничке исправности зупчстих склопова „spectrum analasys“, мерење брзине вртње, мерење температуре уља за подмазивање или температуре течности за хлађење, анализу уља за под-

мазивање, позиционирање горње мртве тачке, ако се ради о моторима са унутрашњим сагоревањем. Пошто се ради о вишеканалним системима може се пратити и мерити велики број дијагностичких параметара на машинским и електро постројењима у хидроелектранама. У хидроелектранама поред хидроагрегата налази се и многа друга опрема, уређаји и системи на којима се такођер ради дијагностика техничке исправности.

На основу измерених величина ради се дијагностика стања машинских и електро постројења у хидроелектранама. Добијају се подаци о степену истрошења и оштећења машинских елемената (зупчаника, рукаваца вратила и осовина, клизних и котрљајних лежајева), подаци о дебалансу, који је веома важан параметар за балансирање (уравнотежавање) система у једној или више равни, у складу са прописаним стандардима за балансирање. Одабрани симптоми кварова маркирају релевантне фреквенцијске линије и стварају величине симптома кварова чији се тренд може контролисати. Услови алармирања могу бити засновани и на статистичким проценама одабраних параметара.

На сликама 8–11 приказани су OFF-LINE мониторинг системи разних произвођача које се најчешће користе. На слици 8. приказан је уређај Leonova SPM – Sweden.



*VibXpert*

**Слика 8.** *Leonova SPM – Sweden*

Рад уређаја заснива се на методи The Shock Pulse Method. У односу на друге поступке дијагностике котрљајних лежајева помоћу вибрацијских параметара, ова дијагностичка метода разликује се у томе што се SPM поступци базирају на анализирању котрљајног лежаја као генератору ударних импулса, а не као генератору вибрација. То значи да се ударни импулси из лежаја јављају на вишим фреквенцијама и могу се лако детектовати у првој фази развоја отказа лежаја. Уређај се не може користити за дијагностику клизних лежаја.

На слици 9. приказани су уређаји француске фирме 01 Db – AREVA, чија је основна делатност везана за дијагностику нуклеалних електрана у Француској. Уређаји су малих димензија, лако се преносе, могу да стану у џеп, имају моћне перформансе које олакшавају свакодневни рад вибродијагностичара.

OneproD MVP-2COneproD MVP-2EXMultivib

**Слика 9.** *Преносиви мониторинг системи француске фирме 01 Db-AREVA*

На нашим просторима највише се користи уређај: OneproD MVP-2C: 2-канални преносиви анализатор вибрација. Уређај омогућава једноставно праћење нивоа вибрација и софистицирану анализу и дијагностику: колектор података, балансирање на лицу места, двоканални анализатор вибрација, дигитални снимач записа, анализа редова у спектрима вибрација и још много тога. Нарочита пажња посвећена је смањењу времена аквизиције и обраде сигнала, захваљујући новом алгоритму обраде и USB interface. Данас је MVP-2C најбржи систем на тржишту.

На сликама 10. и 11. приказани су уређаји данске фирме Brule&Kjaer(Schenck) и шведске фирме SKF.



Слика 10. Уређај фирме *Brule&Kjaer (Schenck)*



Слика 11. Уређај фирме *SKF – Microlog*

За машинска и електро постројења која су инсталирана педесетих година прошлог века урађен је пројекат модернизације, односно заштите система од већих кварова, отказа и несправности. Приказ система дат је на слици 12.<sup>8</sup> Систем заштите постројења од испада из рада и хаварије заснован је на мерењу и праћењу већег броја механичких параметара рада постројења. Величине које се мере и прате су следеће:

1. ниво вибрација на лежајевима (*Vrms*),
2. критичне температуре лежајева постројења,
3. број обртаја погонских мотора.

На основу ових параметара могу се директно или индиректно детектовати неправилности у раду и заштити постројења од више могућих кварова. Систем за заштиту пројектован је тако да:

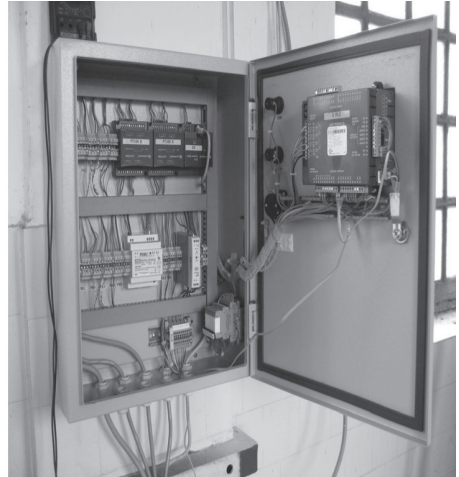
1. спречава прегревање лежајева система и оштећења истих.
2. детектује дебаланс ротора система и спречава рад у условима повишеног нивоа вибрација.

Систем се састоји од сензора и мерно-аквизиционог подсистема, који прикупља мерне податке, упоређује их са задатим граничним вредностима и меморише у базу података, и логичког дела система

