

1. STRATEGIJA UPRAVLJANJA OPREMOM – IMPLEMENTACIJA ODRŽAVANJA TEHNIČKIH SISTEMA

1.1. Uvod

Tehnička dijagnostika je prevashodno vezana za pojam **održavanja** svih tehničkih sistema, kako glavnih tako i pratećih industrijskih oblasti u svetskoj privredi.

Održavanje, u industrijskim uslovima, podrazumeva održavanje kritične opreme za proizvodnju u operativnom stanju ili vraćanje iste u operativno stanje. Ipak, tehničku dijagnostiku treba posmatrati na višem nivou – u 21. veku će u većoj meri biti potrebna određena **strategija upravljanja opremom**.

Biće potrebno da rad svakog odeljenja i pojedinca bude potpuno koordiniran i da podrazumeva međusobnu podršku kako bi se ostvarila maksimalna pouzdanost i dostigli maksimalni proizvodni kapaciteti kritične opreme tokom celog njenog životnog ciklusa.

Upravljanje opremom obuhvata tri proverene strategije uz istovremeno menjanje "kulture" u okviru održavanja i u pravcu (s ciljem) održavanja:

1. *Total Productive Maintenance* (TPM – totalno proizvodno ili produktivno održavanje),
2. *Reliability Centered Maintenance* (RCM – održavanje usmereno na pouzdanost) i
3. *Efektivno Korišćenje Informacija*.

Izbegavanje posledice kvarova primenom inteligentih alata i aplikacija modernih tehnologija, prvenstveno **monitoringa** stanja i uslova, i efektivno korišćenje tačne, blagovremene i kompletne informacije – predstavlja treću pomenutu strategiju.

Utvrđivanje stanja mašine je jedan od ključnih problema u procesu njenog održavanja.

Potrebno je pratiti promenu stanja pojedinih parametara sklopova i elemenata koji vremenom dovode do slabljenja, a ako se ništa ne preduzima i do kvara, odnosno prekida rada.

Takođe je urgentno da se u slučaju iznenadnog kvara otkrije šta je uzrok, u čemu je kvar i kako ga otkloniti.

Ciljevi svakog programa održavanja su sledeći:

- Eliminacija kvarova mašine. Česta je situacija da havarijski kvar izaziva značajna prateća oštećenja na mašini, čime se značajno uvećavaju troškovi popravke. Potpuna eliminacija kvarova trenutno nije moguća u praksi, međutim, ovom cilju se može približiti sistematičnim pristupom u održavanju.
- Ostvarivanje mogućnosti predviđanja i tačnog planiranja potreba za održavanjem. Ovo uključuje minimiziranje inventara rezervnih delova i značajno umanjjenje prekovremenog rada. U idealnom slučaju, popravke mašinskih sistema se planiraju za period planskog zastoja postrojenja.
- Povećanje pogonske spremnosti postrojenja, tako što bi se značajno umanjila šansa pojave otkaza tokom rada, kao i održavanje operativnog kapaciteta sistema pomoću smanjenja perioda zastoja kritičnih mašina. U idealnom slučaju, radno stanje svih mašina bi bilo poznato i dokumentovano.
- Obezbeđivanje predvidivog i razumnog radnog vremena za osoblje angažovano na održavanju.

Kako bi se dobila predstava o savremenim programima održavanja baziranim na tehničkoj dijagnostici, neophodno je detaljnije sagledati istorijska iskustva.

Najraniji tip održavanja je bio rad do otkaza, što je podrazumevalo rad mašine do pojave kvara koji bi je zaustavio. Ovakav pristup je očigledno skup, s tim da najveći deo troškova nastaje zbog nepredvidivog stanja mašine. Iznenadujuće je koliko je ovakav pristup u primeni i danas u našoj industriji. Reaktivan način.

Postupno se došlo do ideje o periodičnom preventivnom održavanju, što je obuhvatalo demontažu i remont mašine u redovnim intervalima. Po ovoj teoriji, mašina će se manje kvariti u radu, ukoliko se remontuje. Preventivno održavanje je egzistiralo dug period vremena, ali je postalo izuzetno zastupljeno početkom osamdesetih godina prošlog veka. Nesmetan rad mašine nije prekidan prema teoriji "popravi je ako nije pokvarena".

Najnovija saznanja u oblasti održavanja su nazvana "pro-aktivna", i obuhvataju tehniku takozvane "analize osnovnog uzroka otkaza" po kojoj je neophodno otkriti i otkloniti osnovni uzrok otkaza mašine.

Godine 1991. urađena je međunarodna analiza većine tipova industrijskih postrojenja i otkriveno je da su sve navedene tehnike održavanja u primeni i to u sledećem obimu:

- Više od polovine časova održavanja je potrošeno na reaktivan način, vršeći hitne popravke u neplanskom periodu.
- Manje od 10% sati na održavanju je potrošeno na preventivno održavanje,
- Manje od 40% aktivnosti na održavanju je planskog karaktera i
- Izuzetno malo vremena je potrošeno na aktivne tehnike, između ostalog i tehnike dijagnostičkih metoda.

Na osnovu ovih podataka može se videti da postupci održavanja još uvek nisu sistemski došli do poslednjeg kvartala 20. veka, a kamoli ušli u 21. vek. Razumno je da savremeni program održavanja celokupne rudarske opreme obuhvati elemente svih ovih tehnika, a razlog za to je, između ostalog, i ekonomske prirode.

1.2. Komponente programa održavanja

1.2.1. Održavanje tipa "rad do otkaza"

Održavanje "*rad do otkaza*" se još naziva i "*krizno održavanje*" ili "*histerično održavanje*" i to sa dobrim razlogom. Ovaj oblik je bio dominantan oblik održavanja dug period vremena, a njegovi troškovi su relativno visoki zbog neplanskog zastoja, oštećenja opreme i prekovremenog rada.

Kod ovog tipa, menadžment i služba održavanja su pod kontrolom stanja mašina, a stvarno stanje kompletne opreme se samo naslućuje. Zbog ovoga je praktično nemoguće planirati potrebe održavanja, a najgore je što se ne može predvideti stanje spremnosti ukupnog sistema.

"*Rad do otkaza*" treba da bude samo mali deo savremenog programa, pošto u nekim situacijama ima svrhe primeniti ovakav pristup. Primer je postrojenje u kome je angažovan veliki broj sličnih

mašina, čija popravka ili zamena nije skupa. Kada se jedna pokvari, angažuje se druga mašina, a proizvodnja ne trpi mnogo.

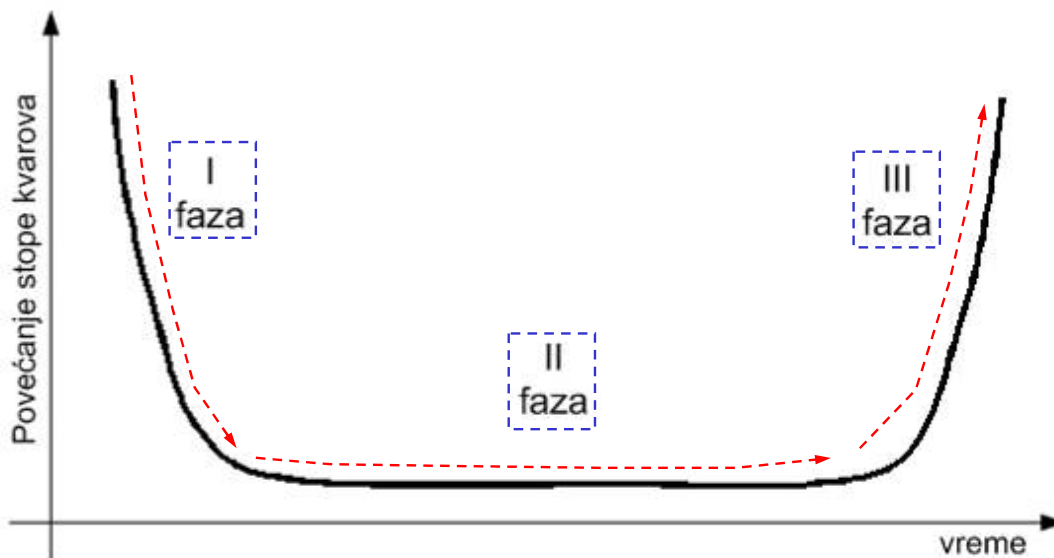
1.2.2. Periodično preventivno održavanje

U odnosu na "rad do otkaza" učinjen je napredak ka preventivnom održavanju, koji se ponekad naziva i "istorijsko" održavanje. Vršiti se analizira istorija svake mašine, a periodični remont se planiraju tako da se pre obave statistički očekivane pojave problema. Već dugo vremena je poznato da će većina grupa sličnih mašina ispoljiti intenzitet otkaza koji je delimično predvidljiv, pod uslovom da je ostvaren prosek u dugom vremenskom intervalu.

