

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Техничка дијагностика

Број индекса: 356/2014

Милош З. Поскурица
Техничка дијагностика применом
методе инфрацрвене термографије у
млекарској индустрији

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф, др Петар Тодоровић - ментор

2. _____

3. _____

Датум
одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог мастер рада кандидат треба да размотри могућност примене инфрацрвене термографије као дијагностичке методе у фабрици која се бави производњом млека и млечних производа. Кандидат треба да изврши анализу постојеће опрему у фабрици и да, на основу до сада стеченог знања, одреду на којој опреми је погодно извршити техничку дијагностику применом инфрацрвене термографије. Након тога потребно је урадити мерења инфрацрвеном камером и коментарисати резултате мерења.

Препоручена литература:

- [1] Петар Тодоровић, Основи одржавања, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2016.
- [2] Петар Тодоровић, Бранислав Јеремић, Иван Мачужић, Техничка дијагностика, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2009.
- [3] Бабић Мирослав, Мониторинг уља за подмазивање, Машински факултет, Крагујевац, 2004.
- [4] Meola, C., Origin and Theory of Infrared Thermography, in: Infrared Thermography Recent Advances and Future Trends (Meola, C.), Bentham Science, 2012, pp 3-28

Крагујевац,
септембар, 2016.

Ментор:
Проф. др Петар Тодоровић

Резиме:

У оквиру мастер рада анализиран је појам одржавања техничких система, као и појам техничке дијагностике, дате њихове карактеристике и описан систем функционисања. На основу извршене анализе и систематизације извршено је детаљно описивање инфрацрвене термографије. Поред тога извршено је практично мерење температуре посредством ИС термографске камере.

Након обављеног мерења извршено је генерисање добијених резултата у оквиру софтвера за ИС термографију и изведена дискусија на основу измерених величина температуре. Приказани пример изведен је у сарадњи са предузећем “*Kuč company*” д.о.о.

Кључне речи:

одржавање техничких система, техничка дијагностика, инфрацрвена термографија, инфрацрвено зрачење, термографске камере, термографска мерења.

Summary

Within this mater paper it is analyzed the concept of maintenance of technical systems, as well as the concept of technical diagnostic, their characteristics and described system functioning. Based on analysis and systematization it's made detailed describe of infra-red thermography. In addition, it's made through practical measurement of temperature with IC thermography camera.

After completing measurement it's made generating of obtained results in the framework of software for IC thermography and concluded discussion of the resulted measurements of temperatures. This example is done with cooperation with the company “*Kuč company*” d.o.o.

Key words:

maintenance of technical systems, technical diagnostics, an infra-red thermography, an infra-red radiation, thermal cameras, thermography measurements.

Садржај

1. Увод.....	1
2. Историјат предузећа ‘ <i>Киш сотрану</i> ’.....	3
2.1 Технолошки приступ.....	4
3. Одржавање техничких система.....	6
3.1 Значај и циљеви одржавања техничких система.....	7
3.2 Технички систем.....	9
3.3 Основне методе одржавања-подела.....	11
3.4 Корективно одржавање.....	12
3.5 Превентивно одржавање.....	14
3.6 Проактивно одржавање.....	21
3.7 Професионално одржавање.....	24
4. Техничка дијагностика.....	27
4.1 Дијагностички параметри.....	28
4.2 Методе техничке дијагностике.....	30
4.3 Вибродијагностика.....	30
4.4 Дијагностика преко продуката хабања у уљу за подмазивање.....	38
5. Инфрацрвена термографија.....	42
5.1 Теоријске основе безконтактнoг мерења температуре.....	43
5.2 Инфрацрвено зрачење.....	44
5.3 Детектори ИС зрачења.....	49
5.4 Инструменти за ИС термографију.....	52
5.5 ИС линијски скенери и термографске камере.....	52
5.6 Примена инфрацрвене термографије.....	58
6. Технички опис узорка и термографска мерења.....	62
6.1 Дискусија експеримента.....	69
7. Закључак.....	70
8. Литература.....	71

1. Увод

У данашње време човек зависи од стања машина и опреме више него било када у историји човечанства. Непрекидна потреба човека, како за основним животним намирницама, тако и основним видовима енергије остварила је директну зависност поузданости свих техничких система неопходних за њихово настајање, допремање, складиштење и сл. Управо из тог разлога се много више пажње посвећује подизању свести о значају одржавања, спровођењу одговарајућих активности и развоју одржавања.

Одржавање техничких система, односно средства за рад, као функција и део процеса производње заузима данас важно место у производном систему сваке компаније. На развоју одржавања утицао је брз индустријски напредак, као и стални пораст аутоматизације и повезаности техничких система, затим стални пораст фиксних трошкова у односу на остале зависности.

Одржавање се може дефинисати као стална контрола над свим техничким системима, као и предузимање одређених активности (поправки и превентивних радњи), чији је циљ, стално, функционално оспособљавање и продужавање радног (животног) века опреме, постројења и других машина и уређаја [1].

Спровођење одговарајућих активности одржавања над техничким системом у великој мери се може олакшати применом научно-техничке дисциплине под називом “Техничка дијагностика”.

Техничка дијагностика се може дефинисати као релативно млада научно-технолошка дисциплина којој припадају теорија, методе и средства за распознавање стања техничког система у условима ограничених информација. Односно, техничка дијагностика се бави прикупљањем и анализом одређених дијагностичких параметара (карактеристичних за одговарајући технички систем) и применом одговарајућих критеријума доноси закључак да ли су они у прихватљивом опсегу или не. Основни циљ техничке дијагностике је да се открије и спречи потенцијални отказ техничких система [2].

Изузетан значај у области техничке дијагностике и концепта превентивног одржавања техничког система има “*Инфрацрвена (IC) термографија*”, која представља безконтактну методу за мерење температуре.

Основни захтеви савременог тржишта, који у основи усмеравају производне и организационе активности, везани су за висок квалитет производа, скраћено време од идеје до реализације, ниске цене, производњу у серијама прилагођеним потребама тржишта, велики асортиман производа и сл. Да би томе одговорили, савремени производни системи треба да поседују високу конкурентску способност која им може омогућити да адекватно одговоре на постављене захтеве и изборе се са све већом конкуренцијом. Неке од карактеристика, које у том смислу треба да поседују савремени производни системи односе

се на: ефикасност, флексибилност, аутоматизацију, постојан квалитет, рачунарски интегрисане активности, итд.

На основу предходног текста може се извести закључак да одржавање техничких система и техничка дијагностика имају веома значајну улогу, како у развијању производње, тако и у унапређењу пословања компанија и задовољавању захтева савременог тржишта.

Овај мастер рад се највише базира на изучавању основа одржавања и техничке дијагностике, као и примене инфрацрвене термографије. Циљ овог рада јесте да се кроз уводна поглавља обраде теме основа одржавања и техничке дијагностике, а затим на практичном примеру прикаже како применом инфрацрвене термографије може да се изврши распознавање стања техничког система и прикаже како то може утицати на сам ток одржавања одговарајућег техничког система.

Прво поглавље мастер рада се односи на уводна разматрања, где је укратко представљена потреба за применом одржавања и техничке дијагностике као и представљени разлози због чега је ова проблематика значајна за човечанство.

У другом поглављу се наводи историјат предузећа *‘‘Киш company’’* д.о.о, развој тржишта, као и технолошки приступ компаније. Детаљније се описује начин складиштења и циркулације производа унутар затвореног система цевовода. У поглављу се врши и побројавње савремене техничке опреме која се користи у наведеној млекарни како би квалитет коначног производа био на највишем нивоу.

У трећем поглављу се прецизно дефинише појам одржавања, где се преко основних појмова и врста одржавања могу извести одговарајући закључци и образложења, који се односе на врсту одржавања која је најпогоднија за примену у наведеном предузећу, као и поређење са тренутним стањем одржавања.

Четврто поглавље се бави проучавањем техничке дијагностике, као научно-технолошке дисциплине која у значајној мери може да допринесе координацији одржавања, како би се остварила максимална поузданост и достигли максимални производни капацитети критичне опреме током целог њеног животног циклуса.

Пето поглавље уводи у област инфрацрвене термографије која представља једну од најсавременијих безkontaktnих метода за мерење температуре. У оквиру поглавља врши се термовизијско снимање одговарајућих техничких система за потребе предузећа *‘‘Киш company’’* д.о.о. Уз помоћ ИС термографске камере извршено је термовизијско снимање, на основу чијих се слика дају закључци и коментари успешности извршеног испитивања.

На самом крају овог завршног рада дат је закључак, који поизилази из анализе карактеристика технологија и опреме која се примењује у предузећу, начину њиховог одржавања као и коришћена литература.

2. Историјат предузећа “*Киш company*”

Почетак рада млекаре Куч везује се за занатску радњу „*Катуни*“ која је основана 1992. године; прерађивала је дневно једну тону млека, а у асортиману је имала само пастеризовано млеко и јогурт. У њој су били радно ангажовани само чланови породице.

Године 1993. ова занатска радња прераста у предузеће “*Киш company*” које од тада послује као друштво са ограниченом одговорношћу. У периоду између 1994. до 2000. године предузеће је перманентно улагало у повећање капацитета и модернизацију опреме, а у производни програм се уводе нови кисело-млечни производи (кисело млеко и павлака) и паприка у павлаци по којој ово предузеће постаје познато [7].

У периоду од 2000. до 2008. године предузеће ради на диференцирању постојећег асортимана, почиње са извозом и са својим производима улази у велике ланце супермаркета. Услед наведеног, дневна прерада млека је порасла са 23 тоне 2003. године на 40 тона 2009. године. У овом периоду компанија је обогатила (освежила) постојећи производни програм кроз иновирање дизајна и амбалаже производа, а добила је и нови визуални идентитет кроз промену логоа компаније (слика 1).



Слика 1. Промена логоа фирме *Киш company* [7]

Данас се у млекарни “*Киш company*” дневно прерађује преко 60.000 l млека, које се прикупља на територији целе Србије.

Компанија тежи сталном развоју што кроз развој нових производа, малопродајне мреже, проширивању тржишта на којима наступа као и отварању нових тржишта. Један од великих успеха *Млекарне Куч* су и извозни уговори са партнерима из Русије. Године 2011. закључен је први уговор о извозу производа у Русију. Већ до краја маја те године испоручене су прве количине производа. Уговор са руским партнерима склопљен је по добијању сертификата за извоз без царине у Русију, Казахстан и Белорусију. На руско тржиште млекара *Куч* извози намазе, меке беле сиреве (типа фета) и паприку у павлаци, која је и најпознатији бренд млекарне. Осим домаћег тржишта и тржишта Русије, *Млекара Куч* је до сада пласирала своје производе и на тржиште у Црној Гори, Македонији и БиХ[7].

2.1 Технолошки приступ

У компанији се може срести велики број техничке опреме из разлога што индустрија млекарства захтева велики број процеса како би млеко и млечни производи били конзумни од стране купаца. Такође је потребно водити рачуна о медијуму како би се задовољио највиши ниво квалитета који постаје све више и више параметар на основу ког се заснива пословање предузећа. Према томе, медијум какав је млеко пролази кроз низ процеса како би задовољило стандард на који *Киш компани* итекако обраћа пажњу у циљу задовољавања и домаћег и страног тржишта.

Сам пут млека (медијума) полази од пријема где се цевоводом, преко пумпи (најчешће центрифугалних), одводи до деареатора (који уклања вишак гасова из млека) и затим га лагерије у одговарајуће лагер судове. Одатло млеко даље иде на примарну обраду где долази до измењивача топлоте који представљају један од најбитнијих машинских склопова предузећа.

Измењивач топлоте или пастер (како још може да се зове) има улогу у зависности од капацитета да термички обради млеко али да га на крају и охлади како би се даље користило за процесе или једноставно лагеровало за даље потребе.

Са пастера млеко такође иде на сепаратор где се обире и стандардизује у зависности за који производ се даље примењује (сваки производ понаособ захтева различит састав млека). Павлака која се обира иде у одговарајуће лагер судове и даљу обраду, а млеко такође има свој пут у зависности која даља обрада да се примењује.

Када се изабере одговарајући процес и он се изврши на прописан начин, где се добија готов производ на крају тог процеса, остаје да се тај производ запакује и проследи ланцима трговине у циљу стижања до купца. Да би се то остварило млеко се преко цевовода одводи до машина за паковање (слика 2.) где се амбалажира, складишти и даље транспортује.



Слика 2. Пакерица јогурта и сира *Киш компани* [7]

Пакерице јесу специјални машински склопови чији задатак јесте паковање производа у одговарајућу амбалажу. Постоји више врста оваквих машина у оквиру предузећа, чија примена искључиво зависи од врсте производа чије се паковање врши. Ове машине имају осетљиву електроинсталацију, па је уз помоћ инфрацрвене термографске камере могуће извршити снимање инсталација и на најбржи могући начин установити разлог отказа.

Са аспекта одржавања техничких система *‘‘Киш company’’* води рачуна да у сваком тренутку располаже са резервним деловима који се налазе на лагеру за све техничке системе који су у сталној експлоатацији. Улагање у систем одржавања значајно доприноси ефективном отклањању отказа и смањењу времена утрошеног на застој.

Праћењем свих параметара одржавања и редовним анализом опреме издиже се производња на завидан ниво, што се одражава и на квалитет самог производа, који је на високим нивоу уз примену одговарајућих стандарда који се односе на млекарску индустрију.

Предузеће поседује велики број техничких система, од којих су највише у експлоатацији различите врсте пумпи, пастера, сепаратора, лагер судова и пакерица. Одржавање ових система треба да буде на завидном нивоу, поготово система који се налазе на линији дневних производа где откази нису дозвољени. Поред одржавања линије дневних производа врши се и одржавање линије трајних производа где се велика пажња обраћа на смањење броја отказа као и времена трајања истог.

Савремено тржиште захтева од компаније не само добар квалитет, већ одређени доказ о дугорочној доследности квалитета. Битна подршка узајамног поверења између произвођача и купца и доказ квалитета пословања су међународни стандарди квалитета. Због свега предходно наведеног млекара *‘‘Киш Company’’* је од 2003. године увела **ISO 9001: 2000**, као и **НАССР** стандард који представља предуслов за пословање на светском тржишту. Поред ових иновација, 2011. године компанија је освојила и **сертификат за извоз** на тржиште Царинског савеза (Русија, Белорусија и Казахстан) [7].

Компанија тренутно располаже са 175 запослених радника, од тога 70% ради у производњи док остатак чине менаџерски тим и административна служба. Предузеће је организовано као јединствена организација која у свом саставу поседује мање организационе целине, секторе и службе, организоване према врсти послова који се у њима обављају и то: сектор развоја и производње, сектор комерцијале, сектор квалитета и сектор економије и финансија, док постојеће службе: служба сировина, служба одржавања и служба кадровских, правних и општих послова [7].

3. Одржавање техничких система

Како је човек почео да зависи од поузданости опреме која учествује у производњи тако се развијао и појам одржавања. Односно, на свест људи није утицао само индустријски развој већ и велике катастрофе које се пратиле развијање индустрије.

Синоними за акциденте индустрије:

- *Piper Alpha* (Северно Море) 1976. године- експлозија нафтне бушотине при којој је погинуло 167 људи,
- *Amoco Cadiz* 1978. година- потонуће танкера услед отказа хидраулике, односно недостатка/губитка флуида унутар хидрауличних компоненти,
- *Bhopal* (Индија) 1984. године- фабрика пестицида, погинуло је између 2500 и 5000 људи,
- Чернобил тада је Совјетски Савез, сада Украјина, 1986. године- катастрофа која је избила у нуклеарној електрани, имала је за последицу ширење радиоактивног материјала по читавој Европи и др [1].

На основу наведених катастрофа подигла се свест код људи у значајној мери и отворила су се питања анализирања догађаја: шта се догодило, који су узроци, какви пропусти су направљени и које активности треба спровести да се овакве катастрофе више не понове.

Појам одржавања се јавља заједно са настајањем првих техничких система, али под одржавањем се тада сматрала занатска активност која је усмерава на веће и мање поправке у случају настанка отказа. Тек након Другог светског рата почиње да се мења приступ, што доводи до значајног унапређења функције одржавања, а у последњих педесет година бележи се карактеристичан развој и увођење нових метода и технологија у систем одржавања техничких система.

Одржавање система се може дефинисати на велики број начина, неки од њих су, да је одржавање *"спровођење свих мера нужних да би једна машина, постројење или цела фабрика функционисала на прописан начин, развијајући перформансе у прописаним границама, тј. са траженим учинцима и квалитетом, без отказа и уз прописано обезбеђење животне околине, а под претпоставком добре обезбеђености свих услова, односно уз потребну људску подршку"* [4].

“Одржавање представља комбинацију техничких, административних и управљачких активности које се спроводе у току радног века једног техничког система у циљу задржавања или обнављања стања система у коме систем може обављати своју пројектовану функцију” [1].

На основу наведених дефиниција може се извести закључак да је кључна ствар на коју се односи одржавање технички систем, односно радни (животни) век техничког система. Поред тога мора се задовољити и пројектована функција техничког система, тј. задржавање или обнављање пројектоване функције техничког система. Да би се све то остварило неопходно је спровести све активности које се односе на систем одржавања водећи рачуна о трошковима истих.

Треба напоменути и критички осврт, односно ако се залаже за одржавање свих техничких система, били они у отказу или не, онда се не може рећи да се одржавање спроводи само у току радног века једног техничког система. Односно, одржавање се врши и када је систем у отказу, па се може доћи до закључка да термин *“у току радног века техничког система”* може да се замени термином *“у току максималне искоришћености радног века производне опреме/радног века техничког система”*.

Појам одржавања долази уз сваки појам производње одређених добара. Током времена и употребе (експлоатације) долази до застаревања материјала и средстава за рад, смањује се технолошка ефикасност, а долази до евидентног технолошког застаревања. Средства се током времена троше и смањује им се радна способност. Технички системи су подложни отказима, ломовима унутар система и оштећењима, па се појављују прекиди у раду (откази). То узрокује појаву трошкова у случају замене и поправке делова, али и трошкове застоја у процесу производње.

3.1 Значај и циљеви одржавања техничких система

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

Организација техничког одржавања, да би испуњавала своје задатке, треба да буде увек усклађена са машинском производњом на коју се односи, а то значи да треба да буде подложна и честим променама. Односно, њена организација и начин деловања треба да се усклађују и мењају заисно од квалитативних и квантитативних промена, које настају у

оквиру производње (погона), затим због промене у карактеру производње или неких других елемената који могу бити од значајног утицаја.

Занемарујући стари приступ одржавања, ослањајући се на нови приступ, по којем одржавање треба да помогне при уклањању готово свих губитака у производњи може се закључити да је улога одржавања да постигне и одржи: максималну искоришћеност производне опреме, оптималне радне услове, максимални радни век опреме, минимални инвентар резервних делова и способност да се брзо реагује [1].

Сврха службе одржавања је да дефинише стратегију одржавања кроз:

- оспособљавање техничког система да правилно функционише, уз оптималне трошкове,
- сагледавање безбедности као и других захтева везаних за посматрани технички систем,
- схватање утицаја техничког система на животну средину и
- одржавање техничког система у исправном стању, као и одржавање квалитета добијеног производа узимајући у обзир трошкове потребне за то [1].

