

**KARLO BRATIĆ**

**ANALIZA PRIMJENE SUVREMENIH  
STRATEGIJA ODRŽAVANJA U  
POMORSTVU**

**DIPLOMSKI RAD**

**SPLIT, 2016.**

**SVEUČILIŠTE U SPLITU  
POMORSKI FAKULTET**

**STUDIJ : BRODOSTROJARSTVO**

**ANALIZA PRIMJENE SUVREMENIH  
STRATEGIJA ODRŽAVANJA U  
POMORSTVU**

**DIPLOMSKI RAD**

**MENTOR:**

**Doc.dr.sc. Ivan Komar**

**STUDENT:**

**Karlo Bratić (MB:0171255734)**

**SPLIT, 2016.**

# SADRŽAJ

<b>1. UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2. OPĆENITO O ODRŽAVANJU .....</b>	<b>3</b>
2.1. DEFINICIJA I CILJEVI ODRŽAVANJA .....	3
2.2. SUSTAV ODRŽAVANJA .....	6
2.3. POJAM KVARA.....	7
<b>3. POUZDANOST TEHNIČKIH SUSTAVA .....</b>	<b>9</b>
3.1. POUZDANOST – OPĆENITO .....	9
3.2. KVAROVI U RADU .....	11
3.2.1. Svojtstveni kvarovi .....	12
3.3. UČINKOVITOST TEHNIČKIH SUSTAVA .....	16
3.3.1. Funkcija kriterija .....	16
3.3.2. Troškovi učinkovitosti .....	17
<b>4. METODE ODRŽAVANJA .....</b>	<b>18</b>
4.1. KOREKTIVNO ODRŽAVANJE .....	18
4.2. PREVENTIVNO ODRŽAVANJE .....	19
4.3. SUVREMENE METODE ODRŽAVANJA .....	22
4.3.1. Terotehnološki pristup održavanju .....	22
4.3.2. Logistički koncept održavanja .....	24
4.3.3. Održavanje po stanju.....	24
4.3.4. Plansko održavanje .....	29
4.3.5. Potpuno cjelovito održavanje.....	30
4.3.6. Održavanje usmjereno na pouzdanost.....	33
4.3.7. Ekspertni sustavi (engl. <i>Expert systems</i> ).....	36
4.3.8. Koncept samoodržavanja .....	40
<b>5. PRIMJENA SUVREMENIH STRATEGIJA U ODRŽAVANJU .....</b>	<b>44</b>
5.1. PREDNOSTI SUVREMENIH STRATEGIJA U ODRŽAVANJU .....	44
5.2. OPTIMIZACIJA PREVENTIVNIH RADNJI ODRŽAVANJA I INTERVALA PREGLEDA .....	50
<b>6. PODEŠAVANJE I OBLIKOVANJE KONCEPTA ZA ODRŽAVANJE .....</b>	<b>53</b>
6.1. STRUKTURA TROŠKOVA ODRŽAVANJA .....	53
6.2. METODA ZA PODEŠAVANJE I OBLIKOVANJE KONCEPTA ODRŽAVANJA ..	54
6.3. MOGUĆNOSTI PROŠIRENJE I POBOLJŠANJE MA-CAD METODE .....	57
6.4. IZABRANI PROPULZIJSKI SUTAV I REZULTATI UČESTALOSTI KVAROVA	59
6.5. ANALIZA I PODEŠAVANJE KONCEPTA ODRŽAVANJA .....	62
6.5.1. Analiza modela za podešavanje i oblikovanje kocepta održavanja .....	66

## **SAŽETAK**

U radu su analizirane prednosti i nedostaci suvremenih strategija održavanja. Boljim razumijevanjem suvremenih strategija održavanja stvara se podloga za analizu stanja održavanja pojedinog dijela broskog sustava. Također, navedene su mogućnosti poboljšanja odnosno optimiranja pristupa održavanja za određeni broski sustav. Cilj rada je što više približiti mogućnosti poboljšanja održavanja odnosno pristupa održavanju, kao i stava prema održavanju. Kao osnovni preduvjet za optimiranje održavanja pojedinog sustava postavlja se poznavanje poznatih strategija održavanja, kao i njihovih prednosti i nedostataka. Potom se određuje način na koji će se optimiranje održavanje provesti za pojedini sustav. Dodatni cilj rada je prikazivanje što se sve može poboljšati primjenom prilagođene strategije održavanja, na koji način se to može izvesti, te kakav utjecaj to ima na pouzdanost, ali i na troškove održavanja.

Ključne riječi: održavanje, suvremene strategije, poboljšanje.

## **ABSTRACT**

In this paper advantages and disadvantages of contemporary strategies of maintenance are analysed. Better understanding of contemporary strategies of maintenance creates platform for state analysis for the specific part of ship's system. Also, for the specific part of ship system options for improvement are listed. Goal of this paper is moreover to describe options of improvements of maintenance approaches, as also attitude towards maintenance. As basic condition for optimization of maintenance it is considered to be knowledge about well known maintenance strategies, and also their ups and downs. After that is established, then is determined the way in which will optimisation of maintenance be conducted for each system. Additional goal of this paper is to show everything that can be improved by applying adjusted strategy of maintenance, how can it be conducted and what kind of effect it can have on reliability and maintenance costs.

Key words: maintenance, contemporary strategies, improvement.

## 1. UVOD

S ubrzanim razvojem tehničkih sustava na globalnog razini od 70-tih prošlog stoljeća , ubrzano se razvijala i svijest o održavanju. Razvojem kompleksnijih tehničkih sustava o visokom učinkovitosti, te velikim mogućnostima razvila se potreba za odgovarajućim načinom održavanja takvih sustava. U radu će biti prikazane suvremene strategije održavanja, te se opisuje njihova svrha nastanka kao i njihova primjena na održavanju tehničkih sustava.

U prvom dijelu rada definirati će se svrha i ciljevi održavanja, te će se opisati kako se odnos prema održavanju tehničkih sustava mijenjao tijekom posljednjih nekoliko desetljeća. S obzirom da je kvar jedan od najbitnijih pojmova općenito kod tehničkih sustava, a osobito kada se radi o održavanju tehničkih sustava detaljnije će se opisati osnovni pojmovi koji opisuju kvar.

U idućem poglavlju je prezentirana definicija pouzdanosti, te će se istaknuti faktori koji utječu na pouzdanost. Opisana je pojam procijenjene pouzdanosti i razine povjerenja. Nadalje, naglasiti će se pojam stanja tehničkog sustava jer se stanjem opisuje stupanj realizacije zadane funkcije za pojedini sustav. Istaknuti će se pojam učinkovitosti tehničkog sustava kao važan parametar koji se može mjeriti za vrijeme eksploatacije određenog sustava, te daje temelj za definiranje projektnih zahtjeva za neke slične buduće složene tehničke sustave. Učinkovitost se opisuje kao vjerojatnost ispunjavanja funkcije kriterija u određenom vremenu, svaka funkcija kriterija se određuje zasebno za pojedini tehnički sustav.

Nadalje, daje se opis strategija održavanja te se predstavlja njihova osnovna podjela. Za svaku strategiju se daje uvid u prednosti i nedostatke korištenja pojedine strategije održavanja. U ovom poglavlju su poredane kako kronološki tako i po složenosti pojedine strategije, te su na kraju poglavlja navedene strategije koje će se u budućnosti još razvijati dok ne nađu neku širu primjenu. Također, se spominju strategije koje se i danas primjenjuju, ali samo kod najnovijih tehničkih sustava jer ih je u praksi gotovo nemoguće implementirati na već postojeće tehničke sustave.

U predzadnjem poglavlju će se opisati prednosti korištenja suvremenih strategija održavanja, te su opisani postavljeni zahtjevi za bezotkaznošću i minimalnim zastojevima zbog održavanja. Opisuje se raspored usavršavanja sustava održavanja te se stavlja naglasak na proaktivni stav u održavanju koji se uzima kao osnovni koraka pri implementaciji

suvremenih strategija održavanja. Također, se ističe način na koji se provodi optimizacija preventivnih radnji održavanja i intervala pregleda, te sama svrha optimizacije. U zadnjem poglavlju opisati će se detaljno metoda za podešavanje i oblikovanje koncepta održavanja za pojedini tehnički sustav. Metoda se primarno zasniva na podacima koji su prikupljeni kroz određeni vremenski period, te se definira cilj koji predstavlja smanjenje rizika na način da se smanji vjerojatnost pojave kvara. Za kraj će se istaknuti mogućnosti usavršavanja ove metode te se prikazuju određene mogućnosti na primjeru. Za zadani primjer se prikupljeni podaci analiziraju te se saznaju komponente koje su najčešće u kvaru te se optimira način održavanja za određeni tehnički sustav.

## 2. OPĆENITO O ODRŽAVANJU

### 2.1.DEFINICIJA I CILJEVI ODRŽAVANJA

Održavanje je kompleks aktivnosti administrativnog, organizacijskog, tehničkog i tehnološkog karaktera čiji je cilj očuvanje i poboljšanje radnih karakteristika ili pak osiguranje stanja održavanog sredstva u kojem sredstvo ima sposobnost obavljanje namjenske funkcije.

Održavanje kao funkcija poslovnog sustava zauzima danas važno i značajno mjesto u svakom poslovnom sustavu tako i u brodarstvu. Nije daleko vrijeme kada je održavanje tretirano kao “nužno zlo”, i kao sporedna djelatnost čiji je utjecaj na učinkovitost poslovanja smatran beznačajnim. Na to je utjecao brzi industrijski razvoj kao i stalni porast mehanizacije i automatizacije, zatim nagli porast fiksnih troškova u odnosu na varijabilne. Ovi kao i neki drugi razlozi utjecali su na to da se problemima u održavanju tehničkih sustava, u njihovom radnom vijeku, pridoda veći značaj. Održavanje brodova u brodarskom poduzeću postaje aktivnost od posebnog značaja, jer se odnosi na sve podsustave broda kao tehničkog sustava. Kao posljedica ovakvog prilaza nastaju objektivne potrebe za održavanjem brodova, čije izvođenje uz primjenu suvremenih metoda može donijeti velike uštede i učinke.

Najznačajniji faktori, sa stajališta održavanja su:

- cilj aktivnosti održavanja,
- postupci i tehnologije održavanja,
- strategija održavanja,
- principi održavanja,
- sustav održavanja,
- svojstva tehničkih sredstava i tehnologije,
- broj, struktura i lokacije proizvodne opreme tehničkih sredstava.

Zajednički ciljevi svih organiziranih sustava, a funkcija održavanja je takav sustav, su održavanje radne funkcije i razvoj. Da bi ih postigli moraju se zadovoljiti određene potrebe okruženja, koje su u skladu sa njihovom strukturom.

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

Podciljevi održavanja su:

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

Na slici 1., prikazane su: prve aktivnosti definiranja potreba za nabavu tehničkog sredstva (10) su rezultat aktivnosti u razvoju i istraživanju (9) i informacija koje dobijama preko povratne veze (10), koje idu preko svih ostalih aktivnosti. Međutim, definiranje cilja (2) je posljedica samo definiranih potreba (1) koje zavise od sustava koji se održava, vijeka trajanja proizvoda i mogućih troškova održavanja.

1. Sprječavanje kvarova postiže se:

- pregledom stanja, čišćenjem i podmazivanjem,
- popravkom oštećenja,
- nadzorom u eksploataciji i tehničkom dijagnostikom.

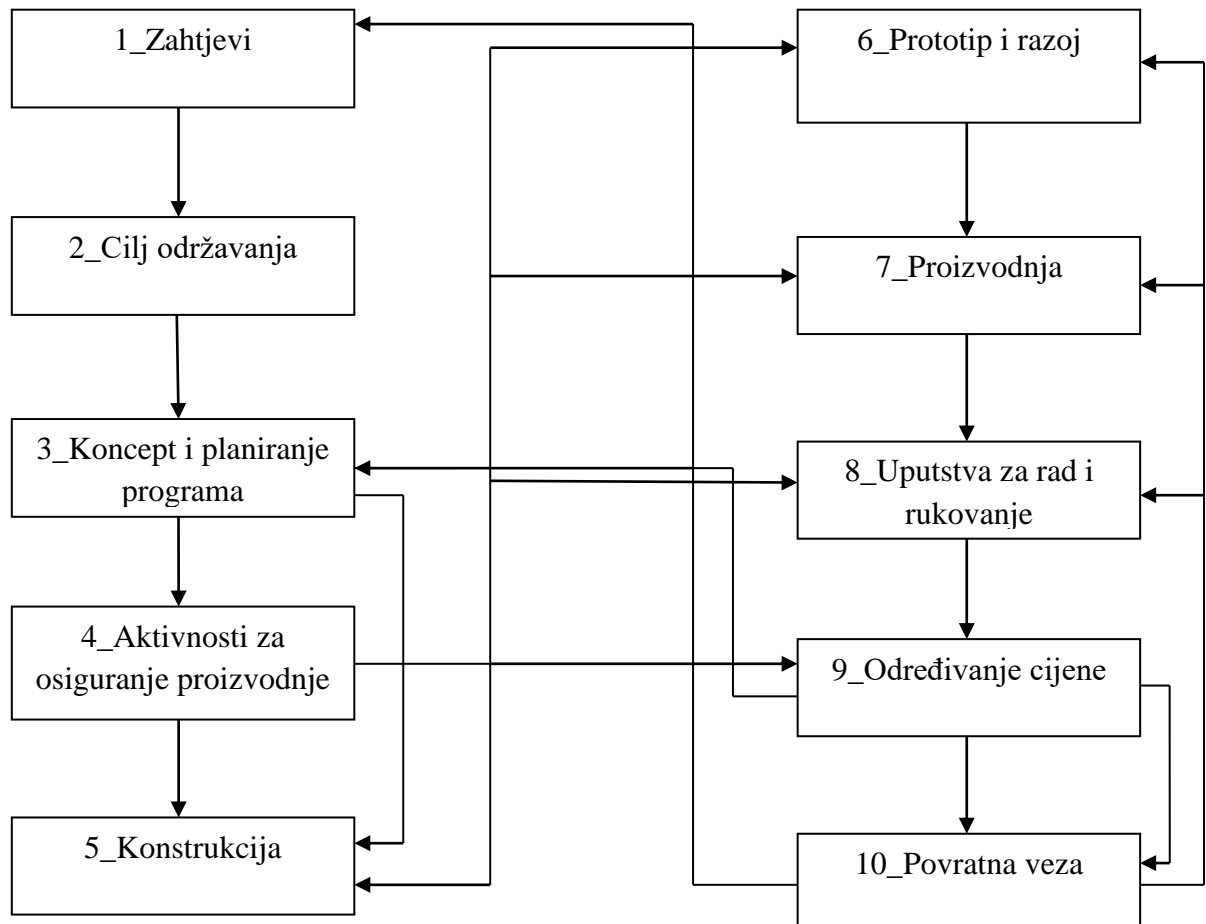
2. Otklanjanje slabih mjesta nad sredstvima rada postiže se:

- praćenjem kvarova,
- analizom slabih mjesta,
- programima otklanjanja slabih mjesta.

3. Produžavanje radnog vijeka sredstva rada postiže se:

- tekućim održavanjem,
- planskim popavicima,
- provođenjem uputstava za eksploataciju.





**Slika 1. Aktivnosti na pouzdanosti i pogodnosti za održavanje u toku životnog vijeka sustava [2]**

4. Skraćenje vremena za zahvate održavanja postiže se:

- održavanjem po stanju i,
- adekvatnom pripremom rada.

5. Smanjenje troškova materijala postiže se:

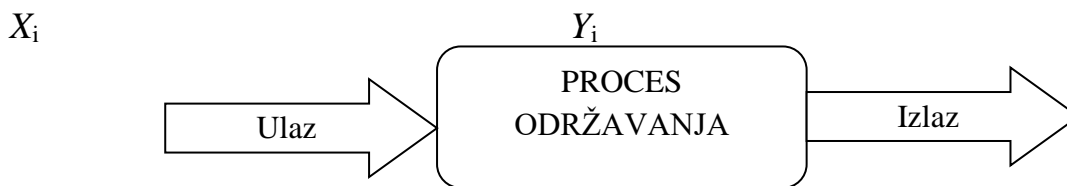
- izradom i popravcima rezervnih dijelova i,
- upravljanjem zalihama rezervnih dijelova.

## 2.2.SUSTAV ODRŽAVANJA

Održavanje sredstava za rad, kao skup aktivnosti, može se promatrati kao jedan sustav, polazeći od definicije da je sustav skup elemenata međusobno povezanih u cjelinu koja ima određen cilj, koji se postiže funkcioniranjem toga sustava. Svaki sustav ima svoje podsustave tako da se sustav održavanja može promatrati kao podsustav poduzeća, kao poslovnog sustava.

Sustav održavanja u produzeću treba osigurati pouzdano funkcioniranje sredstava za rad. Isto tako sustav održavanja smanjuje duže zastoje u procesu rada. Od pouzdanosti sredstava za rad u najvećoj mjeri ovisi radni učinak. Sustav održavanja u tom smislu ima zadatak da održava radnu sposobnost sredstava za rad na određenoj razini pouzdanosti.

Na slici 2., prikazano je kako održavanje kao sustav mora imati sve elemente sustava, a to su :



**Slika 2. Sustav održavanja [1]**

Komponente ulaza  $X_i$  su :

- zahtjevi za radom,
- materijal,
- rad izvršioca održavanja,
- rezervni dijelovi,
- usluge drugih izvan sustava održavanja,
- troškovi rada i novca,
- informacije,
- dokumentacija.

Struktura sustava održavanja je složena jer sadrži u sebi složene prirodne, tehničke i organizacijske sustave, koja se sastoji od:

- izvršioca održavanja,
- sredstva za rad,
- odabrane politike održavanja,

- sredstva koja se održavaju,
- veze između prethodnih elemenata.

Vektor izlaza  $Y_i$  sustava održavanja najčešće završava kompletno u okviru proizvođača. Ostvarenjem svog izlaza sustav održavanja doprinosi ostvarenju izlaza proizvođača kao sustava. Komponente vektora izlaza sustava održavanja imaju različite oblike kao što su :

- funkcioniranje održanih sredstava,
- dio ukupnog prihoda i dohotka proizvođača koji se ostvaruje doprinosom sustava održavanja.