Preventivno održavanje obuhvata i takve aktivnosti kao što je zamena maziva i filtera, periodična čišćenja i kontrole itd. Aktivnosti održavanja mogu biti planirane na osnovu kalendarskog vremena, radnih časova mašine, broja proizvedenih delova i dr.

Preventivno održavanje je postalo veoma popularno ranih 1980-ih kada su počeli da se primenjuju mali računari za potrebe planiranja i evidencije poslova održavanja. U studiji preventivnog održavanja (*United American Airlines*) otkriveno je da se za velike klase rotacionih mašina intenzitet otkaza značajno povećava upravo posle periodičnog remonta – drugim rečima, remont je smanjio pouzdanost mašina. Izgledalo je kao da se mašina vraća na početak "krive kade" (slika) posle svakog remonta.

Ova studija, kao i kasnija posmatranja, pokazala su da periodični remont izazivaju 20 do 25% otkaza kod startovanja. Oko 10% ovih otkaza pripisano je defektnim novim ležajevima. Očigledno je da preventivno održavanje nije efikasno kod iskorišćenja resursa većine mašina. Međutim, postoje slučajevi kada se može iskoristiti sa dobrim rezultatima. Primeri su mašine koje ispoljavaju habanje u zavisnosti od vremena upotrebe (npr. drobilice) kao i mašine koje su izložene koroziji (mašine za manipulaciju agresivnim supstancama).



Slika 1.1. Kriva kade – hipotetički prikaz kretanja stope kvarova u vremenu (eng. *The Bathub curve*), prikazuje tri perioda u eksploataciji tehničkog sistema:

I faza – Razrada (*dečije bolesti*), opadanje stope kvarova (eng. *Infant mortality*);

II faza – Normalni rad, niska konstantna vrednost stope kvarova (eng. *Normal life (useful life)*);

III faza – Kraj životnog veka, porast stope kvarova tj. povećana frekvencija kvarova zbog dotrajalaosti tehničkog sistema (eng. *End of life wear-out*).

1.2.3. Prediktivno održavanje

Sledeće unapređenje koncepcije održavanje je bio prelaz na *prediktivno* održavanje, koje je zasnovano na utvrđivanju stanja mašine tokom rada. Ova koncepcija se često kod naziva i *održavanje po stanju*, tj. na osnovu utvrđenog stanja.

Ovakva tehnika je zasnovana na činjenici da će većina elemenata mašine ispoljiti nekakav tip "upozorenja" pre sopstvenog otkaza. Očitavanje ovih simptoma, na koje nas mašina upozorava, zahteva nekoliko tipova ispitivanja bez razaranja, kao što su analiza ulja, habanje, analiza čestica, analiza vibracija i merenja temperature.

Primena ovih tehnika u cilju određivanja stanja mašine rezultuje se u značajno efikasnijem održavanju u odnosu na ranije tipove održavanja. Prediktivno održavanje omogućava menadžmentu da kontroliše opremu i program održavanja. U preduzeću koje koristi prediktivno održavanje, stanje ukupne opreme je poznato u svakom trenutku, čime se omogućava značajno preciznije planiranje. Ovaj vid održavanja koristi brojne različite discipline, od kojih je najznačajnija periodična analiza vibracija.

Već je mnogo puta dokazano da u odnosu na druge tehnike ispitivanja bez razaranja, analiza vibracija pruža najviše informacija o stanju elemenata mašine. Neke mašine, koje su od ključnog značaja za rad celokupnog postrojenja, mogu biti predmet neprekidnog monitoringa vibracija, što znači da bi postojalo upozorenje, odnosno oglasio bi se alarm čim se vibracije povećaju preko unapred određenog nivoa. Tako se sprečava brzo širenje kvara i pojava havarijskog otkaza.

Mali broj rudarskih mašina pa i mašina uopšte, za sada, ima ovakav sistem monitoringa. Naprimer, kod nas ni jedna rudarska mašina, ni jedan površinski kop ih nema, što ne znači da ih ubuduće neće imati.

Analiza ulja i čestica nastalih habanjem su važne komponente savremenih planskih programa, posebno kod kritične ili izuzetno skupe opreme. Termografija je merenje površinske temperature infracrvenom detekcijom i od velike je koristi kod detektovanja problema u elektro instalaciji (prekidači), kao i kod drugih delova sa otežanim pristupom. Analiza krive struje motora je veoma korisna tehnika za detekciju napuklih ili polomljenih šipki rotora, i to tokom rada motora. Testiranje električnim udarima statora motora se može iskoristiti za detekciju početne faze otkaza izolacije.

Osnovna prednost prediktivnog održavanja je veća pogonska spremnost postrojenja zbog veće pouzdanosti opreme. Vremenski trend razvoja otkaza kod mašine se može pažljivo pratiti i na osnovu toga planirati održavanje, a u skladu sa planskim zastojećima. Brojne industrije izveštavaju o povećanju produktivnosti za 2 do 10% na osnovu primene prediktivnog održavanja. Slični odnosi povećanja pogonske spremnosti se očekuju sigurno i kod velikih i značajnih sistema u rudarskoj i naftno-gasnoj industriji.

Sledeća korist prediktivnog održavanja su manji troškovi za rezervne delove i radnu snagu. Popravka mašine koja je otkazala tokom rada može da bude i do deset puta skuplja nego predviđena, planska popravka iste mašine. Veliki broj novih mašina otkazuje ubrzo posle puštanja u rad zbog otkaza koji se javljaju u periodu uhodavanja ili zbog nepravilne montaže.

Prediktivne tehnike se mogu iskoristiti u cilju obezbeđivanja pravilne saosnosti i sveukupnog integriteta instalirane mašine, pri prvom puštanju u rad. Mnoga postrojenja uslovljavaju primopredaju nove instalirane opreme na osnovu potvrde dobijene merenjem vibracija. Prediktivno održavanje umanjuje verovatnoću pojave havarijskog otkaza mašine, čime se unapređuje i zaštita na radu. Postoje brojni primeri povreda na radu, sa smrtnim ishodom, zbog iznenadnih otkaza mašina.

1.2.3. Proaktivno održavanje

Poslednja inovacija u oblasti prediktivnog održavanja je takozvano proaktivno održavanje, koje primenjuje razne tehnologije u cilju produženja veka mašina i radi praktične eliminacije reaktivnog održavanja.

Osnovni deo proaktivnog programa je analiza osnovnog uzroka kvara, odnosno utvrđivanje mehanizama i uzroka pojave kvara na mašini. Fundamentalni uzroci pojave otkaza na mašinama se na ovaj način mogu otkloniti, a mehanizmi otkaza se postepeno mogu inženjerskim pristupom eliminisati sa svake mašinske instalacije. Već dugo vremena je poznato da su debalans i nesaosnost osnovni uzroci većine otkaza na mašinama. Oba ova uzroka generišu dodatne sile na ležajeve, skraćujući njihov vek. Značajno je bolji pristup precizno balansirati i poravnati mašinu, uključujući verifikaciju sa rezultatima analize vibracija, nego neprestano zamenjivati pohabane ležajeve.