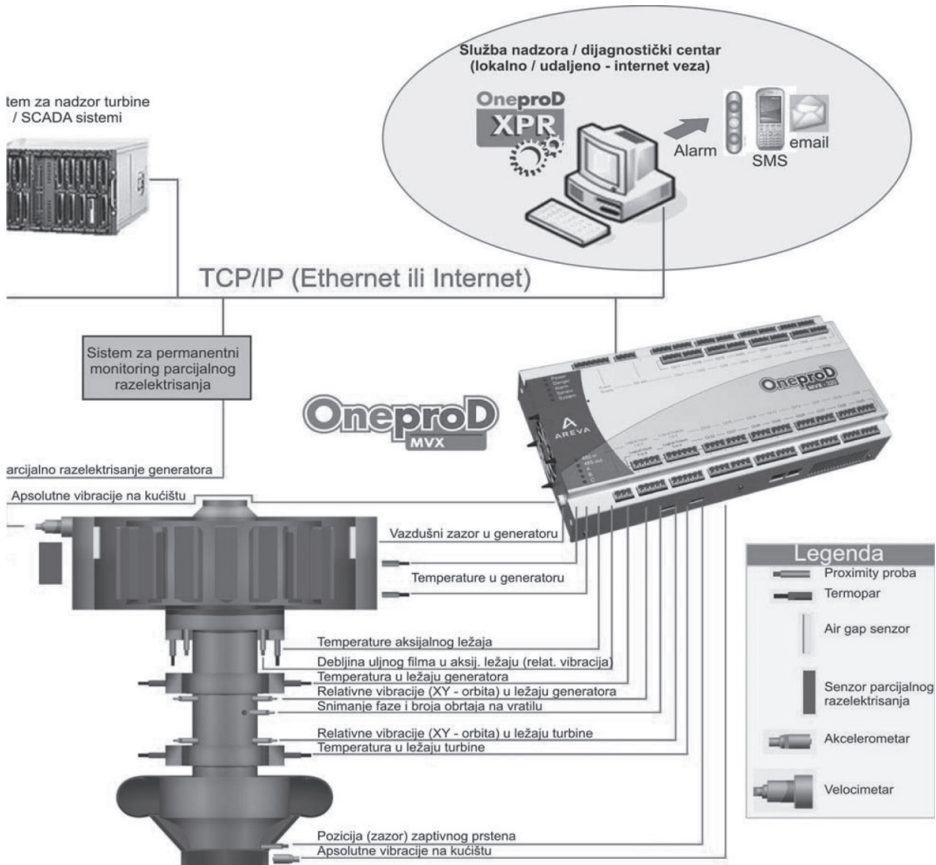
<sup>8</sup> Личен, Х., Збер, Н., Жегарац, Н.: *Приказ мониторинг система* – Техничко развјони центар – TRCрго – Нови Сад, 2010

који програмски одлучује о укључивању аларма и/или евентуалном заустављању постројења. Меморисани подаци могу се са CD картице уграђене у мерни систем пренети на РС рачунар у Excel формату. Овако конфигуриран систем може се даље хардверски и софтверски проширивати по потреби.

Систем је осмишљен и конфигуриран тако да у случају појаве аларма пошаље SMS поруке о стању система на унапред програмирање бројеве.



**Слика 12.** Приказ мониторинг система за машинска и електро постројења која се одавно налазе на употреби (класична изведба система)



**Слика 13.** Приказ мониторинг система хидроагрегата, стандардно коришћени сензори, ОпероDМVХ, дијагностички аквизициони систем и ОпероD дијагностички софтвер

У свету постоји много квалитетних произвођача OFF-LINE мониторинг система.

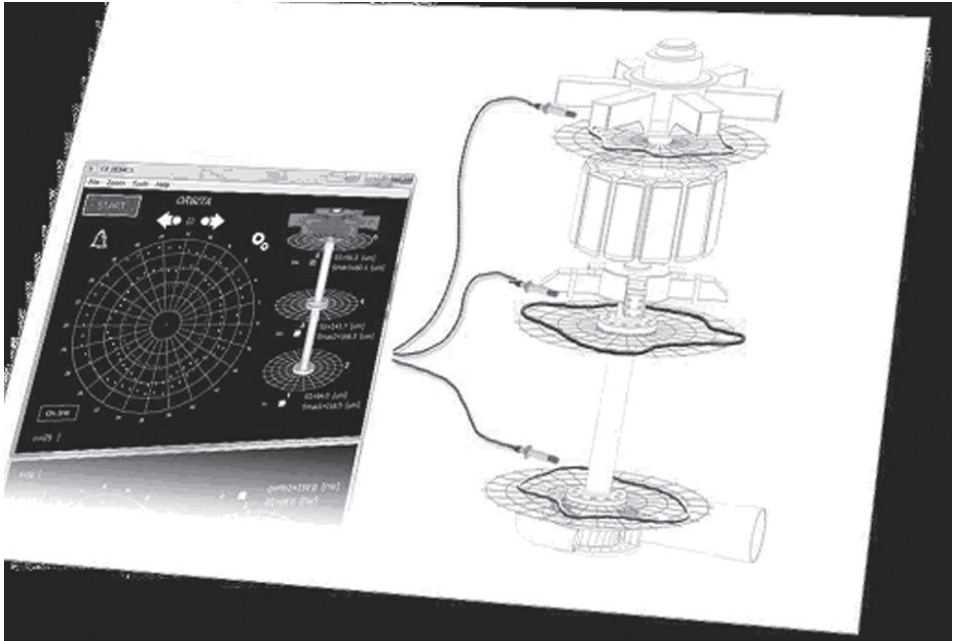
Поред примене савремених мониторинг система, аутор овог рада многим корисницима постројења предложио је превентивне мере одржавања система. У периодима великог дотока воде у хидроелектранама, један део воде одлази подземним путевима испод темеља постројења, на којима су монтирани машински и електро склопови, услед чега долази до слегања и пуцања темеља, што изазива хаварију склопова. Корисник је прихватио обавезу да се



сваких шести месеци проверава везе склопова на темељима<sup>9</sup>.

На слици 13. дат је приказ ON-LINE мониторинг систем француске фирме O1 Db-AREVA на постројењу хидроелектране<sup>10</sup>.

На основу дугогодишњег искуства на пословима развоја, истраживања, пројектовања и одржавања машинских и електро постројења, аутор рада много пажње придаје на примени мониторинг система за утврђивање степена истрошења клизних лежајева, на основу мерења динамичке путање рукавца у лежају (слика 13).