Svaki sustav ima određeni cilj, te cilj bliže određuje svrhe sustava. Cilj je određen željenim stanjima i izlazima iz sustava, a postiže se funkcioniranjem sustava. Svrha i cilj sustava određuju njegovu koncepciju, što će biti uključeno u sustav, kakve veze će se uspostaviti između njegovih elemenata, kakav odnos će biti sa okruženjem.

### 2.3. POJAM KVARA

Stanje tehničkog sustava je opis stupnja realizacije funkcije odnosno opis realizacije projektirane ili deklarirane radne aktivnosti. Prema teoriji pouzdanosti tehnički sustav može imati tri temeljna radna stanja: stanje sustava "u radu", stanje sustava "u kvaru", stanje sustava "u zastoju". Osim ova tri radna stanja, u realnim uvjetima sustav se može nalaziti u velikom broju stanja između stanja "u radu" i stanja "u kvaru". Ako želimo rješavati probleme eksploatacije onda je, sa tehničke strane, nužno definirati stanja sustava.

Stoga, stanja su opisana na tri načina:

- OŠTEĆENJE (engl. *Damage*): promjena stanja tehničkog sustava ili njegovih dijelova koja još ne smeta funkcioniranje tehničkog sustava, a može se razviti u kvar.
- KVAR (engl. *Failure; Breakdown*): je promjena stanja tehničkog sustava ili njegovih dijelova koja bitno ometa ili onemogućava njegovo funkcioniranje.
- ZASTOJ (engl. *Accidents*): je teži oblik kvara tehničkog sustava kod kojega dolazi do njegovog potpunog oštećenja (ili do potpunog oštećenja vitalnih komponenti) i /ili dolazi do pogubnog utjecaja na sigurnost i na okoliš.

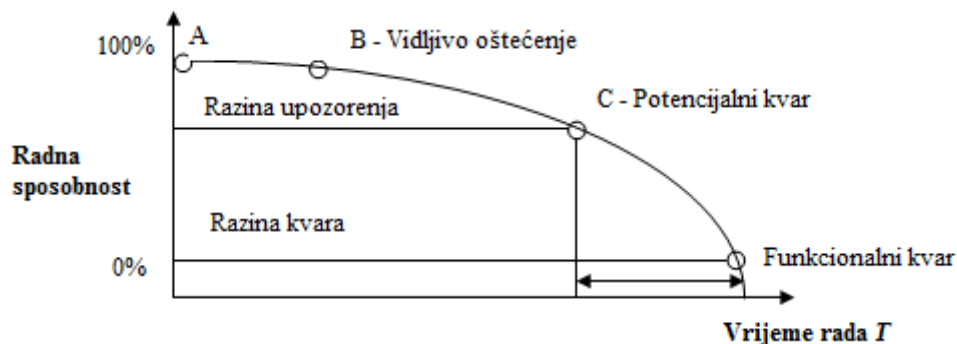
Važno je razlikovati kvar (engl. *failure*) od neispravnosti (engl. *fault*). Definicija termina failure prema IEC60050(191): „The termination of the ability of an item to perform a required function.“

Kvar je trenutak neispunjavanja funkcionalnih zahtjeva. Svaka funkcija može imati više izlaza i više modova kvara (engl. *failure mode*). Tako definiran kvar je događaj kada je tražena funkcija izašla izvan prihvatljivih granica.

Primjer: Postavljanje zahtjeva za vodenu pumpu. Od pumpe se traži da obavlja funkciju da pumpa vodu. Zahtjev povezan sa ovom funkcijom je da izlazni protok bude između 100 i 110 litara u minuti. Kvar pumpe se događa u trenutku kada protok prijeđe navedene granice.

Definicija termina error prema IEC60050(191): „Error is a discrepancy between a computed, observed or measured value or condition and the true, specified or theoretically correct value or condition.“ [6]

Greška (engl. *error*) je odstupanje stvarnih od željenih (projektiranih ili nazivnih) vrijednosti indikatora tehničke ispravnosti i (još) nije kvar jer funkcija daje izlaz koji je unutar prihvatljivih granica.



**Slika 3. Promjena radne sposobnosti u vremenu eksploatacije [9]**

Sposobnost uređaja da obavlja svoju funkciju mijenja se tijekom vremena, tj. opada slika 3., te se pojavljuje:

1. potencijalni kvar (C)- stanje sustava pri kojem sustav još uvijek obavlja svoju funkciju, ali sa smanjenom efikasnošću i sigurno vodi prema funkcionalnom kvaru.
2. funkcionalni kvar (D)- takvo je stanje sustava pri kojem sustav više ne obavlja svoju funkciju. Vrijeme izmenu potencijalnog i funkcionalnog kvara je vrijeme reakcije-vrijeme u kojem možemo reagirati da ne nastupi funkcionalni kvar.

### 3. POUZDANOST TEHNIČKIH SUSTAVA

#### 3.1. POUZDANOST – OPĆENITO

Pouzdanost (engl. *reliability*) je karakteristika sustava, općenito označena s  $R$ , te izražava vjerojatnost uz definiranu razinu sigurnosti, da će sustav uspješno, bez kvara izvršavati funkciju za koju je namjenjen, unutar specificiranih granica performansi, tijekom određenog vremena trajanja zadatka, kada se koristi na propisani način i u svrhu za koju je namjenjen, pod određenim razinama opterećenja, uzimajući u obzir i prethodno vrijeme korištenja.

Treba istaknuti sva bitna faktora: vrijeme rada i radni uvjeti. Podaci koji se daju za pouzdanost objekta mjerodavni su samo u navedenom vremenskom intervalu i određenim uvjetima korištenja. Pouzdanost kao vjerojatnos (broj između 0 i 1 ili 0% i 100%) može se predstaviti kao omjer između broja uspješnih zadataka i ukupnog broja zadataka u vremenu određenom za funkcioniranje sustava:

$$Rp(t) = \frac{n_1(t)}{n(t)} \quad \text{Jednadžba 1}$$

gdje je:

- $Rp(t)$  procjena pouzdanosti,
- $n_1(t)$  broj uspješnih zadataka u vremenu  $t$ ,
- $n(t)$  ukupan broj izvedenih,
- $t$  vrijeme određeno za funkcioniranje sustava.

Vrijednost  $Rp(t)$  predstavlja procijenjenu pouzdanost uslijed toga što je broj zadataka  $n(t)$  konačan. Zato se stvarna pouzdanost  $Rs(t)$  dobije kada broj zadataka teži u beskonačnosti. Zbog nepodudarnosti procjene sa stvarnom vrijednošću, uvodi se pojam razine povjerenja. To je vjerojatnost da je neki parametar unutar danih granica ili je iznad donje granice. Statističke procjene obično se predstavljaju u vidu intervala, uz vjerojatnost odnosno povjerenje da će stvarna vrijednost biti u tom intervalu. Krajnje točke tog intervala zovu se granice povjerenja. Naprimjer, ako je pouzdanost nekog sustava 0,95 na razini povjerenja 0,9 to znači da postoji rizik od 10% da je pouzdanost tog sustava manja od 0,95. Dakle, tijekom konstruiranja nekog sustava, nije dovoljno samo postaviti zahtjev u vezi sa vrijednosti pouzdanosti koju sustav mora zadovoljiti, već treba dodati i razinu povjerenja tako da je poznat rizik u vezi sa postizanjem te pouzdanosti.

Zahtjevana funkcija određuje zadatak sustava. Primjerice, za dane ulaze izlazi sustava mora biti ograničeni unutar određenih granica odstupanja (parametri performansi bi trebali biti zadani s tolerancijom i to ne samo kao fiksna vrijednost). Određivanje zahtjevane funkcije je početna točka za bilo kakvu analizu pouzdanosti i to iz razloga jer definira kvarove.

Radni uvjeti imaju važan utjecaj na pouzdanost, te se moraju s oprezom odrediti. Primjerice, iskustvo je pokazalo da je indeks kvarova poluvodičkih komponenti dvostruko veći pri radnim temperaturama od 10 do 20 °C.

Rad bez kvara dobiva se kada su sve performanse sustava u skladu sa specifikacijama. Prethodno vrijeme korištenja sustava je veoma važno i mora se uzeti u obzir prilikom izračunavanja pouzdanosti izvršenja određenog zadatka u budućnosti. To se može iskazati odnosom pouzdanosti za zbroj prethodnog i narednog vremena i pouzdanosti za prethodno vrijeme:

$$R(T, t) = \frac{R(T+t)}{R(T)} \quad \text{Jednadžba 2}$$

gdje je:

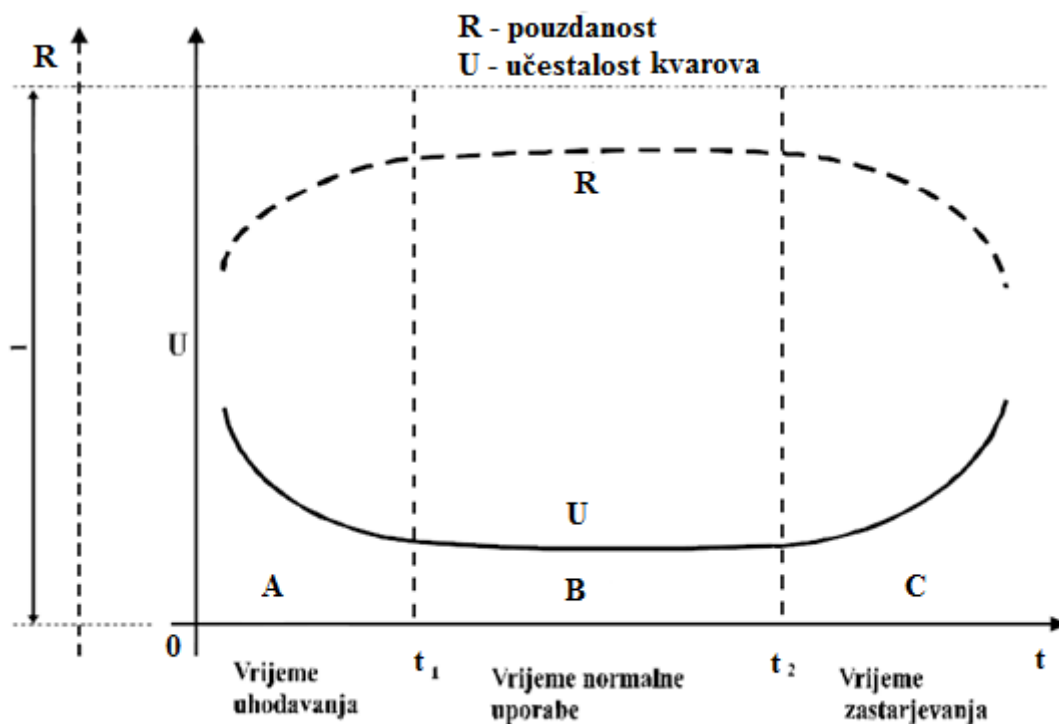
- $T$  – prethodno vrijeme korištenja sustava,
- $t$  – vrijeme narednog korištenja sustava,
- $R(T, t)$  – pouzdanost korištenja sustava u vremenu  $t$  kada je sustav prethodno korišten za vrijeme  $T$ ,
- $R(T+t)$  – pouzdanost sustava u vremenu  $t$  pod uvjetom da sustav nije ranije korišten u vremenu  $T$ ,
- $R(T)$  – pouzdanost korištenja sustava u vremenu  $T$ .

U slučaju slučajnih kvarova pouzdanost ne zavisi od prethodnog vremena korištenja. Promatranjem učestalosti kvarova i zastoja uređaja utvrđeno je da postoje tri bitna područja u životu jednog uređaja, sastavljenog pretežno od mehaničkih dijelova. Brojna ispitivanja su pokazala da je broj zastoja nekog stroja koji se sastoji iz mehaničkih dijelova u početku upotrebe dosta velik i on se upotrebom stroja smanjuje i nakon nekog vremena ustaljuje. Nakon poduzetog vremena, kad je približno konstantan, broj zastoja ponovno počinje rasti. Prema tome, obje krivulje definiraju tri životna razdoblja uređaja kako je prikazano na slici 5.

Prvo razdoblje označeno sa A predstavlja vrijeme uhodavanja uređaja. Uređaja još nije razrađen i ima možda neke konstruktivne ili izradbene nedostatke. To razdoblje obično se pokriva trajanjem garancije, tj. razdoblja kad eventualne kvarove ili nedostatke besplatno otklanja proizvođač stroja.

Drugo razdoblje B kada je pouzdanost približno konstantna, predstavlja vrijeme normalne eksploatacije. Jedan od najvažnijih pokazatelja kakvoće stroja je duljina tog razdoblja i veličina pouzdanosti. Obično se pouzdanost u tom razdoblju smatra pouzdanošću uređaja.

Treće razdoblje C u kojem pouzdanost pada je vrijeme zastarjevanja uređaja. Kad uređaj dođe u to razdoblje treba ga zamijeniti jer se njegova daljnja upotreba obično ne isplati.



**Slika 4. Promjena razine pouzdanosti sustava s vremenom korištenja [2]**

Pod pojmom pouzdanosti podrazumijeva se vjerojatnost rada sustava u određenom vremenu i određenim uvjetima okoline, tj. vjerojatnost da će se eksploatacijski proces odvijati bez zastoja. Smatra se da je sustav pouzdan kada radi ispravno, što je promjenjiva veličina u vremenu, te je zastoj neizbježna karakteristika svakog sustava.

### 3.2. KVAROVI U RADU

Stanje tehničkog sustava je opis stupnja realizacije funkcije odnosno opis realizacije projektirane ili deklarirane radne aktivnosti. Prema teoriji pouzdanosti tehnički sustav može

imati tri temeljna radna stanja: stanje sustava "u radu", stanje sustava "u kvaru", stanje sustava "u zastoju". Osim ova tri radna stanja, u realnim uvjetima sustav se može nalaziti u velikom broju stanja između stanja "u radu" i stanja "u kvaru". Sa stajališta uporabe i ovisno o karakteristikama sustava radno stanje "u kvaru" možemo smatrati kao stanje smanjene radne funkcije ili stanje "u zastoju".

Pojava kvara u vremenu predstavlja stohastičke odnosno slučajne procese čija se pojava sa sigurnošću ne može predvidjeti. Budući da su karakteristike ovih procesa slučajne promjenjive, proizlazi da se i obrada raspoloživih podataka zasniva na metodama teorije vjerojatnosti i matematičke statistike.

Kvarovi se dijele na:

- svojstvene (inherentne),
- nesvojstvene (prouzrokovane).

Svojstveni kvarovi su oni kod kojih se uzrok nalazi u samom uređaju, dok su nesvojstveni kvarovi oni kod kojih se uzrok nalazi izvan samog uređaja. Oni mogu biti posljedica nepravilnog rukovanja osoblja koje ih opslužuje, bilo u toku rada sustava bilo za vrijeme zahvata održavanja (oštećenje komponente sustava zbor udara, pada, nepravilne montaže, obrade i sl.), zatim posljedica sudara i udara broda, te konačno posljedica više sile, kao što su požar i prodor vode (zbog nasukavanja ili gašenja požara).

### **3.2.1. Svojstveni kvarovi**

Kvar je prestanak sposobnosti sustava da izvršava projektirane aktivnosti odnosno da ostvaruje projektiranu funkciju. Kvarovi koji su brodu kao tehničkom sustavu svojstveni dijele se na tri kategorije i to su:

1) Početni kvarovi (engl. *early failures*) - nastaju u samom početku životnog ciklusa komponente sustava, odnosno odmah nakon puštanja u rad. U najvećoj mjeri su posljedica loše izrade ili pogrešne montaže, odnosno odraz nedovoljne organizacije i tehnike kontrole kvaliteta u toku proizvodnog procesa.

Početni kvarovi se rješavaju u periodu tzv. uhodavanja, tako da se svaka komponenta s greškom zamijeni novom. Postupa li se tako broj početnih kvarova naglo opada do trenutka



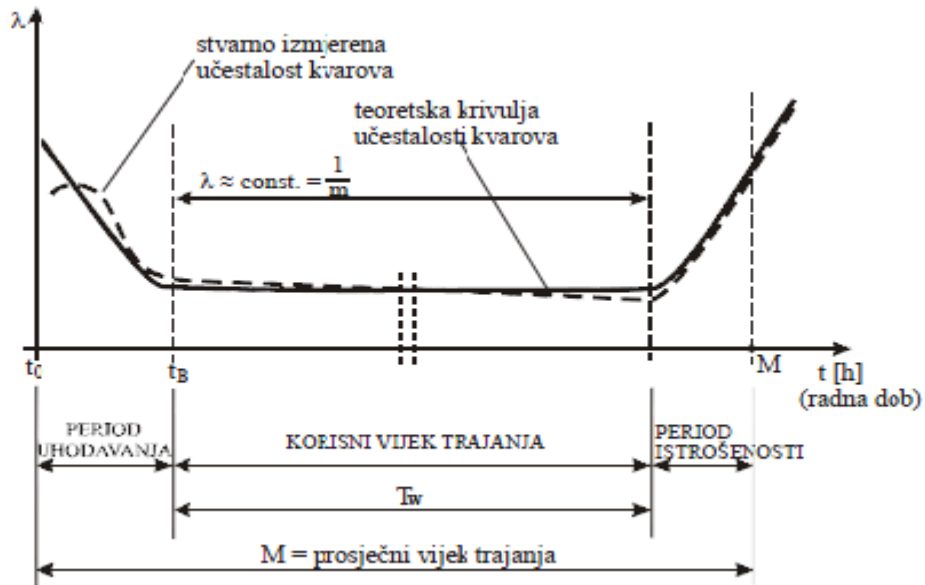
kad ih više nema, te se smatra da je brod u potpunosti spreman za korištenje. Ovo se obavlja u probnoj vožnji ili u prvim mjesecima korištenja broda, odnosno u garantnom roku.

2) Slučajni kvarovi (engl. *chance failures*). Oni su prisutni od početka rada sustava, dakle i u periodu uhodavanja, ali su pomiješani s početnim kvarovi, pa ih je teško od njih razlikovati. Može se pretpostaviti da su oni posljedica nepredviđenih koncentracija napona (mehaničkih, termičkih, električnih itd.) koja nadilaze projektiranu izdržljivost komponente. Slučajni kvarovi se ne mogu spriječiti ni najboljim uhodavanjem ni najintenzivnijim održavanjem.

Slučajni se kvarovi još dijele na: neovisne i ovisne slučajne kvarove.

