Utjecajni čimbenici organizacije sustava održavanja

Jelić, Dino

Undergraduate thesis / Završni rad

2017

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Transport and Traffic Sciences / Sveučilište u Zagrebu, Fakultet prometnih znanosti**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:119:349910

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Transport and Traffic Sciences - Institutional Repository







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Dino Jelić

UTJECAJNI ČIMBENICI ORGANIZACIJE SUSTAVA ODRŽAVANJA

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2017.

Sveučilište u Zagrebu
FAKULTET PROMETNIH
ZNANOSTI Vukelićeva 4, 10000
Zagreb
PREDDIPLOMSKI STUDIJ

Preddiplomski studij: Prometa
Zavod: Zavod za transportnu logistiku
Predmet: Tehnička logistika

ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Pristupnik: Dino Jelić
Matični broj: 0135215033
Smjer: Logistika

ZADATAK:

Utjecajni čimbenici organizacije sustava održavanja

ENGLESKI NAZIV ZADATKA:

Factors influencing organization of system maintenance

Opis zadatka:

Prvi dio rada sadržavat će osnovne teoretske postavke nužne za funkcioniranje sustava održavanja. U sljedećem dijelu više će biti riječi o glavnim čimbenicima održavanja. U nastavku će biti prikazana dva osnovna koncepta održavanja. Rad će sadržavati i kritički osvrt na pojedine vrste održavanja kao i prijedlog za poboljšanje organizacije sustava održavanja.

Zadatak uručen pristupniku: 24. studenog 2016.

Nadzorni nastavnik: Predsjednik povjerenstva za završni ispit:

Djelovođa:

Sveučilište u Zagrebu

Fkultet prometnih znanosti

ZAVRŠNI RAD

UTJECAJNI ČIMBENICI ORGANIZACIJE SUSTAVA ODRŽAVANJA

FACTORS INFLUENCING ORGANIZATION OF SYSTEM MAINTENANCE

Mentor: Dr.sc. Damir Budimir

Student: Dino Jelić

JMBAG:0135215033

Zagreb, svibanj 2017.

SAŽETAK

Sustav održavanja tehničkih sredstava u današnje doba ima veliku važnost kod svake proizvodnje, svakog transporta robe i svih logističkih procesa, kako bi se mogli obavljati što efikasnije te uz što manje troškove. Poznato je da se gubitak funkcionalnosti tehničkih sustava ne može izbjeći, ali se može utjecati na smanjenje troškova koji nastaju tijekom njihove eksploatacije. Upravo zato je važna organizacija sustava održavanja. Na održavanje utječu razni čimbenici, neki od njih prikazani su i objašnjeni u ovome radu. Posebice je istaknuta velika ulogu u sustavu održavanja koju ima ljudski čimbenik. Osoblje mora biti stručno i sposobno za svoje područje rada, kako bi održavanje bilo učinkovito.

Najčešće vrste i ciljevi održavanja s primjerima objašnjeni su u ovome radu na osnovu svojih prednosti i nedostataka. Iz navedenih razloga, predložen je *sustav održavanja prema stanju s kontrolom razine pouzdanosti* kao dobro rješenje za primjenu u sustavima sa složenim procesima, a kojim će se osigurati željeno ponašanje procesa.

KLJUČNE RIJEČI: održavanje tehničkih sustava; logističi procesi; čimbenici održavanja

SUMMARY

System maintenance of tehnical means in these days has a big importance in every production, every transport of goods and all logistics processes, so that they could perform more efficiently and with less cost. It is known that the loss of funcionality of tehnical systems can not be avoided, but can be influenced to reduce costs that occur during their exploitation.That is why organization of system maintenance is important.Various factors are influencing maintenance, some of them are shown and explained in this work. Particularly highlighted is big role in system maintenance that has a human factor.

The most common types and aims of maintenance with their examples are explained in this work based on their advantages and disadvantages. From these reasons it has been proposed system of maintenance based on conditions with controlled levels of reliability as a good solution for use in systems with complex processes, and which will ensure the desired behavior of the process.

KEY WORDS: maintenance of tehnical systems; logistic processes; maintenance factors

SADRŽAJ

1. Uvod 1
2. Sustav odgovornosti 2
2.1 Osoblje za održavanje 8
2.2 Školovanje i uhodavanje osoblja 11
3. Čimbenici održavanja 13
3.1 Pouzdanost 16
3.1.1 Učestalost otkaza i srednje vrijeme između otkaza (MTBF) 17
3.1.2 Srednje vrijeme do otkaza (MTTF) i srednje vrijeme do prvog otkaza 20
3.1.3 Rast krivulje pouzdanosti 20
3.1.4 Pouzdanost softvera 22
3.2 Troškovi 23
4. Vrste održavanja 25
4.1 Korektivno održavanje 26
4.2 Preventivno održavanje 32
5. Prijedlog za poboljšanje organizacije sustava održavanja 39
6. Zaključak 41
Literatura 42
Popis kratica 43
Popis slika 43
Popis tablica 44
Popis grafikona 44

1. Uvod

Organizacija sustava održavanja definira odnose između pojedinih razina na kojima se sprovode postupci održavanja tehničkih sredstava, primjerice radionica u kojima se obavlja održavanje te vrste zadatka održavanja. Organizacija sustava održavanja neposredno utječe i na sustav opskrbe rezervnim dijelovima i drugim materijalima.

Osnovni zahtjevi koji se postavljaju u radu svakog tehničkog sredstva, su maksimalni radni učinci s minimalnom potrošnjom, velikom pouzdanošću i minimalnim troškovima održavanja uz poštivanje zahtjeva ekologije. Danas se ovim zahtjevima može udovoljiti uvođenjem novog tehnološkog pristupa u praćenju i mjerenju radnih karakteristika stroja, kao i korištenjem računalske tehnike i znanosti u dijagnosticiranju, otklanjanju kvarova i održavanju.

Održavanje je samo jedna od konstrukcija sustava, međutim, uspješna provedba programa održavanja zahtijeva temeljito razumijevanje ne samo na razini zahtjeva sustava, već i razumijevanje mnogih organizacijskih sučelja koja postoje. Ovaj rad se bavi organizacijom održavanja, funkcijama održavanja, organizacijskim sučeljima, čimbenicima koji utječu na održavanje te vještinama osoblja potrebnim za ispunjavanje ciljeva. Rad je podijeljen u šest cjelina:

1. **Uvod**
2. **Sustav odgovornosti**
3. **Čimbenici održavanja**
4. **Vrste održavanja**
5. **Prijedlog za poboljšanje organizacije sustava održavanja**
6. **Zaključak**

Nakon uvoda u drugom poglavlju su pojašnjene uloge i aktivnosti dobavljača, proizvođača i potrošača te njihove odgovornosti.

Treće poglavlje obuhvaća čimbenike koji utječu na sustav održavanja.

U četvrtom poglavlju opisane su vrste održavanja.

U petom poglavlju dat je prijedlog za poboljšanje organizacije sustava održavanja. Na kraju je dan zaključak cjelokupnog rada.

2. Sustav odgovornosti

Kako bi se pravilno bavili temom organizacije održavanja, treba razumjeti okruženje u kojem se funkcije održavanja izvode.

Zahtjevi programa održavanja mogu se pojaviti na više organizacijskih razina. Potrošač (ili kupac) može formirati organizaciju održavanja za ostvarenje mnogih zadataka ili se ti zadaci mogu prenijeti na glavnog proizvođača kroz ugovor. Pitanje je tko je odgovoran i tko ima ovlaštenje za obavljanje glavnih funkcija.

U nekim slučajevima, potrošač može preuzeti punu odgovornost. Konstrukciju razvojnih operativnih zahtjeva i koncept održavanja, pripremu SEMP-a (System Engineering Management Plan - plan upravljanja sustavom), pripremu ILSP-a (Integrated Logistic Support Plan – plan integrirane logističke potpore), a završetak zahtjevnih zadaća se ostvaruje od strane potrošača.

U drugim slučajevima, dok potrošač daje ukupne smjernice u smislu pokretanja procesa nabave i sakupljanja (tj, izdavanje općeg izvještaja o poslu ili ugovornog dokumenta), proizvođač (ili glavni izvođač) je odgovoran za osmišljavanje provedbe procesa. U takvoj situaciji, izvršenje zahtjeva održavanja je zadaća proizvođača, te ako je potrebno dodatne zadatke obavljaju pojedinačni dobavljači.

Uloge i aktivnosti potrošača/kupca

Potrošač može biti krajnji korisnik sustava, ali u svakom slučaju postoje različiti pristupi i odnosi u organizaciji i razvoju novih sustava.

Cilj je odrediti krajnjeg voditelja projekta , te odrediti odgovornosti i ovlasti za projekt održavanja . U prošlosti je bilo mnogo slučajeva gdje su pojedini nabavljači potaknuli ugovor s industrijskim tvrtkama (npr. proizvođač) za pokretanje procesa održavanja, ali nije bila određena odgovornost za niže razine sustava. Ta tvrtka je bila odgovorna za konstrukciju, razvoj i isporuku po određenim zahtjevima, međutim potrošač nije uvijek pružio proizvođaču potrebne podatke za razvoj sustava. Istovremeno, potrošač nije ostvario određene funkcije kod upravljanja sustavom, uključujući pravilno održavanje sustava. Rezultat je razvoj sustava bez uključivanja željenih karakteristika održavanja koji nije jeftin, a ne odgovara na potrebe kupca tj. krajnjeg korisnika.

Ispunjenje ciljeva održavanja ovisi o predanosti od vrha prema dolje. Ovi ciljevi se moraju prepoznati na početku od strane kupca i treba uspostaviti smisao organizacije kako bi se osiguralo da se ovi ciljevi ostvaruju. Kupac mora stvoriti odgovarajuću okolinu, a za to je potrebno:

- razviti koncept održavanja
- definirati operativne zahtjeve za razvoj održavanja
- uspostaviti uvijete i kriterije održavanja u skladu s propisima
- izraditi sami plan održavanja.

Tada je posao konstrukcije i uklapanja sustava ostvaren od strane kupca.

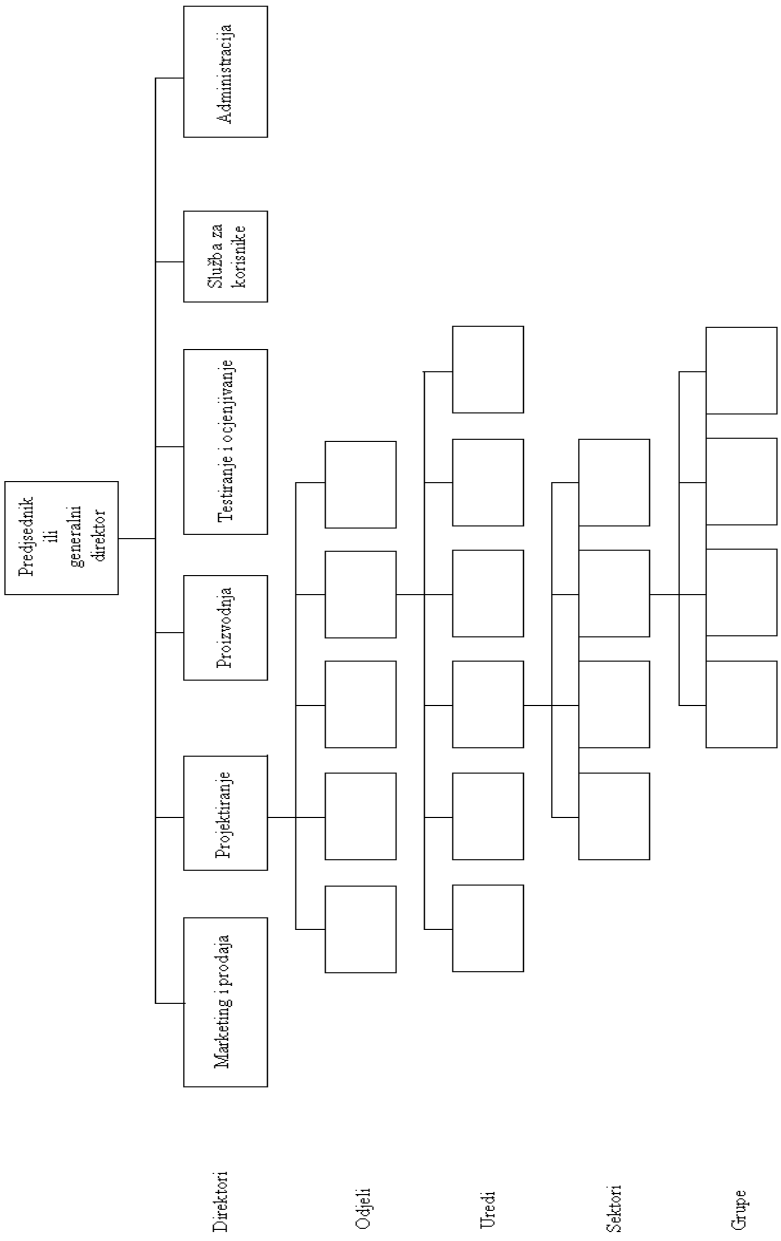
Važno je da odgovornost za održavanje bude uspostavljena na samom početku. Kupac mora pojasniti programe i same ciljeve sustava, a zahtjevi i odgovornosti održavanja moraju biti jasno određeni.

