

# Održavanje kogeneracijskih postrojenja

---

Verbić, Matija

Undergraduate thesis / Završni rad

2020

*Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj:* **University of Zagreb, Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet strojarstva i brodogradnje**

*Permanent link / Trajna poveznica:* <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:235:159371>

*Rights / Prava:* [In copyright](#)/[Zaštićeno autorskim pravom.](#)

*Download date / Datum preuzimanja:* **2024-07-24**

*Repository / Repozitorij:*

[Repository of Faculty of Mechanical Engineering and Naval Architecture University of Zagreb](#)



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

**Matija Verbić**

Zagreb, 2020. godina.

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE

# ZAVRŠNI RAD

Mentor:

Prof. dr. sc. Dragutin Lisjak, dipl. ing.

Student:

Matija Verbić

Zagreb, 2020. godina.

Izjavljujem da sam ovaj rad izradio samostalno koristeći znanja stečena tijekom studija i navedenu literaturu.

Zahvaljujem se prof. dr. sc. Dragutinu Lisjaku na pomoći i svim savjetima tijekom izrade ovog završnog rada. Također se zahvaljujem svim djelatnicima tvrtke INA d.d. i STSI d.o.o. na ustupljenom vremenu i pomoći. Najviše se zahvaljujem svojoj obitelji na razumijevanju i podršci tijekom cijelog školovanja.

Matija Verbić



SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
**FAKULTET STROJARSTVA I BRODOGRADNJE**



Središnje povjerenstvo za završne i diplomske ispite  
Povjerenstvo za završne ispite studija strojarstva za smjerove:  
proizvodno inženjerstvo, računalno inženjerstvo, industrijsko inženjerstvo i menadžment, inženjerstvo  
materijala i mehatronika i robotika

Sveučilište u Zagrebu Fakultet strojarstva i brodogradnje	
Datum	Prilog
Klasa:	
Ur.broj:	

## ZAVRŠNI ZADATAK

Student: **MATIJA VERBIĆ** Mat. br.: 0035207721

Naslov rada na hrvatskom jeziku: **ODRŽAVANJE KOGENERACIJSKIH POSTROJENJA**

Naslov rada na engleskom jeziku: **MAINTENANCE OF COGENERATION PLANTS**

Opis zadatka:

Kogeneracija predstavlja proces istovremene proizvodnje električne i korisne toplinske energije. Kogeneracijska postrojenja nalaze primjenu u toplinskim sustavima gradova, bolnica, rafinerija nafte, tvornica papira, postrojenja za obradu otpadnih voda i industrijskih postrojenja s velikim potrebama za grijanjem. Kako bi se postigao pravilan rad kogeneracijskog postrojenja, a time i cjelokupnog sustava koji o njemu ovisi, potrebno je na pravilan način održavati kogeneracijsko postrojenje. U skladu s navedenim, u radu je potrebno:


1. Detaljno opisati preventivno i prediktivno održavanje.
2. Na konkretnom primjeru kogeneracijskog postrojenja potrebno je:
  - 2.1 Opisati način rada postrojenja.
  - 2.2 Detaljno opisati strategije održavanja koje se primjenjuju.
  - 2.3 Predložiti poboljšanje postojećih procesa održavanja.
3. Analizom sprovedenog istraživanja izvesti zaključak.

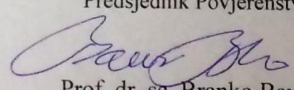
Zadatak zadan:  
28. studenog 2019.

Datum predaje rada:  
1. rok: 21. veljače 2020.  
2. rok (izvanredni): 1. srpnja 2020.  
3. rok: 17. rujna 2020.

Predviđeni datumi obrane:  
1. rok: 24.2. – 28.2.2020.  
2. rok (izvanredni): 3.7.2020.  
3. rok: 21.9. - 25.9.2020.

Zadatak zdao:

  
Prof. dr. sc. Dragutin Lisjak

Predsjednik Povjerenstva:  
  
Prof. dr. sc. Branko Bauer

## SADRŽAJ

SADRŽAJ .....	I
POPIS SLIKA .....	II
POPIS TABLICA .....	III
SAŽETAK .....	IV
SUMMARY .....	V
1. UVOD .....	1
2. PREVENTIVNO I PREDIKTIVNO ODRŽAVANJE .....	2
2.1 Preventivno održavanje .....	2
2.1.1 Određivanje intervala obavljanja pregleda i zamjene dijelova .....	3
2.1.2 Planska zamjena dijelova .....	4
2.2 Prediktivno održavanje .....	6
2.2.1 Prediktivno održavanje mjerenjem vibracija .....	8
2.2.2. Prediktivno održavanje mjerenjem temperature .....	14
2.2.3. Prediktivno održavanje analizom ulja .....	17
3. ODRŽAVANJE KOGENERACIJSKOG POSTROJENJA CPS MOLVE .....	22
3.1 Način rada postrojenja .....	23
3.2 Strategije održavanja koje se koriste .....	26
3.3 Moguća poboljšanja procesa održavanja .....	30
4. ZAKLJUČAK .....	32
LITERATURA .....	33
PRILOZI .....	35

**POPIS SLIKA**

Slika 1.	Utjecaj učestalosti pojave kvarova na postupke održavanja.....	3
Slika 2.	Postupak uvođenja prediktivnog održavanja.....	7
Slika 3.	Horizontalni, vertikalni i aksijalni senzori na ležaju motor.....	10
Slika 4.	Otkrivanje uzroka vibracija analizom frekvencijskog spektra.....	11
Slika 5.	Prijenosni uređaj za mjerenje vibracija.....	12
Slika 6.	Nastajanje impulsa prolaskom preko oštećenja.....	13
Slika 7.	Procjena stanja ležajeva SPM metodom.....	13
Slika 8.	Termovizijska kamera.....	14
Slika 9.	Termografska slika ležaja pumpe.....	15
Slika 10.	Termografska slika kotla.....	16
Slika 11.	Termografska slika vodova pare.....	16
Slika 12.	Čestice metala u uzorku ulja.....	18
Slika 13.	Prijenosni uređaj za analizu ulja.....	19
Slika 14.	Učinak čestice nečistoće između dvije podmazivane površine.....	20
Slika 15.	Sustav podmazivanja zatvorene petlje.....	21
Slika 16.	Kogeneracijsko postrojenje.....	22
Slika 17.	Blok shema energane CPS-Molve.....	23
Slika 18.	Presjek plinske turbine.....	24
Slika 19.	Generator Končar SB1254-4.....	24
Slika 20.	Reduktor.....	25
Slika 21.	Kotao-utilizator.....	25
Slika 22.	Kontinuirano mjerenje vibracija.....	28
Slika 23.	Nakupine čađe.....	29
Slika 24.	Oštećenja lopatica turbine.....	29
Slika 25.	Položaji senzora vibracija.....	30
Slika 26.	Kamera za detekciju požara.....	31

## POPIS TABLICA

Tablica 1.	Procjena vibracijskog stanja opreme.....	9
Tablica 2.	Vrste čestica i njihovi izvori.....	19
Tablica 3.	Uobičajeni intervali uzimanja uzoraka.....	21



## **SAŽETAK**

Ovaj završni rad opisuje strategije održavanja te opis rada i održavanja kogeneracijskog postrojenja Centralne plinske stanice Molve. U prvom dijelu rada opisane su strategije održavanja. Općenito je opisano preventivno održavanje te način određivanja intervala obavljanja kontrolnih pregleda i planske zamijene dijelova. Zatim je opisano prediktivno održavanje. Detaljno je opisana strategija prediktivnog održavanja mjerenjem vibracija s analizom vibracija i načinom uvođenja te je opisano mjerenje vibracija kotrljajućih ležajeva. Nakon toga opisano je prediktivno održavanje mjerenjem temperature s mogućim primjenama te prediktivno održavanje analizom ulja u sklopu kojega se opisane tehnike analize ulja s postupcima i intervalima uzimanja uzoraka. U drugom dijelu radan opisan je rad kogeneracijskog postrojenja Centralne plinske stanice Molve s opisom glavnih dijelova. Zatim su opisane strategije održavanja koje se koriste, te je na kraju dan prijedlog mogućeg poboljšanja održavanja uvođenjem pametnog održavanja

Ključne riječi: preventivno održavanje, prediktivno održavanje, mjerenje vibracija, mjerenje temperature, analiza ulja, kogeneracijsko postrojenje, pametno održavanje

## **SUMMARY**

This undergraduate thesis describes the maintenance strategies and description of the operation and maintenance of cogeneration unit of Central gas station Molve. The first part of paper describes maintenance strategies. Preventive maintenance is generally described, as well as a method for determining the interval of inspection and planned replacement of parts. Then predictive maintenance is described. The strategy of predictive maintenance by vibration measurement with vibration analysis and method of introduction is described, as well as vibration measurement of rolling bearings. Subsequently, predictive maintenance by measuring temperature is described with possible applications. Also predictive maintenance by oil analysis with oil analysis techniques with sampling procedures and intervals. The second part describes the operation of the Central gas station Molve cogeneration unit with a description of the main parts. Then, the maintenance strategies that are used are described. At the end, suggestion is made of possibly improving maintenance by introducing smart maintenance.

Key words: preventive maintenance, predictive maintenance, vibration measurement, temperature measurement, oil analysis, cogeneration plant, smart maintenance

## 1. UVOD

Mnoga velika postrojenja, kako bi zadovoljila potrebe velike količine toplinske i električne energije, koriste vlastita kogeneracijska postrojenja (energane). Proizvedena električna energija koristi se najčešće za pokretanje elektromotora, dok se toplinska energija koristi za grijanje građevina, proizvodnju pare ili vruće vode za proizvodne procese. Iskorištavanjem električne i toplinske energije iz kogeneracijskog procesa povećava se ukupna učinkovitost u odnosu na konvencionalne elektrane, te se time smanjuje ukupna potrošnja energije.

Kako bi kogeneracijsko postrojenje radilo bez prekida, potrebno ga je održavati. S porastom značaja održavanja, razvijale su se različite strategije održavanja. Najjednostavnija strategija održavanja je korektivno održavanje kod kojeg se postupci održavanja provode nakon nastanka kvara, zbog čega se koristi u industriji s opremom male vrijednosti. Vrlo često upotrebljavana strategija održavanja je plansko-preventivno održavanje, kod kojega se dijelovi mijenjaju po konstantnom ciklusu, najčešće broju radnih sati stroja. Novije strategije održavanja temelje se na predviđanju pojave kvara mjerenjem i analiziranjem parametara pomoću kojih je moguće uvidjeti stanje strojeva. Korištenjem različitih strategija održavanja nastoji se osigurati što pouzdaniji rad kogeneracijskog postrojenja, a time i smanjenje gubitaka uslijed zastoja cjelokupnog sustava.

## 2. PREVENTIVNO I PREDIKTIVNO ODRŽAVANJE

Preventivno održavanje, jednako kao i prediktivno održavanje, temelji se na aktivnostima održavanja koje se provode prije pojave kvara kako bi se spriječila pojava kvara u budućnosti [1].

