

**Факултет инжењерских наука  
Универзитета у Крагујевцу**



**Назив студијског програма:** Машинско инжењерство

**Ниво студија:** Основне академске студије

**Модул:** Индустијски инжењеринг

**Предмет:** Инжењеринг одржавања

**Број индекса:** 195/2009

Тамара З. Милутиновић

**Значај вибродиагностике током процеса одржавања техничких  
система**

Завршни рад

**Комисија за преглед и одбрану:**

1. Проф. др Тодоровић Петар – ментор

2. \_\_\_\_\_

Датум одбране: \_\_\_\_\_

3. \_\_\_\_\_

Оцена: \_\_\_\_\_

Задатак студента у оквиру овог рада јесте да сагледа и опише процес одржавања, са посебним акцентом на примену и значај вибродијагностике као једне од метода дијагностиковања стања техничких система. Освртом на теоријске основе студент треба да опише феномен вибрација као честог узрочника отказа техничког система.

#### Препоручена литература:

- [1] Бранислав М. Јеремић; Технологија одржавања техничких система; Машински факултет у Крагујевцу; 1992
- [2] Петар Тодоровић, Бранислав Јеремић, Иван Мачужић; Техничка дијагностика; Машински факултет у Крагујевцу, 2009
- [3] Професор. др Живослав Адамовић, Мр Горан Несторовић, Мр Милета Радојевић, Мр Љубивоје Пауновић ; Менаџмент индустријског одржавања; Универзитет у Новом Саду Технички факултет “Михајло Пупин“ Зрењанин, 2008.година

Ментор:

---

Проф. др Тодоровић Петар, ванр. проф.

## РЕЗИМЕ

*У овом раду ће бити детаљно објашњене теоријске основе одржавања која се баве свим проблемима у току животног циклуса техничких система. Такође, у раду ће бити објашњена техничка дијагностика која је веома важан део технологије одржавања и која представља све активности које се врше над конкретним техничким системом, ради оцене тренутног стања, давања прогнозе понашања система у одређеном временском периоду и идентификације појаве нежељеног догађаја.*

*Посебан акценат ће бити дат на значај вибродијагностике која је једна од најзаступљенијих метода техничке дијагностике. Такође, ће бити описана појава вибрација која се јавља као чести узрочник отказа.*

**Кључне речи:** одржавање, техничка дијагностика, вибрације

## ABSTRACT

*In this paper there will be a details explanation of theoretical maintenance basis that deal with all the problems in the life cycle of technical systems. Also, in the paper there will be an explanation of technical diagnostics which is very important part of maintaining technology and which represents all activities performed over specific technical system, in order to assess the current situation, and to give predictions of system behavior over time and to identificate an undesirable event.*

*Special emphasis will be given to the vibration doagnostic which is one of the most common methods of technical diagnostics. Also, we will describe a vibration phenomenon that occurs as a frequent cause of failure.*

**Keywords:** maintenance, technical diagnostics, vibration

## САДРЖАЈ

|                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------|----|
| <b>РЕЗИМЕ</b> .....                                                      | 3  |
| <b>ABSTRACT</b> .....                                                    | 3  |
| <b>1.0 УВОД</b> .....                                                    | 8  |
| 1.1 Основи теорије организације одржавања.....                           | 8  |
| 1.1.1 Пројектовање система одржавања.....                                | 8  |
| 1.1.2 Основи организације одржавања.....                                 | 9  |
| <b>2.0 МЕТОДОЛОГИЈЕ ОДРЖАВАЊА</b> .....                                  | 10 |
| Циљеви одржавања.....                                                    | 10 |
| <b>3.0 ТЕХНОЛОГИЈА ОДРЖАВАЊА</b> .....                                   | 12 |
| <b>4.0 ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ ОДРЖАВАЊА</b> .....                              | 14 |
| 4.1 Карактеристике техничких система.....                                | 14 |
| 4.2 Животни век техничког система.....                                   | 15 |
| 4.3 Пројектована функција техничког система.....                         | 15 |
| 4.4 Задржавање или обнављање пројектоване функције.....                  | 15 |
| 4.5 Техничке, управљачке и административне активности.....               | 16 |
| 4.6 Трошкови у одржавања.....                                            | 16 |
| <b>5.0 МЕТОДЕ ОДРЖАВАЊА</b> .....                                        | 16 |
| 5.1 Корективно одржавање.....                                            | 17 |
| 5.2 Превентивно одржавање.....                                           | 18 |
| 5.2.1 Основни предуслови за успешно увођење превентивног одржавања ..... | 18 |
| 5.2.2 Превентивно – планско одржавање.....                               | 22 |
| 5.2.3 Превентивно одржавање према стању.....                             | 22 |

|                                                                         |           |
|-------------------------------------------------------------------------|-----------|
| 5.2.3.1 Избор карактеристичних параметара и праћење стања.....          | 23        |
| 5.2.3.2 Хардвер и софтвер код одржавања према стању.....                | 23        |
| 5.3 Проактивно одржавање.....                                           | 23        |
| <b>6.0 СИСТЕМИ ОДРЖАВАЊА.....</b>                                       | <b>24</b> |
| 6.1 Поузданост.....                                                     | 24        |
| 6.2 Тотално продуктивно одржавање.....                                  | 25        |
| <b>7.0 ТРОШКОВИ ОДРЖАВАЊА.....</b>                                      | <b>26</b> |
| <b>8.0 ТЕХНИЧКА ДИЈАГНОСТИКА.....</b>                                   | <b>27</b> |
| 8.1 Дијагностички параметри.....                                        | 27        |
| 8.2 Методе техничке дијагностике и избор дијагностичких параметара..... | 28        |
| 8.2.1 Дијагностика заснована на праћењу вибрација.....                  | 28        |
| 8.2.1.1 Мерење и анализа вибрација.....                                 | 29        |
| 8.2.2 Дијагностика заснована на праћењу термичког стања.....            | 29        |
| 8.2.2.1 Контактне методе за праћење термичког стања.....                | 30        |
| 8.2.2.2 Безконтактне методе за праћење термичког стања.....             | 30        |
| 8.2.3 Дијагностика преко продукта хабања у уљу за подмазивање.....      | 31        |
| <b>9.0 ВИБРОДИЈАГНОСТИКА.....</b>                                       | <b>32</b> |
| 9.1 Значај вибродиагностике.....                                        | 32        |
| 9.2 Вибрације као параметар техничког стања система.....                | 33        |
| 9.3 Сложене вибрације.....                                              | 34        |
| 9.4 Енергија и снага.....                                               | 34        |
| 9.5 Мерење амплитуде вибрација.....                                     | 35        |
| 9.6 Вибрације које делују на човека.....                                | 36        |

|                                                                  |           |
|------------------------------------------------------------------|-----------|
| 9.6.1 Вибрационе болести.....                                    | 37        |
| 9.7 Мерење вибрација.....                                        | 39        |
| 9.8 Инструменти за мерење вибрација.....                         | 40        |
| 9.9 Дозвољени ниво вибрација.....                                | 41        |
| 9.9.1 Стандарди у области мерења и анализе вибрација.....        | 41        |
| 9.9.1.1 Стандард ISO 2372.....                                   | 42        |
| 9.9.1.2 Стандард ISO 10816.....                                  | 43        |
| 9.10 Идентификација отказа преко мерења и анализе вибрација..... | 44        |
| 9.11 Значај фреквентне анализе.....                              | 44        |
| 9.11.1 Карактеристике учестаности техничких система.....         | 45        |
| 9.11.2 Узорници отказа.....                                      | 45        |
| <b>10.0 ЗАКЉУЧАК.....</b>                                        | <b>46</b> |
| <b>ЛИТЕРАТУРА.....</b>                                           | <b>47</b> |

**САДРЖАЈ СЛИКА**

|                                                                                                             |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Слика 4.1 - Технички систем – Воз Mercury .....                                                             | 14 |
| Слика 5.0 - Методе одржавања.....                                                                           | 16 |
| Слика 9.6 а) Вибрације шака – рука .....                                                                    | 37 |
| б) Вибрације целог тела.....                                                                                | 37 |
| Слика 9.6.1 Синдром белих или мртвих прстију.....                                                           | 38 |
| Слика 9.8.1 Инструменти за мерење вибрација.....                                                            | 40 |
| Слика 9.8.2 Data collector.....                                                                             | 40 |
| Слика 9.9.1.1 Оцена вибромеханичког стања пумпног постројења према стандарду ISO 2372.....                  | 42 |
| Слика 9.11.2 Карактеристични узрочници отказа који се могу идентификовати мерењем и анализом вибрација..... | 45 |

**САДРЖАЈ ТАБЕЛА**

|                                                                                                     |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Табела 9.9.1.1 Измерене ефективне вредности брзине вибрација, као и оцена стања према ISO 2372..... | 43 |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|----|

## 1.0 УВОД

Разни проналасци и запажања, су веома много допринели настанку модерних машина, као и њиховом даљем развоју и усавршавању. Применом машина знатно се олакшава рад јер је елиминисано велико физичко напрезање, повећана је продуктивност али и квалитет, дизајн, паковање, разноликост облика производа, као и свих осталих битних чинилаца везаних за производ. Међутим да би машина могла да испуни све захтеве мора се правилно одржавати. Правилно одржавање машина и саму организацију одржавања изучава област индустријског инжењерства под именом “Теротехнологија”. Ова област обухвата ширу област одржавања и треба је схватити као перманентан задатак стручњака да поуздано и квалитетно управљају физичким добрима и правилно их одржавају током целог животног века. [9]

На развој одржавања утицао је брз индустријски напредак, као и сталан пораст аутоматизације и повезаности средстава за рад, затим нагли пораст фиксних трошкова у односу на променљиве. Одржавање се дефинише као стална контрола над свим средствима за рад, као и вршење одерђених поправки и превентивних радњи, чији је циљ стално, функционално оспособљавање и чување производне опреме, постројења и других машина и уређаја. Током времена и употребе долази до старења материјала и средстава за рад, смањује се технолошка ефикасност, а долази и до евидентног технолошког застаревања. Средства се током времена троше и смањује им се радна способност. Средства за рад су подложна ломовима и оштећењима, па се појављују прекиди у раду. То узрокује појаву трошкова због замене и поправке делова, али и трошкове због застоја у процесу производње. [8]

### 1.1 ОСНОВИ ТЕОРИЈЕ ОРГАНИЗАЦИЈЕ ОДРЖАВАЊА

#### 1.1.1 ПРОЈЕКТОВАЊЕ СИСТЕМА ОДРЖАВАЊА

У циљу остваривања што виших квалитета одржавања, системе одржавања у предузећу неопходно је унапред пројектовати. При томе се под појмом пројектовање система одржавања подразумева дефинисање система одржавања у свим битним елементима и детаљима, а посебно са становишта концепције, организације и технологије, укључујући и све елементе логистике подршке (капацитети, снабдевање, радна снага, финансијски потенцијали, информациони систем, систем управљања, и друго). Иако због специфичности процеса одржавања и технологија које се у процесу одржавања користе, пројектовање система одржавања има одређене посебности, које траже посебне прилазе, ова проблематика у целини по много чему превазилази оквире теорије одржавања. [2]

### 1.1.2 ОСНОВИ ОРГАНИЗАЦИЈЕ ОДРЖАВАЊА

Организација одржавања захвата сложену проблематику, која дефинише односе између појединих нивоа, односно места на којима се спроводе поступци одржавања (радионица) и других учесника (субјеката) у процесу одржавања. Ако је систем одржавања сложенији и организација је сложенија.