Ako je na proizvođaču odgovornost održavanja, potrošač mora podržati tu odluku pružajući potrebno vođenje i upraviteljsku potporu. Zadatak za potrošača je pripremiti sveobuhvatan, dobro napisan i jasan iskaz o radu koji će biti proveden od strane proizvođača. Uspješna provedba svih zadataka za razvoj održavanja vrlo je ovisna o temeljnom vođenju od samog početka.

Uloge i aktivnosti proizvođača

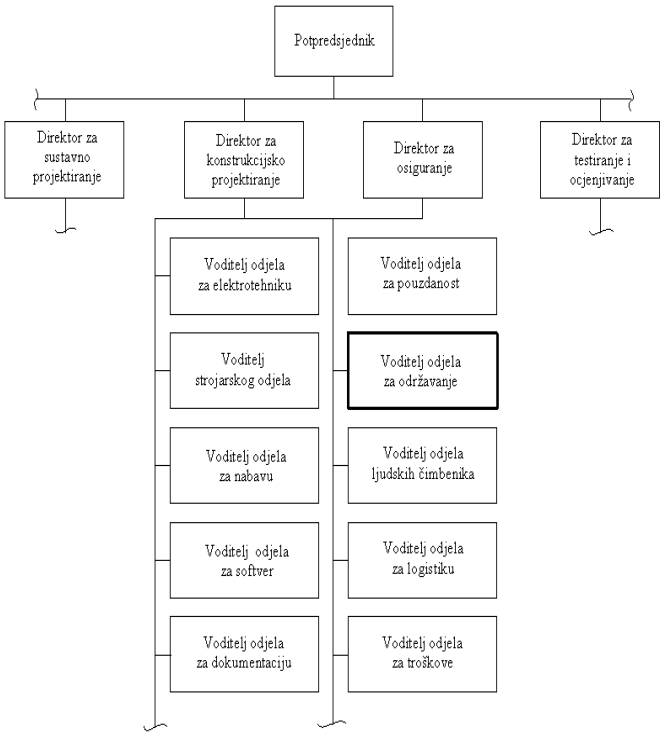
Za većinu velikih projekata, proizvođač će odraditi najveći dio posla vezan uz razvoj novog sustava održavanja. U prijedlog proizvođača je uključen i opis predložene organizacijske strukture, organizacijska sučelja, stupanj zaposlenika i odgovornosti.

Pristup prikazan na slici 1 ponekad se naziva „klasični“ ili „tradicionalni“ pristup tj. podrazumijeva grupiranje stručnjaka po određenim disciplinama. Namjera je da se obavljaju slični poslovi unutar jedne organizacijske komponente. Na primjer, svi poslovi u inženjerstvu će biti odgovornost jednog rukovoditelja, svi poslovi proizvodnje će biti odgovornost drugog rukovoditelja itd.



Slika 1. Organizacija proizvođača (tradicionalno orijentirana struktura)
Izvor [1]

Slika 2 pokazuje daljnju raspodjelu inženjerskih aktivnosti gdje je organizacija održavanja prikazana unutar osiguranja konstrukcije.



Slika 2. Podjela inženjerskih aktivnosti
Izvor [1]

Kao i kod bilo koje organizacijske strukture, postoje prednosti i mane. Tablica 1 identificira neke od prednosti i nedostatkaka.

Tablica 1. Funkcionalna organizacija – prednosti i nedostaci

Prednosti
1. Omogućuje razvoj bolje tehničke mogućnosti za organizaciju. Stručnjaci se mogu grupirati za razmjenu znanja. Iskustva iz jednog projekta može se prenijeti na druge projekte kroz razmjenu kadrova. 2. Organizacija brže može odgovoriti na određeni zahtjev putem pažljivog zadatak (ili preraspodjela) osoblja. Postoji veliki broj osoblja u organizaciji s potrebnim vještinama u određenom području. Menadžer ima veći stupanj fleksibilnosti u korištenju osoblja te se može održavati veći tehnički nadzor. 3. Proračun i kontrola troškova je lakša zbog centralizacije na područjima stručnosti. 4. Komunikacija je dobro ustrojena. Struktura izvješćivanja je vertikalna i ne postoji dvojba tko odlučuje.

Nedostaci
1. Teško je zadržati identitet određenog projekta. Niti jedan pojedinac nije odgovoran za cijeli projekt. Teško je odrediti konkretne odgovornosti. 2. Koncepti i tehnike imaju tendenciju da budu funkcionalno usmjereni s malo obzira spram zahtjevima projekta. 3. Postoji mala usmjerenost na kupca. Odgovor na konkretne potrebe kupaca je spor. Odluke se donose na temelju najjačeg funkcionalno područje djelovanja. 4. Zbog orijentacije grupe u odnosu sa specifičnim područjima stručnosti, manja je osobna želja za napredovanjem i nedostaje inovacija u vezi stvaranje novih ideja.

Izvor [1]

Uloge i aktivnosti dobavljača

Postoje različite kategorije dobavljača. Od posebnog interesa su oni dobavljači koji su uključeni u konstrukciju i razvoj novih komponenti sustava. Osim ako je komponenta velika i kompleksna (opravdava veliki *projektni* pristup), vrlo je vjerojatno da će prevladati funkcionalni tip organizacije u ukupnoj strukturi dobavljača.

Funkcije održavanja će, po svemu sudeći, biti ograničene na jedan ili dva konstrukcijski povezanih zadataka prilagođenih za zadovoljavanje specifične potrebe programa . Specifični zahtjevi održavanja moraju biti uključeni kako u tehničkoj specifikaciji , tako i u izvještaju o razvoju od strane glavnog izvođača za dobavljača. Kao što je ranije navedeno, prateći zahtjevi moraju biti od vrha prema dolje, a odgovarajuća razina(e) napora mora biti potaknuta kako bi se osiguralo ispunjenje zahtjeva.

2.1 Osoblje za održavanje

Osoblje za održavanje mora biti stručno za svoja područja za koje je namijenjeno. Nijedna forma održavanja ne smije biti zadatak za početnika bez nadzora, ne smije biti odrađena od početnika bez nadzora te ne smije biti odrađena od strane neiskusnog osoblja.

S obzirom na to da osoblje za organizaciju održavanja ima veliku odgovornost, prvo treba imati dobro razumijevanje osnovnih funkcija organizacije. Početni stupanj ″inženjer održavanja″ treba imati:

1. Osnovno formalno obrazovanje u nekom priznatom području inženjerstva, koji je, prvostupnik u inženjerstvu ili ekvivalent.
2. Razumijevanje cjelokupnog procesa konstrukcije jer se primjenjuje na sustave i proizvode koje je razvila tvrtka. Na primjer, ako je tvrtka uključena u razvoj električnih / elektroničkih sustava, onda je poželjno da kandidat ima neko znanje, a prije iskustvo u konstrukciji (ako je moguće), električnih / elektroničkih sustava. Različite vrste iskustva će biti potrebne za zrakoplovne sustave, mehaničke sustave, civilne sustave, i tako dalje. Inženjer održavanja, kako bi bio učinkovit, mora biti u stanju ″komunicirati″ s konstruktorom na njegovom jeziku.

3. Razumijevanje sustava inženjerskog procesa i metode koje mogu biti učinkovito korištene za podizanje sustava / proizvoda. Na primjer, inženjer održavanja mora razumjeti definiciju procesa zahtjeva, funkcionalne analize i raspodjele, sintezu i optimizaciju konstrukcije, ispitivanje i ocjenjivanje.
4. Razumijevanje odnosa među funkcijama, uključujući marketing, upravljanje ugovorima, nabavu, sustav inženjerstva, elektrotehnika, strojarstvo, inženjerstvo pouzdanosti, ljudski čimbenici, upravljanje konfiguracijom, proizvodnja (proces proizvodnje), kontrola kvalitete, kupci i operacije dobavljača.

Ako pojedinac želi uspješno provoditi navedene funkcije , onda bi trebao imati neka prethodna znanja i iskustva u tim područjima. Osim toga, inženjer održavanja mora biti obrazovan o metodama (tehnikama) koje se koriste pri završetku potrebnih zadataka održavanja u određenom projektu. Za velike programske organizacije, funkcije održavanja se mogu podijeliti na sljedeći način:

1. ***Planiranje i aktivnost*** *podrške* koje uključuju početni razvoj planova i specifikacije, izbora zahtjeva dobavljača, sudjelovanje u osvrtu na konstrukciju, izrada programskih izvješća, vezu kupca i tako dalje.
2. ***Konstrukcijske aktivnosti*** koje uključuju svakodnevno sudjelovanje u sustavu / proizvodu procesa konstrukcije (razvoj kriterija konstrukcije, procjenu alternativnih konfiguracija konstrukcije, preporuke za promjenu konstrukcije, itd.).
3. ***Analize aktivnosti*** koje uključuju ostvarivanje različitih trade-off [1]analiza, predviđanja, razina analize popravka, analize zadataka održavanja, analize troškova životnog ciklusa, i tako dalje.
4. ***Ispitivanje, ocjenjivanje i aktivnosti provjere*** uključuju sudjelovanje u ispitivanju razine sustava, demonstracije vršenja održavanja, procjena sustava / proizvoda u polje razmatranja održavanja, i tako dalje.

[1] Tehnika smanjenja jednog ili više poželjnih ishodu u zamjenu za dobivanje ili povećanje drugih poželjnih ishoda kako bi se povećao ukupni povrat ili učinkovitosti pod danim okolnostima.
(http://www.businessdictionary.com/definition/tradeoff.html # ixzz1t94pjrao)

Za velike programe, gdje neki stupnjevi specijalizacije mogu biti podržani u organizaciji održavanja, zahtjev za dodatnom ulaznom razinom vještine bi mogao biti nužan. Na primjer, u području ″analiza održavanja″, bilo bi prikladno za inženjera održavanja da posjeduje znanje o statističkim metodama, tehnikama istraživanja odabranih operacija (npr. linearno / dinamičko programiranje, umrežavanje, teorija čekanja, teorija kontrole i optimizacija), te postupcima obrade podataka. Za inženjera održavanja kojemu je dodijeljeno područje ″ispitivanja, ocjene i provjera″, bilo bi primjereno za pojedinca da ima radno iskustvo u radu s operacijom i podrškom hardvera i softvera.

Usporedno s manjim programima, nije moguće, ili nije ekonomski izvedivo, razviti veliku organizaciju. U takvim slučajevima, dok još uvijek postoje zahtjevi za završnim zadacima održavanja, možda će biti potrebno tražiti odgovarajuće razine stručnosti iz vanjskih izvora (npr. statističke usluge i usluge obrade podataka). Međutim, inženjer održavanja još uvijek mora prepoznati te potrebe i imati dobro razumijevanje različitih analitičkih metoda i njihove primjene u programskim zadacima.

U organizaciji osoblja, mogući izvori uključuju kvalificirano osoblje unutar tvrtke koje je spremno za promicanje i osoblje izvana koje je dostupno preko otvorenog tržišta. Odgovornost voditelja odjela održavanja je da ima blisku suradnju s odjelom za kadrovske poslove u utvrđivanju početnih zahtjeva za osobljem, u razvoju položaja i reklamnom materijalu, u odabiru potencijalnih zaposlenika i provođenju intervjua, u izboru kvalificiranih kandidata, te u konačnici prihvaćanje pojedinaca za zapošljavanje unutar organizacije održavanja.

