

**ENTITETI TEHNIKE - USLOV I MJERA USPJEŠNOSTI
SISTEMA I PROCESA**

**ENTITIES OF TECHNICS – THE CONDITION AND MEASURE OF
SUCCESS OF SYSTEMS AND PROCESSES**

Prof. dr Miodrag Bulatović
Univerzitet Crne Gore,
Mašinski fakultet u Podgorici
bulatovm@yahoo.com

Mr Dušan Djurović
Univerzitet Crne Gore,
Mašinski fakultet u Podgorici
dusan-dj@t-com.me

REZIME

Kao fundamentalna karakteristika tehničkih sistema postavlja se njihova efektivnost u funkciji otkaza. Otkaz je fenomen koji nastaje slabljenjem radnih karakteristika sistema zbog fizičko-hemijskih promjena (starenje, trošenje, korozija, zamor), koje su stohastičkog karaktera i odvijaju se po zakonima vjerovatnoće.

Inženjerskim djelovanjem održavanja smanjuju se ili eliminišu uzroci koji dovode do otkaza, a smanjenjem vremena u otkazu povisuje se efektivnost sistema i s tim i radna sposobnost sistema.

Spregom entiteta, sistem – efektivnost – otkaz – održavanje, koji se mogu nazvati entitetima tehnike obezbjeđuje se efektivno funkcionisanje sistema i procesa.

Cilj ovog rada je da sublimira pomenute entitete ukazujući na njihove osnovne karakteristike i interakciju u funkciji uspješnosti sistema i procesa.

Ključne riječi: sistem, efektivnost, otkaz, održavanje.

ABSTRACT

The fundamental characteristic of technical systems is their effectiveness that consists of accessibility, reliability and their conduciveness to maintenance. Failure is a phenomenon that appears if the working characteristics of technical systems weaken due to physical and chemical changes (ageing, wear, corrosion, fatigue) that have a stochastic character and emerge according to the rules of probability.

If maintenance is applied the causes of failure diminish or become eliminated. Moreover diminishing the duration of failure leads to an increase in systems' effectiveness and its working ability.

Interactions between the system-effectiveness-failure-maintenance, named entities of technics, enable efficacious functioning of systems and processes.

The aim of this paper is to summarize the abovementioned entities pointing at their basic characteristics and interactions in function of systems' and processes' successes.

Key words: system, efficacy, failure, maintenance

1. OTKAZ – PROBLEMSKI FENOMEN SISTEMA

1.1 Pojam sistema

Pojam *s i s t e m* koristi se u raznim primijenjenim, naučnim, tehničkim i drugim disciplinama, tako da se ne može dati jedinstvena definicija a da ne bude veoma uopštena.

Jedna od opštih definicija sistema je *Sistem je skup objekata sa relacijama između tih objekata i njihovih atributa.*

Uz pojam *sistem* neizostavno ide i pojam *stanje sistem* tj. skup podataka koji daju potpune informacije o istoriji sistema, potrebne za određivanje njegovog ponašanja u budućnosti. Stanje sistema je *funkcija vremena*. Stalan atribut sistema je *stabilnost sistema*.

Tehnički sistem može se definisati kao skup podsistema koji koriste ili posredno i neposredno djeluju na input u obliku energije, sirovine ili polufabrikata, u cilju dobijanja funkcije cilja kao outputa.

1.2. Efektivnost sistema

Za ostvarivanje funkcije kriterijuma u određenom vremenu i određenim uslovima okoline sistem mora imati sposobnost :

- da stupi u dještvo i ostvari očekivane izlazne veličine u minimalnom vremenu trajanja i datim uslovima okoline- *gotovost sistema* $G(t)$,
- da obavi rad u granicama dozvoljenih odstupanja u očekivanom vremenu trajanja i datim uslovima okoline - *pouzdanost sistema* $R(t)$,
- da se prilagođava poremećajima u procesu rada- *funkcionalna podobnost* FP – pogodnost održavanja.

Sinteza pomenutih karakteristika je *efektivnost*, kao vjerovatnoća da će sistem po stupanju u dještvo uspješno vršiti funkciju kriterijuma i prilagoditi se uslovima korišćenje u predviđenom vremenu rada, čiji je matematički oblik:

$$Es(t)=G(t) \cdot R(t) \cdot FP, \quad 0 < E < 1$$

Efektivnost je karakteristika tehničkog sistema, ali istovremeno to je cilj i mjera uspješnosti održavanja.

