

## RADOVI NA ODRŽAVANJU MAŠINA - OPREME

### Osnovni radovi - aktivnosti održavanja (\*18)

Osnovni radovi - aktivnosti održavanja koje se izvode na samom tehničkom sredstvu su:

**Čišćenje i zaštita od korozije** predstavlja operaciju uklanjanja svih za normalan rad mašine štetnih i nepotrebnih materijala kao i nanošenje zaštitnih slojeva antikorozivnih materijala, njihovu kontrolu i obnavljanje u skladu sa eksploatacionim uslovima. Zavisno od uslova rada propisuje se vremenski raspored navedenih aktivnosti i količina sredstava i materijala za njihovo izvršavanje.

**Podmazivanje** obuhvata nadomeštanje utrošenih količina i zamenu istrošenih ulja i maziva na predviđenim mestima, a po količini, karakteristikama i vremenskoj učestalosti za obezbeđenje normalnog funkcionisanja mašine.

**(Tehnički) Pregled** predstavlja uvid u stanje karakterističnih obeležja, statički i dinamički posmatrano, određenih elemenata mašine, na prikladan način metodama observacije i merenja, uz korišćenje odgovarajućih sredstava – instrumenata i po utvrđenom vremenskom rasporedu.

**Zamena dela** je operacija demontaže istrošenog ili po usvojenim kriterijumima neispravnog - dotrajalog dela za zamenu i montaže novog prema utvrđenom vremenskom rasporedu.

**Mala opravka** obuhvata zamenu određenog broja dotrajalih delova i regulisanje funkcionisanja nekih mehanizama u cilju obezbeđenja normalne radne sposobnosti u skladu sa eksploataciono-tehničkim karakteristikama mašine.

**Srednja opravka** sadrži delimičnu demontažu mašine sa zamenom nekih elemenata, ispitivanjem i regulacijom predviđenih elemenata odnosno generalnu opravku određenih elemenata i ponovnu montažu sa regulisanjem i ispitivanjem mašine pod opterećenjem, po unapred sastavljenom programu.

**Generalna opravka** obuhvata potpunu demontažu mašine sa proverom svih elemenata, zamenom odnosno doradom dotrajalih elemenata, zatim montažu sa regulisanjem i ispitivanjem pod opterećenjem.

Pomenuti radovi – aktivnosti na održavanju mogu se izvoditi u okviru kako preventivnog tako i u okviru korektivnog sistema održavanja. Stim, što kad se kod korektivnog održavanja kaže npr. „srednja opravka“ misli se na obim radova ekvivalentan srednjoj opravci koji se izvodi da se npr. sanirala neka havarija.

## Preventivni sistem održavanja

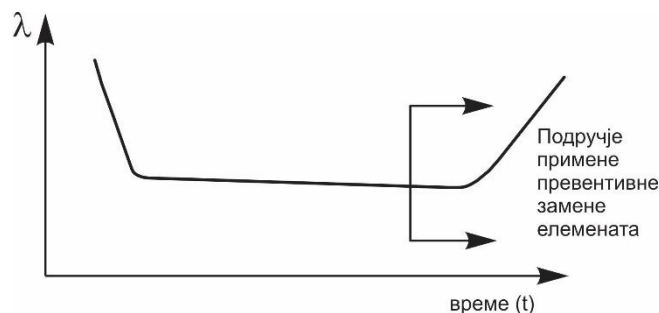
Kod preventivnog sistema održavanja aktivnosti i postupci održavanja sprovode se pre nego što dođe do pojave otkaza, tj. dok je sistem u stanju „u radu“. Preventivno održavanje može da se realizuje na različite načine, u varijantama koje se razlikuju po mnogim elementima i detaljima, ali i po suštini procesa odlučivanja.

Preventivno održavanje se unapred planira. Poželjno je pri tom automatizovati planiranje do najveće moguće mere. U današnje vreme gotovo je nemoguće ostvariti efektivno i efikasno održavanje bez informacionog sistema za upravljanje održavanjem (engl.- Computerised Maintenance Management System - CMMS). Uvođenje informacionog sistema je osnovni korak u usavršavanju svakog sistema održavanja.

### Preventivno održavanje – plansko preventivno održavanje (\*\*X1)

Plansko preventivno održavanje sprovodi se isključivo na osnovu apriornih informacija o pouzdanosti, tj. na osnovu raspodele verovatnoća vremena do pojave otkaza za sistem, odnosno njegov osnovni element. Izvodi se u fiksnim vremenskim intervalima (broj radnih sati, broj pređenih kilometara, period vremena itd.) i ima unapred određenu radnu sadržinu u vidu propisanih preventivnih postupaka održavanja i zamena sastavnih elemenata, ali se ovaj interval može podešavati (adaptirati) prema stanju sistema, konstatovanom pri prethodnom pregledu.

Preventivne zamene elemenata tehničkih sistema su veoma važan vid preventivnog održavanja. Ove postupke treba primenjivati samo u slučaju kada se sasvim sigurno doprinosi većoj pouzdanosti, odnosno ako sigurno smanjuju verovatnoću otkaza u narednom periodu tj. kada je određeni element u svom životnom veku već zašao u period poznih otkaza (zamor, habanje, korozija i sl.), slika 1. i slika 2. a,b,c. Planirana opravka ili planirana zamena se realizuje samo kada postoji jasan dokaz da je sredstvo izloženo trošenju, degradaciji ili propadanju. Zamenjeni deo mora biti nov, odnosno tehnički kvalitetan kao da je nov.

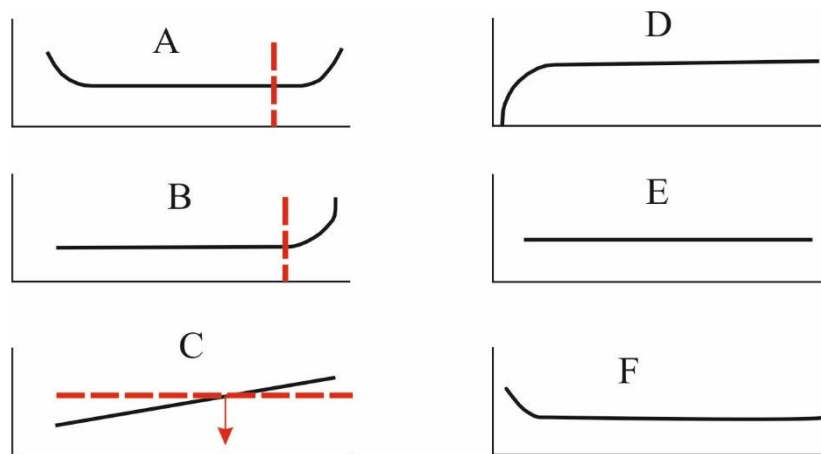


Slika 1. Područje primene preventivnih zamena elemenata sistema. (\*X2)

Iskustva govore da se plansko preventivno održavanje treba birati veoma pažljivo, jer je ono korisno samo za određene elemente (sklopove) kompleksnih sistema. Smatra se da je plansko preventivno održavanje optimalno za elemente (sklopove) sistema koji su izloženi abrazivnom, erozivnom ili korozivnom trošenju, zatim zamoru, lomovima ili ako postoji jasna korelacija između vremena rada i funkcionalne pouzdanosti.

Osnovni nedostatak plansko preventivnog održavanja je što se resursi elemenata (sklopova) tehničkih sistema ne koriste do kraja, s obzirom da je periodičnost plansko preventivnog održavanja po pravilu manja od srednjeg vremena rada između otkaza. Takođe, zbog ljudske greške, postoji mogućnost oštećenja opreme prilikom izvođenja pregleda, opravke, podešavanja ili ugradnje novog dela. Ugradnja materijala ili elementa koji je defektan i neispravan, mogućnost nepravilnog sklapanja ili rasklapanja, nekorektna instalacija novog dela ili nekorektno sastavljanje sklopa ili sistema, kao i sama ugradnja novog elementa ili rezervnog dela unosi u sistem povećanu mogućnost otkazivanja zbog tzv. „dečijih bolesti“.

Tako na primer, za elemente (sklopove) čiji se intenzitet otkaza ponaša po krivoj F, slika 2., kontraproduktivno je plansko preventivno održavanje, jer je kod njih povećan intenzitet otkaza u ranom periodu korišćenja, što znači i posle remonta. U ovom slučaju plansko preventivno održavanje može da izazove i negativne efekte, jer se u sistem unosi povećana mogućnost otkazivanja zbog tzv. „dečijih bolesti“.



Slika 2. Krive intenziteta otkaza. (\*X3)

Za intenzitete otkaza elemenata (sklopova) koji se ponašaju po krivim „D“ i „E“ plansko preventivno održavanje nije svrsishodno.

Kriterijum tehničke izvodljivosti plansko preventivnog održavanja zadovoljen je samo ako se odnosi na elemente (sklopove) čiji se intenzitet otkaza ponaša po krivima „A“, „B“ i „C“. Za otkaze koji se ponašaju po krivoj „C“ potrebno je odrediti tačku kada se prelazi tolerišući nivo na „y“ osi, pa se na način prikazan na slici dobije vremenski ili resursni limit na „x“ osi.

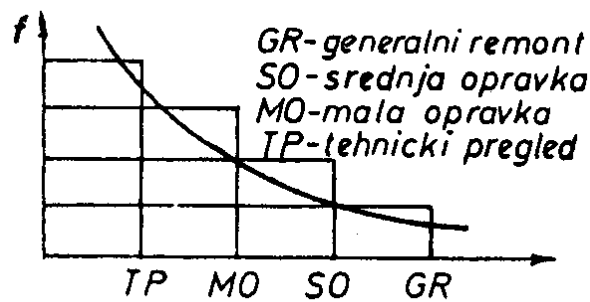
Osnovna karakteristika plansko-preventivnog održavanja je tzv. **ciklus održavanja** (remontni ciklus) tehničkog sredstva.

### Remontni ciklus - $T_{rc}$

Remontni ciklus predstavlja period vremena između dve generalne opravke i predstavlja osnovno vreme investicionog održavanja. Taj period se ponavlja sa istom strukturom, sve dok se sredstvo za rad ne amortizuje ili otpiše. (\*19)

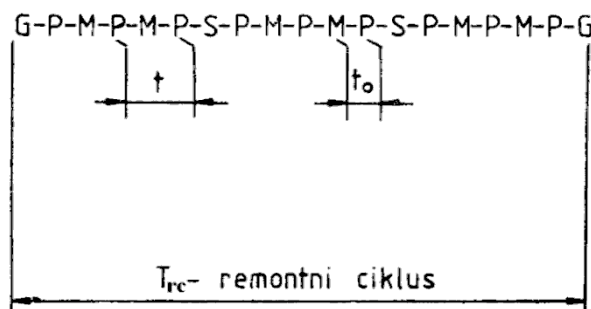
U periodu između dve generalne opravke određuje se broj i raspored ostalih kategorija radova na preventivnom održavanju u skladu sa tehničkim i eksploatacionim karakteristikama tehničkog sredstva sa ciljem da se neprekidno održi projektovana radna sposobnost tehničkog sredstva.

