

## 3. ODRŽAVANJE TEHNIČKIH SISTEMA

Održavanje tehničkih sistema (mašina i uređaja), odnosno sredstava za rad, kao funkcija i deo procesa proizvodnje zauzima danas važno mesto u proizvodnom sistemu svake kompanije. Na razvoj održavanja uticao je brz industrijski napredak, kao i stalni porast automatizacije i povezanosti sredstava za rad, zatim nagli porast fiksnih troškova u odnosu na promenljive. Održavanje se definiše kao stalna kontrola nad svim sredstvima za rad, kao i vršenje određenih popravki i preventivnih radnji, čiji je cilj, stalno, funkcionalno osposobljavanje i čuvanje proizvodne opreme, postrojenja i drugih mašina i uređaja.

Pojam održavanja dolazi uz svaki pojam proizvodnje određenih dobara. Tokom vremena i upotrebe dolazi do starenja materijala i sredstava za rad, smanjuje se tehnološka efikasnost, a dolazi i do evidentnog tehnološkog zastarevanja. Sredstva se tokom vremena troše i smanjuje im se radna sposobnost. Sredstva za rad su podložna kvarovima, lomovima i oštećenjima, pa se pojavljuju prekidi u radu. To uzrokuje pojavu troškova zbog zamene i popravke delova, ali i troškove zbog zastoja u procesu proizvodnje.

Osnovni ciljevi koji treba da se postignu procesom održavanja su:

1. Minimiziranje troškova zbog zastoja u radu usled neplaniranih kvarova na sredstvima za rad.
2. Sprečavanje, odnosno usporavanje zastarevanja sredstava za rad, koje nastaje kao posledica lošeg kvaliteta proizvoda i škarta.
3. Smanjivanje troškova rada i materijala u proizvodnji, koji nastaju usled povećanih kvarova i zastoja u procesu rada.
4. Pružanje organizovane pomoći svuda gde je potrebno održavanje i upravljanje sredstvima za rad.

Ciljevi održavanja sredstava za rad u procesu proizvodnje mogu se posebno sagledati sa dva osnovna aspekta:

a) Tehničko-tehnološki, koji doprinose:

- inovacijama i usavršavanju sredstava za rad,
- održavanju radne sposobnosti sredstava na potrebnom nivou i povećanju pouzdanosti sredstava u procesu rada,
- ostvarivanju dužeg radnog veka sredstava za rad,
- postizanju boljeg kvaliteta proizvoda,
- ostvarivanju ravnomernijeg i bržeg odvijanja tekućeg procesa u celini,
- ostvarivanju i poboljšanju drugih tehničko-tehnoloških svojstava sredstava za rad i radnog procesa.

b) Ekonomski koji doprinose:

- racionalnom korišćenju sredstava za rad u proizvodnji,
- povećanju produktivnosti rada u proizvodnji,
- smanjenju troškova proizvodnje,
- povećanju ekonomičnosti trošenja u samom procesu održavanja sredstava za rad.

Ciljevi održavanja u procesu proizvodnje upućuju na široku oblast važnosti održavanja kao procesa povezanog sa proizvodnjom. Važnost održavanja sredstava za rad ogleda se u sledećem:

1. Važnost održavanja sa razvojnog aspekta (istraživanja pojave velikog broja zastoja na sredstvima za rad, koji rastu i zbog velikog rasta broja sistema i automatizacije proizvodnih procesa).
2. Važnost održavanja sa tehnološkog stanovišta (brzo zastarevanje sredstava za rad usled brzog razvoja tehničkog i tehnološkog procesa, zatim zastarevanje usled trošenja kao tehnološkog procesa).
3. Značaj održavanja sa ekonomskog gledišta (pojava troškova usled korišćenja sredstava za rad).
4. Značaj održavanja sa socijalnog aspekta (sredstva za rad u lošem i nesigurnom stanju izazivaju loše stanje, odnose, pa čak i nezgode kako u samoj radnoj organizaciji, tako u njenom okruženju).
5. Značaj održavanja u pogledu čuvanja raspoloživih resursa u radnoj organizaciji.

Značaj održavanja sredstava za rad u kompanijama je veliki. Ono direktno utiče na osnovne faktore proizvodnje i može vrlo povoljno uticati (ako se dobro sprovodi) na postizanje pozitivnih poslovnih rezultata. Dobro sprovedeno održavanje direktno utiče na smanjenje troškova proizvodnje i poslovanja. Zastoji usled neispravnosti i nužnog vršenja remonta, narušavaju tehnološki proces proizvodnje, a isto tako utiču i na ekonomiku proizvodnje proporcionalno sa vremenom zastoja i sredstvima ulozenim za otklanjanje kvarova. Zbog toga održavanje i remont zahteva pre svega racionalnu organizaciju održavanja i remonta i dobro opremljenu sredstvima i ljudima. Organizacija remonta i tehničkog održavanja, da bi ispunjavala svoje zadatke, treba da bude uvek usklađena sa mašinskim parkom o kome se brine, a to znači da treba biti podložna i čestim promenama. Naime, njena organizacija i način delovanja treba da se usklađuju i menjaju zavisno od kvalitativnih i kvantitativnih promena, koje nastaju u mašinskom parku preduzeća odnosno pogona, zatim zbog promene u karakteru proizvodnje ili nekih drugih elemenata koji mogu biti od uticaja. Radi toga rad i organizacija službe, odnosno pogona remonta predstavlja stalan, veoma složen i dinamičan problem u ukupnoj organizaciji proizvodnje kompanije. Raznovrsnost mašina u mašinskom parku koji se održava i remontuje, njihova konstruktivna i tehnološka složenost čine rad inženjera – tehničkog kadra zaposlenog u remontnoj službi vaoma složenim i odgovornim. Ova odgovornost postaje sve veća jer se u poslednje vreme sam proces proizvodnje sve više modernizuje i automatizuje tako da ekonomičnost proizvodnje sve više zavisi od remonta i tehničkog održavanja. Međutim, još uvek nije u dovoljnoj meri shvaćena važnost ove službe za uspešno funkcionisanje savremenog preduzeća. Nedostaci, propusti ili neefikasnost u organizaciji i radu

ove službe često se pravdaju (odnosno prikrivaju) nedostatkom rezervnih delova za sisteme koji se održavaju, zatim nedovoljnom snabdavenošću reprodukcioni materijalom i alatom, nedostatkom specializovanih kadrova itd. I pored tih još uvek propusta, organizacija i rad remonta, u zadnje vreme dobijaju svoju teoretsku i naučnu bazu. Na ovo je presudan uticaj imalo saznanje o njihovom velikom uticaju na ekonomiku ukupne proizvodnje.

### 3.1. Inženjerstvo održavanja i sigurnost funkcionisanja

Održavanje sistema se može definisati na mnogo načina, jedan od njih je, da je održavanje "sprovođenje svih mera nužnih da bi jedna mašina, postrojenje ili cela fabrika funkcionisala na propisan način, razvijajući performanse u propisanim granicama, tj. sa traženim učincima i kvalitetom, bez otkaza i uz propisano obezbeđenje životne okoline, a pod pretpostavkom dobre obezbeđenosti svih uslova, odnosno uz potrebnu ljudsku podršku".

Inženjerstvo održavanja je tehnička disciplina usmerena na povećanje lakoće održavanja mašina i uređaja.

Usled porasta entropije, kao mere neodređenosti sistema, dolazi do otkaza, poremećaja i prekida kod svih sistema u prirodi. Da bi jedan tehnički sistem ispravno radio u određenom vremenskom periodu, neophodno je da se na odgovarajući način održava. Potrebu za održavanjem imaju i popravljivi tehnički sistemi i sistemi za jednokratnu upotrebu.

Funkcija efektivnosti odražava ukupna svojstva jednog tehničkog sistema, daje odgovore na pitanja:

- Da li može da se uključi u rad,
- Koliko može da radi i
- Kako izvršava zadatak.

Funkcija efektivnosti se izražava kao

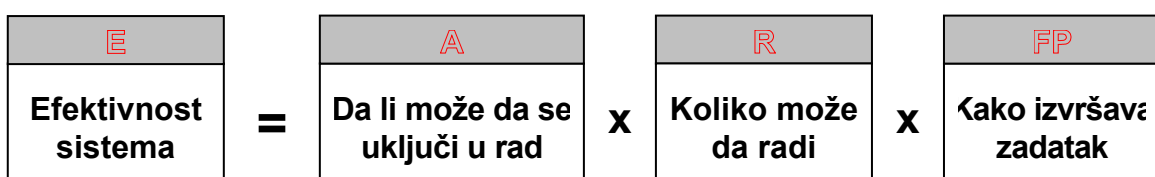
$$E(t, \tau) = R(t) \cdot A(\tau) \cdot FP$$

gde su:

$R(t)$  – pouzdanost, verovatnoća rada bez otkaza u toku vremena  $t$ ,

$A(\tau)$  – raspoloživost ili gotovost, verovatnoća raspoloživosti u bilo kom trenutku  $\tau$ , odnosno da će biti u stanju da radi ili da se uključi u rad ukoliko je sistem bio u skladištu, i

$FP$  – funkcionalna pogodnost, stepen zadovoljenja funkcionalnih zahteva, prilagođavanja okolini.