1.3 Otkaz sistema

Uzroci slabljenja i umanjivanja radnih karakteristika sistema nalaze se u fizičko-hemijskim promjenama (starenje, trošenje, korozija, zamor, puzavost), koje se odvijaju po određenim zakonima vjerovatnoće a zavise i od vrsta materijala, mjesto odvijanja procesa, vida energije, uslova i načina eksploatacije i održavanja.

Ako se u određenom vremenskom intervalu t posmatra promjena radne sposobnosti sistema RS (I, II, III, IV), uočavaju se karakteristični zakoni slabljenja (sl.1).

1-idealni zakon, kada se proces slabljenja odvija progresivno i vrlo kratko traje ,

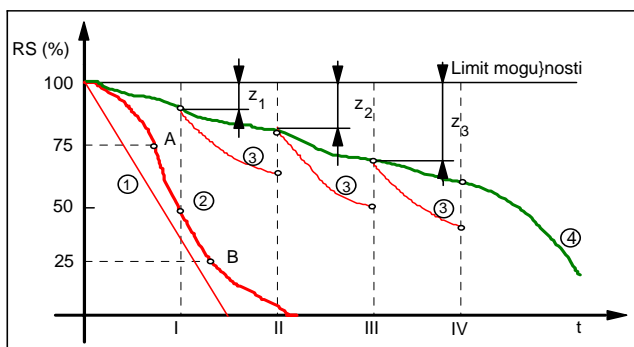
2-realan zakon, kada se pojavljuju segmenti, gdje između tačaka A i B dolazi do ubrzanog slabljenja sistema, uz pretpostavku da nije bilo intervencija održavanja,

3-prekidi kontinualnog slabljenja sistema, usljed intervencija održavanja, sa zaostalim oštećenjima (z_1, z_2, \dots, z_n) ,

4-zakon umanjivanja radne sposobnosti sistema u vijeku ekonomičnog korišćenja do izdvajanja iz procesa, sa uspješnom funkcijom održavanja.

Otkazi mašina i opreme se svrstavaju u tri osnovne grupe (sl.2):

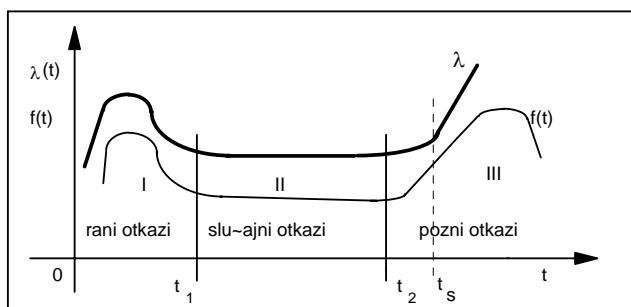
- *rani otkazi*, nastali usljed ugrađenih grešaka (projektovanju i izradi, montaži, nedovoljna kontrola u početnoj fazi rada), čija funkcija gustine $f(t)$ i intenzitet otkaza λ imaju oblik Weibull-ove raspodjele.



Slika 1. Grafička interpretacija zakona slabljenja radne sposobnosti sistema

- **slučajni otkazi**, koji nastaju usljed nepovoljnog uticaja okruženja (nepravilno rukovanje, tehnološke nepravilnosti procesa, nepravilno održavanje), čija funkcija fustine $f(t)$ i intenzitet otkaza λ imaju oblik eksponencijalne raspodjele.
- **pozni otkazi**, koji nastaju kao posljedica habanja, zamora, korozije, slabljenja komponenti, nepravovremene i neodgovarajuće zamjene dijelova, i glavni su razlog snižavanja efektivnosti i vijeka trajanja mašina i opreme, čija funkcija gustine ima oblik normalne raspodjele.

Kako se u životnom vijeku sistema javljaju svi oblici funkcije gustine i intenziteta otkaza, rezultujuća funkcija dobija opšti oblik (kriva "kada") sl.2:



Slika 2. Funkcija gustine stanja u otkazu i intenzitet otkaza sistema (kriva "kada")

2. ODRŽAVANJE - LOGISTIKA EFEKTIVNOSTI SISTEMA

2.1 Inženjerstvo održavanja

Od inženjerstva održavanja se očekuje da raspolaže metodama i tehnikama koje će omogućiti da se: identifikuje problem, identifikuju njegove razmjere i implikacije, definiše šta treba učiniti, prepoznaje potencijalne rizike po proizvodnju, produktivnost, bezbjednost i okolinu.