На основу претходно наведеног може се закључити да је организација службе одржавања веома сложен и динамичан проблем у укупној организацији процеса производње. Разноврсност потребних техничких система у процесу производње који се одржава, њихова конструктивна и технолошка сложеност чине рад инжењера-одржавања запошљеног у служби одржавања веома сложеним и одговорним. Може се рећи да ова одговорност постаје све већа јер се у последње време сам процес производње све више модернизује и аутоматизује тако да економичност производње све више зависи од одржавања техничких система. Међутим, још увек није у довољној мери схваћена важност ове службе за успешно функционисање савремених компанија. Недостаци, пропусти или неефикасност у организацији и раду ове службе често се правдају недостатком резервних делова за системе који се одржавају, недовољном снабдевношћу репродукционим материјалом и алатом, недостатком специјализованих кадрова и др.

Кључни појам за разумевање саме суштине и функције одржавања у савременим производним и пословним системима јесте отказ, односно стање ‘у отказу’.

“Отказ се дефинише као прекид способности компоненте или система да врши захтевану и пројектовану функцију” [1].

Под овим се подразумева да мора да постоји технички систем или компонента техничког система која се налази у стању отказа, односно да је дошла у то стање када је престала да врши своју пројектовану функцију.

3.2 Технички систем

У свакодневном окружењу постоји велики број техничких система без којих би живот био незамислив. Зато се за технички систем може рећи **“да је то организовани скуп елемената одређен заједничком функцијом циља”** [1]. Што значи да различити технички системи имају различиту функцију циља.

Својства техничког система су:

- Поузданост техничког система је једно од основних својстава, које непосредно утиче и на систем одржавања. Не постоји апсолутно поуздан технички систем, који не би никада, ни под каквим условима могао да откаже, и за такав ситем не би ни био потребан систем одржавања.
- Погодност одржавања утиче на укупну сигурност функционисања, обухвата особине техничког система у погледу могућности спровођења потребних поступака одржавања, односно прилагођеност система за обављање превентивних и корективних поступака одржавања.
- Концепција система одржавања или стратегија, политика или концепт одржавања, одређује у ком тренутку треба да се спроведу поступци превентивног или корективног одржавања.
- Технологија система дели се на микротехнологију (на самом радном месту) и макротехнологију (систем одржавања у целини).
- Организација система одржавања представља односе између радионица одржавања или извршилаца који спроводе поступке одржавања, у смислу поделе надлежности, координације, функционалне и информатичке интелигенције.
- Објекти, уређаји и алати су елементи без којих одржавање није могуће (најједноставнији поступци одржавања често се обављају без икаквих алата и уређаја, и обратно изузетно сложени поступци одржавања захтевају посебне и специјалне уређаје и алате).
- Персонал и документација (структура, старост, обученост радне снаге; упуства, каталози, приручници, норме).
- Снабдевање је један од најсложенијих чинилаца система одржавања (снабдевање резервним деловима, енергентима, водом, потрошним и другим материјалима; снабдевање информацијама, документацијом итд.) [4].

Ако се изведе закључак може се рећи да животни век једне машине, постројења, уређаја или било ког другог техничког система има сложену структуру, он обухвата низ посебних, међусобно повезаних и временски усклађених група активности. Односно, да процес одржавања преставља скуп поступака и активности који се током времена спроводе над техничким системима у циљу спречавања појаве отказа или ради њиховог отклањања.

Да би се активности одржавања успешно прописале и спровеле, неопходно је добро познавање елемената, структуре и принципа функционисања опреме која се одржава. Тачније потребно је знати структуру техничког система, стање техничког система, поузданост техничког система, ефективност производне опреме и друге неопходне параметре како би се успешно прописале адекватне мере одржавања.

Процена трошкова (губитака) одржавања, представља један од битних елемената и за оцену система одржавања, односно једну од битних подлога за објективно одлучивање о пројекту система и његовој изводљивости. На основу тога може се закључити да је неопходно идентификовати све врсте трошкова и места њиховог настанка и извршити упоредно процењивање појединих трошкова за различите варијанте техничког система који се посматра [1].

Анализом губитака може се закључити да постоје три групе губитака: *губици услед застоја опреме, губици услед брзине рада опреме и губици услед квалитета* (слика 3.).



Слика 3. Разлагање губитака по критеријумима [1]

3.3 Основне методе одржавања-подела

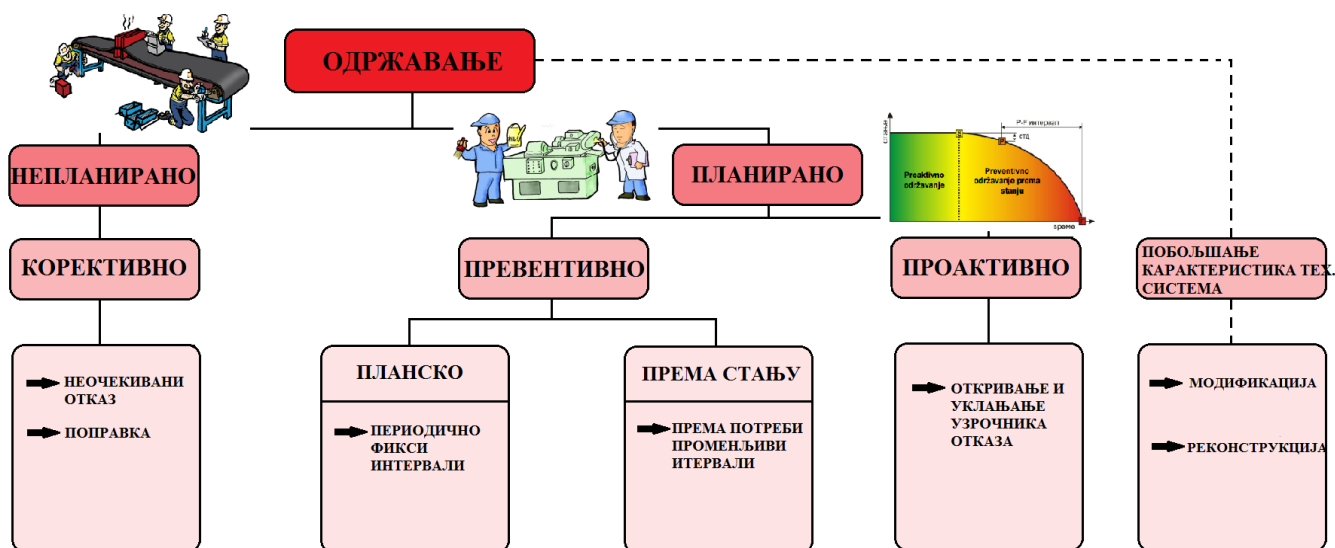
Одржавање се може дефинисати као процес у којем се све активности спроводе према унапред дефинисаним критеријумима циља.

Одржавање се може поделити на:

- Непланирано одржавање
 - корективно,
- Планирано
 - превентивно,
 - проактивно [2].

На основу предходног текста може се закључити да у непланирано одржавање спада само корективно, док у планирано одржавање спада превентивно (планско и према стању) и проактивно. То које ће одржавање примењивати одређена компанија зависи од саме компаније, као и њених техничких система. Најчешће се врши комбиновање одређених врста одржавања што зависи од типа техничких система којима располажу.

На слици 4. приказана је шема усвојене поделе одржавања.



Слика 4. Методе одржавања [2]

Модификација представља прилагођавање техничких система коришћењем резерних делова најновије генерације. Током реконструкције техничких система изводи се замена читавих подсклопова, агрегата и система са решењима која представљају актуелни ниво развоја технике. Активности у склопу побољшања карактеристика техничких система највећим делом спроводи особље ангажовано на пословима одржавања [1].

3.4 Корективно одржавање

Корективно одржавање је раније било једно од основних типова одржавања које се примењивало у првим компанијама за масовну производњу. Како се развијала технологија и повећали се захтеви за већом ефикасношћу производне опреме тако су се схватили и недостаци овог типа одржавања.

“Корективно одржавање је метода одржавања код које се допушта експлоатација техничког система до појаве отказа, а без предходног прегледа и праћења стања тог система” [1].

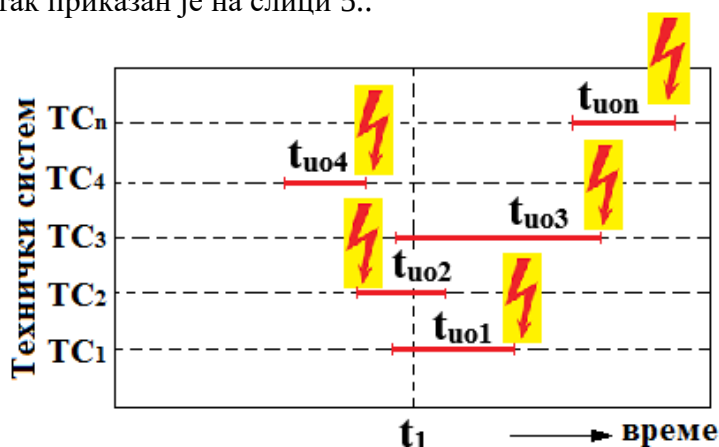
На основу предходне дефиниције може се закључити да се у случају примене корективног одржавања не врше прегледи и праћење стања техничког система, већ се технички систем из стања у отказу преводи у стање у раду.

Ако се за пример узме бежични миш за рачунар као технички систем, када се батерије унутар миша испразне, технички систем је у отказу. Да би се довео у стање у раду врши се замена батерија. Произвођач батерија декларише време трајања батерија кроз број часова активног коришћења. Поставља се питање: има ли смисла водити евиденцију колико су се батерије часова активно користиле? Наравно да не. Из оваквог примера се може закључити да се корективно одржавање примењује на једноставним техничким системима, опреми која је једноставна за замену, не захтева велика улагања и чији застој не може да угрози процес производње.

Када је реч о сложеним техничким системима корективно одржавање не спада у одржавања која су најпогоднија за овакве типове система. Поред могућег угрожавања процеса производње, животне средине, људи и др. овакав вид одржавања може да буде скуп, а понекад и неисплатив.

Будући да корективно одржавање спада у непланирано одржавање може се рећи да до стања у отказу технички систем долази непланирано/изненадно. На основу тога се може закључити да то представља велики проблем у самом процесу производње. Односно, може доћи до застоја у процесу производње. Уколико се ради о предимензионисаној производњи такође се може јавити преклапање времена у отказу два техничка система задужена за исту операцију, што условљава прекид производње и ангажовање већег броја радника [1].

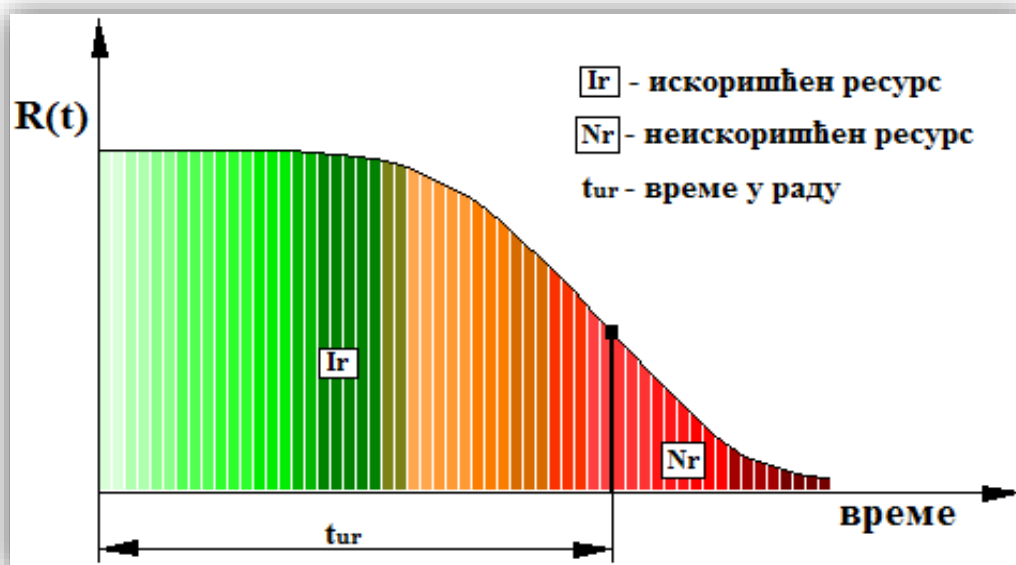
Преклапања времена у отказу t_{uo} више техничких система у односу на неки временски тренутак приказан је на слици 5.:



Слика 5. Могућа временска слика стања групе техничких система [1]

На слици су представљени поједини технички системи, означени словним ознакама TC_1 - TC_n , чији рад се посматра у односу на одређени временски период t_1 . Појединачним посматрањем система се може увидети да се систем у одређеном тренутку налази у стању отказа које траје одређени временски период (црвена линија дијаграма). Када се посматра целокупни дијаграм, обухватајући све техничке системе, уочава се могућа појава преклапања времена у отказу (t_{uo} - t_{un}). Преклапања времена у отказу условљава неминовну појаву застоја производње као и потребу за ангажовањем већег броја радника који би радили на отклањању отказа.

Корективно одржавање се најлакше може приказати (слика 6.) преко класичног облика функције поузданости техничког система $R(t)$.



Слика 6. Функција поузданости и искоришћење ресурса код корективног одржавања [1]

На дијаграму функције поузданости техничког система $R(t)$ запажа се крива поузданости која има тенденцију опадања у односу на време. Површина испод криве се може поделити на два дела и то први означен са I_r (искоришћени ресурси) и други означен са N_r (неискоришћени ресурси). На основу тога се може закључити да је укупан расположиви ресурс U_r једнак збиру искоришћеног и неискоришћеног ресурса., као и да је искоришћени ресурс већи од неискоришћеног, ово се може приказати и следећим једнакостима:

$$U_r = I_r + N_r$$

$$I_r \gg N_r \text{ односно } I_r \approx U_r \text{ [1].}$$

Током времена и употребе долази до старења техничких система, смањује се технолошка ефикасност, томе значајно доприноси и примена корективног одржавања. Ако се за пример узме сложен технички систем на који се примењује корективно одржавање, његова поузданост временом опада. Односно, мала је вероватноћа да након већег броја отказа тај систем може да има поузданост са почетка свог радног века.

Може се рећи да је корективно одржавање добра солуција ако се ради о једноставном техничком систему или делу система. Да ли ће се примењивати овај тип одржавања зависи пре свега од трошкова, као и безбедности радника у оквиру компаније.

3.5 Превентивно одржавање

Неисплатива примена корективног одржавања у области сложених техничких система условила је развијање и примену превентивног одржавања. Односно, изненадна појава отказа техничког система може да изазове застој у производњи баш када то најмање одговара пословању компаније.

“Превентивно одржавање представља скуп превентивних активности које се спроводе у циљу спречавања или одлагања појаве отказа. У наведене активности спадају прегледи стања техничког система, регистравање потенцијалних проблема и спровођење активности које спречавају појаву отказа” [1].

Превентивним регистравањем проблема, на основу прегледа стања техничког система, могуће је реаговати одређеним активностима и спречити појаву регистрованог отказа. На основу тога се може закључити да примена превентивног одржавања даје могућност раног регистравања појаве отказа, као и посредством одговарајућих активности спечава и одлаже појаву отказа (чишћење, подмазивање, праћење стања и поправке).

Чишћење спада у једно од основних активности превентивног одржавања. Неопходно је одржавати чистоћу и хигијену сваког техничког система како не би дошло од брзог старења и хабања техничких система.

Подмазивање се односи на делове техничких система који су у релативном кретању. Односно, мора се извршити подмазивање свих елемената унутар техничког система, који врше релативно кретање, како би се избегло трење елемената у контакту, хабање, расипање енергије и др.

Под прегледом стања техничког система подразумева се појам: инспекције и појам техничког прегледа (периодични прегледи и сл.) чији је задатак да се утврде недостаци и поремећаји и на тај начин спречи потенцијални отказ. Након прегледа техничког система неопходно је изградити извештај о прегледу [1].

Поправке служе да се отклоне проблеми који могу да доведу до отказа, односно да се проблеми и недостаци утврђени током прегледа стања техничког система отклоне како не би довели до отказа.

Према датој основној подели одржавања, превентивно одржавање се дели на додатне две методе:

- превентивно планско одржавање и
- превентивно одржавање према стању [1].

Превентивно планско одржавање

“Превентивно планско одржавање подразумева временски дефинисане интервале у којима се изводе одређене активности из домена одржавања у циљу одржања стања система у раду” [1].

На основу дефиниције може се рећи да се превентивно планско одржавање унапред планира, а планирање се врши на основу протеклог времена, радних сати, пређених километара, броја произведених јединица производа и др. Поменути временски интервали могу бити: седмични, месечни, квартални и сл.

Извођење активности одржавања по планираним интервалима само је по себи корак напред у односу на корективно одржавање. Два основна елемента за успешно спровођење превентивног планског одржавања су технолошки поступак и дисциплина.

Превентивно планско одржавање подразумева и периодичне прегледе (технички преглед, инспекцију) техничких система. Преглед стања техничких система се унапред планира. Интензитети прегледа ће зависити од степена одговорности и значаја техничких системана којима се прегледи изводе [1].

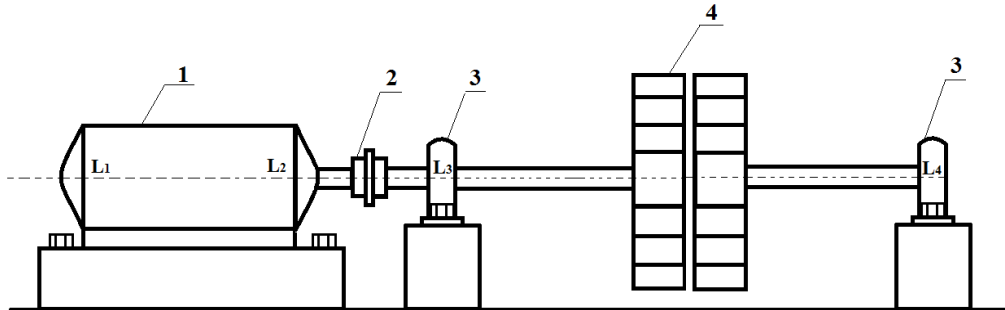
За успешну примену превентивног планског одржавања потребно је обезбедити:

- детаљан списак опреме која се одржава,
- главни годишњи план превентивног одржавања из кога произилазе месечни, недељни и дневни задаци,
- одговорно особље за спровођење предвиђених задатака превентивног планског одржавања,
- контролу обављених задатака,
- извештаје који указују на то када је превентивна активност спроведена и када је треба поново спровести и
- извођење корекција код појаве било које неусаглашености током извођења активности одржавања [1].

Пример:

Технички систем који се пргледа је вентилатор димног гаса у термоенергетском постројењу. Предвиђено је да се преглед изводи једном месечно.

На слици 7. ће бити приказан технички систем чији се преглед изводи:



Слика 7. Вентилатор димног гаса у термоенергетском постројењу са позицијама

1) електро мотор, 2) спојница, 3) носач лежаја, 4) радно коло и L_1 - L_4
улежиштења

Након извршеног прегледа техничког система одређене су мере које се требају предузети у циљу спречавања настанка отказа. Ове мере се односе на подмазивање електромотора, подешавање спојнице, отклањање узрока вибрација на електромотору, узрочника загревања улежиштења L_1 и L_2 и отпуштања фундамента.