**Слика 14.** Примена мониторинг система за клизне лежајеве на хидроелектранама

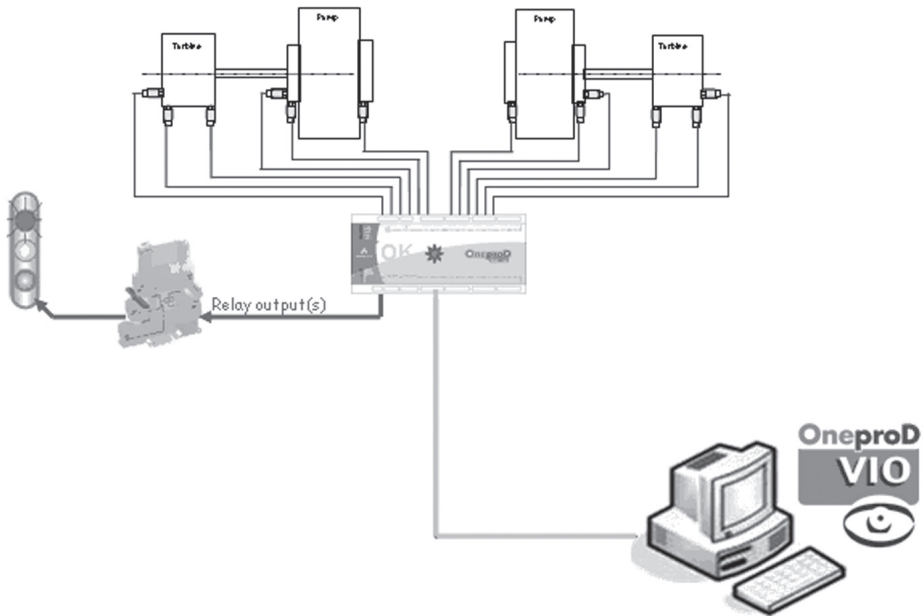
Ако се ради о турбинском систему обавезно се мере динамичке путање на комбинованом лежају турбине (радијално-аксијални лежај), радијалном лежају турбине и лежају генератора. Мере се релативне вибрације ротационог система. Поред овог система, аутор је пројектовао посебан мониторинг систем који омогућава динамичко праћење

<sup>9</sup> Жегарац, Н.: Унапређење система техничког одржавања мини хидроелектрана, анализа узрока неисправности, кварова, отказа у раду и хаварија, ВТГ, 2017, Београд.

<sup>10</sup> Личен, Х., Зубер, Н.: Проактивно одржавање хидротурбинске опреме применом O1 Db-MetrovibOneprod концепта, Техничка дијагностика, бр. 1/2008. Београд.

ротационог система у 3-D систему, слика 14.<sup>11</sup> На једној локацији у току рада хидроелектране настао је динамички дебаланс због оштећења лопатица радног кола турбине услед кавитације и појаве „pittinga” на радном колу, што је проузроковало тзв. „robeg” ротационог система и нагло трошење турбинских лежаја. Истрошење лежаја износило је и до 20 mm, а након тога наступило је трење рукавца турбинског вратила на челичној кошуљици лежаја. Брзом интервенцијом дежурног особља спречена је хавараија. Санација оштећења успешно је завршена.

На слици 15. дат је приказ савременог мониторинг система за две мини хидроелектране. Снага сваког хидроагрегата износи 100 KVA. Систем мониторинга пројектован је тако да може истовремено пратити два агрегата у току рада или само један агрегат, зависно од дотока количине воде у хидроелектрану. Систем је инсталисан у Електропривреди Црне Горе<sup>12</sup>.



**Слика 15.** Приказ мониторинг система на мини хидроелектранама

<sup>11</sup> Жегарац, Н: Нови пројекат мониторинг система за клизне лежаје, Београд, 2013.

<sup>12</sup> Žegarac, N.: Application of Modern monitoring systems in mini hidropower plants, Mllitary Technical Courier, Vol. 64, br.4, pp 1102-1116. 2016.

Табела 1. Преглед могућности отказа на постројењу и одговарајућих дијагностичких параметара (мерних величина)

VRSTA OTKAZA I POTREBNO MERENJE	MERENJE												
	VIBRACIJA VODEĆEG LEŽAJA (BACANJE)	AKSIJALNI LEŽAJ. DEBLJINA ULJINOG FILMA	TEMPERATURA VODEĆEG LEŽAJA	TEMPERATURA AKSIJALNOG LEŽAJA	DETEKTOR FAZE (IMPULS PO OBRTAJU)	VIBRACIJA POKLOPCA TURBINE	ZAZOR U GENERATORU (AIR GAP)	VIBRACIJA KUČIŠTA STATORA GENERATORA	TEMPERATURA GENERATORA	PROCESNE VELIČINE	VARNIČENJE GENERATORA	POZICIJA GLAVNOG ZASUNA	ZAZOR ZAPTIVNOG PRSTENA
■ Minimalni sistem ▲ Standardni sistem ♥ Preporučeni sistem	▲ ■ ♥	■ ▲ ♥	■ ▲ ♥	■ ▲ ♥	■ ▲ ♥	■ ▲ ♥	▲ ▲ ♥	▲ ▲ ♥	▲ ▲ ♥	▲ ▲ ♥	♥	♥	♥
МЕХАНИЧКИ ДЕБАЛАНС	• (1X)				•								
ЕЛЕКТРИЧНИ ДЕБАЛАНС	• (1X)				•								
ХИДРАУЛИЧНИ ДЕБАЛАНС	• (1X)				•								
КРИТИЧНЕ РАДНЕ ЗОНЕ	• (NEI)				•					•		•	
ОТКАЗ СМИЧУЋЕ ОСОВИНИЦЕ	• (1X)				•					•			
НЕСАОСНОСТ	• (1X)				•								
КАВИТАЦИЈА						•				•		•	
ЗАПТИВНИ ПРСТЕН					•								•
ВЕЛИКЕ ВИБРАЦИЈЕ ТУРБИНЕ					•								•
ПРЕОПТЕРЕЋЕЊЕ ЛЕŽАЈА	•	•	•	•									
ЗАМОР ЛЕЖАЈА	•	•	•	•									
НЕДОВОЛЈНА ЗАПТИВНОСТ ЛЕЖАЈА	•	•	•	•									
ОШТЕЋЕНА ИЗОЛАЦИЈА СТАТОРА											•		
ВИБРАЦИЈЕ НАМОТАЈА У СТАТОРУ											•		
ПОМЕРАЊЕ РОТОРСКОГ ПРСТЕНА					•		•						
ПОМЕРАЊЕ ЈЕЗГРА СТАТОРА					•		•	•					
НЕРАВНОМЕРАН ЗАЗОР СТАТОРА					•		•	•					
ЕКСЦЕНТРИЧАН СТАТОР/РОТОР					•		•	•					
КОНЦЕНТРИЧАН СТАТОР/РОТОР					•		•	•					
САВИЈАЊЕ СТАТОРА					•		•	•					
ЛАБАВЕ ШИПКЕ СТАТОРА								•					
НЕУРАВНОРЕЖЕНЕ СИЛЕ У ЗАЗОРУ СТАТОРА					•		•	•					
ЗАЧЕПЉЕНО ХЛАДЕЊЕ СТАТОРА								•					
БЛОКИРАНИ ВОДОВИ ВЕНТИЛАЦИЈЕ СТАТОРА								•					
ПРЕГРЕЈАНИ НАМОТАЈИ СТАТОРА								•					