Precizno poravnavanje (saosnost):

U jednom američkom časopisu je objavljen podatak da je precizno poravnavanje produžilo vek ležaja za faktor 8, kod velike klase rotacionih mašina. Pored ovoga, prijavljena je ušteda od 7% u okviru ukupnog održavanja i 12% povećanja raspoloživosti mašina. Kvarovi mašina uzrokovani nesaosnošću su prepolovljeni. Pored navedenog, prednost preciznog poravnavanja je i ušteda u snazi. Nedavno urađena američka studija je dokumentovala uštedu snage od 11% na osnovu preciznog poravnavanja, kod jednostavne grupe mašina (motori i pumpe). Ovo je posledica da su gubici snage u savijanju spojnice, vibracijama mašine i zagrevanju ležajeva manji. Novčane uštede u ovom slučaju, samo na osnovu manje potrošnje snage, su duplo veće nego troškovi održavanja ovih mašina.

Nove instalacije:

Poznata je činjenica da veliki broj novih mašina ima defekte i u trenutku montaže. Ovi defekti mogu nastati od neodgovarajuće montaže, izazvana lošim osloncima – temeljima i lošem poravnavanju, pa sve do defektnih delova – elemenata, kao što je loš ležaj, savijeno vratilo itd. Proaktivni program održavanja bi obuhvatio testiranje nove opreme i instalacija, a u cilju sertifikacije odnosno potvrđivanja performansi u okviru strogih standarda. Isti standardi bi se odnosili na rekonstruisane i remontovane mašine. Ovakav tip testiranja može voditi ka formiranju karakteristične specifikacije performansi, koje su u mnogim slučajevim strože nego specifikacija i tolerancije proizvođača opreme. Ključni element proaktivnog pristupa je obuka osoblja na održavanju, u cilju primene ovih osnovnih principa.

Koristi od proaktivnog održavanja:

Uspešan proaktivni program održavanja bi postepeno, tokom vremena, projektno-inženjerskim zahvatima otklonio problem koji ima mašina, a što bi za posledicu imalo značajno produžen vek mašine, skraćen period zastoja i povećan proizvodni kapacitet. Jedna od najboljih osobina proaktivnog pristupa je da su njegove tehnike nadograđuju na tehnike koje se koriste u prediktivnom programu, tako da se lako mogu dodati u postojeće programe. Danas je već očigledna neophodnost za izbalansiranim pristupom održavanju, uključujući odgovarajuće metode preventivnog, prediktivnog i proaktivnog održavanja, pri čemu ovi elementi nisu nezavisni, već treba da budu integralni deo jedinstvenog programa održavanja.

2. TEHNIČKA DIJAGNOSTIKA

2.1. Uvod

Reč *dijagnoza* vezuje se za medicinu i označava utvrđivanje od čega bolesnik boluje.

Potiče od grčke reči *diagnosis* – prepoznavanje (zaključivanje) i (pr)ocenicivanje.

Isto to znači i u tehnici – *tehnička dijagnostika*.

Utvrđivanje stanja mašine je jedan od ključnih problema u procesu njenog održavanja.

Potrebno je *pratiti promenu stanja* pojedinih parametara sklopova i elemenata koji vremenom dovode do slabljenja, a ako se ništa ne preduzima i do kvara, odnosno prekida rada.

Takođe je urgentno da se u slučaju iznenadnog kvara otkrije šta je *uzrok*, u čemu je kvar i kako ga treba otkloniti.

Pored napretka savremenih sredstava tehničke dijagnostike uvek će biti dragocena znanja *eksperata*, koji mogu bez posebnih sredstava da pokažu u čemu je problem (veštačka inteligencija).

Ipak se u ovom slučaju individualne ekspertske dijagnostike, postavlja pitanje verodostojnosti postavljene dijagnoze, dijagnoza mora biti postavljena tačno, što podrazumeva najčešće kombinaciju ocene eksperta i primenu tehničkih sredstava dijagnostike.

Sve aktivnosti koje se sprovode sa ciljem ocene trenutnog tehničkog stanja sistema (sa rastavljanjem i bez rastavljanja sistema) radi preduzimanja planiranih aktivnosti održavanja ili davanja prognoze tehničkog sistema u budućnosti.

Tehnička dijagnostika, kao sastavni deo procesa održavanja prema stanju, treba da utvrdi tehničko stanje sastavnog dela sistema sa određenom tačnošću u određenom trenutku vremena – nauka koja se bavi prepoznavanjem tehničkog stanja sistema.

Dijagnoza je prva faza u svakom postupku održavanja. Dijagnoza može da se uradi na dva različita nivoa:

- prvi nivo je utvrđivanje da je sistem u otkazu i šta je u kvaru, što treba popraviti;
- viši nivo, osim rečenog za prethodni nivo zahteva i utvrđivanje uzroka nastanka neispravnosti.

Tehničkom dijagnostikom se vrši:

- provera ispravnosti tehničkog stanja sistema,
- provera radne sposobnosti tehničkog sistema,
- provera funkcionalnosti, i
- istraživanje otkaza (mesto, oblik i uzrok otkaza).

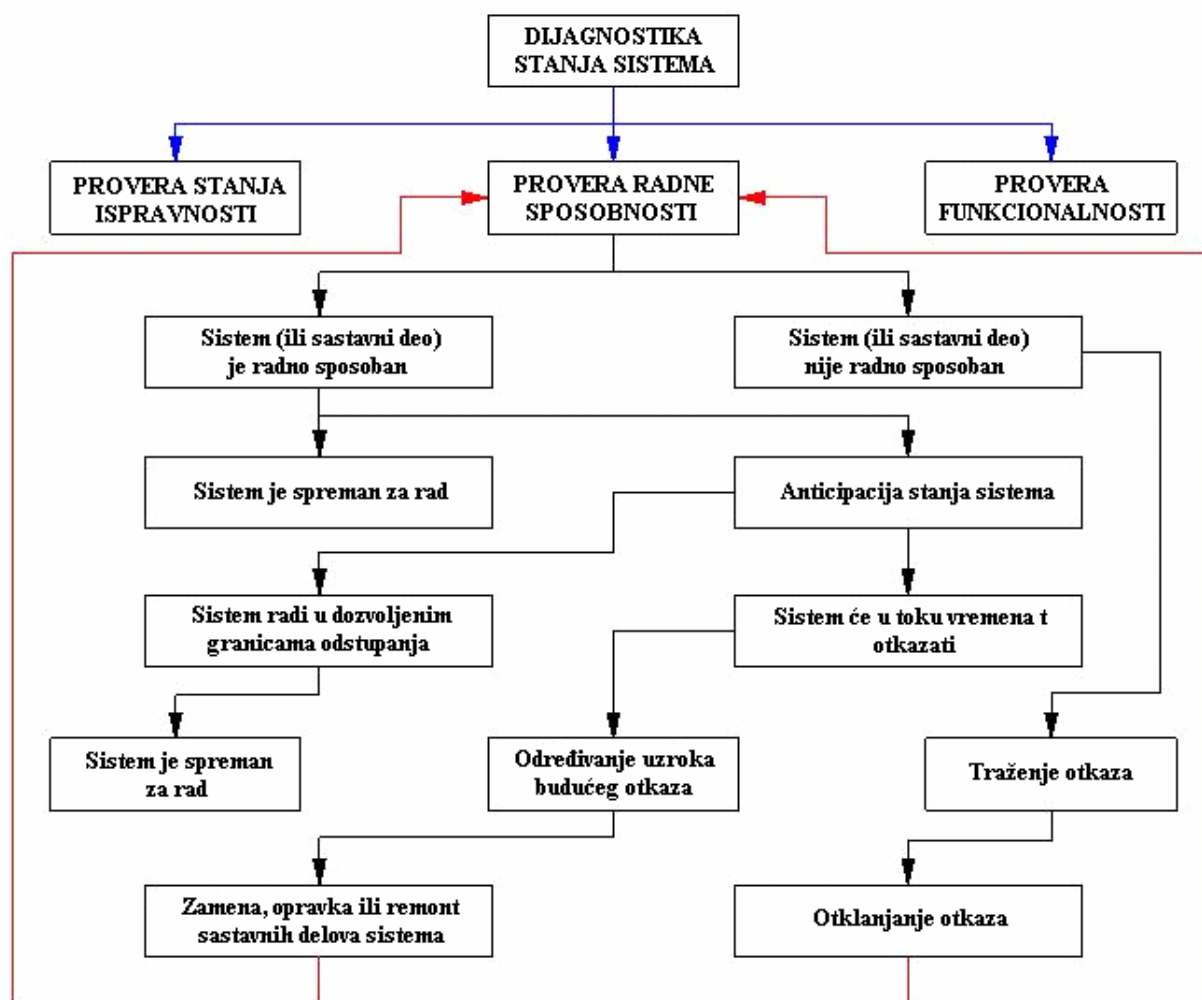
Sve kontrole sa dijagnostičkog aspekta se mogu podeliti na kontrole u cilju:

- održavanja radnog stanja,
- utvrđivanja radnog stanja i
- kontrole stanja.