U praksi je u potpunosti proučena struktura remontnog ciklusa i za razne vrste sredstava za rad utvrđena je struktura remontnog ciklusa sa tačnim podacima o tome koliko se tehničkih pregleda (TP), malih opravki (MO) i srednjih opravki (SO) nalaze između dva generalna remonta (GR). Na slici 3 prikazana je frekvencija različitih vrsta opravki. (\*20)



Slika 3. Frekvencije vrsta opravki.

Struktura remontnog ciklusa za alatne mašine (V-X grupa mašina, tabela 1) data je na slici 4:



Slika 4. Struktura remontnog ciklusa.

Za ovu vrstu mašina u praksi se primenjuje struktura remontnog ciklusa koji ima:

- 9 tehničkih pregleda (P),
- 6 malih opravki (M),
- 2 srednje opravke (S).

Na osnovu date šeme remontnog ciklusa može se izračunati vreme trajanja remontnog ciklusa  $T_{rc}$  [h] kao: (\*21)

$$T_{rc} = (1 + n_M + n_S) \cdot t$$

$$T_{rc} = (1 + n_M + n_S + n_P) \cdot t_0$$

gde je:

$T_{rc}$  – vremenski period remontnog ciklusa [h],

$n_M$  – broj malih opravki (M) u remontnom ciklusu,

$n_S$  – broj srednjih opravki (S) u remontnom ciklusu,

$n_P$  – broj tehničkih pregleda (P) u remontnom ciklusu,

$t$  – vreme između dva tehnička pregleda, međuremontni period [h],

$t_0$  – vreme između popravke i pregleda [h].

Iz obrazaca za  $T_{rc}$  može se izračunati vremena  $t$  i  $t_0$  kao:

$$t = \frac{T_{rc}}{1 + n_M + n_S}, \text{ odnosno } t_0 = \frac{T_{rc}}{1 + n_M + n_S + n_P}.$$

Iskustveni podaci za  $T_{rc}$ ,  $t$  i  $t_0$  za mašine za obradu rezanjem su:

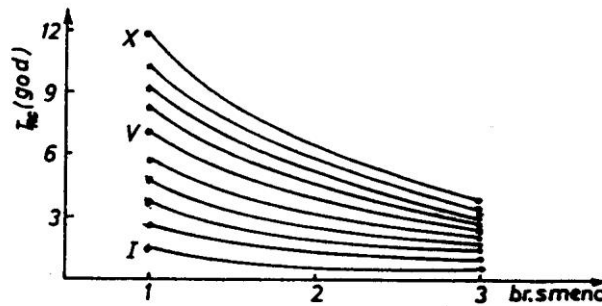
$$T_{rc} = 26000 \text{ [h]}, t = 4800 \text{ [h]}, t_0 = 1600 \text{ [h]}.$$

Tabela 1. Podela mašinskih postrojenja u grupe.

Grupa	Naziv mašinskog postrojenja
I	Doboši za čišćenje odlivaka, uređaji za prečišćavanje peska, peći za sušenje, peći za kaljenje
II	Klinovi sa kuglama, uređaji za pripremu peska, razne vrste kolica
III	Peći za topljenje čelika, dizalice, elevatori
IV	Frikcione prese, mašinske makaze, kompresori, ventilatori
V	Stubna bušilica, brusilice, revolver strugovi, poluautomati, automati
VI	Glodalice, brusilice, mašine za izvlačenje
VII	.....
VIII	.....
IX	.....
X	Mašine, alatke velike tačnosti, razne teške alatne mašine

Odnos broja smena rada i dužine remontnog ciklusa za pojedine grupe mašina dat je na slici 5.

Za najpreciznije alatne mašine (grupa X) uticaj režima rada je najveći, tako da se ovo vreme više nego udvostručuje ako mašina radi u jednoj smeni umesto u tri. Za najjednostavnije mašine broj smena ima najmanji uticaj na dužinu remontnog ciklusa.



Slika 5. Odnos broja smena rada i dužine remontnog ciklusa. (\*22)

### Preventivno održavanje – održavanje prema stanju (\*\*X4)

U okviru održavanja prema stanju moguće su dve varijante:

**Preventivno održavanje prema stanju sa proverom parametara stanja** (strukturnih ili dijagnostičkih parametara). U ovom slučaju se posmatra tj. prati diskretno ili kontinualno (engl.- „On-Condition“ ili „Condition Monitoring“ ili „On-line Condition Monitoring“) neki pokazatelj – parametar stanja, koji reprezentuje stanje tehničkog sistema, odnosno sastavnog elementa (sklopa), čija je postepena promena stanja slučajna ili je u funkciji vremena rada. Na osnovu tako dobijene informacije o vrednostima parametara stanja, donosi se odluka o sprovođenju odgovarajućeg postupka preventivnog održavanja ili o nastavku korišćenja sistema do sledeće provere stanja (ukoliko se stanje parametra prati diskretno).

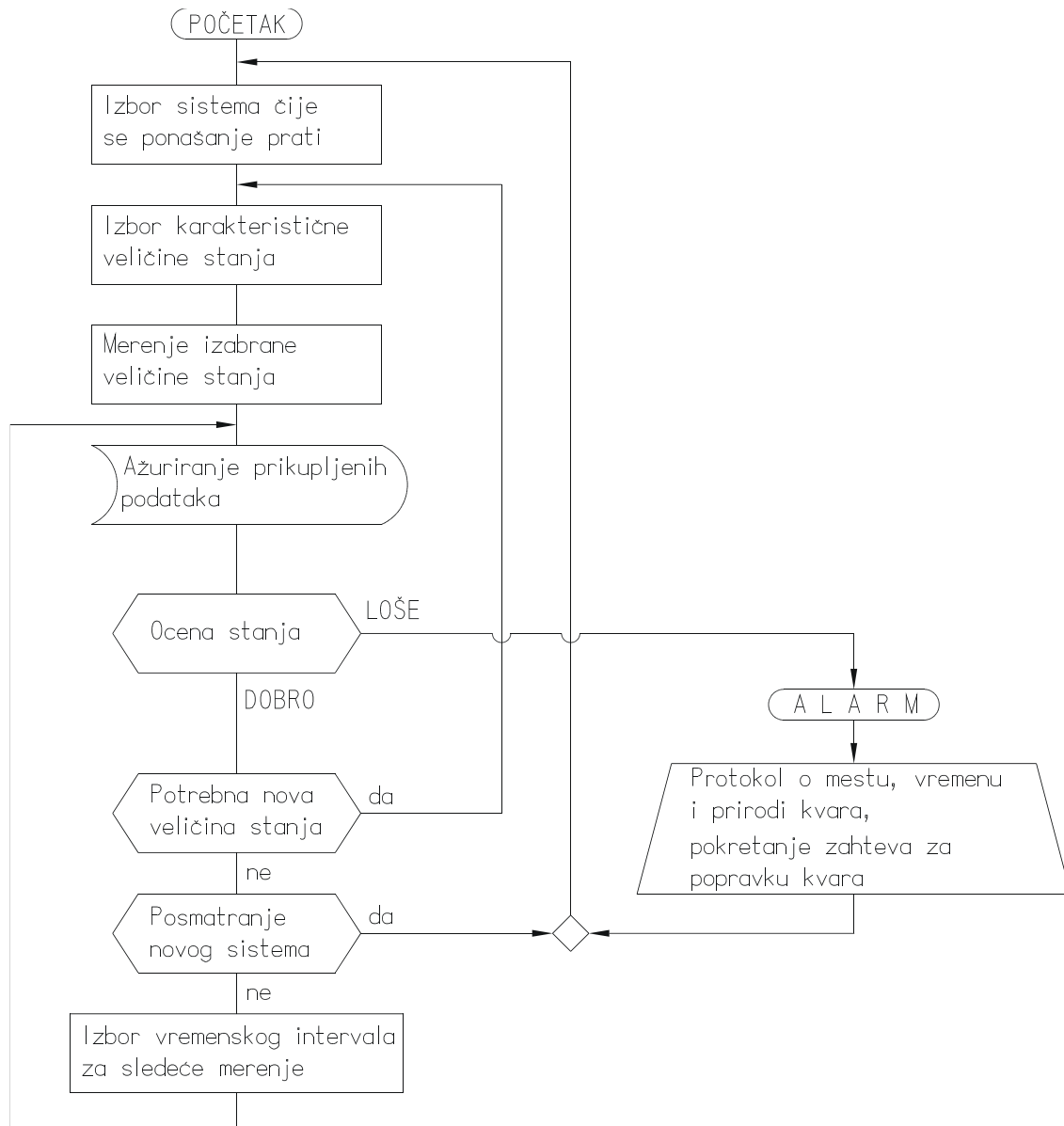
**Preventivno održavanje prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti.** Kao kriterijum za određivanje stanja sastavnih elemenata (sklopova) sistema uzima se dozvoljeni nivo pouzdanosti. Sistem se koristi bez ograničenja i primene postupaka preventivnog održavanja sve dok je stvarni nivo pouzdanosti veći od dozvoljenog nivoa pouzdanosti.

Održavanje prema stanju je nemoguće bez primene dijagnostike stanja – tehničke dijagnostike. Tehnička dijagnostika je sastavni deo procesa održavanja prema stanju, čiji je zadatak da utvrdi tehničko stanje sistema, sklopa, podsklopa ili elementa sa određenom tačnošću i u određenom vremenu.

### Karakteristike održavanja prema stanju sa proverom parametara stanja (\*\*X5)

Preventivno održavanje prema stanju sa proverom parametara stanja, zasniva se na pregledu stanja odnosno na diskretnom ili kontinualnom praćenju stanja sastavnih elemenata sistema i uočavanju ili prognoziranju vremenskog trenutaka dostizanja graničnih vrednosti parametara stanja. Prema rezultatima pregleda, odnosno provere stanja preduzimaju se odgovarajući postupci održavanja. Na slici 6.

prikazan je algoritam sprovođenja održavanja prema stanju sa proverom parametara stanja.

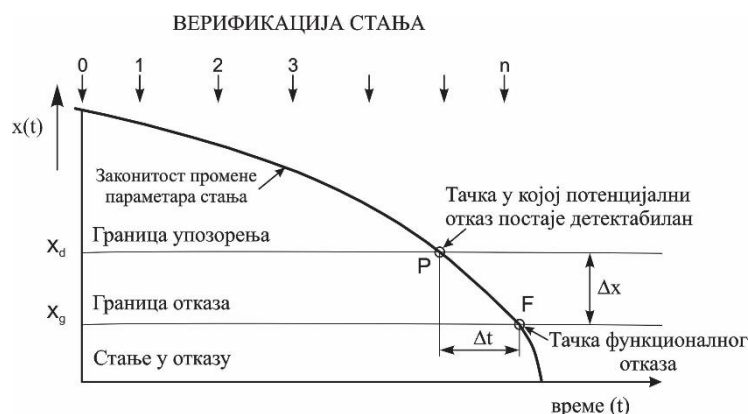


Slika 6. Održavanje prema stanju sa proverom parametara stanja.

Osnovna ideja preventivnog održavanja prema stanju sa proverom parametara stanja, prikazana je na slici 7. Na slici 7. prikazan je mogući slučaj zakonitosti promene parametara stanja  $x(t)$  sa dinamikom provere – verifikacije stanja, kao i definisana granica upozorenja ( $x_d$ ) i granica otkaza ( $x_g$ ) koja je data u normativno - tehničkoj dokumentaciji sistema ili se utvrđuje eksperimentalno.