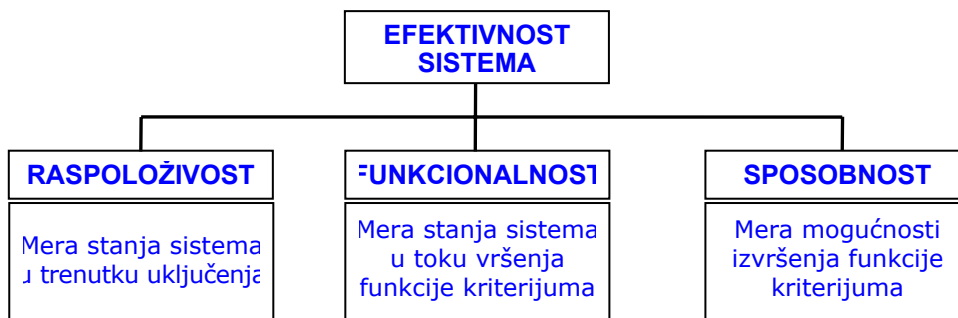


Pouzdanost i raspoloživost su slučajne funkcije, a funkcionalna pogodnost je određena veličina, projektovanjem ili konstrukcijom sistema.

Efektivnost sistema se može prikazati na tri načina:

1. Efektivnost sistema:

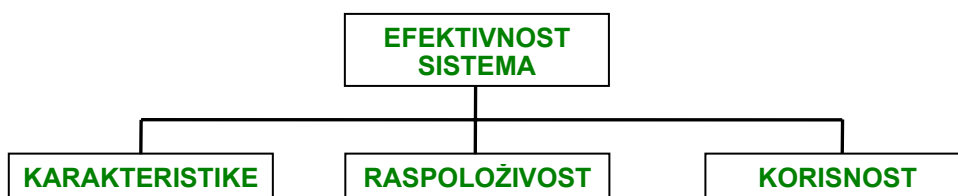
- Raspoloživost – mera stanja sistema u trenutku uključenja,
- Funkcionalnost – mera stanja sistema u toku vršenja funkcije kriterijuma i
- Sposobnost – mera mogućnosti izvršenja funkcije kriterijuma.



Slika 3.1. Efektivnost sistema I

2. Efektivnost sistema:

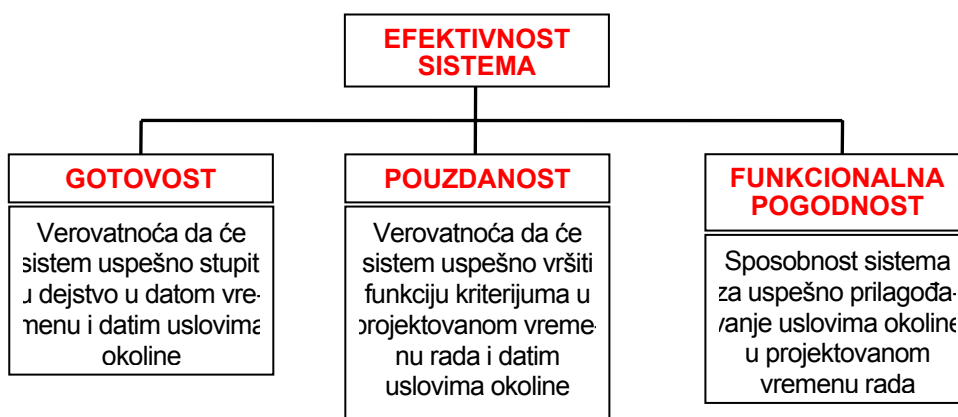
- Karakteristike,
- Raspoloživost i
- Korisnost.



Slika 3.2. Efektivnost sistema II

3. Efektivnost sistema:

- Gotovost – verovatnoća da će sistem uspešno stupiti u dejstvo u datom vremenu i u datim uslovima
- Pouzdanost – verovatnoća da će sistem uspešno vršiti funkciju kriterijuma u projektovanom vremenu rada i datim uslovima okoline i
- Funkcionalna pogodnost – sposobnost sistema za uspešno prilagođavanje uslovima okoline u projektovanom vremenu.



Slika 3.3. Efektivnost sistema III

### 3.2. Sistemski prilaz održavanju. Pojam tehničkog sistema.

Tehnički sistem je organizovani skup elemenata, objedinjen zajedničkim funkcijom cilja. Različiti tehnički sistemi imaju različite funkcije cilja.

Svojstva tehničkog sistema su:

- Pouzdanost tehničkog sistema je jedno od osnovnih svojstava, koje neposredno utiče i na sistem održavanja. Ne postoji apsolutno pouzdan tehnički sistem, koji ne bi nikada, ni pod kakvim uslovima mogao da otkáže, i za takav sistem ne bi ni bio potreban sistem održavanja.
- Pogodnost održavanja utiče na ukupnu sigurnost funkcionisanja, obuhvata osobine tehničkog sistema u pogledu mogućnosti sprovođenja potrebnih postupaka održavanja, odnosno prilagođenost sistema za obavljanje preventivnih i korektivnih postupaka održavanja.
- Konceptija sistema održavanja ili strategija, politika ili koncept održavanja, određuje u kom trenutku treba da se sprovedu postupci preventivnog ili korektivnog održavanja.
- Tehnologija sistema se deli na mikrotehnologiju (na samom radnom mestu) i makrotehnologiju (sistem održavanja u celini).
- Organizacija sistema održavanja predstavlja odnose između radionica za održavanja ili izvršilaca koji sprovode postupke održavanja, u smislu podele nadležnosti, koordinacije, funkcionalne i informatičke integracije.
- Objekti, uređaji i alati su elementi bez kojih održavanje nije moguće (najjednostavniji postupci održavanja često se obavljaju bez ikakvih alata i uređaja, i obratno izuzetno složeni postupci održavanja zahtevaju posebne i specijalne uređaje i alate).
- Personal i dokumentacija (struktura, starost, obučenost radne snage; uputstva, katalozi, priručnici, norme).
- Snabdevanje je jedan od najsloženijih činilaca sistema održavanja (snabdevanje rezervnim delovima, energentima, vodom, potrošnim i drugim materijalima; snabdevanje informacijama, dokumentacijom itd.).



Slika 3.4. Sistem održavanja

Sistem održavanja predstavlja skup elemenata koji obezbeđuje da se potrebni postupci održavanja jednog tehničkog sistema sprovode na zahtevan ili propisan način, u datim uslovima i u datom intervalu vremena.

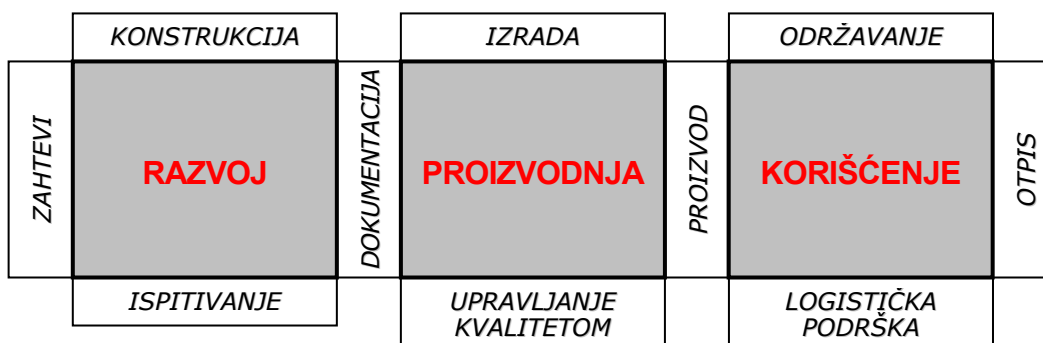
### 3.3. Održavanje i životni ciklus tehničkog sistema

Životni vek jedne mašine, postrojenja, uređaja ili bilo kog drugog tehničkog sistema ima složenu strukturu, on zahvata niz posebnih, ali međusobno povezanih i vremenski usklađenih grupa aktivnosti. Odnos ovih segmenata određen je dejstvom velikog broja činilaca.

Životni vek obuhvata pet vremenskih faza:

- Konceptijsko i idejno rešenje,
- Razvoj i projektovanje,
- Proizvodnja i puštanje u rad,
- Korišćenje i održavanje i
- Rashodovanje.

Slika 3.5 grubo razrađuje sadržaj svih pet faza životnog ciklusa i osnovne odnose između njih, ali na dobar način ilustruje ovu složenu problematiku.



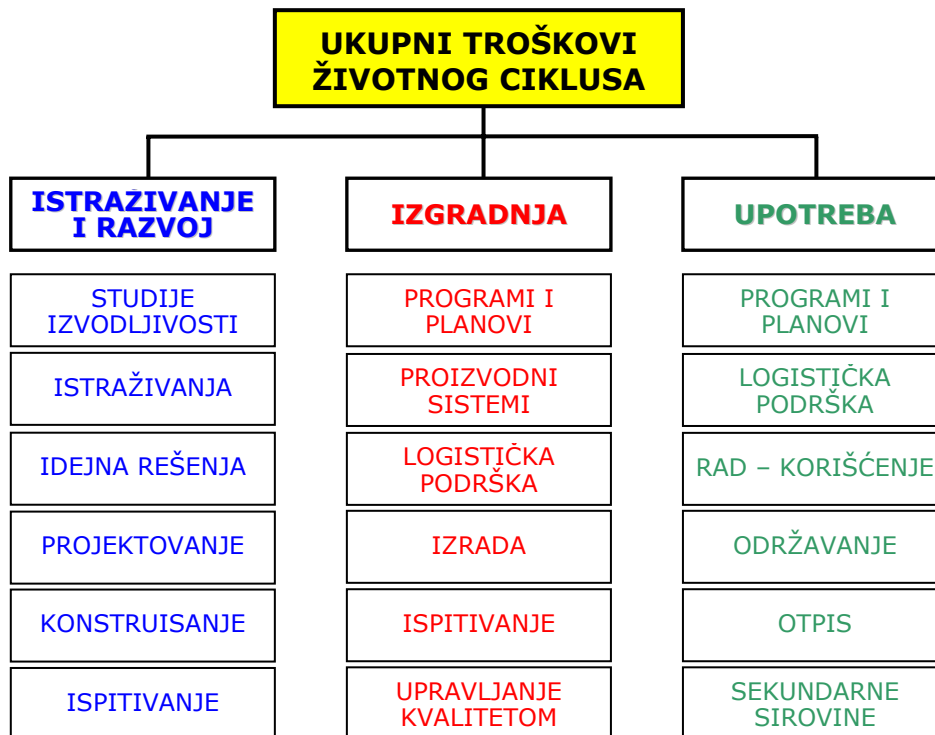
Slika 3.5. Faze životnog ciklusa

#### 3.3.1. Troškovi životnog veka

Troškovi životnog veka se dele na:

- Troškove nabavke (transport, doprema, osiguranje),
- Troškove rada (radna snaga, pogonska energija, pomoćni objekti i instalacije),
- Troškove održavanja (radna snaga na održavanju, rezervni delovi, alati, uređaji i objekti na održavanju) i
- Troškovi administracije (upravljanje, administracija).

