



**ELEKTRANE 2010**

Vrnjačka Banja 26 - 29. 10. 2010.god.

**PRIMJENA TEHNIČKE DIJAGNOSTIKE ZA  
PROCJENU STANJA PARNIH TURBINA**

**IMPLEMENTATION OF TECHNICAL  
DIAGNOSTICS FOR ASSESSMENT OF  
STEAM TURBINE**

**Zdravko N. Milovanović, Vinko Babić\*, Svetlana Dumonjić-Milovanović\*\***

*Univerzitet u Banjoj Luci, Mašinski fakultet Banja Luka,  
Stepe Stepanovića 71, 78000 Banja Luka\*  
Partner inženjering Banja Luka\*\**

# 1. UVOD

**EKSPLOTACIJA PARNE TURBINE PODRAZUMIJEVA OSTVARENJE PROJEKTOVANE FUNKCIJE CILJA KROZ PROIZVODNJU ELEKTRIČNE ENERGIJE, TOPLOTE I TEHNOLOŠKE PARE, SA ŠTO MANJIM INTERVALIMA ZASTOJA TOKOM NJENOG RADNOG VIJEKA**

**VJEROVATNOĆA DA ĆE PARNA TURBINA USPJEŠNO STUPITI U RAD I OBAVLJATI ZAHTIJEVANU FUNKCIJU KRITERIJUMA U GRANICAMA DOZVOLJENIH Odstupanja za dati period vremena i date uslove okoline (radna temperatura, pritisak, vlažnost, dozvoljene vibracije, buka i udari, promjene režimskih parametara rada i slično), predstavlja *EFEKTIVNOST* PARNE TURBINE**

**POKAZATELJ EFEKTIVNOSTI KARAKTERIŠE JEDINIČNO (JEDINIČNI PARAMETAR) ILI NEKOLIKO SVOJSTAVA EFEKTIVNOSTI (KOMPLEKSNI PARAMETAR), KAO ŠTO SU:**

- ***POUZDANOST***
- ***POGODNOST ODRŽAVANJA***
- ***TRAJNOST***
- ***POSTOJANOST***

**Optimalno upravljanje složenim sistemom parne turbine mora biti zasnovano na ocjeni i kompleksnoj optimizaciji pokazatelja pouzdanosti u zavisnosti od načina za njihovo obezbjeđenje i hijerarhijskog nivoa detaljizacije, kao i tekuće faze životnog ciklusa**




*Slika 1. Prikaz rotora parne turbine srednjeg pritiska LMZ 300 prije i nakon pjeskarenja na TE Ugljevik (generalni remont 2010. godine)*

## **2. MJESTO I ULOGA TEHNIČKE DIJAGNOSTIKE U IDENTIFIKACIJI STANJA PARNE TURBINE**

**Tehnička dijagnostika parnih turbina sa pretaćom opremom predstavlja sve aktivnosti koje se vrše radi ocjene trenutnog stanja ili davanja prognoze ponašanja sistema parne turbine u određenom vremenskom periodu.** Pri tome koristi sve raspoložive algoritme, pravila i modele, neophodne radi određivanja stanja sistema, s ciljem pravovremenog predviđanja pojave neispravnosti. Na taj način se povećava pouzdanost, raspoloživost i efektivnost postrojenja parne turbine sa pratećom opremom.

**Pošto još uvijek ne postoji opšti koncept formiranja dijagnostičkog sistema na termoelektranama, niti kompleksno dijagnostičko obezbjeđenje termoelektrana na našim prostorima, neophodno je istaći slijedeće:**