Granica upozorenja predstavlja tzv. dozvoljenu (minimalnu) vrednost parametara stanja ( $x_d$ ) u kom slučaju sistem radi sa projektovanim performansama, a određuje se kao jedna od relevantnih karakteristika preventivnog održavanja prema stanju sa proverom parametara stanja.





Слика 7. Preventivno održavanje prema stanju sa proverom parametara stanja.

(\*X6)

Однос између поузданости опреме и времена употребе ретко постоји, односно велики проценат опреме има константан интензитет отказа. Међутим, многи откази дају рану индикацију да је отказ у фази да се догоди. Та рана индикација или граница упозорење је позната и као потенцијални отказ, и дефинише се као уочљиво физичко стање које указује на то да ће се отказ десити или је у фази дешавања.

Примери потенцијалног отказа су: тачке повишене температуре на кућишту лежaja, појава вибрација на лежaju, опилци у ulju за подmazивање мотора или видљиво curenje или трошење.

На основу vremenske или ресурсне (vrednosti parametara stanja) разлике између потенцијалног и функционалног отказа дефинише се „PF“ интервал, слика 7. (\*X6), односно signalizaciona tolerancija ( $\Delta x$ ), што dozvoljava одређено време ( $\Delta t$ ) за предузимање поступака одржавања. „PF“ интервал је интервал између тачке у којој потенцијални отказ постаје детектабилан (уочљив) и тачке у којој он degradira у функционални отказ. Потенцијални отказ наступа раније, али у тачки „P“ он постаје уочљив. Тачка „F“ је тачка у којој је наступио функционални отказ, а он представља стање у којем техничко средство или систем није способан да обавља задату функцију са жељеним нивоом performansi. На слици 7. се види да функционални отказ представља стање са minimumом прихватљивости performansi. Сматра се да је „PF“ интервал кључ за одржавање система или компоненти које отказују случајно. Многи случајни откази нису тренутни, ако се на време уочи и одреди тачка потенцијалног отказа, може се предузети правовремена акција одржавања. Зато је потребно да „PF“ интервал буде довољно дуг да би се имало времена за preventivnu акцију. У принципу, што дужи „PF“ интервал то има више времена за donoшење правилне одлуке и planiranja radova на одржавању.

*Карактеристике одржавања према стању са контролом нивоа поузданости елемената система* (\*\*X7)

Одржавање према стању са контролом нивоа поузданости своди се на принцип да се саставни елементи (склопови) система истог типа користе без ограничења и primene

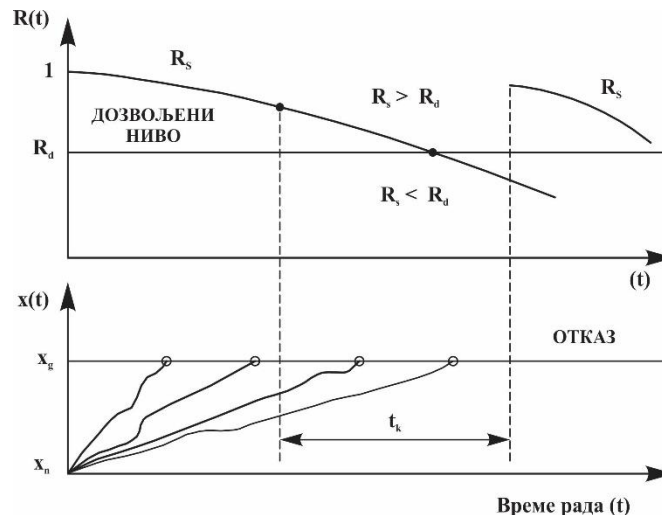


postupaka preventivnog održavanja, uz izvršenje neophodnih aktivnosti korektivnog održavanja, sve dok je stvarni nivo pouzdanosti ( $R_s$ ) veći od dozvoljenog nivoa pouzdanosti ( $R_d$ ), što je prikazano na slici 8., gde je: (\*X8)

$R_s$  - stvarni nivo pouzdanosti,

$R_d$  - dozvoljeni nivo pouzdanosti,

$t_k$  - period kontrole nivoa pouzdanosti.



Slika 8. Preventivno održavanje prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti.

(\*X8)

Kod održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti, kriterijum stanja elemenata (sklopova) sistema istog tipa je dozvoljeni nivo pouzdanosti ( $R_d$ ) koji se izražava pokazateljima pouzdanosti. Odabrani pokazatelj pouzdanosti mora posedovati maksimum informacija o stanju sastavnog elementa (sklopa), mora biti pogodan za obavljanje uporedne analize i mora adekvatno odražavati promene u procesu korišćenja tehničkog sistema u celini. Tim zahtevima najpotpunije odgovara promena u vremenu intenziteta otkaza  $\lambda$ .

Naročito mesto u održavanju prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti zauzima određivanje dozvoljenog nivoa pouzdanosti ( $R_d$ ). Za početak primene održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti moguće je odrediti dozvoljeni nivo pouzdanosti ( $R_d$ ), za sastavne elemente (sklopove), na osnovu iskustva u procesu korišćenja sistema istog tipa u funkciji troškova održavanja.

Kontrolu nivoa pouzdanosti treba vršiti periodično (npr. kvartalno, godišnje i sl.) za grupe istih (tipskih) elemenata određenog skupa tehničkih sistema. U slučaju kada se prilikom kontrole nivoa pouzdanosti ustanovi da se nivo pouzdanosti ( $R_s$ ) ne nalazi u dozvoljenim granicama, tj. ako je  $R_s < R_d$ , obavlja se analiza uzroka odstupanja i preduzimaju se postupci preventivnog održavanja za povećanje nivoa pouzdanosti.

## **Preventivno održavanje – detektivno održavanje (\*\*X9)**

Detektivno održavanje je posebna vrsta preventivnog održavanja, kojom se ispituje da li je sistem ispravan. Detektivno održavanje je poznato kao i funkcionalno ispitivanje ili traženje otkaza (engl. failure-finding). Naziv "detektivno održavanje", dolazi od toga jer se ono koristi da se detektuje da li je nešto otkazalo ili ne. Npr. ako se periodično aktivira protivpožarni alarm, tada se ne remontuje, ne opravljaju, niti zamenjuje drugim. Jednostavno, ispituje se da li je on ispravan ili je otkazao, jer se do pojave požara ne može znati da li je ispravan. Detektivno održavanje se zato primenjuje kod skrivenih otkaza koji su karakteristični za zaštitne uređaje.

Kod savremenih kompleksnih industrijskih sistema 40% načina otkaza otpada na skrivene otkaze. Dalje, 80% od ovih otkaza zahteva detektivno održavanje, što predstavlja približno 1/3 svih načina otkaza.

Istraživanja pokazuju da većina tradicionalnih programa održavanja obraća pažnju na manje od jedne trećine zaštitnih uređaja. Ljudi koji održavaju postrojenja i koji njima upravljaju su svesni postojanja druge trećine zaštitnih uređaja, a za treću trećinu zaštitnih uređaja se često uopšte ne zna da postoji. Nedostatak svesti ili pažnje znači da većina zaštitnih uređaja u industriji, koji predstavljaju zadnju liniju zaštite kada stvari krenu loše, nema adekvatno održavanje ili ga uopšte nema.

## **Preventivno održavanje – prediktivno održavanje (\*\*X10)**

Usled razvoja informacionih tehnologija, u održavanju se sve više koriste specijalizovani softveri za prognoziranje bazirani na npr. veštačkim neuronskim mrežama (engl. – *Artificial Neural Networks* – ANN ), čime je ono dobilo novu dimenziju odnosno izdvojila se posebna grana preventivnog održavanja poznata kao prediktivno održavanje (engl. - Predictive Maintenance – PdM ). Prediktivno održavanje se bazira na činjenici da se na osnovu sakupljenog ili izmerenog velikog broja podataka o radu ili parametrima mašine (tehničkog sistema), njihovom računarskom obradom i određivanjem trenda u promeni, može izvršiti predikcija stanja i mašine (tehničkog sistema) za određeni vremenski period u budućnosti.

## **Preventivno održavanje – proaktivno održavanje (\*\*X11)**

Proaktivno održavanje, kao jedan od oblika preventivnog održavanja, se sastoji od aktivnosti usmerenih na identifikaciju, nadgledanje i upravljanje budućim otkazima sa naglaskom na razumevanje i otklanjanje uzroka otkaza.

Aktivnosti proaktivnog održavanja uključuju korišćenje posebnih tehnika i metoda za razvoj pouzdanosti, pogodnosti za održavanje i podrške novih sistema, uz primenu iskustva stečenog tokom održavanja, kao i poboljšanje održavanja sistema koji se koriste. Primenom proaktivnog održavanja mogu se postići rezultati koje nije moguće postići plansko-preventivnim ili prediktivnim održavanjem.

Neke od tehnika koje spadaju u proaktivno održavanje su: *Analiza načina i efekata otkaza* (engl. Failure Modes and Effects Analysis - FMEA), *Analiza načina, efekata i kritičnosti otkaza* (engl. Failure Modes, Effects and Criticality Analysis - FMECA), *Analiza stabla otkaza* (engl. Fault Tree Analysis - FTA), *Analiza izvornih uzroka otkaza* (engl. Root Cause Failure Analysis - RCFA).

## Korektivni sistem održavanja (\*\*X12)

Korektivno održavanje je održavanje koje se sprovodi nakon nastanka otkaza, sa ciljem da se element (podsitem, sklop, podsklop, deo), vrati u stanje u kome može da izvršava projektovanu funkciju. Važno je da se elementi opravljaju ili zamenjuju novim ispravnim. Ne uzimajući druge aspekte u obzir, upravo mogućnost da se iskoristi maksimalni životni vek elemenata je ekonomski najisplativija.

Nedostaci korektivnog održavanja:

- Sastavni delovi i elementi sistema naglo ispadaju iz rada,
- Termini otkaza sistema ne mogu se sa sigurnošću predvideti,
- Svi otkazi se moraju operativno otklanjati,
- Postoji velika verovatnoća dužih zastoja u radu sistema, izazvanih održavanjem,
- Nemogućnost planiranja periodičnosti aktivnosti održavanja,
- Mogućnost pojave oštećenja elemenata sistema koji su ispravni, zbog elementa koji je otkazao, što povećava ukupne troškove otkaza.

Prednosti korektivnog održavanja:

- Potpuno iskorišćenje "rezerve upotrebljivosti" elemenata i delova sistema (maksimalno korišćenje resursa sistema),
- Nije potrebno poznavati zakonitosti pojave stanja sistema „u otkazu“.

Tehnički, korektivno održavanje se treba primenjivati u slučaju kada je otkaz jednako verovatan kod svakog elementa sistema, pa je preventivno održavanje kontraproduktivno. Takođe, optimalno je da se primenjuje kod otkaza elemenata sa malim posledicama po sigurnost ljudi ili funkcionisanje sistema.

Zahtevi za raznovrsnim rezervnim delovima su veliki i česti (agregatni princip), te se forsira nabavka veće količine rezervnih delova. Velika količina rezervnih delova

donosi velike troškove, a to postepeno uslovljava nabavku jeftinijih delova, što je zbog smanjenog kvaliteta novi uzrok defekata opreme.