Struktura troškova životnog ciklusa data je na slici 3.6.



Slika 3.6. Struktura troškova životnog ciklusa

Ukupni troškovi životnog veka određuju i prodajnu cenu tehničkog sistema, kao i nivo njegovih početnih materijalnih ulaganja. Vidljivi troškovi su troškovi nabavke, a prikriveni troškovi su: troškovi distribucije, troškovi održavanja, pogonski troškovi, troškovi obuke, troškovi zaliha, troškovi tehničke dokumentacije i informatike i troškovi rashodovanja.

Troškovi održavanja savremenih mašina i postrojenja pokazuju tendenciju stalnog porasta, zbog performansi, složenosti i većih potreba za održavanjem.

Procena troškova održavanja, predstavlja jedan od bitnih elemenata i za ocenu sistema održavanja, odnosno jednu od bitnih podloga za objektivno odlučivanje o projektu sistema i njegovoj izvodljivosti. Potrebno je identifikovati sve vrste troškova i mesta njihovog nastanka i izvršiti uporedno procenjivanje pojedinih troškova za različite varijante tehničkog sistema koji se posmatra. Troškovi održavanja u načelu zavise i od karakteristika pouzdanosti sistema koji se posmatra.

### 3.4. Proces održavanja

Proces održavanja je skup postupaka i aktivnosti koji se tokom vremena sprovode na tehničkim sistemima u cilju sprečavanja pojave otkaza ili radi njihovog otklanjanja. Proces održavanja ima karakteristike izrazito slučajnog procesa, slučajnu veličinu predstavlja vreme rada tehničkog sistema do trenutka u kome treba da se sprovede postupak održavanja (određeno osobinama pouzdanosti) i vreme potrebno da se postupak održavanja sprovede (određeno kvalitetom sistema održavanja), da bi se sistem iz stanja u otkazu, vratio u stanje u radu.

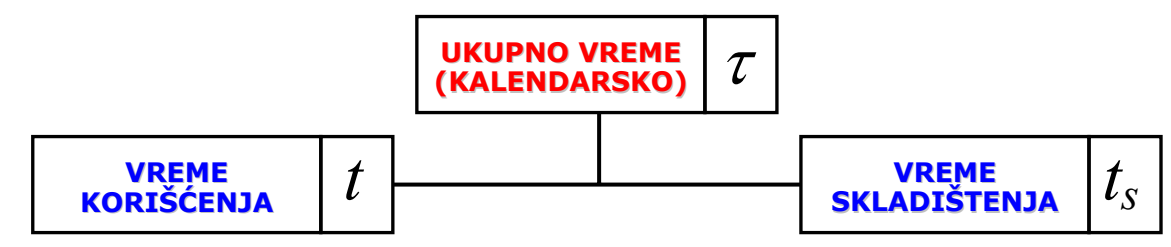
### 3.4.1. Stanja tehničkog sistema

Kada se tehnički sistem proizvede i uključi u eksploataciju, može biti u jednom od dva moguća stanja: stanju u radu i stanju u otkazu. Ako je tehnički sistem ispravan i izvršava propisani zadatak, na propisan način i u propisanom vremenu, on je u stanju u radu. Ako nije ispravan, zadatak se na izvršava na propisan način, i nalazi se u stanju u otkazu. Postojanje samo dva stanja, stanja u radu i stanja u otkazu, odgovara binarnoj logici, na kojoj se zasniva današnja tehnika. Pojmovi koji bliže opisuju stanja sistema su:

- Radno stanje – *operating state*,
- Neradno stanje – *non-operating state*,
- Neplanirani zastoj – *standby state*, neradno stanje u vremenu rada,
- Funkcionalni zastoj – *idle state*, neradno stanje u vremenu nerada,
- Stanje radne nesposobnosti – *disabled state*, stanje sistema u kojem on ne može da izvršava zadatke iz bilo kojih razloga,
- Izazvani nerad/zastoj – *external disabled state*, neradno stanje izazvano isključivo spoljnim razlozima, nevezanim za održavanje,
- Stanje u otkazu – *down state*, neradno stanje usled otkaza ili sprovođenja obimnijeg preventivnog održavanja,
- Stanje u radu – *up state*, sistem izvršava svoje zadatke ukoliko je logistički obezbeđen i podržan,
- Aktivno stanje – *busy state*, sistem izvršava svoje zadatke na propisan način,
- Kritično stanje – *critical state*, sistem izaziva neželjene posledice, ozlede i materijalne štete.

### 3.4.2. Vremenska stanja sistema

Ukupno kalendarsko vreme korišćenja jednog tehničkog sistema obuhvata: vreme u radu  $t_{ri}$ , vreme u otkazu  $t_{oi}$  i vreme u kojem se sistem nalazi u skladištu  $t_{si}$ .



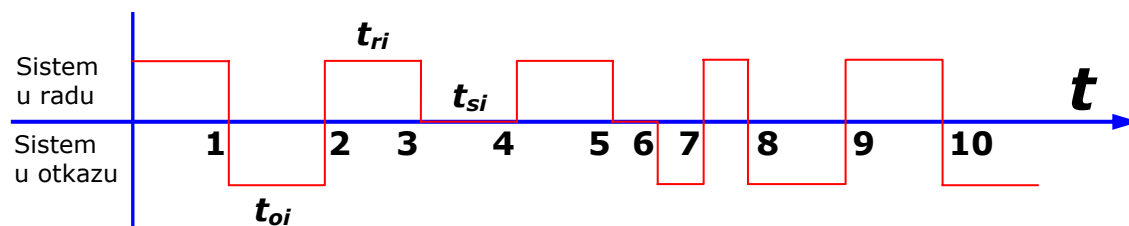
Slika 3.7. Vremenska stanja

$$\tau = t + t_s$$
$$\tau = \sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n t_{si}$$

$t_i$  – pojedinačni segmenti vremena korišćenja,  
 $t_{si}$  – pojedinačni segmenti vremena skladištenja

Osnovni tok promene stanja jednog tehničkog sistema može da se objasni pomoću vremenske slike stanja (slika 3.8).

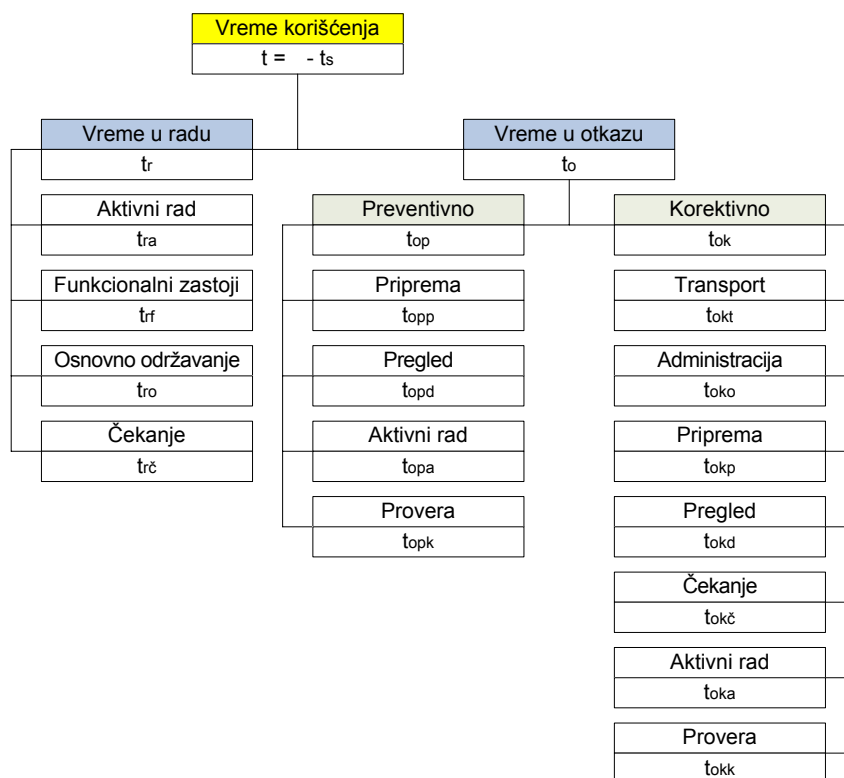




Slika 3.8. Vremenska slika stanja

Svi vremenski intervale na slici 3.8 predstavljaju slučajne veličine. Slučajno trajanje rada do pojave otkaza, mnogi slučajni činioci određuju trajanje postupaka održavanja (čak i planskih), a mnogi slučajni činioci utiču i na trajanje skladištenja. Zbog toga i proces korištenja tehničkih sistema ima obeležja slučajnog procesa.