Одређене мере се морају уписати у извештај превентивног прегледа, као и заказати наредни преглед у односу на затечено стање техничког система. У табели 1. је дат изглед дела извештаја превентивног прегледа техничког система предходног примера.

Табела 1. *Извештај о превентивном прегледу* [4].

Извештај о превентивном прегледу									
Технички систем	Ознака			Датум			Време		
Вентилатор димног гаса	VDG K3			1.10.2015			8:30		
Идентификација	Стање и захтев								
Назив	Позиција	Нормално	Подмазивати	Подесити	Заменити	Очистити	Вибрације	Загревање	Отпуштено
Електромотор	1		✓				✓		
L ₁								✓	
L ₂								✓	
Фундамент									✓
Спојница	2			✓					саосност

Попуњавањем извештаја поред подсећања шта је одељење одржавања радило, служи и за упознавање са одржавањем нових члановима тима. Потребно је да извештају буду прегледни и да ако је у питању сложен технички систем буде представљен сликом. Такође је пожељно да у извештају стоје назначене позиције дела техничког система на ком је извршен преглед [4].

На основу прегледа утврђују се даље активности које се предузимају у оквиру превентивног планског одржавања. Те активности се односе на подмазивање, чишћење, повећање поузданости и др.

[illegible]

Превентивно одржавање према стању

Превентивно одржавање спада у групу планираних метода одржавања и да се дели на две групе: превентивно планско и превентивно према стању. Друга група поменутих метода се може дефинисати:

“Превентивно одржавање према стању заснива се на периодичним или непрекидном праћењу (мониторингу) стања техничких система и регистравању и препознавању проблема који би могли да доведу до појаве отказа” [1].

На основу дефиниције се може закључити да се за дати технички систем врши одабир најутицајнијих параметара, преко којих се врши мониторинг и дијагностика стања.

Параметри који се бирају су физичке величине које се могу измерити помоћу давача. Сигнали са давача се појачавају, затим дискретизују у А/Д конвертору, групишу у базе података, обрађују и анализирају помоћу одговарајућих софтвера. Систем за прикупљање информација са поменутих давача, ради даље обраде, анализе и складиштења ових информација, често се назива и системом за аквизицију података (слика 9.) [2].



Слика 9. Савремени систем за аквизицију података [2]

Код превентивног одржавања према стању активности се спроводе онда када технички систем то захтева, што није случај код превентивног планског одржавања где су активности везане за замену или поправку елемената углавном засноване на статичком праћењу средњег времена у раду.

Већина отказа који се јављају код техничких система настају у току експлоатације техничког система у дужем временском периоду. Ако би постајало сазнање да се неки од елемената система налази у раној фази отказа, онда би служба одржавања могла да предузме одговарајуће активности да до отказа не дође [1].

Слика приказује уопштени дијаграм развоја процеса отказа који се назива *P-F* крива.



Слика 10. *P-F* крива [1]

На дијаграму се може видети да поузданост опада са временом, односно са од тачке *S* дијаграма, разматраног техничког система, почиње појава отказа. То представља најранију фазу појаве отказа коју обично није могуће прецизно детектовати. Тачка *P* је тренутак у ком служба одржавања постаје свесна да долази до промена, док тачка *F* представља функционални отказ.

Интервал *P-F* на дијаграму представља временски период који служба одржавања има на располагању да отклони потенцијални отказ применом неке од корективних мера.

Може се закључити да код оптимално спроведеног превентивног одржавања постигнут профит, односно уштеде вишеструко превазилазе средства уложена у увођење превентивног одржавања.

За већину техничких система однос између предности и недостатака варира од врсте превентивног одржавања. На пример, код скувих и сложених техничких система, превентивно одржавање према стању је боље него превентивно планско одржавање. Мањи су трошкови, а већа је постигнута ефикасност одржавања.

3.6 Проактивно одржавање

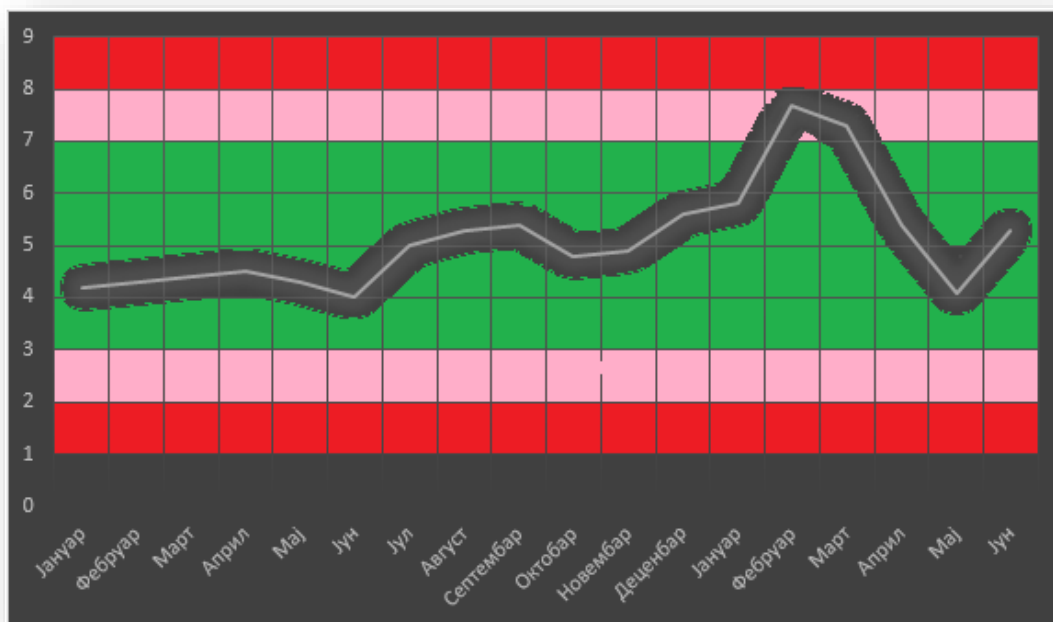
Применом ове методе одржавања могуће је постићи значајно смањење трошкова идентификацијом и елиминацијом узрочника отказа. Ово је релативно нови концепт одржавања који се појавио у индустрији.

“Проактивно одржавање, односно проактивни приступ проблему одржавања техничких система базиран је на сталном праћењу и контроли основних узрочника отказа и активностима на њиховом елиминисању или значајном смањењу њиховог негативног дејства” [1].

Проактивно одржавање не прихвата одтказ као реално могуће стање техничког система, већ се применом адекватних мера тежи да до отказа уопште не дође. Односно, усмерава се на отклањање главних узрочника отказа, за разлику од превентивног одржавања које се више бави откривањем и праћењем раних симптома отказа.

На основу контроле и праћења основних узрока отказа врши се њихова минимализација и елиминација. Типично проактивно одржавање обухвата три корака:

- дефинисање квантификованих граница или стандарда за кључни (основни) узрок отказа,
- примена програма одржавања којим се узрок отказа држи у прописаним границама и
- провера да је кључни узрок отказа у дефинисаним границама (слика 11.) [1].

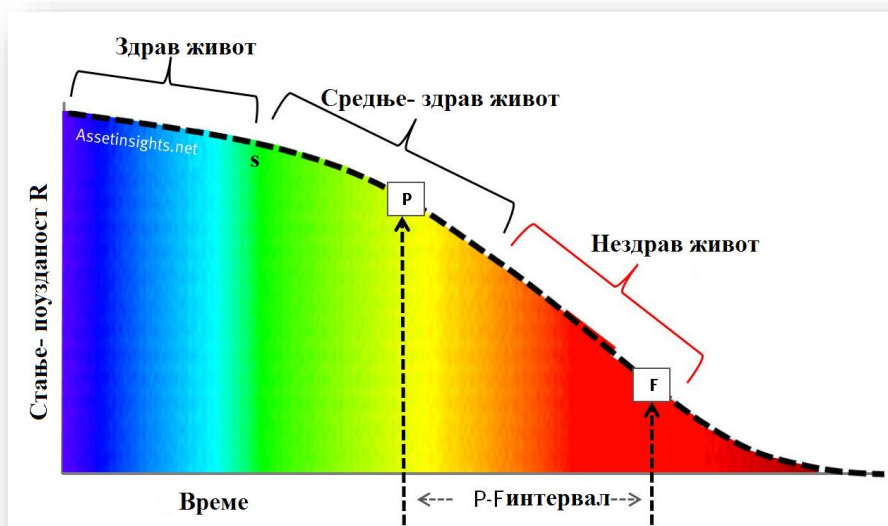


Слика 11. Промена параметра за оцену стања у времену [1]

На дијаграму је приказан мониторинг вредности проактивног параметра у времену, који се најчешће дефинише са две граничне вредности. При чему оне могу бити и доње и горње, у зависности од врсте параметра који се посматра.

Може се закључити да је мониторинг стања техничког система једна од основних техника у оквиру проактивног одржавања. Односно, на основу мониторинга врши се активно прикупљање информација и података који одређују стање техничког система у времену. Утврђене промене стања, изнад дефинисаних граница, представљају индикаторе поремећаја у систему и симптоме могућег отказа.

Ако би се проактивно одржавање као и превентивно везало за $P-F$ криву, могло би се закључити да се превентивно одржавање налази десно од тачке S (окренуто ка спречавању функционалног отказа и одређивању тачке потенцијалног отказа), док проактивно лево од тачке S (осим прегледа стања не подразумева друге активности) [1].



Слика 12. $P-F$ крива и улога проактивног одржавања

На основу дијаграма може се видети да је крајњи циљ проактивног одржавања да се отказ никада не појави, односно да се временски период до појаве отказа што више продужи. Успешно спровођење активности из домена проактивног одржавања би требало да доведу до померања тачке S у десну страну.

Основни елементи проактивног приступа су: мониторинг, дијагностика и прогностика [1].

Проактивно одржавање је постигло најбоље резултате код хидрауличних система, првенствено због несумљиве идентификације главног узрочника отказа-контаминације радног флуида [1].

Применом проактивног одржавања тежња се своди на вођење *“здрог живота”* свих техничких система, на тај начин се врши стабилизација поузданости и максимално продужава век трајања техничког система. Може се сматрати да ће овај приступ у будућности имати све већу примену због интензивног развоја сензора за идентификацију узрочника отказа у оквиру техничких система који су све сложенији и софистициранији.

Тип одржавања који ће се спровести над неким техничким системом зависи пре свега од сложености техничког система (за једноставне тех. системе исплативо је и корективно одржавање), затим од тренутног стања техничког система (да ли одржавање почиње да се примењује на нов систем или предходно експлоатисан), од приступачности елемената техничког система, поузданости и других параметара.

На основу предходног текста дат је дијаграм (слика 13.) зависности перформанси и побољшања поузданости.



Слика 13. Дијаграм перформанси

Може се закључити да са побољшањем перформанси расте и поузданост система, као и тежина активности које се спроводе у циљу спречавања отказа.

3.7 Професионално одржавање

Увођење професионалног одржавања (планираног одржавања) спроводи се у шест корака или фаза (слика 14). Наведени кораци се не извршавају истовремено, већ се креће са првим кораком и полако се, на основу предходно дефинисаног плана, предузимају активности из корака који следе.

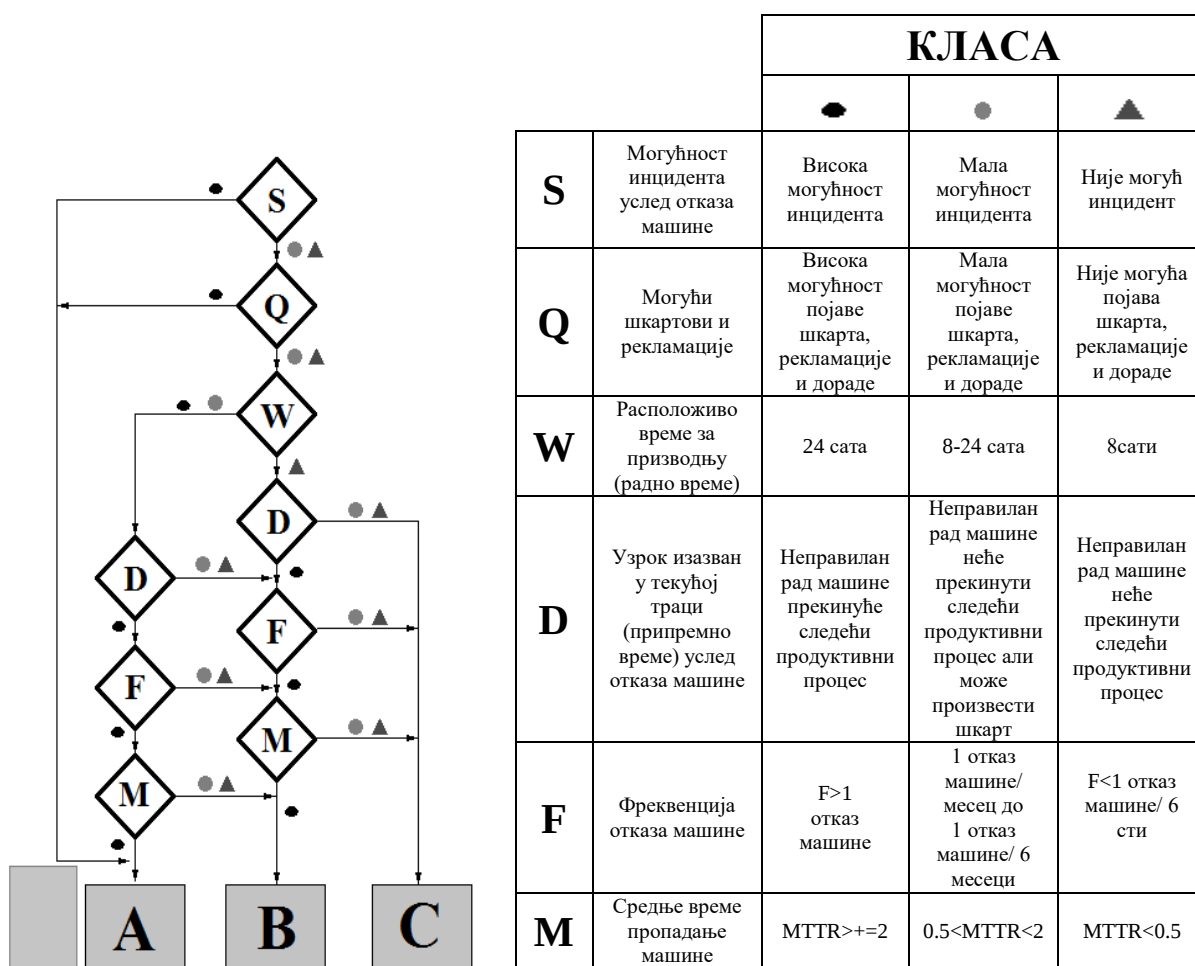


Слика 14. Кораци при извођењу професионалног одржавања [1]

Први корак јесте разумевање тренутног стања и постављање реалних и остваривих циљева. Важна активност током овог периода јесте разврставање постојеће производне опреме (машина) према приоритетима, односно ABC класификацији (слика 15.) ABC калсификација базирана је на Перето анализи (*Vilfredo Pereto*) [1].

Критеријуми који се узимају у обзир приликом калсификације машина јесу:

- **S (Safety)** - Безбедност (колика је потенцијална опасност којој би били изложени радници у случају отказа машине),
- **Q (Quality)** - Квалитет (на основу жалби купца и потреба за дорадом),
- **W (Work)** - Рад (време у којем је опрема расположива за производњу),
- **D (Delivery)** - Достава (колики је утицај на време испоруке производа),
- **F (Frequency)** - Учесталост отказа машине и
- **M (Maintanability)** - Могућност поправке (средње време поправке машине, погодност за одржавање (слика 15.)) [1].



Слика 15. ABC класификација производне опреме [1]

Након извршене ABC класификације за сваку групу машина се прописује одговарајући начин одржавања према степену приоритета.

Табела 2. Одговарајући начин одржавања за сваку групу [1]

За "А" машина применити:	За "В" машине:	За "С" машине:
проактивно одржавање, превентивно одржавање, анализа отказа уз подршку аутономног одржавања, формирање тимова за отклањање отказа и RCM анализу.	проактивно одржавање, превентивно одржавање, формирање тимова за отклањање отказа и анализу отказа од стране службе одржавања.	корективно одржавање, превентивно и проактивно одржавање на унифицираној опреми и анализу отказа од стране службе одржавања како не би дошло до понављања истог отказа.

Може се закључити да је важно чувати историје отказа свих машина, односно мора се водити рачуна о поновљеним отказима. Поновљени откази се морају сагледати са више аспеката како би се формирао тим који ће ефикасно решити овај проблем.

Откази који се повремено појављују су изазвани непажњом оператера, и непоштовањем прописаног плана одржавања или упуства за руковање производном опремом. Овакви проблеми се отклањају поновном обуком радника и унапређењем превентивног одржавања [1].

Други корак при увођењу професионалног одржавања има за циљ враћање производне опреме у почетно стање, тј. на ниво какав је имала на почетку експлоатационог века. Ово је важан корак у коме се кроз чишћење, подмазивање, уклањање извора прљавштина, скидање делова и сл., производна опрема боље упознаје. Концепт *“Ја радим, ти одржаваш”* је замењен концептом *“Моја машина! Моја брига”* [1].

Трећи корак је успостављање информационог система одржавања. Овај систем мора да садржи списак људи, техничку документацију, план превентивног одржавања, тренинг информације, резултате техничке дијагностике, списак резерних делова, трошкове, праћење перформанси опреме, опис опреме, анализе отказа и сл.

Четврти корак је изградња система превентивног планског одржавања. Представља основ за дефинисање, контролу и управљање активностима превентивног одржавања. Резултати одржавања морају бити видљиви на таблама предвиђеним за то. Након израде плана треба тежити одржавању према поузданости [1].

Пети корак је увођење превентивног одржавања према стању. Стање производне опреме се прати преко параметара, као што су температура, вибрације, притисак и др. који су повезани са потенцијалним отказима на опреми.

Активности одржавања имају утицај на укупан трошак и квалитет производа, време испоруке, као и безбедност радника. Циљ је да се дефинише минимум трошкова одржавања који гарантује да ће машина одржати жељене перформансе. Ово је у ствари и сврха последњег, шестог корака увођење професионалног одржавања.

Трошкови одржавања се могу поделити на:

- директне трошкове,
- трошкове услед губитка производње због отказа и
- трошкове који се односе на резервне делове (наручивање, транспорт, складиштење и сл.) [1].

4. Техничка дијагностика

Када се у обзир узму тренутни услови конкурентности на светском тржишту обезбеђују се повољни односи цене/квалитета са испоруком производа на време. Од стања производне опреме у великој мери зависе квалитет и цена производа, док стање опреме зависи од нивоа одржавања. Ако се анализирају светски трендови у области одржавања, може се извести закључак да се глобална стратегија мења и прилагођава оној која је везана за рад опреме без отказа. То значи да у сваком тренутку треба пратити карактеристичне параметре стања опреме и постављати дијагнозу на основу које се одређују даље активности одржавања. На основу овога може се рећи да техничка дијагностика заузима велику улогу у одржавању и да се константно развија и уводи нове методе дијагностике.