- Neovisni slučajni kvarovi nastaju zbog previda u završnim kontrolama, a pojavljuju se slučajno, često u obliku mehaničkog kvara (lomovi i deformacije zbog pukotina i zaostalih napetosti). Njihovo sprečavanje ili smanjivanje vjerojatnosti njihova pojavljivanja moguće je jedino stalnim preventivnim pregledima i mjerenjem odgovarajućih veličina.
- Ovisni slučajni ili prouzrokovani kvarovi nastaju zbog nemara, nepažnje i neznanja rukovatelja i održavatelja. Na njih se može djelovati povećanjem motivacije rukovatelja te stalnom podukom.

3) Vremenski kvarovi ili kvarovi zbog dotrajalosti (engl. *wearout failures*). Oni nastaju u izostanku održava ili pogotovo ako nema preventivnog održavanje, a posljedica su dotrajalosti komponenata (istrošenost, zamor materijala i sl.). Svaka komponenta ima svoj tzv. korisni vijek trajanja (engl. *useful life*) „ $T_w$ “, te prosječni vijek trajanja „ $M$ “ (engl. *mean wearout life*). Korisni vijek trajanja je onaj vremenski period koji proteče od završetka uhodavanja do pojave kvara (zbog dotrajalosti) prve komponente u velikom broju istoimenih komponenata. Za brodsku tehnologiju je mnogo zanimljiviji prosječni vijek trajanja komponente „ $M$ “. To je onaj period koji proteče od početka rada komponente pa do sredine vremena od pojave kvara (zbog dotrajalosti) prve i posljednje komponente u grupi. Oko tog vremena učestanost kvara zbog dotrajalosti je najveća. Korisni vijek trajanja komponente „ $T_w$ “ uvijek je znatno manji od „ $M$ “.



**Slika 5. Krivulja kade na kojoj je prikazana zavisnost svojstvenih kvarova o vremenu [2]**

- $t_0$  – početak rada,
- $t_B$  – vrijeme uhodavanja,
- $T_w$  – korisni vijek trajanja,
- $M$  – prosječni vijek trajanja,
- Radna dob – kumulativno vrijeme rada sustava.

Otklanjanjem početnih kvarova njihov broj naglo pada, te u korisnom vijeku trajanja indeks kvarova (samo slučajni kvarovi) je konstantan, što se vidi na slici 6. Ulaskom u period istrošenosti indeks kvarova opet raste. U tom periodu uz slučajne kvarove pojavljuju se još i kvarovi zbog istrošenosti.

Na ordinati se nalazi indeks kvarova  $\lambda$  (engl. *failure rate*). Naime, učestalost kojom se kvarovi pojavljuju na određenom sustavu nazivamo indeksom kvara na sat rada sustava, iako može i drugačije (brojem kvarova na određeni broj operacija).

Recipročna vrijednost indeksa kvara je prosječno vrijeme između kvara (engl. *mean time between failures*), a označava se sa „ $m$ “ ili „MTBF“. Obično se izražava u satima (odnosno u broju operacija).

Uzroci kvara (eng. *failure cause*) tj., razlozi koji dovode do kvara mogu biti rezultat ili kombinacija sljedećeg:

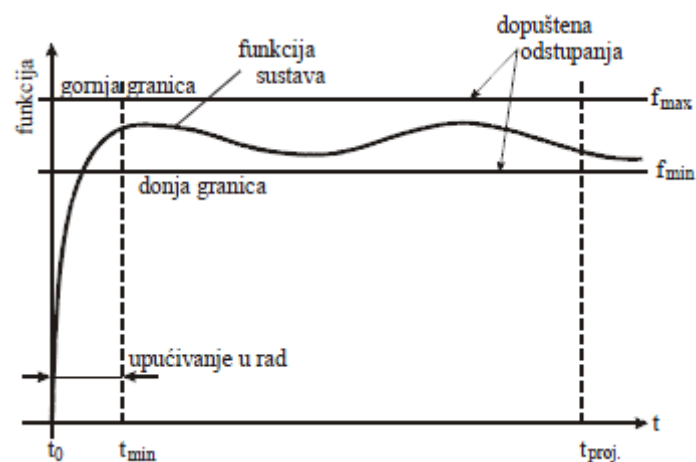
- neispravnosti izvedbe,
- kvara u proizvodnji,
- kvara kod montaže,
- kvara uslijed nepravilne uporabe,
- kvara zbog nepravilnog rukovanja,
- kvara vezanog uz održavanje.

Treba istaknuti vezu kvarova na pojedinom elementu s kvarovima koji se događaju u okolini tog elementa. Kvarovi su slučajni događaji, koji mogu biti zavisni i nezavisni. Kvar je zavisan, ako se pri pojavi jednog kvara mijenja vjerojatnost pojavljivanja drugog kvara. Kod nezavisnih kvara vjerojatnost pojavljivanja jednog kvara ne zavisi od činjenice da li su se dogodili drugi kvarovi ili ne. Nezavisan kvar elementa je onaj kvar koji nije uvjetovan kvarovima i otkazima drugih elemenata sustava i najčešće nastaje u jednom elementu, dok je zavisan kvar onaj kvar koje je uvjetovan kvarovima i otkazima drugih elemenata.

### 3.3. UČINKOVITOST TEHNIČKIH SUSTAVA

#### 3.3.1. Funkcija kriterija

Tehnički sustav je skup elemenata ili podsustava koji putem zajedničkih aktivnosti ostvaruju radnu aktivnost – funkciju. Relacije i struktura karakteristika podsustava osigurava ostvarenje funkcije definiranih parametrima funkcije i kriterijima pod kojima parametre funkcije smatramo prihvatljivim. Parametre funkcije i kriterije prihvatljivosti zajednički nazivamo *funkcija kriterija*. Time funkcija kriterija postaje temeljno mjerilo za procjenu radnog stanja sustava, te mjerilo za ocjenu učinkovitosti kroz određivanje radnog resursa sustava.



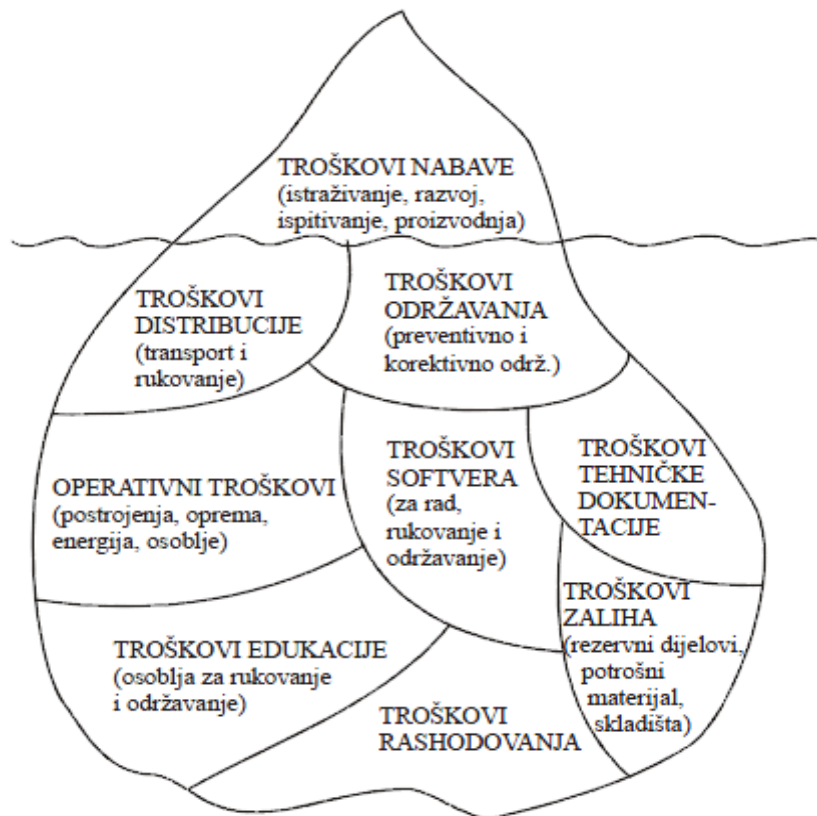
Slika 6. Funkcija kriterija tehničkog sustava [2]

Ako se analizira učinkovitost tehničkog sustava kroz faze ostvarenja funkcije, ukupnu efektivnost možemo podijeliti na: vjerojatnost početka funkcije sustava, dostizanje izlaznih veličina u područje dopuštenih odstupanja prema definiranoj funkciji kriterija, pouzdanost zadržavanja funkcije u području definiranom funkcijom kriterija u projektiranom vremenskom periodu i sposobnost prilagođavanja sustava promjenama uvjeta okoline. Raspoloživost sustava je vjerojatnost da sustav započne funkciju unutar područja funkcije kriterija.

Učinkovitost sustava je vjerojatnost ispunjavanja funkcije kriterija u određenom vremenskom periodu i dinamička je veličina. Kvaliteta sustava može se ocijeniti po izgradnji sustava, a učinkovitost sustava može se ocijeniti sigurno tek u vremenu eksploatacije sustava. Učinkovitost se može samo procijeniti u vrijeme projektiranja sustava kao projektirana vrijednost. Istraživanje učinkovitosti temelj je za definiranje projektnih zahtjeva za slične buduće složene sustave. Analiza učinkovitosti omogućava nam definiranje relacija kojima

možemo prikazati utjecaj ostvarene učinkovitosti na troškove razvoja i proizvodnje sustava, troškove nabave i puštanja u pogon sustava te posebno na troškove eksploatacije.

### 3.3.2. Troškovi učinkovitosti



Slika 7. Troškovi životnog vijeka sustava [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), pogonski troškovi (kapaciteti, energija, oprema), 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).

## 4. METODE ODRŽAVANJA

Pod pristupom održavanju razumijeva se skup tehnika i metoda održavanja s ciljem smanjenja ili postizanja potpune eliminacije zastoja, uz minimalne troškove održavanja.

Tijekom uporabe tehničkih sustava, njihovim održavanjem i stručnim pristupom razvili su se slijedeći pristupi, koncepcije i modeli održavanja:

- korektivno održavanje (engl. *Corrective Maintenance* - CM),
- preventivno održavanje (engl. *Preventive Maintenance* - PM),
- terotehnoški pristup održavanju (engl. *Terotechnology*),
- logistički model održavanja (engl. *Logistics Engineering*),
- održavanje po stanju (engl. *Condition based Maintenance*),
- plansko održavanje (engl. *Scheduled Maintenance*),
- potpuno cjelovito održavanje (engl. *Total Productive Maintenance* - TPM),
- održavanje usmjereno na pouzdanost (engl. *Reliability Centered Maintenance* - RCM),
- ekspertni sustavi (engl. *Expert Systems* - ES),
- model samoodržavanja (engl. *Self-Maintenance*).

Pod **tradicionalnim strategijama održavanja** podrazumijevaju se:

- preventivno,
- korektivno,
- plansko održavanje.

**Suvremene strategije održavanja** jesu:

- održavanje usmjereno na pouzdanost,
- potpuno cjelovito održavanje,
- održavanje po stanju,
- ekspertni sustavi,
- model samoodržavanja.

### 4.1. KOREKTIVNO ODRŽAVANJE

Korektivno održavanje (engl. *Corrective Maintenance - On Failure Maintenance*) obuhvaća obnavljanje i zamjenu dijelova sustava nakon pojave kvara, radi ponovnog osposobljavanja za rad te se ovim postupkom dijelovi tehničkog sustava ili cijeli tehnički sustav koristi do konačnog oštećenja.

To je sustav održavanja nakon kvara koji je prividno najjeftiniji, jer su troškovi tekućeg održavanja jednaki nuli, naime nema ih, kao ni tekućeg održavanja. Kod ovog načina održavanja uređaj se upotrebljava sve dokle ne nastupi kvar te tada se vrši popravak. Ovaj način održavanja se također opisuje "Ne diraj, radi!". Problem kod ovog načina održavanja jest da uređaj traje onoliko koliko traje njegova najslabija komponenta. Oštećenja podsustava često imaju za posljedicu oštećenje drugih podsustava, pa se ukupna šteta znatno povećava i često uzrokuje havarije, što je posebno izraženo kod mehaničkih sustava. Prednost korektivnog održavanja je u potpunoj iskoristivosti elemenata tehničkog sustava te nije potrebno poznavati zakonitosti pojave kvarova sustava, a ne zahtijeva se ni priprema aktivnosti održavanja.

Nedostaci korektivnog održavanja su u nepouzdanom radu sustava zbog iznenadnih zastoja, niskom stupnju iskoristivosti u eksploataciji, dugim i učestalim zastojima i nemogućnosti planiranja aktivnosti održavanja; uređaji i/ili sustavi naglo ispadaju iz rada, a termini kvarova ne mogu se unaprijed predvidjeti te je velika vjerojatnost da će doći do dužih zastoja izazvanih održavanjem.

Za korektivna održavanja općenito se može reći da se sastoji od niza zahvata kojima se nakon kvara sustav vraća u radno stanje. Ovaj se pristup danas upotrebljava uglavnom za slučajeve kada kvar uređaja/sustava ne može dovesti do:

- ugrožavanja sigurnosti,
- težih havarija i lomova,
- dugih zastoja,
- velikih troškova održavanja.

## **4.2. PREVENTIVNO ODRŽAVANJE**

Preventivno održavanje je pristup održavanju koji se provodi na određenom dijelu opreme u svrhu smanjenja vjerojatnosti pojave kvara. Preventivno održavanje se provodi dok je oprema još uvijek u operativnom stanju, te se na taj način nastoji izbjeći neočekivani kvar. Moto je preventivnog održavanja: bolje spriječiti nego liječiti. Preventivno održavanje je planirano tako da se osiguraju potrebna sredstva za provedbu zadaća održavanja, te se određuje zavisno o vremenu ili praćenju nekog drugog parametra.

Preventivno održavanje je pogodno za primjenu na opremi:

- koja je kritična za rad,
- koja sadrži modove kvara koji mogu biti spriječeni redovnim održavanjem,

- koja ima vjerojatnost povećanja kvarova s porastom korištenja odnosno vremena u radu.

Dok preventivno održavanje nije pogodno sa slučajevima:

- kod kojih nastupaju slučajni kvarovi koji se ne mogu povezati s održavanjem,
- koji nisu kritični za rad.

Planiranje je najveća prednost naspram manje složenih strategija održavanja. Reaktivno održavanje odnosno kada uslijedi kvar se sastoji od mnogo visokih troškova održavanja koji su se mogli izbjeći planiranjem. Troškovi neplanskog održavanja uključuju zastoje u radu, visoke troškove za dijelove i njihovu nabavu, te izgubljeno vrijeme potrebno za otklanjanje i dijagnostiku kvara dok oprema nije u funkciji.

Planiranjem održavanja se mogu umanjiti troškovi, te se oprema može održavati u vremenu kada nije potrebna odnosno nije u radu, te se na taj način smanjuje vrijeme popravka. Također, zbog manje učestalosti pojave kvara sigurnosti je na višoj razini.

Preventivno održavanje ne zahtjeva nadziranje stanja opreme, što znači da nema potrebe ni troškova izvođenja i interpretiranja podataka dobivenih nadzorom te djelovanja prema dobivenim podacima. Također, nema potrebe za posjedom i korištenjem opreme za nadzor.

Neki nedostaci preventivnog održavanja naspram korektivnog održavanja je primjerice zahtjevanje za planiranjem koje traži ulaganje vremena i sredstava.

Također, može se dogoditi slučaj da se prečesto provodi održavanje te je onda potrebna optimizacija održavanja. Učestalost preventivnog održavanja je često previše visoka, što prouzrokuje troškove, uvođenjem praćenja stanja i analiziranjem se može samnjiti učestalost preventivnog održavanja bez smanjenja pouzdanosti. Preventivno održavanje obuhvaća sljedeće aktivnosti održavanja:

- preventivne periodične preglede, čišćenja i podmazivanja,
- traženje i otklanjanje slabih mjesta,
- kontrolne preglede,
- planirane popravke (male, srednje i velike).

Preventivni periodični pregledi, čišćenje i podmazivanje unaprijed su planirane i pripremljene aktivnosti, a provode se radi pravovremenog otkrivanja vremenskih kvarova ili usporavanja njihova nastanka. Preventivni pregled obuhvaća sve vrste uvida u stanje sustava (promatranje, kontrola, mjerenje, očitovanje, uspoređivanje, ispitivanje), ali bez demontaže i drugih radova. Mjesta na tehničkom sustavu, na kojima se kvarovi javljaju češće nego što je



"normalno", nazivaju se slabim ili kritičnim mjestima. Traženje slabih mjesta ponajprije se zasniva na praćenju i evidentiranju kvarova. Uzroci nastajanja slabih mjesta mogu biti neodgovarajuća konstrukcija ili izgradnja sustava, preopterećenje ili neispravna upotreba sustava, neispravno rukovanje i posluživanje, štetni utjecaj okoline.

*Kontrolni pregledi* slični su preventivnim pregledima, a provode se radi spriječavanja oštećenja koja mogu dovesti do nesreća na radu te osiguranja sposobnosti tehničkog sustava za postizanje predviđene proizvodnosti. Kontrolni pregledi zahtijevaju poseban alat, instrumente i složene postupke mjerenja te djelatnike posebno izobražene i osposobljene za takve preglede.

*Planski popravci* unaprijed su planirani i pripremljeni radovi s ciljem obnove ili zamjene istrošenih dijelova nakon isteka predviđenog vremena rada. Dijele se na male, srednje i generalne popravke. Za tu se aktivnost često upotrebljava pojam remont. Planski su popravci skupi i najčešće uzrokuju zastoj, znatnijeg su opsega i s mnogo sudionika.