Организација одржавања се дели на [4]:

*Линијска структура* - два или више серијски везаних места одржавања. Користи се за сложене техничке системе, који се производе појединачно или у сасвим малим серијама, а користе у специфичним радним условима (енергетска постројења, процесна индустрија).

Највиши ниво у линијској структури представља онај сегмент система одржавања у коме се обављају најсложенији поступци одржавања, где овај ниво има права да обавља и све поступке одржавања нижег степена - обрнуто не, односно нижи ниво у принципу не треба и не може да обавља послове вишег нивоа одржавања.

*Хијерархијска структура* – сваки виши ниво опслужује један или више нижих нивоа. Користи се за техничке системе који се производе у већим серијама или групама (моторна возила, машине за грађевинску, пољопривредну и рударску механизацију). Ако постоји већи број техничких система који се одржава у јединственом систему одржавања, поред основног одржавања који се обавља на првом нивоу, постоји и одређен број виших нивоа одржавања, са својим надлежностима, опремом и радном снагом. Највиши ниво одржавања у овој структури често може бити и произвођач те опреме.

*Комбиновани начин* - комбинација претходних основних начина. Постоје могућности избора различитих варијанти, односно више стратегија и могућности система одржавања. Оптимизацијом долазимо до најбољег начина. Који је најбољи зависи од много чинилаца, који зависе од случаја до случаја (систем снабдевања резервним деловима и другим материјалима, расположива радна снага, комуникације).

Као што се види, и у вези са организацијом система одржавања постоје могућности избора различитих варијанти, тј. више стратегија и алтернатива система одржавања. Који је начин организовања најбољи зависи од многих чинилаца, који обично имају специфично значење, типично за сваки случај посебно. Ово се односи и на извршавање функционалних захтева посматраних техничких система, њихову просторну дистрибуцију, систем снабдевања резервним деловима и другим материјалима, расположиву радну снагу, комуникације, итд.

Основни задатак организације одржања је да усклади капацитете расположивих ресурса [2]:

- кадрава,
  - опреме (машина, алата, инсталација),
  - залиха (материјала и резервних делова),
  - информација,
- са оптерећењима (потребама) на пословима одржавања.

Циљ овог усклађивања је да се постигну утврђене перформансе погона [2]:

- продуктивност,
- квалитет производа,
- расположивост техничких система (сигурност функционисања),
- сигурност и безбедност, при минималним утрошцима и трошковима расположивих ресурса.

## **2.0 МЕТОДОЛОГИЈЕ ОДРЖАВАЊА**

### **2.1 ЦИЉЕВИ ОДРЖАВАЊА**

Техничко одржавање система представља скуп поступака и активности чија је сврха спречавање појаве отказа, као и враћање система по појави стања у отказу ( поново у стање у раду), у што краћем времену и са што мањим трошковима, у датим условима околине и организације рада.

Основни задаци одржавања почињу пројектовањем, конструисањем и изградом техничких система који треба да имају повољну карактеристику трошења, која треба да умањује и успорава процес хабања и трошења, повисује ниво експлоатационе поузданости (вероватноћу исправног рада) у раду и продужава животни циклус система. Процес трошења (хабања) система је један од узрока да одржавање мора постојати у животном циклусу система.

Технички системи за производњу се све више механизују и аутоматизују, што значи да морају да раде што поузданије. Због тога се нагло шири појам одржавања, при чему се данас може рећи да је одржавање процес који омогућава управљање техничким стањем и поузданошћу у току читавог животног циклуса система. Надаље, циљеви одржавања, између осталог, залазе и у сферу економије пословања, па се исказују у виду рационализације и начелно су мерљиви. [2]

Основни циљеви који треба да се постигну процесом одржавања су [8]:

- Минимизирање трошкова због застоја у раду услед непланираних отказа на средствима за рад.
- Спречавање, односно успоравање застаревања средстава за рад, које настаје као последица лошег квалитета производа и шкарта.
- Смањивање трошкова рада и материјала у производњи, који настаје услед повећаних отказа и застоја у процесу рада.

- Пружање организоване помоћи свуда где је одржавање и управљање средствима за рад.

Циљеви одржавања средстава за рад у процесу производње могу се посебно сагледати са два основна аспекта [8]:

Техничко-технолошки, који доприносе [8]:

- иновацијама и усавршавању средстава за рад,
- одржавању радне способности средстава на потребном нивоу и повећању поузданости средстава у процесу рада,
- остваривању дужег радног века средстава за рад,
- постизању бољег квалитета производа,
- остваривању равномернијег и бржег одвијања текућег процеса у целини,
- остваривању и побољшању других техничко-технолошких својстава

Економски који доприносе [8]:

- рационалном коришћењу средстава за рад у производњи,
- повећању продуктивности рада у производњи,
- смањењу трошкова производње,
- повећању економичности трошења у самом процесу одржавања средстава за рад.

Циљеви одржавања у процесу производње упућују на широку област важности одржавања као процеса повезаног са производњом. Важност одржавања средстава за рад огледа се у [8]:

- Важност одржавања развојног аспекта (истраживања појаве великог броја застоја на средствима за рад, који расту и због великог раста броја система и аутоматизације производних процеса).
- Важност одржавања са технолошког становишта (брзо застареваше средстава за рад услед брзог развоја техничког и технолошког процеса, затим застареваше услед трошења као технолошког процеса).
- Значај одржавања са економског гледишта (појава трошкова услед коришћења средстава за рад).
- Значај одржавања са социјалног аспекта (средства за рад у лошем и несигурном стању изазивају незгоде како у самој радној организацији, тако и у њеном окружењу).
- Значај одржавања у погледу чувања расположивих ресурса у раној организацији.

Значај одржавања средстава за рад у компанијама је велики. Оно директно утиче на основне факторе производње и може врло повољно утицати (ако се добро спроводи) на постизање позитивних пословних резултата. Добро спроведено одржавање директно утиче на смањење трошкова производње и пословања. Застоји услед неисправности и нужног вршења ремонта, нарушавају технолошки процес производње, а исто тако утичу и на економику производње пропорционално са временом застоја и средствима уложеним за отклањање отказа. [8]

### 3.0 ТЕХНОЛОГИЈА ОДРЖАВАЊА

**Технологија одржавања** одређује како се спроводе поступци одржавања, на који начин, којим алатом, по ком редоследу, како се проверава квалитет извршеног одржавања и слично. Ово се односи на сваки ниво одржавања посебно, а и на све поступке у целини, без обзира на њихову учесталост и важност. [4]

Технологија одржавања зависи од [4]:

- конструктивних особина (и других) техничких система,
- услова у којима се спрободи одржавање,
- економских фактора (инвестиције у капацитете за одржавање, услови пословања и положај на тржишту, продуктивност..)
- брзине обављања поступка одржавања, односно захтеване готовости.

Другим речима, технологија одржавања може да се реши на различите начине, са различитим степеном опремељености радионица и различитим нивоима логистичке подршке – све ово непосредно одређује врсту и карактер поступака одржавања.

Поступци одржавања представљају активности и операције које треба спровести да би се систем из стања у отказу вратио у стање у раду, односно да би се спречила изненадна појава отказа.

Поступци одржавања се деле на [4]:

- Основно одржавање,
- Надзор,
- Преглед стања - без расклапања и са потпуним и делимичним расклапањем,
- Поправке и
- Иновације - побољшање техничког систем

*Основно одржавање* - Елементарне радне операције које обично обавља руковалац техничког система, а понекад и стручно обучени радници. У те операције спадају: прање, чишћење, подмазивање, замена пречистача, филтера, основна подешавања, притезања, доливања. Код основног одржавања у принципу, систем је у стању у раду, односно, не преводи се у стање у отказу.

*Надзор* - Контрола рада система док је у стању у раду. И ове поступке најчешће обавља руковалац техничког система, односно лице из специјализоване екипе која брине о раду система. Та контрола се спроводи помоћу инструмената и уређаја који су уграђени у систем тако да омогућавају сталан и неометан увид у њихово показивање (у командној кабини, на командној табли). Могу се користити и посебни, преносиви уређаји који се постављају на карактеристично место само када се врши преглед стања система. Технички систем мора бити прилагођен оваквој врсти контроле (сензори, уграђени мерни инструменти, поред обучености радника). Надзор може имати и доста додирних тачака са дијагностиком.

*Преглед стања* - Сложенији поступци одржавања чине материјалну основу и суштину концепције одржавања по стању, између осталог, и због дијагностичког карактера. Дијагностиковање техничког система може да се обави на два начина:

- без расклапања,
- са потпуним и делимичним расклапањем.

Дијагностички прегледи без расклапања захтевају примену одговарајућих уређаја или мерних инструмената. Оцена стања се врши на бази вредности добијеног карактеристичног параметра, случајног карактера, који је изабран или прихваћен као меродаван за посматрани систем и мерну технику. Битна предност ове методе је да се стање оцењује интегрално, под утицајем свих битних саставних елемената, односно склопова и подсистема. Недостатак је што се увек може поставити питање тачности овако добијених информација, односно сигурност одлуке која треба да се донесе.

Дијагностички прегледи са расклапањем, делимичним или потпуним, су у односу на претходну методу релативно сигурнији и дају већу извесност одлукама које се на основу оваквог прегледа доносе. Оваквим прегледом могу се утврдити критична стања изазвана хабањем, корозијом, ерозијом, замором, а након тога да се пропишу поступци одржавања. Ова метода је спорија и скупља, утиче на готовост система и остварене трошкове. Свако расклапање и поново склапање може донети и додатне неизвесности због квалитета спроведених поступака, што може изазвати застоје већег обима. У принципу се сматра да је систем за време дијагностичких прегледа без расклапања у стању у раду, док се дијагностички прегледи са расклапањем, делимичним или потпуним, преводе систем у стање у отказу. Могућа су и другачија решења, посебно ако се раду о детаљним прегледима на вишим нивоима одржавања, када су дијагностички прегледи без расклапања сложени и обимни.

*Поправке* – Поступци који се користе за отклањање отказа и враћање система у стање у раду. Поправке су само један вид одржавања и не треба их поистовећивати са одржавањем у генералном смислу. Обављају их посебно квалификовани радници, најчешће у специјализованим радионицама, а понекад и на месту рада система који се одржава. Поправка се може вршити на различите начине, заменом отказалог елемента, заменом целог подсистема или склопа, али и заваривањем, закивањем.

*Иновације*. Специфична врста поступака одржавања. Подразумевају се различити поступци побољшања техничког система. Уочавањем слабих места процењује се како би систем требало изменити па да до отказа више не долази. У принципу, то се постиже применом бољих материјала, уградњом додатних елемената, изменама конструкције, ослонаца. Иновације су деликатне, пошто настоје за побољшањем могу понекад довести и до супротних ефеката.