- a) tehnička dijagnostika predstavlja značajno sredstvo za povišenje pouzdanosti, ekonomičnosti i sigurnosti u eksploataciji sistema parne turbine sa svojom pratećom i osnovnom opremom;**
- b) najveći efekat primjene sredstava tehničke dijagnostike dobija se njenim usklađivanjem sa metodama za kratkoročnu i dugoročnu prognozu pouzdanosti i njenu optimizaciju, najčešće po ekonomskom kriterijumu;**




c) osnovni zadaci tehničke dijagnostike na parnoj turbini u sklopu sistema termoelektrani najčešće se, formulišu kao: **prognoza i mjere za sprečavanje havarija, smanjenja broja i dužine trajanja ispada, kroz blagovremeno predviđanje, otkrivanje i praćenje razvoja uzroka otkaza, skraćivanje obima planskih i neplanskih remonata na račun usavršavanja i primjene metoda tehničke dijagnostike, sprečavanje ili otklanjanje u procesu eksploatacije uslova rada, koji predstavljaju generator oštećenja i pojave otkaza, kao i računom podržano praćenje radnih resursa i efektivnosti proizvodnje sistema parne turbine u okviru termoelektrane.**

Mogućnost ispitivanja i pregleda sistema ili njegove sastavne cjeline (elementa) u procesu kontrole stanja sistema parne turbine planira se već u etapi razrade i projektovanja kroz preciziranje elemenata za obavljanje glavnih i pomoćnih funkcija na nivou projektovanih veličina (sa dozvoljenim odstupanjima), kao i elemenata sigurnosti, zaštite na radu, zaštite od požara i zaštite životne sredine.

## 2.1. Metode tehničke dijagnostike za analizu stanja parnih turbina

Razvoj tehničke dijagnostike na parnim turbinama išao je u pravcu ostvarivanja funkcija koje turbina treba da obezbijedi.

Pri tome, prognoze i definisanje uzroka otkaza mogu se ostvariti u toku same eksploatacije turbinskog postrojenja ili u okviru zastoja i vremena za remont postrojenja i opreme, pa se razlikuju *eksploataciona* (radni režim) i *remontna* (stacionarni režim) *tehnička dijagnostika*, kao sastavni elementi održavanja prema stanju turbinskog postrojenja u okviru elektrane, kao višeg hijerarhijskog sistema. Značajna primjena tehničke dijagnostike je i kod davanja kratkoročne i dugoročne pouzdanosti sistema parne turbine sa pratećom opremom i njene optimizacije, najčešće po ekonomskom kriterijumu.

- 
- Razvoj mikroprocesorskih uređaja za potpuno praćenje i analizu rada, sa mogućnošću utvrđivanja trenutnog mehaničkog stanja parne turbine, omogućili su sasvim drugačiji pristup održavanju postrojenja parne turbine, čime je sve više primjenjivana metoda održavanja prema stanju (u odnosu na ranije planirano održavanje prema konstantnom datumu). Pri tome, sve aktivnosti na održavanju se vrše samo onda kada je to neophodno, odnosno kada to zahtijeva stanje turbine.

- Važnost primjene metoda dijagnostike u ugroženom prostoru, u smislu povećanja sigurnosti takvih pogona, je u pravovremenom otkrivanju otkaza na opremi u **prostoru ugroženom eksplozijom**, s ciljem sprečavanja nastanka većih havarija, koje dalje mogu biti uzročnik paljenja eksplozivne atmosfere. Pri tome, svako prekomjerno zagrijavanje opreme ili dijela opreme je znak greške ili otkaza.
- Najzastupljenije dijagnostičke metode koje se mogu koristiti kako na elektro tako i na mašinskoj opremi su svakako **vibraciona dijagnostika** i **dijagnostika infracrvenom termografijom**. Obe ove metode pripadaju tehnici ispitivanja metodama bez razaranja materijala (*Non Destructive Testing - NDT*).