2.2 Školovanje i uhodavanje osoblja

Svaki inženjer želi znati kako obavlja svoj posao i želi u njemu prilike za napredak. Da bi se to znalo potreban je "formalni pregled sposobnosti". To je praćenje i pregled njegove sposobnosti u obavljanju posla, koje se provodi prema redovnom rasporedu (bilo polugodišnje ili godišnje) . Također je jako bitna komunikacija s nadređenom osobom, a nadređena osoba mora znati primijetiti ako zaposlenik radi dobar posao. Isto tako zaposlenik treba znati, što je prije moguće, kada je rad nezadovoljavajući i kada je poželjno poboljšanje. Čekanje dok se provede formalni pregled performansi te zatim reći zaposleniku da ne zadovoljava u obavljanju posla je također loša praksa. U organizaciji održavanja, gdje ima mnogo sučelja (unutarnji i vanjski), osobito je važno da je bliska razina komunikacije uspostavljena od samog početka.

U sklopu organizacije održavanja, osobni rast pojedinca je neophodan ako odjel efikasno funkcionira, posebice jer su mnoge njegove funkcije ″uslužno″ orijentirane. Voditelj odjela održavanja treba raditi sa svakim zaposlenikom kako bi pripremio plan za razvijanje prilagođen tome zaposleniku. Plan, prilagođen osobnim specifičnim potrebama, bi trebao omogućiti osobni razvoj čineći sljedeće kombinacije dostupnim:

1. Interni razvoj namijenjen upoznavanju inženjera s pravilima i postupcima koji se primjenjuju na cjelokupnu tvrtku u cjelini, kao i detaljnim operativnim procedurama vlastite organizacije. Ovaj tip razvoja bi trebao omogućiti pojedincu uspješno djelovanje u okviru ukupne organizacije kroz upoznavanje s mnogim sučeljima s kojima će se susresti na radnom mjestu.

2. Osposobljavanje kroz selektivne zadatke. Iako intenzivno prebacivanje osoblja s jednog posla na drugi može biti štetno, ponekad je poželjno preraspodijeliti osobu na posao u kojem će imati više motivacije. Svaki zaposlenik treba steći nove vještine, a povremeni premještaji mogu biti od koristi, sve dok ukupna produktivnost organizacije ne pada.

3. Službeno tehničko obrazovanje i osposobljavanje dizajnirano za razvoj inženjera u smislu primjene novih metoda i tehnika u vlastitoj struci. To se odnosi na potrebu da inženjer održava svoje znanje (i izbjegne tehničko zastarijevanje) kroz kombinacije daljnjeg školovanja te kroz kratke tečajeve, seminare, i radionice. Postoje službeni izvanredni inženjerski programi koji su usmjereni prema naprednom stupnju i prema dugoročnom osposobljavanju. Uključuju mogućnosti za istraživanja i napredno obrazovanje na nekom sveučilišnom kampusu ili fakultetu. Trenutno, postoje mnoge mogućnosti dostupne pojedincu za napredak kroz obavljanje službenog obrazovanja i osposobljavanja.

4. Tehnička razmjena znanja s drugima u tome polju kroz sudjelovanje u tehničkim društvenim aktivnostima, industrijskim udruženjima, simpozijima i kongresima.

Voditelj odjela održavanja mora prepoznati potrebu za stalnim razvojem osoblja u organizaciji i poticati svakog pojedinca da traži višu razinu izvedbe nudeći ne samo izazovne poslovne zadatke, nego prilike za rast kroz obrazovanje i obuku. Dugoročna održivost svake organizacije ovisi o razvoju kadrova. To bi, trebalo poboljšati individualnu motivaciju i rezultat u ispunjavanju funkcija inženjerskog održavanja u smislu visoke kvalitete.

3. Čimbenici održavanja

Održavanje je skup akcija s ciljem da se sustav zadrži, ili vrati, u stanje u kojem izvršava zadanu funkciju.

Održavanje je izvedeno na sustavu ili komponenti u slučaju otkaza, ili kao preventivna mjera očekivanog otkaza. S druge strane, održavanje je karakteristika dizajna sustava i odnosi se na udobnost, preciznost, pravodobnost i ekonomičnost postupaka održavanja. Uzeti u obzir da je ta karakteristika višedimenzionalna te ima mnogo mjera. Održavanje se može mjeriti u uvjetima kombinacije proteklog vremena, radnih sati i stopa, troškova i frekvencije održavanja i bitnih faktora logistike. Te mjere olakšavaju kvantitativnu procjenu održavanja sustava. Cilj je utjecati na dizajn i proizvodnju sustava ili jedinice, koji su učinkovito i efikasno prihvatljivi.

Čimbenici frekvencije održavanja

Intenzitet održavanja, korektivno održavanje i popravci radi prevencije, ovise o pouzdanosti sustava i karakteristikama istrošenosti . Frekvencija korektivnog održavanja za sustav je funkcija odgovarajuće stope kvara i prosječnog vremena između kvarova. Intenzitet preventivnog održavanja sustava, s druge strane, ovisi o pretpostavljenim karakteristikama istrošenosti i razvoju komponenti sustava. Dva najčešće upotrebljavana faktora intenziteta održavanja su prosječno vrijeme između održavanja (mean time between maintenance - MTBM) i prosječno vrijeme između zamjene komponenti (mean time between replacement - MTBR).

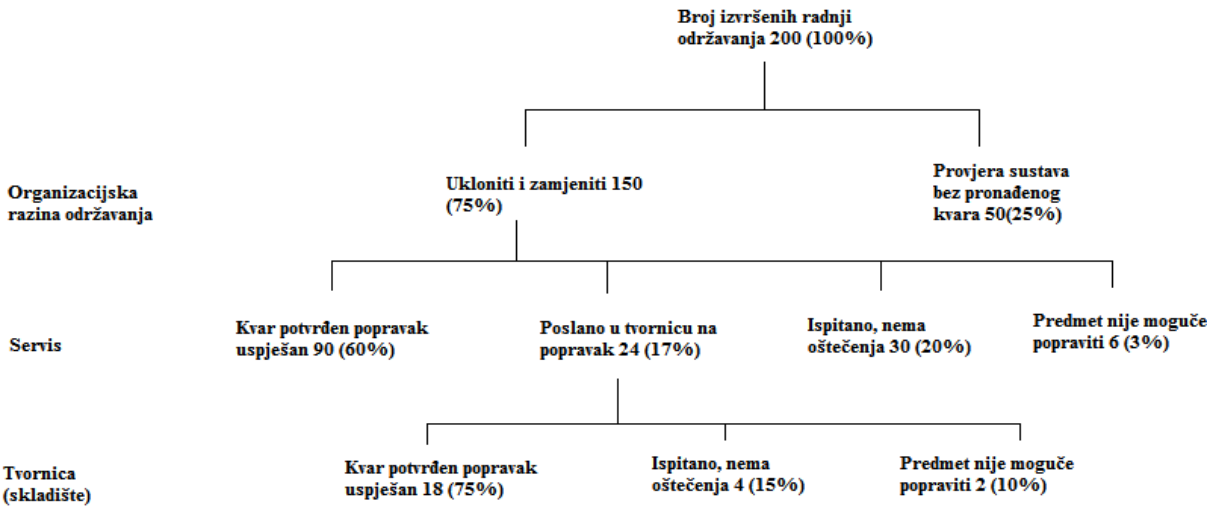
Prosječno vrijeme između održavanja (Mean Time Between Maintenance - MTBM**)** Princip mjerenja intenziteta održavanja je MTBM, u čiju funkciju spadaju redovno i neplanirano održavanje, je izraženo kao:

$$\text{MTBM}= \frac{\mathbf{1}}{\mathbf{1}/MTBM_u+\mathbf{1}/MTBM_s} \qquad (1.1)$$

gdje je $MTBM_u$ prosječno vrijeme između neplaniranih (ili popravnih) održavanja i $MTBM_s$ je prosječno vrijeme između redovnih (ili preventivnih) održavanja. Ovdje MTBM se smatra pokazateljem pouzdanosti i izdržljivosti. Prosječno vrijeme između neplaniranih (popravnih) održavanja trebalo bi biti približno isto složenom sustavu srednje vrijeme između otkaza (Mean Time Between Failure - MTBF) koji se bazira na kvarovima sustava, sekundarnim ili neovisnim kvarovima, kvarovima nastalima od strane operatora ili zbog greške pri održavanju i proizvodne greške. Greške od strane operatora i greške pri održavanju moraju biti smanjene, ako ne i potpuno uklonjene. Zbog toga, MTBM će dostići MTBF zbog odsudstva radnji preventivnog održavanja.

Prosječno vrijeme između zamjene dijelova (Mean Time Between Replacement - **MTBR)** MTBR se obično povezuje s pojmom prosječnog vremena između dva zahtjeva za održavanjem (mean time between demand - MTBD), koji je također jedan od faktora koji spadaju u MTBM. Pošto sva održavanja ne proizlaze iz potrebe ili zahtjeva za promjenom dijelova, veća je mogućnost da će se koristiti MTBR faktor nego MTBM. MTBR daje rezultatskoji su značajan davatelj podataka za analizu rezervnih dijelova. Rezultati se mogu primijeniti i na preventivna održavanja i na popravke, toliko dugo dok te radnje zahtjevaju zamjenu dijelova. Takva aktivnost dalje generira potražnju za rezervnim dijelovima i utječe na sposobnost cjelokupnog sustava logističke podrške. Cilj opskrbe u dizajnu sustava je što više povećati MTBR.

Tipični primjer povezan s popravcima je prikazan na slici 4. U ovom primjeru su uzete 200 radnji pri popravku tehničkog sredstva. Te radnje su bile poduzete radi prevencije stvarnog kvara ili radi umišljenog kvara. Ovi rezultati se odnose na MTBM. Svaka radnja pri održavanju, bila ona zbog stvarnog kvara ili lažne uzbune rezultira potrošnjom resursa, uključujući i osoblje koje vrši održavanje. Ova potrošnja radnih sati može se izraziti u smislu sati koji su potrošeni na održavanje po radnim satima ili MMH/OH. Na primjer, 75% svih radnji na održavanju, ili 150, rezultiraju uklanjanjem i zamjenom da bi se sustav vratio u zadovoljavajuće stanje.



Slika 3. Neočekivano održavanje
Izvor [1]

Ostalih 25% rezultira provjerom sustava bez pozitivne identifikacije kvara. Dijelovi koji su uklonjeni iz sustava su poslani u ovlaštene servise na popravak. I opet određen postotak, u ovom slučaju 80% ili 120, dijelova koji su poslani u servis imaju utvrđen kvar. Ti dijelovi su ili popravljeni u servisu, proglašeni nepopravljivim ili poslani dalje na popravak na viši stupanj (tvornicu). Na ovoj ilustraciji, samo 108 od 200 ispitanih radnji na održavanju rezultirale su potvrdom kvara dijela i naknadno popravljeni.

Čimbenici koji utječu na radno vrijeme održavanja

Često je izvedivo smanjiti vrijeme održavanja povećanjem broja osoblja koje je uključeno u održavanje. Ovakav pristup, međutim, nije financijski isplativ, još je manje isplativ ako su radne vještine potrebne za održavanje zahtjevne. Teško održiv sustav je rezultat razmjene troškova između proteklog vremena, radnih sati, radnih vještina, potrebne opreme i objekata.

Neke od najčešćih mjera održavanja povezanih s vremenom rada su:

- Radni sati održavanja po radnji (Mean manhours per maintenance action - MMH/MA)
- Radni sati održavanja po mjesecu (Mean manhours per month - MMH/mjesec)

3.1 Pouzdanost

Pouzdanost možemo definirati kao vjerojatnost da će sustav ili tehničko sredstvo obavljati svoj zadatak na zadovoljavajuć način u određenom vremenskom periodu i pod određenim uvjetima. Učestalost održavanja određenog tehničkog sredstva uvjetovana je njegovom pouzdanošću.

Pojmovi povezani uz pouzdanost sustava:

- **Vjerojatnost kvara** – Uvijek postoji šansa za kvar i moguće ju je statistički odrediti.
- **Izvođenje namijenjene funkcije** – Sustav obavlja funkciju za koju je dizajniran. Ako ne radi ono što se očekuje, nije pouzdan.
- **Vremenski period** – Postoji određena vjerojatnost da se kvar neće dogoditi prije isteka tog vremenskog perioda, ili na drugi način određene količine upotrebe sustava (prijeđeni kilometri, broj radnih sati neovisno o stvarno proteklom vremenu i sl.).
- **Rad u određenim uvjetima** – S obzirom na fizička svojstva pojedinih komponenti, sustav radi u određenim uvjetima koji će osigurati neometan rad. Zahtjevi o uvjetima mogu se odnositi na vanjske uvjete: atmosferski uvjeti (temperatura, vlaga...), mehanički uvjeti (buka, vibracije...) i dr., te unutarnje uvjete: trošenje, habanje i sl. Radni uvjeti moraju biti definirani prilikom dizajniranja sustava.