У даљем делу издвојене су дијагностичке сумарне табеле 2, 3 и 4.

Наведене табеле садрже резиме информација из вибродијагностичких постројења. Вибродијагностика је нашла изузетно велику примену у техничкој дијагностици система.

**Табела 2. Неуравнотеженост система**

Извор вибрација	Постојећа вибрација	Динамички правац	Амплитуда	Карактеристике спектра	Коментари
Неуравнотежа масе: статички 1X радијално* стабилно узак опсег	Савијање ротора услед термалног притиска може изазвати раст амплитуде са температуром				
Динамички	1X	радијални		генерално, неки 1X хармоник	много уопштени облик наравнотеже
Пар	1X	радијални, аксијални			
Обешени ротор	1X	аксијални, радијални			

\*Радијална раван укључује тангенцијалне правце у свим деловима.

X – означава ред хорминика у спектру вибрација.

**Табела 3. Несаосности система**

Извор вибрација	Постојећа вибрација	Доминантни правац	Амплитуда	Карактеристике спектра	Коментари
Угаона несаосност	1X, 2X	аксијални	стабилан	узак опсег	Већина раздешености су комбинације угаоних и паралелних
Паралелна несаосност	1X, 2 X	радијални	стабилно	узак опсег	На дугим упареним распонима 1X ће бити виши

Комбинација угаоне и паралелне	1X, 2 X	радијално, аксијално	стабилно	узак опсег	Раздешеност такође указује на моножење са 2X
Напрегнути лежај	2X, повећање са 1X и тонови лежаја	радијални, тангенцијални, аксијални	високи стабилни	узак опсег	Обично повезани са аксијалним компонентама
Несаосни импелер	2X расте у износу хармоника лопатице	радијално	стабилно	узак опсег	Обично повезани са нижим аксијалним амплитудама
Несаосност зупчаника	висока стопа узупчења	радијално, тангенцијално, аксијално	стабилно	обично 1X бочни опсези око стопе узупчења зупчаника	Хармоници узупчења зупчаника су уобичајени

**Табела 4. Савијена осовина – вратило система**

Извор вибрација	Постојећа вибрација	Доминантни правац	Амплитуда	Карактеристике спектра	Коментари
Незнатно савија осовина –вратило	1X, 2X	аксијално, радијално, тангенцијално	стабилно	узак опсег	Дотрајалост масе ротора се јавља као неравнотежа
Савијена осовина – вратило на спојницама	1X, 2X	аксијално, радијално, тангенцијално	стабилно	узак опсег, можда 2X или 3X хармоника	Дотрајалост спојница се јавља као раздешеност

У свету постоји много квалитетних произвођача ON-LINE мониторинг система: Emerson (мониторинг систем је инсталиран у ТЕ Пљевља), Bently Nevada (систем је инсталиран у ХЕ Вишеград), Brule&Kjaer (систем је инсталиран у ХЕ Перућица) и други произвођачи система.

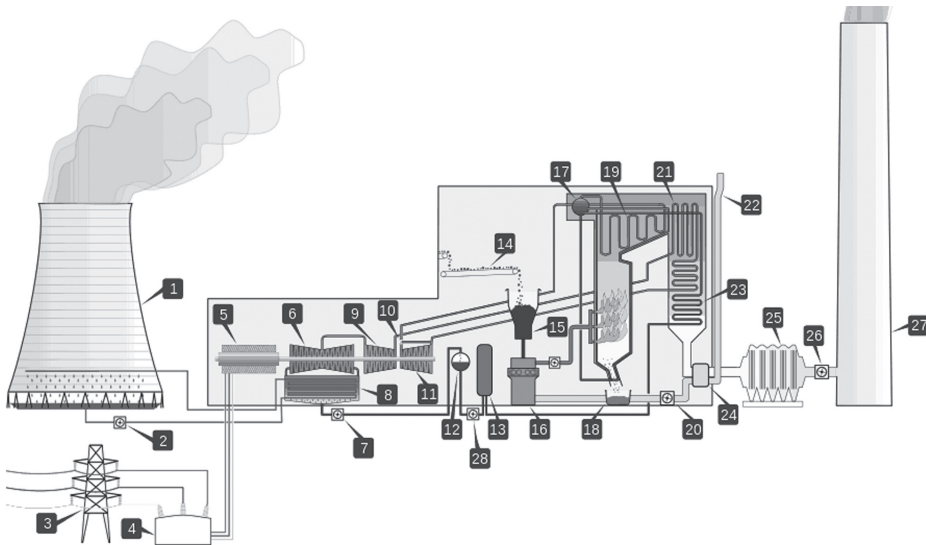
У табели 1 дат је преглед могућности отказа на постројењима и одговарајући дијагностички параметри који се мере и анализирају.