“Под појмом техничка дијагностика подразумева се научно-техничка дисциплина којој припадају теорија, методе и средства за распознавање стања техничких система у условима ограничених информација” [2].

“Техничка дијагностика је наука која се бави препознавањем стања техничког система са циљем откривања неисправности и узрока неисправности производне опреме” [4].

На основу предходне две дефиниције може се извести закључак, да техничка дијагностика пре може да буде наука, а не дисциплина, на основу свега што обухвата. Односно, комбинацијом ове две дефиниције може се извести незванична дефиниција техничке дијагностике:

“Под појмом техничка дијагностика подразумева се наука којој припадају теорија, методе и средства за распознавање стања техничких система са циљем правовременог предвиђања појаве неисправности и њеног узрока у условима ограничених информација”.

Техничка дијагностика подразумева мерење карактеристичних (дијагностичких) параметара који се на основу одговарајућих критеријума налазе у дозвољеним границама или не. На основу измерених вредности праћених параметара (више дијагностичких параметара) врши се оцена стања техничког система. Основни циљ мерења је да се открије и спречи потенцијални отказ.

Котрола тренутног стања система или његових елемената, дефинисање законитости појаве отказа у времену на основу базе података и предвиђање понашања система у будућности директно су повезани са развојем средстава код којих се дијагностика примењује, као и развојем уређаја за дијагностиковање [2].

4.1 Дијагностички параметри

У току функционисања техничких система јављају се одговарајуће физичке величине које се могу искористити као параметри за оцену стања поменутих техничких система. Ови параметри се називају дијагностичким параметрима.

“Дијагностички параметри су директне/индиректне величине повезане са структурним параметрима система и носиоци су информација о његовом техничком стању” [2].

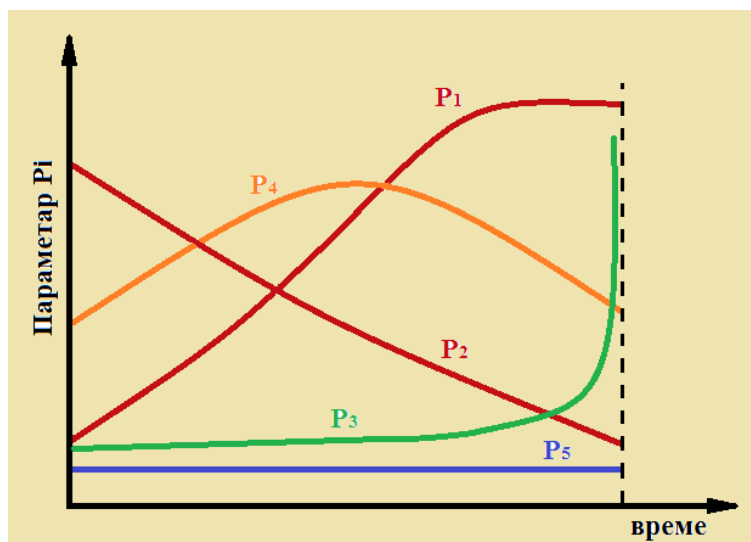
Да би се неки параметар применио као дијагностички, мора да задовољи основне захтеве који се односе на:

- једнозначност промене,
- довољну осетљивост промене и
- приступачност и лакоћу мерења [2].

За правилан одабир дијагностичког параметра неопходно је добро познавање функционисања техничког система. Односно неопходно је да одабрани дијагностички параметар има довољну осетљивост промене, као и могућност доношења једнозначне дијагнозе како би смо гарантовали тачност одабира параметра.

Након одабира одговарајућег дијагностичког параметра вши се избор и разрада дијагностичких метода, избор давача и праћење мерне опреме.

Да би се извршио правилан одабир дијагностичких параметара неопходно је пре свега испоштовати једнозначност промене параметра и довољну осетљивост промене. Како би се то ближе објанило користиће се следећи дијаграм (слика 16.) [2]:



Слика 16. Анализа дијагностичких параметара [2]

На дијаграму се види пет линија које представљају мерене параметре (P_1 - P_5), мери се промена параметара у односу на неко одрђено време.

Параметар P_1 у току времена једнозначно расте и поседује довољну осетљивост промене, односно са експлоатацијом техничког система мења се и вредност изабраног параметра.

Параметар P_2 једнозначно опада и такође поседује довољну осетљивост промене.

Параметар P_3 једнозначно расте и поседује довољну осетљивост промене, али овај параметар се мења у близини функционалног отказа.

Параметар P_4 има довољну осетљивост промене, али не и једнозначност промене своје вредности.

На крају, параметар P_5 нема довољну осетљивост промене своје вредности.

На основу изведене анализе, може се закључити да се, од свих наведених параметара за разматрани технички систем, једино параметри P_1 и P_2 могу искористити као дијагностички. Односно, код параметра P_3 промене се дешавају у близини функционалног отказа где служба одржавања не може адекватно да реагује, код параметра P_4 не долази до једнозначне промене (параметар расте-па опада), код параметра P_5 се јавља константност.

Уопштеније посматрано, дијагностички параметри се могу поделити на:

- директне дијагностичке параметре - параметри који су у вези са обављањем функције циља техничког система и
- индиректне дијагностичке параметре - параметре који су у вези са квалитетом обављања функције циља [2].

За идентификацију узрока који доводи до појаве отказа неке компоненте техничког система може се применити више различитих метода техничке дијагностике. У том случају, већа је вероватноћа да је постављена дијагноза тачна. Код идентификације стања високоодговорних техничких система, посебно, за најодговорније функционалне целине потребно је одабрати више дијагностичких параметара. Уколико је између изабраних дијагностичких параметара могуће успостављање корелативних веза, долази се до поузданије дијагнозе, а на основу ње и до оптималне активности из области одржавања [2].

4.2 Методе техничке дијагностике

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

- мерењу и анализи вибрација,
- праћењу термичког стања и
- анализи продукта хабања у уљу да подмазивање [2].

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 (ултразвучне методе, електромагнетна и магнетна тестирања, визуелни преглед и др.) [2].

Најзаступљеније методе техничке дијагностике ће бити објашњене у даљем тексту.

4.3 Вибродијагностика

Услед релативног кретања елемената унутар техничког система долази до генерисања механичких сила. Поред механичких сила које се јављају унутар система, долази и до хабања елемената система, радног оптерећења, геометријског оступања појединих елемената, промене стања поузданости и др. до којих долази услед експлатације система. Поменуте промене доводе до промене стања унутар техничког система.

Побудне, механичке силе, доводе до осциловања техничког система, тако да праћењем осцилаторног понашања система (мерењем и анализом вибрација) може се закључити у каквом се стању посмартани технички систем налази.

“Вибродијагностика је метода техничке дијагностике заснована на мерењу и анализи вибрација у циљу одређивања стања посматраног техничког система” [2].

На основу дефиниције се може закључити да техничка дијагностика јесте наука (образложено у предходном тексту) ако из ње произилазе методе. Као и да, са освртом на предходну дефиницију, може се рећи да су вибрације последице лошег погонског стања техничког система.

Вибрације најчешће настају као последица:

- неуравнотежености обртних маса,
- прелазних резима у току експлоатације (залетање/успоравање, удари и др.),
- хабање елемената у контакту (котрљајни и клизни лежајеви, зупчаници, каишници и др.) и
- основне функције циља техничког система (вибрациона сита, вибрациони транспортери и сл.) [2].

Код највећег боја техничких система вибрације су непожељне јер:

- повећавају ниво оптерећења неких елемената (лежајеви, вратила и сл.),
- интензивирају процес хабања свих покретних елемената,
- изазивају лом механичких компонената,
- доводе до слабљења раздвојивих веза (завртњи, клинови, итд.),
- доводе до отказа електронских компонената и система,
- доводи до оштећења изолације каблова који се додирују,
- проузрокују буку и
- изазивају оштећења и обољења код човека [2].

Током експлоатације техничког система долази до губљења основних функција циља система, хабања елемената система, неуравнотежености обртних маса и др. Овакве појаве изазивају појаву принудних механичких сила, вибрација, које се јављају на ослонцима и уопште на целом техничком систему (слика 17.).



Слика 17. Вибрације делова техничких система

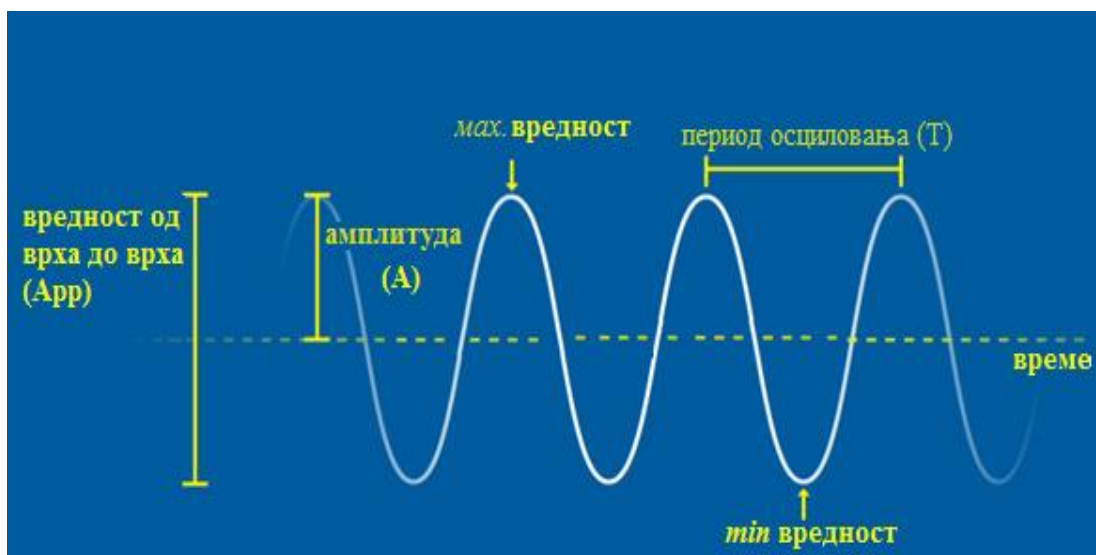
На основу слике 17. се може закључити да се вибрације јављају на свим покретним елементима техничког система као последица лошег погонског стања техничког система.

Применом вибротијагностике могуће је анализирати и извршити мерење опсега кретања вибрација, односно њеном применом донети закључак у каквом се стању технички систем налази (поставити дијагнозу). Помоћу вибротијагностике је могуће открити неке од отказа у раној фази.

Основни параметри вибрација

Вибрације најчешће представљају периодично кретање. Најједноставнији облик периодичног кретања је хармонијско кретање код којег се релација између померања и времена може преставити изразом:

$$x = A \sin(\omega \cdot t + \varphi), [2]$$



Слика 18. Карактеристичне величине вибрација [2]

Слика 18. представља периодичне вибрације, које се понављају, односно најједноставнији облик хармонијског кретања. Вибрације се прате у односу на време. Дате су амплитуде, минималне и максималне вредности амплитуде, период осциловања и укупна вредност амплитуде.

Величине које ближе описују вибрације су:

A - амплитуда, максимално растојање од равнотежног положаја,

$A_{pp} = 2 \cdot A$ - вредност од врха до врха,

T, s - период осциловања,

$f = \frac{1}{T}, H_z$ - учестаност осциловања,

$\omega = 2\pi f, \frac{rad}{s}$ - кружна учестаност осциловања,

$X = \frac{1}{T} \int_0^T |x(t)| \cdot dt$ - средња вредност,

$X_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [x(t)]^2 \cdot dt}$ - средња квадратна вредност (ефективна вредност) [2].

Односи између неких претходно наведених карактеристичних величина могу се дати преко израза:

$$A = \frac{\pi}{2} \bar{X} = \sqrt{2} \cdot X_{RMC} = \frac{1}{2} A_{pp} \quad [1]$$

Параметри вибрација који се најчешће мере у пракси су:

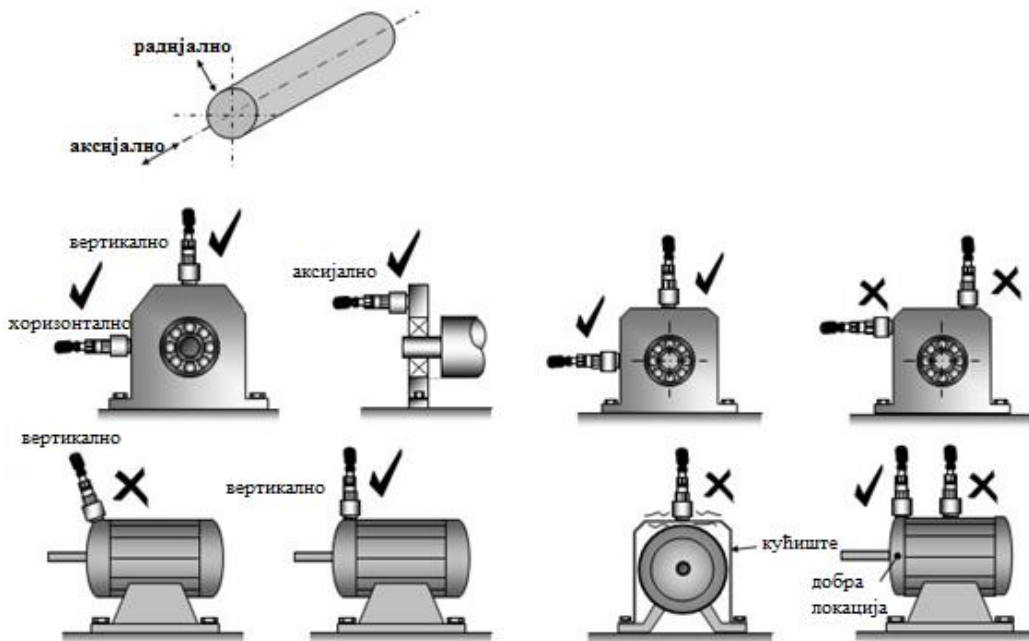
- померање, x , основна јединица којом се изражава померање је μm ;
- брзина, $\dot{x} = v = \frac{dx}{dt}$; основна јединица којом се изражава брзина је $\frac{mm}{s}$;
- убрзање, $\ddot{x} = a = \frac{d^2x}{dt^2}$; основна јединица којом се изражава убрзање је $\frac{m}{s^2}$, док се ређе користи јединица убрзања земљине теже g [2].

Савремени мерни инструменти за мерење вибрација пружају могућност мерења свих предходно наведених параметара у циљу оцено стања техничког система.

Мерно место за мерење вибрација, на које се поставља давач вибрација се најчешће бира на месту где се вибрације са покретних елемената преносе на кућиште посматраног система. Односно, давачи се постављају тако да буду најближи извору који генерише вибрације [2].

Површина на коју се поставља давач мора бити претходно очишћена, као и глатка (без храпавости).

Правилно и неправилно одабрана места за постављање давача приказана су на следећој слици (слика 19):



Слика 19. Одабир мерних места за мерење вибрација [8]

На основу слике се може закључити да одабир места може да буде погрешан из више разлога: удаљено од места вибрација, место мерења нема сопствену компоненту ослањања, место мерења поседује храпаву површину, давач постављен под углом, мерно место на ивицама техничког система. и др. Грешке при одабиру мерног места могу да доведу до грешака резултата мерења (тачности мерења).

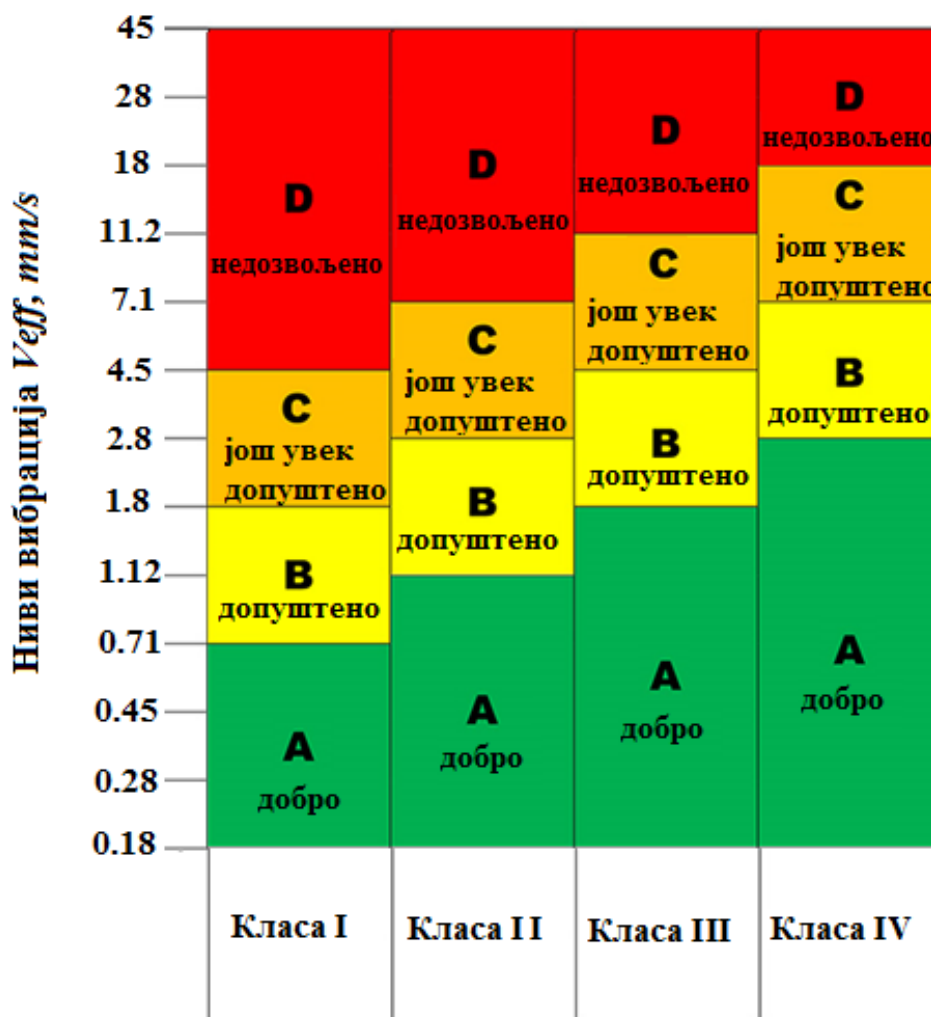
Да би се одредио дозвољен ниво вибрација пре предузимања одређених активности из домена одржавања потребно је знати колики ниво вибрација је дозвољен.

Оцена стања техничког система се врши на основу измереног нивоа вибрација. Односно, када се изврши мерење вибрација, на основу резултата се, према одабраном критеријуму, стање система се може оценити као добро или лоше.

Неки од поменутих критеријума су:

- стандарди у области мерења анализе и вибрација,
- препоруке произвођача техничких система,
- дијаграм препоручени од стране произвођача инструмента за вибродијагностику и
- искуства стечена приликом испитивања сличних техничких система [2].

Оцена стања техничког система преко измереног нивоа вибрација се најчешће врши преко стандарда који прописују дозвољени ниво вибрација. Ови стандарди су донети уопштавањем, на основу великог броја предходно спроведених испитивања, интегришу акумулирано практично искуство и меродавни су за оцену стања појединих техничких система са аспекта вибрација. Пример, најшире примењиваног стандарда за оцену стања техничких система са аспекта вибрација (слика 20.) ISO 2372 [2].