Pouzdanost se odnosi na kvalitetu ili konzistentnost sustava. Pouzdanost mora biti uključena u proces dizajniranja sustava. Prilikom dizajniranja, zahtjevi pouzdanosti za cijeli sustav preslikavaju se na podsustave odnosno podzadaće dizajna,

Općenito, pouzdanost sustava je obrnuto proporcionalna na učestalost radnji popravnog održavanja.

Funkcija pouzdanosti,R(t), predstavlja stupanj rada sustava u vremenu i može se izraziti kao:

$$R(t) = 1 - F(t) \tag{1.2}$$

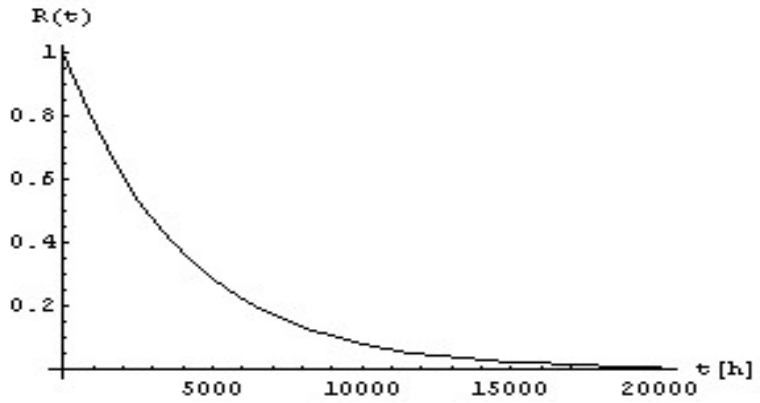
gdje je F(t) vjerojatnost da sustav neće raditi u određenom vremenu *t*, a *t* je vremenska varijabla.

Tablica 2. Izračunavanje funkcije pouzdanosti

Točka	*t* [h]	*R*(*t*)	*F*(*t*)	*R*(*t*) + *F*(*t*)
1	4000	0.37	0.63	1.00
2	8000	0.13	0.87	1.00
3	12000	0.05	0.95	1.00
4	16000	0.02	0.98	1.00
5	20000	0.01	0.99	1.00

Izvor: [3]

Tablica 2 pokazuje da već nakon vremenskog perioda jednakom iznosu *MTBF*, *R*(*t*) pada na 37%, dok nakon perioda od 5 * *MTBF*, pouzdanost sustava je praktički jednak nuli. Prikazan je i izračun razdiobe kvarova za iste vremenske trenutke, i pokazano da je zbroj *F*(*t*) i *R*(*t*) jednak 1.



Slika 4. Primjer funkcije pouzdanosti

Izvor: [3]

3.1.1 Učestalost otkaza i srednje vrijeme između otkaza (MTBF)

Učestalost otkaza i srednje vrijeme između otkaza su najčešće korištene mjere pouzdanosti. Učestalost otkaza (λ) se jednostavno odnosi na učestalost pojavljivanje kvara, ili stopa po kojoj se pojavljuju u jedinici vremenskog intervala. To se može definirati kao broj kvarova na sat ili na milijun sati, ili kao postotak kvarova na 1000 sati. Učestalost otkaza je izražena kao:

$$\lambda = \frac{broj\ otkaza}{ukupan\ broj\ radnih\ sati} \tag{1.3}$$

Učestalost otkaza kao mjera pouzdanosti može biti prilagođena određenom tehničkom sredstvu. To se često izražava u smislu određenog broja ciklusa operativnog sustava ili udaljenosti. Dok utvrđivanje broja kvarova sustava obično nije problem, definiranje vremenske varijable može biti. Na vremensku varijablu utjeće priroda eksperimentalnog postupka, komponente obveza tijekom ciklusa. Slučaju gdje je sustav popravljen nakon što je doživio kvara, a test se nastavlja do završetka. U tom slučaju ukupno vrijeme je umnožak testiranog vremena i broja jedinica u tijeku ispitivanja. Slučaj kada jedinice u kvaru nisu popravljene, a vrijeme do kvara je u svakom slučaju zabilježeno. Tada, ukupno vrijeme je zbroj pojedinih vremena testa jedinica s kvarom i umnoška trajanja testa te broja jedinica koje su uspješno završile test.

Kao primjer pretpostavimo 10 jedinica koje su testirane pod zadanim uvjetima rada, gdje je vrijeme testiranja 600 sati i pretpostavimo da jedinice s kvarom nisu popravljene. Kvarovi se pojavljuju kako slijedi:

- jedinica 1 se pokvarila nakon 75 sati

- jedinica 2 se pokvarila nakon 125 sati

- jedinica 3 se pokvarila nakon 130 sati

- jedinica 4 se pokvarila nakon 325 sati

- jedinica 5 se pokvarila nakon 525 sati

Pet jedinica je uspješno završilo testiranje. Učestalost otkaza (λ), ako broj kvarova po satu može se izraziti kao:

$$\lambda = \frac{5}{75+125+130+325+525+5*600} = \frac{5}{4180} = 0.001196$$

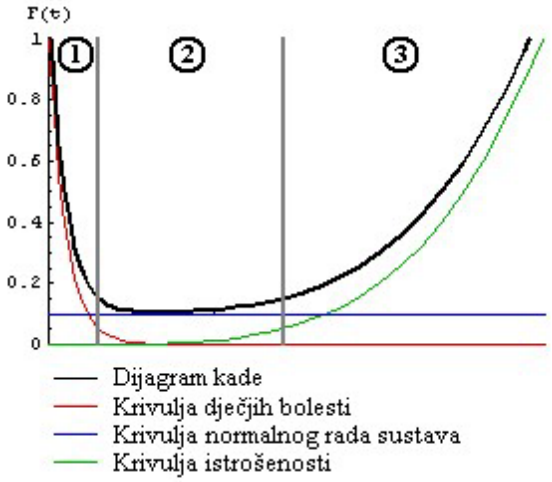
Kao sljedeći primjer, razmotrimo sustav u kojem je ukupno radno vrijeme 152 sata i sustav se kvari 6 puta u tom razdoblju. Učestalost otkaza po satu je

$$\lambda = \frac{broj\ otkaza}{ukupan\ broj\ radnih\ sati} = \frac{6}{152} = 0.03947$$

Nadalje, uz pretpostavku eksponencijalne funkcije gustoće, srednje vrijeme između otkaza (MTBF) je:

$$\text{MTBF} = \frac{1}{\lambda} = \frac{1}{0.03947} = 25.3357\ sati$$

Srednje vrijeme između otkaza je jedan od najvažnijih parametara pouzdanosti sustava. Pokazuje koliko je prosječno vrijeme između otkaza te se njegovim povećanjem također povećava pouzdanost.



Slika 5. Učestalost otkaza (dijagram kade)
Izvor [4]

Dijagram kade često se koristi da se prikaže učestalost kvarova tijekom radnog vijeka sustava. Dijagram kade dobije se superpozicijom (zbrajanjem) triju krivulja: krivulja dječjih bolesti, krivulja normalnog rada sustava, krivulja istrošenosti sustava. Slika 5 pokazuje kvalitativni dijagram kade. X-os predstavlja vrijeme i na slici nije prikazana (tako da vrijedi općenito), a Y-os predstavlja razdiobu kvarova. Na slici faza dječjih bolesti označena je oznakom (1), faza normalnog rada sustava označena je s (2), a faza istrošenosti oznakom (3).

Faza dječjih bolesti relativno je kratak početni period rada sustava gdje je moguća pojava greški zbog tehnologije proizvodnje. Faza istrošenosti javlja se zbog degradacije svojstava tranzistora, korozije materijala i sl.

Faza dječjih bolesti – opadajuća učestalost kvarova

Normalni rad sustava – nasumični kvarovi, konstantni

Faza istrošenosti – rastuća učestalost kvarova

3.1.2 Srednje vrijeme do otkaza (MTTF) i srednje vrijeme do prvog otkaza

Srednje vrijeme do otkaza sustava ili komponente se često miješa i koristi se kao sinonim s MTBF. Iako se može koristiti za popravljive sisteme, često se koristi kao mjera pouzdanosti za nepopravljive sustave i komponente poput žarulja, tranzistora i otpornika. Srednje vrijeme do otkaza je definirano kao srednje vrijeme do pada sustava mjereno od određene referentne točke u vremenu ili mjestu. Može se izraziti kao:

$$\text{MTTF} = \frac{ukupni\ broj\ radnih\ sati\ jedinica\ opreme}{ukupan\ broj\ kvarova\ jedinica\ za\ određeno\ vrijeme} \tag{1.4}$$

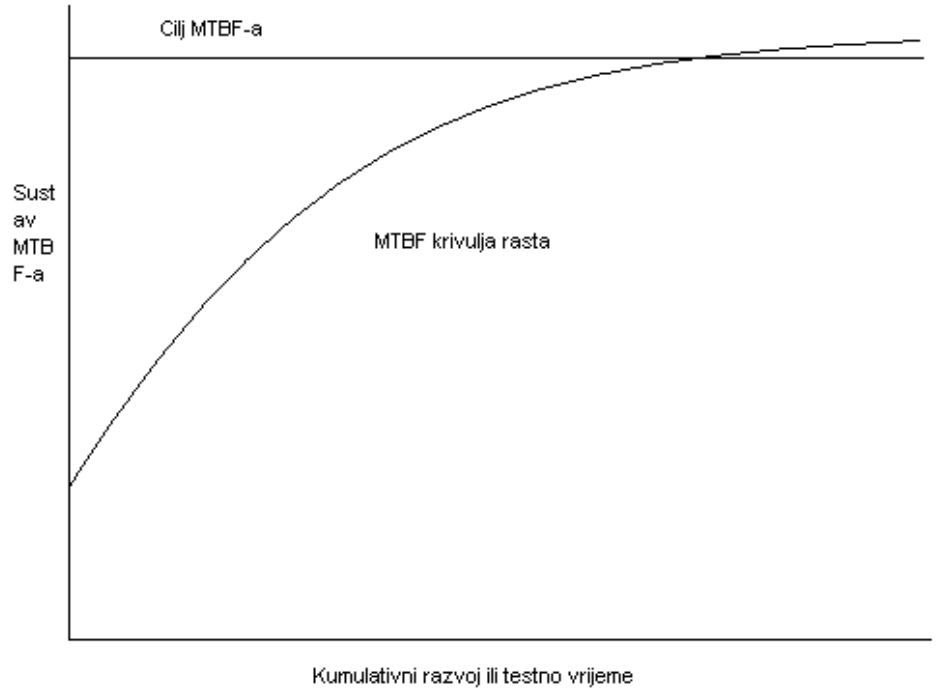
Gdje dijelovi opreme mogu biti popravljivi i nepopravljivi. Srednje vrijeme do prvog otkaza (MTFF) je još jedna mjera pouzdanosti koja se često koristi za sustave koji pokazuju varirajuće karakteristike stope kvara suvišnih sustava. Može biti definirano kao srednje vrijeme do otkaza sustava mjereno od određene točke kada su relevantni sustavi novi i nekorišteni.

3.1.3 Rast krivulje pouzdanosti

Novi sustavi i produkti često prikazuju manju pouzdanost tijekom rane faze razvoja. Pouzdanost sustava se može poboljšati analizirajući i popravljajući doživljene otkaze. Ovaj koncept se odnosi na rast pouzdanosti i ranije je bio analiziran sredinom 60-ih od strane James T. Duane. Duane je izveo empirijsku vezu baziranu na MTBF poboljšanju, promatranu s respektom u rangu avionskih komponenti. Koncept rasta pouzdanosti je veoma relevantan za analizu sposobnosti održavanja i može doprinijeti sveukupnoj učinkovitosti sustava infrastrukturne podrške. Utječe na predviđanja frekvencije i tipa otkaza sustava tijekom rane faze dizajna i razvoja. Rast krivulje pouzdanosti po Duaneovom modelu može biti izražena kao:

$$\log(MTBFc) = \log(MTBFs) + \beta \log(T) \tag{1.5}$$

MTBFc i MTBFs su kumulativno i početno srednje vrijeme između otkaza. T je ukupan test ili radno vrijeme, i β nagib krivulje rasta, Nagib β ukazuje na efektivnost rasta programa pouzdanosti i ima jaku povezanost s intenzitetom pokušaja. Dani rast krivulje pouzdanosti može se koristiti za procjenu testa i vremena potrebnog da se postigne zadana pouzdanost sustava.