- ***vibrodijagnostičke metode***, od kojih se izdvajaju: analiza ukupnog nivoa vibracija kao promjene mehaničkog ili procesnog stanja rotacione mašine, spektralna FFT i DFT analiza, fazna analiza faznog ugla vibracija, analiza nestacionarnih signala ili analiza Redova pri promjenljivoj brzini obrtanja ili pri analizi sistema parne turbine prilikom njenog upuštanja u pogon ili njenog zaustavljanja, vektorska analiza u nestacionarnim ili stacionarnim režimima rada turbinskog postrojenja, SRV analiza u logaritamskoj skali za detekciju defekata u samoj fazi nastajanja, HFD detekcija ukupnih vibracija visokog spektra od 5 do 60 *kHz*, LFD detekcija defekata vrlo niskih frekvencija za određivanje ekscentriciteta velikih turbinskih rotora, orbitalna ili dualna analiza za analizu rada kliznih turbinskih ležajeva, SKF-ova SEE analiza za detekciju otkaza ležajeva i zupčanika u ranoj fazi nastajanja, kao i za detekciju kavitacije, trenja, pukotina, električnih problema i sl., REBAM analiza za nadzor i ocjenu stanja kotrljajnih ležajeva na pomoćnoj turbinskoj opremi, operaciona (za virtualna pomjeranja mašine) i klasična (dobijanje dinamičkih karakteristika dijelova mašine) modalna analiza, analiza trenda za potrebe *on-line* monitoringa i dijagnostike;

- ***nadzor i analiza buke***, kroz mjerenje nivoa buke s ciljem utvrđivanja uticaja na čovjeka i okruženje, zatim analizu emisije buke od izvora zvuka s ciljem definisanja stanja mašine (analiza ukupnog nivoa buke, frekventna analiza zvučnog pritiska, analiza akustične emisije);
- ***nadzor i analiza parametara premještanja i širenja pojedinih elemenata parne turbine***, kao što su analiza položaja rukavca rotora u ležaju, analiza relativnog pomjeranja ili aksijalnog pomaka vratila, analiza relativnog izduženja vratila, analiza apsolutnog izduženja turbinskog kućišta, analiza ekscentriciteta vratila i sl.;
- ***nadzor i analiza tehnoloških (radnih) parametara***: broja obrtaja, protoka, pritiska, temperature, diferencijalnog pritiska na filteru, kao i ostalih parametara, koji predstavljaju rezultat tehnološkog procesa transformacije potencijalne energije pare preko kinetičke energije u mehanički rad obrtanja;

- ***analiza kvaliteta turbinskog ulja i čestica nastalih habanjem,*** kroz: analizu fizičkih i hemijskih osobina ulja (izgled, boja i miris, kiselost, bazni broj, viskozitet, indeks viskoznosti, sadržaj vode u ulju ili procenat obvodnjavanja ulja, otpornost na oksidaciju turbinskog ulja), analizu kontaminacije ulja, kroz unutrašnju kontaminaciju (kao posljedica različitih vrsta habanja - abrazivno, adheziono, kavitaciono, korozija, zamor materijala i sl.) i spoljašnu kontaminaciju (nečistoće, voda, proizvodi oksidacije i sl.), uz korišćenje: spektrometrijske analize (analiza čestica u ulju nastalih habanjem), analize infracrvenim zracima o fizičko-hemijskim karakteristikama ulja i nečistoćama, tehnika prebrojavanja čestica, najčešće u sprezi sa ferografijom, tj. analizom metalnih čestica u ulju za analize nečistoća u uzorcima ulja i njihovo rangiranje po veličini od 5 do 200 ;

- ***analiza temperaturnog polja***, s ciljem utvrđivanja temperaturnih razlika kod spojničkih i priključnih spojeva (termovizija), radi utvrđivanja pregrijavanja i detekcije problema električnog (loše uzemljenje, loše hlađenje, oštećenje izolacija, neuravnoteženost faza trofaznog sistema i sl.) i mehaničkog (nesaosnost ili zakrivljenost vratila, propuštanje ventila i sl.) porijekla;
- ***analiza strujnog signala*** za ocjenu i nadzor stanja generatora i pomoćnih elektromotora u okviru turbinskog postrojenja i njegove pomoćne opreme (spektralna analiza strujnog signala za utvrđivanje geometrijskog odstupanja u elektromotorima, otkrivanja oštećenih štapova rotora, oštećene izolacije namotaja statora i sl., analiza envelopiranog strujnog signala za oštećene rotore u elektromotorima i sl.);
- ***analiza parcijalnih pražnjenja ili PDA - analiza*** za praćenje kvaliteta izolacije statorskih namotaja na velikim rotacionim mašinama kakvi su parne turbine, generatori, elektromotori i sl.;