Za analize efektivnosti, sigurnosti funkcionisanja i posebno procesa održavanja tehničkih sistema, treba razmotriti vremenske intervale. Vreme u kome se sistem nalazi u stanju u radu  $t_r$ , nije isto što i vreme u kojem je sistem u aktivnom stanju  $t_{ra}$ .



Slika 3.9. Vremenske kategorije

Vreme u radu se izražava kao:

$$t_r = t_{ra} + t_{rf} + t_{ro} + t_{rč}$$

gde su:

- $t_r$  – vreme u radu,
- $t_{ra}$  – vreme u aktivnom radu,
- $t_{ro}$  – vreme osnovnog održavanja,

$t_{rf}$  – vreme funkcionalnih zastoja,  
 $t_{rč}$  – vreme čekanja.

Vreme stanja u otkazu se deli na vreme planskog (preventivnog)  $t_{op}$  i vreme neplanskog (korektivnog) održavanja  $t_{ok}$ . Planski postupci održavanja odlažu pojavu otkaza. Vreme stanja u otkazu troši se na sprovođenje administrativno-organizacionih priprema –  $t_{opp}$ , na dijagnostiku –  $t_{opd}$ , na neposredno obavljanje postupaka održavanja  $t_{opa}$  i na kraju na proveru kvaliteta izvršenih radova  $t_{opk}$ .

Plansko vreme u otkazu:

$$t_{op} = t_{opp} + t_{opd} + t_{opa} + t_{opk}$$

Ukoliko su postupci održavanja izazvani otkazom onda se korektivno održavanje može predstaviti kao:

$$t_{ok} = t_{okt} + t_{oko} + t_{okp} + t_{okd} + t_{okč} + t_{oka} + t_{okk}$$

gde je:

$t_{okt}$  – vreme transporta,  
 $t_{oka}$  – vreme aktivnog rada,  
 $t_{okp}$  – vreme pripreme,  
 $t_{okd}$  – vreme dijagnostike,  
 $t_{okč}$  – vreme čekanja,  
 $t_{oko}$  – organizaciono-tehnički poslovi.

Za stanje u radu i stanje u otkazu, se definišu odgovarajuća vremena:

- Vreme radne nesposobnosti („*disabled time*“) odgovara vremenu u kojem je sistem u stanju radne nesposobnosti;
- Radno vreme ili zahtevano vreme („*required time*“) odgovara vremenu u kojem se od sistema zahteva da izvršava svoju funkciju na propisan način;
- Vreme nerada („*non-required time*“) odgovara vremenu u kojem se ne traži da sistem izvršava svoju funkciju, ne postoji potreba da sistem radi;
- Vreme neplaniranog zastoja („*standby time*“);
- Vreme funkcionalnog zastoja („*idle time*“).

Vreme održavanja („*maintenance time*“) predstavlja interval vremena u kojem se na posmatranom tehničkom sistemu ručno ili automatski sprovode postupci održavanja, obuhvatajući pri tome i tehničke ili logističke zastoje. Vreme održavanja se deli na:

- Aktivno vreme održavanja („*active maintenance time*“) je vreme održavanja, ali bez vremena logističkih zastoja;
- Vreme preventivnog održavanja („*preventive maintenance time*“) je vreme sprovođenja postupaka preventivnog održavanja;
- Vreme korektivnog održavanja („*corrective maintenance time*“) je vreme sprovođenja postupaka korektivnog održavanja;

- Aktivno vreme preventivnog održavanja („*active preventive maintenance time*“);
- Aktivno vreme korektivnog održavanja („*active corrective maintenance time*“);
- Vreme neotkrivenog otkaza („*undetected fault time*“) je vreme između pojave otkaza i otkrivanja posledica na rad sistema;
- Administrativni zastoj („*administrative delay*“) je vreme zakašnjenja u sprovođenju korektivnih postupaka održavanja zbog adiministrativnih razloga;
- Logistički zastoj („*logistic delay*“) je vreme zakašnjenja u sprovođenju postupaka održavanja zbog nedostatka nekog od potrebnih elemenata za održavanje, ali bez elemenata administrativnog karaktera;
- Tehnički zastoj („*technical delay*“) je ukupno vreme postupaka održavanja;
- Vreme otklanjanja otkaza („*fault correction time*“) je aktivno vreme korektivnog održavanja u kome se otklanja uočena greška;
- Vreme provere („*check-out time*“) je deo aktivnog vremena održavanja u kojem se proverava funkcija, ispravnost sistema;
- Vreme dijagnostike („*fault diagnosis time*“) je vreme u kojem se utvrđuje uzrok otkaza;
- Vreme lokacije otkaza („*fault localization time*“) je deo aktivnog vremena korektivnog održavanja u kojem se lokalizuje greška koja je uočena;
- Vreme popravke („*repair time*“) je deo aktivnog vremena preventivnog održavanja u kojem se sistem popravlja da ponovo bude u radnom stanju.

### **3.4.3. Model procesa održavanja**

Proces održavanja može da se modelira kao slučajni proces, koji se karakteriše obavljanjem postupaka održavanja u slučajnim trenucima vremena, u kojima se javljaju otkazi.

Slučajna vremena  $t_{ri}$  predstavljaju vremena rada do pojave otkaza. Ako su slučajne promenljive  $t_{ri}$  nezavisne, ali imaju istu raspodelu verovatnoća, onda je proces obnavljanja - prost. Ako su različite raspodele verovatnoća proces je opšti, a ako se otkazi javljaju sa istim intenzitetom  $\lambda_i$  onda se zakon raspodele vremena do pojave otkaza može predstaviti eksponencijalnim zakonom (Poasonovski potok), tako da je:

$$f_i(t) = \frac{R_i(t)}{m},$$

gde je:

$m = 1/\lambda$  srednje vreme rada sistema do pojave otkaza.

Proces obnavljanja je stacionaran.

Ako se postupci održavanja sprovedu u konačnom vremenu, onda se u slučajni proces uključuju slučajna vremena održavanja.

Raspodela vremena  $t_{ri}$  i  $t_{oi}$  su različite i nezavisne. Proces obnavljanja se sastoji od dva nezavisna slučajna procesa, jedan se predstavlja raspodelom vremena do pojave otkaza, a drugi raspodelom vremena u kojem se sprovode postupci održavanja.

Raspodela vremena do pojave otkaza je funkcija pouzdanosti, čija se gustina  $f(t)$  u slučaju stacionarnog procesa definiše:

$$f(t) = F'(t) = \frac{R(t)}{m} = \lambda \cdot R(t)$$

gde je:

- $F'(t)$  – funkcija nepouzdanosti,
- $R(t)$  – funkcija pouzdanosti,
- $\lambda$  – intenzitet otkaza,
- $m$  – srednje vreme do pojave otkaza.

Funkcija gustine raspodele vremena održavanja:

$$f_0(t) = \frac{1 - P_0(t)}{m_0}$$

gde je

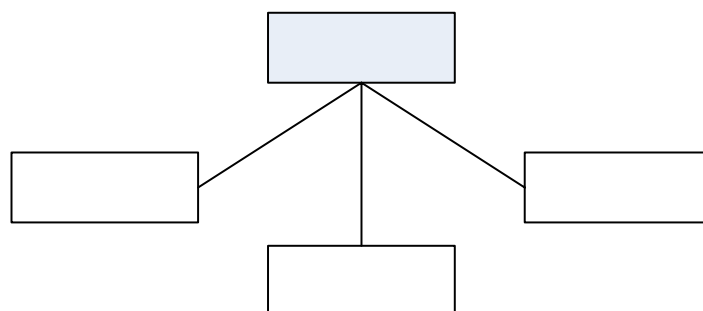
$m$  – srednje vreme obnavljanja.

Funkcija raspodele  $P_0(t)$  predstavlja zakon verovatnoće vremena obnavljanja  $t_{oi}$ , za koje se obavljaju postupci održavanja. Za slučaj eksponencijalne relacije važi  $\mu = 1/m$ , gde je  $\mu$  intenzitet obnavljanja (održavanja).

Raspodela vremena održavanja, vremena obnavljanja, predstavlja pogodnost održavanja.

### 3.5. Sistemi održavanja

Varijanta sistema održavanja, određene koncepcijom, organizacijom i karakterom postupaka održavanja, kao i odnosom između pojedinih nivoa na kojima se vrši održavanje, naziva se **strategija održavanja**.



Slika 3.10. Sistem strategije održavanja

Postoje dva prilaza metodologiji održavanja:

- Održavanje prema pouzdanosti OPP (*Reliability Centered Maintenance – RCM*),
- Totalno produktivno održavanje TPO (*Total Productive Maintenance – TPM*).

**Održavanje prema pouzdanosti** je metodologija zasnovana na postavkama teorije pouzdanosti i sistemskim naukama u celini.