Grafikon 1. Tipičan rast krivulje pouzdanosti

3.1.4 Pouzdanost softvera

Softver je postao veoma bitna stavka mnogih modernih testova i dijagnoza. Otkaz softvera je često definiran kao karakteristika programskog ponašanja (degradacija u vremenu izvršenja ili nekom drugom parametru performanse), dok je greška neizostavni dio softvera (nedeklarirana varijabla) i može biti uzrok jednom ili više otkaza. Pojavljivanje otkaza softvera ne ovisi samo o postojanju softverske greške, nego i o uvjetima izvršenja, na primjer, operacijski sustav, hardverska platforma ili samo izvršenje. Nadalje, otkaz softvera je definiran kao neprihvatljiv nedostatak programske operacije iz programskih zahtjeva. Softverska greška je softverska mana koja uzrokuje otkaz. Mjere otkaza softvera manje ili više odgovaraju onim korištenim u hardverskom svijetu i uključuje mjere poput: srednje vrijeme između otkaza, stopa otkaza, vrijeme do otkaza itd.

Analogno hardveru, postoje dvije klasifikacije vremenske varijable, kalendarsko vrijeme i radno vrijeme softvera ili ciklus obveze. Radno vrijeme softvera ili ciklus obveze može se odnositi i na vrijeme izvršenja ili satno vrijeme. Mjerenja pouzdanosti softvera trebaju uzeti u obzir vrijeme u uvjetima vremena izvršenja ili satnog vremena.

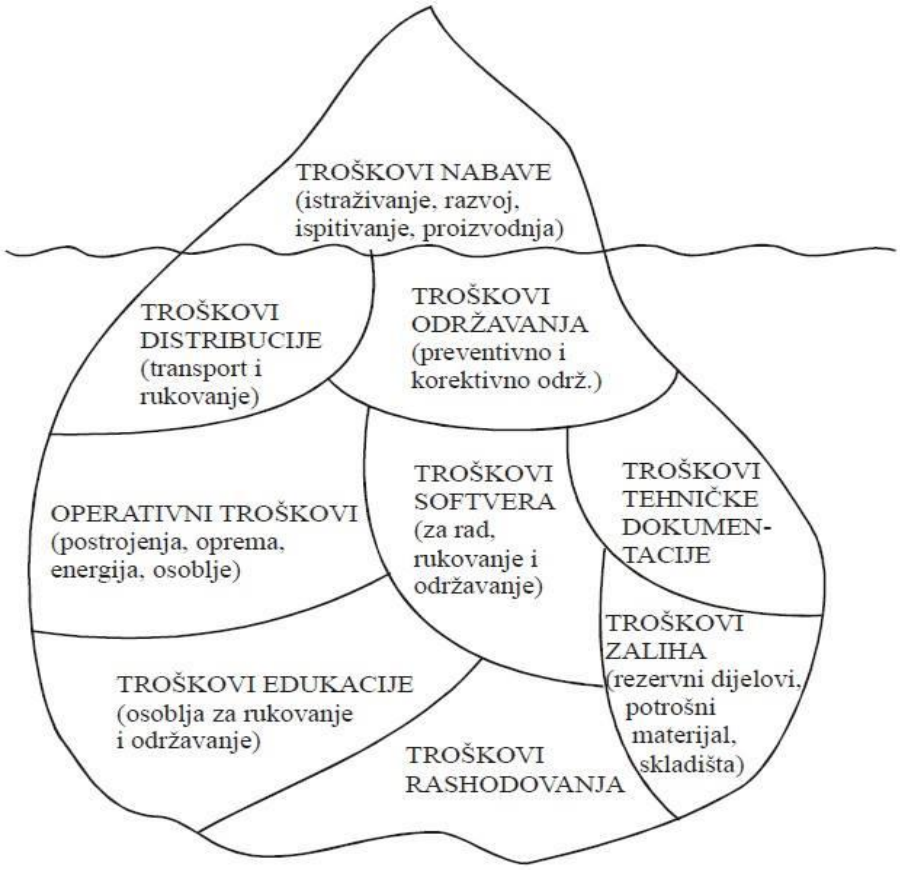
Može se definirati da je pouzdanost softvera vjerojatnost rada bez otkaza softverske komponente ili sustava u određenom okruženju u određeno vrijeme.

Primjer, pouzdanost softvera za određeni proizvod može biti jednaka 0.89 za 11 satni interval, kada radi na određenoj hardverskoj platformi ili operacijskom sustavu kojim upravlja operator s određenom razinom vještine.

Intenzitet otkaza softvera je još jedna mjera za pouzdanost softvera kao stopu promijene srednje vrijednosti funkcije ili broja kvarova po jedinici vremena. Ova mjera je iskazana kao stopa otkaza, na primjer, softverski program ima moguć intenzitet otkaza 0.01 otkaza/satu. U dvije mjere ranije definirane, veća vjernost modeliranju rezultata ako je vremenska varijabla iskazana kao vrijeme izvršenja, a ne kalendarsko vrijeme.

3.2 Troškovi

Troškove tehničkih sustava, analizirani sa stajališta eksploatacije nužno se svode na troškove efektivnosti sustava. Pod troškovima efektivnosti sustava podrazumijevaju se troškovi ostvarivanja raspoloživosti i troškovi postizanja tražene pouzdanosti. Razlika između ukupnih troškova efektivnosti sustava i troškova nabave sustava može se uočiti na slici 6.



Slika 6. Troškovi životnog vijeka
Izvor [2]

Vidljivi dio troškova životnog vijeka sustava: troškovi nabave, bez obzira na to da li se tehnički sustav kupuje ili razvija (istraživanje, projekt, ispitivanje, proizvodnja).

Nevidljivi dio troškova životnog vijeka sustava: troškovi distribucije i rukovanja (transport, rukovanje, manipulacija), pogonski troškovi (kapaciteti, energija, oprema i dr.), troškovi edukacije (edukacija servisera i operatera), troškovi održavanja i remonta (preventivno i korektivno servisiranje), troškovi tehničke dokumentacije (upute, priručnici, katalozi, prospekti i dr.), troškovi zaliha (rezervni dijelovi, potrošni i repromaterijal,ambalaža), troškovi rashodovanja (troškovi vezani za dekomisiju i odlaganje tehničkog sustava).

Troškovi održavanja su nastali kao rezultat popravaka i preventivnog održavanja te se temelje na potrošnji resursa koji se koriste pri obavljanju održavanja. Takvi resursi mogu uključivati rezervne dijelove, troškove koji se odnose na popravak dijelova i povezani inventar, testiranje opreme koja se koristi, osoblje, postrojenja i papire. Troškovi povezani s učinkom i održavanjem su glavni elementi u sustavu troškova životnog ciklusa, te su uključeni u tome. Cilj održavanja u zamisli je smanjiti troškove životnog ciklusa sustava kroz smanjenje troškova sustava podrške.

Ovdje prikazani indikatori su primjer faktora koji utječu na troškove održavanja:

- Trošak održavanja sustava po radnim satima ($/OH)
- Trošak održavanja po popravku
- Trošak održavanja po mjesecu ($/mjesec)
- Trošak održavanja po zadatku ili po dijelu zadatka
- Omjer troškova održavanja prema ukupnim troškovima sustava
- Troškovi vezani za čišćenje okoliša

4. Vrste održavanja

Cilj održavanja je postizanje maksimalne raspoloživosti sredstava za rad uz što niže troškove održavanja.

Podciljevi održavanja su:

1. sprječavanje kvarova
2. otklanjanje slabih mjesta nad sredstvima rada
3. inovacije u održavanju
4. produžavanje radnog vijeka sredstva rada
5. skraćivanje vremena za popravke
6. smanjenje troškova materijala, prostora, radne snage,alata i opreme, rezervnih dijelova

Sprječavanje kvarova postiže se:

a) pregledom stanja, čišćenje i podmazivanjem
b) popravkom oštećenja
c) nadzorom u eksploataciji i tehničkom dijagnostikom

Otklanjanje slabih mjesta nad sredstvima rada postiže se:

a) praćenjem kvarova
b) analizom slabih mjesta
c) programima otklanjanja slabih mjesta (max. nivoa pouzdanosti)

Produživanje radnog vijeka sredstva rada postiže se:

a) tekućim održavanjem
b) planskim popravcima
c) pridržavanjem uputstava za eksploataciju

Skraćenje vremena za zahvate održavanja postiže se:

a) održavanjem po stanju
b) adekvatnom pripremom plana

Smanjenje troškova materijala postiže se:

a) izradom i popravcima rezervnih dijelova
b) upravljanjem zalihama rezervnih dijelova

Održavanje kao karakteristika dizajna se često mjeri u potrebnom vremenu izvršenja učinka. Jednostavnije i brže je održavati sustav što je sustav bolji s perspektive održavanja.

Osnovni tipovi održavanja su

- KOREKTIVNO ODRŽAVANJE
- PREVENTIVNO ODRŽAVANJE

4.1 Korektivno održavanje

Korektivno održavanje opisujemo kao neplanirane akcije inicirane otkazom sustava koje su potrebne da se sustav povrati u očekivani ili traženi nivo učinka.

Korektivni radovi služe da se njihovim izvođenjem uspostave narušene funkcije tehničkih sredstava koja su izašla iz dozvoljenih granica radne sposobnosti (otklone neispravnosti). Otkaz se po pravilu već dogodio, a nakon toga nastaju sve aktivnosti na njegovom otklanjanju.

Akcije korektivnog održavanja uključuju aktivnosti vezane uz rješavanje problema, rastavljanje, popravak, zamjenu, sastavljanje, poravnanje, prilagodbu, provjeru i druge.

Tipični ciklus korektivnog održavanja uključuje niz koraka:

1. Detekcija greške
2. Izolacija greške
3. Rastavljanje za dobivanje pristupa
4. Popravak (uklanjanje ili zamjena)
5. Sastavljanje

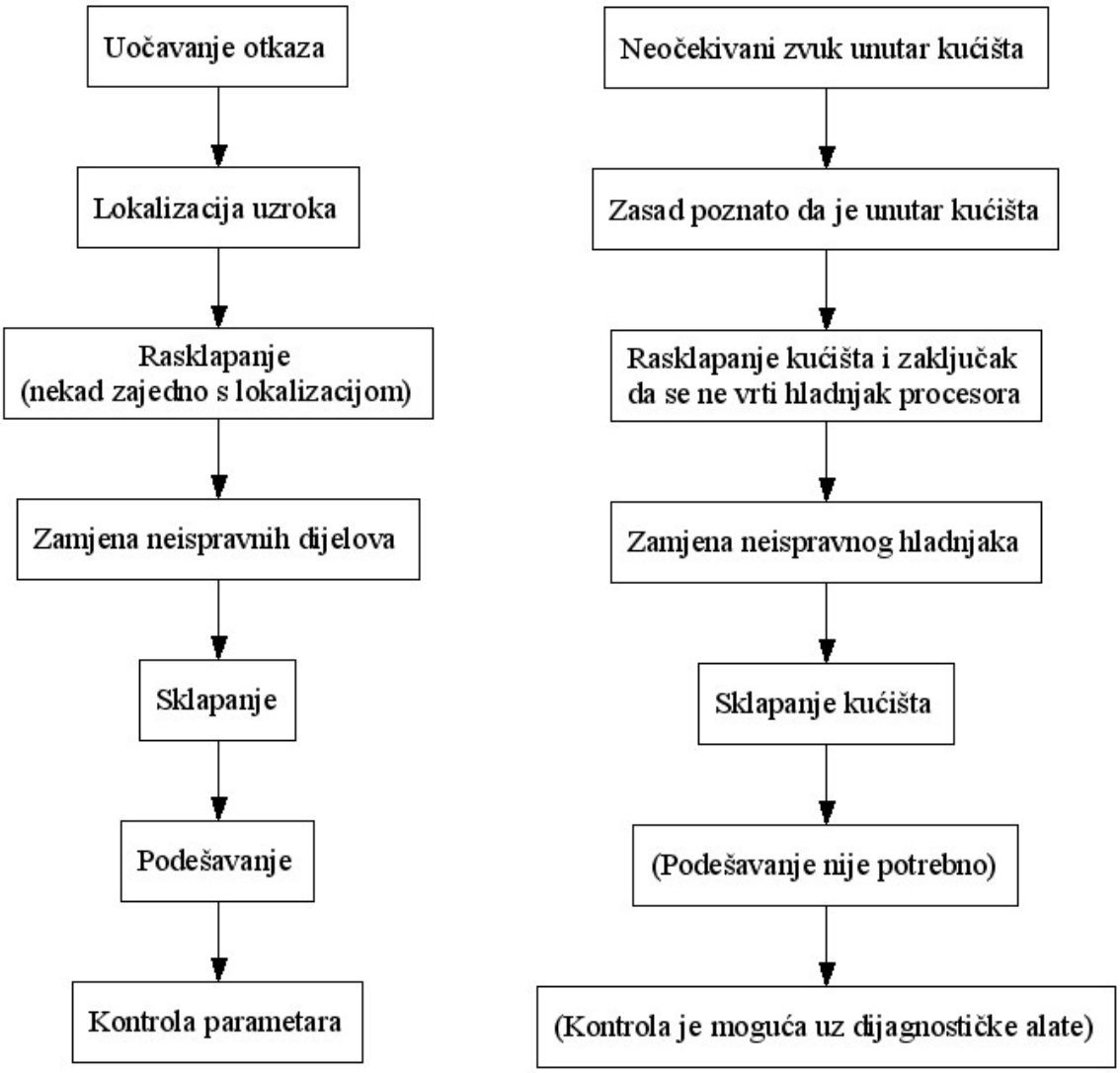
Korake korektivnog održavanja je vrlo jednostavno razumjeti i primijeniti. Što se događa kada u računalu prestane raditi hladnjak procesora? Posumnja se na neispravan rad hladnjaka. Još npr. uvidom u temperaturu hladnjaka nekim dijagnostičkim alatom (softverom) primijeti se da prelazi uobičajene vrijednosti i da je potrebno popraviti kvar. Micanjem poklopca kućišta uvjeri se da hladnjak ne vrti, zamijeni se neispravni dio, ponovno se sve složi i uvjeri se da sve radi kako treba. Time je slijeđen uobičajeni postupak korektivnog održavanja.