U specifičnim slučajevima, dijagnostičke kontrole mogu biti:

- periodična ispitivanja određenih sistema i
- ispitivanje mikroklima u radnim prostorijama, buke i vibracija i dr.

Uzajamno povezani parametri koji određuju tehničko stanje sistema su pouzdanost i dijagnostika, što je definisano na sledećoj slici 2.1.



Slika 2.1. Parametri koji određuju tehničko stanje sistema

Na radnu sposobnost jednog tehničkog sistema utiču kako **spoljašnja** tako i **unutrašnja** dejstva, odnosno tehnički sistem je u takvom okruženju da njegov ispravan i kvalitetan rad zavisi od njegovog **okruženja**.

Na taj način, u toku eksploatacije tehničkog sistema, mogu nastati **posledice** (čak i havarijske, nepopravljive prirode) zbog ispada sistema iz procesa rada.

Postoje tri osnovna izvora dejstva na tehnički sistem:

1. Energija okolne sredine, uključujući rukovaoce i održavaoce,
2. Unutrašnji izvori energije, povezani sa radnim procesima ali i sa radom pojedinih sastavnih delova sistema,
3. Potencijalna energija koja je sakupljena u obrađivanim materijalima u procesu njihovog korišćenja (montažni naponi – unutrašnje sile, unutrašnji naponi (sile) u odlivcima, itd.

Kao što je poznato, na izmenu radne sposobnosti jednog tehničkog sistema pri njegovoj eksploataciji, utiču sledeći oblici energije:

1. Mehanička,
2. Toplotna,
3. Hemijska,
4. Elektromagnetna, itd.

Svi ovi oblici mogu da izazovu **neželjene procese** pri tom pogoršavajući tehničke karakteristike predmetnih tehničkih sistema. Oni mogu da izazovu: **deformacije, habanje, lom, koroziju** itd., što dovodi do otkaza sistema.

Procese koji menjaju parametre, u osnovi možemo podeliti na dve grupe:

1. Koji privremeno menjaju parametre sistema ili njegovih sastavnih delova bez progresivnog pogoršanja (elastične deformacije, temperaturne deformacije, itd.),
2. Koji trajno menjaju parametre sistema ili njegovih sastavnih delova, koji vremenom dovode do progresivnog pogoršanja (habanje, korozija, zamor, unutrašnji naponi, itd.).

Po brzini proticanja, procesi koji menjaju radnu sposobnost sistema mogu se podeliti:

1. Brzo prolazeće (usled vibracija, promene sile trenja, kolebanja radnih opterećenja itd.),
2. Srednje prolazeće (usled izmene temperature, habanja i dr.),
3. Sporo prolazeće (usled preraspodele unutrašnjih napona – sila, zaprljanja delova, trenja, korozije i dr.).

2.2. Otkazi – osnovni pojmovi

U oblasti lošeg rada tehničkog sistema mogući su sledeći **otkazi**:

1. Otkaz usled zamora,
2. Prekidni otkazi,
3. Otkaz degradacije,
4. Otkaz katastrofa.

Osnovne komponente koje **identifikuju** otkaz su:

- Uzrok otkaza,
- Manifestacija otkaza,
- Mesto otkaza (lokacija),
- Način otklanjanja otkaza.

1. Za uzrok otkaza:

- Olabavljenost, Rukovanje tehničkim sistemom, Čišćenje, Podmazivanje, Mehanički lom, Preopterećenje, Korozija, Habanje i dr.

2. Za manifestaciju otkaza:

- Mašina (tehnički sistem) ne radi, Mašina radi nekvalitetno, Nenormalan šum, Preterane vibracije i sl.

3. Za mesto otkaza:

- Kaišni prenosnici, Zupčasti prenosnici, Hidraulički uređaji, Pneumatički uređaji, Elektroinstalacija, Elektronika, Pribor ili alat i dr.

4. Za način otklanjanja otkaza:

- Čišćenje i podmazivanje, Podešavanje i štelovanje, Dorada rezervnog dela, Zamena sastavnog dela sistema i dr.

2.2.1. Uticaji na pojavu otkaza

Ugrađeni uticaji:

- Greške u projektovanju, Projektna čvrstoća i pouzdanost, Greške izrade, Konstrukciona elastičnost, Greške montaže, Termička obrada, Zaostala naprezanja, Kvalitet ispitivanja.

Slučajni uticaji:

- Nestabilnost konstrukcionih parametara, Nestabilnost tehnoloških parametara, Nestabilnost uslova okoline, Loše rukovanje, Loše održavanje, Pogonska kontrola, Gradijent opterećenja, Ostali slučajni uticaji.

Habanje i starenje:

- Režimi eksploatacije i održavanja, Procesi izmene, Svojstva materijala, Tribologija, Zagrevanje, Otpornost na zamor, Radni medijum, Erozijska i korozivna, Karakteristike sistema u rednoj vezi.

2.2.2. Vrste neispravnosti

Slabljenje sastavnog dela sistema:

- Lom usled zamora sa prethodnom naprslinom, Lom usled zamora na zavarenom sastavu, Pukotina usled zamora, Pukotina na zavarenom sastavu usled zamora, Gnječenje na površini (zamor površine), Istrošenost, Korozivna, Nagriženost, Erozijska, Starenje nemetalnih sastavnih delova i dr.

Mehanička preopterećenja sastavnog dela sistema:

- Lom usled preopterećenja (bez prethodne pukotine), Lom usled preopterećenja na navarenom sastavu, Pukotina na sastavnom delu usled preopterećenja (udarca), Pukotina na zavarenom sastavu usled preopterećenja (udarca), Plastična deformacija sastavnog dela, Naduvenost, Oslabljene karakteristike opruge, Oštećenje površine (zasećenost i sl.) usled udara, Pohabanost od duge upotrebe, Oštećenje usled slabe zaštite (podmazivanje površine i sl.), Oštećenje usled slabe izolacije od vibracija i dr.

Električno oštećenje sastavnog dela sistema:

- Slabljenje kontakta, Slabljenje izolacije, Slabljenje dielektričnosti, Slabljenje emisione moći, Varničenje, Razdešenost elektronskog kola, Otkaz lemljenog spoja, Slabljenje električnih karakteristika, Oslabljeno napajanje električnom energijom i dr.

Fizičko-hemijska oštećenja:

- Sagorelost, Istopljenost, Pregrejanost, Zamrznutost, Vlaga i kvašenje, Gubljenje hermetičnosti, Curenje tečnosti, Pad pritiska fluida, Dejstvo zračenja (elektromagnetsko i dr.), Dejstvo statičkog elektriciteta, Dejstvo spojenih hemijskih agenasa, Bakarisanje, Promenjene karakteristike tečnosti, Dejstvo bioloških agenasa (buđ, bakterije, insekti i dr.) i dr.

Nepodešenost:

- Nepodešenost usled slabljenja veza, Nepodešenost usled istrošenja (habanja), Nepodešenost usled deformacije, Nepodešenost usled korozivne, Nepodešenost usled slabe zaštite od spoljnih uticaja, Nepodešenost kao posledica neispravnosti i drugog sastavnog dela, Zaglavljivanje, zakočenje, Gubitak sastavnih delova, Nedostaje sastavni deo, Nedostaje montažni deo, Gubitak preciznosti (performanse i sl.), Smanjena brzina, Netačnost površine, Netačnost ugla položaja i dr.