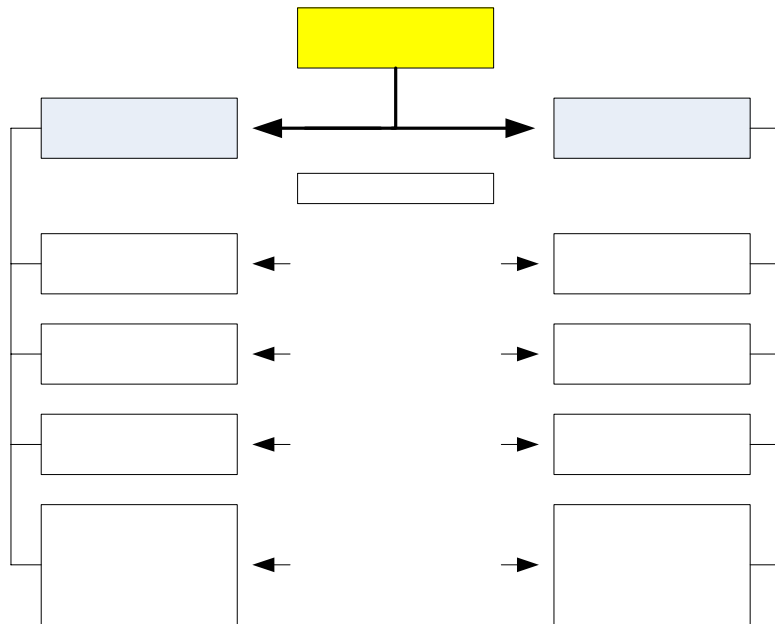
Osnovni ciljevi i metode metodologije OPP su:

- Obezbeđenje pouzdanosti i bezbednosti postrojenja, odnosno objekta koji se održava na nivou koji odgovara njegovim ugrađenim svojstvima (odnosi se na uspešnost konstrukcije i kvaliteta izrade);
- U slučaju pojave otkaza, kvara ili bilo kakva funkcionalne greške, vraćanje postrojenja na pretodni nivo pouzdanosti i bezbednosti;
- Dobijanje informacija nužnih za poboljšanje konstrukcije, odnosno za poboljšanje onih elemenata čija je inherentna pouzdanost nedovoljna i
- Ostvarivanje svih onih zadataka uz što manje troškove, porazumevajući i troškove održavanja i troškove posledica otkaza koje se ne mogu otkloniti.

**Totalno produktivno održavanje** TPO je metodologija koja se zasniva na proceni trenutnog stanja sistema koji se održava, a ne na znanjima o njegovom prethodnom radu i tako određenim empirijskim karakteristikama i zakonima pouzdanosti. Ova metodologija se sprovodi u trenutku kada je dovoljno jasno da će do otkaza doći. Osnovni zadatak i cilj ove metodologije je smanjenje zastoja zbog iznenadnih otkaza na mašinama i potrojenjima.

Metodologija TPO podrazumeva:

- Organizaciju proizvodnog sistema usklađenu sa potrebama održavanja, što omogućava visoku efektivnost proizvodnog procesa;
- Organsko povezivanje proizvodnog procesa i procesa održavanja mašina i uređaja pomoću kojih se ostvaruje proizvodnja, što onemogućava pojavu otkaza i kvarova, eliminiše zastoje i sprečava izlazak iz proizvodnje delova koji ne zadovoljavaju zahtevane norme kvaliteta – proizvodnja bez grešaka;
- Uključivanje u proces održavanja svih sektora, uz sektor proizvodnje i sektor razvoja, prodaje i menadžmenta, uz stimulisanje interesa za kvalitet sprovođenja postupaka održavanja, odnosno za ostvarenu efektivnost proizvodnog procesa;
- Uključivanje u održavanje svakog pojedinačnog radnika, počev od najvišeg rukovodstva do radnika na mašini, omogućava stalno usavršavanje i inoviranje postupaka održavanje, kao i efikasno obučavanje rukovalaca i drugih zaposlenih;
- Realizacija proizvodnog procesa i poslovanja bez gubitaka zbog otkaza mašina i uređaja, odnosno proizvodni sistem bez grešaka.



Slika 3.11. Osnovne razlike metodologija održavanja

### 3.5.1. Konceptija održavanja

Jedno od najvažnijih obeležja svake strategije održavanja, odnosno svakog sistema održavanja. Od konceptijskih rešenja u velikoj meri zavisi i ukupni kvalitet održavanja.

Konceptija održavanja se zasniva na načelima na osnovu kojih se donose odluke o svim elementima bitnim za sprovođenje postupaka održavanja, posebno u odnosu na njihov sadržaj i vreme. Postoje dve osnovne koncepcije:

- Preventivno održavanje
- Korektivno održavanje.

Konceptija preventivnog održavanja traži da se postupci održavanja sprovede pre nego što dođe do pojave otkaza, dok je sistem u stanju u radu. Postupci preventivnog održavanja imaju zadatak da spreče ili odlože pojavu otkaza.

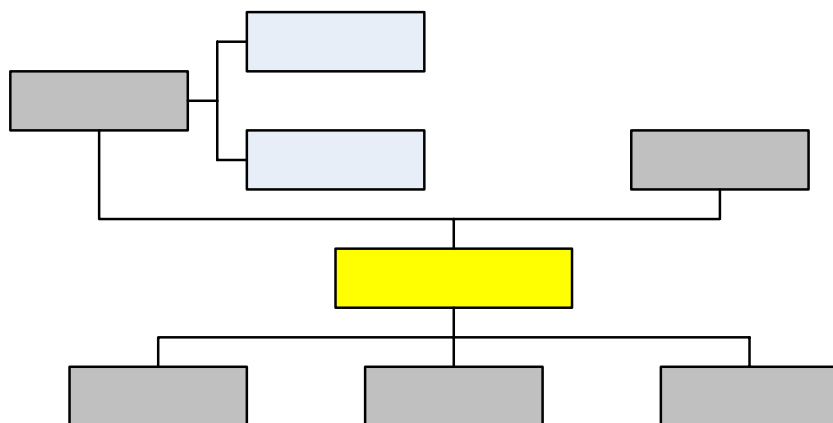
Konceptija korektivnog održavanja traži da se postupci održavanja sprovede samo ako do otkaza dođe. Postupci korektivnog održavanja popravljaju sistem i obavljaju se isključivo samo ako se sistem nalazi u stanju u otkazu. Ove dve koncepcije održavanja su u stvari različite varijante kombinovanog održavanja.

Najčešće se kombinovano održavanje sprovodi tako što se jedan deo tehničkog sistema održava preventivno, a drugi deo se održava korektivno. Postoje dve vrste preventivnog održavanja:

- Prva vrsta se zasniva na informacijama o pouzdanosti, na empirijski utvrđenim raspodelama verovatnoća vremena do pojave otkaza za posmatrani sistem, njegove elemente i sklopove;

- Drugu vrstu čini preventivno održavanje koje se pored informacija o pouzdanosti zasniva i na stalnom sistemskom praćenju rada posmatranog tehničkog sistema.

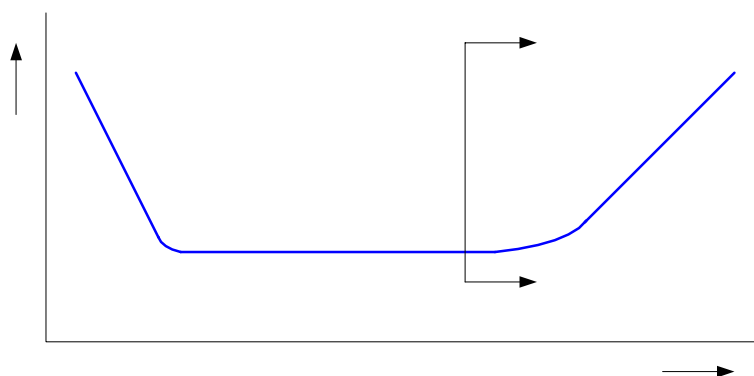
Različite mogućnosti preventivnog održavanja shematski su prikazane na slici 3.12. U donjem delu ovog pregleda pokazane su varijante preventivnog održavanja sa stanovišta karaktera, odnosno vrste preventivnih postupaka, a u gornjem delu sa stanovišta vremena sprovođenja ovih postupaka.



Slika 3.12. Mogućnosti preventivnog održavanja

Postupci održavanja se dele na:

- *Osnovno održavanje* – obuhvata sve one postupke koje obavlja sam rukovalac, na licu mesta, bez nekih posebnih tehnoloških zahteva, bez specijalnih alata ili drugih uređaja, kao i postupke opsluživanja (pranje i čišćenje, snabdevanje gorivom i ostalim, elementarna podešavanja, pregled stanja sistema, provera instrumenata ...).
- *Preventivna zamena* – obuhvata sve one postupke koji dovode do veće pouzdanosti, u slučajevima kada je posmatrani element u svom životnom veku već zašao u period poznih otkaza (zbog zamora, habanja, korozije,...). Ali treba voditi računa o tome, da je svaka izgradnja ili ugradnja novog ili popravljenog elementa praćena sa dve neizvesnosti: da li je element koji se ugrađuje dobar i da li je ugradnja izvršena dobro. Stoga preventivne zamene treba vršiti samo onda kada su rizici od ovih neizvesnosti manji od pozitivnih efekata koji se ostvaruju.



Slika 3.13. Dijagram intenziteta otkaza

- *Održavanje prema stanju* – postupci održavanja zavise od stanja sistema, na osnovu pregleda po utvrđenoj metodologiji. Ova koncepcija je efikasna i izaziva manje troškove održavanja i troškove životnog veka.