Из свега се може закључити да технологија одржавања за сваки посебан случај, односно за одређену врсту техничких система, може бити решена на већи број различитих начина. Свако решење више или мање утиче на квалитет система одржавања, на

погодност одржавања, готовост и друге излазне карактеристике, а исто тако и на трошкове одржавања и укупне трошкове остварене ефективности. [4]

## 4.0 ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ ОДРЖАВАЊА

Основни елементи одржавања су:

- Технички систем
- Животни (експлоатациони) век техничког система
- Пројектована функција техничког система
- Задржавање или обнављање пројектоване функције
- Техничке, административне и управљачке активности
- Трошкови одржавања

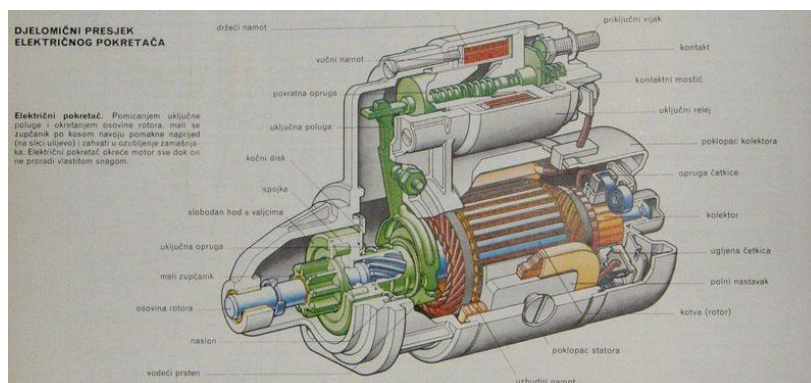
## 4.1 КАРАКТЕРИСТИКЕ ТЕХНИЧКИХ СИСТЕМА

Под појмом технички систем подразумева се скуп елемената и релација између њих и њихових карактеристика, повезаних у циљу остваривања функције циља, односно промене стања система. [3]

Технички систем (слика - 4.1 Пример техничког система - електромотор, [12]) је вештачки систем који је настао посредним или непосредним деловањем човека. Већина својстава техничког система има све карактеристике природних система. [1]

У ове карактеристике спадају [1]:

- Целовитост
- Адаптивност
- Стабилност
- Затвореност
- Повратна веза



Слика 4.1- Пример техничког система - електромотор

Уколико је више присутна целовитост и адаптивност, утолико су технички системи савршенији јер поседују неке битне карактеристике природних система. Техничким системима по својој природи припадају обични алати и прибори (ручна стега, дизалица) као и савремене космичке леталице, роботи, аутомобили, алатне машине. Сваки технички систем је састављен од подсистема, односно елементарних или основних система. Наведени основни системи су међусобно повезани релацијама које су присутне и код односа система и околине.

Технички системи су динамички и детерминистички. Детерминистика је присутна због могућности дефинисања стања система у сваком временском тренутку и прогнозирања будућих стања у зависности од дејства управљачких акција. Са аспекта карактеристика може се појавити широк спектар различитих техничких система. То наводи на специфичне и различите приступе код дефинисања метода њиховог одржавања. Одражавање техничких система (машина и уређаја), односно средстава за рад, као функција и део процеса производње заузима данас важно место у производном систему сваке компаније. [1]

#### **4.2 ЖИВОТНИ ВЕК ТЕХНИЧКОГ СИСТЕМА**

Сваки технички систем има свој ограничени животни век у оквиру кога је његова експлоатација могућа. Много фактора утиче на дужину животно - експлоатационог века једног техничког система. Основни циљ сваког корисника техничког система јесте да се животно-експлоатациони век техничког система што више продужи. [5]

#### **4.3 ПРОЈЕКТОВАНА ФУНКЦИЈА ТЕХНИЧКОГ СИСТЕМА**

Сваки технички систем има прецизно дефинисану пројектовану функцију. Пројектована функција техничког система одређена његовим основним функционалним (експлоатационим) карактеристикама (примери: аутомобил, мобилни телефон, струга, преса..) Параметри којима су прецизније дефинисане поједине карактеристике техничког система у оквиру његове пројектоване функције, налазе се у одређеним границама. [5]

#### **4.4 ЗАДРЖАВАЊЕ ИЛИ ОБНАВЉАЊЕ ПРОЈЕКТОВАНЕ ФУНКЦИЈЕ**

У току експлоатације техничког система долази до погоршавања вредности појединих параметара којима су дефинисане карактеристике техничког система у оквиру пројектоване функције. Уколико вредности параметара изађу изван произвођачки дефинисаних граница, експлоатација таквог техничког система постаје отежана или чак потпуно немогућа. Да би се обезбедила експлоатација техничког система мора се обезбедити задржавање параметара пројектоване функције у дефинисаним границама, односно обнављање вредности оних чија је вредност погоршана. [5]

## 4.5 ТЕХНИЧКЕ, АДМИНИСТРАТИВНЕ И УПРАВЉАЧКЕ АКТИВНОСТИ

Активности у оквиру одржавања којима се постиже очување пројектоване функције техничког система могу бити [5]:

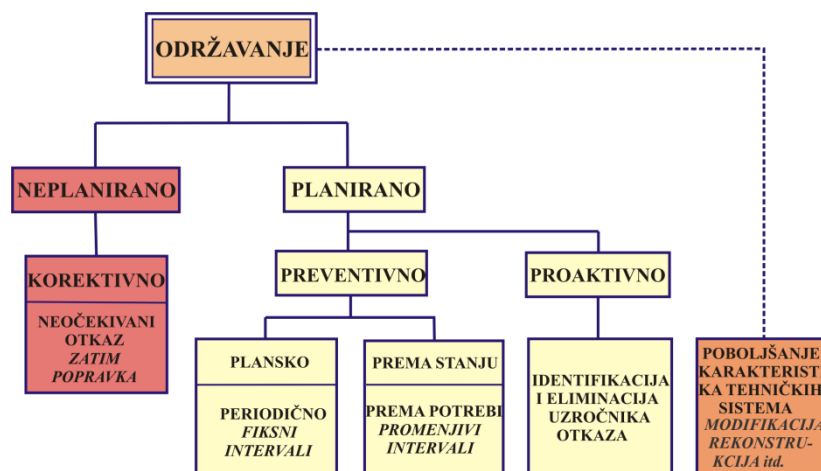
- Техничке – техника и технологија у одржавању
- Административне – процедуре, документација, извештаји
- Управљачке – организација, планирање, анализе и одлучивање

## 4.6 ТРОШКОВИ У ОДРЖАВАЊУ

Профитна оријентисаност у практично свим сегментима привреде (индустрија, транспорт, енергетика, услуге) намећу трошкове одржавања као кључан фактор који се дефинише на начин организовања и деловања функције одржавања. Ипак постоје и значајни изузеци код којих се у први план стављају други фактори као што су поузданост или расположивост техничких система. [5]

## 5.0 МЕТОДЕ ОДРЖАВАЊА

Анализирајући савремене приступе у решавању проблема одржавања у свету и садашњи ниво техничког развоја код нас, у потпуности се може прихватити и применити основна подела приказана на слици 5.0. [1]



Слика - 5.0 Методе одржавања [5]

## 5.1 КОРЕКТИВНО ОДРЖАВАЊЕ

Корективно одржавање је метода одржавања, код које се допушта експлоатација техничког система до појаве отказа, а без претходних прегледа и праћења стања тог система. При томе је пожељно да се увек сигнализира почетна фаза отказа и приступи његовом отклањању. Недопустиво је да дође до озбиљних последица које настају као ланчана реакција изазвана почетним отказом неког елемента.

Задатак корективног одржавања је да елемент и/или технички систем из стања “у отказу” доведе у стање “у раду”. Елемент који је при томе отказао поправља се или се замењује новим.

Ако се не познаје законитост промене стања елемената техничког система (што је најчешћи случај код нас у пракси), откази тада припадају стохастичком (случајном) процесу. Тада ће и век трајања елемената или функционалних целина (које чине структуру техничког система) имати стохастичку природу. [1]

Корективно одржавање има реактиван приступ према отказу, оно га прихвата као неминовност. Један од основних недостатака јесте што код већег броја техничких система који су истовремено у експлоатацији, може доћи до преклапања временских интервала када су они у отказу.

Најприкладнији начин интерпретације корективног одржавања је помоћу функције поузданости  $R(t)$  за случај када се врши замена дотрајалог елемента техничког система.

Укупан и расположиви ресурс се дефинише као:  $U_r = I_r + N_r$ , где је  $I_r$ -искоришћени ресурс а  $N_r$ - неискоришћени ресурс.

Код корективног одржавања се иде на скоро потпуно искоришћење расположивог ресурса, односно [1]:  $I_r \gg N_r$  тј.  $U_r \approx I_r$

### **Предности корективног одржавања [5]:**

- Рационално коришћење расположивог ресурса (једина предност).

### **Недостаци:**

- Немогућност планирања укупног броја отказа, тренутка њиховог настанка и времена трајања. У таквим условима немогуће је планирати било какве активности у циљу рационализације послова на одржавању.
- Појава међусобно повезаних више отказа. Ово доводи до дуготрајних застоја опреме као и високих трошкова одржавања.

Генерално се може рећи да се корективно одржавање не препоручује за сложене и скупе техничке системе, односно у производним системима где откази доводе до дугих застоја, високих трошкова и угрожености процеса, људи и околине. [5]

## 5.2 ПРЕВЕНТИВНО ОДРЖАВАЊЕ

Отказ техничког система се појављује “у најгоре могуће време”, односно када се највише жури са испуњењем плана производње и када је добра цена производа на тржишту (велика могућност продаје). Време отказа у оваквим случајевима траје од неколико часова до неколико дана. [1]

### 5.2.1 ОСНОВНИ ПРЕДУСЛОВИ ЗА УСПЕШНО УВОЂЕЊЕ ПРЕВЕНТИВНОГ ОДРЖАВАЊА

Са превентивним одржавањем увек треба почети што пре, како се не би дозволиле појаве отказа или губиле драгоцене информације. Оно што треба имати за успешно увођење превентивног одржавања односи се на [1]:

- једнозначно идентификовање техничких система преко видно приказаног инвентарског и серијског броја, као и ознаке типа,
- тачну предисторију техничких система,
- информације везане за отказе (пробе, узрок, предузете активности),
- искуствене податке о сличној опреми,
- препоруке произвођача опреме,
- упутство за одржавање,
- информације о елементима који отказују и замењују се,
- искуство и едуковано људство на пословима одржавања,
- алате и одговарајућу опрему за преглед стања, дијагностику или мониторинг,
- јасне инструкције за преглед са документацијом за евидентирање стања,
- добру сарадњу са оператором на опреми и
- помоћ од стране менаџмента.

Почетни захтеви за увођење успешног превентивног одржавања се увек односе на поседовање одговарајуће документације. Посебан проблем у нашој индустрији у претходном периоду је створен код набавке нове опреме. Ово се односи на недовољно систематични приступ који је довео до велике разноврсности опреме и високих трошкова одржавања. Куповина праве опреме је прво са чиме треба почети . Добра погодност за одржавање смањује трошкове и обезбеђује високу продуктивност при коришћењу. Основни предуслов за увођење превентивног одржавања је системски приступ код набавке нове опреме. [1]

Ако се детаљно анализира превентивно одржавање, долази се до закључка да су његове основне активности [5]:

- чишћење
- подмазивање техничких система,
- преглед (праћење стања) и
- поправке.

### *Чишћење*

Представља једну од основних активности у одржавању било ког техничког система. Постоје технички системи који захтевају виши ниво чистоће, али не постоје технички системи који су имуни на прљавштину и код којих се ова активност може занемарити. Редовно и правилно чишћење има бројне директне и индиректне корисне ефекте на стање техничког система. [5]

### *Подмазивање*

При релативном кретању контактних елемената неког трибомеханичког система у њему долази до расипања енергије и масе (хабања). Интензитет у највећој мери зависи од врсте и присутне количине мазива у зони контакта. Мазиво (најчешће уље или маст) смањује трење и хабање у зони контакта.

Мазиво још обезбеђује и [5] :

- смањује загревање контактних елемената
- спречавање контаминаната да уђу у зону контакта
- заштиту од корозије
- изношење продукта хабања из зоне контакта.

### *Преглед стања техничког система*

За наведену врсту активности често се код нас срећу и појмови [5]:

- инспекција
- технички преглед, периодични преглед

Основни циљ прегледа је да се утврде недостаци и поремећаји и на тај начин спречи потенцијални отказ.