Слика 20. Ниво вибрација према стандарду ISO 2372 [2]

Табела 3. Класе према стандарду ISO 2372 [2]

Класа I	Мале машине ($<15 \text{ kW}$),
Класа II	Машине средње величине ($15 \text{ kW} - 75 \text{ kW}$), круто ослањање и машине до 300 kW на специјалном фундаменту,
Класа III	Велике машине ($>75 \text{ kW}$) на масивном и крутом фундаменту (круто ослањање) у правцу мерења вибрација и
Класа IV	Турбомашине и велике машине на релативно меком фундаменту (флексибилно ослањање) у правцу мерења вибрација.

***круто ослањање:** сопствена учесталост осциловања система је већа од главне учесталости побуде.

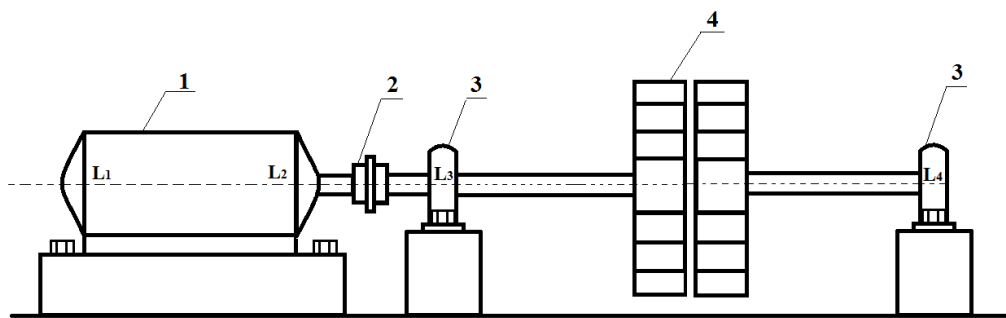
флексибилно ослањање: сопствена учесталост осциловања машине и система ослањања је мања од главне учесталости побуде.

На основу стандарда ISO 2372 може се закључити да се технички системи сврставају у четири класе. Одабир класе се врши на основу величина машине као и фундамента на ком се исте налазе. На апциси се налазе класе (I, II, III и IV), док се на ординати налазе вредности нивоа вибрација $V_{eff}, \frac{mm}{s}$ [2].

Пример:

Технички систем који ће се користити за пример је већ поменути (превентивно планско одржавање) вентилатор димног гаса у термоенергетском постројењу. Извршиће се оцена стања постројења према стандарду ISO 2372.

На слици 21. ће бити приказан технички систем чији се преглед изводи, мерна места престављају улежиштења L_1, L_2, L_3 и L_4 :



Слика 21. Вентилатор димног гаса у термоенергетском постројењу са позицијама

2) електро мотор, 2) спојница, 3) носач лежача, 4) радно коло и L_1 - L_4 улежиштења - мерна места

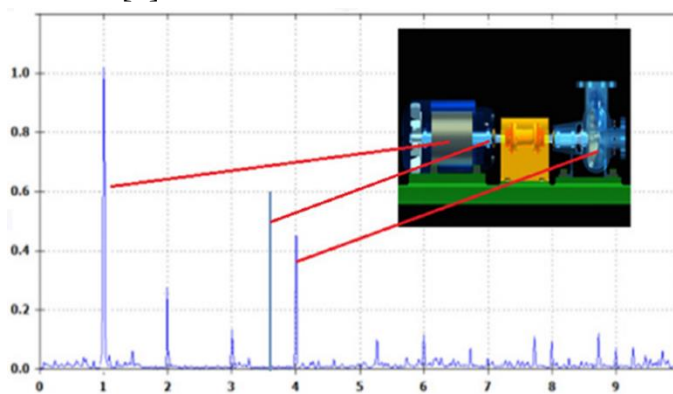
На основу снаге погонског електромотора $P = 65 \text{ kW}$ вентилатор димног гаса је према стандарду *ISO 2372* сврстан у класу *II*. Извршена је оцена стања сваког појединачног мерног места. Општа оцена стања одговара најлошије оцењеном мерном месту. Табела 4. даје измерене ефективне вредности брзине вибрација на свим мерним местима и мерним правцима.

Табела 4. Измерени нивои вибрација [2]

МЕРНО МЕСТО	ВРСТА ЛЕЖАЈА	МЕРНИ ПРАВАЦ	БРЗИНА V_{eff} (mm/s)	ОЦЕНА СТАЊА ПРЕМА ISO2372
M1	котрљајни	ВЕР	0,751	ДОБРО
		ХОР	0,491	
		АКС	0,691	
M2	котрљајни	ВЕР	1,245	ДОПУШТЕНО
		ХОР	1,576	
		АКС	0,952	
M3	котрљајни	ВЕР	3,267	ЈОШ УВЕК ДОПУШТЕНО
		ХОР	2,951	
		АКС	1,874	
M4	котрљајни	ВЕР	1,748	ДОПУШТЕНО
		ХОР	2,343	
		АКС	1,281	
ЈОШ УВЕК ДОПУШТЕНО				

Да би се извршила идентификација елемената или дела техничког система који је директан узрочник високог нивоа вибрација, потребно је извршити анализу сигнала са давача вибрација. Најчешће се врши анализа сигнала у фреквенцијском домену.

Код сложенијих техничких система (са више степени слободе) да би се дошло до елемента који узрокује висок ниво вибрација неопходно је извршити анализу вибрација у фреквенцијском домену (слика 22.). Након анализе сигнала у фреквенцијском домену поставља се дијагноза стања [2].



Слика 22. Фреквенцијска анализа вибрација сложенијег техничког система [8]

4.4 Дијагностика преко продуката хабања у уљу за подмазивање

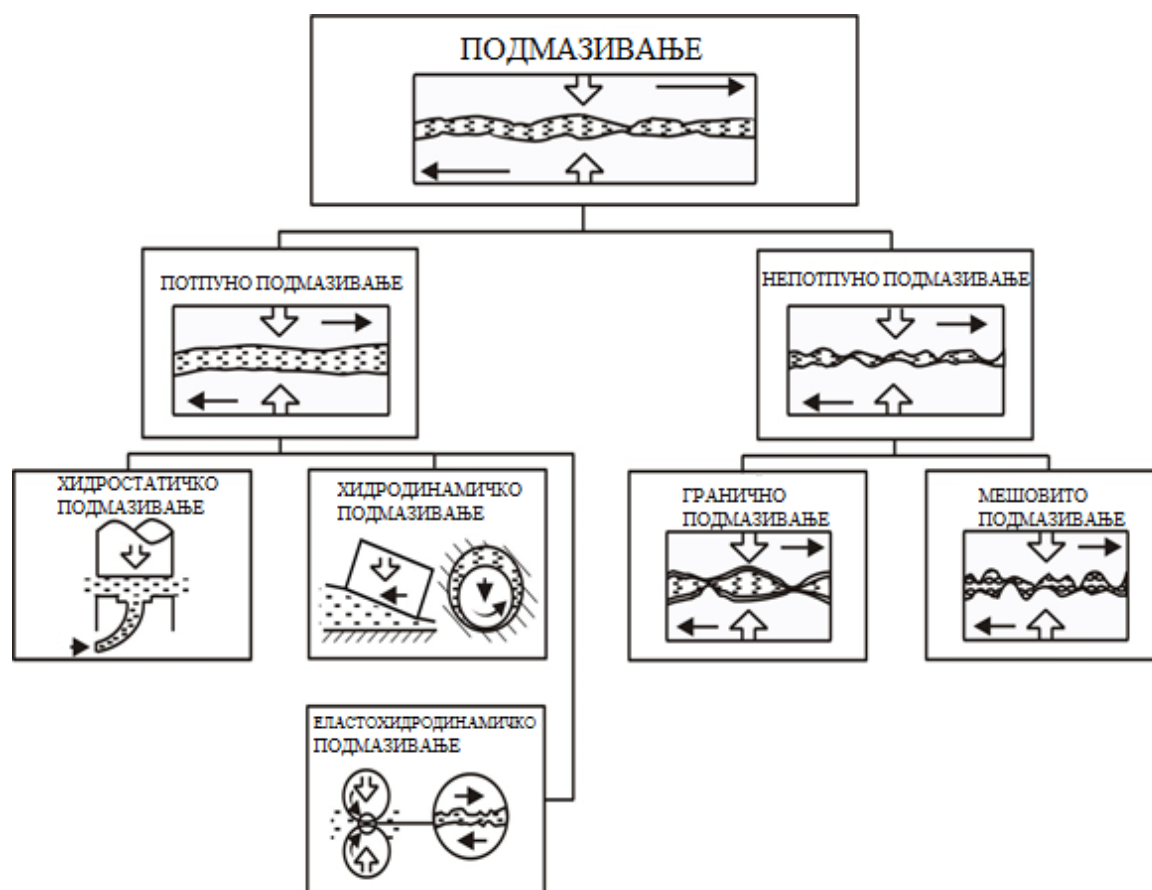
Подмазивање је основна активност превентивног одржавања техничких система и дефинише се као примена одређеног средства са циљем да се смањи сила трења, а самим тим и хабање и оштећење клизних површина [3].

Подмазивање је од суштинског значаја за поуздано функционисање производне опреме.

Генерално је прихваћено да је 60% механичких отказа у техничким системима директно повезано са неадекватном праксом подмазивања, док добро подмазивање може и три пута продужити век трајања трибомеханичких система.

Врсте подмазивања с обзиром на степен раздвајања, односно дебљину слоја мазива могу се дефинисати две базе:

- потпуно подмазивање и
- непотпуно подмазивање (слика 23) [3].



Слика 23. Врсте подмазивања трибомеханичких система [3]

Уља за подмазивање се састоје из две основне компоненте:

БАЗНО УЉЕ + АДИТИВИ = УЉЕ ЗА ПОДМАЗИВАЊЕ

На основу предходног текста може се закључити да су уља за подмазивање састављена од мешавине базног уља којој се додаје велики број различитих адитива (додатака) у циљу добијања жељених експлоатационих карактеристика.

Зависно од порекла и начина добијања базна уља могу бити:

- минерална (конвенционална)
- синтетички (неконвенционална) и
- биљна базна уља. [3]

Већина базних уља су минерална уља, тј. уља која представљају деривате нафте, док се синтетичка уља производе хемијском синтезом у веома сложеним технолошким процесима и у основи представљају синтетизоване угљоводонике.

Адитиви су материје које се додају мазивима у циљу побољшања или обезбеђивања неких нових особина мазива, чиме се повећавају експлоатационо-техничка својства. То су синтетичке материје које су растворљиве у базном уљу, термички стабилне и врло ниске испарљивости [3].

До сада је било речи о врстама и карактеристикама мазива, међутим веома важну улогу има и контаминација истог. Контаминација мазива настаје готово тренутно, јер мазиво одмах по наношењу реагује, како са околином, тако и са површином на коју се наноси. Контаминација уља је веома важна са аспекта одржавања трибомеханичких система и самим тим њеним праћењем стиче се јасна слика о раду система.

Контаминирајуће материје доспевају у уље споља или се генеришу унутар система, узрокујући скраћење века трајања, како елемената система тако и самог уља. Контаминација представља присуство свих оних материја које иначе не би требало да се налазе у уљу. Оне могу бити:

- чврсте,
- течне и
- гасовите [3].

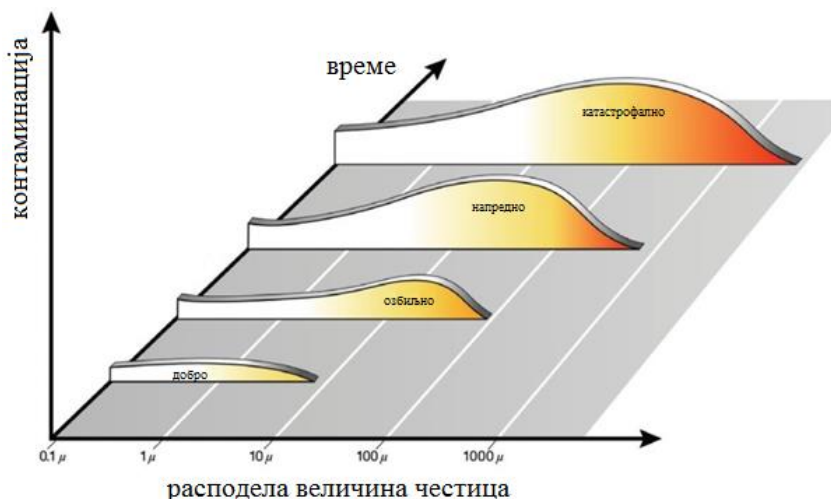
Разликују се четири основна извора контаминације уља за подмазивање:

- контаминација унета у система за подмазивање у току процеса израде и монтаже,
- контаминација унета преко новог уља,
- контаминација која продире у систем из околине и
- контаминација која се генерише унутар система у току рада, као последица триболошких процеса [3].

Услед трења и хабања, продукти хабања доспевају у уље за подмазивање што доводи до повећања контаминације и промене расподеле величине продуката хабања у уљу за подмазивање. У зависности од типа подмазивања, разликују се следеће карактеристичне величине честица продуката хабања:

- $< 5 \mu m$ код потпуног хидродинамичког подмазивања,
- $< 15 \mu m$ код граничног подмазивања,
- $< 150 \mu m$ код разарања уљног филма и појаве чврстих адхезионих спојева и
- $< 150 \mu m$ код катастрофалног хабања [2].

Стање техничког система са аспекта ниво похабаности елемената између којих постоји релативно кретање, као и доминантни тип подмазивања може се одредити праћењем расподеле величина продуката хабања у уљу за подмазивање (слика 24.) [3].

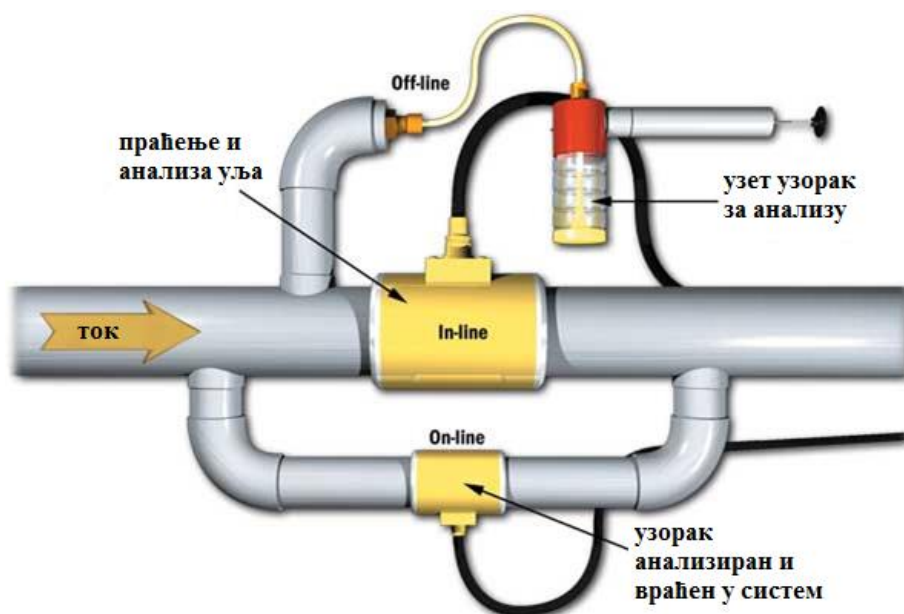


Слика 24. Промена контаминације и величине честица у току времена [2]

Наведена слика указује на чињеницу да дијагностичка опрема мора да омогући идентификацију како концентрације, тако и расподеле димензија продуката хабања.

Да би се извршила анализа уља за подмазивање конкретног техничког система неопходно је дефинисати процедуру за спровођење анализе. Под процедуром се подразумева: дефинисање начина за спровођење анализе уља (методе и места за узорковање), дефинисање дијагностичких параметара и избор тестова за анализу уља, дефинисање граничних вредности дијагностичких параметара, интерпретација резултата и израда извештаја о спроведеној анализи [2].

Анализа уља може бити спроведена *on-site* или у лабораторији (слика 25.).



Слика 25. Начин за спровођење анализе уља [2]

In-line, односно директно, на комплетној количини уља или на пуном протоку уља. Број дијагностичких параметара који се овако могу анализирати је релативно ограничен.

On-line, при чему се инструмент за анализу уља прикључује на погодан начин на технички систем са уљем за подмазивање. Одређена количина уља се узоркује из система, пролази кроз инструмент где се врши анализа, односно одређивање вредности дијагностичког параметра [2].

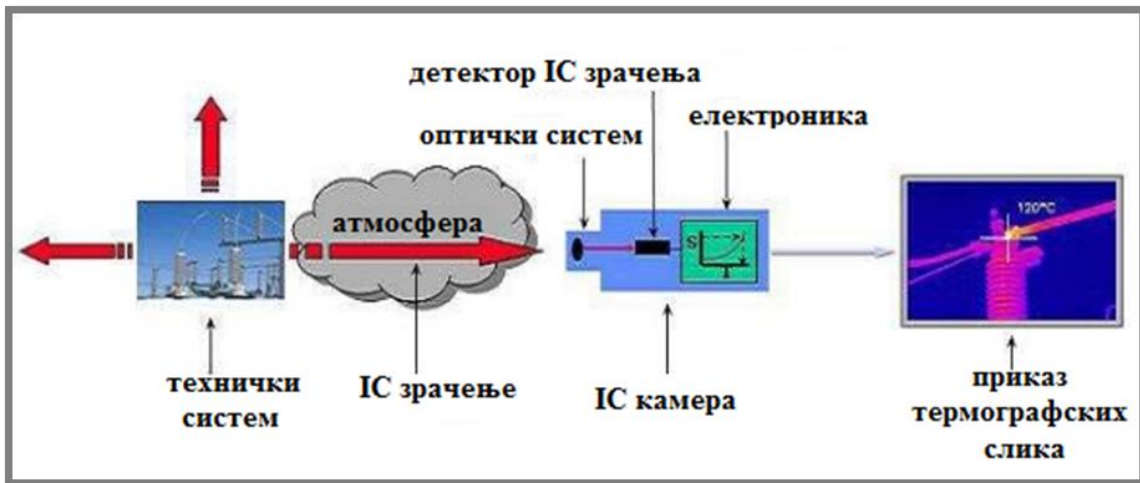
Поред ове анализе, могуће је спровести велики број других анализа у циљу одређивања ниво контаминације уља за подмазивање. Постоје разни инструменти за идентификацију чврстих честица у уљу (раде на принципу сензора) који такође са великом прецизношћу могу да одреде ниво контаминације уља за подмазивање.

5. Инфрацрвена термографија

Поред основних физичких величина као што су дужина, маса, време, јачина електричне струје, количина супстанце, јачина светлости врше се и мерења температуре, као једне од основних физичких величина. Мерења температуре су се раније вршила искључиво контактном методом, али због неприступачности површина у току мерења и осетљивости истих развиле су се и безконтактне методе мерења температуре.