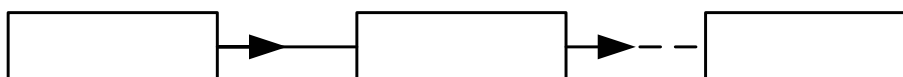
Prema vremenu, postupci održavanja se dele na:

- Preventivno održavanje u utvrđenim rokovima – rokovi se utvrđuju na osnovu zakona pouzdanosti posmatranog sistema i njegovih elemenata, a izražavaju se preko slučajne promenljive, preko koje se definiše i funkcija pouzdanosti (radnim satima, pređenim kilometrima, itd.).
- Adaptivno održavanje (preventivno održavanje u podesivim rokovima) rokovi se podešavaju u zavisnosti od stanja u kojem se sistem nalazi. Podesno za one sisteme u kojima nema dovoljno iskustva u prethodnom korištenju (način prilagođavanja).
- Oportunističko održavanje – sprovodi se u momentima kada se za to ukažu najbolje mogućnosti, za što je potrebno dobro upravljanje i organizacija. Ovo održavanje se sprovodi onda kada je to najlakše, kada se izazivaju najmanje teškoće (kada se sistem nalazi na popravci zbog nekog nastalog otkaza, mogu da se obave određeni postupci održavanja i na podsistemima i elementima koji nisu zahvaćeni tim otkazom, iako još nije istekao rok propisan za te preglede).

### 3.5.2. Organizacija održavanja

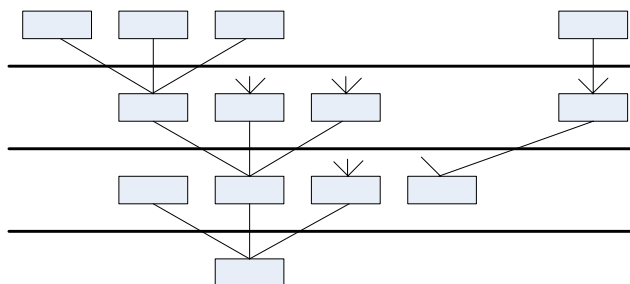
Organizacija održavanja se deli na:

- Linijsku strukturu – dva ili više serijski vezanih mesta održavanja. Koristi se za složene tehničke sisteme, koji se proizvode pojedinačno ili u sasvim malim serijama, a koriste u specifičnim radnim uslovima. Najjednostavnija organizacija sistema održavanja.



Slika 3.14. Linijska struktura

- Hijerarhijska struktura – svaki viši nivo opslužuje jedan ili više nižih nivoa. Koristi se za tehničke sisteme koji se proizvode u većim serijama ili grupama.



Slika 3.15. Hijerarhijska struktura

- Kombinovani način prethodna dva načina.



### **3.5.3. Tehnologija održavanja**

Tehnologija održavanje određuje kako se sprovode postupci održavanja, na koji način, kojim alatom, po kom redosledu, kako se proverava kvalitet izvršenog održavanja i slično. Postupci održavanja predstavljaju aktivnosti i operacije koje treba sprovesti da bi se sistem iz stanja u otkazu vratio u stanje u radu.

Postupci održavanja se dele na:

- Osnovno održavanje,
- Nadzor,
- Pregled stanja – bez rasklapanja i sa potpunim ili delimičnim rasklapanjem,
- Popravke i
- Inovacije – poboljšanje tehničkog sistema.


*Slika 3.16. Postupci održavanja*

### **3.5.4. Projektovanje sistema održavanja**

Projektovanje sistema održavanja predstavlja definisanje sistema održavanja u svim bitnim elementima i detaljima, posebno sa stanovišta koncepcije, organizacije i tehnologije, uključujući i elemente logističke podrške (kapaciteti, snabdevanje, radna snaga, finansijski potencijali, informacioni sistem i sistem upravljanja).

### **3.6. Logistika i integralna logistička podrška**

Da bi jedan tehnički sistem uspešno izvršavao svoje zadatke i ispunjavao postavljenu funkciju cilja, nužno je da se obezbede mnogi uslovi, odnosno elementi podrške, kao što su: pogonski materijal, sredstva transporta i komunikacija, sistem održavanja i rezervni delovi, a takođe i rukovaoci, uputstva za rukovanje i održavanje, obrtna sredstva, itd.

Obezbeđivanje ovih elemenata podrške je veoma složen i odgovoran zadatak, visokog stepena značaja, pa se ovoj problematici poslednjih godina poklanja posebna pažnja.

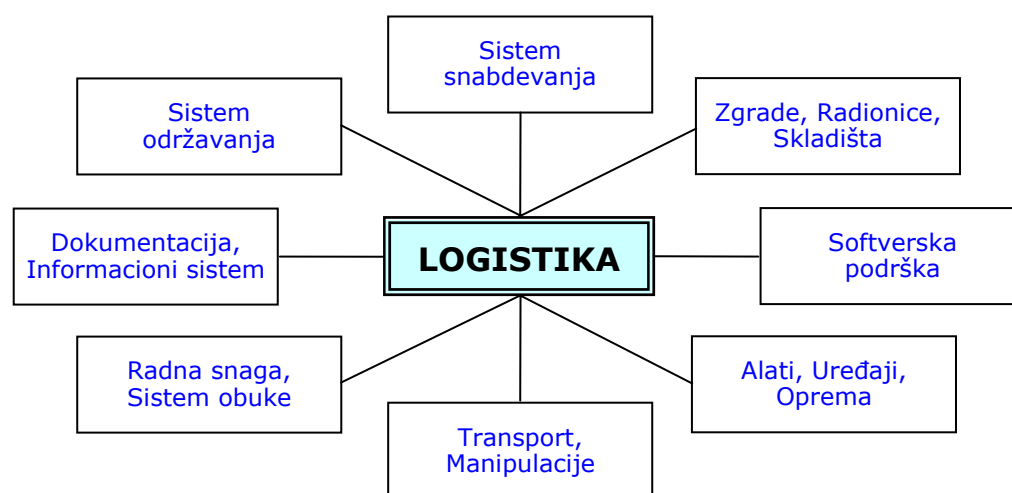
Sve napred navedeno je neposredni zadatak *Logistike*, discipline tehničkih nauka koja se bavi izučavanjem elemenata podrške tehničkim sistemima.

Za Logistiku je vezan i pojam *Integralna logistička podrška* ili skraćeno *ILP* (engleski *Integrated Logistic Support – ILS*). Ovim pojmom se označava skup elemenata nužnih za propisno funkcionisanje tehničkih sistema. U širem prilazu ovaj pojam se koristi za opis odgovarajućeg naučno zasnovanog prilaza upravljanju (menadžmentu) sistemima, pomoću koga treba da se obezbedi:

- blagovremeno definisanje (određenje) svih elemenata koje treba obezbediti da bi jedan tehnički sistem (postrojenje ili mašina) izvršavao svoju funkciju na propisani ili zahtevani način,
- razvoj, odnosno projektovanje potrebnih elemenata podrške,
- proizvodnja i nabavka, odnosno fizičko obezbeđenje potrebnih elemenata podrške, i
- rad tehničkog sistema sa potrebnim elementima podrške, tako da se obezbedi izvršavanje funkcije cilja uz što manje troškove.

Integralna logistička podrška nije samo pojam koji karakteriše određeno stanje ili područje, već i tehnologija, odnosno skup aktivnosti koje treba preduzimati u pojedinim fazama životnog ciklusa tehničkog sistema, kako bi on u eksploataciji bio dobro podržavan, odnosno kako bi se obezbedili svi elementi potrebni za njegovo propisno funkcionisanje i ispunjavanje zadate funkcije cilja. Otuda su pojmovi *Logistika* i *Integralna logistička podrška* u suštini sinonimi.

Sadržaj Logistike se može okvirno sagledati iz pojednostavljene sheme na slici 3.17.



Slika 3.17. Logistika – elementi

Do sada Logistika je najviše primenjivana za rešavanje problema podrške vojnim sistemima, a posebno sistemima vojne tehnike, pa je i u literaturi najviše obrađivana sa ovog stanovišta. Prema *Webster's New Universal*

*Dictionary* (New York, 1977.), "Logistika je deo vojne nauke koji se bavi pokretima, snabdevanjem i zbrinjavanjem trupa".

Postoji više vrsta definicija Logistike:

1. Američko društvo inženjera logistike: *Logistika je veština i nauka poslovnog upravljanja (me-nadžmenta), inženjerstva i drugih aktivnosti koje se odnose na definisanje zahteva, projektovanje, snabdevanje i održavanje tehničkih sistema, tako da se obezbedi ostvarivanje postavljenih ciljeva i planova, odnosno njihovo propisno funkcionisanje.*
2. Nemačka asocijacija inženjera: *Logistika je integracija svih planskih i upravljačkih akcija u procesu razvoja (nastajanja) i distribucije jednog proizvoda, uključujući i odgovarajuće tokove materijala, posmatrano u datim ograničenjima i pod datim uslovima, kao što su termini, količine, zalihe, kapaciteti radne snage i pogonskih sredstava, trajanje proizvodnog procesa, opterećenost mašina i alata i drugi parametri ekonomskog ili tehnološkog karaktera.*

### **3.7. Modeliranje i optimizacija sistema održavanja**

Održavanje tehničkih sistema može da se realizuje u više varijanata, po više strategija, sa većim ili manjim razlikama u osnovnim obeležjima pojedinih rešenja. Čim postoji više varijanata, postavlja se pitanje koju izabрати, koja je najbolja. Odgovor na ovo pitanje u načelu nije lako, tako da kod izbora strategije održavanja treba voditi računa o sledeća dva krupna razloga:

- Svaka varijanta strategije održavanja izaziva određene efekte, određenu gotovost, troškove i druge karakteristike sistema održavanja, stoga izlazne karakteristike sistema za svaku varijantu treba izraziti jasno i kvantitativno.
- Upoređivanje različitih varijanti strategije predstavlja višekriterijumski problem (gotovost, troškovi, itd.), koji se uspešno rešava samo ako su jasno određeni svi važni zahtevi i ograničenja, odnosno funkcija cilja sistema koji se posmatra.