Prednosti ovakvog pristupa su najniža cijena i najveće iskorištenje resursa sustava (koriste se resursi dok god funkcioniraju). Što se nedostataka tiče, potrebno je istaknuti da je time

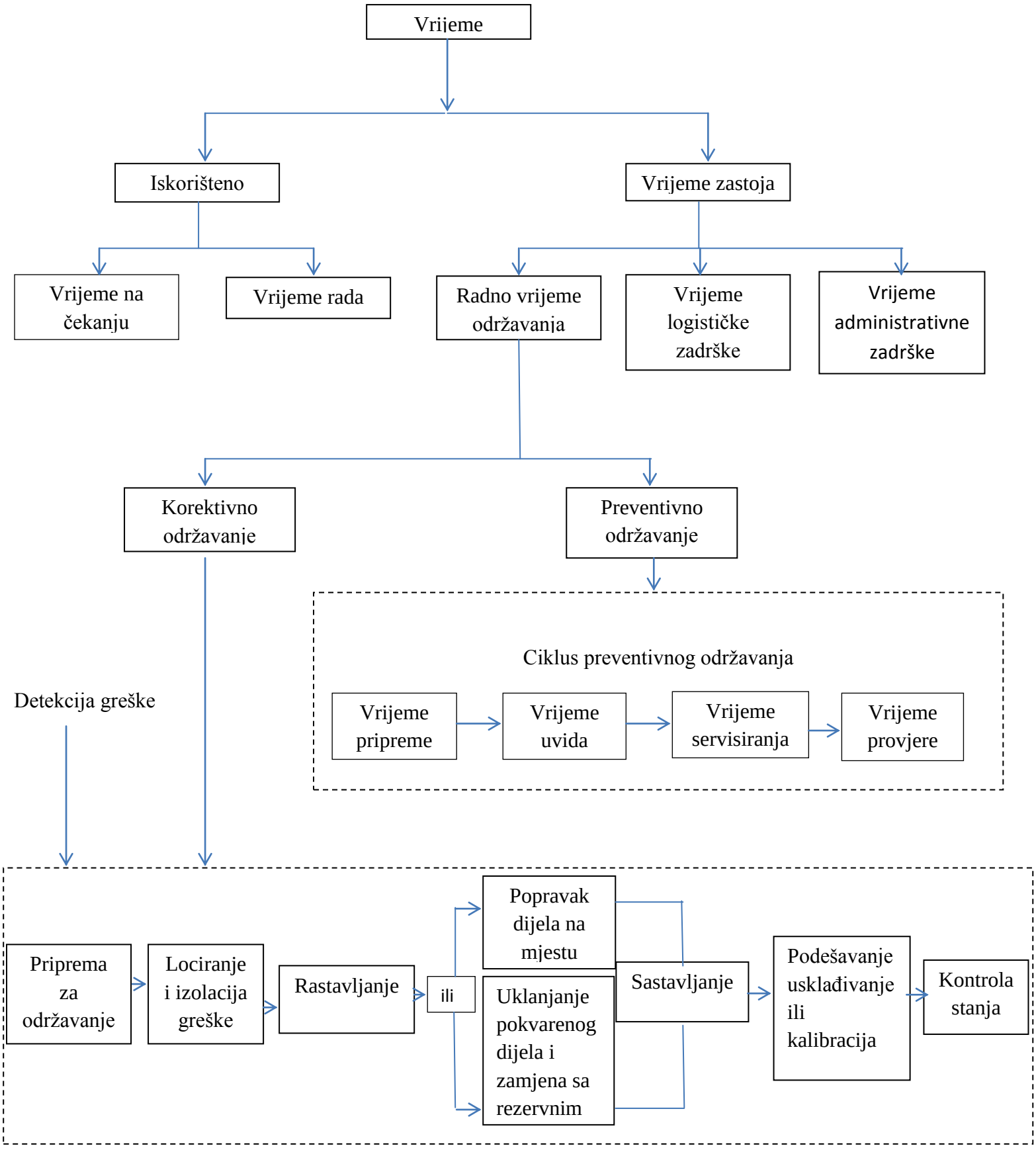
otežano planiranje, jer osim eventualno statističkih podataka, nije moguće znati kada će pojedini dijelovi sustava odnosno sustav u cjelini prestati s radom.

Time je otežana potpora radu sustava (postoji li spremna radna snaga za izvršavanje popravka, postoje li pričuvni dijelovi i oprema za popravak...). Kod velikih sustava, pogotovo u profesionalnoj primjeni, ne može se dopustiti da sustav prestane funkcionirati da bi ga ponovo osposobili (primjer je medicinska oprema ili avioni). Dakle, sustavi na koje se primjenjuje ovaj tip održavanja ne osigurava pouzdanost namjene.

Korektivno održavanje primjenjuje se kod elektroničke opreme i ostale tehnike kod kojih se kvarovi događaju pravilnim ritmom.



Slika 7. Primjer postupka korektivnog održavanja po koracima
Izvor [4]



Slika 8. Veze vremena održavanja
Izvor [1]

Srednje vrijeme korektivnog održavanja (M_{ct})

Korektivno održavanje je provedeno primarno zbog odaziva na prekidanje operacija sistema ili usluga uzrokovanih neočekivanim kvarom. Kako skoro uvijek postoji potreba za brzim popravcima u čim manjem vremenu, najveći značaj ima smanjenje vremena korektivnog održavanja na sustavnoj razini. Malo vrijeme dijagnostike povezano s uklonjenim i zamijenjenim konceptom održavanja može često rezultirati manjim vremenom stajanja na operacijskoj razini.

Srednje vrijeme korektivnog održavanja ili srednje vrijeme do popravka (MTTR) je složena vrijednost koja predstavlja aritmetičku sredinu vremena individualnog ciklusa održavanja za bilo koji broj individualnih održavanja kroz fazu iskorištenja sustava.

Srednje vrijeme korektivnog održavanja je izraženo kao:

$$\overleftarrow{M}_{\text{ct}} = \frac{\sum(\lambda i)(Mcti)}{\sum \lambda i} \tag{1.6}$$

Gdje je λ_i stopa otkaza a M_{cti} vrijeme korektivnog održavanja i elemenata sustava. Napisana formula (1.6) predstavlja težinu zadataka srednjeg korektivnog održavanja za sustav koji je dizajniran i kojem je preporučen pristup računanju M_{ct}. Nadalje M_{ct} obazire se samo na vrijeme zastoja potrošeno na izvođenje aktivnog održavanja ili na vrijeme potrošeno na radu direktno na sustavu.

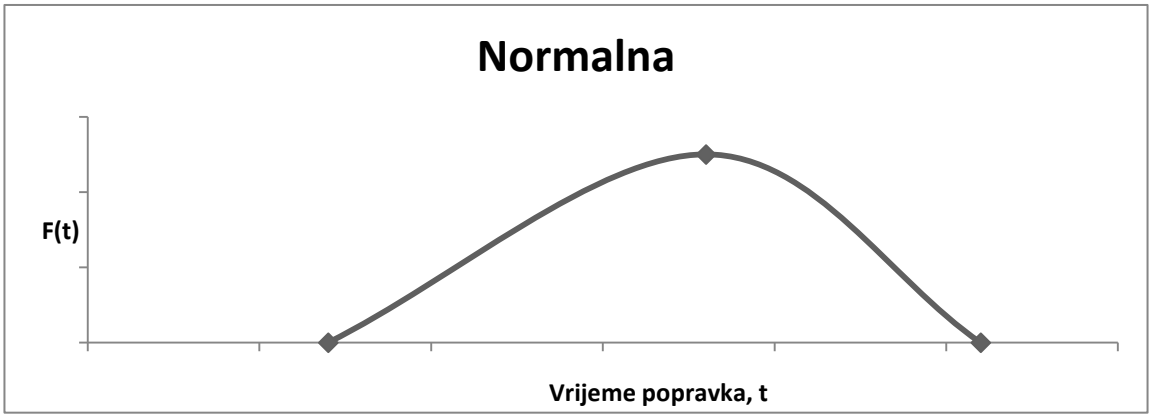
Vrijeme moguće distribucije korektivnog održavanja uobičajeno se dijeli u tri poznata oblika:

1. Normalna distribucija se primjenjuje uglavnom na mehaničke ili elektromehaničke dijelove, obično s konceptom održavanja, uklanjanja i zamjene gdje većina individualnih popravaka dokazuje mala odstupanja od sredine.
2. Eksponencijalna distribucija se povremeno koristi za elektroničku opremu s dobrom sposobnošću ugradnje i konceptom održavanja bržeg uklanjanja i zamjene, povremeno se koristi u svrhu modeliranja pouzdanosti. Ipak nagađanja mogu dovesti do netočnih podataka, kako većine popravaka zahtjeva malo vremena ukupnog popravka.
3. Dugačka-normalna distribucija se uglavnom primjenjuje na elektroničku opremu bez testa mogućnosti ugradnje i kao većina zadataka ima neravnomjerno vrijeme trajanja. Može se također primijeniti na elektromehaničkoj opremi s puno načina raspodjele vremena individualnog popravka.

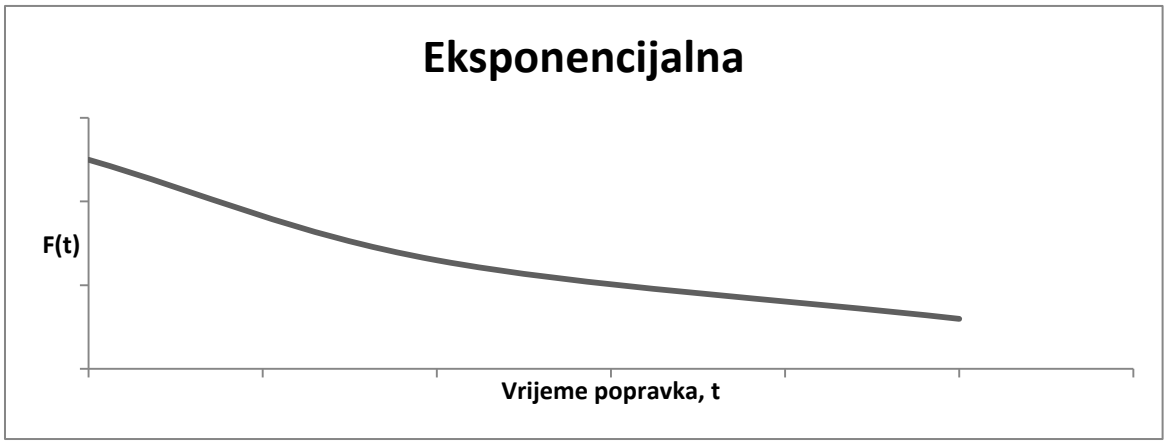
U prošlosti, dijeljenje vremena održavanja za elektroničku opremu se često približavalo dugoj-normalnoj distribuciji. Kad je vrijeme popravaka u biti konstantno, stopa popravaka i određeno vrijeme održavanja može biti prikazano kao