- ***analiza magnetnog polja*** za utvrđivanje odstupanja ose rotora u odnosu na stator i utvrđivanje stanja namotaja po pojedinim fazama na generatorima;
- ***analiza produkata sagorijevanja*** kod motora sa unutrašnjim sagorijevanjem;
- ***analiza radnog medijuma***, kroz analizu kvaliteta vode na ulazu u parni kotao i analizu kondenzata na ulazu u degazator;
- ***analiza korozije, erozije i abrazivnog odnošenja***, tabela 1.

*Tab. 1. Uporedni prikaz materijala, vrste korozije i mogućih sredstava za praćenje stanja sistema parne turbine, [6-9]*

<b>Konstruktivni materijal</b>	<b>Vrsta korozivnog procesa</b>	<b>Sredstvo za praćenje stanja parne turbine</b>
Ugljenični i niskolegirani čelici	Vodonična krtost pri niskim i visokim temperaturama	- senzori osjetljivi na vodonik; - sredstva za mjerenje vodonika
	Mjerodavni porast magnetita pri višim temperaturama	
	Korozija usljed zamora materijala	- analiza pomoću odašiljača zvuka
Nerđajući i visokolegirani čelici	Pojava naprslina, pukotinska korozija	- elektrohemijski senzori
	Raspuklost	- mjerenje magnetnog permeabiliteta
Bakar i legure bakra	Lokalna korozija, pukotinska korozija	- elektrohemijski senzori
	Korozija, erozija	- mjerenje vrtložne struje
Aluminijum i legure aluminija	Lokalna korozija, rupičasta korozija, krunjenje i pukotinska korozija	- elektrohemijski senzori

- Kod *stacionarne dijagnostike*, parna turbina se mora zaustaviti i demontirati, pri čemu se svaka komponenta turbinskog postrojenja i prateće opreme posebno ispitati. Najčešće se izvodi pri većim zastojima (u toku remonata), pri čemu se vrši:

- kontrola i analiza stanja korišćenih materijala za pojedine komponente turbinskog postrojenja i njegove prateće opreme, uz uzorkovanje materijala s **ciljem utvrđivanja njegove strukture i mehaničkih osobina**;
- **optičko testiranje kod nepristupačnih dijelova** (endoskopija, magnetofluks, ispitivanje penetrantima i sl.);
- **određivanje naponskog stanja** u pojedinim dijelovima konstrukcije parne turbine i njene prateće opreme (tenziometrijska analiza);
- **za određivanje stanja i karakteristika električnih mašina** u sklopu prateće opreme turbinskog postrojenja, koriste se posebne ispitne platforme i ispitivanje transformatora udarnim talasom napona.

## 2.2. Kontrola trenutnog stanja za održavanje prema stanju parnih turbina

- Kontrola trenutnog stanja sistema ili njegovih elemenata (najčešće najkritičnijih po nastanak otkaza), definisanje zakonitosti pojave otkaza u vremenu na osnovu baze podataka i predviđanje ponašanja sistema u budućnosti direktno su povezani sa razvojem sredstava kod kojih se dijagnostika primjenjuje, kao i razvojem uređaja za dijagnosticiranje. Povišenjem složenosti tehničkih sistema, uz povećanje zavisnosti rada čovjeka od pouzdanosti rada tih sistema, uz sve oštrije zahtjeve za kvalitetu realiziranih procesa i zaštitu na radu i zaštitu životne sredine, podrazumijeva **primjenu teorije informacija, postavljanje i proučavanje metoda otkaza i primjenu računara pri dijagnosticiranju i obradi dobijenih podataka.**



- Rezultat svake kontrole stanja mora biti odluka o daljoj upotrebljivosti sastavnog elementa ili sistema u cjelini (element za ponovnu ugradnju, element za popravku i ponovnu ugradnju, element mora biti povučen iz dalje upotrebe). Da bi se bilo kakva odluka mogla uopšte donijeti, neophodno je prije svega poznavanje dozvoljenih granica istrošenosti, a zatim i ostalih uslova potrebnih za njegov rad. **Granica istrošenosti** je u stvari granica između pogonske upotrebljivosti elementa ili sistema u cjelini i njegove oštećenosti.
- Modeli održavanja prema stanju obično se svrstavaju u dvije grupe: *modeli trenutne promjene tehničkog stanja* (uz primjenu inspekcije stanja) i *modeli postupene promjene stanja* (uz primjenu kontrole stanja).