### *Поправке*

Утврђени недостаци и проблеми на техничким системима морају се отклонити како не би довели до отказа. Поправке у превентивном одржавању се разликују од поправки у корективном одржавању.

- у корективном одржавању поправкама се отклања отказ.
- у превентивном одржавању поправке служе да се отклоне проблеми и недостаци који могу довести до отказа. [5]

## **Предности превентивног одржавања**

- *Квалитетније управљање производним процесом*

За разлику од корективног одржавања код кога се реагује по настанку отказа, превентивно одржавање се планира унапред и његовим активностима се спречава појава отказа. То значи да експлоатација опреме може бити планирана тако да она буде расположива за превентивно одржавање у жељеном временском периоду. Све наведено доводи до бољег и једноставнијег управљања производним процесом [1].

➤ *Веће искоришћење расположивих ресурса*

На основу плана за извођење превентивног одржавања, унапред се врши прерасподела радних задатака на расположиве ресурсе или се ангажују додатна опрема и радна снага.

➤ *Обезбеђење жељеног квалитета производа*

Добро превентивно одржавање обезбеђује квалитетан излаз из техничког система. Ако је у питању производна опрема, то значи да ће се на њој постизати жељени квалитет и тачност обраде.

➤ *Повећање ефективности опреме*

За превентивно одржавање троши се само мањи проценат времена од онога које би било потребно за корективно одржавање. Веома је ретка појава отказа на опреми у току њене експлоатације. Све ово доводи до повећања њене ефективности.

➤ *Повећање продуктивности производног система*

Превентивним одржавањем се минимизирају проблеми везани за: тренутак појаве отказа, време трајања застоја, појаву шкарта, планирање и ангажовање радне снаге. Ово доводи до повећања продуктивности посматраног система.

➤ *Нормирање послова*

Због природе понављања, активности на превентивном одржавању се могу тако нормирати да буду изведене на најбољи начин. То значи да свака процедура мора бити побољшана до нивоа савршенства.

Тада потпуно долази до изржаја вештина појединца. За ово је неопходно обезбедити обуку и школовање кадрова за одржавање. Потреба за овим је више изражена уколико иста особа стално понавља већ нормиране, односно стандардизоване превентивне активности на истој врсти опреме.

➤ *Смањење прековременог рада*

Прековремени рад на одржавању може бити смањен или потпуно елиминисан јер се смањује учесталост појаве изненадних отказа.

➤ *Рационално планирање резервних делова*

Код превентивног одржавања унапред се планирају резервни делови и потрошни материјал. Тачно се зна који део и када ће бити употребљен. Увек је потребна мања залиха резервних делова код превентивног него код корективног одржавања.

➤ *Повећање сигурности и боља контрола загађења околине*

Ако не постоји превентивни и контролни преглед или уграђени сензори, код опреме се може погоршавати стање до тачке где она постаје несигурна у коришћењу или исувише загађује околину.

## Недостаци превентивног одржавања

### ➤ *Могућност појаве оштећења*

У току превентивних интервенција додирују се, покрећу и користе прекидачи, полуге за управљање или неки други елементи техничког система. У том случају постоји могућност појаве оштећења. Оно се појављује због пропуста или игнорисања одређених команди при тесту, насилног рада или погрешне процедуре [1].

### ➤ *Висок ниво раних отказа*

Нови резервни елементи имају већу вероватноћу појаве отказа у почетној него у касној фази експлоатације. Код резервних делова често је присутна појава да квалитет није исти као за делове који се користе за прву уградњу.

### ➤ *Неискоришћен расположиви ресурс*

Заменити неки елемент при превентивном одржавању је далеко боље него сачекати да се отказ појави. При томе је очигледно да се у потпуности не користи расположиви ресурс замењеног елемента.

### ➤ *Високе почетне трошкове*

Резервни делови купљени знатно раније него што ће бити искоришћени могу бити извор високих почетних трошкова.

### ➤ *Често прекидање процеса експлоатације опреме*

За опрему која ради у великосеријској или масовној производњи, главно питање се односи на могућност прекидања процеса у циљу извођења активности превентивног одржавања.

Добар програм превентивног одржавања подразумева и помоћ од производње у циљу правовременог регистравања било ког потенцијалног проблема.

### 5.2.2 ПРЕВЕНТИВНО-ПЛАНСКО ОДРЖАВАЊЕ

Најчешће подразумева фиксне интервале у којима се изводе одређене активности из домена одржавања (седмично, месечно, квартално, сезонски или по неким другим унапред одређеним интервалима). Извођење активности одржавања по планираним интервалима је само по себи корак напред према систему одржавања заснованим на стварним потребама. Два главна елемента превентивног одржавања са фиксним интервалима су технолошки поступак или дисциплина. [5]

### 5.2.3 ПРЕВЕНТИВНО ОДРЖАВАЊЕ ПРЕМА СТАЊУ

Овакав начин одржавања је заснован на периодичном или непрекидном праћењу стања техничких система и регистровању проблема који доводе до појаве отказа. То омогућава да се благовремено припреме и обезбеде одговарајући резервни делови, особље и отклоне проблеми пре него што доведу до отказа са веома озбиљним последицама. Најчешће се код техничких система бирају најутицајнији параметри са аспекта квалитета обављања функције циља техничког система и преко њих врши мониторинг и дијагностика стања.

Код превентивно - планског одржавања, активности везане за замену или поправку елемената засноване су углавном на статистичком праћењу средњег времена рада до појаве отказа. Код одржавања према стању активности се изводе у најповољнијем тренутку тј. када стање техничког система то захтева.

Анализирајући савремене техничке системе, може се рећи да данас у свету вибрације, температура и продукти хабања у уљу, представљају физичке величине које се најчешће континуално региструју и прати интензитет њихове промене. [5]

**Успешно спроведено превентивно одржавање према стању може да доведе до [5]:**

- Смањења трошкова одржавања 50-80%,
- Смањења броја застоја 50-60%,
- Смањења количине резервних делова 20-30%,
- Смањења укупног времена застоја 50-80%,
- Смањења прековременог рада 20-50%,
- Повећања експлоатацијског века опреме 20-40%,
- Повећања продуктивности 20-30%,
- Повећања профита 25-60%, ...

### **5.2.3.1 ИЗБОР КАРАКТЕРИСТИЧНИХ ПАРАМЕТАРА И ПРАЋЕЊЕ СТАЊА**

Вибрације, температура и продукти хабања у уљу су најистакнутије физичке величине које треба континуално регистровати и пратити интензитет њихове промене. Избор карактеристичних параметара (сила, притисак, температура, проток) се везује за машину, процес и производ.

Праћење промене стања се састоји из два нивоа обављања задатака. На првом нивоу се изводи само мониторинг карактеристичних параметара машине и процеса, а на другом нивоу дијагноза. [1]

### **5.2.3.2 ХАРДВЕР И СОФТВЕР КОД ОДРЖАВАЊА ПРЕМА СТАЊУ**

Након постављања основних захтева и ограничења за одржавање према стању, наредни корак је избор хардвера и софтвера који може да подржи усвојени програм. Крајњи циљ је да се целокупна сложена опрема повеже у мрежу и све информације прате и архивирају у централном рачунару.

Савремени хардверски и софтверски систем садржи:

- Даваче
- А/Д конверторе
- Микропроцесоре
- Софтверски програм
- Централни рачунар

## **5.3 ПРОАКТИВНО ОДРЖАВАЊЕ**

Концепт проактивног одржавања се релативно скоро појавио у индустрији и пракси. Први резултати су указали на потпуну оправданост код оваквог приступа. Проактивни приступ проблему одржавања техничких система базиран је на сталном праћењу и контроли основних узрочника отказа и активностима на њиховом елиминисању или значајном смањењу негативног дејства.

Проактивни концепт не прихвата отказ као нормално и могуће стање, већ се спроводи низ адекватних мера да до отказа уопште не дође. Једноставно речено тежи се да сваки технички система “води здрав живот” и да му се на тај начин максимално пружи век експлоатације. [5]

Основни елементи проактивног приступа у одржавању су [5]:

- Мониторинг
- Дијагностика
- Прогностика

**Мониторинг стања** техничког система, представља све активности усмерене на прикупљање информација и података које одређују стање тог техничког система у времену. Утврђене промене стања, изнад дефинисаних граница, представљају индикаторе поремећаја у систему и симптоме могућег отказа па се тада, као логичан наставак мониторинга стања реализују активности у циљу дијагностике отказа.

**Дијагностика отказа** обухвата активности усмерене на анализу симптома и информација, прикупљених у процесу мониторинга стања, у циљу откривања локације, узрока, природе и карактеристика отказа или стања које потенцијално води ка отказу компоненте или система. Резултат дијагностичких процедура представљају сазнања која се користе у процесу доношења одлука о предузимању одговарајућих активности на одржавању.

**Прогностика** представља скуп активности усмерених ка процењивању преосталог времена до отказа за конкретан технички систем, односно ризика од присутности или појаве једног или више модалитета отказа у будућности.

## 6.0 СИСТЕМИ ОДРЖАВАЊА

Варијанта система одржавања, одређене концепцијом, организацијом и карактером поступака одржавања, као и односом између појединих нивоа на којима се врши одржавање, назива се стратегија одржавања. [8]

Постоје два прилаза методологији одржавања:

- Одржавање према поузданости ОПП
- Тотално продуктивно одржавање ТПО

### 6.1 ПОУЗДАНОСТ

Поузданост је вероватноћа да ће неки технички систем успешно (без отказа) обављати функцију уз задовољење постављених критеријума циља.

Поузданост техничког система зависи од структуре самог техничког система, односно [5]:

- од броја елемената
- њихових међусобних веза

Код анализе поузданости, елементе система можемо сврстати у четири основне групе [5]:

- елементи чији отказ практично не утиче на поузданост система,
- елементи чија се радна способност не мења у разматраном временском периоду,
- елементи чија се поправка или подешавање изводи у току обављања функције техничког система,
- елементи чији отказ проузрокује отказ система.

За добијање прорачуна поузданости система постоје три различита приступа [5]:

- математички модел,
- симулацијске методе (метода Монте Карло),
- метода одређивања граничних вредности (метода граница).

## 6.2 ТОТАЛНО ПРОДУКТИВНО ОДРЖАВАЊЕ

Тотално продуктивно одржавање - представља познати и признати јапански модел за организацију функције одржавања у производно-пословним системима. Тотално продуктивно одржавање је продуктивно одржавање, спроведено од стране свих запослених корз рад у малим групама.

Иако је одржавање кључна компонента концепта, ТПМ, у својој суштини, иде значајно даље од саме функције одржавања укључујући и остале значајне производне функције и елементе као што су [5]:

- квалитет
- организација
- логистика
- безбедност на раду

Комплетна дефиниција ТПМ – а обухвата следеће елементе [5]:

- максимално ефикасно коришћење опреме,
- спровођење програма продуктивног одржавања у свим фазама и током целог животног века опреме,
- тимски рад и укључивање свих сектора у одржавање опреме,
- укључивање свих запослених од топ менаџера до радника у погону и
- промоција рада кроз спровођење аутономних активности у малим групама.

Постоји 8 основних пилара (носиоца/стубова) концепта ТПМ, а то су [5]:

- 5с (који се сматра фундаментом читавог концепта),
- Аутономно одржавање,
- Каизен,
- Планирано одржавање,
- Одржавање квалитета,
- Обука,
- ТПМ администрација област,
- Безбедност, здравље на раду и заштита околине.