Једна од најсавременијих безконтактних метода мерења температуре јесте инфрацрвена (IC) термографија која има значај у области техничке дијагностике и концепта превентивног одржавања техничких система. *“IC термографија се користи при мерењу у температурном распону од -30°C па све до 2000°C , са осетљивошћу и од $0,05^{\circ}\text{C}$ ”*. На основу предходних података може се закључити да IC термографија користи велики распон температуре (око 2030°C), као и да измерена температура има тачност од $0,05^{\circ}\text{C}$ (скоро без грешке). Основна предност IC термографије у односу на друге методе, јесте то што се добија визуелна слика температурног поља (термовизијски снимак) на којој се лако могу уочити тачке са максималним или минималним вредностима температуре, као и њихов распоред и међусобна зависност [2].

Мана IC термографије јесте била скупа термовизијска опрема. Али због убрзаног развоја методе и њене велике примене дошло је и до смањења цене инструмента за спровођење IC термографије, што је омогућило све ширу и интензивнију примену ове дијагностичке методе у оквиру превентивног одржавања.



Слика 26. Једноставна шема инфрацрвене термографије [8]

На основу предходне слике (слика 26.) може се закључити да је за спровођење IC термографије потребна камера, извори топлоте и софтвер који је дизајниран тако да чита све што је снимљено термовизијским уређајем.

5.1 Теоријске основе безконтактнoг мерења температуре

Безконтактне методе мерења температуре заснивају се на принципу мерења енергије електромагнетног зрачења које емитује свако тело.

“Сва тела са температуром изнад апсолутне нуле емитују енергију у форми електромагнетних таласа у области инфрацрвеног зрачења које се кроз околни простор креће брзином светлости” [2].

Ако се за кључне речи, на основу предходне дефиниције, узму електромагнетни таласи и област инфрацрвеног зрачења може се рећи: да се инфрацрвено зрачење креће превеликом брзином кроз простор и да интензитет зрачења неког тела зависи од његове површинске температуре, као и да спектар електромагнетног зрачења садржи различите облике зрачења који се међусобно разликују по таласној дужини (фреквенцији).

Постоје три механизма преношења топлотне енергије:

- **кондукција (провођење)** - преношење директним контактом кроз чврсту средину. Провођење топлоте је начин измене топлоте при којем се топлота преноси на нивоу атома и молекула директним додиром. Како молекули више температуре имају већу кинетичку енергију, они ће у контакту са молекулима ниже температуре предати део своје енергије и тако се успорити. Пренос топлоте усмерен је од честица више температуре ка онима ниже температуре (*II* закон термодинамике).
- **конвекција (струјење флуида)** - преношење топлотне енергије кретањем флуида различите и густине. Код природне конвекције струјање течности је последица неједнаке температурне расподеле у течности, а самим тим и неравномерна расподела густине (честица уз зид цеви и честица из средине). Принудна конвекција је изазвана радом пумпе, вентилатора, деловањем ветра и слично, па се струјање течности одвија без обзира на измену топлоте.
- **зрачење** - преношење топлотне енергије путем електромагнетних таласа. Зрачење је механизам измене топлоте који се одвија у форми електромагнетних таласа између тела различитих температура, између којих је прозиран (пропустан) медиј. За разлику од кондукције и конвекције зрачење се може одвијати и у вакууму, без материјалног посредника [6].



Слика 27. Механизми преношења топлотне енергије [6]

На основу слике 27. може се рећи да пренос топлоте директно зависи од самог извора топлоте, који емитује и зрачење (преношење топлоте преко електромагнетних таласа). У овом случају врши се загревање шерпе до кључања. Посредством флуида (конвекција) преноси се топлота на дршку посуде- што представља кондукцију (преношење директним контактом). Доноси се закључак да се једном сликом може објаснити механизам преношења топлоте.

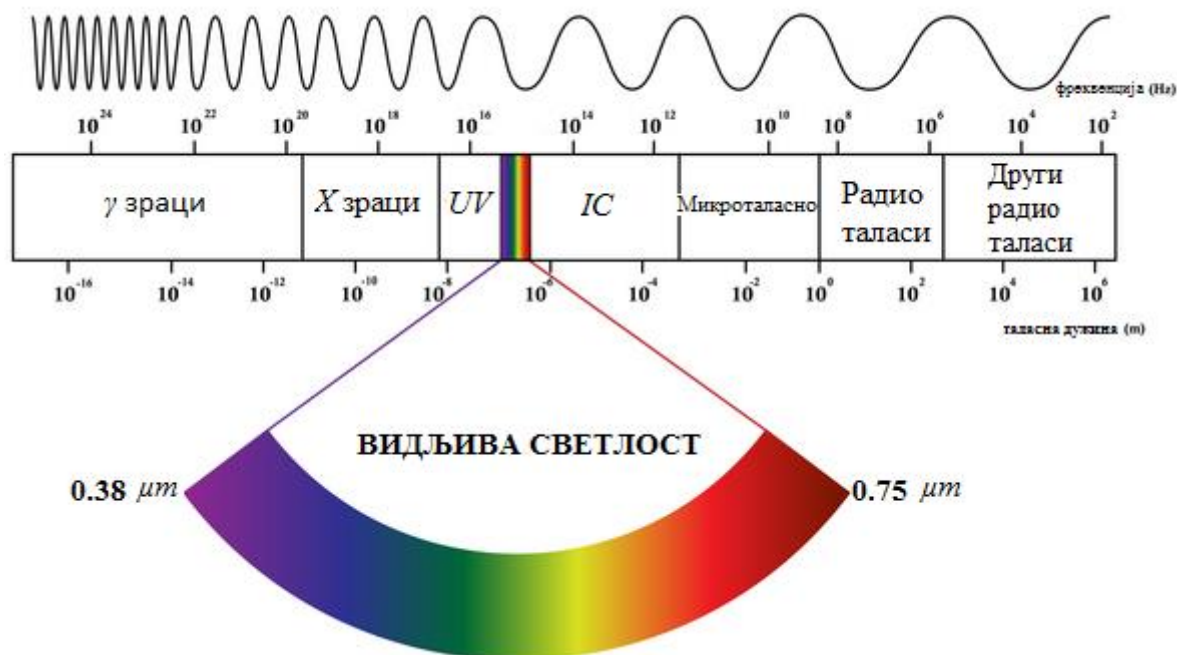
5.2 Инфрацрвено зрачење

Електромагнетски таласи настају као последица кретања електрона око језгра атома, те их одашиље (емитује) свако тело чија је температура изнад апсолутне нуле која се креће кроз простор брзином светлости.

“Инфрацрвена термографија је мерна метода којом се бележи зрачење површина објеката у одређеном подручју инфрацрвеног спектра” [2].

Свако тело одашиље у своју околину електромагнетне таласе, чији интензитет првенствено зависи од температуре површине тела. Ако је та температура виша од неких 600°C тада је зрачење тог тела видљиво људском оку. При нижим температурама зрачење је невидљиво људском оку и зове се инфрацрвено зрачење [2].

Спектар електромагнетног зрачења садржи различите облике зрачења (γ -зраци, X-зраци, ултраљубичасто (UV) зрачење, видљива светлост, инфрацрвено (IC) зрачење, микроталасно зрачење, различити облици радиоталаса), као што је приказано на слици 28. Ови облици зрачења се међусобно разликују по таласној дужини, односно фреквенцији [2].



Слика 28. Спектар електромагнетног зрачења [2]

Инфрацрвено зрачење (IC) је у електромагнетном спектру смештено између видљиве светлости и микроталасног зрачења и покрива опсег таласних дужина од око $0,75 \mu m$ до $1 mm$. овај релативно широк опсег може се поделити на више региона:

- блиско IC зрачење (NIR-Near Infrared) - $0,75 \div 1,4 \mu m$,
- средње зрачење (MIR-Mid Infrared)- SWIR $1,4 \div 3 \mu m$, MWIR $3 \div 8 \mu m$ и LWIR $8 \div 15 \mu m$
- далеко IC зрачење (FIR-Far Infrared) - $15 \mu m \div 1 mm$ [2].

За мерење температуре преко инфрацрвеног зрачења најзначајнији су средњеталасни и дуготаласни подрегиони.

Људско око је делимично осетљиво на топлотно зрачење у делу спектра видљиве светлости који се граничи са IC опсегом. Зог тога је посматрањем металног предмета који

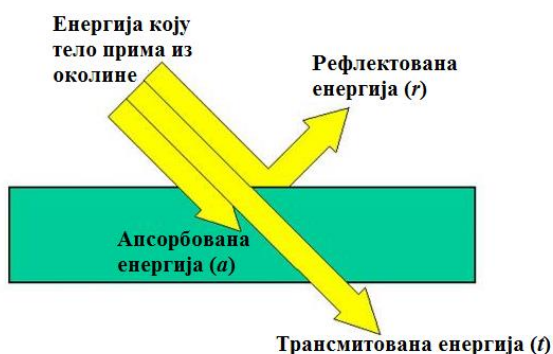
се загрева могуће уочити температурску градацију, док се боја предмета мења од тамно црвене, преко јарко црвене, наранџасте, жуте до беле боје усијања [5].



Слика 29. Загревање предмета до усијања које је видљиво голим оком [5]

Поред видљивог спектра који обухвата мањи део топлотног зрачења, постоји и део спектра који је невидљив (већи део топлотног зрачења) који је смештен у *ИС* опсегу. Из разлога невидљивости за људско око примењују се специјални инструменти како би се топлотно зрачење тог интензитета могло идентификовати.

Мерење температуре преко *ИС* зрачења додатно је отежано начином на који свако тело расподељује укупну количину примљене енергије (слика 30.).



Слика 30. Расподела енергије [8]

У оквиру термичке реакције тела са околином укупна енергија емитована из околине ка телу дели се на три дела, а чине их:

- апсорбована енергија, a , које тело апсорбује подижући своју температуру, а затим је поново емитује у околину у форми *ИС* зрачења,
- рефлектована енергија, r , која се одбија од површине тела и враћа у околину без утицаја на температуру тела и
- трансмитована или проведена енергија, t , која пролази кроз тело, такође без утицаја на његову температуру [2].

На основу предходног текста и слике 30. може се закључити да се утицај трансмитоване и рефлектоване енергије мора да се занемари како би се добили релеванти резултати мерења. Односно, меродавна је само енергија коју тело емитује (e) и која је једнака предходно апсорбованој енергији (a).

У проучавању ефекта зрачења најчешће се посматрају два крајња специјална случаја:

- идеално огледало - које представља тело код којег се сва примљена енергија рефлектује ($a = t = 0$; $r = 1$) и
- црно тело - које се понаша као идеални апсорбер топлоте, апсорбује сву примљену енергију ($r = t = 0$; $a = 1$) [2].

Свако реално тело у природи се, по својим особинама налази између ова два крајња случаја и често назива сиво тело. Црно тело је идеализовано тело које служи као еталон при анализи понашања реалних тела.

Неколико је важних својстава црног тела:

- црно тело потпуно апсорбује целокупно зрачење свих таласа у свим смеровима,
- при одабраној температури и таласној дужини ниједно тело не може емитовати више зрачења од црног тела и
- интензитет зрачења црног тела независан је у односу на смер, односно црно тело је дифузни емитер [2].

Plankov закон зрачења црног тела:

$$P_{\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 \cdot \left(e^{\frac{C_2}{\lambda T}} - 1 \right)}$$

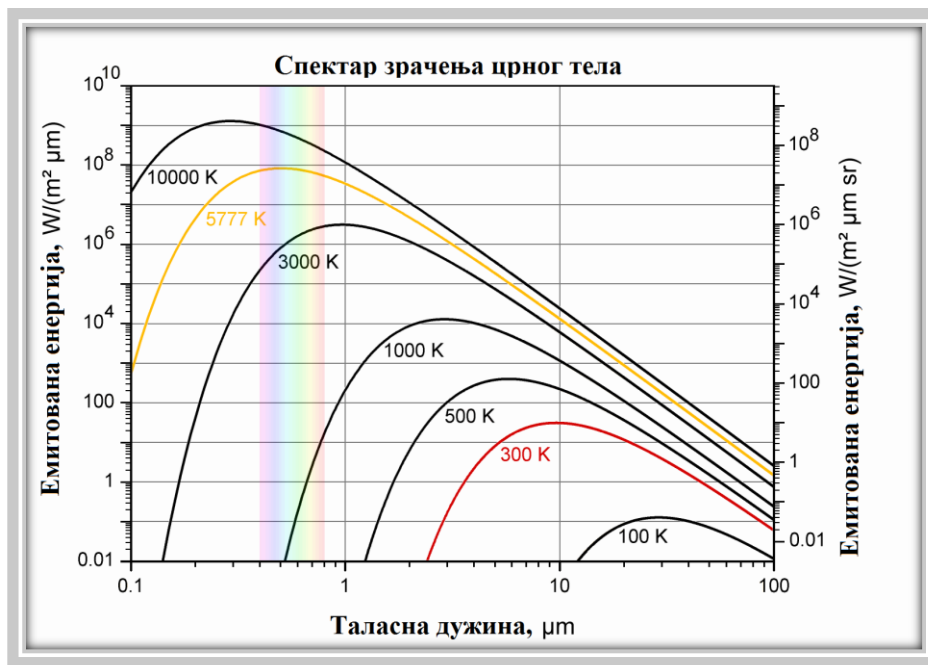
P_{λ} - енергија коју зрачи црно тело на одређеној таласној дужини λ ,

$C_1 = 3,741 \cdot 10^{-16} \text{ Wm}^{-2}$ - прва радијациона констата, $C_2 = 1,438 \cdot 10^{-2} \text{ mK}$ - друга константа,

T, K - апсолутна температура црног тела, λ, m - таласна дужина зрачења [2].

Графичка презентација *Планковог закона* зрачења црног тела приказана је на слици 31., при чему је дата дистрибуција емитоване енергије у делу електромагнетног спектра који се односи на топлотно зрачење. Анализом приказаног дијаграма могу се уочити следеће карактеристике:

- са повећањем температуре тела расте интензитет емитоване енергије при чему се максималне вредности зрачења померају ка мањим таласним дужинама,
- за таласне дужине испод максималне вредности интензитета зрачења, крива зрачења брзо расте и веома је стрма и
- за таласне дужине изнад максималне вредности интензитета зрачења, крива зрачења споро опада и готово је линеарна [2].



Слика 31. Зрачење црног тела [2]

Може се закључити да се за сваку температуру може уочити локални максимум на одговарајућој таласној дужини $\lambda_{\max}$. Одређивање те таласне дужине следи из *Планковог закона*, након чега се добија једначина која се назива *Винов закон померања*:

$$\lambda_{\max} \cdot T = 2,898 \cdot 10^{-3} \text{ mK}$$

Укупна енергија коју емитује црно тело у целом електромагнетном спектру:

$$E = \sigma \cdot T^4$$

у опсегу $\lambda = 0$ до $\lambda = \infty$ *Штефан-Болцмонов закон* [2].

Реална тела на истој температури емитују мање зрачења од црног тела. Због тога се уводи карактеристика којом се зрачење било ког реалног тела упоређује са зрачењем црног тела. Ова карактеристика се назива емисивност или коефицијент емисије ε . Коефицијент емисије представља количник енергије коју емитује реално тело на одређеној температури и енергије коју емитује црно тело на истој температури.

Сва реална (сива) тела имају коефицијент емисије $0 < \varepsilon < 1$. Коефицијент емисије неког тела пре свега зависи од врсте материјала и стања површине тела [2].

У литератури се могу пронаћи вредности емисијског фактора зависно од врсте материјала, температуре и стања површине. Сви наведени подаци у литератури односе се на вредности емисијског фактора у смеру нормале ε_n . Просечна вредност емисијског фактора (средња вредност за све смерове) добија се множењем читаних вредности са корекцијским фактором.

Тако се наводе следећи изрази:

- $\varepsilon = 1,2 \cdot \varepsilon_n$ - за сјајне металне површине,
- $\varepsilon = 0,95 \cdot \varepsilon_n$ - за глатке неметалне површине и
- $\varepsilon = 0,98 \cdot \varepsilon_n$ - за храпаве неметалне површине [5].

5.3 Детектори ИС зрачења

Детектор (сензор, давач) представља основни део свих инструмената за мерење температуре прко ИС зрачења, чији је задатак да апсорбује ИС зрачење и претвори га у електрични (напонски или струјни) сигнал. Развијен је велики број детектора ИС зрачења који се међусобно разликују по принципу рада, потреби за хлађењем, резолуцији, осетљивости, таласном опсегу мерења, времену одзива, стабилности у времену, величини, опасности на спољашње утицаје, линеарности и многим другим карактеристикама.

Једна од основних подела детектора ИС зрачења јесте:

- хлађене ИС детекторе и
- нехлађене ИС детекторе [2].

Хлађени ИС детектори су обично смештени у вакуумским, херметизованим кућиштима при чему је обезбеђено хлађење до веома ниских - криогених температура (најчешће око 80 K , односно -200°C). Овако ниска радна температура значајно повећава њихову осетљивост с обзиром да је температура детектора значајно нижа од температуре тела за које се мери ИС зрачење. Без хлађења ови детектори би били потпуно блокирани сопственим зрачењем и неупотребљиви за мерење [2].

Основна предност хлађених *ИС* детектора представља већа поузданост мерења, али су инструменти гломазни, скупи, са веома спорим одзивом и низом других проблема у експлоатацији. Хлађени *ИС* детектори се најчешће израђују у форми полупроводничких елемената при чему се користе специјалне врсте материјала као што су: индијум-антимонид, индијум - арсенид, кадмијум - олово - телурид, и др. Што се тиче метода хлађења *ИС* детектора постоје:

термоелектрично, коришћење мотора са затвореним циклусом хлађења, хлађење течним хелијумом или водоником итд.

Хлађени *ИС* детектори



Слика 32. Хлађени *ИС* детектори [8]

Нехлађени *ИС* детектори су предвиђени за рад на амбијенталној температури или на контролисаној температури која је веома блиска амбијенталној. Ови детектори мењају своје електричне карактеристике под дејством зрачења. Упоредивањем вредности ових промена са референтним вредностима добија се мера примљеног зрачења.

Нехлађени *ИС* детектори су много мањих димензија јер не захтевају гломазне системе за криогено хлађење. Цена ових система је значајно нижа, а недостатак је мања прецизност и резолуција мерења температуре [2].

Израда нехлађених *ИС* детектора базирана је на примени пироелектричних материјала или на технологији тзв. микроболометара.

Нехлађени *ИС* детектори



Слика 33. Нехлађени ИС детектори [8]

На основу претходног текста може се закључити да је примена нехлађених ИС детектора боља у пракси од примене хлађених ИС детектора уколико измерена температура не захтева напредну прецизност. Односно, уколико систем захтева велику прецизност употребљавају се хлађени ИС детектори који су значајно скупљи али се инвестиција у те сврхе исплати.

Друга важна подела детектора ИС зрачења извршена је на основу технологије мерења температуре, односно формирања термографске слике. Ова подела истовремено показује и начин на који се развијала технологија радијационе термометрије, с обзиром на то да указује и на хронологију појаве нових технолошких решења.