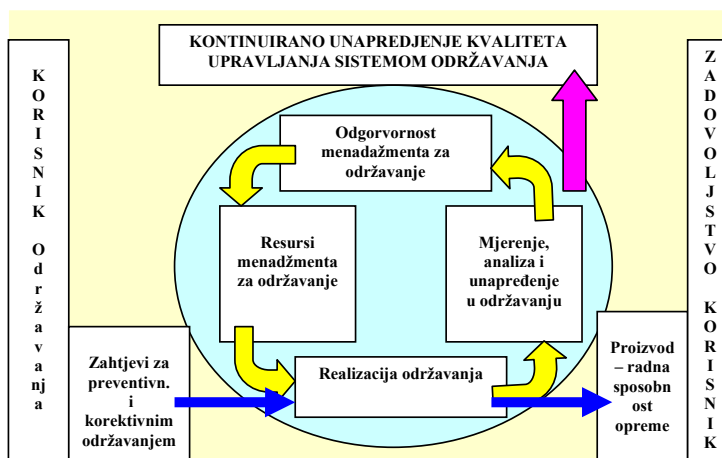
Proaktivno održavanje je tipičan predstavnik inženjerstva u održavanju, integriše prevenciju i predikciju u cilju postizanja optimalne efektivnosti opreme i maksimalne dobiti. Mašina se zaustavlja u pravo vrijeme da bi se izvela intervencija održavanja kao rezultat primjene sistematskog monitoringa, dijagnostike i prognostike. Proaktivno održavanje uključuje:

- nadgledanje performansi mašina u procesu rada,
- analizu uzroka grešaka,
- strategije planiranja održavanja ,
- logistiku.

Koristi sistema održavanja baziranom na inženjerskim metodama su: manje gresaka mašine i manje vremena za popravke, duži vijek mašine i manji troškovi održavanja, utvrđivanje uzroka grešaka i verifikacija popravke, i poboljšana bezbjednosti učesnika u procesu i povećanje proizvodnje.

2.2. Održavanje kao procesni model

Da bi ispunilo svoju misiju održavanje, kao i ostali procesi, mora biti usklađeno sa zahtjevima standrada ISO 9001/2000, a to znači uređenost QMS po procesnom modelu (sl.3) [2].



Slika 3. Procesni model u upravljanju zahtjevima kvaliteta održavanja

Aktuelni trend je da **upravljanje procesom** bude u punoj mjeri verifikivan i procijenjeno saglasno zahtjevima standrada ISO 9001:2008. Sa ove tačke gledišta neophodno je pratiti krucijalne procese u održavanje i fokusirati se na njihove performace, kao što su: pranje i čišćenje mašine i opreme, podmazivanje i zamjena ulja, monitoring i dijagnostika, provjera sigurnosti, zamjena mašine i opreme, mogućnost monitoringa i procjene stanja, analiza efektivnosti, interno i eksterno planiranje održavanja, kontrola rezervnih dijelova, restauracija oštećenih dijelova, kontrolni pregledi i dr.

3. POVIŠENJE EFEKTIVNOSTI SISTEMA

Metode povišenja efektivnosti sistema su metode skraćanja vremena u otkazu.

Efektivnost sistema zavisi od tri osnovna faktora:

- strukture sistema kojom se stvaraju uslovi za umanjenje negativnih posljedica stanja u otkazu,
- uslova i načina eksploatacije, koji neposredno utiču na stanje sistema i dijelova,
- uspješnosti funkcije održavanja u predviđanju i sprečavanju otkaza, kao i vraćanja u radno sposobno stanje poslije nastalog otkaza.

Složenost strukture sistema je definisana i ograničena funkcijom cilja i predviđenim postupcima rada, što omogućava određena pojednostavljenja, pa ipak stepen složenosti

strukture sistema u modernoj tehnologiji je veoma visok, tako da ga je teško jednoznačno odrediti.

3.1. Efektivnost u funkciji analiza stabla otkaza

U održavanju sistema značajno je imati podatke o putevima otkaza, koji su različitog nivoa vjerovatnoće i koji utiču na donošenje odluke o preventivnim aktivnostima održavanja.

Putevi otkaza do vršnog događaja formiraju stablo otkaza, čijom analizom se dobijaju informacije potrebne za donošenje odluka o aktivnostima održavanja.

Analiza stabla otkaza je deduktivna metoda kod koje se prvo definiše vršni događaj (otkaz I nivoa), a zatim se analizira uticaj ponašanja manjih cjelina (podsistema i elemenata) na pojavu tog događaja.

Osnovni koncept stabla otkaza predstavlja prevođenje tehničkih sistema na strukturne logičke dijagrame u kojima se specificiraju uzroci odabranog vršnog događaja.