## 7.0 ТРОШКОВИ ОДРЖАВАЊА

Животни циклус једног техничког система има сложену структуру, он захтева низ посебних, али међусобно повезаних и временски усклађених група активности. Однос ових временских сегмената одређен је дејством великог броја чинилаца. Зато и начин интерпретације животног циклуса може бити различит, зависно, пре свега од врсте система и начина посматрања, односно жеља и циљева анализе. Животни циклус техничких система укључује пет временских фаза, које обухватају следећих пет група активности:

- концепцијско и идејно решење,
- развој и пројектовање (конструисање),
- производња и постављање (пуштање у рад),
- коришћење и одржавање и
- секундарне сировине.

Остваривање сваке активности у животном циклусу, па и сваког сегмента овог циклуса појединачно, захтева улагање одређених материјалних средстава. У том смислу се може и говорити и о укупним трошковима животног циклуса или о укупним уложеним средствима.

Трошкови животног циклуса укључују следеће појединачне трошкове:

- трошкове набавке, који укључују и транспорт, осигурање и друге обавезе, итд.,
- трошкове рада, који укључују радну снагу тј. руковаоце, погонску енергију, помоћне објекте и инсталације нужне за рад и итд.,
- трошкове одржавања, који укључују радну снагу на одржавању, резервне делове, алате, уређаје и објекте за одржавање, итд.,
- трошкове администрације, који укључују управљање, информатику и слично.

Основни циљ у пословању сваког система је да се оствари максимална продуктивност уз минимизацију трошкова који се при томе појављују. Код производних система са оптималном стратегијом управљања, која обезбеђује минималне трошкове одржавања, морају се успоставити међусобне везе.

Независно од примењене методе одржавања неопходно је да се прати производни процес, прикупљају подаци и прорачунавају елементи структуре трошкова. При томе се на основу добијених резултата, може утицати на политику и стратегију одржавања.

Захваљујући оваквом приступу, може се планирати оптимални обим активности из области одржавања. Прикупљени и обрађени подаци се уводе у управљачку спрегу и користе за поређење са ближе дефинисаним циљевима. На основу тога се у управљачком делу врши анализа, оптимизација и изучавање система одржавања односно постављање услова и ограничења за одлучивање. [1]

Ако се анализирају укупни трошкови одржавања, исти се могу сврстати у две групе и то [1]:

- директне и
- индиректне.

Директним трошковима припада [1]:

- проналажење неисправних елемената на техничком систему (преглед стања, мониторинг, дијагностика),
- замена неисправних елемената и
- поправка или регенерација неисправних елемената.

Индиректни трошкови се односе на [1]:

- непланиране временске губитке у производњи (застоје),
- оштећење опреме и
- пад квалитета производа, односно шкарт.

## 8.0 ТЕХНИЧКА ДИЈАГНОСТИКА

Важан део технологије одржавања је техничка дијагностика. Техничка дијагностика је научно - техничка дисциплина којој припадају теорија, методе и средства за распознавање стања техничких система у условима ограничених информација.

Основни циљеви техничке дијагностике:

- препознавање стања техничких система у условима експлоатације,
- да се открије и спречи потенцијални отказ,
- оцена радне способности и расположивог ресурса и
- прогнозирање понашања ТС у будућности.

То се постиже мерењем карактеристичних (дијагностичких) параметара и на основу одређених критеријума доноси закључак о томе да ли се они налазе у дозвољеним границама или не.

### 8.1 ДИЈАГНОСТИЧКИ ПАРАМЕТРИ

**Физичке величине** које су присутне у процесу рада (функционисања) техничког система могу послужити као карактеристични (дијагностички) параметри за праћење промене стања техничког система.

Добро познавање функционисања техничких система је врло битан предуслов за дефинисање и избор дијагностичких параметара.

Да би се неки параметар применио као дијагностички, мора да задовољи основне захтеве који се односе на:

- једнозначност промене,
- довољну осетљивост промене и
- приступачност и лакоћу мерења.

## **8.2 МЕТОДЕ ТЕХНИЧКЕ ДИЈАГНОСТИКЕ И ИЗБОР ДИЈАГНОСТИЧКИХ ПАРАМЕТАРА**

Код техничких система, који су данас у употреби, најзаступљеније су методе техничке дијагностике засноване на:

- праћењу вибрација,
- праћењу термичког стања и
- анализи продуката хабања у уљу за подмазивање.

Поред поменутих, у употреби су и методе техничке дијагностике засноване на:

- праћењу процесних параметара (притисак, проток, сила, обртни момент, влажност и сл.) и
- методама испитивања без разарања (велики број ултразвучних метода, електромагнетна и магнетна тестирања, визуелна инспекција и др.).

### **8.2.1 ДИЈАГНОСТИКА ЗАСНОВАНА НА ПРАЋЕЊУ ВИБРАЦИЈА**

Сви технички системи чију структуру чине покретни елементи, у нормалним условима експлоатације, генеришу динамичке силе. Оне су последица процеса који се одвијају у лежиштима, преносницима, спојницама, вођицама, погонским системима итд. Ове силе доводе до осцилаторног кретања (вибрација) у односу на референтну - најчешће равнотежну позицију.

Вибрације генерално посматрано, представљају периодично кретање. Ово кретање се само по себи понавља у потпуности или после одређених временских интервала. [1]

Основни разлози за мерење вибрација су:

- утврђивање да ли нивои вибрација прелазе стандардима прописане нивое (спречавање отказа),
- спречавање резонанце појединих делова техничког система,
- пригушивање и изоловање извора вибрација
- спровођење одржавања према стању,
- анализа техничког система.

### 8.2.1.1 МЕРЕЊЕ И АНАЛИЗА ВИБРАЦИЈА

Основни елемент у мерном ланцу је давач који претвара енергију механичких вибрација у електрични сигнал. Код мерења је веома важно правило оријентисати давач због његове осетљивости. Сигнал вибрација се најчешће анализира у фреквенцијском домену. [1]

Анализа вибрација захтева разумевање технологије која се користи за описивање компонената вибрација. Најчешће се срећу следећи термини:

- учестаност ( фреквенција)
- амплитуда
- померај
- брзина
- убрзање
- временски домен
- фреквентни домен

### 8.2.2 ДИЈАГНОСТИКА ЗАСНОВАНА НА ПРАЋЕЊУ ТЕРМИЧКОГ СТАЊА

У процесу експлоатације техничких система, због релативног кретања контактних елемената (котрљање, клизање) и трења које се при томе јавља, долази до појаве топлоте. Топлота се не генерише као последица релативног кретања, већ је њена појава везана и за обаваљање основне функције (електрично коло, хидраулични систем, мотор са унутрашњим сагоревањем, термоцентра). На основу измерених температура веома поуздано се може дијагностиковати стање неког техничког система или његових елемената. [1]

За праћење термичког стања примењују се [1]:

- **контактне методе** (термопарови, термистори, термометри итд.),
- **безконтактне методе** (засноване на регистровању инфрацрвеног зрачења топлотног извора-инфрацрвена термографија или термовизија) и
- **индикаторске методе** (термоосетљиве боје и лакови итд.).

У области одржавања у најширој примени су прве две методе:

- Контактне методе за праћење термичког стања
- Безконтактне методе за праћење термичког стања

### 8.2.2.1 КОНТАКТНЕ МЕТОДЕ ЗА ПРАЋЕЊЕ ТЕРМИЧКОГ СТАЊА

Једна од највише примењиваних контактних метода заснована је на мерењу температуре помоћу термопара. Овде је искоришћен основни принцип понашања разнородних метала да загрејан спој, који се налази на њиховим крајевима, генерише електромоторну силу.

Најчешће примењивани термопарови су:

- гвожђе – константан,
- хромел – алумел,
- бакар – константан и
- хромел - константан.

Хромел је легура никла и хрома, а алумел легура никла, силицијума, алуминијума и мангана. Најчешће се, у области одржавања примењује, ручни уређај за мерење температуре састављен од сонде (са термопаром), појачивача и дисплеја за дигитално читавање. Код мерења температуре врх сонде се ослања на предмет мерења. [1]

### 8.2.2.2 БЕЗКОНТАКТНЕ МЕТОДЕ ЗА ПРАЋЕЊЕ ТЕРМИЧКОГ СТАЊА

Сва тела са температуром изнад апсолутне нуле емитују енергију или електромагнетне таласе у области инфрацрвеног зрачења. Инфрацрвено зрачење је један од облика емитоване енергије. Интензитет инфрацрвеног зрачења неког тела зависи од његове површинске температуре. Ова појава је искоришћена да се развију безконтактне методе мерења температуре. Мерење температуре помоћу инфрацрвеног зрачења повезано је са одређеним проблемима због постојања три различита извора термичке енергије на неком телу.

Ове енергије су:

- енергија коју емитује само тело (E) односно апсорбована енергија (A),
- енергија рефлексије (R) и
- енергија која пролази кроз тело (T).

Збир релативних односа свих енергија једнак је јединици или (100%), тј.:

$$A + R + T = 1$$

Да би се сагледала могућност мерења температуре неког тела помоћу инфрацрвеног зрачења, треба претходно проценити коефицијент емисије тела  $\epsilon$ . Овај коефицијент се креће у границама  $0 < \epsilon < 1$  и има максималну вредност за црно тело.

*Коефицијент емисије  $\epsilon$*  представља количник енергије коју емитује реално тело на одређеној температури и енергије коју емитује црно тело на истој температури.

Коефицијент емисије  $\epsilon$  и коефицијент апсорпције  $a$  тела представљају исту величину – емисионе и апсорпционе карактеристике тела су идентичне.

*Црно тело* не рефлектује енергију. Оно сву спољашњу енергију апсорбује и поново је емитује као енергију инфрацрвеног зрачења.

*Рефлектована енергија* и енергија која пролази кроз тело доводе до значајних грешака при мерењу температуре преко инфрацрвеног зрачења. На елементима техничких система обрађених полирањем или израђених од алуминијума, не може се овом методом тачно измерити температура.

При мерењу је веома важна околна атмосфера. У колико је у њој присутна водена пара, може доћи до апсорпције инфрацрвеног зрачења. Системи за мерење поседују филтере којима се елиминише негативни утицај околине.

Постоје три различита типа инструментације за детекцију температура преко инфрацрвеног зрачења [1]:

- инфрацрвени термометар (мери температуру на релативно малој површини),
- линијски скенер (одређује температуру са једнодимензијским скенирањем),
- систем за приказивање резултата у облику слике (средство помоћу којег се изводи веома брзо скенирање инфрацрвеног зрачења по целој површини посматраног сегмента техничког система).

### 8.2.3 ДИЈАГНОСТИКА ПРЕКО ПРОДУКТА ХАБАЊА У УЉУ ЗА ПОДМАЗИВАЊЕ

Шире посматрано у уљу за подмазивање у току експлоатације доминатно су присутне чврсте честице (продукти хабања) као и влага, ваздух, микроорганизми, хемикалије итд. У процесу експлоатације долази и до промене физичко – хемијских особина уља (вискозност, садржај киселих и базних материја, ниво оксидације итд.).

У процесу хабања при релативном кретању контактних елемената долази до расипања масе, односно стварања честица које одлазе у уље које служи као средство за подмазивање. Ако се при томе одаберу одређени параметри за идентификацију процеса хабања преко продуката (концентрација, дистрибуција димензија, морфологија и састав) може се поуздано донети закључак о стању контактних елемената.

Основно ограничење за примену дијагностике преко продукта хабања је затворен систем у коме се уље налази. На то колико је битно пратити прираштај продуката хабања у уљу најбоље указују истрживања обављена на хидрауличним инсталацијама. Утврђено је, на пример, да око 70% проблема у раду долази од високог садржаја продуката хабања у хидрауличном уљу.