### 2.1. Preventivno održavanje

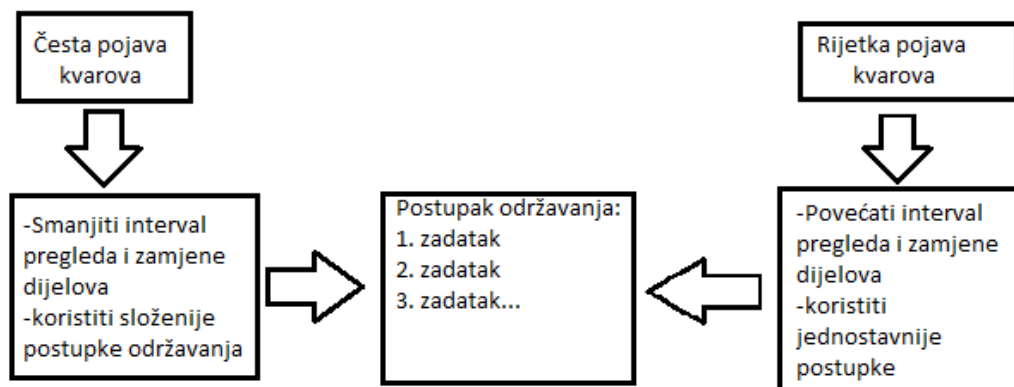
Preventivno održavanje provodi se aktivnostima održavanja prije nego dođe do kvara ili oštećenja po unaprijed određenom planu. Sastoji se od pregleda, čišćenja i pranja, podmazivanja i zamjene dijelova koji se obavljaju planski po unaprijed određenom kriteriju koji mogu biti vrijeme, prijedni put, izrađena količina proizvoda. Pregledima se obavlja kontrola funkcionalnosti komponenti sustava vizualno, osjetilima (vid, sluh) s ciljem utvrđivanja neispravnosti kako bi se spriječila teža oštećenja i kvarovi. Otklanjanje neispravnosti obavlja se kad je to moguće bez prekidanja proizvodnog procesa ili u što kraćem vremenskom roku ako se proizvodni proces mora prekinuti. Čišćenje, pranje i podmazivanje obavljaju se kako bi se spriječila pojava neispravnosti, obavljaju ih za to osposobljeni radnici, a mogu uključivati i djelomične demontaže komponenti za što nisu potrebni specijalni alati. Zamjene dijelova obavljaju se po unaprijed definiranom postupku koji sadržava sredstva rada i lokaciju, potreban broj radnika za izvršenje, kratki opis operacija održavanja, vrijeme potrebno za obavljanje te datum ili neki kriterij koji ukazuje na potrebu preventivnog održavanja [1]. Plan održavanja ( pregleda, čišćenja, zamjene dijelova) određuje se iz:

- uputstva za rukovanje i održavanje od proizvođača opreme
- preporuka prodavača opreme
- tehnička dokumentacija
- povijest održavanja stroja
- iskustva inženjera održavanja
- preporuka konzultanata
- propisanih zakona za određenu vrstu opreme

Uputstva za rukovanje i održavanje od proizvođača opreme potrebno je slijediti kod novih strojeva koji su pokriveni garancijom. Pojedini proizvođači opreme imaju veliku količinu znanja o pojavi kvarova iz analize rada strojeva u različitim uvjetima, dok pojedini proizvođači preporučuju i češću izmjenu dijelova kako bi sebi povećali profit i izbjegli popravak strojeva u garantnom roku. Nakon isteka garancije, poduzeća mogu prilagoditi planove održavanja s obzirom na iskustvo koje posjeduju. Često poduzeća koja koriste mnogo strojeva imaju više iskustva u njihovom održavanju od proizvođača opreme. Prilagodba planova održavanja moguća je i na temelju priručnika ili preporuka konzultantskih kuća[2].

### 2.1.1 Određivanje interval obavljanja pregleda i zamjene dijelova

Određivanje intervala obavljanja pregleda i zamjene dijelova vrlo je kompleksan zadatak preventivnog održavanja koji se može obaviti na nekoliko načina. Uobičajeno se zahtjevniji zadaci za koje je potrebno više vremena rjeđe izvode od jednostavnijih. Jedan od načina određivanja intervala je uzeti interval zamjene koji preporuča proizvođač opreme ili drugi korisnik strojeva. Ovakav način pogodan je kod uporabe standardnih strojeva u standardnim uvjetima rada. Kod korištenja specijalne opreme, uzima se interval zamjene koji preporuča proizvođač opreme pa se on prilagodi uvjetima korištenja. Ukoliko se kvarovi opreme ili strojeva događaju često, potrebno je prilagoditi postupke održavanja ili smanjiti intervale zamjene dijelova i pregleda, a ukoliko se kvarovi događaju vrlo rijetko, potrebno je povećati interval. Prečestom zamjenom dijelova nepotrebno rastu troškovi održavanja.



Slika 1. Utjecaj učestalosti pojave kvarova na postupke održavanja [2]

Intervali pregleda i zamjene dijelova moraju biti određeni tako da omogućuju zapažanje trošenja strojeva, a mogu biti izraženi prema jednom od sljedećih kriterija:

- vrijeme: najčešće upotrebljavan kriterij, najjednostavniji je i najbolji za opremu koja se redovito koristi, nije pogodan ako strojevi rade različit broj sati dnevno (Primjer: svaki dan podmazati glavni ležaj, svakih mjesec dana očistiti filter)
- očitavanje brojila (radnih sati, kilometara): često se koristi kod opreme koja se ne koristi redovito, teško je predvidjeti kad će biti potrebno održavanje te je potrebno često očitavanje brojila (Primjer: zamijeniti remen kompresora nakon 5000 radnih sati)
- energija (potrošnja električne energije ili goriva): često se koristi kod održavanja kotlova, građevinske opreme i brodskih motora gdje se trošenjem strojeva povećava potrošnja energije. Mane ovog kriterija su troškovi opreme za mjerenje energije i teško predviđanje potrebe za održavanjem bez prijašnjih podataka o potrošnji.
- broj izrađenih dijelova: omogućava lako planiranje održavanja nakon što se zna plan proizvodnje, ali je potreban dodatan rad da bi se prikupili podaci

Problem koji se može pojaviti kod planski obavljanih pregleda i zamjene dijelova je gubitak sinkronizacije planiranih zadataka uslijed odgađanja izvršenja zadataka ili zadaci jednostavno nisu napravljeni uopće. Tada je potrebno obaviti odgađani zadatak održavanja te nastaviti po unaprijed definiranom planu ili pomaknuti interval izvršenja zadatka [2].

### **2.1.2 Planska zamjena dijelova**

Planska zamjena dijelova koristi se kako bi se izbjegla pojava kvarova. Pomoću povijesti pojave kvarova, moguće je predvidjeti kada će se sljedeći kvar pojaviti te pomoću toga odrediti interval planske zamjene dijelova. Na zamijenjenim dijelovima uvijek su mogući kvarovi a time i potreba za korektivnim održavanjem. Zbog toga se planska zamjena dijelova ne koristi kod novih strojeva kod kojih je rizik pojave kvara veći. Nakon zamjene, pojedini dijelovi prolaze pregled i reparaciju ako je ona moguća, a ostali dijelovi se odbacuju. Dijelovi koji se repariraju su najčešće motori, prijenosnici, pumpe i kompresori, dok se dijelovi poput ležajeva, remenja i ostalih jeftinijih dijelova odbacuju [2].

Iako je planska zamjena dijelova skupa opcija te se nastoji povećati pouzdanost dijelova kako bi se rjeđe morali mijenjati, ona ima i niz prednosti [2]:

- izmjena dijelova prije pojave kvara koji bi mogli uzrokovati veće oštećenje strojeva
- planiranje vremena zastoja stroja
- specijalni alati mogu biti planski iznajmljeni što snižava troškove
- rezervni dijelovi mogu se naručiti za planirano vrijeme izmjene što smanjuje potrebu skladištenja mnogo rezervnih dijelova
- reparacije dijelova mogu poslužiti za izobrazbu novih radnika
- reparacijom dijelova smanjuju se troškovi nabavke novih
- smanjuje se udio korektivnog održavanja

## 2.2 Prediktivno održavanje

Prediktivno održavanje dijagnostički je proces određivanja stanja komponenti tehničkih sustava koji se mogu mjeriti i čije ponašanje je moguće kontrolirati određenim parametrima. Većina strojeva svoja funkcionalna svojstva ne gube odjednom, već postupno te su s time oštećenja i kvarovi posljedice laganog trošenja čiji se nagovještaj pojavljuje ranije. Tehničkom dijagnostikom nastoji se utvrditi stanje određene komponente tehničkog sustava u trenutku kako bi se analizom informacija i praćenjem stanja spriječila pojava kvara ili se on brzo locirao kad se pojavi. Dijagnostikom su obuhvaćeni postupci i metode za praćenje rada komponenti, a time i tehničkih sustava mjerenjem fizikalnih veličina značajnih za rad. Usporedbom s vrijednostima normalnog rada ocjenjuju se stanje komponenti i sustava te se donose odluke o aktivnostima održavanja ako su one potrebne. Tehnička dijagnostika najprije se primjenjivala u zrakoplovnoj i nuklearnoj industriji, a danas se primjenjuje kod važnih proizvodnih linija i ostalih pogona gdje je potrebna visoka pouzdanost sustava [1].

Za mjerenje fizikalnih veličina može se koristiti već postojeća, jednostavna oprema poput voltmetra ili se može nabaviti specijalna oprema. Promjene iznosa izmjerenih parametara ukazuju na promjene u funkcionalnosti rada strojeva. Mjerenja se mogu obavljati u vremenskim intervalima dnevno, tjedno, mjesečno ili rjeđe. Ovakav način mjerenja učinkovit je kada se kritično trošenje koje uzrokuje kvar traje dulje od intervala mjerenja [2].

Ukoliko je vrijeme od pojave trošenja do kvara vrlo kratko, koristi se kontinuirano mjerenje parametara. Mjerni instrumenti povezuju se s PLC-ovima ili standardnim računalima koja podatke mjerenja mogu uzimati svakih nekoliko milisekundi. Ukoliko računalo detektira mjerenje izvan granica rada, oglašava se alarm ili se pokreće automatski proces gašenja stroja. Granice normalnog rada mjerenog parametra i kritične vrijednosti istrošenja koje dovode do oštećenja ili kvara potrebno je unaprijed znati. Velika prednost konstantnog mjerenja parametara je da se mjerenja obavljaju u toku rada stroja[2]. U praksi se najčešće mjeri kombinacija parametara, a najčešći su:

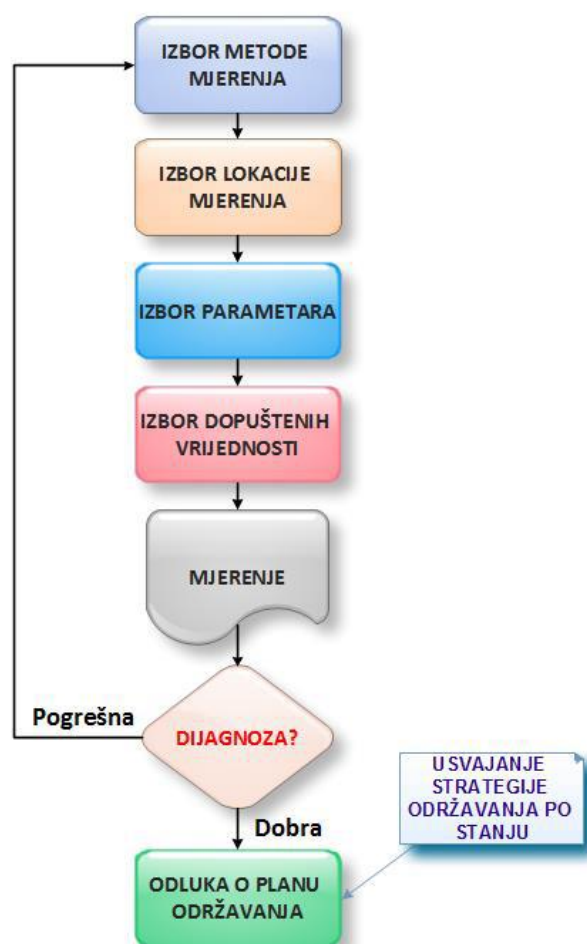
- razina vibracija
- razina buke
- napon struje



- količina proizvoda
- nečistoće u ulju
- temperatura
- protok fluida

Parametri koji će se mjeriti zavise od funkcije tehničkog sustava i oni moraju najbolje oslikavati rad i trošenje komponenti.