Posledična neispravnost:

- Zaglavljivanje, Nedovoljna količina fluida i energije i dr.

Razlog zamene:

- Slučajni otkaz, Dugo nekorišćenje, Otkaz usled starenja, Nepridržavanje uputstava za rukovanje, Loše osnovno održavanje, Loše izvedena preventivna opravka (remont), Loše obezbeđenje od klimatskih uticaja, Slab kvalitet montaže i dr.

2.3. Tehnička dijagnostika – dijagnoze, radna stanja, parametri

Proces dijagnostikovanja stanja tehničkog sistema sadrži se u logičkoj obradi neke objektivne suštinske informacije, koja dolazi do tehničkog sistema "u radu" u određenom trenutku vremena – ta informacija dolazi u obliku sistema simptoma koji direktno karakterišu tehničko stanje sistema.

Sisteme dijagnoze za određivanje stanja tehničkih sistema mogu se svrstati:

1. Sistem test-dijagnoze.

Uticaj na objekat dijagnoze je postupan i dolazi od sredstava za dijagnozu. Vrstu i redosled prenosa uticaja možemo birati u početku uz uslov efektivne organizacije procesa dijagnoze.

2. Sistem funkcionalne dijagnoze.

Uticaji na osnovne ulaze objekta u sistemu funkcionalne dijagnoze zadati su njegovim radnim algoritmom funkcionalnog osposobljavanja tehničkog sistema, posle otkaza, za namenu za koju je projektovan.

Elementarna provera obuhvata **predaju ulaznih signala** objektu i prijem i merenje odgovarajućih **izlaznih signala (odziva)**.

Za realizaciju tih operacija, sredstva dijagnoze treba da sadrže:

- Izvor uticaja (za test dijagnozu),
- Merne uređaje (ugrađene ili prenosne), i
- Uređaje veze.

Rezultate dijagnoze treba predstaviti u obliku koji je pogodan za praktično korišćenje – rezultat dijagnoze u principu treba da bude jedan od odziva:

1. Sistem je ispravan,
2. Sistem je neispravan.

Tehnička dijagnostika se primenjuje pri određivanju:

1. **Radnog stanja;** Mere se radni parametri koje su definisali proizvođači mašine i koji se moraju održavati u određenim granicama (pritisak, temperatura, protok, zazor);
2. **Stepena oštećenja;** Pomoću određenih postupaka dijagnostike utvrđuje se koliko je oštećenje prouzrokovano radom mašine;
3. **Pouzdanosti i efektivnosti;** Utvrđuje se da li je zadovoljena radna sposobnost i sigurnost od otkaza; ispitujući pouzdanost utvrđuje se i prognoza preostalog korišćenja sistema;
4. **Prognoze preostalog korišćenja, i**
5. **Kvaliteta proizvodnje (eksploatacije) i održavanja.**

Za primenu mera tehničke dijagnostike na raspolaganju su načelno dva oblika:

1. Stalna ili permanentna dijagnoza (on-line):

- Dijagnostički uređaji su direktno ugrađeni u samu mašinu,
- Na osnovu dobijenih parametara kontrolišu stanje najvažnijih sklopova za vreme nejdugovog rada,
- Trenutna analiza,
- Prekid rada sistema zbog dijagnostikovanja nije potreban.

2. Periodična dijagnoza (off-line):

- Mere dijagnostike se primenjuju posle određenog vremena rada sistema ili posle propisanih izvršenih radova,
- Mašina se može isključiti iz procesa rada.

Sve dijagnostičke kontrole mogu se podeliti na kontrole radi:

- **Utvrđivanja radnog stanja,**
- **Održavanja radnog stanja,**
- **Kontrole stanja.**

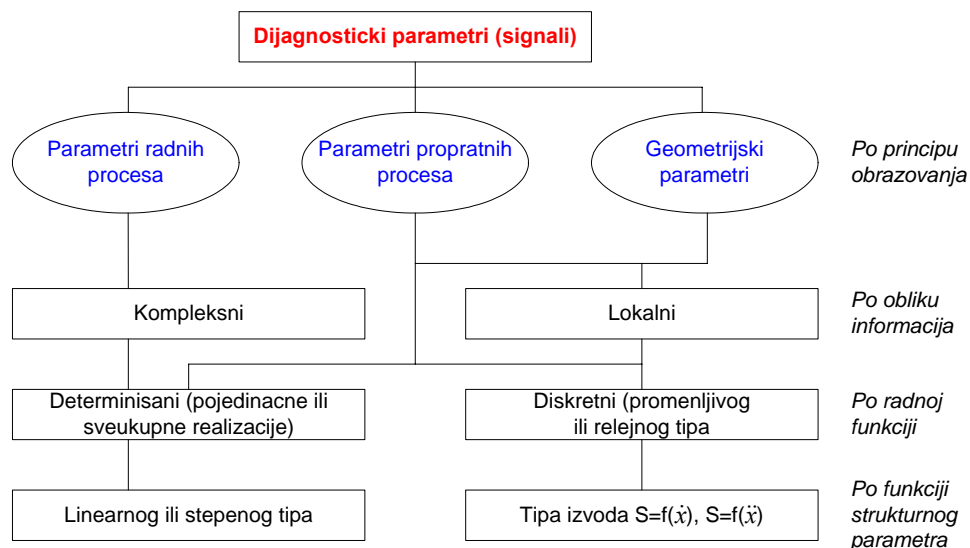
Utvrđivanje radnog stanja – ostvaruje se primenom odgovarajućih instrumenata ali i na osnovu čulnih opažanja (donosi se ocena stanja). Utvrđivanje radnog stanja podrazumeva prethodno definisane kriterijume dozvoljenog i nedozvoljenog stanja.

Održavanje radnog stanja – podrazumeva se obilazak tehničkog sistema u unapred predviđenom programu. Sagledavanje stanja bez dublje analize i preduzimanja jednostavnijih aktivnosti kako bi se verovatnoća otkaza smanjila. Aktivnosti: čišćenje, dolivanje ulja i maziva, podmazivanje i proveravanje maziva i ulja, čišćenje ili zamena delova sistema za prečišćavanje itd.

Kontrolni pregledi – periodična ispitivanja određenih tehničkih stanja sistema, mikroklima u radnim prostorijama, buke i vibracije i dr. Cilj: da li je primenjenim merama i normativima zaštite na radu obezbeđen bezbedan rad.

Dijagnoze:

- Dijagnoza funkcionisanja i oštećenja
- Kompleksna i dubinska dijagnoza stanja sistema
- Direktna i indirektna dijagnoza stanja sistema
- Subjektivna i objektivna dijagnoza stanja sistema
- Periodična i stalna dijagnoza stanja sistema
- Delimična i sveukupna dijagnoza stanja sistema



Slika 2.2. Dijagnostički parametri

Dijagnostički parametri su posredne – individualne veličine povezane sa strukturnim parametrima (npr. zazor u ležaju) i nosioci su tačnih informacija o tehničkom stanju sistema (npr. pritisak ulja). Oni mogu biti parametri radnih procesa, parametri propratnih procesa i geometrijski parametri.

Parametri radnih procesa koji određuju osnovne funkcionalne karakteristike sistema (snaga, učestalost puštanja u rad, itd.) daju opštu informaciju (kompleksnu informaciju) o stanju sistema u celini.

Parametri propratnih procesa (vibracija, buka, temperatura, itd.) daju užu informaciju (lokalnu informaciju) o stanju sistema koji se dijagnostikuje.

Dijagnostički parametri (posebno strukturni), mogu se javiti kao slučajne, neprekidne ili diskretne veličine – obavezno se registruju i smetnje koje su uslovljene ili konstrukcijom sistema ili tačnošću.