- Održavanje prema stanju predstavlja dosta uspješan način upravljanja procesima održavanja tehničkih sistema, odnosno sprečava pojavu otkaza i vraća u radno stanje pojedinačno svakog sistema (*kontrola parametara*) ili jednorodne grupe sistema (*kontrola nivoa pouzdanosti*), uz obezbjeđenje maksimalnog perioda rada sistema i minimalnih troškova. Iz svega prethodnog **lako se uočava da tehnička dijagnostika, kao sastavni dio procesa održavanja prema stanju, treba da utvrdi tehničko stanje elemenata sistema u tačno definisanom vremenu i tačno određenim granicama tačnosti.** Ovo se može postići primjenom odgovarajuće instrumentacije ili na osnovu opažanja čulima specijaliste za dijagnostiku.

- U opštem slučaju, pri traženju neispravnosti razlikuje se *test dijagnostika* (karakteriše se mogućnošću davanja specijalnih dejstava) i *funkcionalna dijagnostika* (služi za provjeru radne sposobnosti sastavnih dijelova sistema u procesu njihovog rada). Metode mjerenja pri utvrđivanju tehničkog stanja sistema, koje predstavljaju skup posebnih postupaka pri kojima se definišu odnosi nekih izmjerenih veličina, mogu biti *apsolutne* (trenutno očitavanje apsolutne vrijednosti mjerene veličine) i *realativne* (određivanje odnosa mjerene i unaprijed definisane neke druge veličine) *metode mjerenja*, *direktne* (direktno očitavanje mjerene veličine) i *indirektne* (računsko ili neko drugo određivanje mjerene veličine na bazi očitane vrijednosti mjerenja) *metode mjerenja*, *kontaktne* (mjerni instrumenti u direktnom kontaktu sa mjerenom sredinom) i *beskontaktne* (bez fizičkog dodira mjernog instrumenta sa mjerenom sredinom) *metode mjerenja*, ili *diferencijalne* (kod kojih se određene veličine mjere posebno, a zaključak o traženoj mjeri se donosi na osnovu većeg broja rezultata mjerenja) i *kompleksne* (sa istovremenim očitavanjem podataka o više parametara) *metode mjerenja*.

## 2.3. Definisanje zakonitosti nastanka otkaza parnih turbina

- **Otkaz sistema parne turbine se definiše kao prestanak mogućnosti nekog elementa turbine ili turbine u cjelini da vrši funkcije za koje je projektovan. Smanjenje ili gubljenje radne sposobnosti tehničkog sistema tokom eksploatacije posljedica je dejstva različitih faktora (ugrađenih, slučajnih ili vremenskih), koji mijenjaju početne parametre sistema, izazivajući pri tome i različiti nivo oštećenja**

- Determinisanje matematičkih modela obavlja se po *determinističkoj* i *stohastičkoj* metodi.
- Uzroci otkaza i havarija parnih turbina se najčešće dijele u tri grupe: *sistemska (ugrađeni)*, *slučajni* i *monotono djelujući ili vremenski uzroci* otkaza
- U početnom periodu rada parne turbine obično se javljaju *sistemska ili ugrađeni otkazi sistema*, koji, pored ostalog, mogu biti: pogrešno projektovanje (loša konstrukcija sa grešakama u konstrukciji, greške kao posljedica pogrešnog izbora materijala i sl.), projektna pouzdanost, pojava projektnih napona, greške u izradi, greške nastale u montaži, greške kao posljedica podešavanja, termička obrada i zaostala termička naprezanja, propusti tehničke kontrole (nedovoljna kontrola i ispitivanje) i dr.