Uvođenje prediktivnog održavanja sastoji se od izbora metode mjerenja, izbora lokacije i određivanja granica vrijednosti parametara, mjerenja parametara i njihove analize te donošenje odluke o planu održavanja (slika 2.) [1].



Slika 2. Postupak uvođenja prediktivnog održavanja [1]

Metode prediktivnog održavanja su:

- Vizualna kontrola
- Kontrola temperature
- Kontrola pukotina i naprslina
- Kontrola mjerenjem vibracija
- Kontrola mjerenjem buke
- Kontrola korozije
- Kontrola podmazivanjem

Izbor metode, lokacije i parametra mjerenja provodi se temelju uvjeta rada tehničkih sustava, logičkih shema uzročno-zavisnih parametara koji utječu na radnu sposobnost sustava i analize stroja [1].

Uvođenjem prediktivnog održavanja ostvaruje se niz prednosti [3]:

- Smanjenje troškova održavanja
- Smanjenje iznenadnih kvarova
- Smanjenje vremena održavanja
- Smanjenje potrebnih rezervnih dijelova u skladištu
- Povećava se vrijeme između kvarova stroja

### 2.2.1 Prediktivno održavanje mjerenjem vibracija

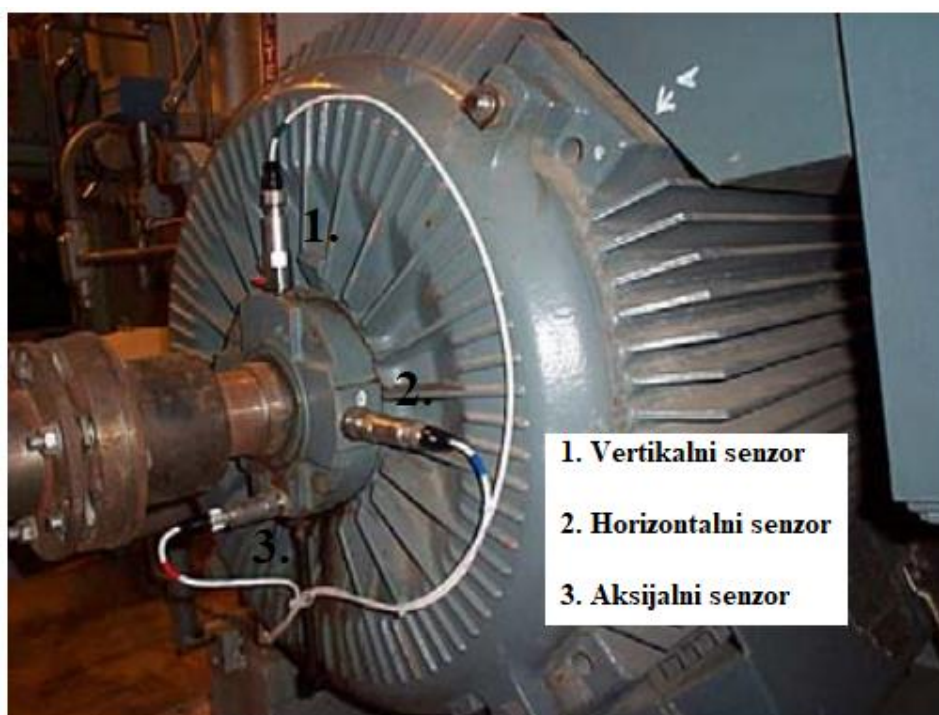
Održavanje mjerenjem vibracija, odnosno vibrodijagnostika najraširenija je metoda prediktivnog održavanja postrojenja i strojeva. Vibracije su pojava oscilacije oko ravnotežnog položaja, pri čemu se intenzitet mijenja naizmjenično iznad i ispod ravnotežne vrijednosti. One mogu biti periodičke ili nasumične, a mjerni parametri kojima se mjere su akceleracija ( $\text{mm/s}^2$ ), brzina ( $\text{mm/s}$ ) i pomak ( $\text{mm}$ ).[1] Vibracije se analiziraju u frekvencijskoj domeni, te ukoliko se pojavljuju ispod 1000 Hz tada je brzina najbolji pokazatelj ozbiljnosti vibracija, a ukoliko se pojavljuju iznad 2000 Hz, akceleracija je najbolji pokazatelj.[2] Za mjerenje vibracija koriste se pretvornici vibracija, odnosno senzori koji pretvaraju energiju vibracija u drugi tip energije (npr. napon). Najčešće korišteni senzori su akcelerometri, senzori brzine i senzori pomaka.

Pomoću vibracija moguće je otkriti stanje opreme budući da amplituda svake vibracijske komponente ostaje konstantna ukoliko se ne promjeni dinamika tehničkog sustava. Jednako tako svaki tip oštećenja ili kvara ima karakterističnu komponentu vibracijskih frekvencija koje se mogu filtrirati i definirati. Za procjenu stanja vibrodijagnostikom, potrebno je poznavati inicijalno stanje opreme, odnosno potrebno je mjeriti vibracije „zdrave“ opreme[1].

**Tablica 1. Procjena vibracijskog stanja opreme [2]**

Gornja granica vibracija		GRUPE STROJEVA					
Ubrzanje, G	Brzina, mm/s	1	2	3	4	5	6
<b>0.36</b>	<b>0.28</b>						
<b>0.58</b>	<b>1.45</b>			DOBRO			
<b>0.91</b>	<b>0.71</b>						
<b>1.4</b>	<b>1.12</b>						
<b>2.3</b>	<b>1.8</b>						
<b>3.6</b>	<b>2.8</b>						
<b>5.8</b>	<b>4.5</b>			ZADOVOLJAVAJUĆE			
<b>9.1</b>	<b>7.1</b>						
<b>14.3</b>	<b>11.2</b>			POTREBNO			
<b>23.5</b>	<b>18</b>				POBOLJŠANJE		
<b>35.7</b>	<b>28</b>						
<b>58.2</b>	<b>45</b>			LOŠE			
<b>91</b>	<b>71</b>						

Dopuštene razine vibracija različite su za pojedine grupe strojeva (slika 3.). U prvu skupinu strojeva spadaju manji strojevi, poput elektromotora, snage do 15 kW. Druga skupina strojeva su srednje veliki strojevi snage do 75 kW bez specijalnih temelja i strojevi snage do 300 kW na specijalnim temeljima. Treću i četvrtu skupinu čine veliki strojevi, s time da u treću skupinu spadaju oni s krutim temeljima, a u četvrtu oni s mekim temeljima u smjeru mjerenja vibracija. U petu skupinu spadaju strojevi s nebalansiranim dijelovima kao strojevi s stapnim mehanizmima s krutim temeljima, a šesta skupina su jednaki strojevi ali na mekim temeljima. Cikličkim ili kontinuiranim mjerenjem vibracija detektiraju se odstupanja od inicijalnog stanja opreme i procjenjuje se stanje opreme. Vibracije se mjere u vertikalnom, horizontalnom i aksijalnom smjeru (slika 3.).



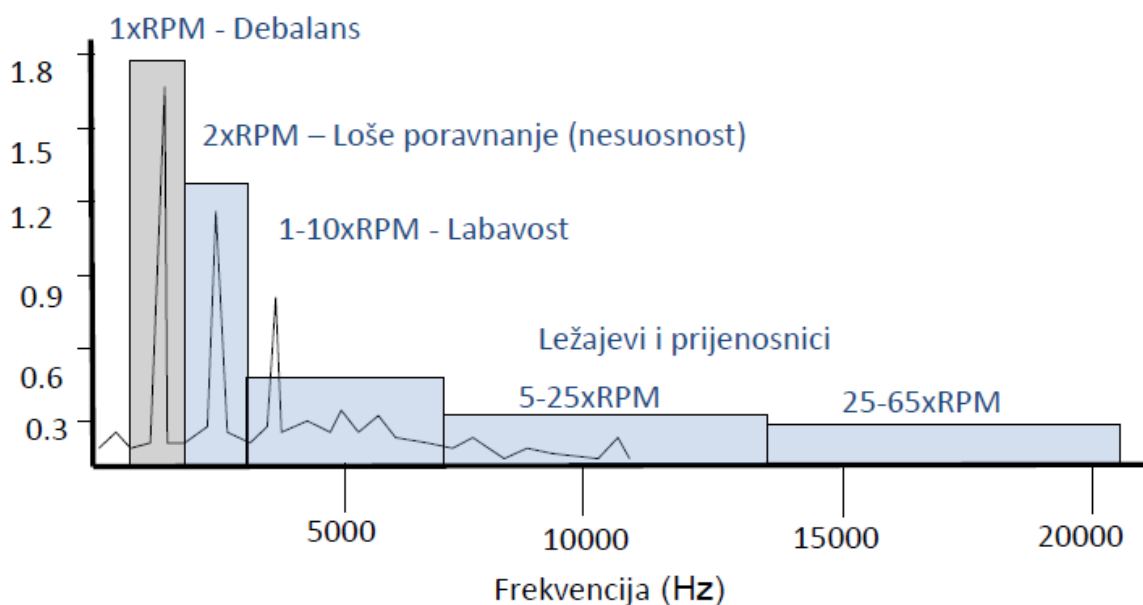
**Slika 3. Horizontalni, vertikalni i aksijalni senzori na ležaju motora [4]**

Kod cikličkih mjerenja vibracija, za pravilnu procjenu stanja opreme potrebno je mjeriti vibracije na istim mjestima uz pravilan položaj senzora. Mnogo velikih motora i turbina imaju ugrađene mjerne vibracije te se na njima vibracije mjere kontinuirano. Informacije o vibracijama šalju se na upravljački sustav koji može oglasiti alarm ili ugaziti stroj ukoliko vibracije prelaze unaprijed određene granice. Ukoliko vibracije prijeđu dopuštene granice, potrebno je otkriti njihov uzrok kako bi se on uklonio [2].

Uzroci vibracija su [1]:

- Loše poravnanje
- Debalans
- Kvar ležaja ili nedostatak ulja u ležajevima
- Labavost spojeva
- Progib vratila ili osovine
- Problemi sa remenskim prijenosom
- Problemi sa zupčanicima
- Kavitacija
- Napuknuće vratila ili osovine
- Rezonancija
- Preveliko trenje okretnih dijelova u dodiru

Uzroci vibracija kod nižih frekvencija su debalans, loše poravnanje i labavost, a kod visokih frekvencija vibracije uzrokuju valjni ležajevi i prijenosnici (slika 4.)



**Slika 4. Otkrivanje uzroka vibracija analizom frekvencijskog spektra [1]**

Zbog vibracije opreme može doći do raznih problema, poput opterećenja ležajeva i njihovog ubrzanog trošenja, skraćanja životnog vijeka opreme, povećanog utroška energije i štetnog djelovanja na okolinu.