Drugi slučaj kada se korektivno održavanje primenjuje, jeste u situaciji kada uprkos tome što sistem potpuno ispravno funkcioniše može doći do raznih havarija zbog spoljnih uzroka, sudara, nepažnje poslužioca i slično. Tako oštećeni sistem mora se opraviti. Sa druge strane nemoguće je sve predvideti. Iako se preduzmu sve savremene tehnološke mere predostrožnosti do otkaza može doći i opet sistem treba opravljati.

## KATEGORIJE RADOVA I PLANIRANJE RADOVA NA ODRŽAVANJU

### Tehnologija održavanja

Tehnologija održavanja definiše sadržajno i vremensko sprovođenje postupaka održavanja, tj. tehnologija određuje:

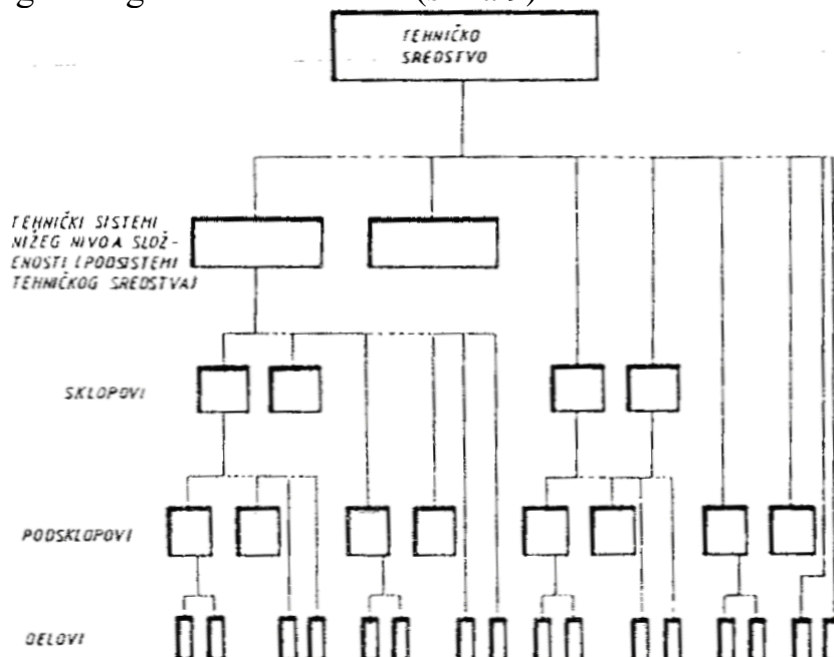
- kako i ko obavlja određeni postupak održavanja,
- opremu, alat, gde (mesto) i kada, kojim redosledom i za koje vreme se obavlja određeni postupak održavanja.

Tehnologija održavanja se propisuje za svaki nivo održavanja i za sve predviđene radove održavanja.

Tehnologija održavanja zavisi od **konstrukcionih i eksploatacionih** osobina tehničkih sredstava koja se održavaju, kao i od **uslova** u kojima se održavanje sprovodi. Takođe, tehnologija održavanja zavisi i od **ekonomskih** faktora koji se ogledaju kroz raspoložive kapacitete, finansijska sredstva i potrebnu brzinu obavljanja postupaka održavanja. (\*1)

Tehnologija održavanja se opisuje tehnološkom dokumentacijom. **Tehnološka dokumentacija** je posrednik između definisanih potreba za održavanjem tehničkih sredstava i izvršilaca održavanja. (\*2)

Koncepcija tehničkih sredstava treba da bude takva da se tehnička sredstva mogu razložiti na elemente-celine (podsystemi, sklopovi, podsklopovi, delovi) različitog životnog veka, pouzdanosti i pogodnosti za održavanje. Različiti elementi-celine mogu biti višeg i nižeg nivoa složenosti. (slika 9)



Slika 9. Šema razlaganja (dekompozicije) tehničkog sredstva.

Zbog različitog životnog veka i pouzdanosti neke delove treba menjati ranije a neke kasnije tj. više puta u životnom veku tehničkog sredstva. U zavisnosti od:

- pogodnosti za održavanje tehničkih sredstava,
- vremena trajanja pojedinih vrsta radova,
- potrebne opreme i prostora,
- stručnog znanja izvršilaca,

pojavljuju se različite složenosti operacija održavanja tehničkih sredstava.

Tehnologija održavanja ima svoj puni smisao samo ako se odnosi na konkretan **tip** tehničkog sredstva i konkretnu **kategoriju** radova.

## KATEGORIJE RADOVA NA ODRŽAVANJU

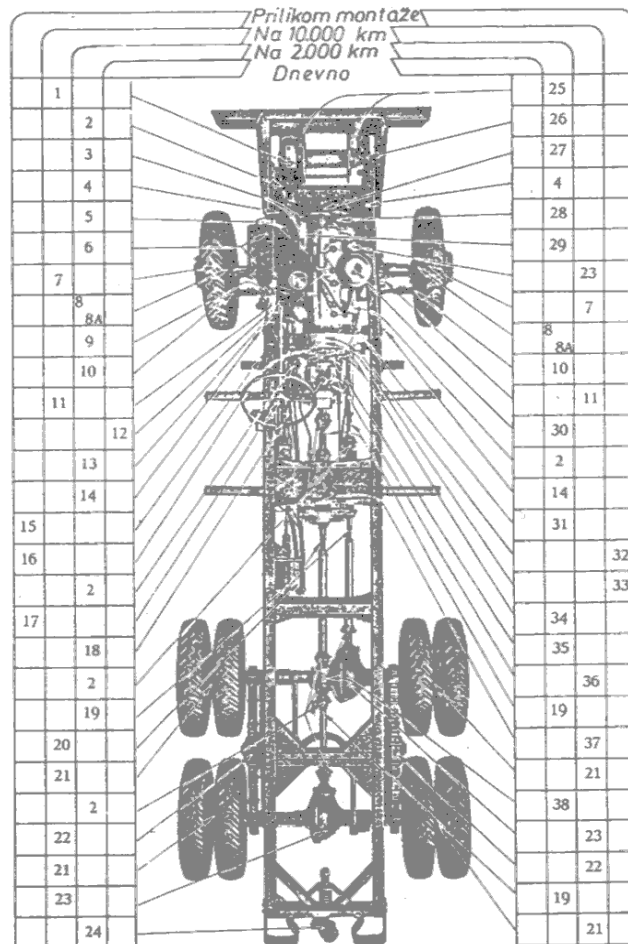
Osnovne dve kategorije radova na održavanju tehničkih sistema su kategorija **preventivnih** radova i kategorija **korektivnih** radova. Svaku kategoriju radova na održavanju čini skup operacija čija je suština određena sadržajem kategorije radova kojoj te operacije pripadaju. Operacije na održavanju se opisuju **operacionim listama**.

Operacione liste treba da sadrže: (\*3)

- podatak kada se u okviru određene kategorije radova izvodi data operacija,
- redosled aktivnosti,
- obavezne pripremno završne radnje (npr. zahtev za isključenje),
- opis izvođenja pojedinih aktivnosti,
- potrebne slike, preseke i šeme (merenja, podmazivanja),
- podatke o izvršiocima rada (broj, specijalnost, kvalifikacija),
- dokumenta (dozvole) koja treba posedovati za izvođenje radova,
- precizne podatke o odgovornosti za izvršenje pojedinih aktivnosti i cele operacije,
- propise zaštite na radu kojih se treba pridržavati i obavezna HTZ sredstva,
- podatke o potrebnom alatu i mernim instrumentima, uređajima i opremi,
- podatke o elementima koji se koriste kao rezervni delovi za dato tehničko sredstvo,
- podatke o vrstama i količini potrošnog materijala,
- podatke o prostoru gde se može izvesti konkretna operacija,
- podatke o tehničkim i funkcionalnim uslovima ispravnosti (npr. tolerancije),
- podatak o periodičnosti izvođenja,
- kategorizaciju hitnosti izvođenja,
- podatak o roku izvođenja,
- podatak da li izaziva zastoje u eksploataciji,
- podatke o potrebnoj koordinaciji,

- podatke o metodama i postupcima utvrđivanja kvaliteta izvršenja aktivnosti,
- podatke o troškovima.

Tendencija je da se sadržaj operacionih lista što više **uprosti i prilagodi** korisniku dokumentacije a da se ne izgubi kvalitet sadržaja. Npr. redosled sastavljanja se određuje na slici preko rednih brojeva (slika 11), šema podmazivanja sa mestima i periodom preko strelica na slici (slika 10) itd. Aktivnosti sa poznatim tehnološkim postupcima (npr. zavarivanje) se ne opisuju posebno već samo preko karakterističnih parametara.



Slika 10. Šema podmazivanja sa mestima i periodima između podmazivanja.

**Cilj** je da se sa što manje reči, po mogućnosti slikovito da prikaz konkretne operacije.

Podaci koje sadrži operaciona lista predstavljaju karakteristične parametre za svaku operaciju i značajno ih je tačno odrediti, jer predstavljaju osnovu za **optimizaciju** postupka održavanja.



## **Koncipiranje - dekompozicija tehničkih sredstava pri grupisanju operacija održavanja u kategorije**

Većina tehničkih sredstava konstruisanja je tako da je izvođenje radova pri **preventivnom** održavanju, tj. operacija održavanja koje se često ponavljaju (dnevno, nedeljno, mesečno), relativno jednostavno. Uz tehnička sredstva često se isporučuju i rezervni delovi sa najkraćim vekom trajanja i alati za najčešće popravke, što je prilagođeno mogućem znanju potencijalnih korisnika-rukovaoca.

Koncipiranje - dekompoziciju tehničkih sredstava pri grupisanju pojedinih operacija održavanja u kategorije **preventivnih radova** treba izvršiti sa stanovišta **konstrukcionih i funkcionalnih** celina (slike 9 i 11) ali sa stanovišta **učestanosti izvođenja radova** na održavanju i **pogodnosti za održavanje** što govori o: trajanju operacija održavanja, kvalifikaciji izvršilaca, potrebnim alatima i instrumentima, postrojenjima i drugoj opremi. (\*4)

Radove pri **korektivnom** održavanju karakteriše to da se svaki viši element-celina tehničkog sredstva može dovesti u ispravno stanje otklanjanjem neispravnosti na nižoj celini (npr. zamenom dela). Ova karakteristika nameće **agregatni** princip održavanja tehničkog sistema, što predstavlja moderni trend pri koncipiranju i konstruisanju automatizovanih tehničkih sredstava. Pitanje je da li se svaka celina može proizvesti ili nabaviti kao rezervni deo posebno kada se radi o mašinskim sredstvima (slike 9 i 11). Za svaku celinu je karakterističan intenzitet otkaza i pogodnost za održavanje.