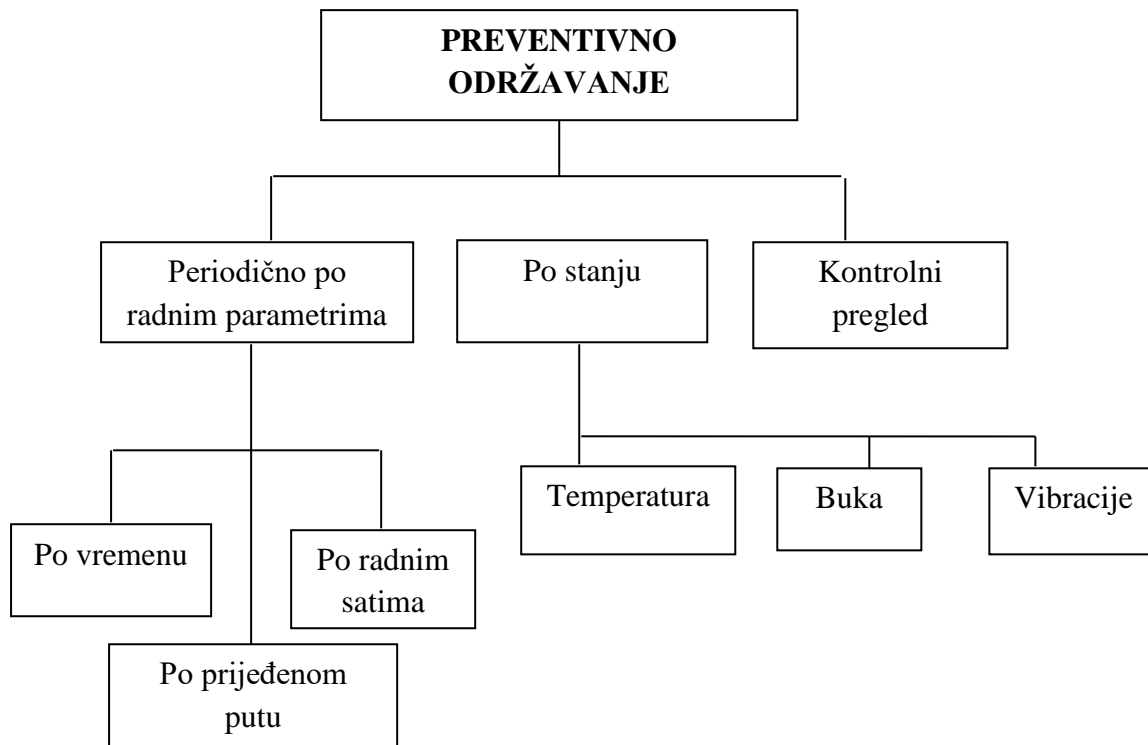
*Mali popravak* provodi se obično kada tehnički sustav ne radi, tj. tehnički sustav se ne izuzima iz eksploatacije. Mijenja se manji broj sitnijih dijelova i dotjeruju tarne plohe koje se najbrže troše. Taj popravak daje tehničkom sustavu eksploatacijsku preciznost samo za one operacije koje se trenutačno obavljaju na njemu.

*Srednji popravak* znači izuzimanje tehničkog sustava iz eksploatacije na duže vrijeme, rastavljanje pojedinih sklopova, čišćenje, popravljavanje, dotjerivanje radnih ploha, mijenjanje ležajeva, brtvila itd., ali ne i skidanje s temelja. Uz to, obavljaju se svi radovi koji su predviđeni tehnološkim postupkom za mali popravak. Srednjim popravkom ne dobiva se preciznost novog tehničkog sustava.

*Generalni popravak* znači izuzimanje tehničkog sustava iz eksploatacije na duže vrijeme, te se obično skida s temelja i prenosi u remontnu radionicu. Potpuno se rastavlja i čisti, te se popravljaju se i mijenjaju svi oštećeni dijelovi i oni koji više ne jamče sigurnost u daljnjem radu. Generalni popravak obično se poduzima radi izvođenja rekonstrukcija na stroju koje treba unaprijed pripremiti. Generalno popravljen tehnički sustav bi "trebao" imati sve karakteristike novog. Generalni su popravci veoma skupi, osobito ako se istovremeno provodi i rekonstrukcija. Troškovi zahvata kod nekih tehničkih sustava mogu bit do 70% vrijednosti novoga elementa, te pri takvim popravcima treba razmisliti i o mogućnosti kupnje novoga, suvremenijeg elementa. U financijskom smislu ovaj je pojam poznat kao *investicijsko održavanje*. Slika 8., daje uvid u osnovnu podjelu preventivnog održavanja:

- preventivno održavanje po konstantnom ciklusu odrenenom vremenski ili prema radnom parametru (sati rada, prijeđeni kilometri, broj uključivanja),

- održavanje po stanju koje se zbog svoga značenja razvilo kao posebna strategija održavanja,
- kontrolni pregledi.



**Slika 8. Podjela preventivnog održavanja [9]**

### **4.3. SUVREMENE METODE ODRŽAVANJA**

#### **4.3.1. Terotehnološki pristup održavanju**

Prvu definiciju terotehnologije je postavio Odbor Ministarstva za Industriju u Velikoj Britaniji i takva je definicija ostala gotovo neizmjenjena sve do danas. Trenutna definicija terotehnologije, izložena u Britanskim Standardima glasi: "Kombinacija menadžmenta, financiranja, inženjeringa, izgradnje i drugih disciplina primijenjenih na fizička poslovna sredstva poduzeća s aspekta ekonomičnosti troškova tijekom njihova korisnog vijeka trajanja." Najčešće spomenutu definiciju prate i dvije napomene kako bi se bolje ilustrirao namjeravani opseg terotehnologije:

1. Terotehnologija se bavi specifikacijom i dizajniranjem za pouzdanost i održivost fizičkih poslovnih sustava poduzeća, kao što su tvornice, strojevi, oprema, zgrade i postrojenja. Primjena terotehnologije uzima u obzir i cjelokupni proces instalacije, komisije, upotrebe, održavanja, modificiranja i zamjene sustava. Odluke su uvjetovane povratnim informacijama o dizajnu, performansama i troškovima tijekom cijelog životnog vijeka projekta.
2. Terotehnologija se podjednako odnosi i na sredstva i na rezultate proizvodnje jer proizvod jednog poduzeća često postaje sredstvo drugog poduzeća. Čak i kada je proizvod jednostavan predmet potrošnje, terotehnologija može pozitivno utjecati na njegov dizajn i privlačnost za kupca, a to će se reflektirati u povećanoj tržišnoj sigurnosti proizvođača.

Jednostavno rečeno, koncept terotehnologije promovira primjenu svih potrebnih tehnika kojima se može osigurati da korisnik sustava dobije najveću moguću vrijednost za svoj novac. Drži se da su za troškove održavanja u cijelome životnom ciklusu tehničkog sustava stručnjaci održavanja "krivi" za samo 20% troškova, a svi ostali koji sudjeluju u životnim fazama prije eksploatacije 80%, slika 9.



**Slika 9. Utjecaj na troškove održavanja u životnom vijeku tehničkog sustava [9]**

Jedna od strana na kojima se temelji terotehnologija je optimiranje održavanja. Optimiranje održavanja znači uspostavljanje postupka i organizacije održavanja uz najmanje direktnih i indirektnih troškova održavanja. Terotehnologija obuhvaća:

- projektiranje tehničkog sustava,
- izradu tehničkog sustava,

- montažu i pripremu tehničkog sustava za uporabu,
- projektiranje za održavanje,
- održavanje tehničkog sustava,
- razvoj sustava održavanja, planiranje i upravljanje,
- modernizaciju i rekonstrukciju tehničkog sustava,
- izdvajanje tehničkog sustava iz eksploatacijskog procesa.

Osnova terotehnologije je sudjelovanje stručnjaka održavanja u svim fazama životnog ciklusa tehničkog sustava, a sve s ciljem optimiranja ukupnih troškova održavanja i povećanja raspoloživosti tehničkog sustava.

#### **4.3.2. Logistički koncept održavanja**

Logistika je tehnička disciplina koja izučava rad, funkcioniranje i uvjete rada tehničkog sustava, obuhvaćajući sve osnovne aktivnosti njegova životnog ciklusa. Zadatak logistike je osiguranje svih čimbenika važnih za pouzdan rad sustava, za njegovo vraćanje iz stanja kvara u stanje rada. Logistički pristup održavanja razvijen je u SAD-u za potrebe vojne industrije, otprilike u isto vrijeme kada i terotehnoški pristup u Europi. U slučaju održavanja radi se o logističkoj potpori proizvodnji, tj. tehnički sustav koji se promatraju od prvih ideja pri projektiranju, u samoj izgradnji i na kraju u eksploataciji. S osnove održavanja tehničkog sustava, logistika je inženjerski pristup problemima njegova održavanja od idejnog nastajanja do konačnog otpisa, s interakcijom svih čimbenika koji se javljaju u tome vremenskom periodu. Logistički sustav održavanja prije svega treba promatrati kroz pouzdanost, raspoloživost i pogodnost za održavanje, što su važne značajke tehničkog sustava. Ekonomski razlozi i suvremeni tehnički razvoj dovode do novih konfiguracija sustava.

#### **4.3.3. Održavanje po stanju**

Održavanje po stanju koncepcija je preventivnog održavanja čija se strategija donošenja odluka o intervencijama održavanja zasniva na periodičnoj ili neprekidnoj kontroli tehničkog stanja, sustava u eksploataciji. Neprekidna kontrola se provodi kod sustava koji su opremljeni unutarnjim sensorima. Prema rezultatima kontrole donose se odluke o nužnom roku i opsegu aktivnosti održavanja. Iskustva u eksploataciji pokazala su da najveći dio

tehničkog sustava ne gubi svoje funkcionalne karakteristike odjednom, već postupno. Mjerenjem određenih parametara bitnih za ocjenjivanje stanja tehničkog sustava može se ustanoviti odstupanje veličina tih parametara od normalnog i time omogućiti donošenje pravovremene odluke o potrebnom zahvatu održavanja. Razlika između preventivnog održavanja i održavanja po stanju je u tome što se pri preventivnom održavanju zahvat održavanja provodi prema unaprijed utvrđenom vremenu, a pri održavanju po stanju zahvat održavanja poduzima se onda kada je tehničko stanje sustava izvan propisanih granica. U usporedbi s preventivnim održavanjem povećano je vrijeme između popravka, a razlog tome je što se održavanje provodi samo kada je to potrebno. Cilj održavanja po stanju je da se uoči nadolazeći kvar na opremi tako da se proaktivno raspoređi održavanje kada za to nastupi potreba, ali ne i ranije. Stanje pojedinog dijela treba pokrenuti održavanje unutar dovoljno dugog perioda vremena prije kvara tako da se potreban rad može obaviti prije nastanka kvara ili pada performansi ispod optimalne razine.

Prednosti ovakvog pristupa održavanju su:

- održavanje po stanju se provodi dok je pojedini dio u kvaru, te se time smanjuju smetnje u normalnom radu,
- smanjuju se troškovi kvarova opreme i vrijeme održavanja,
- povećava pouzdanost opreme,
- smanjuje nepredviđeno vrijeme zastoja uslijed većih kvarova,
- smanjuje zahtjeve za rezervnim dijelovima za nuždu,
- optimira intervale održavanja te povećava sigurnost radnika,
- smanjuje mogućnost katastrofalne štete.

Nedostaci ovakvog pristupa održavanju:

- visoka cijena instalacije opreme za nadzor kao i troškovi analize baze podataka,
- troškovi uvježbavanja osoblja, potrebno je osoblje sa znanjem za analizu podataka,
- kvarove uslijed ravnomjernog trošenja ili zamora je teško otkriti ovim pristupom održavanju,
- senzori za praćenje stanja mogu otkazati zbog radne okoline,
- može biti potreba za modifikacijom pojedinog sustava za ugradnju,
- nepredvidivi periodi održavanja.

Održavanje po stanju omogućava da se radnje preventivnog i korektivnog održavanja rasporede u optimalno vrijeme u svrhu smanjenja troškova održavanja.

Prikupljanje podataka iz sustava se može izvesti na dva načina:

- podaci dobiveni s različitih mjesta se mogu provoditi na redovitim intervalima korištenjem prijenosnih instrumenata,
- senzori mogu biti naknadno ugrađeni na opremi ili tokom proizvodnje tako da omogućće stalno prikupljanje podataka.

Kritični sustavi koji zahtjevaju unaprijed veliko investiranje, ili koji mogu utjecati na kvalitetu rada trebaju moći prikupiti podatke unutar minute. Skuplji sustavi imaju ugrađenu inteligenciju za nadzor samog sebe u stvarnom vremenu. Utvrđivanje stanja tehničkom sustava u određenom trenutku vremena naziva se tehnička dijagnostika.

Održavanje po stanju dijagnostički je proces koji omogućuje određivanje tehničkog stanja sustava, a prema stanju sustava planiraju se zahvati održavanja. Pritom se stanje tehničkog sustava i "rezervna uporabljivost" moraju moći dovoljno točno odrediti tehničkom dijagnostikom, a trošak dijagnostike treba biti niži od postignutih ušteda dobivenih korištenjem rezervne uporabljivosti. Karakteristična veličina tehničkog stanja, koja obilježuje promjenu stanja,

fizikalna je veličina koja se može mjeriti i prenijeti. Po pravilu, bira se najutjecajniji parametar s obzirom na tehničko stanje sustava, a kod suvremenih proizvodnih procesa to je najčešće parametar prema kojemu se prati i vodi tehnološki proces.

Izbor parametara ovisi o funkciji tehničkog sustava i pronalaženju najutjecajnijih parametara koji oslikavaju njegov rad i trošenje. Parametri mogu biti različiti: razina vibracija, razina buke, napon struje, količina proizvoda, sadržaj nečistoća u ulju, temperatura, tlak, protok itd. Najčešće je riječ o kombinaciji pojedinih parametara.

Praćenje stanja tehničkog sustava svodi na praćenje stanja karakteristične veličine. Pri svakoj dijagnostičkoj kontroli tehničkog stanja sustava, o potrebnim se zahvatima održavanja odlučuje na osnovi granice istrošenost.

Granica pogonske sigurnosti jest stanje istrošenosti uređaja ili sustava, pri čemu se očekuje da će sustav pod danim uvjetima zadržati pogonsku upotrebljivost do iduće dijagnostičke kontrole.

Granicom rashodovanja definira se stanje sustava pri kojemu se njegovi sastavni dijelovi više ne mogu popravljati ili to više nije ekonomično.

Modeli održavanja po stanju dijele se u dvije grupe:

- održavanje po stanju s kontrolom parametara,
- održavanje po stanju s kontrolom razine pouzdanosti.

Održavanje po stanju s kontrolom parametara podrazumijeva kontinuiranu ili povremenu kontrolu parametara kojima se određuje stanje tehničkog sustava te donošenje odluke na temelju toga o zahvatima održavanja.

Održavanje po stanju s kontrolom razine pouzdanosti polazi od prikupljanja, obrade i analize podataka o razini pouzdanosti dijelova tehničkog sustava te donošenja odluke o zahvatima održavanja nakon smanjenja razine pouzdanosti ispod dopuštene vrijednosti. Najčešće korištene metode i tehnike za kontrolu stanja pojedinih parametara prikazane su u tablici 1.

**Tablica 1. Metode i tehnike za kontrolu stanja tehničkog sustava [9]**

<b>NAZIV METODE</b>	<b>VRSTA METODE I INSTRUMENTI</b>	<b>STANJE TEHNIČKOG SUSTAVA</b>	<b>PRIMJENA</b>
<b>Vizualna kontrola</b>	Šum, boja, miris, svjetlo, temperatura, vibracija. Endoskopi, ogledala	U radu i izvan pogona	Opća primjena: motori, turbine, generatori, pumpe, kompresori, itd.
<b>Kontrola temperature</b>	Kontaktna (termometri) Bezkontaktne (optički pirometri, termovizijske kamere) Indikatorske (boja, kreda, trake)	U radu	Široka primjena
<b>Kontrola pukotine</b>	Penetranti	U radu i izvan pogona	Otkriva naprslina samo na površini
	Magnetsko polje	“	Na magnetskim materijalima
	Ultrazvuk	“	Svaki materijal do kojeg postoji pristup
<b>Kontrola vibracija</b>	Razina vibracija Frekventna analiza	U radu i izvan pogona	Za kružna gibanja
<b>Kontrola buke</b>	Fenometri	U radu	
<b>Broj okretaja Tlak ulja Protok Zakretni moment Snaga</b>	Tahograf Manometar Mjerač protoka Torziometar	U radu	
<b>Kontrola trošenja pozicija i sklopova</b>	Spektrometrijska analiza ulja	U radu i izvan pogona	

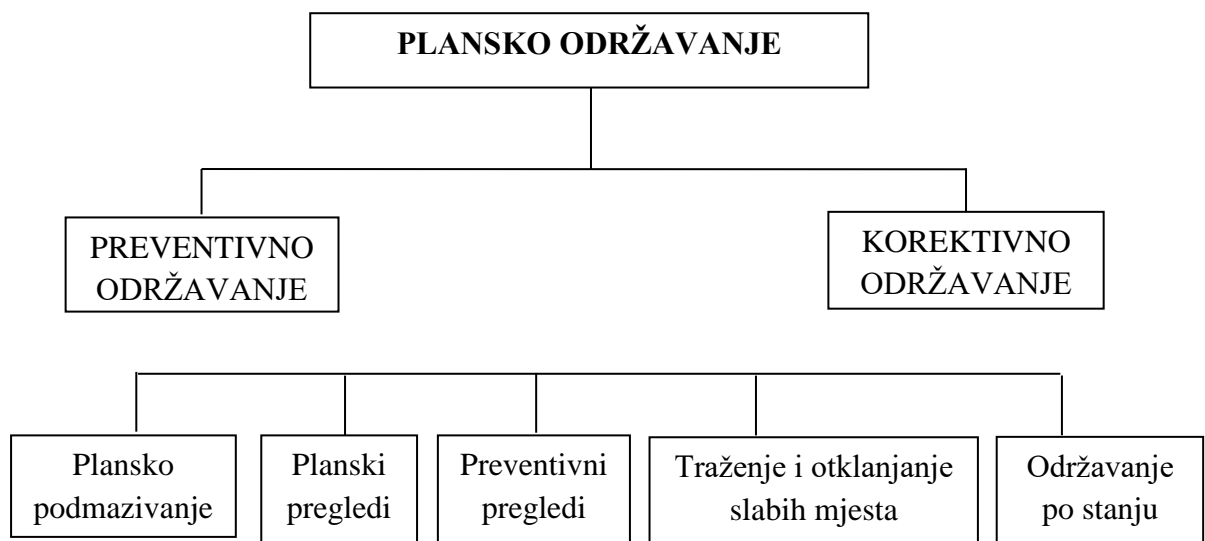


#### 4.3.4. Plansko održavanje

Plansko održavanje je planirano, određeno rasporedom i dokumentirano u svrhu provođenja održavanja prije nastanka kvara. Proces planiranja održavanja povećava učinkovitost zadataka održavanja i eliminira utjecaje održavanja na operativnost sustava.