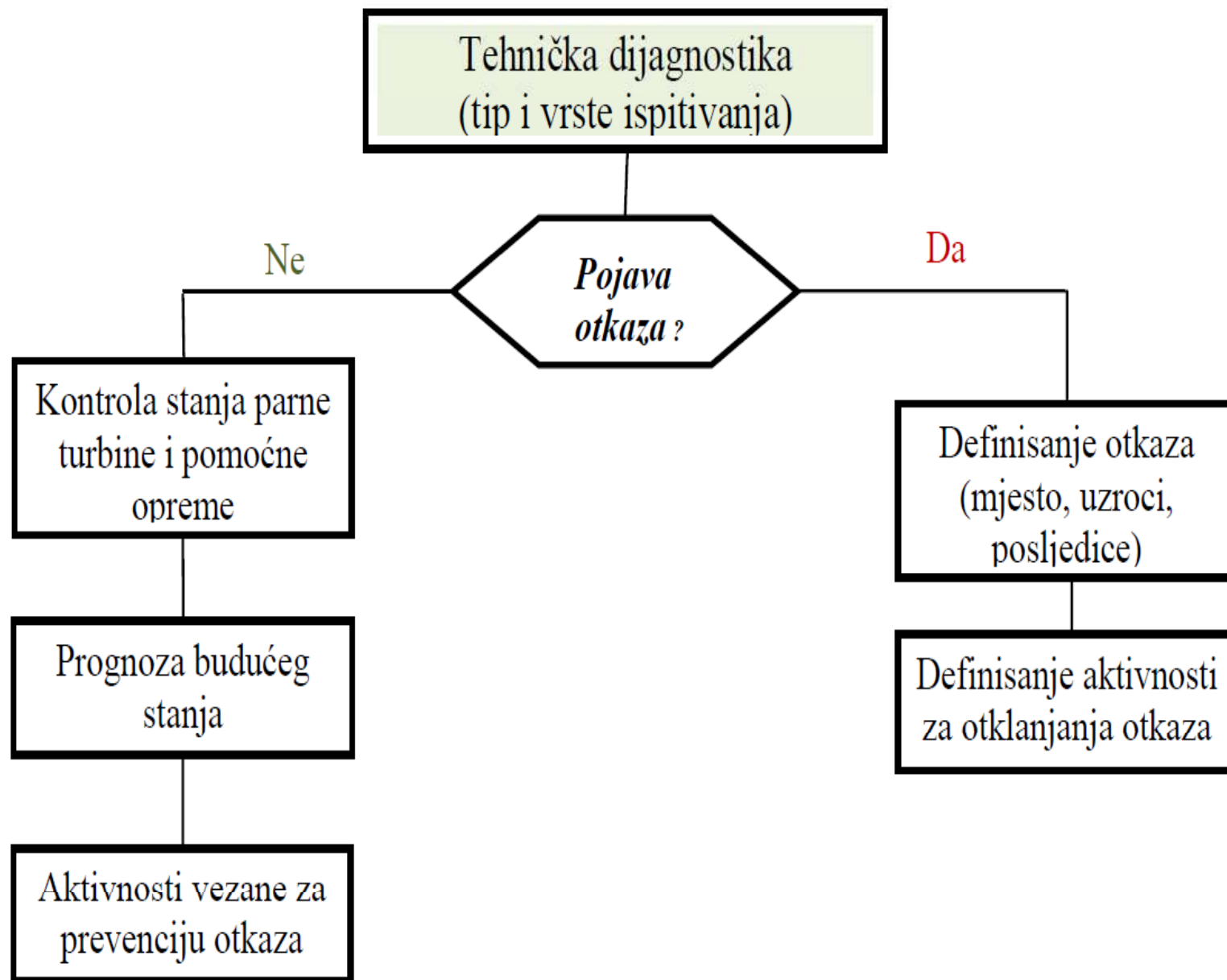
- S druge strane, **slučajni uzroci otkaza** obuhvataju: nestabilnost uslova okoline, preopterećenje ili nestabilni (posebno nestacionarni) režimi rada (nestabilnost tehnoloških parametara), loše rukovanje i održavanje, neodgovarajuća kontrola, nestabilnost konstruktivnih parametara (gradijent opterećenja i dr.).
- **Monotono djelujući ili vremenski uzroci otkaza mogu obuhvatati:** režim eksploatacije, režim održavanja, podmazivanje, zamor materijala (proces zamornosti i promjene svojstava materijala), zagrijavanje, eroziju i koroziju dijelova, procesi habanja ugrađenih dijelova, kontaminaciju radnog medijuma, razregulisanje i rascentriranje dijelova i dr.