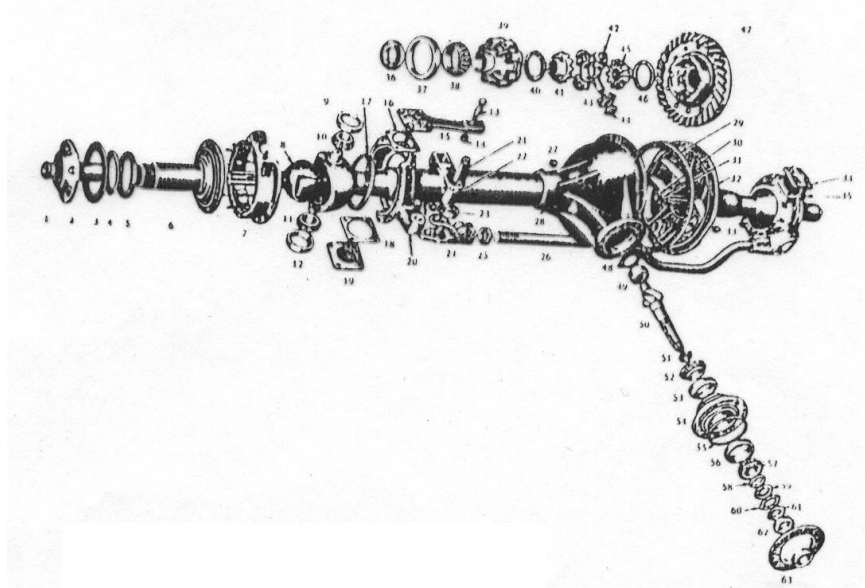
Koncipiranje - dekompoziciju tehničkih sredstava pri grupisanju pojedinih operacija održavanja u kategorije **korektivnih radova** treba izvršiti sa stanovišta **mogućnosti zamene elementa, pogodnosti za održavanje i intenziteta otkaza**. (\*5)

Primer koncepcije - dekompozicije (šeme razlaganja) tehničkog sredstva pri grupisanju operacija u kategorije radova na održavanju prikazan je na primeru reduktora u tabeli 2 i slici 11.

Tabela 2. Koncepcija - dekompozicija (šema razlaganja) reduktora sa stanovišta grupisanja operacija na održavanju

<b>I grupa elemenata</b> (najveći intenzitet otkaza, najveća pogodnost za održavanje i postoje kao rezervni delovi)	zaptivači i ležajevi (poz. 3, 10, 11, 16, 17, 29, itd.)
<b>II grupa elemenata</b> (manji intenzitet otkaza, manja pogodnost za održavanje i postoje kao rezervni delovi)	osovine i zupčanici (poz. 31, 45, 47, 50, itd.)
<b>III grupa elemenata</b> (najmanji intenzitet otkaza, najmanja pogodnost za održavanje i postoje kao rezervni delovi)	telo reduktora i delovi vezani za telo reduktora (poz. 28, 13, 20, 24, itd.)

Pri detaljnoj razradi koncepcije pažnju treba posvetiti prvim grupama elemenata, jer se operacije na njima češće izvode.



Slika 11. Reduktor; Koncepcija - dekompozicija (šema razlaganja).

### **Grupisanje operacija održavanja u kategorije radova na održavanju**

**Grupisanje operacija** održavanja u kategorije radova na održavanju za svako tehničko sredstvo se mora prilagoditi karakteristikama tog sredstva, propisima, zahtevima proizvođača i usvojenom principu održavanja, tj. grupisanje operacija predstavlja proces koji se sastoji iz sledećih koraka:

- upoznavanje sa karakteristikama pogodnosti za održavanje,
- prikupljanje iskustava i dokumentacije iz dosadašnjeg održavanja tog ili sličnih tehničkih sredstava,
- sagledavanje pokazatelja pouzdanosti tehničkog sredstva i njegovih celina,
- ***koncipiranje tehničkog sredstva (razlaganje na elemente-celine) sa stanovišta grupisanja operacija na održavanju u kategorije,***
- određivanje operacija i njihovih parametara, koje je moguće izvesti na održavanju konkretnog tehničkog sredstva u toku njegovog životnog veka,
- sagledavanje mogućih ograničenja,
- ***kvantifikacija kriterijuma za grupisanje operacija u kategorije radova na održavanju,***
- definisanje sadržine kategorije radova na osnovu grupisanja operacija,
- određivanje atributa koji opisuju svaku koncipiranu kategoriju radova (identični sa kriterijumima za svrstavanje operacija u kategorije radova),
- izrada tehnološkog projekta i prateće dokumentacije na osnovu definisanih kategorija radova.

Prikazani proces je iterativnog karaktera i sprovodi se neprekidno kako za nova tako i za postojeća tehnička sredstva. Na ovaj način se formira **tehnološka**

**varijanta** održavanja tehničkog sredstva. Moguće je formirati više tehnoloških varijanti održavanja istog tehničkog sredstva. Razlike između tehnoloških varijanti proističu iz:

- sprovođenja održavanja koje karakteriše različita struktura kategorije radova (ne moraju se sve kategorije radova sprovesti u održavanju konkretnog tehničkog sredstva),
- mogućnosti da se pojedine operacije izvode u okviru različitih kategorija radova (može dovesti do toga da sprovođenje nekih operacija nije ni potrebno),
- razlika pri koncipiranju tehničkog sredstva,
- dozvoljenog pada pouzdanosti između održavanja,
- različitih podataka o pouzdanosti i pogodnosti za održavanje tehničkog sredstva i njihovih elemenata,
- mogućnosti za izbor različitih metoda i opreme,
- mogućnosti za izvođenje pojedinih operacija u različitim prostornim uslovima,
- mogućnosti da izvršioci različitih kvalifikacionih nivoa izvode istu operaciju održavanja.

Izbor između različitih tehnoloških varijanti održavanja može se izvršiti ekspertskom ocenom ili nekom od metoda višekriterijumske optimizacije na osnovu usvojenih kriterijuma uspešnosti funkcionisanja sistema održavanja (npr. raspoloživost, troškovi), kao i primenom metoda operacionih istraživanja i simulacije.

### **Kriterijumi za svrstavanje operacija održavanja u kategorije radova**

Osnovni **kriterijumi** za svrstavanje operacija održavanja u pojedine kategorije radova su sledeći:

- obim radova (utrošak radnog vremena),
- složenost radova (potrebna kvalifikaciona struktura radne snage),
- periodičnost ili učestanost (intenzitet otkaza) izvođenja radova,
- karakter zastoja (da li izaziva neraspoloživost tehničkog sredstva) i vreme strpljivosti,
- ukupno vreme trajanja zastoja za izvođenje pojedinih vrsta radova,
- uslovi za izvođenje pojedinih vrsta radova (potreba za alatima, mašinama, instrumentima, vozilima, mestom i prostorom itd.),
- karakter rezervnih delova i materijala (podsystem, sklop, podsklop ili samo deo),
- troškovi pojedinih operacija.

**Obim radova (utrošak radnog vremena)**

Obim radova izražen **utroškom vremena** u poređenju sa generalnom opravkom uzetom kao 100% je sledeći: (\*6) (izvor Crvena Zastava, Kragujevac)

Generalna opravka	Srednja opravka	Mala opravka
100%	60%	25%

Obim radova izražen kroz **procentualnu obuhvaćenost** radova sledeći:

Generalna opravka	Srednja opravka	Mala opravka	Tehnički pregled
100%	56%	18%	2,8%

Broj radnih mesta za pojedine vrste opravki je sledeći:

	Srednje opravke	Male opravke
normalni obim radnog zadatka	36	3
povećani obim radnog zadatka	69	4

Broj zaposlenih za pojedine vrste opravki je sledeći:

	Srednje opravke	Male opravke
normalni obim radnog zadatka	56	3
povećani obim radnog zadatka	109	4

Preporuka za odnos između kategorija radova kroz utrošak radnog vremena je:

Generalna opravka	Srednja opravka	Mala opravka	Tehnički pregled	Ostale kategorije radova
100%	30 – 60 %	5 – 20 %	1 – 3 %	do 1 %

**Složenost radova (potrebna kvalifikaciona struktura radne snage)**

Složenost radova je najlakše opisati **kvalifikacionom strukturom** izvršilaca pojedine kategorije radova. Potrebno je imati u vidu da složene kategorije radova uključuju i elementarne kategorije radova, tj. pored izvršilaca složenih kategorija radova viših kvalifikacija učestvuju i izvršioci elementarnih radova nižih kvalifikacija, s tim što su izvršioci viših kvalifikacija pravi nosioci poslova.

Kategorija radova	Kvalifikacija izvršioca
Čišćenje	NKV, PKV
Podmazivanje i zaštita od korozije	NKV, PKV (KV)
Pregledi i revizije	PKV, KV (VKV ili više)
Baždarenje	VKV, SSS, (VS ili VSS)
Podešavanje	KV, VKV
Traženje ili otklanjanje slabih mesta	Sve kvalifikacije i svi zaposleni na održavanju
Tehnička dijagnostika	KV, VKV, SSS, VS, VSS
Zamena dela	PKV, KV
Male opravke	KV (PKV, VKV)
Srednje opravke	KV, VKV
Generalne opravke	VKV
Rekonstrukcije i modifikacije	KV, VKV
Revitalizacije	KV, VKV

## Periodičnost ili učestanost (intenzitet otkaza) izvođenja radova

*Periodičnost ili učestanost* izvođenja kategorija radova na održavanju zavisi od usvojenog sistema održavanja i od karakteristika tehničkog sredstva koje se održava.

Ukoliko je usvojen *korektivni sistem* održavanja, broj i vrsta radova na održavanju direktno će zavisiti od **intenziteta otkaza** elemenata svih nivoa složenosti i tehničkog sredstva u celini. (\*7)

Ukupan broj radova zavisiće od tehničkih uslova i uslova eksploatacije. Intenzitet otkaza se može predvideti na osnovu praćenja ponašanja tehničkog sredstva u eksploataciji, na osnovu podataka o sličnim tehničkim sredstvima, primenom neke od metoda za određivanje pouzdanosti ili na osnovu podataka od proizvođača. Na osnovu ovih podataka određuju se verovatnoće pojava neispravnosti na elementima tehničkog sredstva i određuju se grupe elemenata koje se održavaju istom kategorijom radova na korektivnom održavanju, tj. definiše se srednja frekvencija ponavljanja pojedine kategorije radova.

Primenom *preventivnog sistema* (npr. *plansko-preventivnog*) održavanja, zbog različitog sadržaja pojedinih kategorija radova i njihove uloge u produžavanju kontinuiteta normalne radne sposobnosti, potrebno je za dato tehničko sredstvo u vremenu rasporediti moguće kategorije radova. Zbog najveće složenosti i očekivanih efekata na radnu sposobnost tehničkog sredstva generalna opravka je granični događaj. Period između dve generalne opravke naziva se **ciklus održavanja** (remontni ciklus)<sup>1</sup> tehničkog sredstva. U periodu između dve generalne opravke određuje se broj i raspored ostalih kategorija radova na preventivnom održavanju u skladu sa tehničkim i eksploatacionim karakteristikama tehničkog sredstva sa ciljem da se neprekidno održi projektovana radna sposobnost tehničkog sredstva. (\*8)

Nemoguće je odrediti jedinstveni princip kombinovanja vrsta i broja raznih kategorija radova u okviru ciklusa održavanja, ali se daju preporuke i to:

- 1-3 generalne opravke u toku životnog veka tehničkog sredstva,
- u toku jednog ciklusa održavanja mogu se izvesti 1-3 srednje opravke,
- na svaku srednju opravku treba izvesti 1-4 male opravke,
- između bilo koje od dve navedene kategorije radova treba izvesti 1-3 tehnička pregleda.