Приказана је концепција: минималног, стандардног и препорученог мониторинг система на постојењима.

За машинска и електро постројења на којима нису уграђени ON-LINE мониторинг системи препоручују се периодична мерења одређених дијагностичких величина, сваких 12 односно 15 месеци.

## ПРИМЕНА САВРЕМЕНИХ МОНИТОРНИГ СИСТЕМА НА МАШИНСКИМ И ЕЛЕКТРО ПОСТРОЈЕЊИМА У ТЕРМОЕЛЕКТРАНАМА

Испитивање техничке исправности постројења у термоелектранама представља комплексну анализу конструкционих параметара, услова експлоатације и одржавања, историјата погонских догађаја, режима рада, резултата периодичних и континуалних испитивања (укључујући и фабричка), обављених интервенција и визуелних прегледа.



**Слика 16.** Типичан приказ рада термоелектране на угаљ

1. Расхладни торањ; 2. Пумпа расхладне воде; 3. Електроенергетски систем (трофазна струја); 4. Трансформатор (трофазна струја); 5. Електрични генератор (трофазна струја); 6. Нискотлачна парна турбина; 7. Кондензатна пумпа; 8. Парни кондензатор; 9. Средњетлачна парна турбина; 10. Регулатор парне турбине; 11. Високотлачна парна турбина; 12. Отплињач; 13. Регенеративни загријач напојне воде; 14. Довод угаља (покретна трака); 15. Бункер за угаљ; 16. Млин за угаљ; 17. Парни бубањ генератора паре; 18. Одшљакивач; 19. Прегријач паре; 20. Тлачни вентилатор ваздуха; 21. Међупрегријач паре; 22. Усис ваздухаа за сагоревање; 23. Загријач воде (економијазер); 24. Предгријач ваздуха; 25. Одвајач честица (испирач гасова); 26. Исисни вентилатор димних гасова; 27. Димњак за димни гас

На слици 16 дат је приказ термоелектране на угаљ<sup>13</sup>.

Мониторинг систем на термоелектранама зависи од конструкције постројења и захтева крајњег корисника који жели ниво мониторинг система да инсталише. У прилогу следи један пример захтева наручиоца посла у јавном тендеру, за инсталацију мониторинг система.

У захтеву се тражи да извођач радова испоручи и угради мерну опрему која треба да обезбеди мерење:

1. хода сервомотора регулационих вентила турбине,
2. броја обртаја турбоагрегата (са показивачем на турбини),
3. искривљења (ексцентричности) ротора,
4. осног (аксијалног) помака ротора – два комплета,
5. релативног ширења ротора CVP, CSP, CNP – три комплета,
6. топлотног ширења кућишта CVP и CSP – два комплета,
7. апсолутних вибрација у лежајним склоповима турбоагрегата – 10 комплета).

Понуђач треба да испоручи комплетан мерни систем који се састоји од:

- централне надзорне јединице, напојне јединице и потребног броја модула,
- сензора, носача сензора, кутија за спајање и потребног кабловског прибора,
- каблова за повезивање комплетног система.

Произвођач система мора бити сертифицирована према стандарду ISO 9001. Централна надзорна јединица смешта се у посебан ормар који се монтира у термокоманду електране са напојном јединицом  $220 \pm 15V$ , 50 Hz и редувантно 24 V DC и потребним бројем модула са могућношћу проширења с циљем обезбеђења надоградње система.

Систем мора да обезбеди:

1. паралелну (немултиплексирану) аквизицију и процесирање сигнала свих мерних величина у реалном времену;
2. замена и конфигурисање неисправних модула мора бити могућа у току рада система, а замена модула централне јединице не сме захтевати рекалибрацију; квар једног мерног модула не сме утицати на рад остатка система;
3. релејне (алармне) излазе за сигнале исправности система

<sup>13</sup> Wikipedija: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Termoelektране>

- (централне јединице, појединих модула измерног круга), као и јасну индикацију појаве било ког аларма;
4. мерење и обраду сигнала апсолутних вибрација лежајева у складу са стандардом ISO 10816;
  5. мерење осног помака мора бити изведено са два сензора и логиком „два од два“; за ово мерење морају постојати два излазна релеја са временском реакцијом испод 0,1 секунди и јасном индикацијом аларма на самом систему;
  6. излазне једносмерне сигнале свих мерених вредности као струјне сигнале 0,4–20 mA;
  7. на пулту руковоаоца обезбедити показне инструменте са одговарајућом скалом за мерења од 1 до 6 (9 инструмената), а за мерење броја обртаја одговарајући инструмент и на турбини; димензије и скале инструмената усагласити са инвеститором;
  8. конекторе са аналогним АС сигнаlima мерних величина за прикључење дијагностичких инструмената;
  9. комуникацију са надређеним системом контроле процеса DCS преко неког од стандардних протокола Modbus или OPC и временску синхронизацију са екстерним сатом;
  10. систем за дијагностички мониторинг мора бити на *Windows* оперативном систему; база података конципирана тако да се може користити наредних 15 година; софтвер за дијагностику мора бити модуларан и са могућностима проширења (надогоградње).
    - Графички приказ
      - FFT спектри
      - Спектри процентуално константних појасних опсега:
        - каскадни (3D дијаграми)
        - орбитне трајекторије
        - *Nyquist-ов* дијаграм
        - *Campbell-ов* дијаграм
        - промена позиције центра вратила са променом брзине
    - Трендирање:
      - апсолутних вибрација у складу са стандардом ISO 10819,
      - релативних вибрација у складу са стандардом ISO 7919,
      - првог и другог хармоника по броју обртаја,