$$P_r = 1 - P_{\text{no repair}} = 1 - e^{-\mu\tau} \quad (1.7)$$

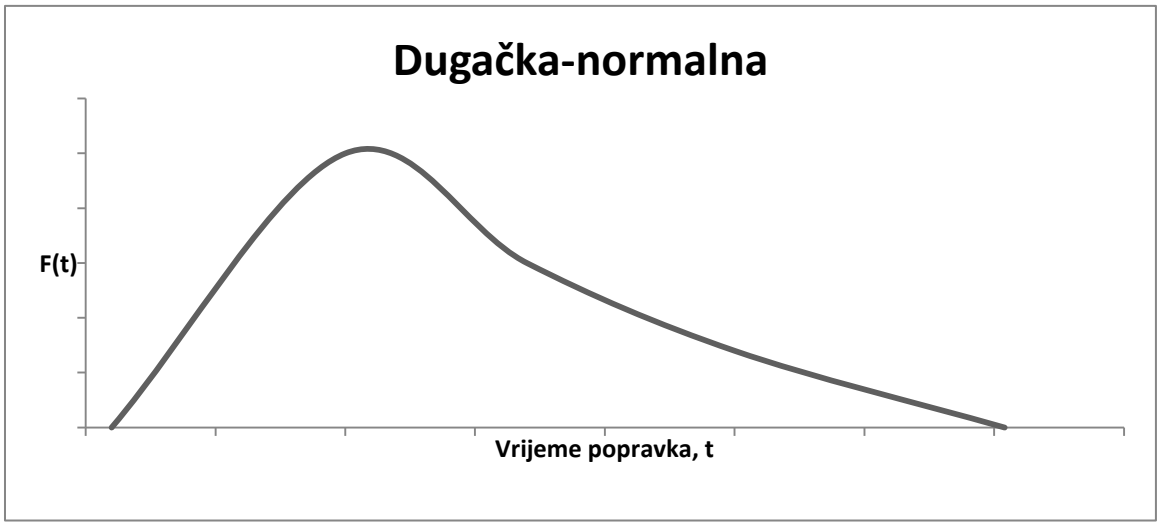
Gdje P_r je vjerojatnost uspješnog popravka u određenom vremenskom intervalu, P_{norepair} je vjerojatnost ne ostvarenja popravka i τ je određeni vremenski interval.



Grafikon 2. Normalna distribucija



Grafikon 3. Eksponencijalna distribucija



Grafikon 4. Dugačka - normalna distribucija

4.2 Preventivno održavanje

Preventivno održavanje opisujemo kao planirane akcije koje su potrebne kako bi sustav povratio određenu razinu učinka. Akcije održavanja mogu uključivati periodične inspekcije, kalibriranje, uvjetovani nadzor i zamjenu kritičnih stavki u određenim vremenskim intervalima.

Periodički se preventivno održavanje izvodi na sljedeće načine:

• **Vremenski orijentirano** – Nakon isteka određenog vremena sustav se pregledava i servisira. To može biti nakon 100 sati, nakon tjedan dana, svakih 10 dana, jednom mjesečno i slično.

• **Radno orijentirano** – Sustav se pregledava i servisira nakon što je radio određen vremenski period. Razlika u odnosu na vremenski orijentirano održavanje može se ilustrirati na sljedeći način:

Neka se lokomotiva održava na temelju rada nakon 100 sati vožnje. Recimo da u nekom kontinuiranom vremenskom periodu odvozi 80 sati, i nakon dva tjedna odvozi još 20 sati. Vremenski je prošlo više od 100 sati, ali je lokomotiva ukupno radila 100 sati i tek se tada izvodi održavanje.

Pod preventivnim održavanjem smatramo redovite preglede, zamjenu dijelova za koje mjerenjem svojstava ili praćenjem degradacije utvrdimo da bi mogli otkazati, čišćenje, kontrolu ispravnosti instrumenata i sl.

Prednosti ovakvog pristupa održavanju su jednostavnije planiranje (znamo da će to biti nakon određenog vremenskog perioda) i što tako sustav održavamo pouzdanim i sigurnim.

Nedostatci su skuplje održavanje nego što je korektivno a ujedno je i vremenski sustav manje raspoloživ pa je manje iskorištenje resursa sustava.

Vremenski orijentirano održavanje također zahtijeva velike resurse radne snage, a nije učinkovito ako se otkaz dogodi između dva pregleda.

Srednje vrijeme preventivnog održavanja ($\overline{\mathbf{M}}$pt)

Preventivno održavanje podrazumijeva aktivnosti za zadržavanje sustava na određenom stupnju kvalitete, kao što su: pregled, podešavanje, prilagođavanje, i zamjena.

Sveobuhvatni cilj programa preventivnog održavanja je odgoditi istrošenost karakteristika operativnog sustava. Dok pažljivo prilagođen program može utjecati na poboljšanje kvalitete sustava i smanjenje vremena zastoja, loše projektiran program preventivnog održavanja može biti skup i imati negativan utjecaj na operativni sustav. Prosječno vrijeme preventivnog održavanja ($\overline{M}pt$) je dano kao:

$$\overline{M}pt = \frac{\sum(Mpt_i)(fpt_i)}{\sum fpt_i} \tag{1.8}$$

gdje je Mpt_i proteklo vrijeme *i*-tog zadatka preventivnog održavanja, a fpt_i frekvencija *i*-tog zadatka preventivnog održavanja u sustavu radnih sati. Ovdje $\overline{M}pt$ uključuje samo zastoje za ostvarivanje aktivnog održavanja. Vrijeme administrativnog i logističkog kašnjenja nije uključeno. Iako se neki zadaci preventivnog održavanja mogu izvesti dok je sustav u radu, u većini slučajeva mora doći do zastoja sustava.

Preventivni sustav održavanja obuhvaća sljedeće kategorije radova:

- čišćenje, podmazivanje i zaštitu od korozije
- preglede (revizije, inspekcije)
- podešavanje
- baždarenje
- traženje i otklanjanje slabih mjesta
- tehničku dijagnostiku
- zamjenu dijelova
- srednje popravke
- generalne popravke
- rekonstrukciju i modifikacije

Čišćenje predstavlja operaciju uklanjanja svih za normalan rad tehničkog sredstva štetnih i nepotrebnih materijala. Čišćenje samih tehničkih sredstava obavljaju uglavnom korisnici - rukovoditelji, dok se za čistoću na generalnom planu mora brinuti posebna služba.

Podmazivanje sadrži provjeru stanja, dopunjavanje utrošenih količina i zamjenu istrošenih ulja i maziva na predviđenim mjestima, a po količini i karakteristikama i vremenskoj učestalosti za osiguravanje pouzdanog funkcioniranja tehničkog sredstva.

Zaštita od korozije predstavlja uklanjanje za rad tehničkog sredstva štetnih materijala i nanošenje zaštitnih slojeva antikorozivnog materijala, njihovu kontrolu i obnavljanje u skladu s uvjetima eksploatacije.

Pregledi (revizije, inspekcije) predstavljaju uvid u stanje karakterističnih obilježja, određenih elemenata tehničkog sredstva, na prikladan način metodama opservacije i mjerenja, uz korištenje odgovarajućih sredstava - instrumenata i uređaja po utvrđenom vremenskom rasporedu.

Podešavanje (reguliranje) podrazumijeva usklađivanje međusobnih odnosa sastavnih dijelova, ili dovođenje izlaznih karakteristika dijelova u područje dozvoljenih odstupanja. Izvodi se po utvrđenom vremenskom rasporedu. Izvode ga, u zavisnosti od obujma i složenosti, korisnici - radnici službe održavanja.

Baždarenje je postupak koji ima za cilj određivanje vrijednosti grešaka mjernih instrumenata. Izvode ga specijalizirane organizacijske jedinice unutar ili izvan organizacije održavanja, opremljene posebnom opremom, u okviru posebnih postrojenja, s posebno obučenom radnom snagom i po posebnom planu,odnosno učestalosti.

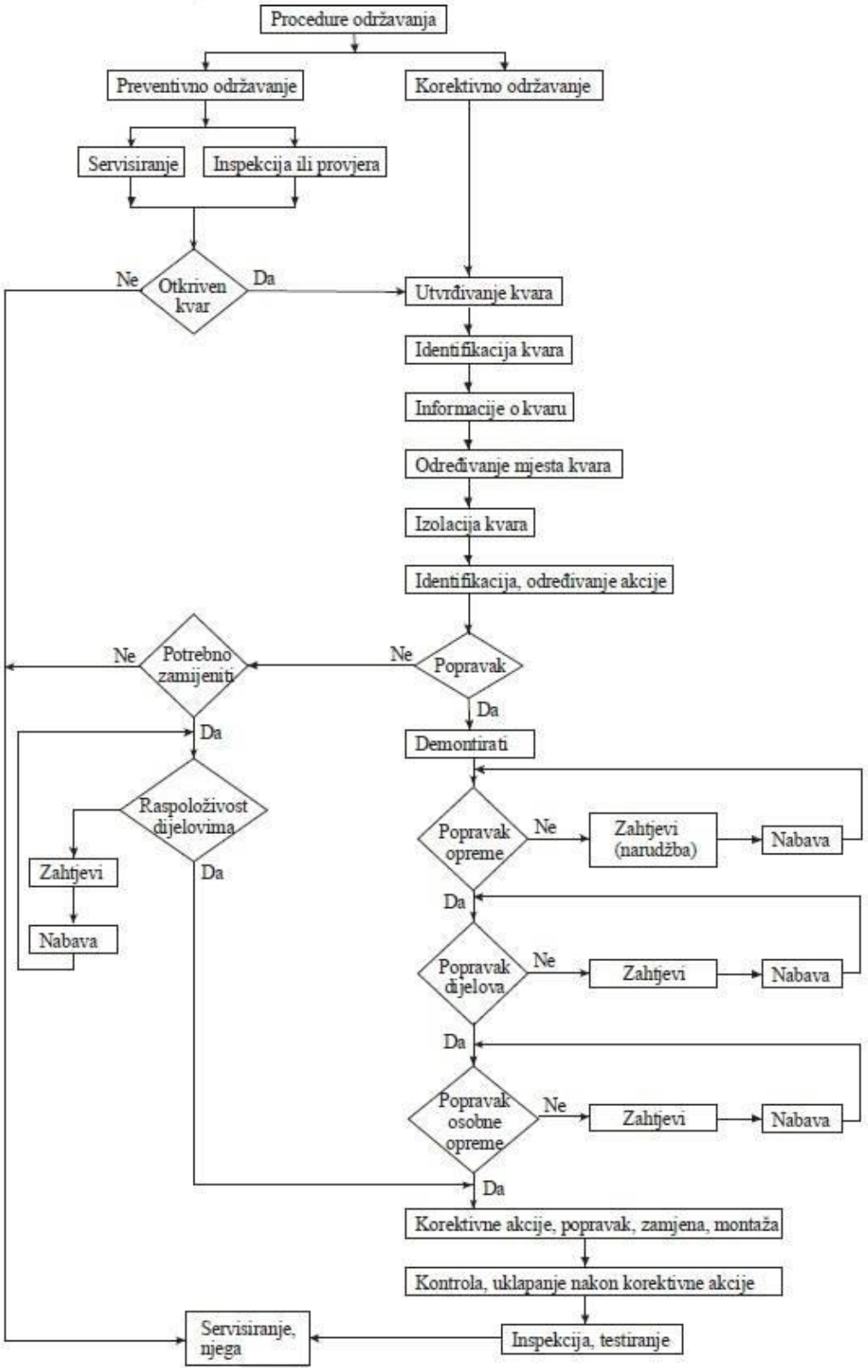
Traženje i otklanjanje slabih mjesta zasniva se na praćenju učestalosti neispravnosti, zastoja pri otklanjanju neispravnosti i troškova vezanih s tim, za elemente tehničkog sredstva koji su često neispravni, na osnovu izračunavanju veličine indeksa kvara. U principu, na ovaj način bi trebalo pratiti sve vrste elemenata nekog tehničkog sredstva. Otklanjanje slabih mjesta obično se vrši zamjenom elementa za koji se uoči da je često neispravan s elementom poboljšanih tehničkih karakteristika.

Tehnička dijagnostika podrazumijeva postupke, metode i veličine za određivanje i ocjenjivanje stanja tehničkih sredstava i zasniva se na prirodi nastanka velike veličine neispravnosti. Na osnovu rezultata tehničke dijagnostike donose se odluke koje će se akcije održavanja poduzeti.