У наведеном случају продукти хабања су идентификовани као узрочници потенцијалног отказа. [1]

## 9.0 ВИБРОДИЈАГНОСТИКА

Како непланирани откази могу да угрозе профитабилност посла као и план производње предузећа, данас се проактивно одржавање сматра обавезом у модерној индустрији, ма колико она била велика.

Једна од основних ствари код предиктивног одржавања је мерење вибрација и праћење стања машине, како би се што раније уочиле неправилности и лакше се планирало. [7]

Током експлоатације техничких система долази до генерисања принудних сила услед дебаланса, несаосности, лошег стања лежајева. Сви ови чиниоци представљају узрок лошег погонског стања. Принудне силе се, преко одзива система, испољавају кроз динамичко понашање, односно преко вибрација на ослонцима и уопште вибрација целог техничког система. Вибрације су дакле последица лошег погонског стања техничког система.

Узрок лошег погонског стања (принудне силе) се, кроз одзив система, трансформише у последицу (вибрације). Током праћења динамичког понашања примењује се нека од метода мерења вибрација. Дијагноза о томе шта узрокује лоше погонско стање доноси се а да се притом не познаје одзив система. Овакав приступ носи у себи сталну опасност од постављања погрешне дијагнозе.

### 9.1 ЗНАЧАЈ ВИБРОДИЈАГНОСТИКЕ

Мерење и анализа вибрација су основна метода за дијагностику савремених техничких система. Вибрације настају као последица механичких сила које се генеришу унутар техничког система и најчешће настају услед [3]:

- неуравнотежености обртних маса,
- прелазних режима у току експлоатације (залетање/успоравање, удари и др.),
- хабања елемената у контакту (котрљајни и клизни лежајеви, зупчаници, каишници,...) и
- основне функције циља техничког система.

Код највећег броја техничких система вибрације се непожељне јер [3]:

- интензивирају процес хабања свих покретних елемената,
- изазивају лом механичких компонената,
- доводе до слабљења раздвојивих веза
- доводе до отказа електронских компонената и система,
- доводе до оштећења изолације каблова који се додирују,
- проузрокују буку и
- изазивају оштећења и обољења код човека.

Основна корист која се може очекивати након увођења вибродиагностике може се описати кроз [3]:

- прелазак са корективног на проактивно одржавање,
- смањење ризика од настанка материјалне штете,
- повећање експлоатационе поузданости,
- повећање средњег времена између отказа,
- елиминисање или минимизирање непланираних застоја,
- спровођење пријемног теста за нову опрему и
- унапређење управљања одржавањем.

## 9.2 ВИБРАЦИЈЕ КАО ПАРАМЕТАР ТЕХНИЧКОГ СТАЊА СИСТЕМА

Вибрације у свом најједноставнијем облику можемо сматрати осцилацијама или кретањем објекта које се понавља око неког равнотежног положаја. Равнотежни положај је положај у којем објекат остаје ван утицаја спољних сила. Овај тип вибрација је назван ”кретање целог тела” што значи да се сваки део тела креће заједно у истом правцу, смеру и времену. Вибрационо кретање целог тела може се у потпуности описати као комбинација појединачних кретања и то преко шест различитих типова. То је транслација у три ортогоналне пројекције  $x$ ,  $y$  и  $z$ , и ротација око  $x$ ,  $y$ , и  $z$  осе. Свако сложено кретање може се представити као комбинација ових шест једноставних кретања. На основу овога можемо рећи да тело поседује шест степени слободе.

На објекат може деловати:

- спољна сила или
- сила која може настати у самом објекту.

Фреквенција и величина вибрације датог објекта су у потпуности одређене:

- силом побуде,
- правцем и
- фреквенцијом.

Из тог разлога се анализа вибрација користи за одређивање сила побуде када је машина у раду. Ове силе зависе од стања машине, познавања њених карактеристика и интеракција која нам омогућавају дијагностиковање проблема машине. Најједноставније могуће вибрационо кретање које постоји је кретање масе у једном правцу, контролисано једном опругом – једноставно хармонијско кретање. Такав механички систем је назван системом са једним степеном слободе.

Ако се маса помери на сигурну удаљеност од равнотежног положаја, и потом отпусти, опруга ће се вратити у равнотежни положај, али тада маса има кинетичку енергију и може прећи преостали део и скренути са путање у супротном правцу. Брзина се смањује до заустављања кад поново почиње да иде ка равнотежном положају. Исти процес се понавља поново и тако редом, при чему се кинетичка енергија претвара у потенцијалну.

Уколико нема трења у систему, осцилације се могу наставити са истим интензитетом и амплитудом заувек. Ово идеално хармонијско кретање готово да не

постоји у механичким системима. Сваки реални систем има трење, што изазива амплитуду вибрација до постепеног смањења при чему се енергија претвара у топлоту.

### 9.3 СЛОЖЕНЕ ВИБРАЦИЈЕ

У линеарним механичким системима, све компоненте егзистирају заједно и ниједна не ремети ону другу. У случају нелинеарног система, компоненте вибрација реагују и стварају нове компоненте које немају функцију силе. Вибрације представљају кретање које резултира осцилаторном силом и за линеарне механичке системе, фреквенција вибрација је исто што и фреквенција силе. Ако има неколико фреквенција сила које се дешавају истовремено, тада ће резултујућа вибрација бити сума вибрација сваке фреквенције. Под овим условима, резултујући график неће бити синусоида и може бити веома сложен.

Машине, нарочито оне које су спорије, производе вибрације које се релативно лако могу интерпретирати директно. За типичну ротациону машину, често је тешко доћи до информација о унутрашњем раду машине гледајући облик вибрације, и ако су у стварним случајевима анализе снажан алат.

### 9.4 ЕНЕРГИЈА И СНАГА

Енергија је потребна да би се произвела вибрација и у случају машинских вибрација, ова енергија долази са извора снаге односно обртног момента машине. Овај енергетски извор може бити мотор са унутрашњим сагоревањем, или парна турбина, итд. Енергија се дефинише као производ силе и растојања на којем сила делује, и јединица SI система за енергију је џул [J]. Енергија од 1 J одговара сили од 1 N која делује на растојању од 1 м. Физички концепт рада је једноставан, и јединице које се користе за мерење рада су исте као ове за мерење енергије. Стварни износ енергије у вибрацијама машине често није тако велики у поређењу са енергијом која је потребна за покретање те машине.

Снага се дефинише као износ урађеног рада, или износ преноса енергије и према SI систему, мери се џулима по секунди [J/s], или ватима [W]. Једна коњска снага одговара 746 W. Снага је пропорционална квадрату амплитуде вибрација, као што је електрична енергија пропорционална квадрату напона или квадрату струје. Према закону о одржању енергије, енергија се не може створити нити уништити, она се само може претварати из једног облика у други. Енергија вибрација у механичком систему је коначно претворена у топлоту. У току анализе вибрација машина, у мање или више сложеним механичким системима, корисно је размотрити изворе енергије вибрација и делове машина које ту енергију преузимају.

Енергија се увек креће, од извора енергије вибрација до енергије пригушивача, где се претвара у топлоту. У неким случајевима, то може бити веома кратак део, али у другим

ситуацијама, енергија може преваљивати веома дуге дистанце пре него што буде апсорбована.

Најважнији апсорбер енергије је трење код машина, трење клизања и вискозно трење. Трење клизања је представљено релативним кретањем између делова машине, а пример вискозног трења је рукавац лежишта. Ако машина има веома мало трење, ниво вибрација тежи да буде прилично висок, за енергију вибрација насталу услед недостатка апсорбције. С друге стране, машина са великим унутрашњим трењем ће имати нижи ниво вибрација зато што се енергија апсорбовала брже. На пример, машине са кугличним елементима лежаја (обично их зову анти-трење лежаји), вибрирају више од машина са цилиндричним лежајима, где уљни филм делује као значајан апсорбер енергије. Разлог због којег одређене структуре захтевају заковане спојеве радије од заваривања је зато што се заковани спојеви (зглобови) померају незнатно, апсорбујући енергију трењем клизања. Ово држи вибрације даље од деструктивних нивоа. Како структура може бити високо пригушена, тако је и пригушење мера капацитета апсорпције енергије.

## 9.5 МЕРЕЊЕ АМПЛИТУДЕ ВИБРАЦИЈА

Амплитуда је, уопштено посматрајући, показатељ интензитета поремећајне силе и озбиљности проблема.

Величина амплитуде показује следеће:

- да ли машина ради мирно или не;
- какво је опште динамичко (механичко) стање машине;
- ако рад машине није сасвим миран, да ли се овакав рад машине може толерисати или ту машину треба одмах зауставити.

Промене амплитуде вибрација значе промену у механичком или процесном стању машине. Ова промена не мора обавезно бити у смеру повећања амплитуде, иако је то најчешћи случај. Знајући да се комплексна вибрација састоји од низа компоненти различитих фреквенција, укупна амплитуда одговара величини векторског збира вектора појединих компоненти. Амплитуда укупне вибрације ће зависити од величине амплитуде појединих компоненти али и од њиховог односа фазних углова. Повећање амплитуде неке од компоненти која је фазно супротна са векторском резултантом других компоненти, може смањити амплитуду свеукупне вибрације. При томе је машина под утицајем деловања неког поремећаја који се манифестује повећањем амплитуде наведене компоненте.

Амплитуда вибрације зависи од два фактора:

- величине амплитуде поремећајне (побудне) силе  $F$ ,
- динамичке крутости  $cd$  механичког система (скуп својстава којима се машина супротставља деловању поремећајне силе: маса односно инерција, опружна крутост, пригушење).

$$A = F / cd$$

Амплитуда се може повећати услед повећања интензитета поремећајне силе или услед смањења динамичке крутости, односно може се смањити услед смањења интензитета поремећајне силе или повећањем динамичке крутости.

Смањење динамичке крутости обично значи деградацију механичког система, а повећање динамичке крутости је обично изазвано ненормалним режимима рада система односно деловањем статичких сила на делове система. Постоји више начина изражавања амплитуде.

У математичким разматрањима осцилаторних процеса под амплитудом се подразумевао највећи помак од равнотежног (почетног) положаја до крајњег положаја (позитивног или негативног, тј. у позитивном или негативном смеру). Амплитуда је била изражена као нула-врх.

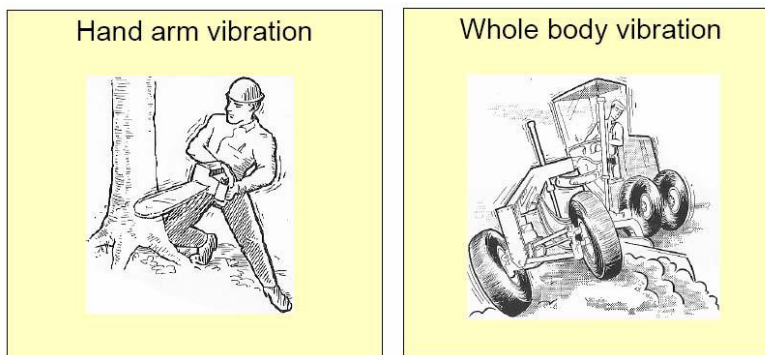
## 9.6 ВИБРАЦИЈЕ КОЈЕ ДЕЛУЈУ НА ЧОВЕКА

Људско тело се може посматрати као механички систем заједно са сопственим фреквенцијама појединих делова људског тела. Када је тело побуђено вибрацијама различити делови тела вибрирају различитим амплитудама у зависности од сопствене фреквенције.