Postupak uvođenja prediktivnog održavanja mjerenjem vibracija sastoji se od sljedećih koraka [2]:

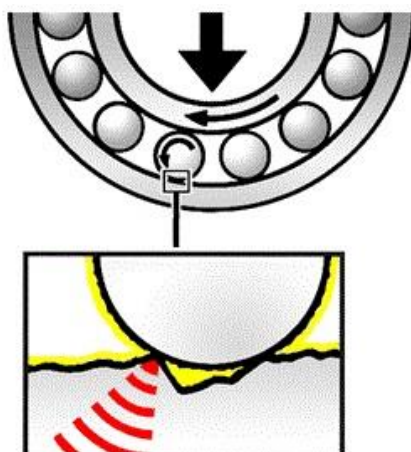
1. Kupiti ili iznajmiti prijenosni uređaj za mjerenje vibracija (slika 5.).
2. Osposobiti radnike za korištenje uređaja i analizu vibracija-analiza vibracija zahtjeva detaljno poznavanje stroja koji se analizira
3. Mjeriti vibracije ciklički
4. Mjeriti vibracije nove opreme nakon instalacije
5. Uspoređivati mjerenja i procijeniti stanje opreme
6. Bez odgađanja provest postupke održavanja ako je potrebno i utvrditi uzroke povećanja vibracija
7. Zabilježiti i analizirati očitavanja vibracija prije i nakon popravka stroja



**Slika 5. Prijenosni uređaj za mjerenje vibracija [5]**

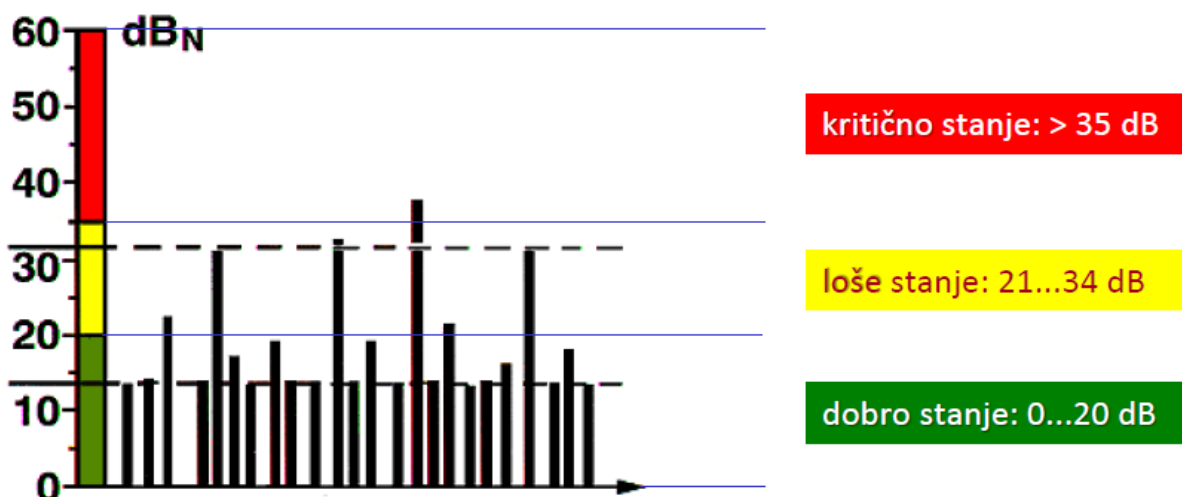
Uvođenje prediktivnog održavanja mjerenjem vibracija iziskuje određena troškove ulaganja u opremu i osposobljavanje radnika, ali se uložena sredstva brzo isplate [2].

Mjerenje vibracija kotrljajućih ležajeva, ali i mjenjača, vijčanih i centrifugalnih kompresora moguće je putem metode udarnih impulsa SMP ( Shock Pulse Method). Metoda se temelji na mjerenju impulsa koji nastaju kada kotrljajući element prijeđe preko oštećenja. (slika 6.)



Slika 6. Nastajanje impulsa prolaskom preko oštećenja [1]

Impulsi koji nastaju prolaskom preko oštećenja vrlo su male amplitude pa se za pojačavanje tih signala, kako bi se lakše detektirali, koriste posebni akcelerometri i filteri za uklanjanje vibracija stroja. Mjerenjem udarnih impulsa može se procijeniti stanje ležajeva (slika 7.) i mogući kvarovi unutarnje ili vanjske staze, kotrljajućih elemenata ili podmazivanja ležaja. Daljnjim korištenjem ležaja nakon pojave oštećenja, oštećenje se povećava pa time nastaju sve jači impulsi. Impulsi jačine do 20 dB označavaju dobro stanje ležaja, a između 20 i 34 dB loše stanje. Kod pojave impulsa jačih od 35 dB ležaj je u kritičnom stanju te nastupa rizik od njegovog otkazivanja, a time i veće štete na stroju [1].



Slika 7. Procjena stanja ležajeva SPM metodom [1]

### 2.2.2 Prediktivno održavanje mjerenjem temperature

Od početka industrije, mjerenje temperature bio je problem. Povišena temperatura nastaje kao posljedica povećanja trenja ili električnog otpora, a rani je znak oštećenja ili kvara opreme, posebice kod prijenosnika snage. Mjerenje temperature drugačije je od drugih metoda prediktivnog održavanja zbog postojanja opasnosti od visokih temperatura. Kako bi se izbjegla ta opasnost, temperatura se mjeri sondama ugrađenima u stroj ili infracrvenim kamerama. Sonde se koriste za kontinuirano praćenje temperature, dok se infracrvenim kamerama temperatura prati ciklički. Veliki motori, bojleri i turbine imaju ugrađene sonde za mjerenje temperature. Ukoliko su sonde povezane s upravljačkim računalom, kada temperatura prijeđe unaprijed određene granice oglašava se alarm ili se pokreće proces zaustavljanja stroja kako bi se spriječili veći kvarovi [2].

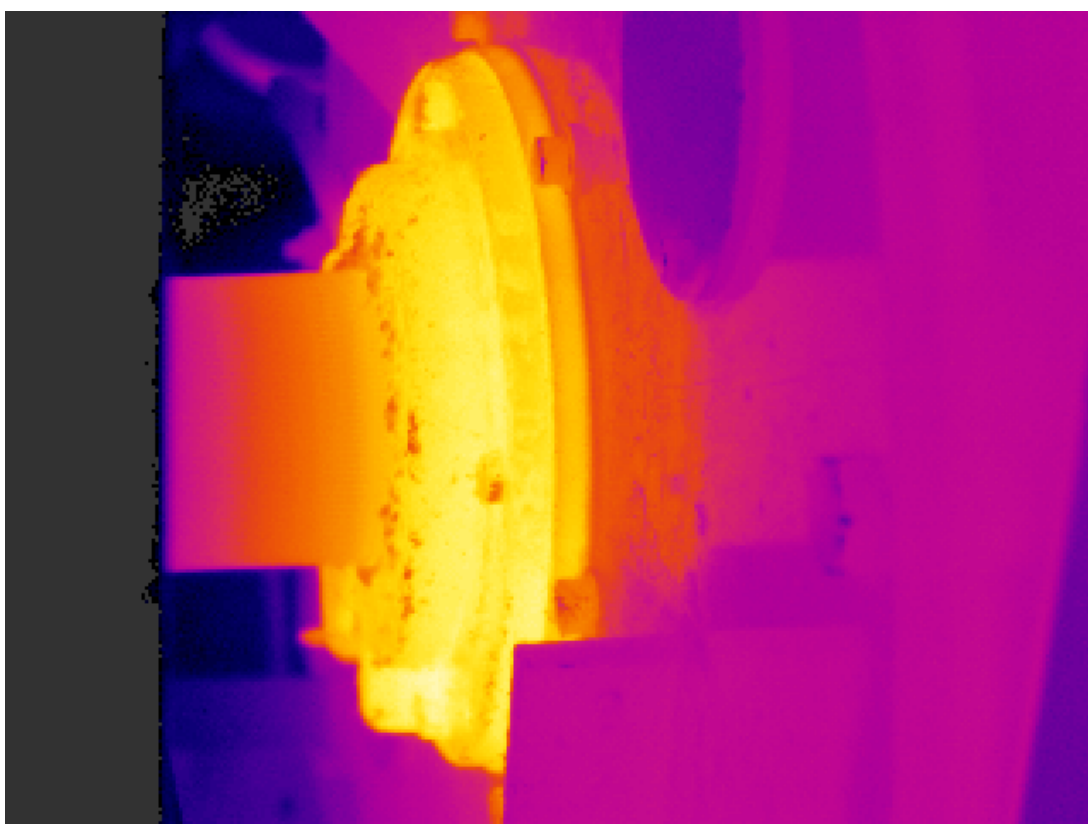
Infracrvena termografija je beskontaktna metoda mjerenja temperature i raspodjele po snimanom tijelu, a temelji se na mjerenju intenziteta zračenja s promatrane površine. Mjerenja se mogu obaviti s udaljenosti od nekoliko metara od objekta posebnim kamerama (slika 8.) što infracrvenu termografiju čini sigurnom metodom [6].



Slika 8. Termovizijska kamera [7]



Rezultat termografskog mjerenja je termogram koji u sivim tonovima ili nekom kodu boja daje sliku temperaturne raspodjele na površini promatranog objekta (slika 9.). Analiza termograma daje informacije o različitim stanjima, odnosno temperaturama promatranog objekta ili je odraz strukture unutrašnjeg stanja. Termografski dobiveni rezultati mogu se obraditi kvalitativno ili kvantitativno. Kvalitativna analiza omogućuje zaključivanje na osnovi termograma o toplijim i hladnijim mjestima i na temelju iskustva operatera o mogućim uzrocima tih temperaturnih nehomogenosti. Za razliku od kvalitativne analize, kvantitativna daje podatke o iznosima najmanje, najveće ili prosječne temperature na pojedinim točkama ili površinama što je važno u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom [6].

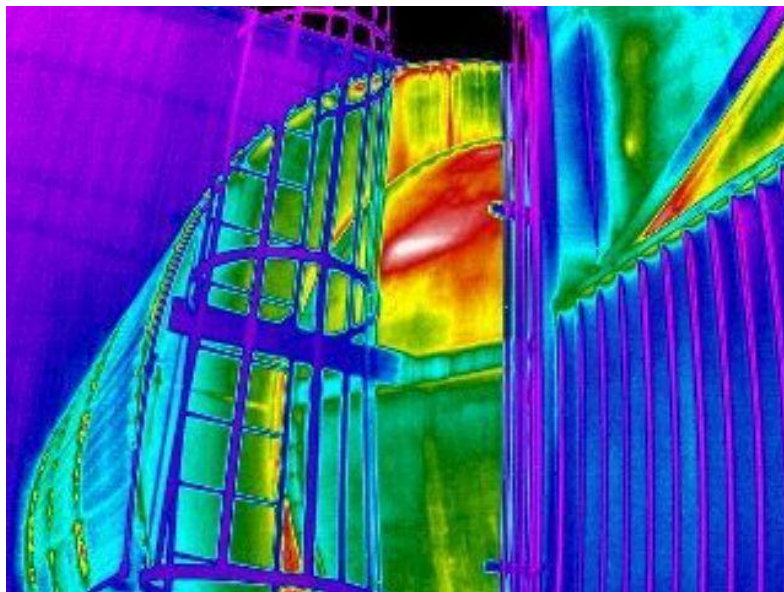


**Slika 9. Termografska slika ležaja pumpe [8]**

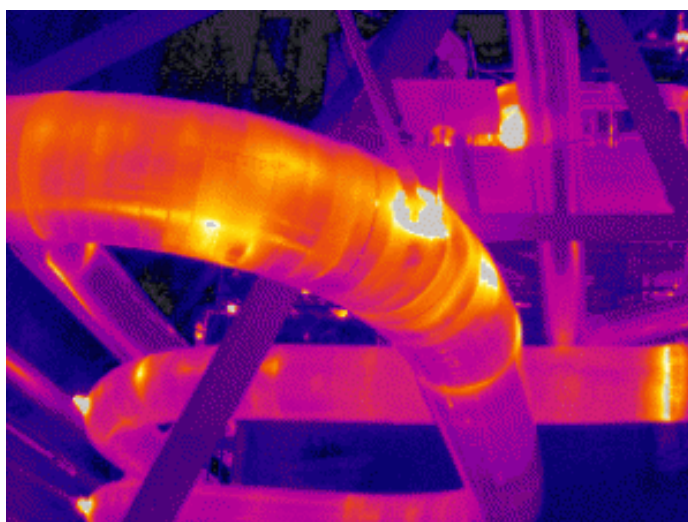
Do povišenih temperatura i pregrijavanja opreme najčešće dolazi zbog trošenja, slabog ili prejakog podmazivanja te asimetričnosti sustava, dok su kod električne opreme uzroci pregrijavanja oslabljeni kontakti, nečistoće ili korozija. Infracrvena termografija može se koristiti i za [2]:

- Provjeru propadanja stijenki kod kotlova (slika 10.)