Tabela 2.1. Moguća klasifikacija dijagnostičkih parametara

R.br.	Vrsta parametra	Parametri
1	Kinematicki	Vreme, brzina, ubrzanje, ugaona brzina, ugaono ubrzanje, period, frekvencija periodičnih procesa, faza, zapreminski protok, gustina zapreminskog protoka, gradijent brzine.
2	Geometrijski	Dužina, površina, obim, ravni ugao, prostorni ugao, krivina linije, krivina površine, momenti inercije, otporni moment inercije, polarni moment inercije.
3	Staticki i dinamički	Težina, sila, pritisak, gradijent pritiska, rad, energija, gustina, snaga, koeficijent trenja, koeficijent elasticnosti, moment sile, moment inercije, maseni protok, masena brzina, slabljenje i dr.
4	Mehaničke i molekularne osobine materije	Gustina, specifična gustina, kolicina materije, relativna molekularna masa, molekularna masa, koeficijent istezanja, modul elasticnosti, tvrdoća, dinamička viskoznost, kinematička viskoznost, koncentracija, koeficijent difuzije, funkcije raspodele.
5	Toplotni	Temperatura, kolicina toplote, temperaturni gradijent, toplotni fluks, gustina toplotnog fluksa, entropija, toplotni kapacitet, toplota fazne transformacije, toplota sagorevanja goriva, toplotna provodljivost, koeficijent prenošenja toplote, koeficijent temperaturne provodljivosti.
6	Akusticki	Zvucni pritisak, prostorna brzina, zvucna energija, gustina zvucne energije, fluks zvucne energije, intenzitet zvuka, akusticki otpor, specifični akusticki otpor, nivo intenziteta zvuka i zvucnog pritiska, akusticka prodornost.

2.4. Oblici mernih dijagnostičkih parametara

- Strukturoskopija i izmena sastava strukture materijala
- Defektoskopija, introskopija
- Nivo i protok
- Temperatura i toplotni parametri
- Pritisak
- Vlažnost, brzina, viskoznost
- Masa
- Vreme
- Vibrometrija, merenje udara, šum
- Mehanički parametri materijala (napon, plastičnost, tvrdoća i dr.)
- Položaj i razmera (geometrijska kontrola)
- Sila deformacije, promena naprezanja
- Električni parametri

Moguća klasifikacija dijagnostičkih parametara prema sledećim obeležjima:

- 1. Parametri tačnosti:** geometrijski parametri koji karakterišu kvalitet elemenata mašine, parametri koji karakterišu tačnost pozicioniranja, geometrijski parametri koji karakterišu kvalitet obrađenih površina alatom i dr.
- 2. Parametri nivoa i potrošnje tečnosti i gasova:** prisustvo i nivo radnog fluida, sredstva za hlađenje i podmazivanje; potrošnja i curenje u hidrauličkim i pneumatičkim sistemima.
- 3. Vizuelni parametri:** prisustvo oštećenja, prisustvo produkata habanja i dr.
- 4. Parametri dinamičkih karakteristika:** amplitudno-frekventne karakteristike, fazno-frekventne karakteristike, amplitudno-fazno-frekventne karakteristike i dr.
- 5. Vibroakustički parametri:** zvučni pritisak, spektar vibroakustičkog signala (amplitudni, fazni), energija i snaga vibroakustičkog signala.
- 6. Parametri vremenskih intervala:** trajanje svakog elementa ciklusa rada, trajanje zastoja opreme, vreme u radu između pojave otkaza i dr.
- 7. Parametri veličine i produkata habanja:** prisustvo i koncentracija čestica u ulju, radnom fluidu, sredstva za hlađenje; veličina zazora; površina i maksimalna veličina habanja; brzina ili intenzitet habanja na određenim tačkama (zonama), površinama trenja i dr.
- 8. Parametri kretanja:** parametri zakona kretanja (brzina, ubrzanje, odstupanje stvarne putanje od idealne trajektorije); vibracije (frekvencije, amplitude, brzine, ubrzanja) i dr.
- 9. Temperaturni parametri:** maksimalna i srednja temperatura, padovi temperature, brzina promene temperature i dr.
- 10. Električni parametri:** snaga, jačina struje, napon, otpor i dr.
- 11. Energetski parametri:** sila, momenti i deforamacije, snaga, pritisak, rad trenja i dr.

2.5. Granična stanja, obrada parametara

Granična stanja se definišu kao granice radne pouzdanosti – granična stanja moraju biti poznata. Određivanje ovih stanja je sastavni deo tehničke dijagnostike.

Pri razradi dijagnostičkih parametara važno je poznavanje zavisnosti parametara stanja i sposobnosti funkcionisanja objekata. Na osnovu te teze, parametre stanja razvrstavamo u tri grupe:

1. Parametri stanja sa konstantnim uticajem (svaka promena dovodi do promene sposobnosti funkcionisanja),
2. Parametri stanja sa rastućim uticajem (uticaj se pokazuje tek posle dostizanja jedne određene vrednosti),
3. Parametri stanja sa trenutno delujućim uticajem (pri dostizanju jedne određene veličine parametara, oni na objekat deluju tako da trenutno dovode do nemogućnosti daljeg korišćenja).

Dijagnostički parametar (signal) najčešće sadrži informacije o više parametara stanja, te se informacioni sadržaj signala mora definisati uslovima (ulaznim veličinama) dijagnostikovanja.

Moguća su tri slučaja:

1. Normalni pogonski (radni) uslovi,
2. Specijalni dijagnostički uslovi,
3. Pooštreni veštački uslovi.

Obrada dijagnostičkog parametra zavisi od redosleda operacija u procesu dijagnostikovanja – to u principu znači da treba razmotriti **opterećenja**, **napone** i **deformacije**.

Dijagnostički proces počinje posle definisanja **istorijata** ponašanja sistema u procesu eksploatacije (za sisteme koji se već dugo nalaze u eksploataciji) ili nakon puštanja sistema u probni rad (za nove sisteme).

Jedan od najbitnijih elemenata dijagnostikovanja stanja jednog tehničkog sistema je utvrđivanje **trenda** ponašanja određenog dijagnostičkog parametra (vezano za istorijat ponašanja sistema).

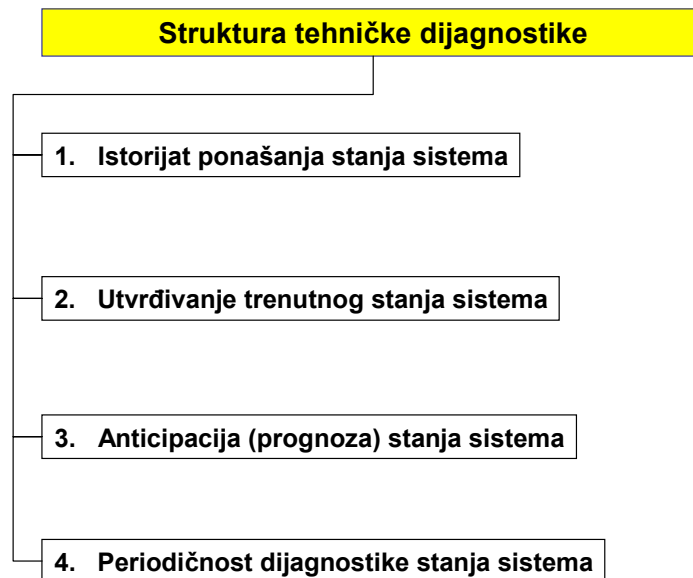


Slika 2.3. Sprovođenje procesa tehničke dijagnostike

2.6. Struktura tehničke dijagnostike

Izbor parametara dijagnostičke kontrole tehničkog stanja i traženje otkaza svakog sastavnog dela i/ili sistema vrši se na osnovu:

- Izučavanja njihovih funkcija, načina i uslova rada,
- Analize nivoa njihovog funkcionisanja,
- Sastavljanja logičkih shema uzročno-zavisnih veza parametara i faktora koji utiču na radnu sposobnost tehničkog sistema,
- Analize otkaza idr.