1. Детектори ИС зрачења у тачки представљају базично решење и основу за израду широке палете инструмената за бесконтактно мерење температуре који се заједничким именом зову радијациони термометри.
2. ИС системи са линијским скенирањем (*Infra red line scanning*) представљали су револуционарни помак јер су омогућили формирање термографске слике, односно мерење температуре у већем броју тачака. Код ових система је већи број ИС зрачења у тачки постављен у линији чиме је добијен такозвани линијски детектор. ИС зрачење се преко система огледала доводи на линијски детектор, а механичким померањем огледала у једној равни врши се скенирање предмета чија се температура мери, по принципу “*линија по линија*”, и формирање термографске слике.
3. ИС системи са детекторима у фокусној равни (*Focus plane array*). Ове системе карактеришу ИС детектори (углавном нехлађени) који су груписани у сензорску матрицу тако да једном детектору одговара једна тачка у термографској слици. Термографска слика се формира на начин који је потпуно аналоган формирању слике у дигиталном фото-апарату, тако да нема потребе за системом за механичко скенирање [6].

5.4 Инструменти за ИС термографију

На бази претходне поделе детектора ИС зрачења развијен је читав низ инструмената за бесконтактно мерење температуре. То су инструменти које карактерише велика прецизност, мобилност, приступачност, лако руковање, квалитетна резолуција и друге карактеристике, сви ови инструменти се могу поделити у две групе које чине:

- инструмент за мерење температуре у тачки (радијациони термометри)
- инструменти који имају могућност мерења температуре у више тачака уз формирање одговарајуће термографске слике (ИС линијски скенери и камере за ИС термографију [2].

У оквиру техничке дијагностике значајнију примену има друга група инструмената за ИС термографију о чему ће касније више бити речи, док радијациони термометри имају ужу примену.

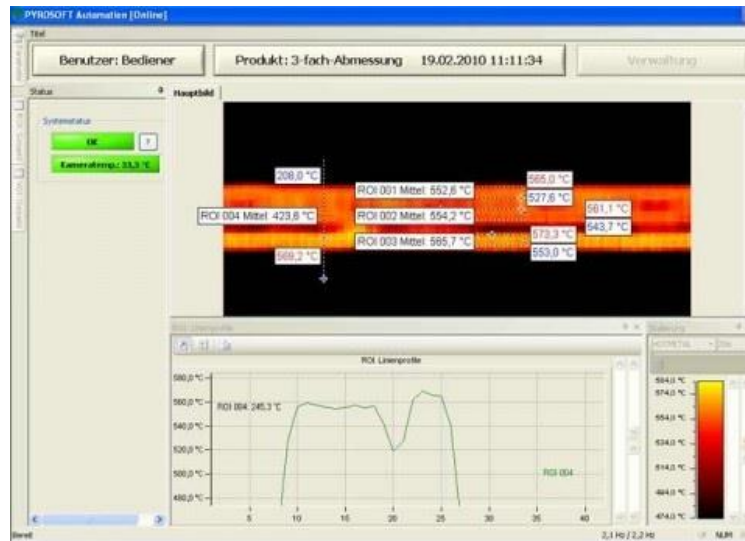
Инфрацрвени радијациони термометри служе за бесконтактно мерење температуре на машинским склоповима и компонентама, електро склоповима и електро компонентама, термичким уређајима и постројењима, на процесној опреми, грађевини, у лабораторијама и генерално на сваком месту на ком је примена контактних метода мерења температуре немогућа.

5.5 ИС линијски скенери и термографске камере

ИС линијски скенери

ИС линијски скенери представљају посебну групу инструмената за мерење температуре које је константно и углавном без прекида. Прилагођене су за примену у одређеним индустријским гранама где је потребно обезбедити континуално праћење температуре дугачких објеката, покретних трака, у производњи тракастих и жичастих производа и слично [2].

Класични примери примене *IC* линијских скенера јесу ваљаонице где скенер прати температуру траке лима која излази са ваљка и указује на одступање у температури које могу да послуже за праћење униформности и технологије процеса ваљања. Излаз из линијских *IC* скенера је термографска слика која најчешће нема исказане вредности температуре већ преко палете боја указује на температурске разлике по зонама.



Слика 34. Снимак са *IC* скенера (ваљаоница челика) [5]

На основу слике 34. се може закључити да је прелив боја јасно изражен и да се са лакоћом може одредити место настанка промена температуре како би се предузеле корективне мере. Термографски *IC* скенери имају значајну примену у посебним врстама индустрије али у савременој индустрији нису толико значајни као инфрацрвене камере.

IC термографске камере

IC термографске камере представљају најсавршеније и најсавременије инструменте за бесконтактно мерење температуре преко праћења *IC* зрачења. Зову их још и термовизијске камере.

Термографске камере могу бити преносне или прилагођене за фиксну употребу. Због своје предности, могућности преноса, имају најширу примену у техничкој дијагностици.

Развој термографских камера иде у главном у два правца:

- ка развоју напредних уређаја високих перформанси
- ка развоју малих, јефтинијих уређаја који треба да задовоље захтеве највећег броја потенцијалних корисника [2].

Принцип рада *ИС* термографске камере

Савремени системи за *ИС* термографију састоје се из термографске камере и *РС* рачунара са одговарајућим софтвером. У самој *ИС* термографској камери интегрисани су следећи основни функционални подсистеми:

- оптички систем,
- детектори *ИС* зрачења,
- електроника за обраду сигнала са детектора и њихово претварање у видео - сигнал; меморијски део за складиштење резултата мерења и
- монитор за приказ термографских слика (слика 35) [2].



Слика 35. Подсистеми *ИС* камере

Посебну групу *ИС* термографских камера чине такозвани термографски фото-апарати. Ови уређаји немају могућност меморисања видео - записа већ само термографских снимака. По облику подсећају на стандардне фото - апарате, само су габаритно знатно већи. Посебне камере малих димензија углавном спадају у ову групу [2].

Данас готово да нема модела термографске камере који није софтверски подржан. Софтверски пакети служе за прикупљање и обраду снимљеног материјала, њихову анализу, презентацију и чување. Резултати мерења се из камере у рачунар пребацују преко меморијске картице или директно преко одговарајућег комуникационог кабла.

Материјали који се користе за израду оптичких сочива морају бити пропусни за *ИС* зрачење у таласном опсегу за који је камера конструисана.

На основу претходног текста може се закључити да се временом значајно развијају *ИС* термографске камере и да поред напредних оптичких система, квалитетније термографске слике и др. обезбеђује и могућност зумирања објекта чија се термовизија изводи.

Да би се на основу нивоа *ИС* зрачења, које региструје детектор, израчунале одговарајуће вредности температуре објекта, потребно је дефинисати низ фактора, као што су:

- карактеристичне површине објекта, односно коефицијент емисије,
- температура околине и евентуално релативна влажност ваздуха и
- удаљеност камере од посматраног објекта [2].

Све наведе факторе потребно је унети као полазне параметре у интерни софтвер камере. Савремене камере обично имају могућност да се на основу унете вредности површинске температуре неког објекта изврши и аутокалибрација, односно одређивање коефицијента емисије материјала од кога је објекат изграђен. Затим се наставља бесконтактно мерење уз постизање високе тачности.

Основне карактеристике *ИС* термографских камера

1. Уграђени детектор *ИС* зрачења

Елемент термографске камере од ког директно зависе бројне друге физичко техничке карактеристике инструмента јесте детектор *ИС* зрачења. Доступне су све варијанте претходно описаног детектора:

- хлађени и нехлађени *ИС* детектори са линијским скенером хлађени и
- нехлађени *ИС* детектори у фокусној равни [2].

Камере са нехлађеним детекторима имају потпуни примат у групи преносних инструмената односно, *ИС* камере са хлађеним детекторима због низа мана (габарити, технички захтеви, цена, трајање) се данас релативно ретко користе.

Детектори са линијским скенером (нехлађени) имали су широку примену пре десетак година. Данас су системи са нехлађеним *ИС* детекторима са линијским скенерима готово у потпуности потиснути од стране *ИС* детектора у фокусној равни (разлог цена).

Може се закључити да што се тиче детектора *ИС* зрачења доминирају нехлађени *FPA* детектори, и то првенствено они засановани на микроболометарској технологији.

2. Резолуција детектора IC зрачења

Резолуција детектора IC зрачења, односно целе камере, дефинисана је бројем тачака-пикселима на термографском снимку. Резолуција термографских камера је значајно мања у односу на резолуцију најстандарднијег дигиталног фото-апарата и креће се максимално до око 110 000 пиксела за стандардне моделе. Међутим, треба имати у виду да термографски снимци и од много мање пиксела (14 400) дају сасвим задовољавајући ниво информација о посматраном објекту и да ова резолуција ни у ком случају није мала [2].

Што се тиче комерцијално доступних модела термографских камера, са аспекта резолуције се могу поделити на две групе:

- камере напредних перформанси по правилу имају резолуцију од 320 x 240 пиксела (евентуално 384 x 288 код неких модела) и
- термографске камере малих димензија углавном имају резолуцију од 120 x 120, 160 x 120, до максималну 160 x 160 пиксела [2].

3. Таласни и температурски опсег мерења

У оквиру основног региона IC термографских камера, комерцијалне термографске камере се могу сврстати у две групе према подрегиону IC зрачења (MIR) у коме функционишу:

- термографске камере осетљиве на дуготаласно IC зрачење ($LWIR$ подрегион) у опсегу од 8 до 15 μm и
- термографске камере осетљиве на краткоталасно IC зрачење ($SWIR$ подрегион) и доње гранично средње таласно IC зрачење ($MWIR$) у опсегу од 2 до 5 μm [2].

Термографске камере из прве групе најосетљивије су на нижим температурама, тако да се у принципу користе за мерење температуре у опсегу од -20 до 500 °C. Дуготаласне термографске камере се могу користити и за мерење виших температура, али су у том случају неопходни филтери и додатна опрема. Ове камере се могу користити за мерење на великим удаљеностима.

Термографске камере из друге групе осетљиве су на високим температурама тако да се претежно користе за специјализована индустријска и процесна мерења у којима се јавља висока температура (преко 500 °C). Коришћењем ових камера ограничено је на удаљеност од максимално 200 m [5].

Да би се постигла већа прецизност у дефинисаном температурном опсегу, мерење, цео опсег се најчешће дели на два до максимално четири дела са могућношћу избора.

4. Температурска резолуција

Температурска резолуција (осетљивост) дефинисана је као најмања температурска промена коју камера може да региструје. Ово представља веома важну карактеристику термографских камера, посебно за области примене где је опсег мерења температура релативно узак.

Температурска резолуција се дефинише за температуру на којој је камера најосетљивија ($30\text{ }^{\circ}\text{C}$ за дуготаласне и најчешће $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ за краткоталасне камере). Напредни модели углавном имају резолуцију од $0,05$ до $0,08\text{ }^{\circ}\text{C}$ на $30\text{ }^{\circ}\text{C}$. Термовизијске камере малих димензија имају резолуцију од $0,1$ до $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ на $30\text{ }^{\circ}\text{C}$ [2].

5. Просторна резолуција

Просторна или геометријска резолуција камере представља меру најмањег детаља који може бити приказан на термографском снимку. Ова карактеристика се исказује преко фактора тренутног видног поља, који представља најмањи регион који детектор *IC* зрачења може регистровати, или преко фактора укупног видљивог поља (*FOV*).

Просторна резолуција је директно зависна од велићине елемената детектора *IC* зрачења и пожељно је да она буде што већа. Повећање просторне резолуције, са друге стране, подразумева смањење велићине детектора, при чему долази и до смањења електричног сигнала који детектор генерише под утицајем *IC* зрачења. Просторна резолуција, односно *IFOV* фактор изражава се у милирадијанима, док се *FOV* фактор изражава у степенима [2].

6. Тачност и поновљивост мерења

Тачност мерења представља карактеристику камере која показује колико измерена температура одступа од стварне. Ова карактеристика се исказује као процентуална вредност мерног опсега (најчешће $\pm 2\%$) или као грешка мерења температуре у апсолутном износу (најчешће $\pm 2^{\circ}\text{C}$) [2].

Поновљивост мерења представља вероватноћу приказивања истог резултата при поновљеним мерењима, без обзира да ли је мерење тачно.

7. Меморијске и видео карактеристике

Савремене термографске камере поседују неки од стандардних облика меморијских картица за смештај видео - записа и снимака у дигиталном облику. Величина ових меморијских јединица није значајан фактор. Стандардне меморијске картице могу примити већу количину термографских снимака због мале резолуције истих.

Термографске камере по правилу имају *LCD/ TFT* дисплеј у боји, високе резолуције. Камере такође имају стандардне *NTSC / PAL* видео излазе са видео сигналом у аналогном облику. Највише примењивани уређаји су *PDA* који за своје потребе користе *PALMTOP* рачунаре. Они су релативно јефтини, широко доступни и са значајним меморијским капацитетом [2].

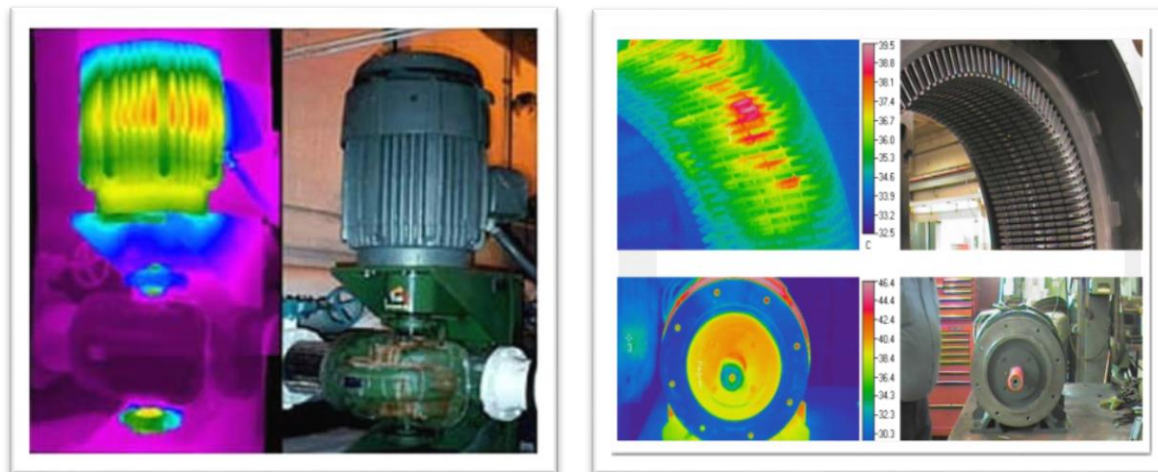
5.6 Примена инфрацрвене термографије

Као једна од основних метода за дијагностику стања техничких система у оквиру концепта превентивног одржавања према стању нашла је значајну примену у свим гранама индустрије. Примена инфрацрвене термографије се значајно развила од када је опрема за термовизијско снимање доступна ширем кругу корисника (смањење цене). Овом методом се може открити читав низ различитих потенцијалних отказа на веома различитим техничким системима и то без потребе прекида процеса производње и трошкова који су у вези са њим [5].

Инфрацрвене термографске камере користе се у индустрији за безконтактну методу мерења температуре и контролу неисправних електромеханичких склопова и постројења, а такође, и у грађевинарству, процесној индустрији, енергетици, системима даљинског грејања, медицини и ветерини.

Испитивање механичких система

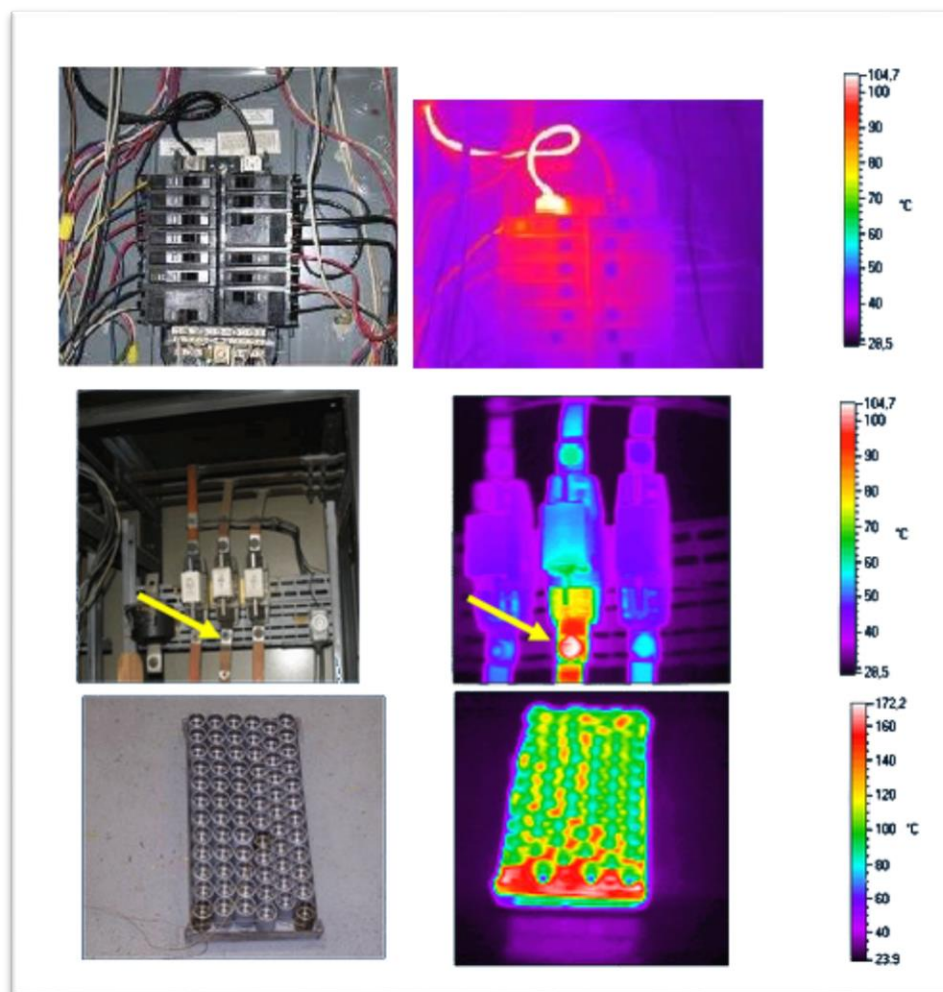
Рзличита термографски испитивања могу се вршити над механичким системима и њиховим подсистемима (слика 36.). На оваквим системима врши се *ИС* термографско испитивање у циљу утврђивања распореда температурских поља и откривања потенцијалног нерегуларног загревања. Испитивање се своди на механичке системе у којим постоји неки облик кретања (праволинијско или ротационо).



Слика 36. Термивизијски снимци механичких система [8]

Испитивање електричних и електронских система

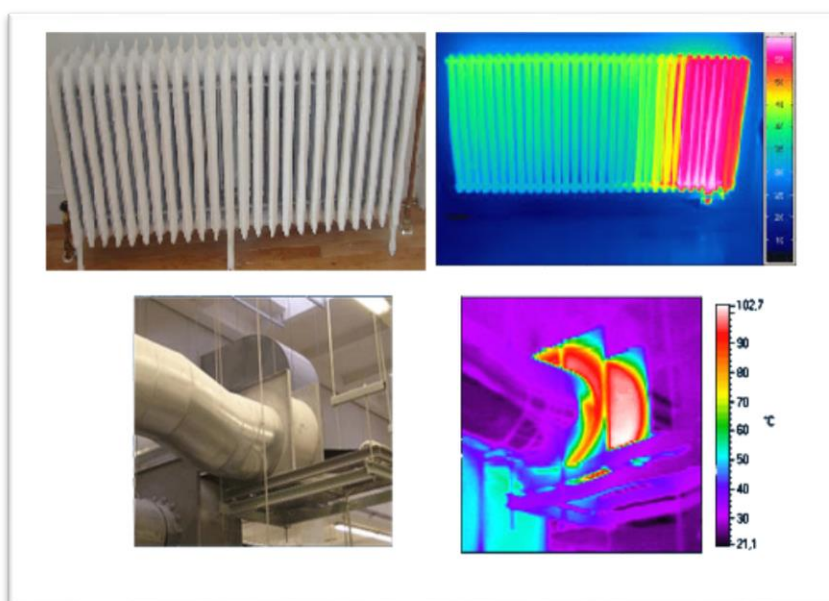
Због високог степена заштите у односу на друге методе, инфрацрвена термографија, има значајну примену код испитивања електронских и електричних система (слика 37.). Температура је, у принципу, једини индиректни дијагностички параметар који се може користити код електричних и електронских система, што код механичких система није случај.