Kvalitativna analiza stabla otkaza predstavlja analizu zajedničkog uzroka ponašanje sistema podvrgnutog specijalnim uslovima i sekundarnim uzrocima.

3.2. Praćenja parametara stanja

Kvalitativna analiza dijagnostičkog signala zasniva se na vremenskom iskustvu u generisanim znanjima o određenim karakteristikama i fenomenima različitih slučajeva i stanja.

Održavanje po stanju zasniva se na dijagnostici stanja korišćenjem:

- *vremenske slike stanja*, odnosno analize faktora efektivnosti sistema u funkciji vremena i
- *kontrole parametara stanja*, primjenom tehničke dijagnostike.

Održavanje po stanju *kontrolom parametara* predstavlja skup pravila za određivanje režima dijagnostike sastavnih dijelova sistema u realnom procesu eksploatacije, kao i za donošenje odluka o neophodnosti zamjene ili neophodnih aktivnosti održavanja, na osnovu informacija o stvarnom tehničkom stanju sistema i njegovih dijelova.

3.3. Ekspertni sistemi u funkciji dijagnostike

Zadatak dijagnoze je da, pored velikog broja dijagnostičkih parametara, otkrije mnogobrojne veze strukturnih parametara X_1, X_2, \dots, X_n i odgovarajućih dijagnostičkih parametara S_1, S_2, \dots, S_n , pri čemu se koristi dijagnostička matrica:

	X_1	X_2	X_3	X_4	X_5
S_1	0	0	1	0	0
S_2	1	1	0	1	1
S_3	0	0	0	0	0
S_4	0	1	1	0	1
S_5	0	1	0	0	0

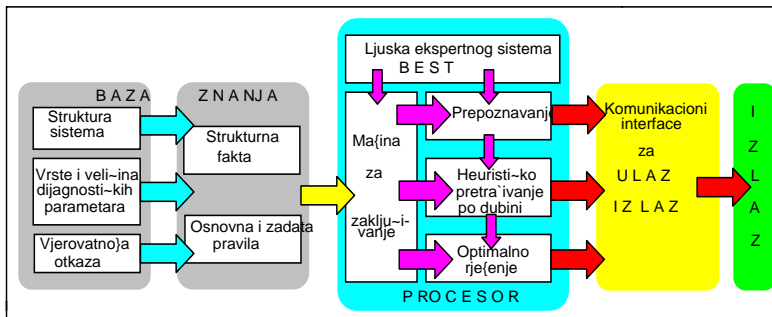
Složenost mašina i opreme u savremenim uslovima proizvodnje, visoka automatizacija i efektivnost usloveli su razvoj novih dijagnostičkih sistema na bazi vještačke inteligencije, prije svega ekspertnih sistema

Povezivanjem dijagnostičkih frejmova preko pravila izvođenja i procesa dekompozicije u ekspertnim sistemima (ES) stvara se ukupna dijagnostička slika o sistemu (sl.4).

Struktura modela ekspertnog sistema sastoji se od:

- baze znanja - identifikacija i konceptualizacija,
- ljuske ekspertnog sistema BEST -formalizacija,

- procesora (mašina za zaključivanje)- implementacija,
- komunikacionog interfeacea .



Slika 4. Struktura modela ekspertnog sistema za metodu inkorporacije

4. METODA INKORPORACIJE PARAMETARA STANJA I VJEROVATNOĆE OTKAZA U EKSPERTNI SISTEM

Praćenje stanja sistema, predviđanje i sprečavanje otkaza korišćenjem ekspertnih sistema je metoda povišenja efektivnosti razvijena kao *Metoda inkorporacije parametara stanja i vjerovatnoće otkaza u ekspertni sistem*.

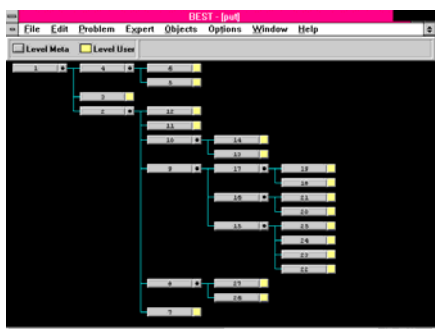
Metoda inkorporacije parametara stanja i vjerovatnoće otkaza u ekspertni sistem bazira se na

- Identifikaciji sistema (struktura, vremenska slika stanja i parametri stanja),
- Vjerovatnoći otkaza na bazi parametara stanja i
- Modelu ekspertnog sistema.