Slika 2.4. Struktura tehničke dijagnostike

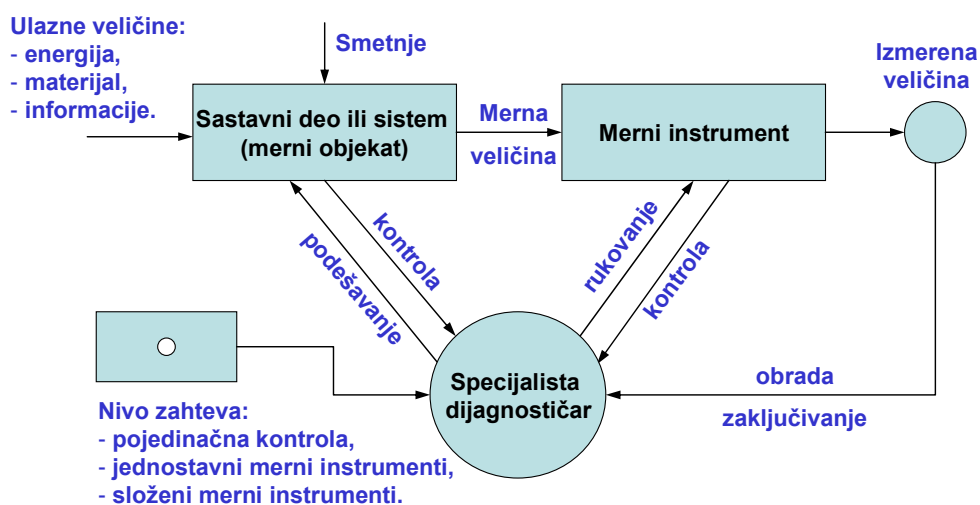
Pri projektovanju i izgradnji tehničkih sistema nivo pogodnosti kontrole treba da raste po sledećem redosledu:

1. Elementi treće kategorije (vršenje pomoćnih funkcija),
2. Elementi druge kategorije (ispunjavanje osnovnih funkcija objekta u rangu projektovanih veličina),
3. Elementi prve kategorije (sigurnost, protivpožarna zaštita i zaštita na radu, zaštita okoline).

Povećanje pogodnosti se postiže poboljšanjem sledećih faktora:

- Unutrašnju arhitekturu sistema treba prilagoditi uslovima merenja i dijagnostikovanja,
- Pri projektovanju sistema treba projektovati i najpovoljnije uslove kontrole,
- Usavršavati merne mogućnosti (princip, strategija, metoda očitavanja, predstavljanje mernih veličina, kalibracija, propisi o merenju, merni davači itd.),
- Automatizovati merenja (prenos i obrada podataka, programiranje, izrada testova i slično),
- Povećati nivo znanja iz oblasti opšte i konkretne dijagnostike.

Zahtevi koji se nameću specijalisti (dijagnostičaru):



Slika 2.5. Zahtevi za dijagnostiku

Za svaki kontrolisani parametar (vibracije, buka, produkti habanja u ulju itd.) potrebno je odrediti granice otkaza, imajući na umu sledeće:

1. **Preporuke proizvođača opreme,**
2. **Norme JUS, ISO, VDI, BS, API, itd.,**
3. **Dijagrame preporučene od proizvođača instrumenata za dijagnostiku,**
4. **Iskustvo sličnih i specifičnih sistema i sl.**

Ocena granica dijagnostikovanih veličina se u principu može izvesti na dva načina:

- **Alternativna ocena,**
- **Prognoza rezerve upotrebljivosti (period preostalog korišćenja).**

Kriterijumi za utvrđivanje granica su:

- a) **tehničko-tehnološki (proizvodni, montažni i dr.),**
- b) **Ekonomski (cena zamene, rizika i dr.),**
- c) **Sigurnosno-bezbedonosni,**
- d) **Ergonomski i dr.**

Određivanje granične vrednosti parametara tehničkog stanja može se izvršiti na osnovu:

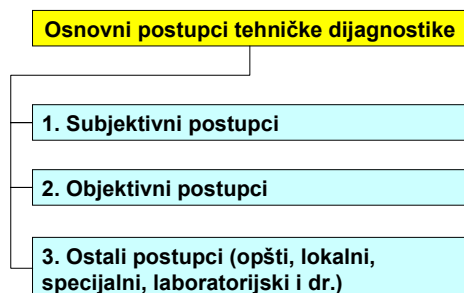
1. **Empirijskih iskustava / postupaka,**
2. **Eksperimentalnih istraživanja,**
3. **Ispitivanja na opitnim modelima,**
4. **Teorijskih proračuna.**

Postavljanje dijagnoze – pri utvrđivanju dijagnoze kod jednostavnih tehničkih sistema (u slučaju kada se kontroliše samo jedan parametar), dijagnoza se svodi na utvrđivanje **veliĉine** dijagnostičkog parametra i **upoređenjem** sa normativom. Kod složenih sistema, ako je broj parametara merenja **n**, broj mogućih stanja dijagnostikovanih sistema je **2n** – složeno postavljanje dijagnoze. Iz niza mogućih stanja treba izdvojiti ono stvarno.

Greške u procesu dijagnoze tehničkog stanja. Smetnje izazivaju greške:

- Nastajanje mernog signala na mestu dijagnoze – greške se mogu sagledati kroz sledeće uzroke:
 - Nepoznate komponente uslova dijagnoze,
 - Netačnost pri merenju specijalnih uslova dijagnoze,
 - Vremenska promenljivost uslova dijagnoze, i
 - Vremenska promenljivost dijagnostičkih parametara stanja.
- Prenošenje mernog signala od mesta dijagnoze do mernog instrumenta – greške su usled smetnji u kanalima za prenos signala:
 - Nepoznat sastav ili građa kanala dijagnoze,
 - Umnožavanje kanala dijagnoze pojavom sličnih struktura.
- Merno-tehniĉka obrada dijagnostičkih signala – (merni instrument, davaĉ, pojaĉivaĉ i filter mernog signala):
 - Greška mernih uređaja je podudarna sa podacima u literaturi, koji prati ove uređaje.
- Ocena mernog signala radi saznanja stanja tehniĉkog sistema – greške su usled:
 - Uticaj parametara stanja i uslova dijagnoze koji nisu u procesu dijagnoze uzete u obzir,
 - Subjektivne greške ljudi koji registruju merne veliĉine,
 - Netaĉno ponavljanje zakonitosti stvaranja signala,
 - Ocenjivanje signala.
- Dijagnostika u procesu projektovanja tehniĉkih sistema.
- Konstruktivna rešenja podesna za dijagnozu.
- Metodika konstruisanja tehniĉkog sistema podesnog za dijagnozu.

2.7. Osnovni postupci tehničke dijagnostike



Slika 2.6. Osnovni postupci tehničke dijagnostike

- Ispitivanje šuma
- Vizuelne kontrole
- Kontrola termičkog stanja
- Kontrola trošenja delova sistema (ferografija)
- Kontrola korozije
- Postupci bez razaranja (magnetska metoda, penetranti, ultrazvuk, radiografija)
- Kontrola vibracija i buke (nivoi vibracije, udarni impuls – SPM)
- Utvrđivanje dimanzija (geometrijska kontrola)
- Električne kontrole
- Standardne kontrole (merenje) radnih parametara: broja obrtaja, pritiska, protoka, obrtnog momenta, snage i vremena i dr.

Postupke dijagnostike moguće je klasifikovati i prema sledećim obeležjima:

1. Prema nameni

- tekući,
- sa karakterom prognoze.

2. Prema karakteru i obimu iskorišćene informacije

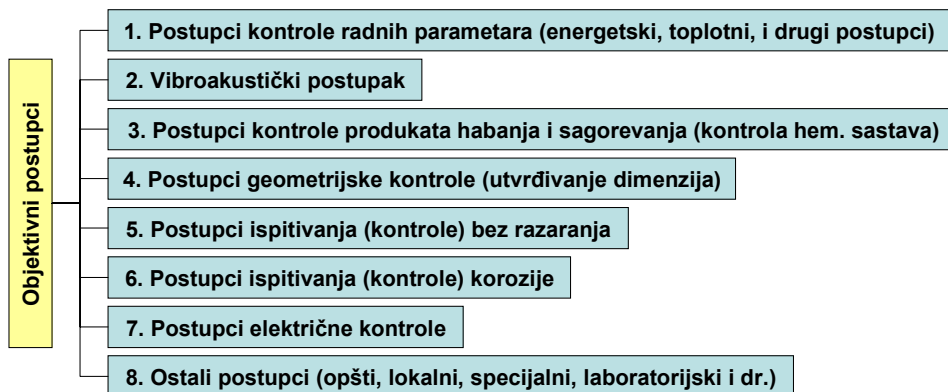
- determinisane,
- statističke.