- Rezultati mnogobrojnih istraživanja i analize oštećenja na turbinama koje se nalaze u eksploataciji pokazali su podložnost češćem oštećivanju i otkazivanju (sa većom vjerovatnoćom) nekih dijelova turbine, dok je za druge elemente ta vjerovatnoća veoma mala (klasifikacija oštećenja dijelova prema kategorijama vjerovatnoće njihovog nastanka: *oštećenja sa velikom vjerovatnoćom nastanka*, zatim *oštećenja sa srednjom vjerovatnoćom nastanka* i *oštećenja sa malom vjerovatnoćom nastanka*).
- Prethodna kategorizacija je uslovnog tipa i može poslužiti osoblju samo kao **preliminarna procjena** za nabavku novih rezervnih dijelova i preduslov za definisanje pozicija na koje je potrebno obratiti veću pažnju prilikom njihovog rada

### 3.MJERE ZA SMANJENJE HAVARIJA I POVEĆANJE POUZDANOSTI RADA PARNIH TURBINA

- **Za smanjenje neplaniranih zastoja, sprečavanje havarija i povećanje pouzdanosti** u radu parne turbine neophodna je striktna primjena propisa za osiguranje kvaliteta tokom životnog vijeka parne turbine, počev od etape pripreme i projektovanja pa sve do kraja eksploatacije i njenog povlačenja iz pogona.
- **Tokom perioda eksploatacije neizbježna je degradacija stanja** kako elemenata tako i turbine u cjelini.






Sl.2. Funkcije tehničke dijagnostike vezane za tehničko stanje sistema parne turbine, [6]

## 4. ZAKLJUČAK

**Sistem tehničke dijagnostike parne turbine predstavlja u suštini dio pratećeg sistema u sistemu dijagnostike elektrane, koji obuhvata izbor dijagnostičkih parametara i utvrđivanje njihovih veza sa parametrima stanja sistema, karakteristike njihove promjene, normative, kao i utvrđivanje moguće procjene stanja i davanja dijagnoze za sistem u svakom trenutku vremena. Pri tome koristi sve raspoložive algoritme, pravila i modele, neophodne radi određivanja stanja sistema, s ciljem pravovremenog predviđanja pojave neispravnosti. **Na taj način se povećava pouzdanost, raspoloživost i efektivnost postrojenja parne turbine sa pratećom opremom.****

- 
- Razvoj tehničke dijagnostike na parnim turbinama išao je u pravcu ostvarivanja funkcija koje turbina treba da obezbijedi. **Provjera ispravnosti, radne sposobnosti i funkcionalnosti turbinskog postrojenja, uz lociranje mjesta otkaza na najnižem hijerarhijskom nivou, elementi su na bazi koje se vrši procjena preostalog vijeka korišćenja ili trenda pojave neispravnosti.**

- **Od posebne važnosti je primjene metoda dijagnostike u ugroženom prostoru, u smislu povećanja sigurnosti takvih pogona,** je u pravovremenom otkrivanju otkaza na opremi u prostoru ugroženom eksplozijom, s ciljem sprečavanja nastanka većih havarija, koje dalje mogu biti uzročnik paljenja eksplozivne atmosfere. Rezultati ispitivanja navedenih metoda u obliku izvještaja, uvjerenja, sertifikata ili atesta obično se prevode u jednoobraznu formu, koja je prilagođena elektronskoj obradi podataka na računarima



Hvala na pažnji!