Izbor optimuma za definisane kriterijume i za definisana ograničenja predstavlja neposredni zadatak optimizacije. Nije dovoljno odrediti optimalnu strategiju, već je potrebno objasniti za koje kriterijume i koja ograničenja je to rešenje najbolje i na osnovu čega je ocena doneta.

#### **3.7.1. Metode optimizacije**

Optimizacija sistema održavanja se može vršiti na različite načine. Optimizira se model pojednostavljene šeme procesa, a ne fizička suština održavanja, kao stohastičkog procesa. Analiza i optimizacija sistema održavanja se može vršiti pomoću:

- Matematičkih modela,
- Empirijsko-heurističkih metoda.

Analiza i optimizacija sistema održavanja pomoću matematičkih modela:

- Pruža mogućnosti da se tehnički sistem posmatra kao celina, kao entitet, pa se simulacionim ili drugim tehnikama omogućava definisanje uticaja svih promenljivih parametara.
- Omogućava upoređenje više mogućih varijanti.
- Olakšava otkrivanje veza između pojedinih uticajnih parametara koje nisu ranije zapažene ili koje se ne mogu ustanoviti verbalnim i iskustvenim metodama.
- Ukazuje na podatke koje treba obezbediti da bi se sprovele potrebne analize.
- Olakšava predviđanja budućih stanja ili događaja, uz procene rizika ili granica poverenja.

Empirijsko-heurističke metode:

- Uključuju činioce koji ne mogu da se uključe u matematički model, koji ne mogu da se analitički jednoznačno povežu sa drugim činiocima.
- Omogućuju analizu subjektivnih i drugih činilaca koje se ne mogu opisati analitički.
- Obezbeđuju iskazivanje iskustva i kreativnosti u ekspertnim sistemima.

Postupak optimizacije zahteva da se definišu:

- Kriterijumi prema kojima treba odabrati najbolje, odnosno optimalno rešenje i
- Bitna ograničenja o kojima treba voditi računa.

Koje je rešenje optimalno:

- Optimalno je ono rešenje koje daje najmanje troškove održavanja i
- Optimalno je ono rešenje koje pruža najveću gotovost tehničkog sistema.

### **3.7.2. Modeli održavanja**

Modeli održavanja se dele na modele preventivnog i na modele korektivnog održavanja, kao i na modele koji predstavljaju kombinaciju ove dve vrste.

Modeli preventivnog održavanja najčešće se zasnivaju na kriterijumu troškova, a manje na kriterijumu gotovosti. Kriterijum optimizacije na osnovu koga se vrši izbor najbolje varijante strategije održavanja se iskazuje kao:

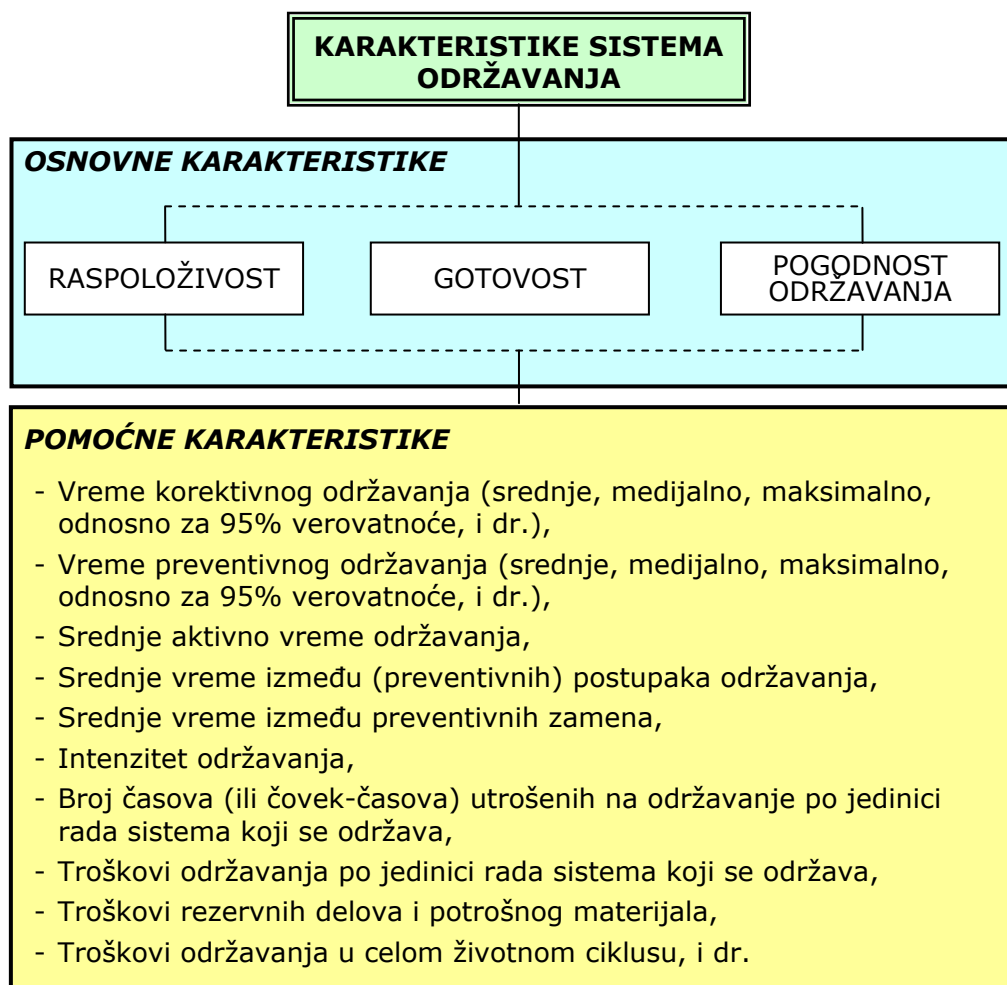
- Minimum troškova, do koga se dolazi upoređivanjem neposrednih i posrednih troškova koji se stvaraju različitim koncepcijama održavanja;
- Maksimum profita, ili drugih pokazatelja poslovanja, do koga se dolazi upoređenjem ekonomskih efekata, razlike dobijenog i utošenog za različite koncepcije održavanja.

### 3.8. Karakteristike sistema održavanja

#### 3.8.1. Osnovne karakteristike sistema održavanja

Karakteristike sistema održavanja predstavljaju veličine ili obeležja pomoću kojih se može opisati ili bliže odrediti sistem održavanja. Dele se na:

- Raspoloživost,
- Gotovost i
- Pogodnost održavanja.



Slika 3.18. Karakteristike sistema održavanja

**Raspoloživost** predstavlja verovatnoću da će sistem u bilo kom trenutku vremena biti u stanju da ispravno radi ili da se uključi u rad. Razlikujemo dva slučaja uključivanja u rad: ako se sistem koristio i ako je bio u skladištu. Ako se sistem nalazi na korištenju, njegovo uključivanje nije praćeno dodatnom neizvesnošću; a ako se nalazi u skladištu, njegovo stanje nije poznato, pa postoji neizvesnost da li će moći da se uključi u rad ili ne.

**Gotovost** predstavlja odnos vremena stanja u radu i ukupnog vremena korištenja, ukoliko se sistem nije nalazio u skladištu. Gotovost predstavlja zbirnu meru kvaliteta sistema u pogledu održavanja i pouzdanosti. Gotovost je slučajnog karaktera. Gotovost se definiše kao:

$$G(t) = \frac{t_r}{t} = \frac{t_r}{t_r + t_o} = \frac{\sum t_{ri}}{\sum t_{ri} + \sum t_{oi}}$$

gde je:

- $G(t)$  – funkcija gotovosti do vremena  $t$ ,
- $t_r$  – vreme u radu (od 0 do  $n$ , do vremena  $t$ ),
- $t_o$  – vreme u otkazu (od 0 do  $n$ , do vremena  $t$ ),
- $t$  – ukupno vreme posmatranja.

Unutrašnja gotovost se definiše u odnosu na aktivno vreme održavanja  $t_{oa}$  (preventivno  $t_{opa}$  i  $t_{oka}$  korektivno):

$$G_u(t) = \frac{t_r}{t_r + t_{oa}}$$

Ostvarena gotovost, pored vremena aktivnog održavanja obuhvata i vreme čekanja, i to vezano za rezervne delove:

$$G_o(t) = \frac{t_r}{t_r + t_{oa} + t_{oc}}$$

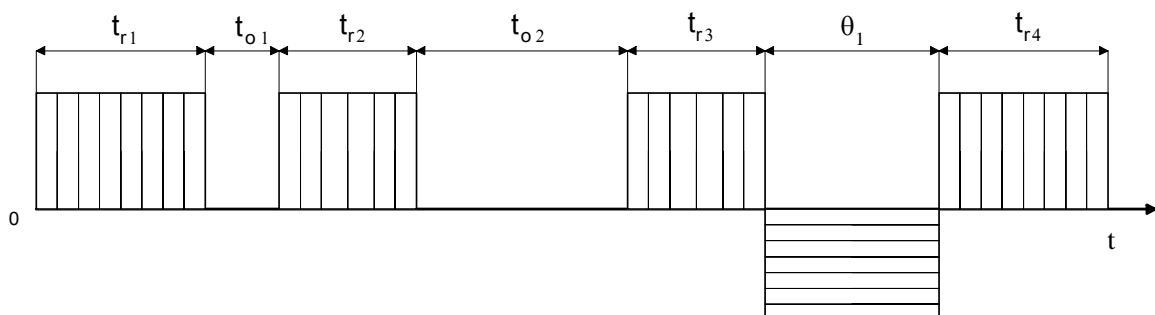
Verovatnoća da će sistem pozitivno odgovoriti na poziv za uključenje u rad:

$$A(t) = \frac{N_u(t)}{N}$$

gde je:

- $A(t)$  – funkcija raspoloživosti,
- $N_u(t)$  – broj pozitivnih odziva za uključenje u rad, do vremena  $t$ ,
- $N$  – ukupan broj poziva za uključenje u rad, do vremena  $t$ .