- Provjeru oštrote alata kod alatnih strojeva
- Provjeru distribucije temperatura kod lijevanja i injekcijskog lijevanja
- Provjeru rada izmjenjivača topline
- Provjeru začepljenosti ili curenja vodova pare (slika 11.)
- Provjeru jednakosti grijanja kod indukcijske opreme za grijanje
- Provjeru izolacije



**Slika 10.** Termografska slika kotla [9]



**Slika 11.** Termografska slika vodova pare [10]

### 2.2.3 Prediktivno održavanje analizom ulja

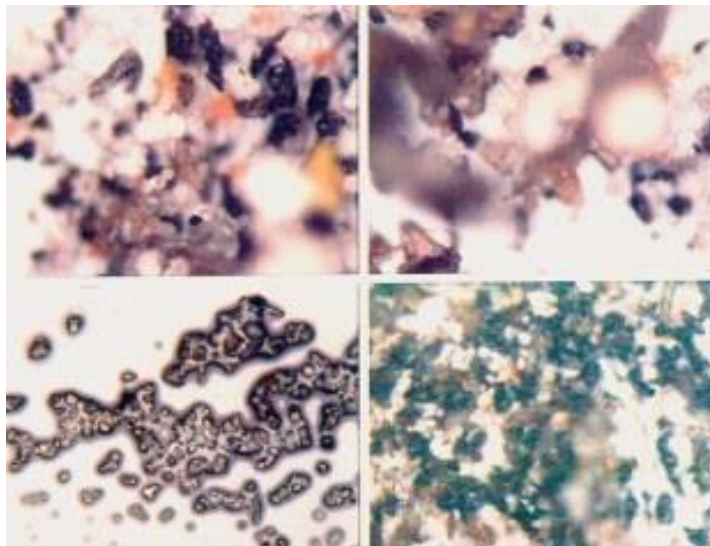
Jedna od popularnijih metoda prediktivnog održavanja za procjenu stanja i kvarova je kemijska analiza, odnosno analiza ulja. Jednostavnu analizu ulja moguće je provesti na licu mjesta bez posebne opreme kroz sljedeći postupak [2]:

1. Provjeriti razinu ulja-ima li dovoljno ulja za uspješno podmazivanje?
2. Provjeriti boju i bistrinu ulja-ulje postaje tamnije kako dolazi do njegove oksidacije, a čestice veće od 40 mikrometara mogu se vidjeti okom, pružajući informacije o kontaminaciji
3. Provjeriti miris ulja-većina ulja ima neugodan miris koji opstaje oštiji ili „izgorjeli“ kako ulje oksidira. Bilo kakav neuobičajen miris može ukazivati na onečišćenje ulja
4. Provjeriti prisutnost vode u ulju-ova analiza može se provesti putem testa pucketanja. Na površinu temperature 160 °C kapne se ulje i sluša se pucketanje koji otkriva prisutnost vode.
5. Provjera sedimenata ili krhotina-metoda analize ulja magnetskim sakupljačem krhotina često se koristi za predviđanje kvarova ležaja, zupčanika te kvarova vojnih i civilnih mlaznih motora. Magnetski sakupljač sakuplja čestice i krhotine u ulju na svoju površinu te se jednostavnim vizualnim pregledom uočava veličina i količina čestica koje otkrivaju stanje opreme.

Kompleksnije analize ulja, za koje je potrebna specijalna oprema, obavljaju se u ovisnosti o tipu ulja, vrsti stroja, razini kritičnosti za rad postrojenja i rizicima vezanima uz sigurnost ukoliko se ulje onečisti,. Kompleksnije analize ulja su [11]:

- Gravimetrijska analiza-ulje razrijeđeno otapalom ulije se u smjesu ispitnih čestica različitih veličina čija vrsta ovisi o volumenu uzorka ili očekivanoj količini nečistoća u uzorku ulja. Mješavina se potom isuši te se pregledava pod mikroskopom pri čemu se gleda sastav i struktura čestica, količina i oblik. Analiza se većinom koristi za ulja brodskih dizel motora i motora kamiona, te planetarnim prijenosnicima snage.

- Ferografija-proučava količinu metalnih čestica i služi za utvrđivanje uzroka trošenja metalnih površina u ranoj fazi kako bi se poduzele aktivnosti održavanja i spriječio veći kvar stroja. Koristi se za analizu ulja za podmazivanje strojeva u proizvodnom pogonu, najčešće kompresora i turbina.



**Slika 12. Čestice metala u uzorku ulja [11]**

- Ferografska analiza s direktnim očitanjem-statistička metoda u kojoj se čestice klasificiraju na velike i male te povećanje udjela velikih čestica ukazuje na porast trošenja metalnih površina
- Analiza količine čestica pomoću optičkog brojača-metoda određuje broj i oblik čestica prema ISO ili nekom drugom standardu. Koristi se za analize ulja hidrauličkih strojeva, reduktora i motora s unutarnjim izgaranjem manjih snaga
- Automatska optička analiza-računalno upravljani elektronski mikroskop analizira pojedine čestice metala te ih izdvaja prema veličini i količini pojedine čestice.

Ove analize ulja obavljaju se u vanjskim laboratorijima ili uređajima za analizu te se formira izvješće u kojemu se navode normalne i izmjerene koncentracija pojedinih elemenata metala na temelju kojih se može zaključiti koji se dio stroja troši s obzirom na materijal od kojega je napravljen (tablica 2.)[12].

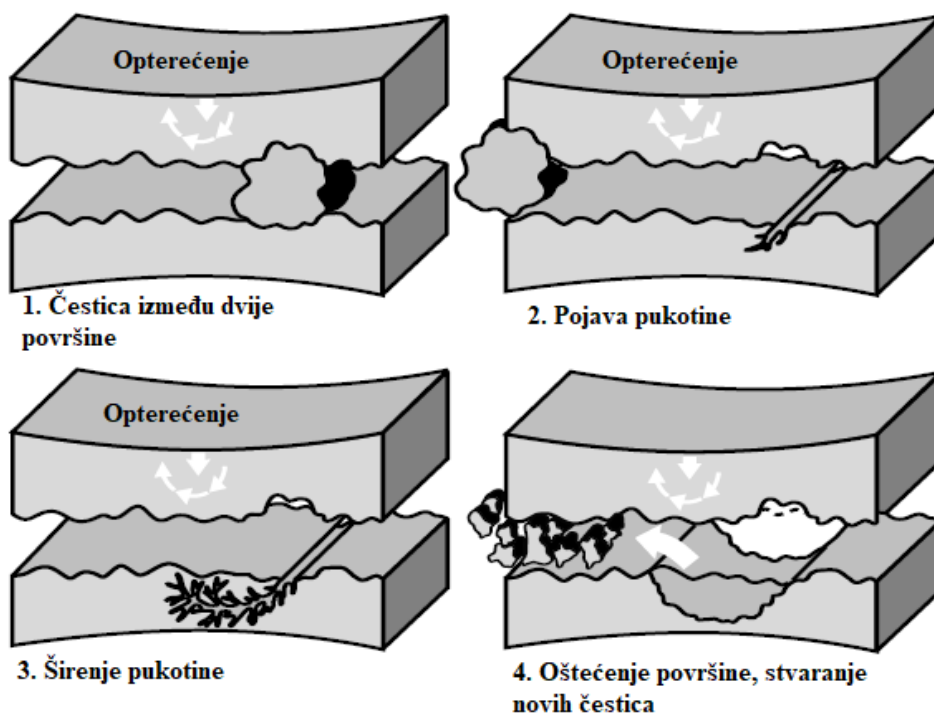
**Tablica 2. Vrste čestica i njihovi izvori [2]**

Čestice metala	Potencijalni izvor čestica
Željezo	Zubi zupčanika, zupčanici, klinovi ležajevi, osovine, kočni bubnjevi
Bakar	Ležajevi, potisna podloška
	Prijenosnici snage
	Cijevi za ulje, čahure pumpe
	Završni pogon traktora
Aluminij	Kućišta pumpi
	Pretvarači okretnog momenta
	Pogonski zupčanici pumpa za ulja
	Prljavština iz vanjskih izvora
Silicij	Kočne obloge
	Prljavština iz vanjskih izvora

Prednosti analize ulja u vanjskim laboratorijima su provođenje kompletne analize od strane stručnjaka i to što nema početne investicije, dok je glavni nedostatak vrijeme čekanja od sakupljanja uzorka ulja pa do izvještaja iz laboratorija. Analizu ulja u vanjskim laboratorijima najčešće koriste manja i srednja poduzeća s manjim brojem uzoraka godišnje. Za veća poduzeća i ona koja analiziraju veliki broj uzoraka godišnje, investicija nabave uređaja za analizu ulja brzo je isplativa. Uređaje (slika 13.) najčešće koriste industrije s masovnom proizvodnjom, elektrane, rudarski pogoni i ostala poduzeća s postrojenjima na više lokacija [12].

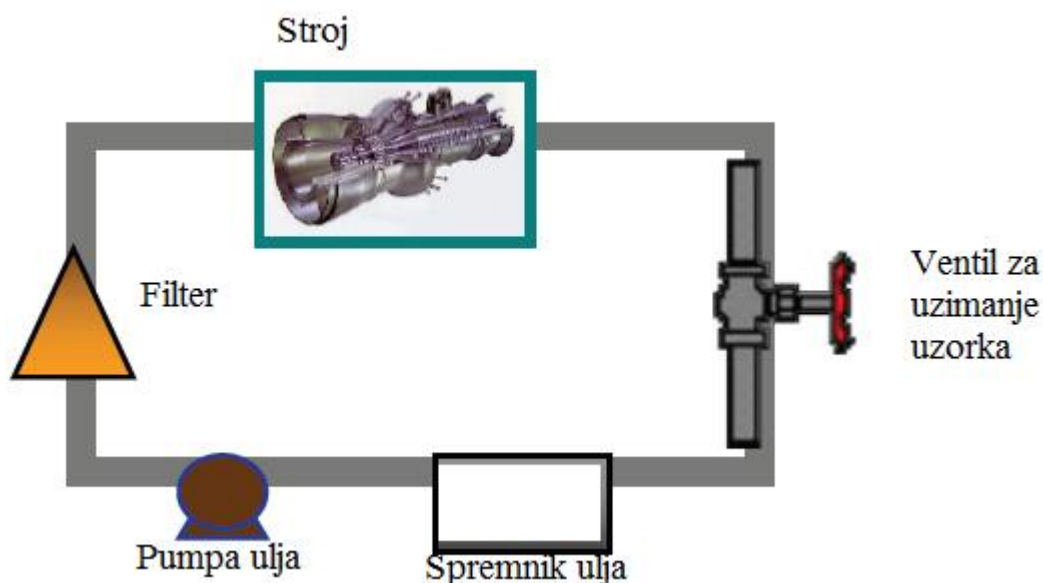
**Slika 13. Prijenosni uređaj za analizu ulja [13]**

Ulje može biti kontaminirano i česticama nečistoća, vodom ili drugim tvarima te i tada treba poduzeti mjere da se izbjegne nepotrebno trošenje strojeva. Čestice nečistoće u ulju mogu izazvati pukotine (slika 14.), a voda u ulju izaziva koroziju, smanjuje djelovanje aditiva, ubrzava gubitak svojstva maziva, smanjuje stabilnost uljnog filma, uzrokuje probleme s filtriranjem te značajno skraćuje vijek trajanja valjnih ležaja.