Plansko održavanje ili održavanje prema rasporedu se sastoji od niza aktivnosti koje se provode po pojedinom dijelu opreme ili sustava. Ovakvo održavanje je unaprijed određen popravak koji izvodi kompetentno osoblje, te se na ovaj način utvrđuje ispravan rad opreme i izbjegava se bilo kakvo neodređeno, izgubljeno vrijeme u kvaru.

Uz održavanje po stanju, plansko održavanje sadrži preventivno održavanje, u kojem se unaprijed planiraju zadaci održavanje, a svako buduće održavanje unaprijed je programirano. Planirano održavanje se stvara za svaki predmet posebno prema proizvođačevim preporukama ili registru. Planovi mogu biti zasnovani na podacima, na temelju radnih sati opreme, ili nekom drugom parametru, a krajnji cilj izrade planova je optimizacija korektivnog i preventivnog održavanja kako je prikazano na slici 10.



**Slika 10. Prikaz planskog održavanja [9]**

#### 4.3.5. Potpuno cjelovito održavanje

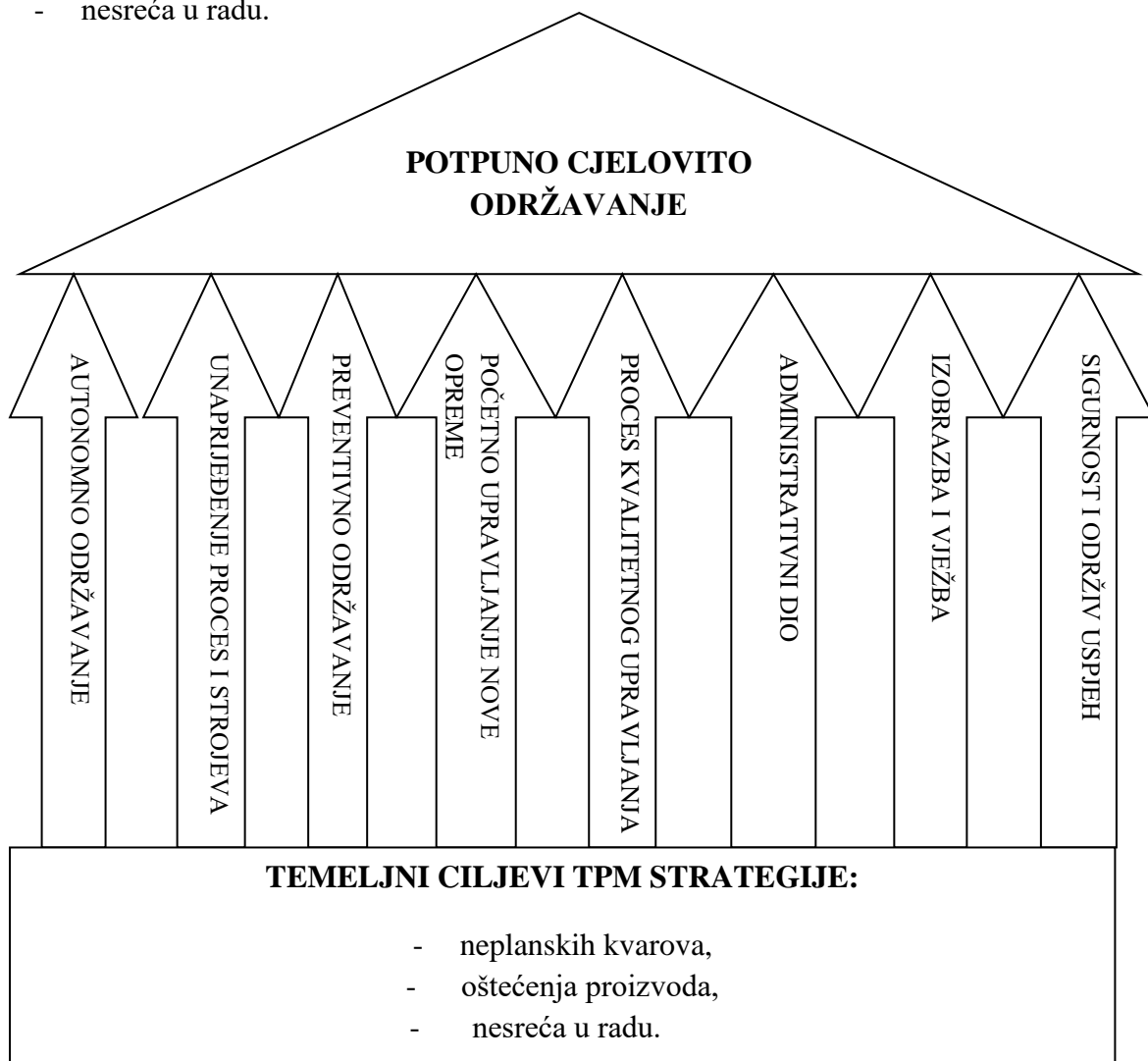
Održavanje je tradicionalno shvaćano kao odvojeni entitet izvan proizvođačkog procesa. S vremenom se u kompanijama počelo stvarati pozitivno stajalište prema ulozi održavanja u proizvodnom procesu. Tako je metoda TPM-a nastala iz potrebe da se održavanje integrira s proizvodnjom u svrhu poboljšanja produktivnosti i spremnosti opreme. Značajne promjene sa korektivnog na proaktivno održavanje, koje se pomoću prediktivnih metoda zasnivaju na preventivnom održavanju, su odraz procesa koji se odvija usvajanjem TPM-a. TPM odnosno cjelovito učinkovito održavanje se koristi za izbacivanje nepotrebnih i štetnih dijelova iz proizvodnog procesa. To se ostvaruje preko smanjenja ili potpune eliminacije gubljenja proizvodnog vremena, koje je posljedica nastanka kvara opreme. Cilj TPM programa je osiguranje stalne spremnosti strojeva, uređaja i opreme u svrhu izostanka zaustavljanja u proizvodnji. Smanjenjem ponovljenog rada, vremena u kvaru i neučinkovite opreme za rezultat ima maksimalnu vrijednost te smanjenje troškova. Uspješni TPM program predstavlja napor cijele organizacije u kojoj svi rade zajedno u svrhu održavanja i poboljšavanja opreme. Jedan od prvih koraka kod uvođenja TPM koncepta je oblikovanje timova koji su osposobljeni da unaprijede proces. Ravnanjem strukture organizacije stvara se prostor da timovi rješavaju goruće probleme. Kada se zaposlenici podijele u timove, operatori se obučavaju da provode rutinska održavanja pojedinih dijelova i pretpostavljaju ulogu vodstva. Zaposlenici koji su osposobljeni da utječu na proces će biti u poziciji da identificiraju i stvaraju proces poboljšanja. To je veliki doprinos jer inače takav proces ne bi bio prepoznat od strane menadžmenta. Konstantno djelovanje na proces stvara metodu za usvajanje poboljšanja. Kako se problem rješava koristeći TPM programe dolazi do prikaza prave vrijednosti TPM-a. Kako se i „lean“ proizvodnja (menadžment) oslanja na Kaizen odnosno stalno poboljšavanje, stalno ocjenjivanje ciklusa održavanja, može se usaditi stalno poboljšanje u programu održavanja. Analiza korijena uzroka otkriva osnovne probleme koje treba riješiti. Rješavanjem problema u samom korijenu stvara se mogućnost za eliminaciju istih. OEE (engl. *Overall Equipment Effectiveness*) odnosno ukupna učinkovitost opreme je izvorno razvijen metrički način mjerenja uspješnosti TPM, a to se odvija pomoću tri parametra koja se mjere: kvaliteta, spremnost i performanse. OEE omogućava praćenje i mjerenje napretka organizacije na jednostavan, i lagan za razumjevanje metrički način. OEE pruža mjerilo napretka TPM-a, a i okvir za određivanje područja u kojima se može ostvariti poboljšanje.

Koncept potpunog cjelovitog održavanja je predstavljen 70-tih godina prošlog stoljeća. S. Nakajima je sastavio 8 upravljačkih stupova TPM-a koji su prikazani na slici 11., te se kao prva kompanija koja je koristila ovu metodu smatra japanski proizvođač dijelova za automobile – Nippondenso.

Preventivno i rutinsko održavanje pomažu u smanjenju vremena u kvaru i podižu ukupnu produktivnost čime se TPM koncept odlikuje: stvaranjem učinkovitog radnog mjesta organizacije i standardiziranjem procedura u svrhu poboljšanja sigurnosti, kvalitete, produktivnosti i samog stava zaposlenika.

Kao osnovna tri cilja TPM koncepta postavlja se eliminacija:

- neplanskih kvarova,
- oštećenja proizvoda,
- nesreća u radu.



**Slika 11. Prikaz strukture potpunog cjelovitog održavanja [17]**

1. AUTONOMNO ODRŽAVANJE – operatori nadziru svoje područje rada i stanje opreme na kojoj rade.
2. UNAPRIJEĐENJE PROCESA I STROJEVA – vođe timova prikupljaju podatke s područja rada i od samih operatora, zatim po prioritetu razvrstaju preventivno održavanje i unaprijeđuju ga.
3. PREVENTIVNO ODRŽAVANJE – operatori i vođe timova dijele raspored i zadatke preventivnog održavanja.
4. POČETNO UPRAVLJANJE NOVE OPREME – vođe timova predviđaju i planiraju dijelova koji se odnose na određeni period u životnom vijeku opreme.
5. PROCES KVALITETNOG UPRAVLJANJA – dijeljenje radova odnosno održavanja, potiče stvaranje kvalitetnih ideja za napredak u svim područjima rada.
6. ADMINISTRATIVNI DIO – menadžeri svrstavaju podatke iz prethodnih stupova, te dijele ishode s vođama timova.
7. IZOBRAZBA I VJEŽBA – stalno poboljšavanje uključuje ulaganje u izobrazbu i vježbu operatera što za svrhu ima podizanje morala, učinkovitosti te potiče zadržavanje osoblja.
8. SIGURNOST I ODRŽIV USPJEH – kroz cijelo psotrojenje se sigurnost preslaguje po prioritetu, što dugoročno uključuje održiv uspjeh TPM-a.

#### 4.3.6. Održavanje usmjereno na pouzdanost

Održavanje usmjereno na pouzdanost je strategija održavanja na razini korporacije koja je implementirana u svrhu optimiranja programa održavanja za određenu kompaniju ili pogon. Krajnji rezultat RCM programan je implementacija određenih strategija održavanja za pojedini dio pogona. Strategije održavanja se optimiziranja u svrhu očuvanja produktivnosti pogona koristeći (engl. *cost-effective*) tehnike održavanja za smanjenje troškova.

RCM program je proces sistematske analize projektiranog sustava za razumjevanje:

- 1) Primarni cilj je sačuvati funkciju sustava.
- 2) Identifikacija modova kvara koji mogu utjecati na funkciju sustava.
- 3) Raspored modova kvara prema prioritetu.
- 4) Odabir primjenjivih i učinkovitih zadataka za kontrolu modova kvara, odnosno sprječavanje nastanka kvara ili otkrivanje potencijalnog kvara prije nego stvarno nastupi.
- 5) Zahtjevi skladištenja rezervnih dijelova.

Razumjevanje ovih stavki se postiže primjenom analitičkog pristupa za odgovor na slijedeća pitanja:

1. Koje su funkcije i željeni standardi performansi pojedinog dijela?
2. Kako sustav može neispuniti svoje funkcije?
3. Koji su modovi kvara za svaki funkcionalni kvar?
4. Što se dogodi kada uslijedi kvar?
5. Koje su posljedice kada kvar nastupi?
6. Što se može/ili treba učiniti da se kvar otkrije i spriječi?
7. Što treba učiniti ako se ne može pronaći odgovarajući zadatak održavanja?

Učinkovita primjena RCM-a zasniva se na proučavanju pogona kao niza funkcionalnih sustava od kojih svaki ima svoje ulazne i izlazne parametre koji doprinose uspješnosti pogona. Veća pozornost se pridodaje pouzdanosti nego funkcionalnosti. RCM strategija održavanja funkcionira na način da se identificiraju najkritičnije funkcije kompanije te se optimizira strategija održavanja u cilju minimaliziranja kvarova sustava, te za krajnji cilj ima povećanje pouzdanosti i spremnosti opreme. Najkritičniji dijelovi su oni koji često podliježu kvarovima ili imaju velike posljedice kvara. Pomoću RCM metode se određuju mogući modovi kvara i njihovi učinci, te se zatim pomoću *cost-effective* tehnike mogu isti odrediti.

Postoji nekoliko različitih metoda za primjenu RCM metode, te su sažete u 7 korak koji su:

1. ODABIR OPREME ZA RCM ANALIZU – prvi korak je odabir dijela opreme koji će biti podvrgnut RCM analizi. Odabir treba biti proveden prema razini kritičnosti, u pogledu učinka na rad, troškovima popravaka i troškova preventivnog održavanja koji su prethodili.
2. ODREĐIVANJE GRANICA I FUNKCIJE SUSTAVA KOJI SADŽI ODABRANU OPREMU – oprema je dio sustava koji obavlja iznimno važne funkcije. Sustav može biti manji ili veći, ali bez obzira na veličinu ulazni i izlazni parametri, bilo kojeg promatranog sustava, trebaju biti poznati. Na primjer, funkcija sustava pokretne trake je prijenos robe. Ulaz ovakovog sustava je roba i mehanička energija koja pogoni remen, dok je izlaz robe. U ovom slučaju elektromotor koji osigurava mehaničku energiju bi trebao biti razmatran kao dio nekog drugog sustava.
3. DEFINIRANJE NAČINA NA KOJE MOŽE USLIJEDITI KVAR SUSTAVA (modovi kvara) – cilj je sastavljanje liste svih načina na koji može uslijediti kvar. Na primjer, kvar na pokretnoj traci može uslijediti zbog nemogućnosti prijenosa robe s jednog kraja na drugi ili se proces jednostavno ne odvija dovoljno brzo.
4. PREPOZNAVANJE KORIJENA UZROKA MODOVA KVARA – uz pomoć operatora, RCM stručnjaka i stručnjaka za pojedini dio opreme, može se odrediti korijen uzroka za svaki mod kvara. Za primjer, korijen uzroka kvara pokretne trake može upućivati na nedostatak podmazivanja na valjcima, kvar na ležaju ili popušanje remena.
5. PROCJENA UČINKA KVARA – promatraju se učinci svakog moda kvara. Kvarovi opreme mogu ugroziti sigurnost, rad ili neku drugu opremu. Stoga treba uzeti u obzir kritičnost svakog moda kvara. Razne tehnike i alati se mogu koristiti za stvaranje sistematskog pristupa. U zaključku systemske analize određuju se najvažniji modovi kvara. Nadalje, treba provjeriti da li mod kvara utječe na sigurnost i da li za rezultat ima potpun ili djelomičan prekid rada. Daljnjom analizom, modova kvara s najvećim prioritetom, postiže se odgovor na ova pitanja. Ovakvi modovi kvara imaju veliku vjerojatnost pojave u stvarnim uvjetima rada.
6. ODABIR STRATEGIJE ODRŽAVANJA ZA POJEDINI MOD KVARA – određuje se naprikladnija strategija održavanja za pojedini mod kvara. Odabrana strategija održavanja mora biti tehnički i ekonomski izvediv. Održavanje prema stanju se koristi za slučaj da je tehnički i ekonomski izvediv za određivanje početka modova kvara. Preventivno održavanje, bilo da je zasnovano na vremenu ili intezitetu uporabe, koristi

se za slučaj da je tehnički i ekonomski izvedivo u svrhu smanjenja rizika kvarova. U slučaju da nijedna od navedenih strategija nije optimalna tada se izvodi redizajn sustava u svrhu eliminiranja ili modificiranja modova kvara. Modovi kvara koji nisu određeni kao kritični identificirani su kao potencijalni za korektivno održavanje, odnosno korištenje do kvara.

7. PRIMJENA I POTOM REDOVITI PREGLED ODABRANE STRATEGIJE ODRŽAVANJA – RCM metodologija je važeća samo ako se preporuke održavanja provedu u praksu, te se tada konstanto provode pregledi i poboljšavanje u skladu s novim saznanjima.

Razne tehnike i alati se mogu koristiti za stvaranje sistematskog pristupa, spomenuti u petom koraku su :

- Analiza moda kvara, učinka i kritičnosti kvara (engl. *Failure Mode, Effects and Criticality Analysis* - FMECA)
- Stablo analize kvarova (engl. *Fault Tree Analysis* - FTA)
- Alati za donošenje odluke na temelju procjene rizika (tj. matrica rizika)

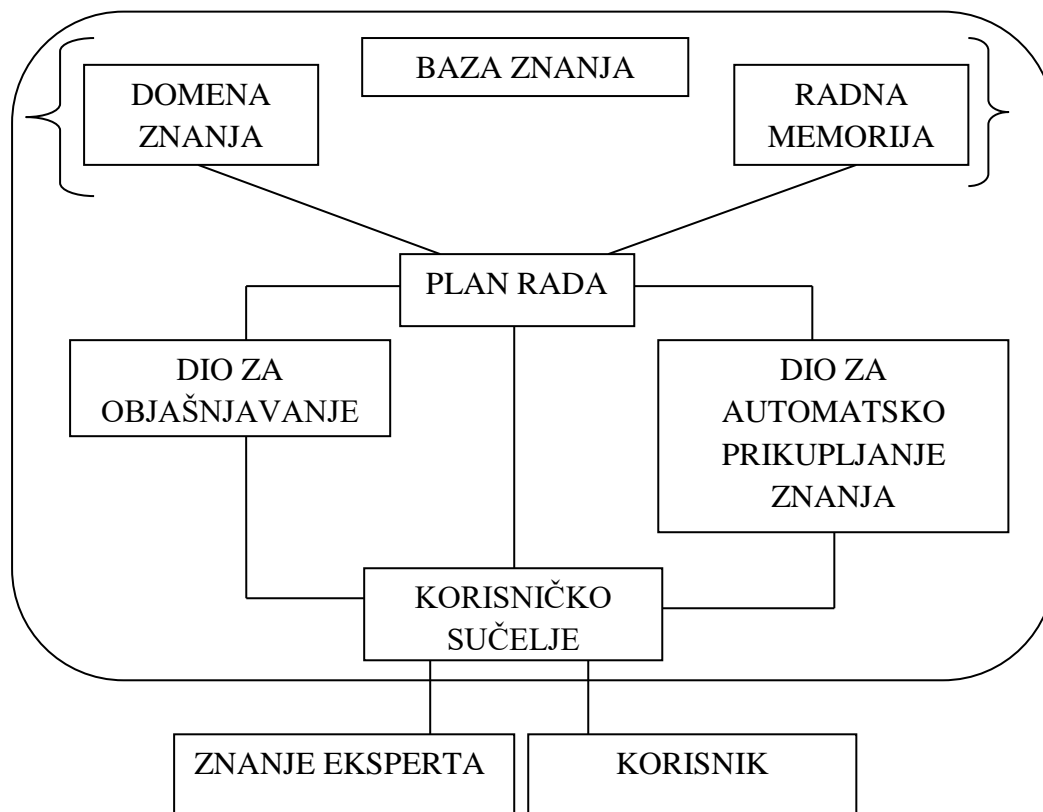
#### 4.3.7. Ekspertni sustavi

Iako je predstavljen prije 3 desetljeća, pristup ekspertnog sustava je danas jedan od naprikladnijih metoda modeliranja ljudske stručnosti sadržane u računalu. Iako većina ekspertnih sustava za oblikovanje brodskih potreba je usmjerena na razvoj pomoći pri rješavanju kompleksnih značajki problema. Projekt ekspertnog sustava funkcionira na način da pruža pomoću opisivanja znanja i reprezentativnim tehnikama. Te tehnike se koriste za povlačenje znanja čovjeka/eksperta iz nekoliko izvora. Knjige su najčešće korištena metoda opisivanja znanja koje je većinski predstavljeno putem pravila ili ciljeva. Dio za zaključivanje donosi zaključak o pravilima, koja su ispunjena putem ciljeva ili podataka, te ih provodi po prioritetima.