- процесних параметара: издужења, топлотних ширења и др.,
- прендирање спектра у процентуално константним појасним опсезима ширине 23% и 6%.
- Дијагностичке функције у стационарним и прелазним режимима:
  - FFT спектри динамичких величина,
  - Процентуално константни појасни опсеци 23% и 6%,
  - Орбитне трајекторије релативних вибрација.
- 11. Носачи сензора осног помака и релативних ширења ротора CVP, CSP и CVP морају обезбедити проверу мерног круга померањем сензора у односу на ротор (контрола помака прецизним компаратером) у границама мерног опсега.
- 12. Произвођач система уз уобичајене гаранције мора да обезбеди производњу резервних делова за најмање седам година експлоатације.

Понуда треба да садржи следеће целине:

- израду техничког пројекта замене система контроле механичких величина турбоагрегата са конкретним решењима уградње носача сензора према постојећим мерним стазама на ротору и расположивом простору у лежајном склоповима;
- испоруку опреме, монтажног материјала и каблова према усвојеном техничком пројекту;
- уградњу, повезивање и пуштање у рад за вријеме капиталног ремонта и старта блока;
- гаранције за испоручену опрему и решења по систему „кључ у руке“.

Уз понуду доставити типове и техничке карактеристике понуђене опреме, референце за опрему и референце фирме за ову врсту послова.

Слични су резултати мерења дијагностичких параметара као код хидроелектрана и других машинских и електро постројења. Због обимности рада неће бити приказани.

На основу изложеног захтева за набавку и инсталацију мониторинг система може се закључити да је посао веома захтеван и одговоран. Опрема која се уграђује веома је скупа, али ако се узме у обзир да термоелектрана достиже вредност од неколико стотина милиона евра, свакако да је овај посао економски оправдан.

## МОГУЋНОСТИ ПРИМЕНЕ МОНИТОРНИГ СИСТЕМА КОЈИ РАДЕ НА ПРИНЦИПУ МАГНЕТНЕ ЛЕВИТАЦИЈЕ

---

Магнетска левитација или МАГЛЕВ технологија базирана је на магнетизму у којој један објекат лебди (левитира) над другим без икакве механичке потпоре, само уз помоћ магнетског поља. У њему се дејство гравитационе силе поништава дејством електромагнетске силе истог интензитета и правца, али супротног смера чиме се постиже лебдење. Ерншоова теорема доказала је да је ова технологија неизводљива у пракси коришћењем класичних електромагнетских поља јер је систем нестабилан. Међутим, уз помоћ електронске стабилизације или дијамагнетика могуће је извести стабилну магнетску левитацију. Једна од практичних примена ове технологије је у тзв. МАГЛЕВ возовима, који су и даље у фази испитивања, али су до сада показали сјајне резултате, развивши брзину до 581 ( km/h).

### МАГЛЕВ ВОЗ

---

*МАГЛЕВ воз*, скраћено од *магнетна левитација* возови, представљају посебну врсту брзих возова чији је принцип рада заснован на тзв. *магнетској левитацији*<sup>14</sup>. То у пракси значи да сам воз захваљујући дејству електромагнетне силе лебди (*левитира*) над посебном врстом шина, што значи да не постоји сила трења између воза и шина. На тај начин воз је у свом кретању суочен само са силом отпора ваздуха, која је много мања у односу на силу трења између класичних возова и шина, чиме се код *МАГЛЕВ* возова постиже драстично већа брзина. Овај систем је за сада и даље у фази испитивања. Једина за сада оперативна *МАГЛЕВ* железница налази се у Шангају и повезује град са аеродромом Пудонг у дужини од 30 km, на којој је највећа забележена брзина 501 km/h. Поред тога широм света постоји неколико експерименталних траса на којима је највећа до сада забележена брзина 581 km/h, а научници претпостављају да је теоријски могуће достићи брзине од око 900 km/h. Једна од највећих мана овог система је висока цена изградње, због које је градња *МАГЛЕВ* железница исплатива само на деоницама на којима се превози велики број путника и добара, иако је цена самог одржавања (како возова, тако и пруге) након градње изузетно ниска.

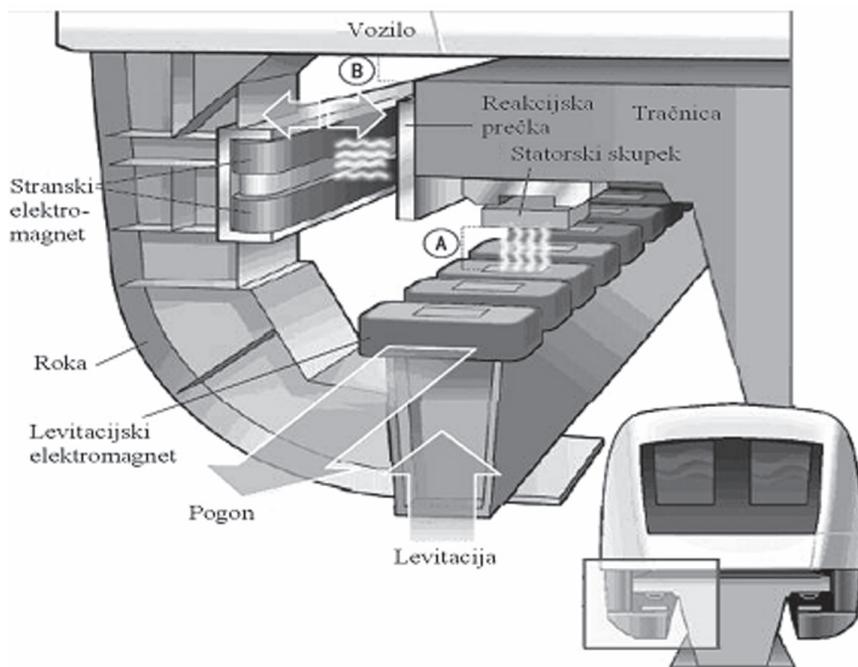
---

<sup>14</sup> Wikipedija <https://sr.wikipedia.org>.