**Slika 14.** Učinak čestice nečistoće između dvije podmazivane površine [2]

Za dobru analizu ulja uređajem za analizu ili u laboratoriju, potrebno je uzeti reprezentativne uzorke ulja. Uzorke ulja treba uzimati nakon najmanje 15 minuta rada ili nakon što stroj dosegne radnu temperaturu, a ukoliko se uzorci uzimaju nakon gašenja stroja, ne smije proći dulje od 10 minuta. Također važno je da se nečistoćama, prašinom ili drugim česticama uzorci ne kontaminiraju. Kod starijih strojeva uzorci se uzimaju iz rezervoara, dok noviji strojevi imaju ventile za uzimanje uzoraka. Uzorci uzeti iz dna rezervoara i pumpi pokazuju veće koncentracije čestica metala i drugih nečistoća stoga uzorke treba uzimati iz sredine, što dalje od bočnih stranica i dna gdje se talože nečistoće. Iz sustava podmazivanja zatvorene petlje (slika 15.), najbolje mjesto za uzorkovanje ulja je nakon zone najvećeg opterećenja stroja i prije filtera ulja, a drugi uzorak se može uzimati nakon filtera kako bi se procijenila njegova učinkovitost [2].



**Slika 15. Sustav podmazivanja zatvorene petlje [12]**

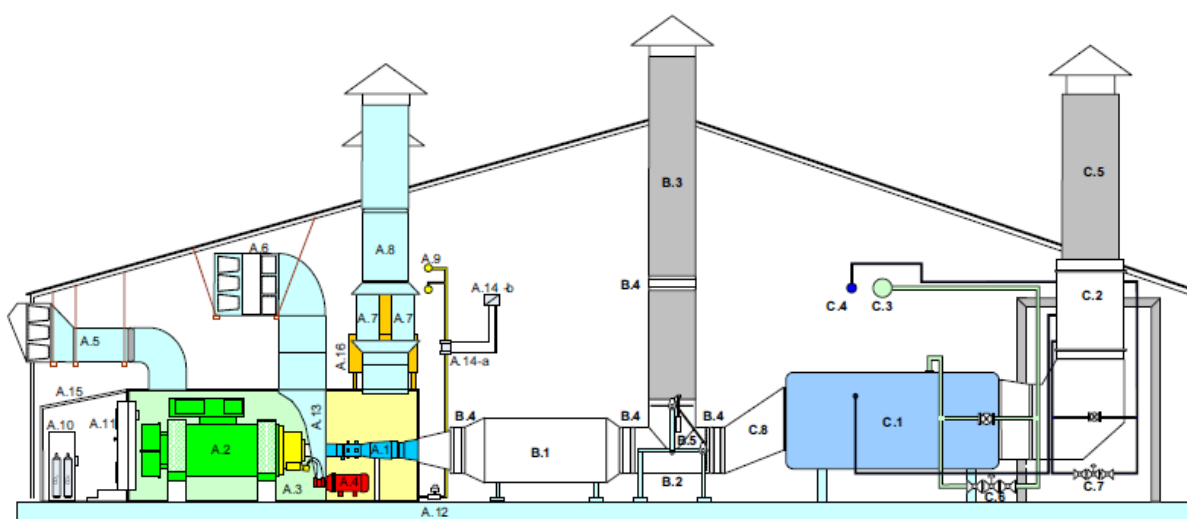
Preporuke o intervalima uzimanja uzoraka često daju proizvođači strojeva. Uobičajene su mjesečne ili kvartalne analize ulja (Tablica 3.), a ukoliko nema preporuka proizvođača, interval se određuje na temelju uvjeta u kojima radi stroj, opterećenja stroja, povijesti kvarova i drugih kriterija. Drugi način određivanja intervala je krenuti s mjesečnom analizom ulja te se s obzirom na iskustvo taj interval skraćuje ili produljuje. Analize ulja dobro je provesti i nakon preopterećenja stroja, ako se sumnja na kvar stroja, prije kupnje rabljenog stroja, nakon isporuke ulja u većim količinama kako bi se utvrdila kvaliteta i nakon servisa stroja [12].

**Tablica 3. Uobičajeni intervali uzimanja uzoraka [12]**

Industrijska i nautička oprema-intervali uzimanja uzoraka			
Vrsta	Sati rada(h)	Kalendarski	Povremena učestalost uzorkovanja
Parne turbine	500	Mjesečno	Kvartalno
Hidro turbine	500	Mjesečno	Kvartalno
Plinske turbine	500	Mjesečno	Kvartalno
Dizelski motri	500	Mjesečno	Kvartalno
Plinski motori	500	Mjesečno	Kvartalno
Kompresori za plin/zrak	500	Mjesečno	Kvartalno
Kompresori za klime	500	Mjesečno	Kvartalno
Mjenjači pod visokim opterećenjem	500	Mjesečno	Kvartalno
Mjenjači pod srednjim opterećenjem		Kvartalno	Polugodišnje
Mjenjači pod niskim opterećenjem	500	Polugodišnje	Godišnje
Motori snage iznad 1875 kW		Mjesečno	Kvartalno
Motori od 150 do 1875 kW		Kvartalno	Polugodišnje
Hidraulični strojevi		Kvartalno	Polugodišnje

### 3. ODRŽAVANJE KOGENERACIJSKOG POSTROJENJA CPS-MOLVE

Centralna plinska stanica Molve (CPS-Molve) postrojenje je za obradu prirodnog sirovog plina namijenjenog za komercijalnu uporabu u plinovodnom sustavu. Sastoji se od 3 postrojenja: CPS Molve I kapaciteta  $10^6$  m<sup>3</sup> plina dnevno, CPS Molve II kapaciteta  $3 \times 10^6$  m<sup>3</sup> plina po danu i CPS Molve III kapaciteta  $5 \times 10^6$  m<sup>3</sup> plina dnevno. Procesi prerade plina zahtijevaju kontinuiranu opskrbu električnom energijom i parom pri čemu prekid napajanja uzrokuje zaustavljanje cjelokupnog tehnološkog procesa. Za povratak napajanja potrebne su kompleksne procedure ponovnog puštanja u pogon čime se stvaraju veliki gubici u proizvodnji i komplikacije pokretanja svih dijelova kompleksnog postrojenja. Kako bi se osigurala kontinuirana opskrba i zbog nesigurnosti opskrbe iz javne distributivne mreže, 1986. godine izgrađena je energana (Slika 16.) koja se sastojala od 3 kogeneracijska postrojenja. S povećanjem potreba za električnom energijom i tehnološkom parom, 2006. godine instalirano je i pušteno u pogon kogeneracijsko postrojenje naziva TEA-4 [14][15].

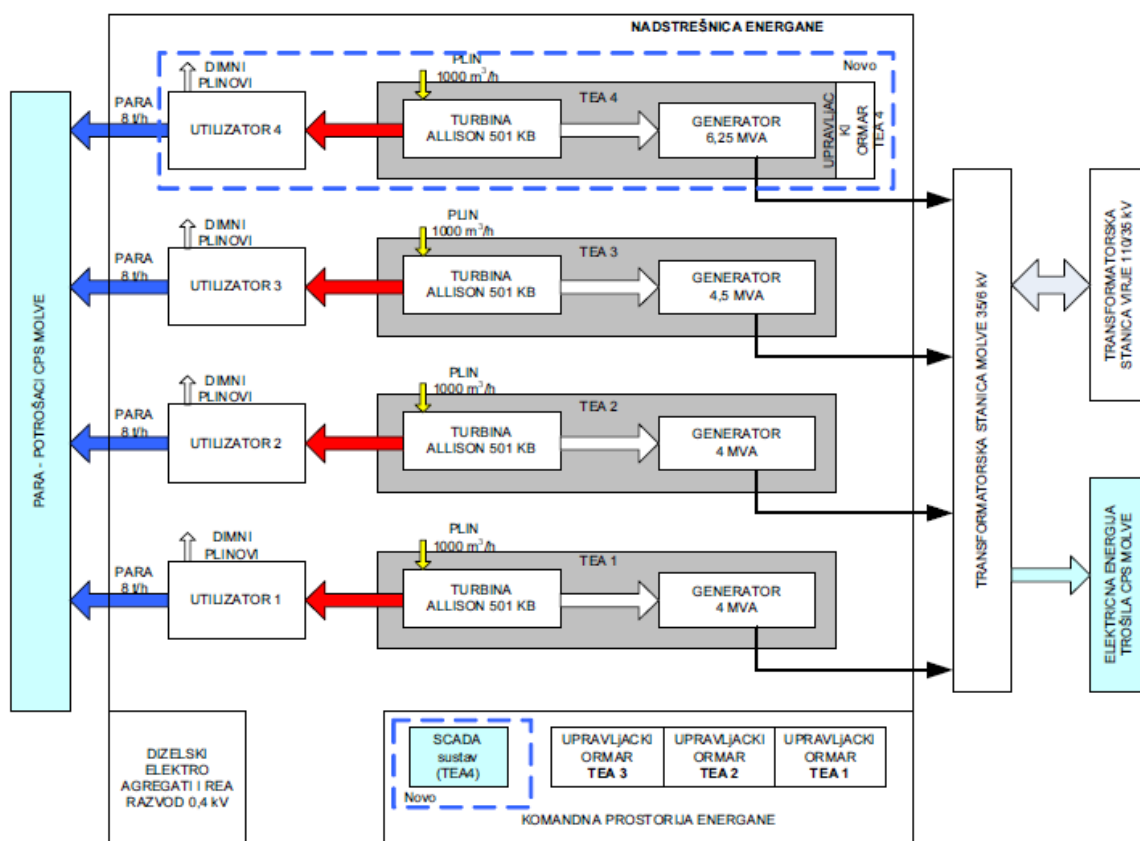


Slika 16. Kogeneracijsko postrojenje [15]



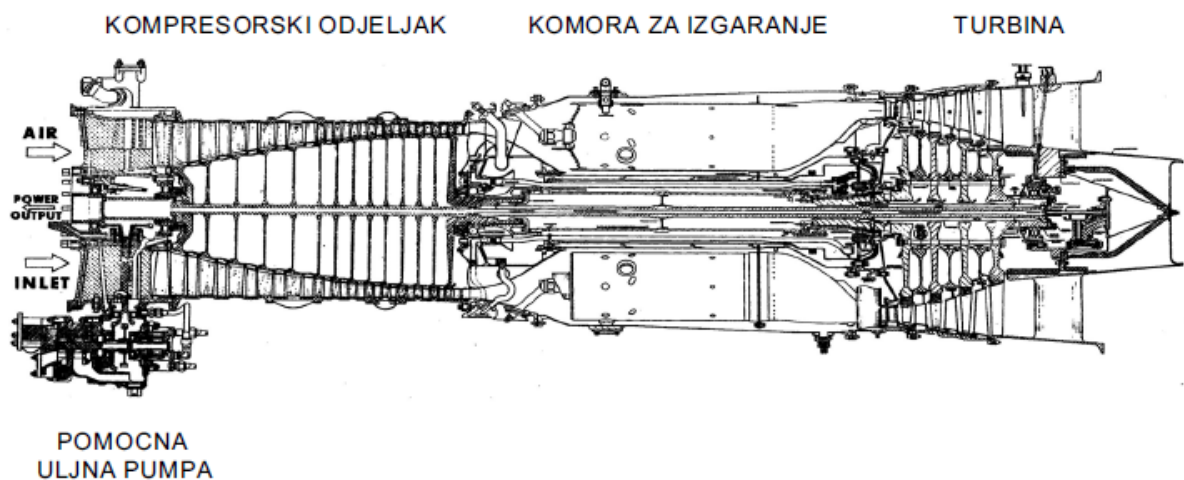
### 3.1 Način rada postrojenja

Za proizvodnju električne energije koriste se 4 turboagregata kojima se kao pogonsko gorivo dovodi prirodni distributivni plin donje ogrjevne moći  $33,3 \text{ MJ/m}^3$ . Pri nazivnim uvjetima rada turboelektrični agregati (TEA 1, TEA 2 i TEA 3) troše oko  $1000 \text{ m}^3/\text{h}$  pri čemu se pored električne energije proizvodi i tehnološka para iz topline ispušnih plinova u utilizatorima. Kapacitet svakog utilizatora pare je  $8 \text{ t/h}$  suho zasićene pare tlaka 12 bara, a proizvodnja pare regulira se preko PLC-a smještenog u prostoriji dežurnog strojara. Proizvodnjom električne energije i pare u energani CPS-Molve osiguravaju se ukupne potrebe za električnom energijom za napajanje oko 1000 instaliranih elektromotornih te oko 60% potrebe za procesnom parom [15].