Struktura tipičnog ekspertnog sustava s glavnim komponentama je prikazana na slici 12., a te komponente su:

- **Korisničko sučelje** - mehanizam putem kojeg se odvija komunikacija između korisnika i ekspertnog sustava.
- **Dio za objašnjenje** – služi korisniku za pojašnjenje principa rasuđivanja sustava.
- **Dio za zaključivanje** – donosi zaključak na način da provodi pravila koja su ispunjena preko podataka ili ciljeva. Pomoću sheme prioriteta se određuju poddaci ili ciljevi.
- **Plan rada** – predstavlja listu pravila nastalih putem procesa zaključivanja, čiji su obrasci ispunjeni preko podataka i ciljeva u radnoj memoriji.
- **Sredstvo za automatsko prikupljanje znanja** – automatiziran način za korisnika da dođe do znanja sustava, predstavlja pristupačiji pristup nego da je znanje kodirano.
- **Baza znanja** – sastoji se od dva dijela, domene znanja koja predstavlja neka pravila o problematici same domene, te radne memorije.





**Slika 12. Elementi tipičnog ekspertnog sustava [11]**

Prednosti tipičnog ekspertnog sustava su:

- domena znanja (pravila) može biti dostupna na bilo kojem prikladnom računalnom hardveru,
- troškovi pružanja ekspertnog sustava se znatno smanjuju ako ima više korisnika,
- za razliku od ljudskog stručnjaka, ekspertni sustav nema emocija niti ima vijek trajanja,
- znanje više eksperta može stalno biti dostupno, za istodobni i kontinuirani rad na problemu,
- ekspertni sustav može u detalje objasniti razloge za određeni izvedeni zaključak,
- odgovor u stvarnom vremenu može biti zahtjevan za neke primjene, pa je ekspertni sustav u prednosti je brže odgovara i može biti dostupniji od stručnjaka,
- ekspertni sustav je stabilan i nudi potpuni odgovor u bilo kojem trenutku.

Nedostaci tipičnog ekspertnog sustava su:

- neke aplikacije je teško koristiti osobama koje nisu dovoljno stručne za rukovanje bazama znanja,
- neki sustavi su vrlo spori u usporedbi s čovjekom/ekspertom,
- ponekad može doći do iznenadnog pada sposobnosti znanja sustava,

- ponekad je teško pristupiti znanju iz eksperta te ga staviti u format koji ekspertni sustav može obraditi, te treba ograničiti veličinu ekspertnog sustava,
- nesposobnost ekspertnog sustava da izloži smislene granice učinkovitosti trenutnih aplikacija.

Ekspertni model je program koji se ponaša slično kao stručnjak za određeno područje. Osim mogućnosti rješavanja problema, korisniku treba pružiti objašnjenje svojih odluka, tj. zaključaka koji su doveli do tih odluka. Najviše su se razvili ekspertni sustavi za velike uređaje, kao što su motori. Ekspertni sustavi se temelje na eksperimentalnim podacima, dobivenim mjerenjem relevantnih značajki motora, koji se od strane proizvođača motora unose se u bazu podataka, u kojoj su iskustvena stručna saznanja stručnjaka-eksperata, po kojima je cijeli sustav i dobio ime. Baza podataka se spaja s modulom, koji ima sposobnost donošenja zaključaka. Takav sustav čini ekspertni sustav za dijagnostiku stanja motora.

Model se zasniva na:

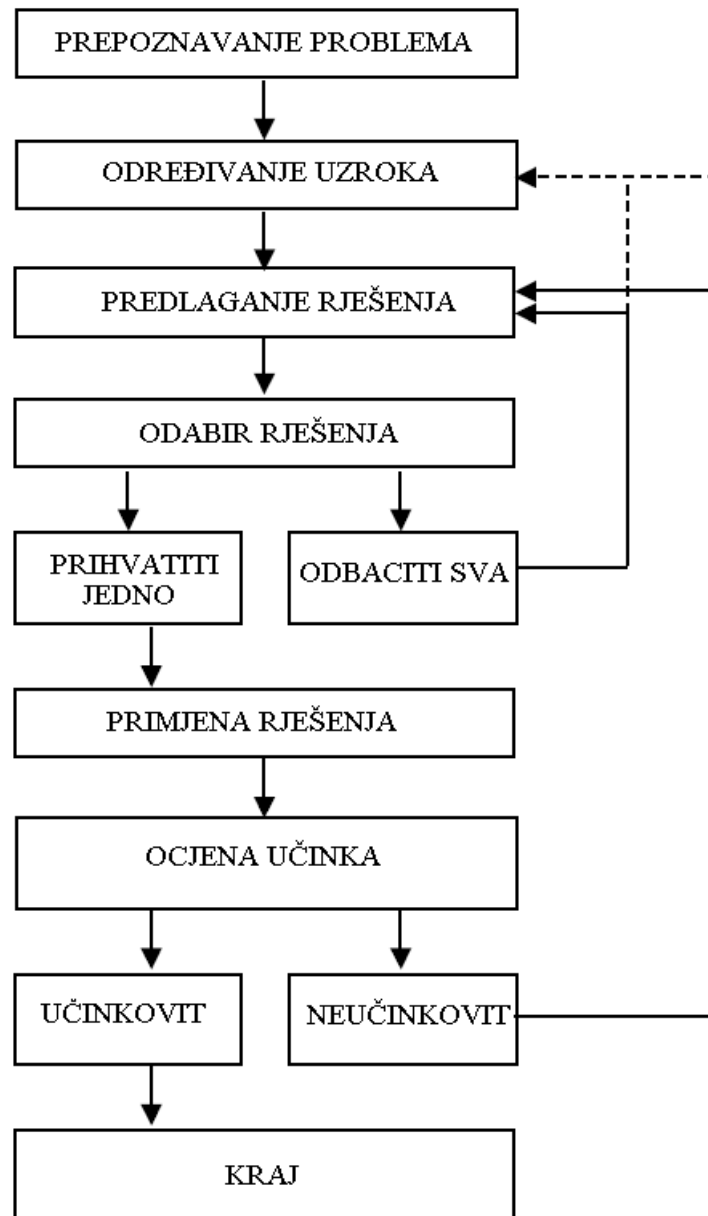
1. objašnjenju odgovora (kako, zašto),
2. primjeni nepotpunih podataka,
3. upotrebi nepouzdanih podataka,
4. jasnoći.

Ekspertni model sastoji se od tri modula:

- baze znanja,
- mehanizma zaključivanja,
- korisničkog posrednika.

Ekspertni sustav je u radu cijelo vrijeme i mora moći uraditi:

- primati i obrađivati informacije,
- razvrstavati prikupljene informacije,
- uspoređivati primljene podatke s podacima u bazi i prepoznati potencijalni problem,
- obraditi i nepotpune informacije i odvojiti bitne od nebitnih informacija,
- pravovremeno primjeniti znanje iz baze, pružajući podatke opsluživaču sustava koji će mu omogućiti izvršenje djelovanja koje će otkloniti potencijalni problem,
- primati i unapređivati svoje prvobitno znanje, nadopunjujući bazu podataka i vezujući novostečena znanja s početnim podacima u bazi.



**Slika 13. Dijagram toka ekspertnog sustava [6]**

Samo odlučivanje računala se temelji na izboru ponuđenih unosa u bazi, vezanima uz određene primljene podatke. Program mora moći iz nekoliko rješenja odrediti najvjerojatniji uzrok problema i predložiti opsluživaču način otklanjanja tog uzroka, prikaz na slici 13. Naravno, da bi sustav radio, njegovi zaključci moraju biti točni. Ponekad može uslijediti i pogrešno dijagnosticiranje problema i tada sustav zahtjeva nadopunu novim saznanjima, jer je nemoguće da se prilikom izvedbe baze predvide apsolutno sve okolnosti koje se mogu dogoditi tijekom radnog vijeka stroja.

Upotreba ekspertnog sustava pruža mogućnost korištenja prednosti automatskog nadzora stroja i direktne intervencije, kao i mogućnost stalne nadogradnje baze podataka novim saznanjima i iskustvima. Time se povećava sigurnost broda, a vlasniku i operateru se omogućava smanjenje odgovornosti, olakšava održavanje i kontrola uređaja, te što je najvažnije, smanjuju se troškovi održavanja i troškovi zastoja.

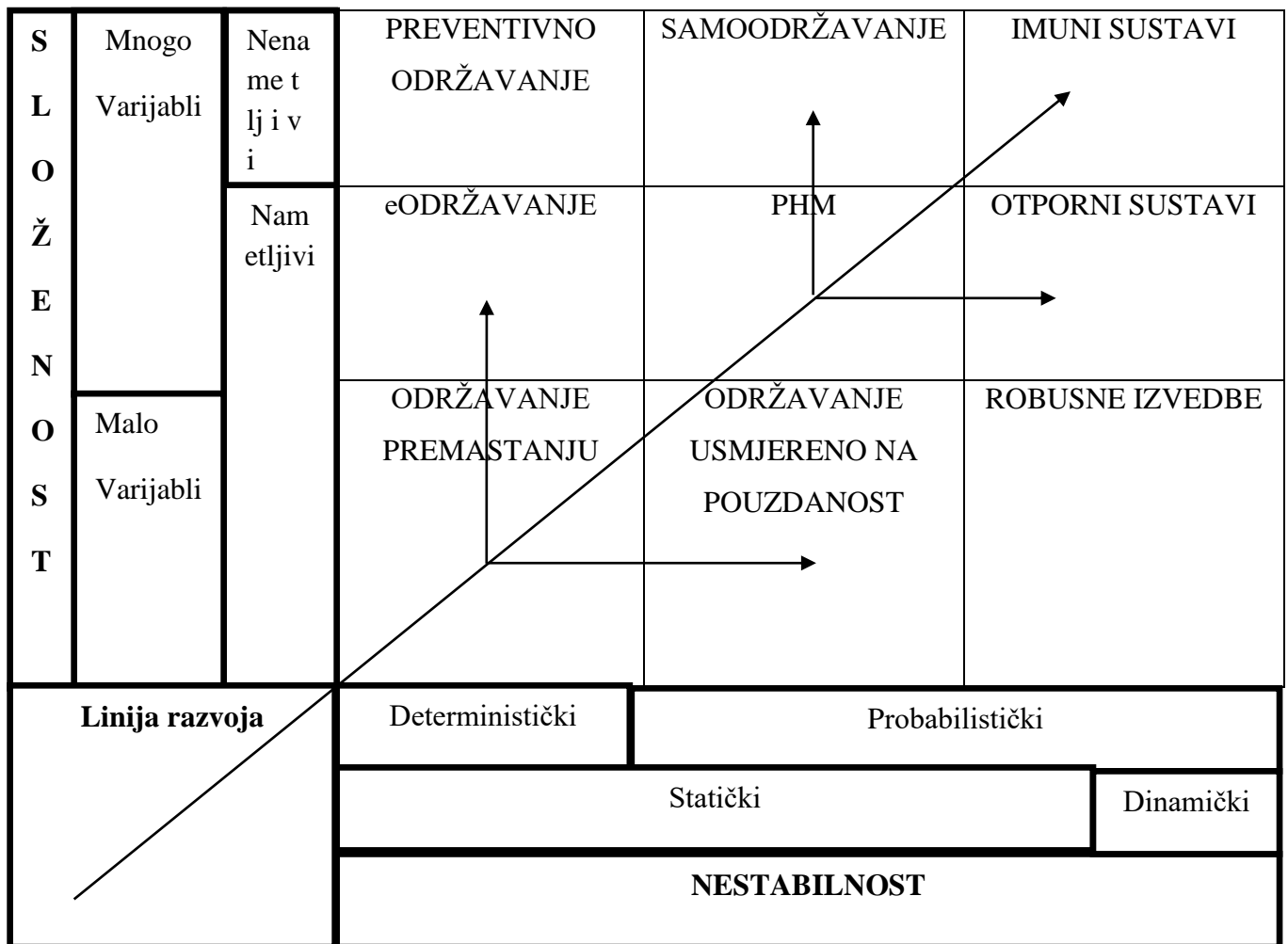
Od ekspertnih sustava se zahtijevaju sljedeće sposobnosti:

- nadzor uređaja u radu,
- analiza učinka uređaja,
- praćenje stanja uređaja i radnog procesa,
- planiranje održavanja,
- praćenje zaliha dijelova, njihov otpis i nabava.

#### **4.3.8. Koncept samoodržavanja**

Suvremene strojarnice u sebi sadržavaju određeni oblik umjetne inteligencije za održavanje, a to se očituje preko „predvidi i sprječi“ umjesto „popravi kad se pokvari“ pristupa, a to se postiže koristeći instrumente na profesionalnoj razini poput raznih mjerila, senzora, kontrolera i naprava za računanje te „pametnih“ algoritama. Sve više istraživanja je usmjereno prema PHM (engl. *prognostic and health management*) odnosno na upravljanje usmjereno na dijagnostiku i „zdravlje“ odnosno stanje. PHM je usmjereno prema otkrivanju početnih kvarova, procjeni trenutnog „zdravlja“ odnosno stanja i predviđanja preostalog korisnog vijeka trajanja.

Koncept i okvir PHM-a razvija se na već poznatim metodama održavanja i dijagnostičkim tehnikama, kao što su preventivno, korektivno održavanje i održavanje po stanju. Na slici 14., je prikazana mapa pretvorbe u kojoj različite strategije održavanja su prikazane skupa sa složenosti i neizvjesnosti sustava. Kao inženjerski cilj PHM-a je da pruži korisniku cjelovit prikaz zdravstvenog stanja uređaja ili cijelog sustava.



**Slika 14. Prikaz mape pretvorbe održavanja [9]**

Od učinkovitog PHM-a sustava se očekuje:

- detekciju i izolaciju početnog kvara bilo da se radi o komponenti ili pod-elementu,
- da posjeduje sredstva za nadzor i predviđanje napredka kvara,
- da pomaže pri izradi ili autonomno pokrene raspored održavanja,
- te da upravlja pri donošenju odluka i pothvata za pojedini dio.

Korištenjem ovakvog sustava nestaje potreba za preventivnim održavanjem te se eliminiraju troškovi istog, optimizira se raspored održavanja, te se stvara mogućnost smanjenja vremena potrebnog za nabavu sredstava i rezervnih dijelova. To znači da korištenje ovakvog sustava može za rezultat imati značajne uštede. Za učinkovitu primjenu ove metodologije u raznim vrstama strojeva i opreme, treba razviti integraciju sustava sa svojom okolinom (senzorima, aktuatorima, kontrolerima, sučeljem, itd.). To omogućava praćenje ponašanja stroja s udaljenog mjesta odnosno ocjenjivanje i pristup bez fizičkog pristupa stroju.

PHM je opći način rješavanja za određeni stupanj složenosti i neizvjesnosti sustava. Robusnije izvedbe treba uzeti u obzir kada je neizvjesnost sustava prekomplikirana, što je čest slučaj kod visoko dinamičkih sustava kod kojih se ponašanje može mijenjati s vremenom. U ovakvom slučaju sredstva bi trebala biti dodijeljena procesima oblikovanja, radije nego oslanjanje na preglede da se osigura kvaliteta. Također, performanse opreme zbog robusnosti oblikovanja trebaju biti raspoređene na način da imaju minimalnu osjetljivost materijala, te varijacija u radu i tokom proizvodnje. Za slučaj da se složenost i neizvjesnost sustava i dalje povećavaju, neophodno je da se koriste **elastični sustavi**. Elastični sustavi mogu upravljati funkcijama na više mogućih stanja, pretrpjeti različite vrste poremećaja te postepeno se vratiti u stanje ravnoteže. U usporedbi s konceptom robusnog sustava, elastičnost znači da je sustav sposoban da dinamički preživi razne nepredviđene udare i da se prilagodi neredu u svrhu postizanja novog stabilnog stanja i to pri ujednačenoj brzini. Elastičnost je jedna od brojnih kvaliteta koje u budućnosti treba, uz pomoć PHM tehnika, integrirati u sustav.

Za sustave s visokom stopom neizvjesnosti i složenosti primjenjivi su samo ne napadni pristupi, te su potrebna rješenja koja su naprednija nego što preventivno održavanje može pružiti. Ovakvi pristupi se koriste u svrhu postizanja pravodobnog održavanja i optimalnog troška. **Samoodržavanje** je prikaldan pristup za ovakve sustave. Samoodržavanje se odnosi na sposobnost provođenja redovnih provjera, to se vrši u svrhu pronalaska anomalija i provođenja brzog i pravovremenog popravka kada za to nastupi potreba. To se vrši korištenjem rezervnih dijelova iz zaliha da se izbjegnu golemi gubici u vremenu i trošku. Uređaj koji je samoodrživ ima mogućnost da sam sebe nadzire i obavlja dijagnostiku nad samim sobom, te ako uslijedi bilo kakav kvar ili degradacija može zadržati, za neki određeni vremenski period, funkcije za koji je projektiran.