Вибрације које делују на човека (ХВ) дефинишу се као ефекти механичких вибрација на људско тело. Понекад су ове вибрације пријатне или информативне (љуљашка, мобилни телефон, пејцер, вибромасажер). Ако је изложеност ХВ оне могу да имају и штетне ефекте на човека и његово здравље (виљушкар, пнеуматски чекић, моторне тестере и сл.)

Локалне вибрације које делују на поједине делове људског тела који су у непосредном контакту са вибрирајућим системом – најчешће је то систем шака – рука (слика 9.6 а).

Опште вибрације које делују на људско тело као целину, на целу површину тела, када се човек налази у окружењу машине која вибрира или које могу да се пренесу на цело тело кроз место контакта односно структуру ослонца, (слика 9.6 б).



Слика 9.6 - а) Вибрације шака – рука      б) Вибрације целог тела

Не постоји национални пропис који дефинише дозвољене вредности изложености вибрацијама. За чланице ЕУ важи директива 2002/44/ЕЦ – Минимални захтеви у погледу безбедности и здравља за изложеност радника ризику који настаје од физичких штетности (вибрације).

Директива је имала за циљ да:

- Постави минималне захтеве за контролу ризика
- Дефинише граничне вредности
- Дефинише акционе вредности
- Постави захтеве послодавцима да обезбеде елиминисање ризика илим смањење на најмању могућу меру.

Пре него што се одреди изложеност вибрацијама потребно је одредити време изложености вибрацијама за сваки алат који радник користи и за сваки процес у коме учествује. Потребно је узети у обзир само време када је радник изложен вибрацијама (не узимати у обзир паузе у раду). [6]

Подаци:

- Штоперица
- Видео запис камером

### 9.6.1 ВИБРАЦИОНЕ БОЛЕСТИ

Професионалне болести су болести настале у току рада, проузроковане дужим непосредним утицајем процеса рада и услова на радним местима односно пословима које радник обавља.

Вибрациона болест је хронично професионално обољење, које представља патологију више ткива, а настала је штетним дејством вибрација са радног места, делујући на ткива органа и система, у дужем временском периоду.

По учесталости вибрациона болест налази се на другом месту међу професионалним обољењима, после плућних обољења. Студије показују да: у зависности

од услова експозиције, од ове болести оболева од 6% до 100% запослених експонираних штетном дејству вибрација 82%.

Дуготрајно излагање вибрацијама које делују на цело тело могу изазвати промене у доњем кичменом и трбушном делу. Значајно дејство вибрација јавља се у раменом и вратном делу. Вибрације ниских фреквенција могу изазвати морску болест. [6]

Пратећи фактори који појачавају дејство вибрација [6]:

- Продужено седење у принудном положају
- Продужено седење у лошем положају
- Често увијање кичме
- Потреба за извијањем главе
- Често подизање и ношење терета
- Неочекивани покрети
- Неповољни климатски услови

Симптоми:

- Замор
- Главобоља
- Успорене реакције
- Бол у леђима, вратном и раменом делу

Редовно и продужено излагање вибрацијама које делују на систем шака-рука у директном контакту са вибрационим алатима могу изазвати оштећења ткива код горњих екстремитета укључујући промене на прстима шака и ручних зглобова. Вибрације доводе до неколико типова обољења од којих је најпознатији синдром белих или мртвих прстију слика 9.6.1.



Слика 9.6.1 - Синдром белих или мртвих прстију [6]

При раду са ручним вибрационим алатом настају [6]:

- поремећаји циркулације
- оштећења коштано-мишићног система горњих екстремитета
- нервна оштећења (функционалне и органске промене).

## 9.7 МЕРЕЊЕ ВИБРАЦИЈА

Мерење вибрација често представља компромис. Непосредно мерење силе која ствара вибрације, што би било најпожељније, је немогуће. Из тог разлога се приликом спровођења анализе врши мерење одзива система (последица) на дејство силе, који у ствари представља вибрације.

Вибрације се мере [3]:

- да би се утврдило да ли нивои вибрација прелазе стандардима прописане нивое (спречавање отказа),
- да би се спречила резонанца појединих делова техничког саистема,
- да би се пригушили или изоловали извори вибрација,
- да би се спровело одржавање према стању и
- да би се развио или верификовао динамички модел (анализа техничког система).

Методама мерења и анализе механичких вибрација може се посматрати динамичко стање машина као што су турбине, генератори, електромотори, пумпе, вентилатори, редуктори... и утврдити статус виталних елемената у машинама (клизних и котрљајних лежачева, зупчаника, стање дебаланса).

Са таквим мерењем се могу унапред предвидети који су елементи машина на крају животног века и на тај начин спречити непланиране застоје у производњи. Такође се могу пронаћи узроци и порекло повећаних вибрација на машини, ако се оне појаве. Мерење може да реши проблеме у вези са резонанцом постројења, преноса вибрација из окружења, као и заштите од штетног дејства вибрација - изолације, темеља.

Мерење вибрација је увек на месту где је "проблематична" машина постављена. Мерење вибрација на машинама може се обавити само ако је машина у раду (мерењем се не ремети процес производње). Мерна места на којима се врше мерења су обично кућишта лежачева (ако то није могуће, избор мерног места зависи од вршиоца мерења).

Врсте мерења:

- мерење механичких вибрација са једноканалним или двоканалним инструментом
- мерење вибрација шестоканалним системом за снимање података на два улежиштења, у сва три правца истовремено,
- мерење вибрација снимањем података потребних за анализу стања већих турбоагрегата.

## 9.8 ИНСТРУМЕНТИ ЗА МЕРЕЊЕ ВИБРАЦИЈА

Сваки инструмент за мерење вибрација садржи у себи мерни ланац. Мерни ланац за мерење вибрација започиње давачем вибрација који вибрације претвара у електрични сигнал. Сигнал се са давача вибрација појачава и по потреби филтрира. Након тога следи осредњавање сигнала и даље процесирање у циљу добијања жељеног параметара вибрација.

Данас се на светском тржишту може наћи велики избор комерцијалних инструмената за мерење вибрација. Најшире посматрано сви ови инструменти могу да се поделе у две велике групе. То су:

*Инструменти за мерење вибрација* - инструменти овог типа су углавном лаки и преносни, једноставни за употребу слика 9.8.1. Пружају могућност мерења основних параметара вибрација као што су: померање, брзина и убрзање. Неки од њих имају могућност повезивања са рачунаром у циљу формирања базе података резултата мерења. Поред вибрација, неки од инструмената могу да мере и друге физичке величине, као што су температура и број обртаја.

Основни недостатак ових инструмената је тај што не пружају могућност анализе резултата мерења вибрација у циљу утврђивања узрока осцилаторног понашања машина.



Слика 9.8.1 - Инструменти за мерење вибрација [10]

*Инструменти за мерење и анализу вибрација* – ови инструменти поред тога што имају могућност мерења великог броја параметара вибрације, пружају и могућност основне анализе вибрација. Највећа групација инструмената овог типа су тзв. data collector, слика 9.8.2. [3]



Слика 9.8.2 - Data collector [11]

*Data collector* су лаки преносни уређаји који имају могућност складиштења великог броја резултата мерења у своју интерну меморију. Саставни део ових мерних инструмената је припадајући софтвер који служи за програмирање *data collector* за мерење као и за чување и анализу резултата мерења.

*Data collector* пружају могућност напредних метода мерења и анализе вибрација. Неке од њих су [3]:

- приказ различитих облика фреквентних дијаграма,
- анализа орбита,
- балансирање ротора у сопственим лежајевима,
- трендирање резултата мерења и прогностика,
- подешавање саосности.

## 9.9 ДОЗВОЉЕНИ НИВО ВИБРАЦИЈА

Циљ није да се одреди колики ниво вибрација неки технички систем може да издржи пре него што откаже, већ да се одреди ниво вибрација који може бити дозвољен пре предузимања активности одржавања. [3]

Постоји велики број критеријума на основу којих се утврђено стање техничког система може окарактерисати као добро или лоше, а такви критеријуми су [3]:

- препоруке произвођача испитиваних техничких система,
- дијаграми препоручени од стране произвођача инструмената за вибродиагностику,
- искуства стечена приликом испитивања сличних техничких система и
- стандарди у области мерења и анализе вибрација.

Приликом утврђивања дозвољених нивоа вибрација, треба претходно размотрити и чиниоце као што су [3]:

- безбедност,
- трошкови услед прекида производње и
- важност рада техничког система за профит предузећа.

### 9.9.1 СТАНДАРДИ У ОБЛАСТИ МЕРЕЊА И АНАЛИЗЕ ВИБРАЦИЈА

За припрему стандарда из области мерења и анализе вибрација задужени су технички комитет ISO/TC/108 и подкомитет SC5.

Сви мерни инструменти пружају могућност мерења основних параметара вибрација у складу са неким од важећих међународних стандарда, и та чињеница је врло важна приликом куповине било које мерне инструментације за мерење и анализу вибрација. Стандарди помоћу којих се одређује стање машина на основу измерених нивоа вибрација, најчешће користе брзину вибрација као параметар за оцену. [3]

### 9.9.1.1 СТАНДАРД ISO 2372

Стандард ISO 2372 је идентичан са енглеским стандардом BS 4672, односно немачким стандардом 2056.

Према овом стандарду, прво је потребно посматрати технички систем сврстати у одговарајућу класу (I, II, III или IV), а затим на основу измерених нивоа вибрација извршити оцену стања, нпр. Стање може бити оцењено као [3]:

- добро (A)
- допуштено (B)
- још увек допуштено (C)
- недозвољено (D)

Приказ дела стандарда 2372 који се односи на оцену стања техничких система на основу измереног нивоа вибрација дат је на слици 9.9.1.1.



Слика 9.9.1.1 - Оцена вибромеханичког стања пумпног постројења према стандарду ISO 2372 [5]

Измерене ефективне вредности брзине вибрација, као и оцена стања према ISO 2372, дате су у табели 9.9.1.2. Укупна оцена стања утврђена је на основу мерног места са највишим нивоом вибрација. На основу снаге погонског електромотора  $P = 55 \text{ kw}$  пумпно постројење је сврстано у класу II (машине средње величине 15-75 kw круто ослоњене и машине до 300 kw на специјалном фундаменту).

| Мерно место                                                    | Врста лежаја | Мерни правац | Брзина Veff (mm/s) | Оцена стања према ISO 2372 |
|----------------------------------------------------------------|--------------|--------------|--------------------|----------------------------|
| M1                                                             | котрљајући   | ВЕР          | 0,752              | ДОБРО (А)                  |
|                                                                |              | ХОР          | 1,017              |                            |
|                                                                |              | АКС          | 0,844              |                            |
| M2                                                             | котрљајући   | ВЕР          | 1,245              | ДОПУШТЕНО (Б)              |
|                                                                |              | ХОР          | 1,576              |                            |
|                                                                |              | АКС          | 0,952              |                            |
| M3                                                             | котрљајући   | ВЕР          | 3,140              | ЈОШ УВЕК ДОПУШТЕНО (Ц)     |
|                                                                |              | ХОР          | 2,506              |                            |
|                                                                |              | АКС          | 1,185              |                            |
| M4                                                             | котрљајући   | ВЕР          | 1,787              | ДОПУШТЕНО (Б)              |
|                                                                |              | ХОР          | 2,543              |                            |
|                                                                |              | АКС          | 1,281              |                            |
| Општа оцена стања са аспекта вибрација: ЈОШ УВЕК ДОПУШТЕНО (Ц) |              |              |                    |                            |

Табела 9.9.1.1 - Измерене ефективне вредности брзине вибрација, као и оцена стања према ISO 2372

### 9.9.1.2 СТАНДАРД ISO 10816

*Стандард ISO 10816* дефинише опште смернице за мерење и оцену резултата мерења вибрација машина на основу мерења извршених на неротирајућим површинама машина.