Slika 17. Blok shema energane CPS-Molve [15]

Energana, odnosno kogeneracijsko postrojenje sastoji se od 4 glavne komponente: turbine, generatora, reduktora i kotao-utilizatora. Plinske turbine Allison Rolls-Royce 501 KB5 (slika 18.) snage 3,84 MW pri 15 °C čine okosnicu kogeneracijskog sustava. Pri nazivnoj brzini vrtnje od  $14571 \text{ min}^{-1}$  stlačeni zrak ulazi u komoru u izgaranje gdje mu se dovodi  $0,33 \text{ m}^3/\text{s}$  gorivog plina pri čemu temperatura na izlazu iz komore dostiže  $1035 \text{ °C}$ , a na izlazu iz turbine  $559 \text{ °C}$ . Kompresor turbine sastoji se od 14 lopatica, a turbina od 4 stupnja, pri čemu se prva dva stupnja koriste za osiguravanje snage kompresoru, a druga dva dovode snagu generatoru.



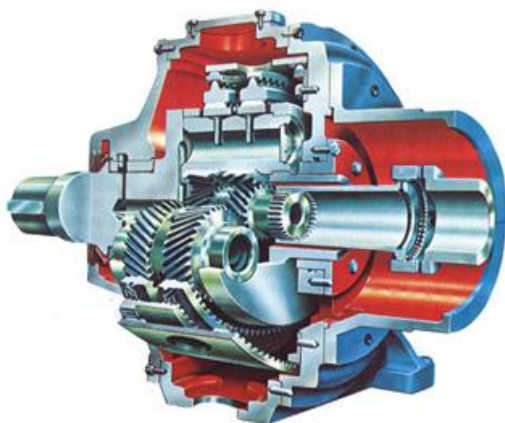
**Slika 18. Presjek plinske turbine [15]**

Generatori tvrtke Končar (slika 19.) izvedeni su kao 4-polni turbogenerator brzine vrtnje  $1500 \text{ min}^{-1}$ , prividne snage 6250 kVA, nazivnog napona 6,3 kV pri 50 Hz i struje 573 A. Električna energija odvodi se s dva visokonaponska kabela do postojeće trafostanice.



**Slika 19. Generator Končar SB1254-4 [16]**

Planetarnim reduktorom proizvođača Allen Gears osigurava se prijenos snage između turbine i generatora. Prijenosni omjer reduktora je 14571:1500, a može prenijeti do 6650 kW snage. Reduktoru je pridodana glavna uljna pumpa za prisilnu cirkulaciju ulja za podmazivanje (206 l/min ulja). Pored pumpe reduktor je priključen i na hidraulični pokretač agregata. Učinkovitost reduktora iznosi 98,6 %.



**Slika 20. Reduktor [16]**

Za proizvodnju pare kotao-utilizatoru dovodi se napojna voda tlaka 14 bara i temperature 105 °C koja je zajednička za sve kogeneracijske blokove. Prije ulaska u bubanj promjera 2,8 m i duljine 6,5 m koji je glavni dio utilizatora, voda se zagrijava do 160°C, a u bubnju se dodatno zagrijava to temperature isparavanja na tlaku 12 bara, nakon čega para odlazi u glavnu sabirnicu i dalje prema trošilima. Ukupna ogrjevna površina kotla iznosi 637 m<sup>2</sup> [15].



**Slika 21. Kotao-utilizator [16]**

### 3.2 Strategije održavanja koje se koriste

Za održavanje kogeneracijskog postrojenja CPS Molve koristi se kombinacija plansko-preventivnog održavanja i prediktivnog održavanja.

Plansko preventivno održavanje provodi se prema vremenskim (kalendarskim) intervalima ili nakon određenog broja radni sati. Svakodnevno je potrebno [17]:

- provjeriti razinu ulja u glavnom spremniku za podmazivanje te ako je potrebno nadopuniti ga
- zabilježiti očitavanja instrumenata s lokalne upravljačke ploče (temperature, tlakove, razine vibracija)
- obaviti vizualni pregled kroz prozore kućišta (provjeriti postoje li curenja ulja, plina ili zraka) te provjeriti cjevovode izvan kućišta
- provjeriti protupožarni sustav

Svakih tjedan dana potrebno je obaviti sljedeće provjere:

- pregledati kompresor koji se po potrebi čisti, otvore za zrak, hladnjak ulja, padove tlaka ulja, plina i zraka
- provjeriti boce za gašenje požara
- Pregledati filter plina ukoliko je plin podložan kontaminaciji kondenzatom

Mjesečno se obavlja:

- provjerava sustav dovoda goriva (očitanje diferencijalnog tlaka plinskog filtera, a kad je turbina ugašena potrebno je ispustiti kondenzat iz filtera plina)
- provjerava nosača turbine i vijaka
- čišćenje stakla senzora za otkrivanje požara pomoću preporučenog sredstva

Svaka tri mjeseca potrebno je:

- provjeriti ispravnost rada ventila za odzračivanje kućišta kompresora
- obaviti vanjski i unutarnji pregled turbine
- ispitati mlaznice za gorivo te ih po potrebi očistiti ili zamijeniti
- provjeriti indikator stanja baterije upravljačkog sistema (PLC-a) te po potrebi zamijenit bateriju

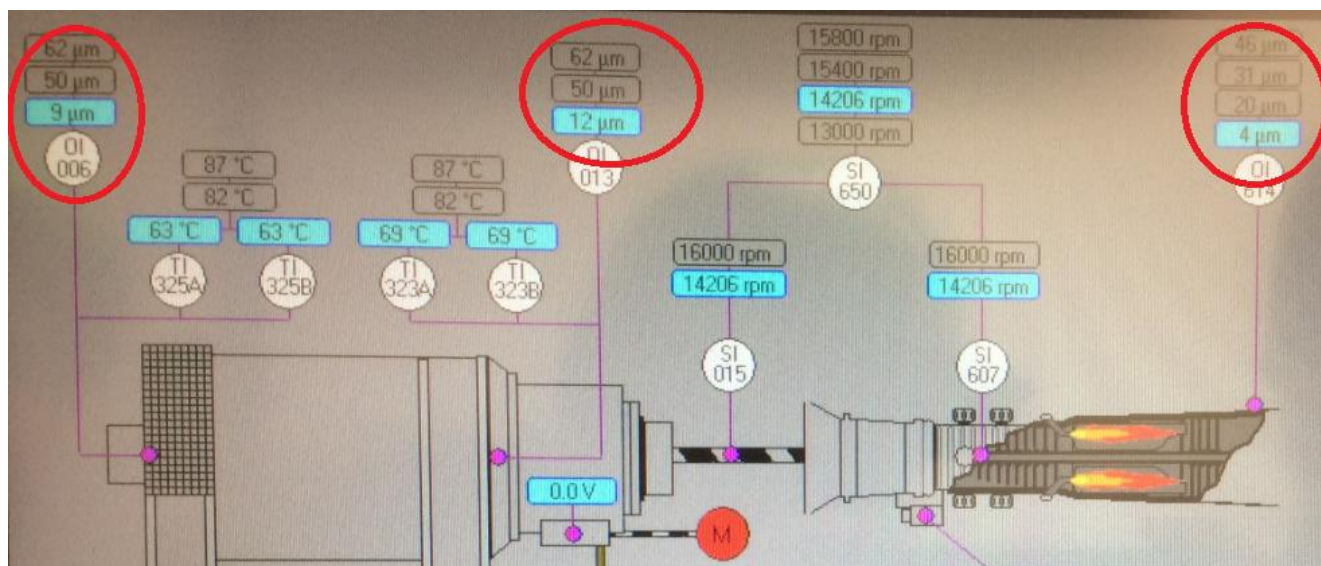
- provjeriti sustav za podmazivanje (potražiti ima li curenja ulja, provjeriti filtere ulja i razinu ulja u spremniku, uzeti uzorak ulja i napraviti njegovu analizu)
- provjeriti sustav dobave goriva
- provjeriti sustav pokretanja (stanje cjevovoda i fleksibilnih crijeva te ih po potrebi zamijenit, potražiti ima li propuštanja)
- provjeriti rad protupožarnog sustava
- izvršiti pranje kompresora i ispitati brtvu turbine kod ispuha.

Svakih godinu dana potrebno je obaviti sljedeće operacije:

- Podmazati ležajeve sustava hidrauličkog pokretanja
- Promijeniti filter plina te provjeriti i kalibrirati mjerače tlaka
- Provjeriti stanje kućišta i provjeriti ima li curenja
- Provjeriti vijke za pričvršćivanje ispušnog sustava, ispitati njegovu nepropusnost te provjeriti postoje li znakovi trošenja
- Provjeriti usis zraka-provjeriti stanje brtvi filtera, provjeriti stanje kućišta filtera i provjeriti ima li propuštanja te pregledati usisne kanale
- Izvršiti vanjski i unutarnji pregled turbine
- Pregledati mlaznice za gorivo
- Provjeriti sustav podmazivanja-provjeriti da nema curenja ulja na spojevima, zamijeniti filtere ulja, uzeti uzorak ulja za analizu, provjeriti crpke ulja, provjeriti hladnjak i ako je potrebno očistiti ga, provjeriti rad odašiljača tlaka i manometara, nadopuniti spremnik ulja
- Provjeriti ispravnost sustava za detekciju i sprječavanje požara
- Provjeriti rad kontrolnog sustava (PLC-a)
- Provjeriti sustav pranja kompresora-provjeriti rad ventila i mlaznica, očistiti ili promijeniti filter te izvesti ciklus pranja kompresora.

Zbog potreba visoke pouzdanosti sustava, ali i visokih troškova ponovnog pokretanja postrojenja, uz plansko-preventivno održavanje koristi se i strategija prediktivnog održavanja. Video-endoskopijom i IC termografijom periodično se pregledavaju usisne i ispušne cijevi, sustav za gorivo i podmazivanje, lopatice kompresora i turbine, mlaznice za gorivo i komore za sagorijevanje. Ovim pregledima nastoje se otkriti pukotine ili ljuštenja zaštitnih obloga na lopaticama, a time i produljiti operativni vijek turbine. Periodično se obavljaju i analize ulja i gorivog plina. Uzori ulja analiziraju se u laboratoriju INA-e ili u laboratoriju proizvođača, dok se analiza gorivog plina obavlja u laboratoriju INA-e. Variranje kvalitete plina utječe na rad mlaznica goriva [18].