Funkcionalno održavanja ima za cilj nadoknadu zahtjevanih funkcija uređaja na način da mijenja druge funkcije, dok tradicionalni popravak ima za cilj nadoknadu početnog stanja na način da se izmjeni komponenta koja je u kvaru. Za provođenje funkcija samoodržavanja potrebno je uređaju dati inteligenciju tako da bude dovoljno „pametan“ za funkcionalno održavanje. Drugim riječima, samoodržavanje bi bilo priloženo postojećem stroju kao dodatno ugrađen sustav za obrazloženje.

Drugi pristup sustavu za stvaranje sposobnosti samoodržavanja je da se na uređaj pridoda funkcija za aktiviranje samoposluživanja. U tom slučaju će uređaj provoditi nadzor i dijagnostiku nad samim sobom te sam aktivirati zahtjev za popravkom koji će sadržavati jasne

i detaljne zatjeve za održavanjem. Zadatak održavanja se i dalje provodi preko osoblja za održavanje, ali se ovim pristupom preko integracije rasporeda održavanja, obavještanja sustava, upravljanja sustava rezervnih zaliha samnjuju troškovi održavanja i povećeva se zadovoljstvo korisnika.

Samoodržavanje treba razmatrati kao sveukupno poboljšanje pouzdanosti sustava i kao pomoć prilikom odlučivanja u slučaju kvara. U raznim uvjetima sustav bi trebao nastaviti s radom i provođenjem osnovnih funkcija, unatoč smanjenju performansi, te informirati o potrebnim zahtjevima za održavanjem.

## 5. PRIMJENA SUVREMENIH STRATEGIJA U ODRŽAVANJU

### 5.1. PREDNOSTI SUVREMENIH STRATEGIJA U ODRŽAVANJU

U svakom sustavu održavanja postoje mogućnosti za njegovo poboljšanje, kao i u izboru načina da se dođe do boljeg sustava i boljih rezultata funkcioniranja. Zbog toga je potrebno analizirati problem i ukazati na mogućnosti primjene suvremenih strategija održavanja, ali i drugih pristupa, temeljenih na iskustvima i raznim istraživanjima. Postavljaju se i zahtjevi za bezotkaznošću i minimalnim zastojevima zbog održavanja. To se prvenstveno odnosi na ključnu opremu. Ciljevi su da se:

1. formaliziraju pristupi upravljanju rizikom (npr. tehnike kao: Root Cause Analyse), FMECA, Probabilistic Safety Assesment, Probabilistic Risk Assessment, i dr.).
2. primjene suvremene strategija održavanja: održavanje prema pouzdanosti, potpuno produktivno održavanje i dr.
3. izvrši integracija utjecaja ljudskog faktora (pouzdanost, pogreške, itd.).
4. primjeni participativni pristup u projektiranju opreme (kao što su tehnike: Design for Maintainability, Value Ennginering, Hazopi, i dr.).

Pokazatelji da su neke metode za poboljšanje sustava održavanja doprinose rastu uspjeha su sljedeći :

- ne smije biti više od 25% neplaniranih troškova,
- planski poslovi bi trebali sezati do 95%,
- plansko angažiranje do 70% raspoloživih resursa,
- dnevni raspoloživi kapaciteti moraju biti angažirani 100%,
- postotak traženih prema trenutno zadovoljenim zahtjevima za rezervne dijelove trebao bi biti 97%,
- organizacijska cjelina koja se bavi upravljanjem i planiranjem ne treba biti vezana za izvršni dio organizacije,
- planiranje se obavlja prije raspoređivanja poslova, te se poslovi raspoređuju na one koji ih mogu izvršiti, a izvršenje poslova se ne prekida,
- planirani poslovi se izvršavaju na vrijeme,
- postoji sustav za određivanje prioriteta poslova,
- postoji preventivno održavanje koje se izvodi kada je jeftinije od korektivnog održavanja i većinom bez zaustavljanja rada sustava i strojeva,
- preventivne radnje održavanja izvršavaju se 100%,



- baza tehničkih podataka je 95% ažurna te točna,
- korisnici sudjeluju u provođenju radnji koje omogućavaju stvaranje osnovnih uvjeta za rad opreme (postoji „njega“ opreme),
- postoji posebna organizacijska cjelina koja se bavi s RCA, FMECA i drugim naprednim tehnikama i direktno je odgovorna glavnom menadžeru.

Kao osnova za pristup bilo kojoj suvremenoj strategiji održavanja treba se uzeti u obzir, informacijski sustav za upravljanje održavanjem (engl. *Computerised Maintenance Management System* – CMMS), jer bez njega nema primjene suvremenih strategija održavanja, kao ni učinkovitog i efikasnog menadžmenta održavanjem. Uvođenje ovog menadžerskog pomagala prvi je korak u poboljšavanju svakog sustava održavanja. Utvrđivanje je li postojeći sustav održavanja dobar, treba započeti s njegovom analizom zasnovanoj na podacima iz CMMS. Na ovakav način se utvrđuje da li CCMS isporučuje potrebne izlazne podatke. Ova analiza praktično se sastoji iz dva koraka. Prvi korak je „ocjena“ koja se sastoji u putem dobivenih odgovora na slijedeća pitanja:

1. Jesu li preventivne procedure svrsishodne (raste li ili pada broj korektivnih akcija, koliko radnih sati se troši na korektivne, a koliko na preventivne akcije održavanja, itd.)?
2. Obavlja li se preventivno održavanje redovito i kakvi su rezultati (na svakih 6 preventivnih akcija održavanja trebala bi se otkriti jedna korektivna)?
3. Gdje su problemi vezani s pouzdanošću (koja oprema, koji dijelovi i procesi najčešće otkazuju)?
4. Gdje se troši najveći broj radnih sati održavanja (po različitim klasifikacijama vrste poslova)?
5. Koliko je nedovršenih poslova (ukupna količina poslova ne smije prijeći veličinu koja se ne može završiti za 6 radnih tjedana)?
6. Kolika je učinkovitost posade u održavanju?
7. Koliko kompanija troši novca na održavanje i gdje su problemi (posada, dijelovi, oprema, proizvođači, itd.)?

Drugi korak sastoji se u identificiranju problema (prvenstveno vezano za CMMS), a obuhvaća odgovore na pitanja:

1. Generira li softver potrebne liste i tablice i na koji način (npr. ako je izdvojeno više od 10 kritičnih vrsta opreme to nije dobro)?
  2. Kakav je pregled opreme (identifikacijski brojevi, naziv, tip, model, starost, pripadnost organizacijskim cjelinama, lokacija, itd.)?
  3. Kakav je pregled zaliha (identifikacija, lokacija, isporučitelj, minimalni i maksimalni nivo zaliha, itd.)?
  4. Kakve su mogućnosti softverskog modula za izdavanje i analizu radnih naloga?
  5. Navode li se u analizi preventivnih zadataka održavanja svi resursi potrebni za izvođenje akcija održavanja, postoji li povratna veza, koliko je preventivna akcija bila učinkovita, itd.)?
- Treba spomenuti da CMMS nije strategija održavanja, ali predstavlja početnu investicije u uvođenje suvremenih strategija održavanja. Investicije u sustav CMMS vraćaju za 18 do 30 mjeseci.

Investicije u RCM vraćaju se za 3 do 6 mjeseci, eventualno godinu dana te se smanjuje broj zahtjeva za održavanje za 25 do 40%. Međutim, za njegovu primjenu potrebno je 3 do 6 godina, jer su procedure analize vrlo komplicirane, pa samim time i dugotrajne. Kritike na primjenu ove strategije ističu da je ona namijenjena za projektiranje tehničkih sustava i da su joj ograničene mogućnosti za tehničke sustave koji su u eksploataciji. Neki smatraju da je komplicirana i dugotrajna, posebno kada se do detalja razrađuje FMECA.

RCM ne uzima u obzir planiranje i planske zastoje tehničkih sustava, pa se smatra da je pogodna samo za složene tehničke sustave.

Uvođenje strategije TPM zahtijeva puno vremena i uloženog rada. Prvi učinci su primjetni već poslije 6 mjeseci, dok puna implementacija traje više godina. Velike uspjehe ovaj koncept je postigao pri primjeni u kompanijama kao što su Ford, Kodak, Harley Davidson i Texas Instruments. Investicije se vraćaju za najmanje tri puta, a zastoj zbog održavanja skraćuje i preko 50%.

Ubrzane strategije održavanja nastale su kao odgovor na probleme primjene, prvenstveno RCM strategije, radi njihove brže primjene i bržeg ostvarenja financijskih rezultata. Primjena novih strategija održavanja traži promjenu načina organizacije.

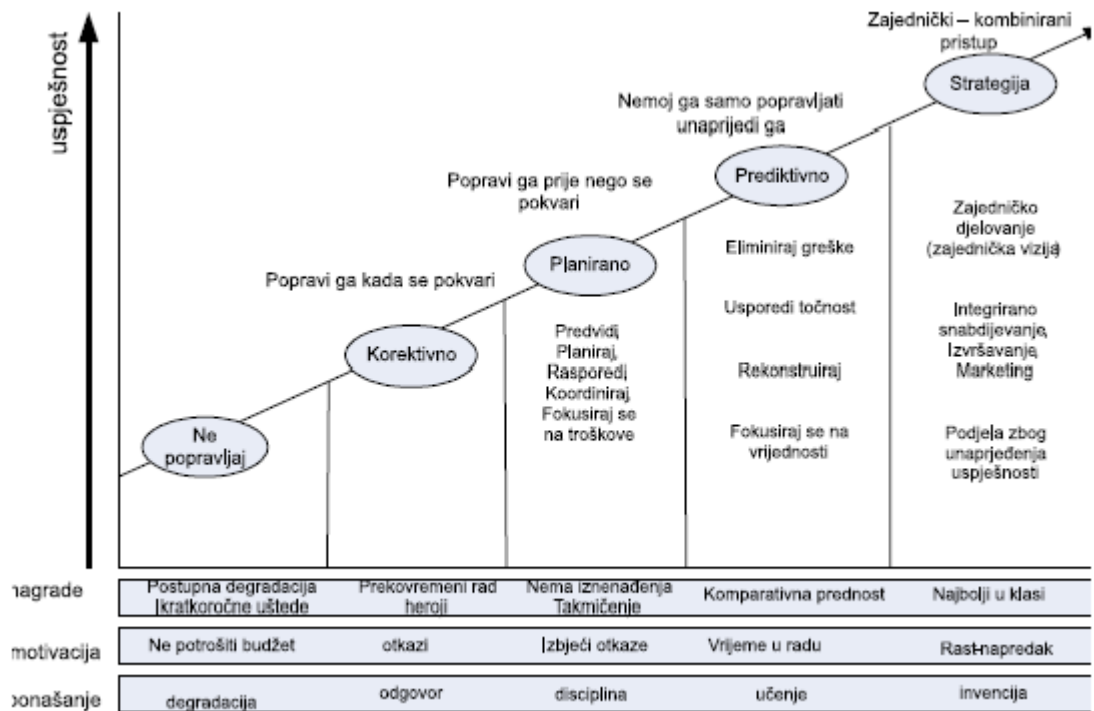
**Tablica 2. Razlike između tradicionalne i suvremene organizacije održavanja [4]**

STARO	NOVO
Orijentacija na popravke	Orijentacija na pouzdanost
Popravi	Unaprijedi
„Gašenje požara“	Predvidi, planiraj, programiraj akcije
Majstor	Član poslovnog tima
Rješavaj otkaze	Eliminiraj otkaze
Smanji troškove održavanja	Povećaj vrijeme u radu
„Akcija program mjeseca“	Kontinuirano unapređivanje
Vjerovanje da su otkazi neizbježni	Vjerovanje da su otkazi samo izuzeci
Prioritet se daje otkazima	Prioritet se daje eliminiranju uzroka otkaza
Mnogo otkaza	Svega nekoliko otkaza
Nizak udio planskih poslova	Visok udio planskih poslova
Mnogo reklamacija	Malo reklamacija
Niska pouzdanost	Visoka pouzdanost
Visoki troškovi održavanja	Niski troškovi održavanja
Kratkoročni planovi	Dugoročni planovi
Neprofitni karakter	Privlači investicije

Kao uvjet za primjenu suvremenih strategija održavanja postavlja se odbacivanje tradicionalnog načina razmišljanja orijentiranog na popravke i orijentaciju na pouzdanost, odnosno, pomak od reaktivnog ka proaktivnom načinu razmišljanja, što podrazumijeva:

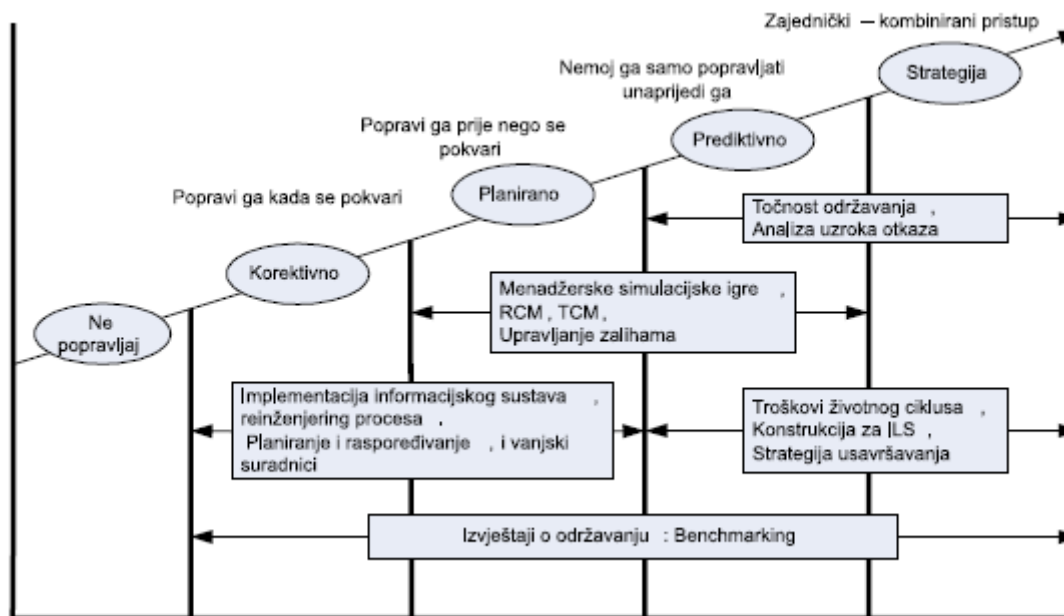
- definiranje dugoročnih strategijskih ciljeva,
- usklađivanje sustava nagrađivanja sa strategijskim ciljevima,
- bolju integraciju osnovne funkcije (prometa, proizvodnje) i održavanja,
- stvaranje mogućnosti za timski rad i učenje,
- isključivo cilju posvećeno vođenje – menadžment.

Razlike između tradicionalne organizacijske kulture u održavanju i suvremene, koja mora nastati, prikazane su u tablici 2. Da bi se ostvarile ove promjene potrebno je 5 do 8 godina. Osnovno je napuštanje orijentacije s neposrednih i kratkoročnih ciljeva i orijentacija ka dugoročnim ciljevima, a neophodna je i odgovarajuća promjena kadra. Put od tradicionalnog pristupa održavanju prema suvremenom pristupu prikazan je na slici 15., gdje su prikazane faze u razvoju sustava održavanja.



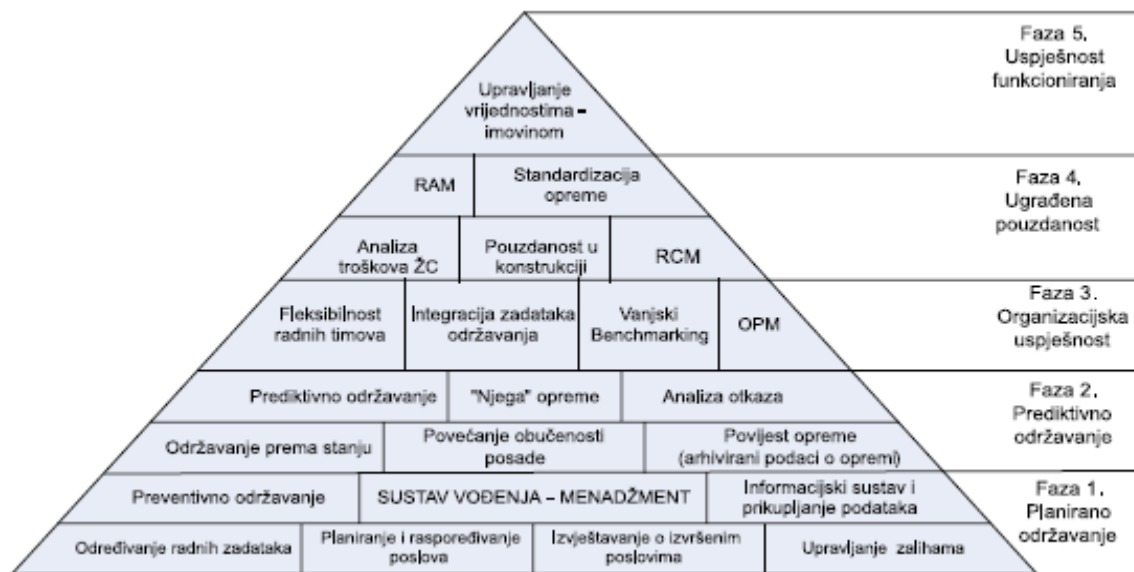
**Slika 15. Faze u razvoju sustava održavanja [4]**

Ukoliko se uvede strategija plansko-preventivnog održavanja, mijenja se suština djelovanja jer se sada naglašava disciplinirano izvršavanje planiranih zadataka i procedura. U proaktivnom okruženju traži se sudjelovanje svih zaposlenih u otkrivanju mogućnosti za eliminiranje kvarova, umanjena potreba za održavanjem umanjuje i potreban broj posade.



**Slika 16. Metode i strategije koje se primjenjuju u ovisnosti od faze razvoja pojedine organizacije održavanja [4]**

Na slici 16., su prikazane metode i strategije koje primjenjuju se u ovisnosti od faze razvoja pojedine organizacije održavanja, te pri svemu tome treba obratiti pozornost da se promjene ne mogu uvoditi u sustave koji „nisu spremni“ za njih. Na primjer, kako dobiti podatke o učincima pojedinih radnji kada ne funkcionira povratna veza u informacijskom sustavu. Redoslijed rješavanja pojedinih pitanja, odnosno problema, ilustrativno je prikazan u vidu piramide na slici 17. U usavršavanju se kreće od baze prema vrhu piramide, a osnovu predstavlja sustav CMMS.