Слика 17. Шангајски МАГЛЕВ воз

На слици 18. дат је приказ погонских система на принципу магнетне левитације.<sup>15,16,17</sup>



Слика 18. Приказ система МАГЛЕВ воза који ради на принципу магнетне левитације

<sup>15</sup> H. W. Lee, K. C. Kim in J. Lee, IEEE Trans. Magn. 42, 1917 (2006)

<sup>16</sup> A. Cassat in M. Jufer, IEE Trans. Appl. Supercond. 12, 915 (2002)

<sup>17</sup> Bizjak, R.: Univerza v Ljubljani, Fakulteta matematika in fiziko, Ljubljana, 2008

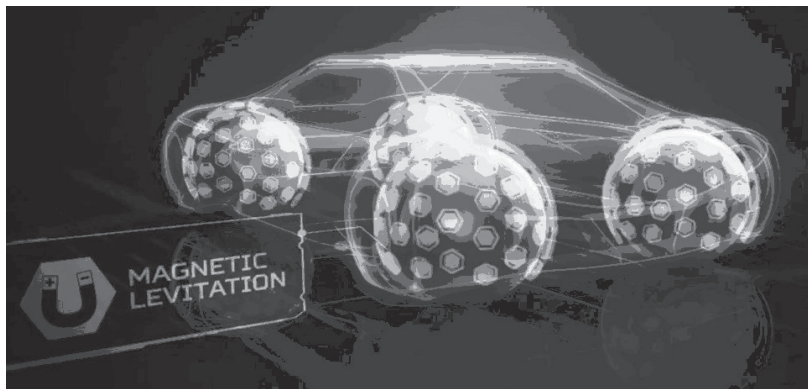
Подземне железнице (метрои) граде се у великим градовима да би се растеретио надземни саобраћај. Више детаља о возовима који раде на принципу магнетне левитације може се видети у литератури<sup>18</sup>.

Наставак целог пројекта односи се на причу у нека будућа времена где Goodyear, познати произвођач гума, верује како је напредак управо у оваквом производу.

Goodyear је на Међународном салону аутомобила у Женеви 2016. представио визију гуме. Будућност гуме која се својим сферичним обликом знатно разликује од данашњих гума<sup>19</sup>.

Такође, представио је визионарски концепт гуме Eagle-360, са јединственим обликом кугле и могућношћу окретања од 360 степени која је намењена аутономним аутомобилима будућности. Гуме су са возилом повезане путем магнетне левитације, а уграђени сензори бележе услове на путу, те их шаљу аутомобилу, ради повећавања сигурности других возила.

Иновативан облик који се заснива на 117 година производње гума, приказује Goodyear-ову визију будућности и доноси инспиративно решење за време у коме ће аутономна возња постати нешто сасвим уобичајено (слика 19).



**Слика 19.** Приказ аутомобила који ради на принципу магнетне левитације (пројекат Goodyear)

Goodyear сматра како ова врста концептуалне гуме нуди много више управљивости, допуштајући једноставно паркирање без окре-

<sup>18</sup> Електротехнички факултет у Београду – Електрична возила, јапанска МАГЛЕВ железница, Београд, јануар, 2008.

<sup>19</sup> [http://www.ekapija.com/website/sr/company/photoArticle.php?id=1461231&path=goodyear\\_-080616.jpg](http://www.ekapija.com/website/sr/company/photoArticle.php?id=1461231&path=goodyear_-080616.jpg)

тања возила. Сензори унутар саме гуме на време ће сигнализирати стање на путу и прилагодити промењиве ћелије на самом профилу гуме, не би ли сигурност и стабилност унапред биле прилагођене.

Нова технологија повезала би систем са осталим судионицима у возњи, која би возилима истих карактеристика јавила какав их терен чека у надолazeћој рути. Контрола гуме приликом сувог времена, а мекшање и боље пријањање приликом мокрих услова. Иако концепт замишља неке занимљиве идеје, нисмо сигурни у беневит мање контактне површине, с обзиром на то да ваљкасти објект попут тренутних решења која се користе, држи већу површину подлоге.

Постоје и други примери примене магнетне левитације. Словеначки произвођач електричних уређаја МАГЛЕВ-Аудио представио је први грамофон који ради на принципу магнетне левитације (маглев грамофон) и омогућава да плоча не додирује точак грамофона (слика 20).



Слика 20. МАГЛЕВ грамофон

## Свемирски брод на магнетну левитацију ?

Преко дана Матијас Верхасел ради као концептуални дизајнер у Близарду. Међутим, када падне ноћ претвара се у заљубљеника у свемир који воли да осмишљава нове идеје за свемирска путовања, попут свемирског брода на магнетну левитацију.

„Убрзање помоћу магнетног лебдења на стази. То није моја идеја, будући да је већ дуго предлагана као јефтинија алтернатива првој фази свемирског лансирања. Реалистично, мислим да би тре-

бало да се изводи у вакуумској цеви, али шта је ту забавно?”, рекао је Верхасел.