Zamjena dijela je operacije demontaže istrošenog ili, po usvojenim kriterijima, dotrajalog dijela za zamjenu i montaža novog prema utvrđenom vanjskom rasporedu. Izvode je korisnici - radnici službe održavanja u ovisnosti od obujma i složenosti. Dijelovi koji se zamjenjuju obično su oni koji su najkraćeg vijeka trajanja, odnosno za njihovu zamjenu potreban je minimum tehničkog znanja.

Srednji popravak sadrži djelomičnu demontažu tehničkog sredstva sa zamjenom nekih elemenata koji imaju duži radni vijek, ispitivanjem i podešavanjem predviđenih elemenata, odnosno popravak određenih elemenata i ponovnu montažu s podešavanjem i ispitivanjem tehničkog sredstva pod opterećenjem, po un prijed satavljenom programu.

Rekonstrukcija i modifikacija podrazumijeva kombinaciju prethodnih kategorija radova uz ugradnju novih elemenata ili dijelova tehničkih sredstava koji imaju drugačije ili poboljšane tehničke karakteristike u odnosu na prethodne za istu funkciju koju su obavljali i primjenjuje se kod modernizacije tehničkih sredstava. Obično su obujma i složenosti srednjih i generalnih popravaka s kojima se najčešće kombiniraju.



Slika 9. Sustav preventivnog i/ili korektivnog održavanja
Izvor [2]

Logističko vrijeme kašnjenja (LDT)

LDT je vrijeme proteklo na čekanje potrebnog logističkog resursa. Taj resurs može biti rezervni dio, objekt ili servisi i procedure. Također može uključivati vrijeme za obavljanje vezanih administrativnih zadataka. LDT ne uključuje nijedan dio vremena aktivnog održavanja, ali vrlo često značajno doprinosi ukupnom zastoju.

Administrativno vrijeme kašnjenja (ADT)

ADT su zastoji zbog nekog administrativnog prioriteta ili ograničenja, ili bilo kojeg drugog razloga koji se ne uključuje u računanje LDT-a. Primjeri su prioriteti radnih zadataka i štrajkovi rada.

Zastoji održavanja (MDT)

MDT predstavlja ukupno vrijeme potrebno za popravak, obnavljanje sustava do određenog stupanja kvalitete, te za njegovo održavanje na toj razini. To ne obuhvaća samo vrijeme aktivnog održavanja (korektivno i preventivno) nego i administrativno i logističko vrijeme kašnjenja, kao što je prikazano na slici 10. MDT se obično izražava kao srednja vrijednost i funkcija je srednjih preventivnih i korektivnih vremena održavanja, njihovih relativnih frekvencija, te administrativnih i logističkih vremena kašnjenja. Izražava se kao

$$MDT = \overline{M} + ADT + LDT \tag{1.9}$$

Oprema zastoja tijekom korektivnog održavanja je funkcija frekvencije korektivnog održavanja, vremena za obavljanje pojedinih zadataka održavanja, i određenog vremenskog perioda. Dakle, očekivani zastoj se može izračunati kao

$$T_D = \lambda t\left(\overline{M}ct\right) \tag{2.0}$$

gdje je T_D oprema zastoja, λ je stopa kvara opreme, t je određeni vremenski period, a $\overline{M}ct$ je prosječno vrijeme za vraćanje opreme u njenu punu operativnu sposobnost (jednako je MTTR-u).

Na primjer, uzmimo u obzir komunikacijski sustav s predviđenom stopom kvara jednakoj 14 kvarova na tisuću sati rada i prosječnog korektivnog vremena jednakom 19 minuta. Pretpostavljajući da radni profil obuhvaća 1200 sati, ukupni zastoj sustava je jednak

$$T_D = 1200(0.014)(0.317) = 5.32\ sati$$

U slučaju da je vrijeme ograničeno, proširena jednadžba (2.0) glasi:

$$T_D = t\sum_{i=1}^{n}\left(\lambda_i \overline{M} ct_i\right) \tag{2.1}$$

Gdje λ_i i $\dot{M}ct_i$ predstavljaju intenzitet kvara i vrijeme popravka za svaku popravljivu ili zamjenjivu komponentu u opremi. Uzimajući u obzir još jednom komunikacijski sustav o kojem se ranije u tekstu govorilo. Pretpostavljajući da je ovaj sustav sastavljen od tri glavna sklopa, od prijamnika (λ = 2 kvara/1000 radnih sati; $\dot{M}ct_i$ = 14 minuta), odašiljač (λ = 6 kvarova/1000 radnih sati; $\dot{M}ct_i$ = 11 minuta), i kontrole (λ = 6 kvarova/1000 radnih sati; $\dot{M}ct_i$ = 32 minuta). Pretpostavljajući da je radni ciklus isti od 1200 sati, Formula (2.1) može se izraziti ovako

T_D= 1200[(0.002)(0.233)+(0.006)(0.183)+(0.006)(0.533)]= 5.72 sata

5. Prijedlog za poboljšanje organizacije sustava održavanja

Pojam procesa održavanja podrazumijeva svaku modifikaciju sustava nakon početka eksploatacije kako bi se sustav zadržao u ispravnom radu, unaprijedile njegove karakteristike ili neka druga obilježja. Primjerice, kao bi se prilagodio prema preinačenim karakteristikama opreme. Ne manje važno za proces održavanja je i odlučiti kad mijenjati sustav ili neke njegove cjeline.

Proces održavanja moguće je prikazati kao zatvoreni ciklus koji počinje zahtjevom da se izvede promjena (radnja, modifikacija), a završava uvođenjem u rad (eksploataciju). Organizacijski (poslovno) orijentirani model prati aktivnosti koje treba izvršiti u okviru procesa održavanja i tokove informacija između tih aktivnosti. Upravo zato uočava se nužnost uvođenja baza podataka u sustav održavanja.

Baze podataka omogućuju inženjerima razvoj modela održavanja s ciljem procjena nemjerljivih podataka u procesu održavanja. Primjerice dobro postavljenim informacijskim sustavom mogao bi dati važne odgovore na pitanja vezana za održavanje sustava prema prestanku rada. Informacijski sustav bi treba bit u mogućnosti dati odgovore na pitanja koja pomažu u odluci što sa sustavom s obzirom na otkaze, a ta pitanja su najčešće:

- Jesu li troškovi održavanja previsoki?
- Jeli pouzdanost sustava neprihvatljiva?
- Može li se sustav prilagoditi daljnjim izmjenama u razumnom vremenu?
- Jesu li performanse sustava i dalje izvan propisanih ograničenja?
- Koriste li se sistemske funkcije dovoljno?
- Može li drugi sustavi raditi isti posao bolje, brže ili jeftinije?
- Jesu li troškovi održavanja dovoljno visoki pa je njihova zamjena opravdana?

Stoga bitan čimbenik u procesu održavanja je zasigurno precizno projektiran i izgrađen upravljački informacijski sustav, temeljen na suvremenim informacijskim tehnologijama. Informacijski sustav iskazuje se i u razviju modela održavanja prema stanju.

Održavanje prema stanju oblik je preventivnih aktivnosti jer se izvodi prije kvara. Pokreće se kao rezultat poznavanja stanja sustava ili njegovih komponenata na osnovu dobro postavljenog informacijskog sustava. Kod održavanja prema stanju kontinuirano se prate

definirani parametri i intervenira se samo onda ako je određena mjera izvan granica. U slučajevima gdje je stopa kvara konstantna i kad se želi izvoditi preventivno održavanje, potrebno je odabrati održavanje po stanju. Tehnički sustavi pružaju mogućnost primjene većeg broja modela održavanja prema stanju, a najčešće se radi o kontroli parametara, a moguća je kontrolirati i razinu pouzdanosti.

Upravo održavanje prema stanju s kontrolom razine pouzdanosti zahtjeva dobro razrađen informacijski sustav jer je za njega nužno prikupljanje, obrada i analiza podataka o pouzdanosti sastavnih komponenata ili sustava. Uz činjenicu da svi analizirani modeli održavanja imaju svojih prednosti i mana, zanimao nas je izbor optimalnog modela za većinu složenih sustava što se nije moglo sa sigurnošću utvrditi. Prema dostupnim podacima izdvojio se *sustav održavanja prema stanju s kontrolom razine pouzdanosti* u analiziranim primjenama i iz razloga jer se dobro uklapa u aktivnost održavanja koje su potrebne zbog promjena dijela uređaja i opreme.

6. Zaključak

Promatrajući mehaničke, električke i računalne sustave oko sebe, primjećujemo da oni izvršavaju određenu funkciju u nekom razdoblju vremena. Dobro organiziran, obučen i stručno vođen sustav održavanja onemogućuje da dođe do neželjenog ili neočekivanog ispunjavanja zadanih funkcija.

Značaj sustava održavanja danas je vidljiv u svim većim tvrtkama, a problemi koji se javljaju najčešće su vezani za:

- nedovoljne vještine ili stupanja obučenosti (drugorazredni status tima za održavanje),
- nepotpune, pogrešne informacije o efektima problema ne održavanja sustava,
- nedovoljno dobro kontroliranje sustava (potreba za kompromisom)
- brza raspoloživost sustava bez adekvatnog testiranja.

Za rješavanje problema održavanja različitih sustava klasična je procedura koja se može sažeti u sljedeće radnje:

- izabere se modeli na temelju svih relevantnih informacija, u skladu sa strategijom projektiraju se procesi održavanja,
- definira se plan i program izvođenja pojedinih procesa,
- izvode se i prate svi radovi,
- na kraju analiziraju rezultati za što je nužno razvijati precizno projektiran i izgrađen upravljački informacijski sustav.

Izvršena kvalitativna analiza pojedinih modela ne može biti dovoljna za ocjenu izbora optimalnog modela održavanja, jer se odnosi na izabrani skup kriterija iz djelokruga operativnih sposobnosti. Da bi se izabrao optimalni model neophodno je da se sprovede detaljna ekonomska i taktičko-tehnička analiza pojedinih modela održavanja.

U radu je su analizirani samo neki modeli održavanja i temeljem toga je izdvojen model „*održavanja prema stanju s kontrolom razine pouzdanosti*“. Međutim, za konkretnu organizaciju održavanja, pri izboru modela održavanja, moraju se uzeti u obzir i drugi modeli koji nisu obuhvaćeni ovim radom.

Literatura

[1] Blanchard, B. S.: *System Engineering Management*, John Wiley & Sons, N. Y. 1991).

[2] Belak, S.: *Terotehnologija,*Visoka škola za turistički menadžment, Šibenik 2005

[3] Kilibarda, M,: Logistički kontroling kao podrška upravljanju kvalitetom u logistici, Beograd 2007

[4] URL : http://www.ss-strukovna-vvlatkovica-zd.skole.hr/images/pages/Nastavni_materijali/Spahic/DIOU/diou-1-uvod.pdf

[5] Bazijanac, E., Božić, D., Budimir, D.: Tehnička logistika, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2015.

[6] Mavrin, I., Budimir, D.:Tehnička logistika, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 2013.

Popis kratica

MTBM (Mean Time Between Maintenance) prosječno vrijeme između održavanja

MTBF (M ean Time Between Failure) srednje vrijeme između otkaza

MTBR (Mean Time Between Replacement) prosječno vrijeme između zamjene dijelova

MTBD (Mean Time Between Demand) prosječno vrijeme između zahtjeva za održavanjem

MMH/MA (Mean Manhours per Maintenance Action) radni sati održavanja po radnji

MMH/month (Mean Manhours per Month) radni sati održavanja po mjesecu

MTTF (Mean Time Till Failure) Srednje vrijeme do otkaza

LDT (Logistic Delay Time) Logističko vrijeme kašnjenja

ADT (Administrative Delay Time) Administrativno vrijeme kašnjenja

MDT (Mean Delay Time) srednje vrijeme zastoja održavanja

Popis slika

1. Organizacija proizvođača 5
2. Podjela inženjerskih aktivnosti 6
3. Neočekivano održavanje 15
4. Primjer funkcije pouzdanosti 17
5. Učestalost otkaza 19
6. Troškovi životnog vijeka 23
7. Primjer postupka korektivnog održavanja po koracima 27
8. Veze vremena održavanja 28
9. Sustav preventivnog i/ili korektivnog održavanja 36

Popis tablica

1. Funkcionalna organizacija – prednosti i nedostaci 7
2. Izračunavanje funkcije pouzdanosti 17

Popis grafikona

1. Tipičan rast krivulje pouzdanosti 21
2. Normalna distribucija 31
3. Eksponencijalna distribucija 31
4. Dugačka - normalna distribucija 31

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih
znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj završni rad isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu završnog rada pod naslovom **"Utjecajni čimbenici organizacije sustava održavanja"**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

Student/ica:

U Zagrebu, 18.4.2017

(potpis)