Za period između dve istoimene kategorije radova uzima se uvek približno ista veličina (vremenski period, broj časova rada, broj pređenih kilometara itd.), što omogućuje da se unapred izračuna dužina trajanja ciklusa održavanja. Period

---

<sup>1</sup> Videti: "*Remontni ciklus -  $T_{rc}$* ".

između dve iste kategorije radova propisuju proizvođači a u određenim slučajevima i zakonodavac. (Primer: šema podmazivanja sa mestima i vremenom, slika 10)

Preporuke za određivanje perioda između dve istoimene kategorije radova mogu biti sledeće: (od njih ne bi trebalo odstupati više od 20%)

Kategorija radova	Period između izvođenja
Čišćenje	dnevno, nedeljno, mesečno i pri izvođenju drugih kategorija radova
Podmazivanje i zaštita od korozije	podmazivanje po preporukama proizvođača, zaštita od korozije svakodnevno
Konzervacija	u zavisnosti od roka trajanja zaštite
Pregledi i revizije	dnevno, nedeljno, mesečno
Tehnički pregled	na svakih 6 meseci do 2 godine
Kontrolni pregled	prema zakonskim i drugim propisima
Baždarenje	prema preporukama proizvođača
Podešavanje	prema preporukama proizvođača
Traženje i otklanjanje slabih mesta	permanentno
Tehnička dijagnostika	prema metodi
Zamena dela	prema preporukama proizvođača
Mala opravka	na svakih 1 do 2 godine
Srednja opravka	na svakih 3 do 6 godina ili 50000 ili 150000 pređenih km
Generalna opravka	na svakih 6 – 12 godina ili 2500-3000 sati rada ili 15000-250000 pređenih km
Rekonstrukcije i modifikacije	kad i male, srednje ili generalne opravke
Revitalizacija	po mogućnosti i potrebi

## Karakter zastoja i vreme strpljivosti

Prema *karakteru zastoja*, u odnosu na neraspoloživost u eksploataciono vreme bitno je uočiti da izvođenje korektivnih radova uvek izaziva neraspoloživost tehničkih sredstava u eksploataciono vreme.

Od preventivnih kategorija radova neraspoloživost u eksploataciono vreme izaziva izvođenje rekonstrukcija i modifikacija, generalnih opravki, srednjih opravki i ponekad malih opravki.

Vreme strpljivosti ukazuje na hitnost izvođenja pojedinih kategorija radova na tehničkom sredstvu. Vreme strpljivosti se smanjuje proporcionalno značaju pojedinog tehničkog sredstva za organizaciju koja ga koristi.

Opšti princip je da korektivni radovi na održavanju imaju apsolutni prioritet nad preventivnim radovima jer se njima tehnička sredstva vraćaju u stanje raspoloživosti<sup>2</sup>.

### **Ukupno vreme trajanja zastoja za izvođenje pojedinih vrsta radova**

Pri razmatranju *ukupnog vremena zastoja* treba imati u vidu sledeća vremena:

- vreme potrebno za transportovanje celokupnog tehničkog sredstva ili njegovih elemenata do mesta gde se izvode određene kategorije radova, ili vreme dolaska radnika službe održavanja na mesto upotrebe tehničkog sredstva (srednje opravke, generalne opravke, rekonstrukcije, modifikacije, revitalizacije izvode se na lokacijama udaljenim od mesta eksploatacije),
- vreme čekanja na rezervne delove (smanjuje se primenom agregatnog principa što povećava troškove zaliha rezervnih delova),
- organizaciono vreme i logističko vreme (ove dve kategorije ne treba uzimati u obzir prilikom svrstavanja operacija održavanja u kategorije radova jer zavise od nivoa organizovanosti konkretne organizacije). (\*9)

### **Uslovi za izvođenje pojedinih vrsta radova (potreba za alatima, mašinama, instrumentima, vozilima, mestom i prostorom itd.)**

Zahtevi za potrebnom vrstom opreme tj. alati, merni instrumenti, mašine, u zavisnosti od vrste radova na održavanju dati su u sledećoj tabeli:

Generalne opravke	Srednje opravke	Male opravke	Tehnički pregled	Kontrolni pregled	Tehnička dijagnostika	Ostali radovi
1. Specijalna oprema	1. Univerzalna oprema	1. Univerzalna oprema	1. Univerzalna oprema	1. Specijalna oprema	1. Specijalna oprema	1. Individualni komplet
2. Univerzalna oprema	2. Specijalna oprema	2. Specijalna oprema	2. Specijalna oprema	2. Univerzalna oprema		2. Univerzalna oprema

Ukoliko je mesto na kojem tehničko sredstvo radi udaljeno od mesta na kojem se nalaze izvršioci ili postrojenja za održavanje neophodno je koristiti vozila za prevoz tehničkog sredstva do mesta održavanja (dizalice, vučni vozovi itd.) ili je potrebno da izvršioci održavanja sa neophodnom opremom dođu na mesto rada tehničkog sredstva (teretna i putnička vozila).

Radovi na *investicionom održavanju* se izvode na posebnim lokacijama i postrojenjima udaljenim od mesta upotrebe tehničkih sredstava (pogonske i specijalizovane radionice). Postoji mogućnost da se deo složenih kategorija radova izvodi i na mestima upotrebe ukoliko konkretna situacija to zahteva ili dozvoljava

<sup>2</sup> Videti: "Strategija održavanja u odnosu na planiranje u održavanju".



(male opravke). *Tekuće održavanje* se obavezno izvodi na mestu upotrebe tehničkih sredstava. (\*10)

Prostor za održavanje ima svoju kvantitativnu i kvalitativnu dimenziju:

- *Kvantitativna dimenzija* se ogleda u stvaranju potrebnog prostora za postavljanje svih potrebnih radnih mesta i pomoćnih tehnoloških površina.
- *Kvalitativna dimenzija* se sastoji u stvaranju pogodnih uslova za rad svakoj specijalnosti radne snage, što je uslovljeno razlikama u opremi, zahtevima u pogledu kvaliteta, higijenskih i ekoloških uslova, zaštiti od profesionalnih oboljenja.

### **Karakter rezervnih delova i materijala (podsistem, sklop, podsklop, deo)**

Rezervne delove, u odnosu na nivo konstrukcione složenosti, treba grupisati na:

- podсистeme tehničkog sredstva (npr. motor),
- sklopove (menjač),
- podsklopove (razvodnik paljenja), i
- delove (svećica), (\*11)

jer zamena nižih celina može dovesti u ispravno stanje više celine. Ovo se može ostvariti samo ako niže celine postoje kao rezervni delovi i predstavlja osnov za uvođenje agregatnog principa održavanja. (videti: slika 1)

### **Troškovi pojedinih operacija**

Troškovi održavanja predstavljaju izvedenu novčanu vrednost izvođenja pojedine kategorije radova i predstavlja osnovu za odlučivanje između tehnoloških varijanti održavanja. Praksa je pokazala da je najisplativije sledeće:

- skupu i složenu opremu održavati prema stanju ili preventivnim održavanjem,
- na jeftinoj opremi treba vršiti planski periodične preglede i obavljati jednostavne radnje održavanja prema stanju,
- nova tj. nepoznata tehnička sredstva ako im vrednost nije velika i neispravnost ne utiče na sigurnost okoline, mogu se održavati po principu »čekaj i vidi« odnosno korektivnim održavanjem,
- oprema koja ne učestvuje direktno u izradi proizvoda može se održavati korektivnim održavanjem,
- nemetalne delove kao i metalne delove u dodiru sa hemijskim materijama preventivno treba zamenjivati,
- ne treba izvoditi generalnu opravku ukoliko njena vrednost prelazi 60% nabavne vrednosti novog tehničkog sredstva,
- korektivni radovi složenosti srednjih i generalnih opravki mogu se izvoditi samo kao sanacija eventualnih havarija.

## NIVOI ODRŽAVANJA

Grupisanje radova održavanja u kategorije radova i odlučivanje za jednu od tehnoloških varijanti omogućava uspešnu izradu tehnološkog projekta i postavljanje osnova uspešno odvijanje tehnološkog procesa održavanja.

Samo za kategorije radova na održavanju koje imaju jasno određene karakteristike mogu se uspešno odrediti i specificirati:

- režim rada,
- fond vremena rada opreme i radnika,
- utrošci materijala i upravljanje zalihama,
- utrošci goriva i energije,
- potrebe za alatom, mašinama, instrumentima i ostalom opremom,
- potrebne radne, tehnološke i pomoćne površine,
- potrebe za transportnim uređajima,

što omogućava da se:

- projektuju skladišta,
- izradi dijagram toka procesa i dispoziciono rešenje tehnološkog projekta,
- postave glavni tokovi materijala,
- definiše način snabdevanja radnih mesta i mere HTZ-a,
- izraditi normativi vremena i materijala, i
- oceni dobijeno varijanto rešenje.

Pogodnim grupisanjem i redosledom radova na održavanju svakog tehničkog sredstva, stvara se osnova za optimizaciju tehnološkog procesa održavanja u skladu sa kriterijumima za uspešnost sistema održavanja, tj. u odnosu na utrošak vremena na održavanju i troškove.

Definisane kategorije radova na održavanju potrebno je raspodeliti po nosiocima tj. organizacionim jedinicama koje će ih izvršavati. Organizacione jedinice se mogu staviti u nadležnost različitim nivoima rukovođenja u okviru organizacije sistema održavanja – »**nivo održavanja**«. (\*12)

Pojam »nivo održavanja« podrazumeva jednu ili više organizacionih jedinica koje izvršavaju tehnološki zaokruženi skup kategorija radova, koji se po složenosti, učestanosti, mestu izvođenja i potrebnim resursima značajno razlikuje od drugih kategorija ili skupova kategorija. Tzv. »viši nivoi održavanja« obavljaju složenije i obimnije radove od »nižih nivoa održavanja« i u nadležnosti su viših nivoa rukovođenja ili se izdvajaju kao posebne organizacione celine.

Npr. tekuće i investiciono održavanje izvode različiti nivoi održavanja.

Mogući broj nivoa po kojima se struktuiraju kategorije radova je od **2** do **5**. Veći broj nivoa od 5 dovodi do suvišnog komplikovanja organizacije održavanja. (\*13)

Najniži nivo u organizaciji održavanja se označava brojem 1 i najčešće predstavlja korisnike tj. rukovaoce tehničkih sredstava. Primer:

Nivo	Preventivni radovi									Korektivni radovi				
	Č	P	Pr	TP	Po	Zd	MO	SO	GO	Po	Zd	MO	SO	GO
1	*	*	*											
2				*	*	*	*			*	*	*		
3								*					*	
4									*					*

Legenda: Č-čišćenje, P-podmazivanje i zaštita od korozije, Pr-pregledi dnevni i nedeljni, TP-tehnički pregled, Po-podešavanje, Zd-zamena dela, MO-male opravke, SO-srednje opravke, GO-generalne opravke.