Општи услови за оцену резултата мерења вибрација примењиви су код испитивања радног стања машина, као и за тестирање машина приликом пријема, а установљени су првенствено са циљем обезбеђивања дугорочне безбедне и поуздане експлоатације машина.

Стандард ISO 10816 дефинише два критеријума за оцену стања техничких система [3]:

- Критеријум I: поређење са критеријум прихватљивости који зависи од коласе, типа, снаге и броја обртаја машине и
- Критеријум II: омогућава оцену промене нивоа вибрација у односу на претходно дефинисану референтну вредност. Значајно повећање или смањење нивоа вибрација може да буде индикација предстојећег отказа техничког система. Приликом примене овог критеријума за оцену критичности вибрација мерења се морају вршити на истом месту и у истом правцу, при приближно истим радним условима.

## 9.10 ИДЕНТИФИКАЦИЈА ОТКАЗА ПРЕКО МЕРЕЊА И АНАЛИЗЕ ВИБРАЦИЈА

Захтеви за високом поузданошћу ротационих машина су сваким даном све већи, па су у овој области присутна стална побољшања. Са применом савремених материјала, ротационе машине су почеле да раде на све већем броју обртаја, док ротори на тим машинама постају све лакши. Од њих се очекује да раде без отказа у све дужем временском периоду. Претходно наведене чињенице наводе на закључак да идентификација и лоцирање постојећег отказа постају незаобилазан елемент у циљу постизања високе поузданости. [3]

## 9.11 ЗНАЧАЈ ФРЕКВЕНТНЕ АНАЛИЗЕ

Анализа сигнала у фреквентном домену је најзначајнији алат који се примењује за идентификацију отказа преко мерења и анализе вибрација.

Да би одлучили како пратити вибрације у дужем временском интервалу, потребно је добро познавати посматрани технички систем. Код једноставнијих техничких система довољно је пратити само укупни ниво вибрација.

Међутим, код сложенијих техничких система, отказ неког од елемената, који се манифестује у уском фреквентном опсегу, може бити маскиран осталим фреквентним компонентама. Тек позни стадијум поменутог отказа узроковаће повећање укупног нивоа вибрација. У том случају праћењем сигнала вибрација у фреквентном домену предстојећи отказ ће бити примећен много раније. [3]

Након критичке анализе сигнала у фреквентном домену поставља се дијагноза и при томе се морају поштовати два основна правила [3]:

- Свакој карактеристичној учестаности у спектру мора се придружити одређени део техничког система или физичка величина везана за извођење процеса.
- Било која карактеристична амплитуда и учестаност не могу се променити без разлога. Свака промена наведених величина указује на промену динамичког понашања техничког система. Било каква промена динамичког понашања указује на промену стања техничког система.

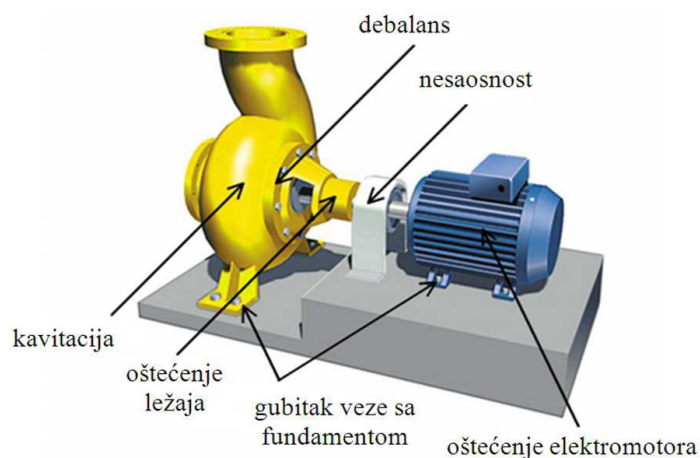
### 9.11.1 КАРАКТЕРИСТИКЕ УЧЕСТАНОСТИ ТЕХНИЧКИХ СИСТЕМА

Пре анализе вибрација у фреквентном домену потребно је познавати карактеристичне учестаности анализираног техничког система. Сваки елемент техничког система има своју карактеристичну учестаност која се може појавити у фреквентном дијаграму и на тај начин указати на постојање неког од отказа. Карактеристичне учестаности су оне учестаности које може да генерише посматрани технички систем и оне су везане за основну побудну учестаност. Основна побудна учестаност је учестаност која одговара броју обртаја. [3]

### 9.11.2 УЗРОЧНИЦИ ОТКАЗА

Мерњем и анализом вибрација могуће је идентификовати велики број узрочника отказа слика 8. Неки од њих су [3]:

- дебаланс,
- несаосност,
- закривљеност вратила,
- оштећење котрљајних лежајева,
- оштећење клизних лежајева,
- губитак механичке везе,
- проблеми код каишних преносника,
- резонанца и подрхтавање,
- лоше спрезање зупчаника,
- формирање и развој прслине на ротору,
- проблеми који се односе на струјање флуида код пумпи, вентилатора,
- проблеми код електричних мотора.



Слика 9.11.2 - Карактеристични узрочници отказа који се могу идентификовати мерењем и анализом вибрација

## 10.0 ЗАКЉУЧАК

У овом завршном раду детаљно је обаређено одржавање техничких система укључујући вибродиагностику која у великој мери помаже да се избегну откази.

У првом поглављу дата су уводна разматрања описујући и теорију организације одржавања. Друго поглавље описује методологију одржавања што подразумева циљеве одржавања. У трећем поглављу детаљно је описана технологија одржавања, од чега зависи и који су њени поступци одржавања.

Четврто поглавље описује основне елементе одржавања, што подразумева: технички систем; животни (експлоатациони) век техничког система; пројектовану функцију техничког система; задржавање или обнављање пројектоване функције; техничке, административне и управљачке активности и трошкове одржавања.

Пето поглавље нам представља методе одржавања, које су њихове предности и недостаци. Шесто поглавље описује системе одржавања. Седмо поглавље нам указује како трошкови могу утицати на животни циклус једног техничког система. Осмо поглавље представља технички дијагностику, њене параметре, методе и избор дијагностичких параметара.

Девето поглавље описује вибродиагностику, њен значај, параметре. Описује какве су то сложене вибрације, колика енергија је потребна да би се произвела вибрација. Шта представља мерење амплитуде вибрације, њене величине. Како вибрације утичу на човека и како се јављају вибрационе болести. Такође девето поглавље описује мерење вибрација, њене инструменте, затим колики је дозвољени ниво вибрација, идентификацију отказа и њене узрочнике.

На основу описане теорије, може се донети закључак да је одржавање веома важан подсистем сложених индустријско-производних или неких других система. Нажалост евидентирано је да су код нас веома ретки пословни системи који се баве проблематиком успешности одржавања, док је у развијеним земљама запада ово широко прихваћено.

Добро изабран концепт одржавања, са правилном организацијом, програмирањем и остваривањем појединих активности одржавања у току експлоатације, уз добру обученост особља и обезбијеђен менаџмент квалитетом у одржавању, утиче и на побољшање економских резултата предузећа.

## ЛИТЕРАТУРА

- [1] Бранислав М. Јеремић; Технологија одржавања техничких система; Машински факултет у Крагујевцу; 1992
- [2] Професор. др Живослав Адамовић, Мр Горан Несторовић, Мр Милета Радојевић, Мр Љубивоје Пауновић ; Менаџмент индустријског одржавања; Универзитет у Новом Саду Технички факултет “Михајло Пупин“ Зрењанин, 2008.година
- [3] Петар Тодоровић, Бранислав Јеремић, Иван Мачужић; Техничка дијагностика; Машински факултет у Крагујевцу, 2009
- [4] Тома Танасковић, Одржавање рударских машина, РГФ Београд, 1998
- [5] Материјал са предавања, Факултет инжењерских наука, Универзитет у Крагујевцу, 2013
- [6]<http://www.znrfak.ni.ac.rs/SRB/10-Studije/10-01OAS/PREDMETI/FIZICKI%20PARAMETRI%20RIZS/NASTAVNI%20MATERIJALI/2012-2013/Merenje,%20ocena%20i%20efekti%20vibracija%20FP%20Predavanja%20DC.pdf> (приступ: 22.07.2013. године)
- [7] <http://trcpro.rs/proizvodi/vibrodiagnostika-i-odrzavanje/index.html> (приступ: 22.07.2013. године)
- [8][http://www.rgf.rs/predmet/RO/VII%20semestar/Eksploatacija%20i%20odrzavanje%20gasovo dnih%20sistema/Predavanja/EiOGasS\\_4.pdf](http://www.rgf.rs/predmet/RO/VII%20semestar/Eksploatacija%20i%20odrzavanje%20gasovo dnih%20sistema/Predavanja/EiOGasS_4.pdf) (приступ: 11.08.2013. године)
- [9] <http://www.maturskiradovi.net/forum/Thread-vakuum-presa-terotehnologija> (приступ: 12.08.2013. године)
- [10][https://www.google.rs/search?q=instrumenti+za+merenje+vibracija&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=7Hw8Uoe0M8ye4wSNiYCYDw&sqi=2&ved=0CAcQ\\_AUoAQ&biw=1920&bih=955&dpr=1](https://www.google.rs/search?q=instrumenti+za+merenje+vibracija&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=7Hw8Uoe0M8ye4wSNiYCYDw&sqi=2&ved=0CAcQ_AUoAQ&biw=1920&bih=955&dpr=1) (приступ: 22.09.2013. године)
- [11][https://www.google.rs/search?q=instrumenti+za+merenje+vibracija&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=7Hw8Uoe0M8ye4wSNiYCYDw&sqi=2&ved=0CAcQ\\_AUoAQ&biw=1920&bih=955&dpr=1#q=data+collector&tbm=isch](https://www.google.rs/search?q=instrumenti+za+merenje+vibracija&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=7Hw8Uoe0M8ye4wSNiYCYDw&sqi=2&ved=0CAcQ_AUoAQ&biw=1920&bih=955&dpr=1#q=data+collector&tbm=isch) (приступ: 03.10.2013. године)
- [12][https://www.google.com/search?q=technical+systems&espv=210&es\\_sm=93&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=Tt9gUsLhM-X30gWP8YDADw&ved=0CAkQ\\_AUoAQ&biw=1280&bih=887#es\\_sm=93&espv=210&q=motor+automobila&tbm=isch&facrc=&imgdii=53DagBZaLqkEAM%3A%3BsZ2adrvfskojfM%3B53DagBZaLqkEAM%3A&imgrc=53DagBZaLqkEAM%3A%3Bz-ydzONJm-grgM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.oktani.com%252Fkako\\_radi%252Felektricni\\_pokretac.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.oktani.com%252Fel\\_pokretac.php%3B180%3B142](https://www.google.com/search?q=technical+systems&espv=210&es_sm=93&source=lnms&tbm=isch&sa=X&ei=Tt9gUsLhM-X30gWP8YDADw&ved=0CAkQ_AUoAQ&biw=1280&bih=887#es_sm=93&espv=210&q=motor+automobila&tbm=isch&facrc=&imgdii=53DagBZaLqkEAM%3A%3BsZ2adrvfskojfM%3B53DagBZaLqkEAM%3A&imgrc=53DagBZaLqkEAM%3A%3Bz-ydzONJm-grgM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.oktani.com%252Fkako_radi%252Felektricni_pokretac.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.oktani.com%252Fel_pokretac.php%3B180%3B142) (приступ: 10.10.2013. године)