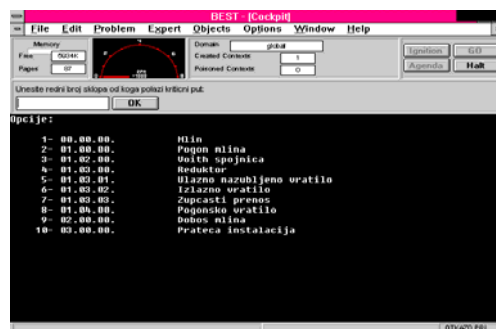
Osnovne karakteristike metode su:

- odluke o aktivnostima održavanja donose se na bazi vjerovatnoće otkaza sistema u funkciji parametara stanja koji se inkorporiraju u odgovarajući model ekspertnog sistem,
- na bazi dobijenih informacija (predviđanju otkaza) realizacijom preporučenih aktivnosti sprečava se otkaz sistema,
- na bazi dobijenih informacija o stanju sistema izvrši se potrebna priprema, čime se i u slučaju otkaza smanjuje organizaciono i logističko vrijeme, kao i vrijeme aktivne popravke.

4.1 Primjer ekspertnog sistema za metodu inkorporacije



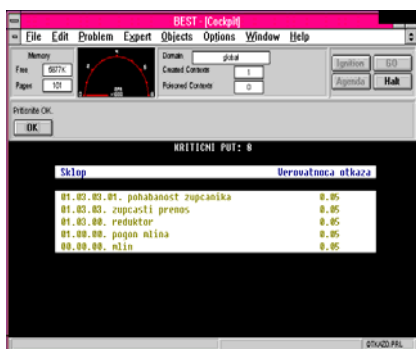
Slika 5. Stablo otkaza



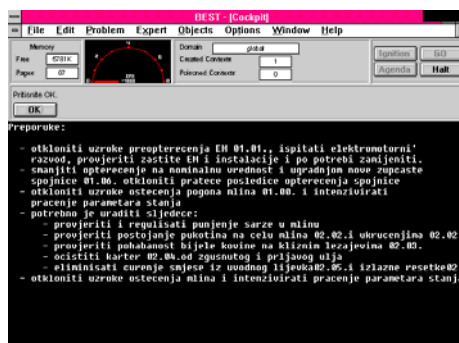
Slika 6. Struktura otkaza

Metoda inkorporacije parametara stanja i vjerovatnoće otkaza u ekspertni sistem primjenjena je na primjeru ekspertnog sistema za predviđanje i sprečavanje otkaza mlina za mljevenje boksita Fabrike za proizvodnju glinice, nazvan EKSOM-1.

Prototip EKSOM-1 je nastao kao rezultat saradnje autora sa Laboratorijom za računarne Instituta "Mihajlo Pupin".



Slika 7. Kritični put otkaza



Slika 8. Preporuke za aktivnosti održavanja

Metodom inkorporacije parametara stanja i vjerovatnoće otkaza u ekspertni sistem na kojoj se temelji donošenje odluka o aktivnostima održavanja u cilju sprečavanja otkaza, predviđanje otkaza se zasniva na vjerovatnoći događanja u funkciji parametara stanja.

Rezultati dobijeni primjenom modela ekspertnog sistema koriste se kako za utvrđivanje trenutnog stanja mašine i donošenje operativnih-izvršnih odluka, tako i za donošenje dugoročnih - strategijskih odluka u procesu upravljanja održavanjem.

Metoda spada u koncept dualnog održavanja sa kompleksnom analizom gdje se istovremeno koriste podaci o vremenu u radu i otkazu sistema, izmjerene veličine parametara stanja, utvrđuju uzroci otkaza i predviđaju odgovarajuće aktivnosti održavanja.

Metoda inkorporacije parametara stanja i vjerovatnoće otkaza u model ekspertnog sistema, predstavlja doprinos daljem razvoju funkcije održavanja i nastavlja trend primjene vještačke inteligencije u logistici sistema, odnosno unosi novu dimenziju u CIM sistem.

5. LITERATURA

- [1] Bulatović, M., Održavanje i efektivnost tehničkih sistema, Monografija, Mašinski fakultet u Podgorici, 2008.
- [2] Project of Ministry of Education, Montenegro, with the title “Technical Diagnostics in Function of Effectiveness of Technical Systems”, Podgorica, Serbia and Montenegro, 2005/2006.
- [3] Vraneš, S., et all.: BEST Blackboard-based Ezpert System Toolkit, Technical Reference, Institut Mihajlo Pupin, Beograd, Decembar 1990.
- [4] Družinin, G.B., Nadežnost avtomatirovanih sistem, Moskva, 1977.