U sklopu razrade organizacionih varijanti sistema održavanja, za svako tehničko sredstvo se izrađuje programska šema održavanja. Programska šema održavanja predstavlja prikaz tokova tehničkog sredstva na različitim i sa različitih nivoa održavanja na kojima se izводе odgovarajuće kategorije radova, u različitim vremenskim periodima i na različitim lokacijama, zbog različitih potreba za održavanjem.

Definisanje mogućih organizacionih varijanti sistema održavanja, uz koje se izrađuju odgovarajuće programske šeme održavanja, predstavlja osnov za optimizaciju nadležnosti u sistemu održavanja po nivoima i nosiocima.

Optimizacija se vrši u odnosu na dva parametra uspešnosti sistema održavanja tj. **raspoloživost i troškovi**.

Sam postupak optimizacije se može sprovoditi metodama višekriterijumske optimizacije, teorije redova, metode Monte Karlo kao i simulacionim modelima.

## PLANIRANJE RADOVA NA ODRŽAVANJU

### Remontna složenost

Sadržaj radova koje treba obaviti na održavanju mašina, da bi se obezbedila normalna radna sposobnost, je stohastičkog karaktera.

Planiranje radova održavanja sastoji se iz dva dela:

- utvrđivanja potreba po obimu i strukturi, i
- određivanje raspoloživih kapaciteta.

Razrađen preventivni (npr. plansko-preventivni) sistem održavanja pruža osnovne polazne elemente i to:

- klasifikacija kategorija održavanja,
- ciklus održavanja mašine sa njihovom strukturom.

Problem nastaje u raznorodnosti mašina tj. u raznovrsnosti strukture mašina. Problem se delimično rešava tipizacijom mašina.

Raznorodne mašine otežavaju ili onemogućuju svođenje na zajedničku jedinicu mere radove na održavanju. Moguće rešenje za dati problem je pojam **remontne složenosti**. Pod ovim pojmom se podrazumeva stepen složenosti radova na održavanju mašina. Remontna složenost se meri brojem remontnih jedinica koje se dodeljuju svakoj mašini na osnovu uvida u broj obrtnih i tarućih delova, veličina izloženih habanju i sl.

**Remontna jedinica** predstavlja unapred određenu strukturu radova na održavanju (mašinski, bravarski i sl.), odgovarajućeg obima (broj časova) i za svaku kategoriju radova (mala, srednja i generalna opravka). (\*14)

Ocenjivanjem se dodeljuje broj remontnih jedinica svakoj mašini. U cilju pojednostavljenja postupka, bira se mašina predstavnik (prosečna po složenosti ili najbrojnija) koja se detaljno proučava i određuje pripadajući broj remontnih jedinica. Ostale mašine se ocenjuju u odnosu na ovu:

- složenije ocenom  $>1$
- manje složene ocenom  $<1$

Na ovaj način se relativno brzo dolazi do ukupnog broja remontnih jedinica koje dalje treba korigovati s obzirom na strukturu ciklusa održavanja za svaku mašinu, što u krajnjoj instanci omogućuje efikasnije planiranje radova na održavanju.

## Organizacija radova na održavanju (na samom tehničkom sredstvu)

Efikasna organizacija funkcije održavanja podrazumeva **planiranje** radova održavanja kako korektivnog održavanja tako i preventivnog održavanja (plansko-preventivnog održavanja i održavanja prema dijagnostici stanja).

Radovi **korektivnog održavanja** se planiraju kao očekivani događaj koji će se ostvariti u unapred nepoznatom vremenskom trenutku. (\*15)

**Plansko-preventivno održavanje** podrazumeva: (\*16)

- u najužem smislu periodične preglede kako bi se sprečili kvarovi pre nego što se pojave kao i periodične servise, opravke i remont,
- u širem smislu podrazumeva i periodične radnje kao što su podmazivanje, zaštita bojenjem, čišćenje, primenu zaštitne opreme za radnike,
- dok u najširem smislu podrazumeva sve aktivnosti koje će ne samo smanjiti kvarove i troškove nego povećati proizvodnju u unaprediti kvalitet proizvoda.

Svaki program plansko-preventivnog održavanja treba da sadrži sledeće aktivnosti:

- periodični pregledi postrojenja i opreme (eliminisanje uslova koji dovode do prekida proizvodnje)
- održavanje postrojenja i opreme (izbegavanje tj. podešavanje ili menjanje uslova koji dovode do prekida proizvodnje).

U svakom preduzeću gde vreme prekida rada, zbog kvara proizvodne opreme, važan faktor preventivno održavanje donosi sledeće koristi:

- smanjenje vremena zastoja u proizvodnji,
- manje vreme utrošeno na prekovremeni rad održavalaca nego pri održavanju posle pojave kvara,
- smanjenje broja periodičnih i velikih opravki,
- manje troškove jednostavnih radova zamene delova,
- manje defektnih proizvoda, manje slučajnih kvarova, lakša kontrola kvaliteta,
- odlaganje ili eliminisanje prerane zamene opreme,
- smanjenje troškova rada i materijala,
- bolja kontrola rezervnih delova (minimiziranje zaliha),
- unapređenje zaštitne opreme (veća sigurnost radnika),
- manji troškovi proizvodnje po jedinici proizvoda.

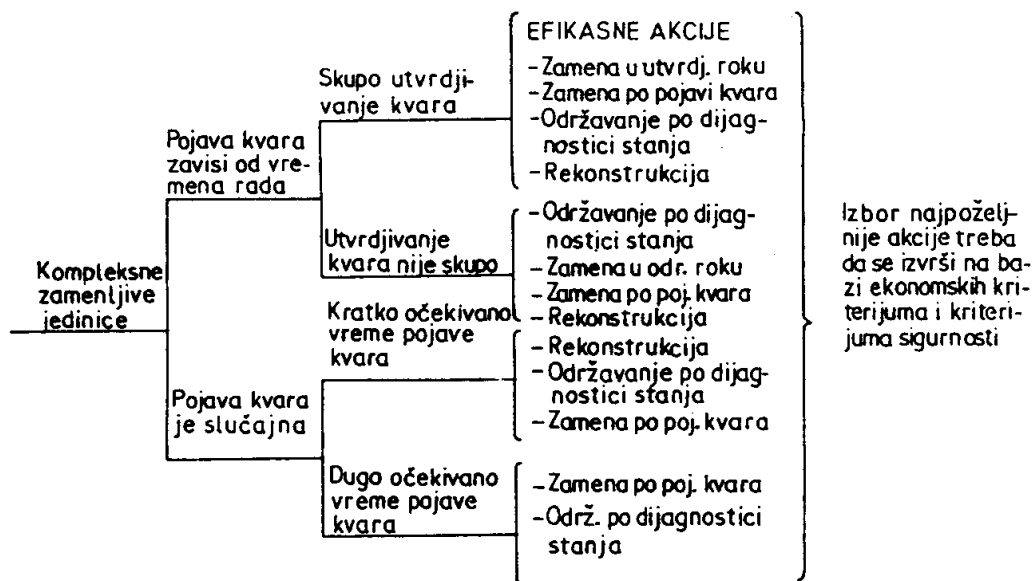
**Održavanje prema dijagnostici stanja** predstavlja aktivnosti koje vode ka smanjenju ili eliminisanju radova održavanja po pojavi kvara. Proces se odvija tako što se na bazi obrade podataka dobijenih metodama dijagnostike procenjuje stanje tehničkog sredstva kao “normalno” ili “nije normalno”. Ako je stanje “normalno” uslediće ponovo, u određenom vremenskom intervalu, dijagnostika stanja. Ako stanje “nije normalno” postoje tri mogućnosti:

- ako je otkrivena greška poznata treba planirati i izvršiti aktivnost održavanja,
- ako postoje sumnje u analizu treba napraviti još merenja,
- ako uzrok nije poznat treba izvršiti detaljnu analizu, što zahteva skupu i složenu opremu i posebno obučen kadar.

U zavisnosti od opreme, uslova eksploatacije, troškova koje zastoje prouzrokuje, potrebnog vremena za otklanjanje kvara i sigurnosti na radu, u okviru održavanja se mogu preduzeti sledeće aktivnosti:

- zamena u određenom roku,
- zamena po pojavi kvara,
- održavanje po dijagnostici stanja,
- rekonstrukcija.

Plan aktivnosti održavanja u svakom preduzeću treba da sadrži, za svaku jedinicu opreme posebno, najbolju kombinaciju ovih aktivnosti koje treba koordinirati tako da se ostvari najbolje iskorišćenje resursa i vremena. Postupak izbora najpovoljnijih akcija pri održavanju kompleksnih zamenljivih jedinica prikazan je na slici 12.



Slika 12. Postupak izbora najpovoljnijih akcija održavanja.

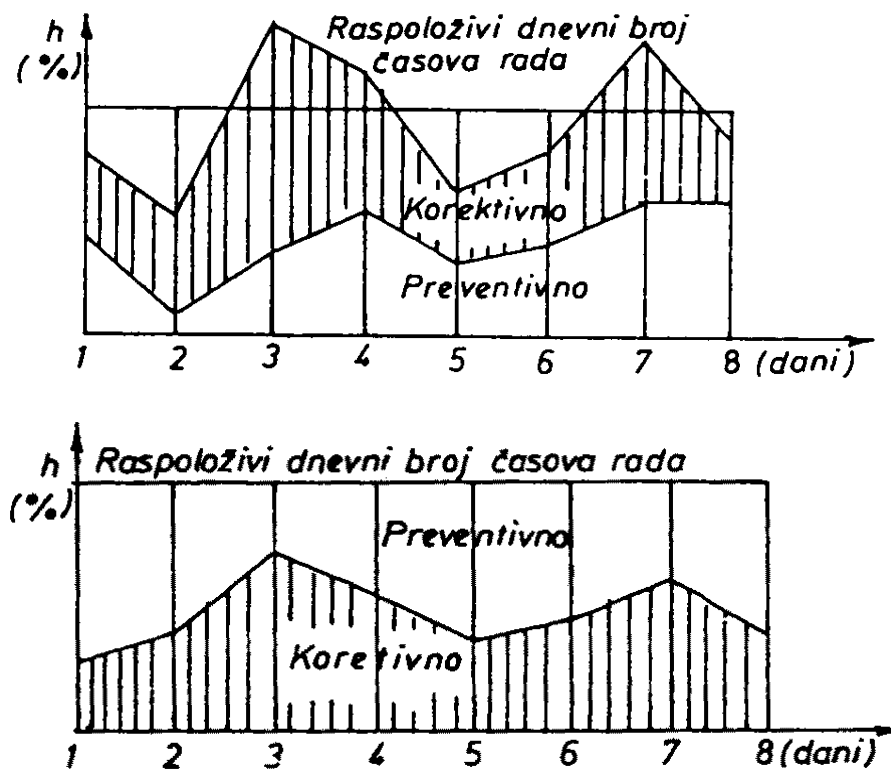
Plan aktivnosti održavanja svih jedinica opreme treba da rezultira u:

- program preventivnog održavanja,
- osnove korektivnog održavanja tj. prognoza obima radova.

## STRATEGIJA ODRŽAVANJA U ODNOSU NA PLANIRANJE U ODRŽAVANJU (\*\*17)

Izbor strategije održavanja se vrši u odnosu na ekonomičnost. Optimiziraju se troškovi u okviru preventivnog i korektivnog održavanja kao i troškovi usled zastoja. Gubitci u proizvodnji zbog održavanja nastaju i zato što nije dobro planirano operativno terminiranje korektivnog i preventivnog održavanja.