3. Prema metodološkom postupku i kontroli tehničkog stanja objekta

- u prostoru parametra,
- u prostoru signalu.

4. Prema primeni sredstava tehničke dijagnostike

- subjektivne,
- objektivne.



Slika 2.7. Objektivni postupci tehničke dijagnostike

5. Prema temeljnosti dijagnostike

- opšte,
- veoma temeljne.

6. Prema načinu dijagnostičke informacije

- testirajuće,
- funkcionalne,
- kombinovane.

7. Prema tipu upoređene informacije

- korelacione,
- spektralne,
- spektralne i spektralno-korelacione,
- postupak kalibracionih (normiranih) zavisnosti,
- postupci kalibracionih (normiranih) modula,
- postupci kalibracionih (tipiziranih) oscilograma,
- postupci upoređivanja i superpozicije oscilograma,
- postupci vremenskih intervala,
- postupci utvrđivanja graničnih stanja.

8. Prema tipu kontrolisanih parametara

- parametarske,
- prema kvalitativnim obeležjima.

9. Prema tipu dijagnostičkog modela objekta

- fenomenološke,
- fizičke,
- matematičke.

10. Prema tipu promene parametara objekata

- postupci dijagnostike diskretnih promena,
- postupci dijagnostike neprekidnih promena.

11. Prema načinu podele objekata (tehničkog sistema)

- bez rastavljanja,
- po agregatima,
- po celinama (pod agregatima),
- po elementima (delovima),
- sa zamenom kontrolisanih elemenata sa elementima sa poznatim tehničkim stanjem.

12. Prema korišćenju prikupljenih informacija za postavljanje dijagnoze

- sa korišćenjem prikupljenih informacija,
- bez korišćenja prikupljenih informacija,
- sa korišćenjem adaptivnih metoda.

13. Prema postupcima podele dijagnostičkih osobina

- linearne postupke podele,
- postupke podele u dijagnostičkom prostoru,
- postupke orijentisanih funkcija,
- postupke potencijala,
- postupke stohastičke aproksimacije,
- metodičke postupke,
- logičke postupke.

14. Prema količini informacija

- o mestu i uzroku otkaza,
- o trenutku, mestu i uzroku otkaza.

Često je slučaj da je za dobijanje pravog stanja jednog tehničkog sistema potrebno više dijagnostičkih instrumenata kao i nekoliko metoda dijagnostikovanja istovremeno (kombinovano).

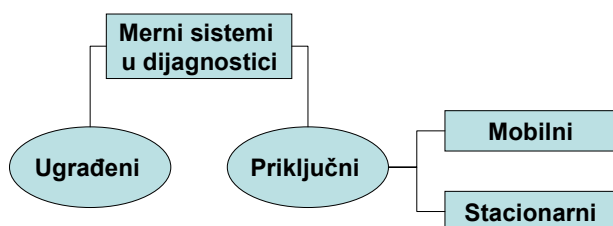
Zaključak o tehničkom stanju jednog sistema ili njegovog sastavnog dela ne sme zavisiti od subjektivne ocene specijaliste za dijagnostiku i drugih spoljnih uticaja.

2.8. Sredstva tehničke dijagnostike

Mogu se kvalifikovati prema sledećim obeležjima:

1. Prema mobilnosti:

- prenosna,
- pokretna,
- stacionarna.



Slika 2.8. Merni sistemi u dijagnostici

2. Prema stepenu automatizacije procesa dijagnostike:

- ručna,
- poluautomatska (automatizovana),
- automatska.

3. Prema stepenu univerzalnosti (u odnosu na objekat dijagnostike):

- univerzalna,
- specijalizovana,
- unificirana, moduskog tipa.

4. Prema režimu korišćenja:

- kontinualnog dejstva,
- periodičnog dejstva,
- jednokratnog korišćenja.

5. Prema odnosu sa upravljačkim sistemima dijagnostičkog objekta:

- nezavisna,
- funkcionalno povezana.

6. Prema načinu realizacije:

- programska,
- registraciona,
- programsko-registraciona,
- proceduralna.

7. Prema obliku prikazane informacije:

- analogna,
- diskretna.

8. Prema stepenu sveobuhvatnosti:

- sredstva opšte dijagnostike,
- sredstva lokalne dijagnostike.

9. Prema konstrukcionom rešenju (u odnosu na objekat dijagnostike):

- spoljašnja,
- ugrađena,
- delimično ugrađena,
- vremenski ugrađena.

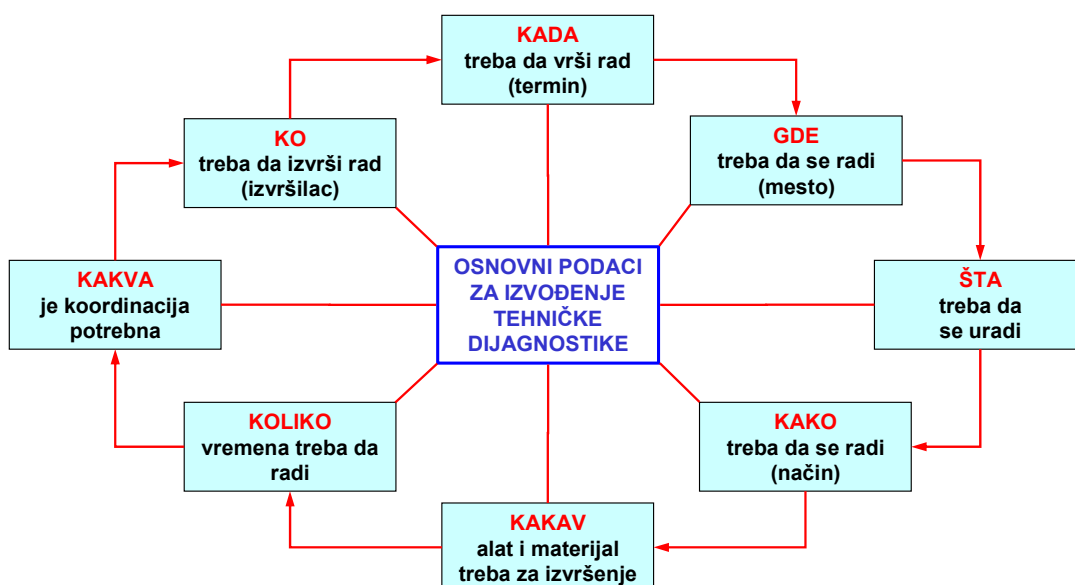
10. Prema broju kanala dijagnostike:
 - jednokanalne,
 - višekanalne.
11. Prema vrsti informacija koje stižu do operatora:
 - čulom vida,
 - čulom sluha,
 - čulom dodira,
 - čulom mirisa.
12. Prema nameni informacije dobijene u procesu dijagnostikovanja:
 - preventivna,
 - isključujuća,
 - registraciona.
13. Prema načinu proizvodnje:
 - sredstva serijske proizvodnje,
 - sredstva pojedinačne proizvodnje,
 - sredstva unikatne proizvodnje.

Izvođenje dijagnostičkih kontrola sa registracijom otkaza

Izveštaj o otkazima ispunjava se upisivanjem:

1. Tehničkog sistema (mašine) na kojem se pojavio otkaz (npr. Identifikacioni broj),
2. Sastavnog dela sistema na kojem se pojavio otkaz,
3. Vrste otkaza (npr. Šifra),
4. Vremena nastanka otkaza (datum, sat, minut, smena),
5. Vremena kada je otklonjen otkaz,
6. Potpisa: izvođača dijagnostičkih kontrola, tehnologa održavanja, poslovođe održavanja i proizvodnje itd.),
7. Napomene (opis neuobičajenog otkaza ili eventualna sumnja u neki otkaz).

Organizacija službe za tehničku dijagnostiku:



Slika 2.9. Osnovni podaci za izvođenje tehničke dijagnostike