„Приликом убрзавања потребно је још нешто што ће преузети летелицу како би достигла брзину потребну за излазак у орбиту. У случају летелице коју сам нацртао, прво убрзава помоћу маглева, тј. магнетне левитације или лебдења од 3 маха, потом узлеће са стазе до висине од, рецимо, 1.500 метара. Тада се пали суперсонични мотор и летелици даје брзину од 15 маха, након чега коначно мотор на течно гориво даје летелици орбиталну брзину”, објашњава Верхасел.

Искуства коришћења МАГЛЕВ воза у подземној желеници (метро) указују да је неопходна контрола и обезбеђење пруге, улаза и излаза из воза (због електричних инсталација под високим напоном), а примећене су и знатне разлике када се воз креће узбрдо(успон) – тада композиција воза броји мањи број вагона.

### Закључак

---

Применом савремених мониторинг система и метода техничке дијагностике може се поуздано утврдити када и где ће настати проблем у даљој експлоатацији система, проценити како ће систем даље функционисати током времена, предвидети узроке кварова и начине њиховог отклањања, предвидети време до застоја или отказа система.

Савремене методе техничке дијагностике на бази мерења механичких и електричних величина и њихове анализе, омогућавају подршку сензора различитих намена и разних произвођача. Пружају се могућности веома напредне софтверске конфигурације мониторинг система. Измерене и софтверски обрађене вредности параметара као и њихове граничне вредности и аларми приказују се на разне начине. Поседују могућности даљинског управљања и надзора, искључивање погона из употребе с циљем превенције од оштећења и хаварије система.

Обезбеђена је висока прецизност мерења свих мерних величина на основу којих се може у потуности утврдити техничка исправност постројења.

Вишечанални, модуларни, софтверско-хардверски системи за праћење, контролу и заштиту, омогућавају оптимизацију рада постројења. Велика је примена у свим техничким областима: мотори са унутрашњим сагоревањем, хидроелектране, термоелектране,

процесна постројења и многе друге области. Омогућена је подршка различитих мониторинг система (компатибилност уређаја и опреме) разних произвођача. Веома су важна машинска и електропостројења која се налазе у систему ротације и непрекидног погона.

Аутор рада посебну пажњу придаје дијагностици клизних и котрљајних лежајева, од чега зависи основно функционисање постројења. Корисницима опрема сугерише да се и овај део мониторинг система инсталише у системе одржавања постројења.

У досадашњој примени многи важни системи нису имали уграђене мониторинг системе па су настајали бројни проблеми.

За постројења која се налазе на употреби од педсетих година прошлог века пројектовани су једноставнији мониторинг системи за праћење основних функција. Алармни системи могу бити светлосног или звучног карактера, односно у облику SMS обавештења.

Област техничке дијагностике је веома интересантно подручје за многе научнике, јер је недовољно истражено као и у медицинској дијагностици.

Посебно је интересантна област примене система који раде на принципу магнетне левитације. У литератури се не може наћи много развојних и истраживачких резултата из ове области. Компанија Goodyear урадила је идејни пројекат аутомобила који ради на овом принципу.

Намеће се питање да ли нас у скорој будућности очекује примена ових система на пловним објектима (разне врсте чамаца, бродова, крузера и сл.) и за војне сврхе.

## Литература

1. Жегарац, Н.: *Дијагностика клизних лежајева у дизел-моторима*, докторска дисертација, Факултет стројарства и бродоградње, Свеучилиште у Загребу, 1989.
2. Техничка документација америчке фирме *Cummins*
3. Жегарац, Н.: *Поступаки уређаја за одређивање зазора у клизним лежајевима, мерењем динамичке путање главних рукаваца коленастог вратила мотора са унутрашњим сагоревањем*, Патент бр. 48216-П-640/93, Завод за интелтуалну својину у Београду

4. Техничка документација швајцарске фирме Sulzer.
5. Техничка документација француске фирме SEMT Pielstick.
6. Жегарац, Н.: *Мониторинг систем за клизне лежајеве*, Београд, 2004.
7. Чернеј, А.и др.: *Радни услови подмазивања лежаја дизел мотора, Горива и мазива* 36 (5–6) 229–236.
8. Жегарац, Н.: *Идејни пројекат мониторинг система за клизне лежаје пре стартовања система у погон*, 2015. Београд.
9. Личен, Х., Збер, Н., Жегарац, Н., *Мониторинг систем*, Техничко-развојни центар TRCpro – Нови Сад, 2010.
10. Жегарац, Н., *Унапређење система техничког одржавања мини хидроелектрана, анализа узрока неисправности, кварова, отказа у раду и хаварија*, Војнотехнички гласник, Београд, 2017.
11. Личен, Х., Зубер, Н., *Проактивно одржавање хидротурбинске опреме применом 01 Db-MetrovibОперод концепта*, Техничка дијагностика, бр. 1/2008. Београд
12. Жегарац, Н., *Нови пројекат мониторинга клизних лежаја*, 2013. Београд
13. Žegarac, N., Application of modern monitoring systems in mini hidropower plants, Mllitary Technical Courier, Vol. 64, br.4, pp 1102-1116, 2016.
14. Wikipedija: <https://hr.wikipedia.org/wiki/Termoelektrane>).
15. Wikipedija <https://sr.wikipedia.org>.
16. Lee, H.W., Kim, K. C., in Lee, J., IEEE Trans. Magn. 42, 1917 (2006)
17. Cassat, A., in Jufer, M., IEE Trans. Appl. Supercond. 12, 915 (2002)
18. Bizjak, R., Univerza v Ljubljani, Fakulteta matematika in fiziko, Ljubljana, 2008.
19. Електротехнички факултет у Београду, Електрична возила, јапанска МАГЛЕВ железница, Београд, јануар, 2008.
20. [http://www.ekapija.com/website/sr/company/photoArticle.php?id=1461231&path=goodyear\\_080616g](http://www.ekapija.com/website/sr/company/photoArticle.php?id=1461231&path=goodyear_080616g)