Monitoring vibracija vrši se pomoću ugrađenog sustava za kontinuirano mjerenje vibracija turbine, reduktora i generatora. Ukoliko se primijete poremećaji u trendu vibracija, vrši se njihova analiza kako bi se otkrio i uklonio njihov izvor.



Slika 22. Kontinuirano mjerenje vibracija

Uz monitoring vibracija, kontinuirano se radi i monitoring performansi. Kontinuirano se prate količina zraka, vanjski tlak i temperatura na usisniku, ulazna i izlazna temperatura te tlak u kompresoru te temperature na ulazu i izlazu iz turbine. Također se mjere temperature ležajeva generatora. Stanje performansi ukazuje na potrebu pranja kompresora te jeli potrebna zamjena filtera [18].

Svaki otprilike 60000 radnih sati obavlja se remont turbine i reduktora. Turbina se rastavlja, čisti (najčešće od nakupina čađe, slika 23.) te se pregledava. Nakon pregleda popravljaju se svi nedostaci, a dijelovi koji se ne mogu popraviti zamjenjuju novima. Kod lopatica kompresorskog i turbinskog dijela na kojima su primijećena oštećenja provodi se test za otkrivanje pukotina kako bi se zamijenile ako je to potrebo (Slika 24.) [19].

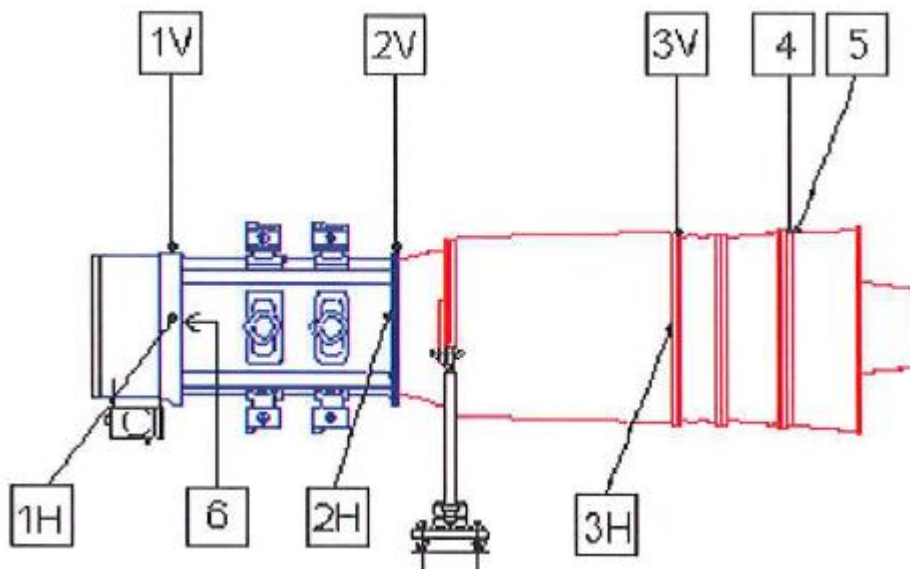


**Slika 23. Nakupine čađe [19]**



**Slika 24. Oštećenja lopatica turbine [19]**

Nakon svakog remonta testiraju se performanse i mjere vibracije turbine. Vibracije se mjere u horizontalnome i vertikalnome smjeru na kompresorskom i turbinskom dijelu (slika 25.) [19].



**Slika 25. Položaji senzora vibracija [19]**

Reduktor se kod remonta također rastavlja nakon čega se obavlja vizualni pregled i čišćenje. Glavni rotirajući dijelovi ispituju se na pukotine, provjerava se zračnost ležajeva te se zamjenjuju oštećeni dijelovi, poput pločica i ležajeva. Nakon remonta dijelovi se montiraju, te se prebrtvjavaju i postavljaju poklopci [20].

### 3.3 Moguća poboljšanja procesa održavanja

Moguće poboljšanje procesa održavanja kogeneracijskog postrojenja CPS Molve je uvođenje pametnog održavanja (Smart Maintenance). Pametno održavanje temelji se na prikupljanju raznih podataka sa senzora koji se zatim analiziraju kako bi se otkrile promjene sustava, a time i potencijalni kvarovi[21]. Odabir senzora vrši se prema vrsti stroja, odnosno parametrima koji se žele mjeriti. Danas postoje senzori napona, vibracija, temperature, tlaka, protoka te oni postaju sve dostupniji i jeftiniji [22]. U kogeneracijskom postrojenju CPS Molve već su ugrađeni senzori za mjerenja vibracija, takova i temperatura te kamera za detekciju požara (slika 26.) stoga investicija u senzore nije potrebna.





**Slika 26. Kamera za detekciju požara**

Kod pametnog održavanja, prikupljeni podaci sa senzora pohranjuju se na računalo, odnosno u CMMS sustavu (Computerized Maintenance Management System). Kombinacija podataka senzora s jakim CMMS sustavom temelj su za pravovremeno predviđanje potrebnih operacija održavanja. CMMS sustavi obrađuju podatke i isporučuju rezultate koji su u bilo kojem trenutku dostupni na bilo kojem pametnom uređaju, a ukoliko detektiraju kvar opreme, šalju obavijest osoblju zaduženom za održavanje [21]. U kogeneracijskom postrojenju CPS Molve podaci sa upravljačkih jedinica već se šalju na jedno računalo, stoga bi jedina investicija bila CMMS sustav za obradu podataka senzora.

Pametno održavanje ne može obavljati posao iskusnog kvalificiranog tehničara, već ono omogućava da se zadacima održavanja pravilno postave prioritete, odnosno daje tehničarima slobodu da se manje fokusiraju na papirologiju, a više na praktično održavanje, stoga se uvođenjem pametnog održavanja postiže se niz prednosti [23]:

- Smanjenje vremena prekida rada strojeva
- Povećanje produktivnosti
- Smanjenje troškova održavanja
- Produljenje vijeka trajanja strojeva

## 4. ZAKLJUČAK

Za pouzdan i dugovječan rad svaki proizvodni sustav potrebno je održavati pa su se stoga kroz povijest razvile različite strategije održavanja. Preventivnim održavanjem nastoji se spriječiti pojava kvara ili oštećenja kontrolnim pregledima i zamjenama dijelova u određenim intervalima koji mogu biti izraženi kalendarski, kao broj radnih sati ili prema nekom drugom kriteriju, a određuju se s obzirom na preporuke proizvođača opreme, servisera i na temelju vlastitog iskustva. Glavni nedostatak preventivnog održavanja je zamjena dijelova prije nego li je to potrebno što se može ukloniti prediktivnim održavanjem. Prediktivno održavanje temelji se na mjerenju parametara bitnih za rad stroja. Vibrodijagnostika je najčešća metoda prediktivnog održavanja u kojoj se mjerenjem vibracija u aksijalnom, horizontalnom ili vertikalnom smjeru nastoje uočiti promjene od inicijalnog stanja opreme te tako predvidjeti kvar. Mjerenje temperature također je popularna metoda budući da je povišena temperatura rani znak kvara opreme, a metodom analize ulja nastoji se otkriti povišeno trošenje određenih dijelova. Često se u praksi koristi kombinacija preventivnog i prediktivnog održavanja, što se koristi i za održavanje kogeneracijskog postrojenja Centralne plinske stanice Molve. Kogeneracijskim postrojenjem, koje se sastoji od 4 turboelektrična agregata i utilizatora pare, nastoje se osigurati potrebe za električnom energijom i procesnom parom potrebnom za rad cjelokupne plinske stanice. Intervalnim kontrolnim pregledima i mjerenjem vibracija, temperatura i drugih bitnih parametara za rad sustava nastoji se osigurati pouzdan rad postrojenja. Pouzdanost postrojenja moguće je dodatno povećati uvođenjem pametnog održavanja kojim se računalnom analizom podataka sa senzora nastoje detektirati mogući kvarovi. Iako pametno održavanje olakšava tehničarima posao i smanjuje potrebnu papirologiju, iskustvo i znanje tehničara nezamjenjivo je kod održavanja svih tehničkih sustava.

## LITERATURA

- [1] Lisjak, D.: Predavanja iz kolegija „Održavanje“, FSB, Zagreb, 2018/19.
- [2] Levitt, J.: Complete Guide to Preventive and Predictive Maintenance, Industrial Press Inc., 2011.
- [3] Internet stranica: Reliabilityweb.com-The Top 6 Benefits of Predictive Maintenance, [https://reliabilityweb.com/tips/article/the\\_top\\_6\\_benefits\\_of\\_predictive\\_maintenance/](https://reliabilityweb.com/tips/article/the_top_6_benefits_of_predictive_maintenance/) (4.1.2020.)
- [4] Internet stranica: Vibration analysis hardware-Industrial Vibration Analysis for Predictive Maintenance and Improved Machine Reliability, [https://www.ctconline.com/university/3\\_advanced/3-05.pdf](https://www.ctconline.com/university/3_advanced/3-05.pdf) (6.1.2020.)
- [5] Internet stranica: Direct Industry, <https://pdf.directindustry.com/pdf/brueel-kj-r-vibro/vibrotest-60/14151-19243.html> (6.1.2020.)
- [6] Rumbak S., Bratko S.: Dijagnostička ispitivanja u prostorima ugroženim eksplozivnom atmosferom
- [7] Internet stranica: Conrad-Termovizijska kamera FLIR, <https://www.conrad.hr/termovizijska-kamera-flir-flir-e95-wifi-20-do-+1500-c-464-x-348-piksela-30-hz-msxreg;.-wifi> (7.1.2020.)
- [8] Internet stranica: Maverick Inspection ltd., <https://www.maverickinspection.com/services/infrared-thermography/sample-imagery/ir-rotating-equipment/> (7.1.2020.)
- [9] Internet stranica: Maverick Inspection ltd., <https://www.maverickinspection.com/services/infrared-thermography/sample-imagery/ir-boilers/> (7.1.2020.)
- [10] Internet stranica: Maverick Inspection ltd., <https://www.maverickinspection.com/services/infrared-thermography/sample-imagery/ir-piping/> (7.1.2020.)
- [11] Internet stranica: Strojarska radionica-6 vrsta analize ulja, <https://strojarskaradionica.wordpress.com/> (8.1.2020.)
- [12] Spectro Scientific, Oil analysis handbook, Third Edition, 2017
- [13] Internet stranica: Ametek-FieldLab 58, <https://www.spectrosci.com/product/q5800/> (8.1.2020.)

- 
- [14] Hemetek Potroško I., Turkalj F., Sobota M.: 30 godina kogeneracije na CPS Molve- razvoj vlastitog elektroenergetskog sustava, Nafta i Plin, broj 157., 2019.g.
- [15] Grupa autora: Proširenje kogeneracijskog sustava na CPS Molve 2, 2007.
- [16] Matić S.: Procesna oprema OPP Molve, 2015.
- [17] Centrax: CX501-KB5-Operation and maintenance, 2006.
- [18] Siladić M, Sobota M.: Nadzor stanja strojeva u procesnom postrojenju, 2016.
- [19] Centrax: Report on preformed service, 2017.
- [20] Servis i rezervni dijelovi planetarnog reduktora Allen Gears za TEA4, 2006.
- [21] Internet stranica: ReliablePlant-Why You Should Try Smart Maintenance, <https://www.reliableplant.com/Read/30723/smart-maintenance> (18.1.2020.)
- [22] Internet stranica: Software Advice-3 Steps to Make Smart Maintenance a Reality, <https://www.softwareadvice.com/resources/3-smart-maintenance-steps/> (18.1.2020.)
- [23] Internet stranica: Micromain-What is CMMS?, <https://www.micromain.com/what-is-a-cmms/> (20.1.2020.)

## **PRILOZI**

I. CD-R disc