Слика 37. Термовизијски снимци електронских и електричних система [8]

Испитивање енергетских система

Коришћење било ког облика енергента за грејање, или у оквиру технолошких процеса, подразумева сталну тежњу за рационализацијом потрошње и смањивањем губитака. Коришћењем *ИС* термографије могу се идентификовати све врсте оштећења и повећаних топлотних губитака, како подземних тако и надземних инсталација. Осим за одређивање локације и величине топлотних губитака, *ИС* термографија се користи и за испитивање ефикасности различитих компоненти енергетских система (слика 38.).



Слика 38. Термовизијски снимци енергетских система [8]

Примена *ИС* термографије у грађевинарству

ИС термографија има широку примену у грађевинарству где се пре свега користи за испитивање ефикасности термичке изолованости стамбених и индустријских објеката, испитивање равних отказа, проналажење зона кондензације и зона заробљене влаге, лоцирање евентуалних грешака у структури грађевинских материјала и др.

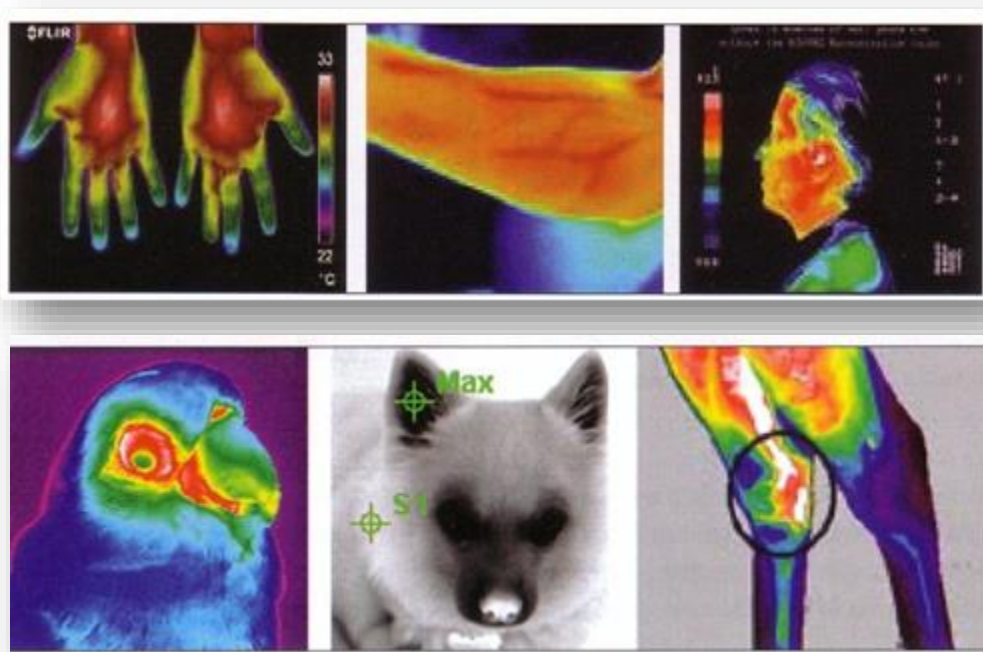


Слика 39. Термографски снимци у грађевинарству

Примена *IS* термографије у медицини и ветерини

Термографија се већ дуго примењује у медицинској дијагностици слика, а у последње време све више примењује у ветеринарској дијагностици. Многе болести изазивају промене температуре на површини тела, па је логично да се термографским посматрањем могу и дијагностиковати. Примена термографије у ветерини има још једну предност с обзиром на то да животиње не могу рећи шта и где их боли, па се термографијом могу установити аномалије (слика 40.).

У последње време нарочито се примењује термографска дијагностика у ветерини, којом се осим ветеринара служе и тренери, власници животиња, посебно коња, за побољшање спортских резултата, детекцију повреде мишића, упала итд.



Слика 40. Термографски снимци у медицини и ветерини [8]

На основу предходног текста се може закључити да су у оквиру техничке дијагностике најзначајнија термографска испитивања механичких, електронских и енергетских система. У наредном поглављу ће бити детаљно описан термовизијски експеримент појединих система у оквиру компаније **Kuč d.o.o** и дате мере предунапређења.

6. Технички опис узорка и термографска мерења

Термографска мерења ће бити обављена у сарадњи са предузећем “*Киш сотрапу*” д.о.о. и “*Факултетом инжењерских наука*” у Крагујевцу.

Вршиће се испитивање температурних промена следећих система:

- велики пастеризатор (10 t),
- мањи пастеризатор (5 t) са хомогенизатором и
- електро орман пакерице.

За експеримент је коришћена IC камера *Flir E- 50* са следећим карактеристикама:

- 280x180 (43200 тачака),
- температурна осетљивост $< 0,05^{\circ}\text{C}.$,
- објектив $25^{\circ}\times 19^{\circ}$,
- LED светла за осветљење тамних простора,
- фреквенција освежавања приказа слике 60 Hz.

Након извршеног испитивања добијени су одговарајући подаци мерења који су обрађени у оквиру софтверског пакета, где је извршена њихова анализа. Обрађене су термовизијске фотографије снимљених система на којима су представљена критична подручја истих.

У оквиру следећег поглавља биће дат детаљан опис сваког снимљеног система, задатак испитивања, сврха, коментар и закључак. Такође ће бити дате и фотографије система и термовизијски снимак. На основу спроведеног истраживања моћи ће да се изведе свеобухватни закључак и искажу мере предунапређења испитаних система.

Факултет инжењерских наука	ИСПИТАНИ СИСТЕМ 1		Млекара Кић company
Подаци о испитаном систему			
Назив: Велики плочасти измењивач топлоте или пастеризатор од 10t.			
Сврха система: има улогу, у зависности од капацитета, да термички обради млеко али да га на крају и охлади како би могао да се настави процес.			
Радни услови система: пастеризатор се налази у производном погону, на сувом месту на абијенталној температури од 24°C.			
Начин одржавања система: одржавање система је превентивно према стању.			
Технологија испитивања			
Норма: техничка дијагностика, безконтактна метода, инфрацрвена термографија.			
Задатак: извршити термографско снимање измењивача топлоте, приказати реалне фотографије, као и термовизијске фотографије, обардити измерене податке и извести закључак заснован на измереним величинама.			
Фотографија система који се испитује			
 			
Врши се термовизијско мерење посредством ИС камере. Мерење се обавља над великим пастеризатором (10t) и његовом центрифугалном пумпом. Пастеризатор служи за термичку припрему млека.			
Крагујевац	Кандидат: Милош Поскурица	Ментор: др Петар Тодоровић	10.2016.

Факултет инжењерских наука	ИСПИТАНИ СИСТЕМ 1		Млекара Кић company
Подаци о испитаном систему			
Назив: Велики плочасти измењивач топлоте или пастеризатор од 10t.			
Сврха система: има улогу, у зависности од капацитета, да термички обради млеко али да га на крају и охлади како би могао да се настави процес.			
Радни услови система: пастеризатор се налази у производном погону, на сувом месту на абијенталној температури од 24°C.			
Начин одржавања: одржавање система је превентивно према стању.			
Подаци о ИС камери			
Тип: ИС камера Flir E-50.		Фотографија камере 	
Резолуција: 280×180 (43200 тачака).			
Температурни распон: -20 до 120 °C			
Напомена: температурна осетљивост <0,05°C и удаљеност од тачке мерења 1 m (најтачнији резултати).			
Калибрацијски подаци	Тип уређаја: пастеризатор (10 t), Температура уређаја: 65°C.		
Параметри објекта	Емпиријски фактор: ε= 0,95, Температура околине: 24°C, удаљеност од објекта: 1m.		
Термографска слика и коментар			
  Извршено је термографско мерење, након чега је установљено, да је <i>min</i> температура 21,6°C, а <i>max</i> 66,5°C, да је температура у мереној тачки 32,1°C код патеризатора. Код пумпе пастеризатора <i>min</i> температура је 17,9°C, а <i>max</i> 67,4°C и у тачки мерења 47,7°C.			
Крагујевац	Кандидат: Милош Поскурица	Ментор: др Петар Тодоровић	10.2016.

Факултет инжењерских наука	ИСПИТАНИ СИСТЕМ 2		Млекара Кић company
Подаци о испитаном систему			
Назив: Мањи плочасти измењивач топлоте или пастеризатор од 5t са хомогенизатором.			
Сврха система: Пастеризатор има улогу, у зависности од капацитета, да термички обради млеко али да га на крају и охлади како би могао да се настави процес, док хомогенизатор има улогу да уједначи структуру млека.			
Радни услови система: пастеризатор и хомогенизатор се налазе у производном погону, на сувом месту на абијенталној температури од 24°C.			
Начин одржавања система: одржавање система је превентивно према стању.			
Технологија испитивања			
Норма: техничка дијагностика, безконтактна метода, инфрацрвена термографија.			
Задатак: извршити термографско снимање мањег измењивача топлоте и хомогенизатора, приказати реалне фотографије, као и термовизијске фотографије, обардити измерене податке и извести закључак заснован на измереним величинама.			
Фотографија система који се испитује			
			
Врши се термовизијско мерење посредством ИС камере. Мерење се обавља над мањим пастеризатором (5t) и његовом центрифугалном пумпом као и над хомогенизатором. Пастеризатор служи за припрему млека за сир.			
Крагујевац	Кандидат: Милош Поскурица	Ментор: др Петар Тодоровић	10.2016.

Факултет инжењерских наука	ИСПИТАНИ СИСТЕМ 2		Млекара Кић company
Подаци о испитаном систему			
Назив: Мањи плочасти измењивач топлоте или пастеризатор од 5t са хомогенизатором.			
Сврха система: Пастеризатор има улогу, у зависности од капацитета, да термички обради млеко али да га на крају и охлади како би могао да се настави процес, док хомогенизатор има улогу да уједначи структуру млека.			
Радни услови система: пастеризатор и хомогенизатор се налазе у производном погону, на сувом месту на абијенталној температури од 24°C.			
Начин одржавања: одржавање система је превентивно према стању.			
Подаци о IC камери			
Тип: IC камера Flir E-50.		Фотографија камере 	
Резолуција: 280*180 (43200 тачака).			
Температурни распон: -20 до 120 °C			
Напомена: температурна осетљивост <0,05°C и удаљеност од тачке мерења 1 m (најтачнији резултати).			
Калибрацијски подаци	Тип уређаја: мањи пастеризатор (5t), Температура уређаја: 45°C.		
Параметри објекта	Емпиријски фактор: ε= 0,95, Температура околине: 24°C, удаљеност од објекта: 1m.		
Термографска слика и коментар			
  Извршено је термографско мерење, након чега је установљено, да је min температура 24,2°C, а max 50,8°C, да је температура у мереној тачки 38,3°C код хомогенизатора. Код пумпе пастеризатора min температура је 19,8°C, а max 68,5°C и у тачки мерења 42,9°C.			
Крагујевац	Кандидат: Милош Поскурица	Ментор: др Петар Тодоровић	10.2016.

Факултет инжењерских наука	ИСПИТАНИ СИСТЕМ 3		Млекара Кић company
Подаци о испитаном систему			
Назив: Електро орман пакерице. Сврха система: пакерице јесу специјални машински склопови чији задатак јесте паковање производа у одговарајућу амбалажу. Радни услови система: електро орман пакерица се налази у производном погону, на сувом месту на амбијенталној температури од 24°C. Начин одржавања система: корективно одржавање.			
Технологија испитивања			
Норма: техничка дијагностика, безконтактна метода, инфрацрвена термографија. Задатак: извршити термографско снимање електро ормана пакерице, приказати реалне фотографије, као и термовизијске фотографије, обардити измерене податке и извести закључак заснован на измереним величинама.			
Фотографија система који се испитује			
			
Врши се термовизијско мерење посредством ИС камере. Мерење се обавља над електро орманом пакерице. Електро орман служи за смештање електро подсистема, осигурача, каблова, прекидача, PLC – а, контактора и др. електро компоненти.			
Крагујевац	Кандидат: Милош Поскурица	Ментор: др Петар Тодоровић	10.2016.

Факултет инжењерских наука	ИСПИТАНИ СИСТЕМ 3		Млекара Киш company
Подаци о испитаном систему			
Назив: електро орман пакерице.			
Сврха система: пакерице јесу специјални машински склопови чији задатак јесте паковање производа у одговарајућу амбалажу.			
Радни услови система: електро орман пакерица се налази у производном погону, на сувом месту на абијенталној температури од 24°C.			
Начин одржавања: корективно одржавање.			
Подаци о ИС камери			
Тип: ИС камера Flir E-50.		Фотографија камере 	
Резолуција: 280×180 (43200 тачака).			
Температурни распон: -20 до 120 °C			
Напомена: температурна осетљивост <0,05°C и удаљеност од тачке мерења 1 m (најтачнији резултати).			
Калибрацијски подаци	Тип уређаја: електро орман пакерице, Температура уређаја: 45°C.		
Параметри објекта	Емпиријски фактор: ε= 0,95, Температура околине: 24°C, удаљеност од објекта: 1m.		
Термографска слика и коментар			
			
Извршено је термографско мерење, након чега је установљено, да је min температура 22,9°C, а max 48,5°C, да је температура у мереној тачки 29,3°C код електро ормана пакерице.			
Крагујевац	Кандидат: Милош Поскурица	Ментор: др Петар Тодоровић	10.2016.

6.1 Дискусија експеримента

Применом инфрацрвене термографије извршено је мерење температуре три система: великог пастеризатора, малог пастеризатора са хомогенизатором и електро ормана пакерице. У оквиру експеримента примењена је “факултетска” ИС камера Flir E-50. Мерени системи и подсистеми су део производне опреме предузећа “Кић company”.

Снимањем великог пастеризатора (10 t) ИС камером добијени су следећи резултати: *min* температура 21,6°C, *max* 66,5°C, да је температура у мереној тачки 32,1°C. На основу овога се може закључити да се температура креће у прописаим границама, односно да највишу температуру има зид који загрева млеко, а најнижу зид који га хлади (погледати термографску слику великог пастеризатора). Код пумпе пастеризатора *min* температура је 17,9°C, а *max* 67,4°C и у тачки мерења 47,7°C. На основу овог мерења, може се закључити да је пумпа оптерећена у дозвољеним границама.

Снимањем хомогенизатора (5 t) ИС камером добијени су следећи резултати: *min* температура 24,2°C, *max* 50,8°C, да је температура у мереној тачки 38,3°C. На основу овога се може закључити да се температура креће у прописаим границама, односно да највишу температуру има зид који загрева млеко, а најнижу зид који га хлади (погледати термографску слику малог пастеризатора са хомогенизатором). Код пумпе пастеризатора *min* температура је 19,8°C, а *max* 68,5°C и у тачки мерења 42,9°C. На основу овог мерења, може се закључити да је пумпа оптерећена у дозвољеним границама.

Снимањем електро ормана пакерице ИС камером добијени су следећи резултати: *min* температура 22,9°C, а *max* 48,5°C, да је температура у мереној тачки 29,3°C. На основу добијених резултата мерења температуре може се закључити да је електро орман оптерећен. Односно, на термографској слици се може видети да је део прекидача оптерећени и да има повишену температуру од предвиђене. Може се рећи да су прекидачи преоптерећени и да је време да се приступи адекватној мери одржавања у циљу спречавања отказа и застоја у производњи.

На крају, може се закључити да је примена инфрацрвене термографије значајна за одређивање температуре одговарајућих система. Односно, да измерени параметри имају значајну улогу у области техничке дијагностике и концепта превентивног одржавања.

7. Закључак

На основу изучене литературе и извршеног експеримента може се извести свеобухватни закључак.

Одржавање се спроводи у циљу задржавања или обнављања стања како би систем могао да обавља своју првобитну пројектовану функцију. На основу стања техничког система и у односу на параметре стања одређује се врста одржавања која ће се применити над одговарајућим системом.

За одабир методе одржавања битно је детаљно познавање техничке дијагностике, која значајно може да допринесе одлуци при избору одржавања. Односно, познавању свих метода која техничка дијагностика обухвата, како контактних тако и безконтактних метода, како би се могла одабрати најпогоднија варијата за дати технички систем.

На основу експеримента се може закључити да *ИС* термографија има значајну улогу у превентивном одржавању према стању. Односно да је могуће посредством *ИС* камере дијагностиковати ране проблеме на опреми који могу изазвати отказе исте. Односно, да се на основу термографских слика, слика промене температуре, могу дијагностиковати губитци топлоте, преоптерећеност елемента система, неравномерна распоређеност топлоте, неисправност електришних компоненти и др. како би се предузеле адекватне превентивне мере.

8. Литература

Коришћени уџбеници:

- [1] Петар Тодоровић, *"Основи одржавања"*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2016;
- [2] Петар Тодоровић, Бранислав Јеремић и Иван Мачужић, *"Техничка дијагностика"*, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2009;
- [3] Бабић Мирослав, *"Мониторинг уља за подмазивање"*, Машински факултет, Крагујевац 2004;
- [4] П. Поповић и Г. Ивановић, *"Пројектовање поузданости машинских система"*, Београд 2005;

Коришћени научни радови:

- [5] С. Meola, R.D. Maio, N. Robreti, G.M. Carlomagno, *"Aplication of infrared termography and geophysical methods for defect detection in architectural structures"*, Italy 2005;
- [6] С. Meola and G.M. Carlomagno, *"Recent advances in the use of infrared termography"*, Italy 2004;

Други извори:

- [7] Техничка документација фирме *"Кић Company" d.o.o.*

- [8] Коришћене итернет адресе:

http://www.petersonpredict.com/apps_analyzemechsystems.htm, Септембар 2016;

<https://www.butobu.rs/details/light/index.php?r=2235&usr=greengroup>, Септембар 2016;

<https://www.jenoptik.com/us-variocam-hd-infrared-camera-series>, Септембар 2016;

<http://analyseameter.com/2015/09/fluke-tix1000-infrared-camera-functional-principle-and-modes.html>, Септембар 2016;

http://www.sandhillsthermalimaging.com/Infrared_Electric_Switchgear_Inspections.html, Септембар 2016;

<https://www.linkedin.com/topic/infrared-thermography>, Септембар 2016;

[http://www.df.uns.ac.rs/files/200/josip_fleis_-_diplomski_rad_\(d-560\).pdf](http://www.df.uns.ac.rs/files/200/josip_fleis_-_diplomski_rad_(d-560).pdf), Септембар 2016;