Sa obzirom na raspoloživu radnu snagu, potrebno je prvo planirati radove na korektivnom održavanju pa tek onda radove na preventivnom održavanju, jer se može dogoditi slučaj da se radovi na korektivnom održavanju moraju izvoditi van radnog vremena. Razlog: radovi na korektivnom održavanju se ne mogu odložiti dok se radovi na preventivnom održavanju mogu pomerati i na taj način se dobija maksimalno iskorišćenje radne snage i eliminiše potreba za prekovremenim radom. (slika 13)



Slika 13. Strategija održavanja u odnosu na planiranje u održavanju.



## SLABA MESTA NA MAŠINAMA

Otkrivanje i otklanjanje slabih mesta (slabih tačaka) na nekoj mašini je sastavni deo procesa konstruisanja. U širem smislu reči praćenje rada mašina u cilju otkrivanja slabih mesta može se shvatiti ne samo kao mogućnost da se poboljša kvalitet konstrukcije, tj. otklanjanje slabih mesta na mašini na kojoj su podaci i dobijeni, već je u otklanjanje slabih mesta moguće ubrojiti i poboljšanja konstrukcije primenjena na novu generaciju srodnih mašina.

Razvojem teorije pouzdanosti ostvarena je mogućnost da se podaci potrebni za otkrivanje slabih mesta sveobuhvatnije prikupe i na potpuniji način opišu.

Otkrivanjem slabih mesta na mašinama bave se i korisnici opreme i njihove službe održavanja. Slaba mesta su naročito karakteristična za postrojenja izrađena u malim serijama ili pojedinačno za koja iz bilo kojih razloga nije izrađen prototip. Ovo je čest slučaj kod složenih mašina gde je potrebno da se sprovede postupak sistematskog otkrivanja slabih mesta. Sistematsko otkrivanje slabih mesta je posebno korisno kod postrojenja za dugogodišnju upotrebu.

Jedna od metodologija za otkrivanje slabih mesta, kao kriterijum za slabo mesto služi koeficijent kvara koji se definiše relacijom: (\*23)

$$\frac{a \cdot b}{c \cdot d}$$

gde je:

a – broj otkaza određene vrste do momenta posmatranja,

b – srednje vreme između otkaza za posmatranu vrstu otkaza (MTTF, MTBF),

c – vreme posmatranja, i

d – broj jednakih elemenata koji se zajedno prate.

Kada je vrednost ovako definisanog koeficijenta kvara veća od jedan (>1), radi se o slabom mestu.

Nedostatak prikazane metodologije je u tome što se pri utvrđivanju slabih mesta ne uzimaju u obzir posledice koje prouzrokuju nastali otkazi (izgubljena proizvodnja, troškovi opravke), već se problem posmatra samo sa konstruktivne strane. Međutim za korisnika je važnije da li on može, zavisno od zadatka koji mašina obavlja, da prihvati posledice otkaza određenog elementa.

### Metodologija za traženje slabih mesta (\*\*24)

Ova metodologija za traženje slabih mesta razrađena je sa stanovišta korisnika opreme i zasniva se na određivanju troškova koje sa sobom nosi eksploatacija

određenog elementa sistema, i to: troškove održavanja i troškove usled gubitka proizvodnje koji se javljaju zbog otkaza, jer otklanjanje kvara traje određeno vreme kada sistem ne proizvodi. Za  $j$ -ti element sistema ( $j=1,...,n$ ) ovi troškovi izraženi u novčanim jedinicama i svedeni na jedan čas rada sistema, iznose:

$$C_j = C_r \cdot k_j + \frac{C_{oj}}{T}$$

gde je:

$C_r$  – vrednost rada mašine, odnosno sistema mašina, ako je mašina redno povezana u tehnološkom lancu (NJ/h),

$T$  – vreme rada mašine (period posmatranja),

$C_{oj}$  – troškovi održavanja  $j$ -tog elementa u periodu posmatranja,

$k_j$  – koeficijent otkaza elementa  $j$  (unutrašnja raspoloživost), definisan izrazom:

$$k_j = \frac{1}{T} \cdot \sum_{i=1}^m t_i$$

gde je:

$m$  – broj otkaza elementa  $j$  u periodu posmatranja ( $i=1,2,...,m$ ),

$t_i$  – vreme trajanja  $i$ -te opravke elementa  $j$ .

Prethodni izraz za određivanje troškova korisno je raščlaniti na nekoliko komponenata troškova. Vrednosti pojedinih komponenata troškova pomažu da se adekvatno odaberu mere koje treba preduzeti radi suzbijanja slabog mesta. Oblik raščlanjenog izraza je:

$$C_j = \frac{C_r}{T} \cdot \sum_{i=1}^m t_{ko_i} + \frac{C_r}{T} \cdot \sum_{i=1}^m t_{do_i} + \frac{C_{dj}}{T} + \frac{C_{sj}}{T}$$

gde je:

- $t_{ko_i}$  – aktivno vreme korektivnog održavanja tj. vreme  $i$ -te opravke  $j$ -tog elementa,
- $t_{do_i}$  – dodatno vreme  $i$ -te opravke  $j$ -tog elementa (organizaciono vreme, logističko vreme, vreme čekanja na opravku),
- $C_{dj}$  – vrednost rezervnih delova utrošenih pri održavanju elementa  $j$  u periodu posmatranja.
- $C_{sj}$  – ostali troškovi održavanja elementa  $j$  u periodu posmatranja.

Na osnovu izloženog sledi sledeća definicija: slabo mesto, sa gledišta korisnika proizvodnog sistema, je svaka ona mašina, deo procesa, sklop ili deo, čija je eksploatacija praćena nepovoljnim posledicama izraženim u gubicima proizvodnje zbog otkaza i u troškovima održavanja, iznad nivoa koji je za korisnika prihvatljiv.

Ovako shvaćeno slabo mesto ne odražava samo slabosti konstrukcija u određenim uslovima, već i slabosti službe održavanja u odnosu na svaki od  $n$  elemenata. Određivanje slabih mesta se ne završava izračunavanjem vrednosti  $C_j$  za svaki od  $n$  elemenata, već je potrebno da se za svako  $C_j$  posebno odluči da li je ta vrednost prihvatljiva.

### Praktična primena metodologije za otklanjanje slabih mesta

Dekompozicija tehničkog sistema (mašine) na  $n$  elemenata (šema razlaganja), može se izvršiti na mnogo načina, pri čemu je osnovna dilema koliko detaljno da se raščlanjuje tehnički sistem. Raščlanjivanje do najmanjih detalja dovodi do obimnog posla praćenja stanja elemenata, zato je dobro da se praćenje odvija po krupnijim celinama (sklopovima, podsklopovima), uz mogućnost da se na osnovu rezultata analize, posle prvog perioda posmatranja, kritična mesta prate detaljnije, tj. da se određene celine (sklopovi, podsklopovi) dalje razlože na delove. Uopšte podela tehničkog sistema na  $n$  elemenata treba da se izvrši tako, da svaki od njih predstavlja konstrukcionu celinu, jer mere koje se preduzimaju u cilju otklanjanja slabih mesta, najpre mogu da se odnose na takve celine.

Posle određivanja slabih mesta potrebno je da se pristupi njihovom otklanjanju. Način otklanjanja zavisi od prirode pojava koje izazivaju otkaze elementa  $j$ , od konstrukcije elementa i dr. Pojedina slaba mesta mogu se otkloniti jednostavno (promena materijala, povećanje dimenzija itd.), dok druga zahtevaju ozbiljnije zahvate (uvođenje paralelne veze za predmetni element, promenu principa obavljanja funkcije i sl.). Način otklanjanja je specifičan za pojedine slučajeve, tako da se ne može uopštiti.

Brojčana vrednost  $C_j$ , koja se izračunava za svaki od  $n$  elemenata, predstavlja novčani iskaz troškova održavanja i izgubljene proizvodnje zbog otkaza elementa  $j$ , svedenih na jedan čas rada tehničkog sistema (mašine). Na osnovu vrednosti  $C_j$  u periodu posmatranja ( $T$ ), može se suditi o odgovarajućoj vrednosti u budućem periodu, a to predstavlja podatak koji neposredno pomaže određivanju gornje granice novčanih ulaganja u otklanjanje slabog mesta.

Postojanje informacionog sistema u preduzeću, pri implementaciji prikazane metodologije, je neophodno zbog obično velikog broja mašina a samim tim i sklopova, podsklopova i delova ( $n$ ) na koje je potrebno primeniti metodologiju za otklanjanje slabih mesta.

## PITANJA:

X1. Preventivno održavanje – plansko preventivno održavanje.

X2. Područje primene preventivnih zamena elemenata sistema (nacrtati dijagram).

X3. Kada je celishodno primeniti plansko-preventivno održavanje (objasniti na primeru promene intenziteta otkaza).

X4. Preventivno održavanje – održavanje prema stanju.

X5. Karakteristike održavanja prema stanju sa proverom parametara stanja.

X6. „PF“ Interval nacrtati dijagram.

X7. Karakteristike održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti elemenata sistema.

X8. Odnos stvarnog i dozvoljenog nivoa pouzdanosti kod održavanja prema stanju sa kontrolom nivoa pouzdanosti elemenata sistema - nacrtati dijagram.

X9. Preventivno održavanje – detektivno održavanje.

X10. Preventivno održavanje – prediktivno održavanje.

X11. Preventivno održavanje – proaktivno održavanje.

X12. Korektivni sistem održavanja

1. Od čega zavisi tehnologija održavanja.
2. Šta predstavlja tehnološka dokumentacija.
3. Šta opisuju operacione liste.
4. Na osnovu čega se vrši dekompozicija tehničkih sredstava sa stanovišta grupisanja operacija u kategorije preventivnih radova.
5. Na osnovu čega se vrši dekompozicija tehničkih sredstava sa stanovišta grupisanja operacija u kategorije korektivnih radova.
6. Odnos obima radova generalne opravke, srednje opravke i male opravke.
7. Učestalost izvođenja aktivnosti održavanja kod korektivnog sistema održavanja.
8. Čime je definisana učestalost izvođenja aktivnosti održavanja kod plansko-preventivnog sistema održavanja.
9. Struktura vremena trajanja zastoja.
10. Mesta izvođenja investicionog i tekućeg održavanja.
11. Podela rezervnih delova po nivou konstrukcione složenosti.
12. Šta predstavljaju „nivoi održavanja“.
13. Preporučeni broj nivoa održavanja po kojima se struktuiraju kategorije radova.
14. Remontna jedinica.
15. Način planiranja radova na korektivnom održavanju.
16. Šta podrazumeva plansko-preventivno održavanje.
17. Strategija održavanja u odnosu na planiranje u održavanju.
18. Osnovne aktivnosti održavanja (min. 5).
19. Šta predstavlja remontni ciklus.
20. Frekvencije različitih vrsta opravki (dijagram).
21. Obrasci za izračunavanje vremena trajanja remontnog ciklusa.

22. Odnos broja smena rada tehničkog sredstva i dužine remontnog ciklusa.
23. Koeficijent kvara.
24. Metodologija za traženje slabih mesta.