Međutim, najbolje je gotovost definisati (odrediti) preko vremenske slike stanja koja je data na slici 3.19.



Slika 3.19. Vremenska slika stanja:

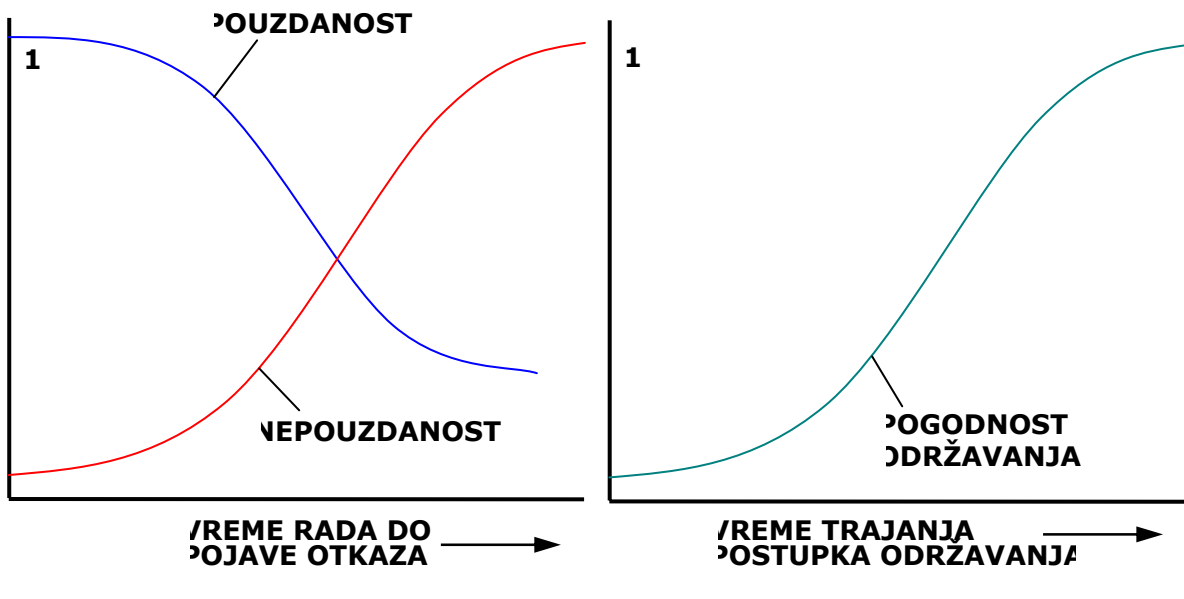
- $t_{ri}$  - vreme funkcionisanja (raspoloživo vreme – vreme u radu),
- $t_{oi}$  - vreme zastoja (neraspoloživo vreme – vreme u otkazu),
- $\theta_i$  - vreme planiranih zastoja (održavanja).

**Pogodnost održavanja** predstavlja verovatnoću, da će se potrebni postupci održavanja obaviti do određenog vremena, pod određenim uslovima. Pogodnost se izražava kao:

$$P_o(t) = \int_0^t f(t_0) dt_0$$

gde je:

$t_0$  - vreme trajanja postupka održavanja,  
 $f(t_0)$  - funkcija gustine verovatnoće ovog vremena.



Slika 3.20. Funkcija pogodnosti održavanja

Funkcija pogodnosti održavanja ima isti smisao kao funkcija nepouzdanosti u teoriji pouzdanosti (slika 3.20.).

Funkcija pogodnosti održavanja, kao i svaka funkcija verovatnoće, predstavlja monotono rastuću funkciju. Funkcija pogodnosti održavanja može da se definiše za ceo sistem ili za pojedine sisteme, čak i za pojedine postupke održavanja. Za interpretaciju empirijske raspodele funkcije pogodnosti održavanja se koristi Log-normalna i Wejbulova raspodela. Log-normalna raspodela je pogodna za one slučajeve kada su postupci održavanja praćeni dužim čekanjima, bez obzira na vrstu čekanja i na mesto odakle potiču. Wejbulova raspodela je pogodna kada nema dužih čekanja, odnosno kada je ukupno vreme trajanja postupka održavanja jednako aktivnom vremenu održavanja.

Pogodnost održavanja kao skup konstrukcijskih karakteristika koje utiču na vreme otklanjanja otkaza ili na vreme obavljanja drugih postupaka održavanja, predstavlja unutrašnje svojstvo posmatranog tehničkog sistema, usled toga se zove konstrukcijska pogodnost održavanja ili popravljivost. Konstrukcijska pogodnost održavanja jednog tehničkog sistema neposredno utiče na sve elemente njegovog održavanja, naročito na primenjenu tehnologiju.

Na konstrukcijsku pogodnost održavanja utiču sledeći faktori:

- Unifikacija,
- Standardizacija,
- Dijagnostika,
- Tehnologičnost,
- Alati i oprema i
- Manipulativnost.

Visoki stepen standardizacije i unifikacije daju veću gotovost. Dijagnostika, kao tehnologija identifikacije i lociranja nastalog otkaza, odnosno segment koji služi za prepoznavanja stanja koje traže postupci održavanja. Tehnologičnost ili tehnološka prilagođenost tehničkog sistema održavanju predstavlja pristupačnost mestima na kojima je potrebno nešto podešavati ili raditi, stepen složenosti operacija rasklapanja ili sklapanja. Alati i oprema imaju veliki uticaj na kvalitet procesa održavanja. Manipulativnost se odnosi na konstrukcijske karakteristike tehničkog sistema koje omogućavaju njegov transport i prenošenje sa mesta rada do mesta održavanja.

### 3.8.2. Pomoćne karakteristike

Pomoćne karakteristike pomoću kojih se opisuje sistem održavanja ili njegova svojstva su:

- Srednje vreme korektivnog održavanja  $\tau_{ok}$  i srednje vreme preventivnog održavanja  $\tau_{op}$ . Za korektivno vreme se može reći i vreme popravke, MTTR (*Mean Time To Repair*). Vreme održavanja predstavlja slučajnu promenljivu veličinu, koja se karakteriše nekim zakonom raspodele, odnosno nekom funkcijom gustine. Srednje vreme trajanja postupaka održavanja predstavlja matematičko očekivanje posmatrane slučajno promenljive ili aritmetičku srednju vrednost svih njenih pojedinih realizacija. Srednje vreme korektivnog održavanja se izražava kao:

$$\tau_{ok} = \int_0^{\infty} f(t_{ok}) dt_{ok}$$

preko gustine vremena korektivnog održavanja ili preko  $n$  pojedinačnih realizacija vremena korektivnog održavanja, kao:

$$\tau_{ok} = \frac{\sum t_{oki}}{n}.$$

- Medijana aktivnog vremena održavanja  $M_{toa}$ , koja se obično posebno izražava za korektivno a posebno za preventivno održavanje, mada bitno ređe. Medijana predstavlja vrednost slučajne promenljive koja površinu ispod funkcije gustine vremena održavanja deli na dva jednaka dela, tako da svaka realizacija ispod vrednosti medijane ima verovatnoću 50%, kao i deo iznad. Može se predstaviti kao:

$$\int_0^{M_{toa}} f(t_{oak}) dt_{oak} = 0.5 = \int_{M_{toa}}^{\infty} f(t_{oak}) dt_{oak}.$$



Kod normalnog zakona raspodele medijana je isto što i srednja vrednost, odnosno medijana aktivnog vremena održavanja je jednaka srednjem vremenu korektivnog održavanja. Za druge zakone raspodele medijanu treba posebno odrediti. Za log-normalnu raspodelu medijana se računa preko:

$$M_{toa} = \text{anti log}[(\Sigma \log t_{oi}) / n].$$

- Srednje aktivno vreme održavanja  $\tau_{oa}$  obuhvata samo aktivni rad na održavanju, isključujući sve logističke, administrativne i druge zastoje.
- Srednje vreme između održavanja  $\tau_o$  - MTBM (*Mean Time Between Maintenance*) predstavlja prosečno vreme između svih postupaka održavanja preventivnih i korektivnih. Srednje vreme između održavanja je u načelu jednako srednjem vremenu između otkaza, iako su moguća odstupanja usled kombinovanih otkaza i preventivnih mera.
- Srednje vreme između zamene  $\Delta t_z$  - MTBR (*Mean Time Between Replacement*), koristi se prvenstveno za planiranje potrebnih rezervnih delova.
- Intenzitet održavanja ili intenzitet obnavljanja  $\mu$ , koji u slučaju eksponencijalne raspodele predstavlja recipročnu vrednost srednjeg vremena održavanja  $m_o$  :

$$\mu = 1 / m_o = 1 / \tau_{oa}.$$

- Broj časova održavanja po jedinici rada tehničkog sistema. Koristi se za opisivanje ukupnog napora koj treba uložiti u postupke održavanja.