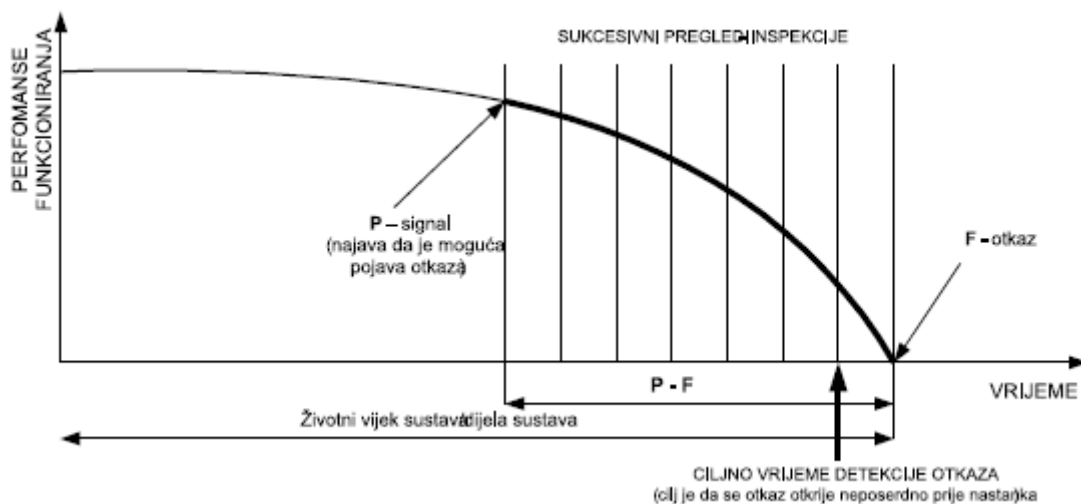


**Slika 17. Redoslijed usavršavanja sustava održavanja [4]**

Rješenje poboljšanja sustava održavanja ne može se tražiti u primjeni samo jedne strategije ili jedne metodologije. Svaka od njih ima određene prednosti, ali i nedostatke. Najbolji rezultati mogli bi se postići njihovom odgovarajućom kombinacijom.

## 5.2. OPTIMIZACIJA PREVENTIVNIH RADNI ODRŽAVANJA I INTERVALA PREGLEDA

Postoje dva osnovna problema koji su više tehničko-tehnološke prirode. Prvi je u određivanju optimalnog intervala pregleda – inspekcije opreme. U primjeni suvremenih strategija održavanja smatra se da tzv. „prvu liniju obrane“ od kvara čine postupci za dijagnostiku stanja opreme i sustava suvremenom opremom za dijagnostiku. Međutim, što su pregledi - inspekcije češći, troškovi održavanja su veći. Ovaj problem prikazan je na slici 18.



Slika 18. Određivanje P-F intervala [4]

Neki dijelovi, odnosno oni kod kojih je moguće dijagnosticirati otkaz, od trenutka P daju signal o tome da je moguća pojava otkaza. U trenutku F taj dio definitivno otkazuje, poslije određenog perioda funkcioniranja uz smanjenje performansi (podebljana krivulja na slici). Ukoliko se sustav – dio pregleda u intervalima manjim od P-F, moguće da se ovaj otkaz otkrije prije nastanka.

Postavlja se pitanje koliko interval pregleda mora biti manji od intervala P-F. Također, postavlja se pitanje je li, ako se češće vrše pregledi, da li je i vjerojatnost kvara manja? Cilj bi bio da se kvar otkrije neposredno prije vremena, jer se na taj način maksimalno iskorištava tzv. rezervna pouzdanosti sustava – dijela sustava. Bitno je istaknuti slijedeće stavove:

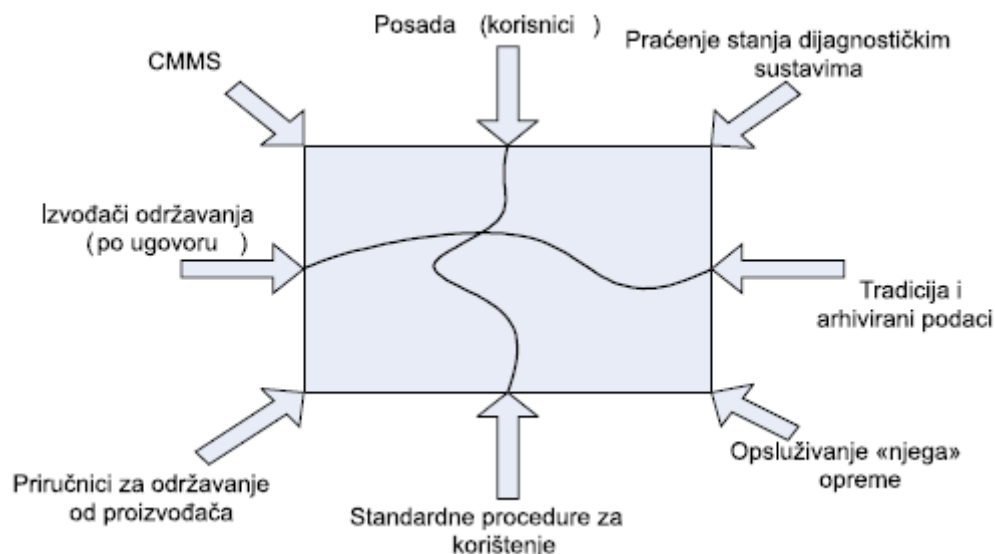
- ukoliko su troškovi preventivne zamjene veći od troškova zastoja sustava, nema svrhe da se preventivno održavaju,
- ukoliko je metoda za dijagnostiku otkaza potpuno pouzdana, znači da obavljanje više od jednog pregleda predstavlja gubljenje vremena i novca. Periodika takvog pregleda

može biti malo manja od P-F intervala. U protivnom se pregledi moraju češće provoditi, što zahtjeva optimizaciju broja pregleda u okviru P-F intervala.

- zagovornici orimjene RCM i TPM ističu da korisnici opreme i serviseri (posada iz procesa održavanja) najbolje znaju, na temelju iskusutva, odrediti veličinu P-F intervala,
- suprotno mišljenju koje prevladava u inženjerstvu održavanja, veličina optimalnog intervala pregleda nije uvjetovana vjerojatnošću nastanka otkaza niti zakonitošću razvoja kvara.

Treba napomenuti da to vrijedi za većinu dijelova koji bi se mogli preventivno zamijeniti prije nastanka kvara, a posebno oni koji daju „određeni signal“ da im je stanje narušeno.

Drugi problem tehničko-tehnološke prirode je kako optimizirati sadržaj preventivnih radnji održavanja. Tradicionalan pristup sastoji se u pridržavanju uputa i preporuka proizvođača. Kao što je poznato, proizvođači, obično preporučuju više radova s većom učestalošću, što obično ne odgovara konkretnim uvjetima korištenja sustava ili opreme. Također, neke preporuke vremenom zastarijevaju, kao što su na primjer, one o zamjeni ulja, jer s pojavom sintetičkih ulja kod motora interval zamjene se višestruko povećao, ili one vezane za zastarjelu opremu za dijagnosticiranje. Radi toga je potrebno najprije sagledati sve izvore podataka o preventivnom održavanju, kao što je to prikazano na slici 19.



**Slika 19. Izvori podataka o preventivnom održavanju [4]**

Potrebno je odrediti cjelokupni zadatak preventivnog održavanja, odnosno prikupljanje i dokumentiranje postojećeg programa održavanja (formalnog – iz postojeće dokumentacije i neformalnog – iz iskustava korisnika i servisera opreme). Zatim se analiziraju otkazi te se iz podataka o dosadašnjim kvarovima određuje se na koje se kvarove isplati preventivno djelovati, a nisu obuhvaćeni dosadašnjim preventivnim programom. Sljedeći korak je racionalizacija preventivnih radnji i revizija svih relevantnih kvarova. U tom okviru se izvršava otklanjanje radnji koje su duplirane u različitim preventivnim programima održavanja. Završni korak je analiza posljedica dopuštenih kvarova, kako bi se odredili oni s nedopustivim posljedicama i odredio način preventivnog djelovanja na njih.



## 6. PODEŠAVANJE I OBLIKOVANJE KONCEPTA ZA ODRŽAVANJE

### 6.1. STRUKTURA TROŠKOVA ODRŽAVANJA

Kod održavanja tehničkog sustava veliki broj aktivnosti je uključen u svrhu sprječavanja nastanka kvara odnosno vraćanja sustava u operativno stanje. Ipak, životni vijek tehničkog sustava počinje od samog faze dizajna (modela) do faze otpisa (engl. *phase out*) koriste se određene aktivnosti kako bi sustav bio raspoloživ. Prikaz troškova održavanja, kao dijela operativnih troškova, za Nedlloyd kompaniju se očituje putem tablice 3.

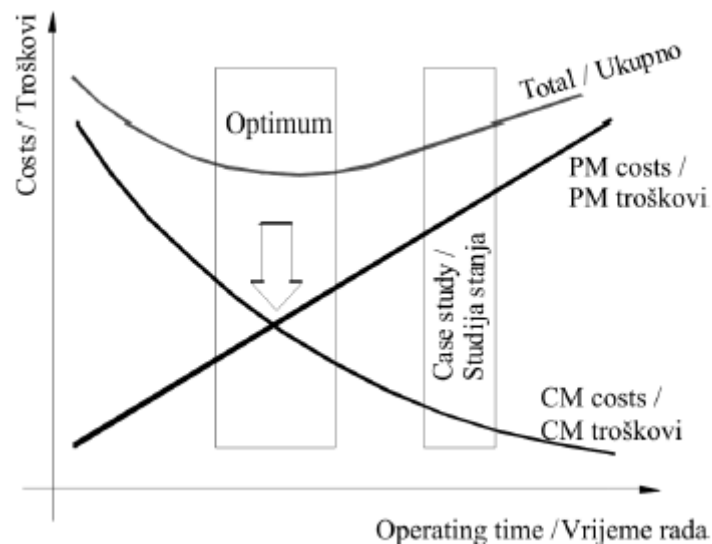
**Tablica 3. Troškovi održavanja [3]**

<b>TROŠKOVI</b>	<b>PREVENTIVNO ODRŽ.</b>	<b>KOREKTIVNO ODRŽ.</b>
Osoblje	81%	19%
Treće stranke	86%	14%
Materijal	78%	22%
Prosječna vrijednost	≈82%	≈18%

U tablici je prikazan omjer troškova preventivnog održavanja u odnosu na troškove korektivnog održavanja za Nedlloyd kompaniju. Iz tablice se očitava da je odrađeno previše preventivnog održavanja, te proizlazi zaključak kako su troškovi preventivnog održavanja preveliki u odnosu na ukupne troškove.

Koncept održavanja je kombinacija preventivnog i korektivnog održavanja. Ovakav program održavanja kod Nedlloyd brodova, kao i kod drugih kompanija, prikazuju da se ti troškovi mogu smanjiti. Indikatori preko koji ukazuju na to su visoki troškovi rada za održavanje i niski troškovi materijala. Veliki broj posade uključene u održavanje te visok omjer troškova osoblja u odnosu na ukupne troškove upućuju na dva moguća rješenja za smanjenje troškova:

- organizacija osoblja da učinkovitije otklanja kvar,
- oblikovanje koncepta održavanja u koji je implementirana bolja ravnoteža između preventivnog i korektivnog održavanja.



**Slika 20. Prikaz troškova održavanja [3]**

Rast troškova preventivnog održavanja unutar ukupnih troškova održavanja prikazan je na slici 20. Linija koja je položena desno od optimalnog područja se promatra. Optimizacija troškova se može postići na način da se razina preventivnih aktivnosti prebaci ulijevo, tj. smanjenjem troškova preventivnog održavanja, te na taj način smanji PM/CM omjer putem MA-CAD metode.

Metoda se koristi u svrhu podešavanja i oblikovanja koncepta održavanja, a ostvaruje se putem analize kvarova u strojarnici i aktivnosti održavanja. Korištenjem ove metode se postiže smanjenje troškova životnog ciklusa, dok su istovremeno zadovoljeni sigurnosni zahtjevi.

## **6.2. METODA ZA PODEŠAVANJE I OBLIKOVANJE KONCEPTA ODRŽAVANJA**

Metoda se zasniva primarno na prikupljenim podacima kroz određeno vrijeme. Ovakvi podaci nisu uvijek dostupni pogotovo kod projekta novogradnje. Kod ovakvih slučajeva predviđa se ponašanje na osnovu iskustva s prijašnjim, sličnim brodskim pogonima. Za oblikovanje prvotnog koncepta održavanja za novu opremu, pretpostavke očekivanog ponašanja se zasnivaju na arhiviranim podacima. Dok se podešavanje istog zasniva na podacima stvarno zabilježenog ponašanja opreme u radu. Podešavanje i oblikovanje koncepta održavanja koristi sličnu analizu podataka, jedina je razlika u podrijetlu podataka.

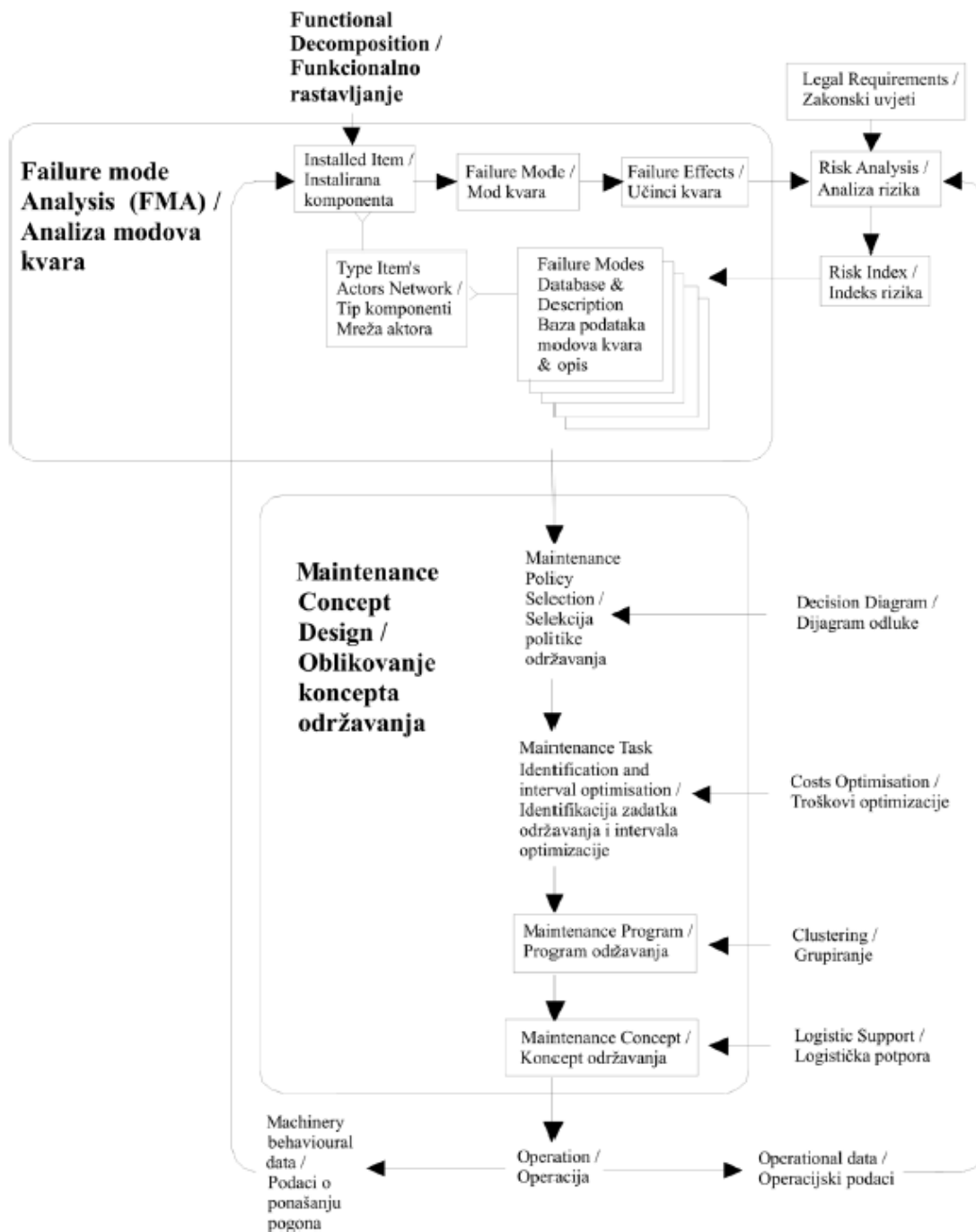
Na slici 21., je prikazana MA-CAD metoda odnosno kako se kreće s lijeve strane – instalirana komponenta, na desnu stranu – analiza rizika. Kretanje od vrha prema dnu je prikaz kretanja od moda kvara do koncepta održavanja. Identifikacija opreme se odvija unutar sustava te se nastavlja dalje na razini instaliranih komponenti, koje su klasificirane prema tipu komponente.

Osim toga treba odrediti rizik povezan s mogućim kvarovima, a ova procjena rizika se dalje koristi za odabir načina održavanja. Način održavanja se poboljšava s ciljem održavanja koji služi za smanjenje operativnih troškova te zadržava sigurnosni rizik u zadovoljavajućoj razini.

Modovi kvara za posljedicu imaju učinak kvara, te je kritično stanje učinka kvara određeno s klasom kritičnosti i indeksom rizika. Ponašanje broskog pogona i indeks rizika, za određeni mod kvara, se koriste za odabir određenog načina. Identifikacija zadataka upućuje na razmatranje:

- kritičnog stanja učinka kvara,
- vjerojatnost pojave kvara,
- učinkovitost zadatka.

Cilje je smanjenje rizika putem smanjenja vjerojatnosti pojave kvara, te je sam cilj obuhvaćen primjenom održavanja. Zadaci održavanja su grupirani u intervale unutar programa održavanja, te je specifikacija logističke potpore za program održavanja posljedni korak u oblikovanju održavanja.



Slika 21. Prikaz MA-CAD metode [3]

### 6.3. MOGUĆNOSTI PROŠIRENJE I POBOLJŠANJE MA-CAD METODE

Poboljšanje i proširenje MA-CAD metode je moguće postići primjenom:

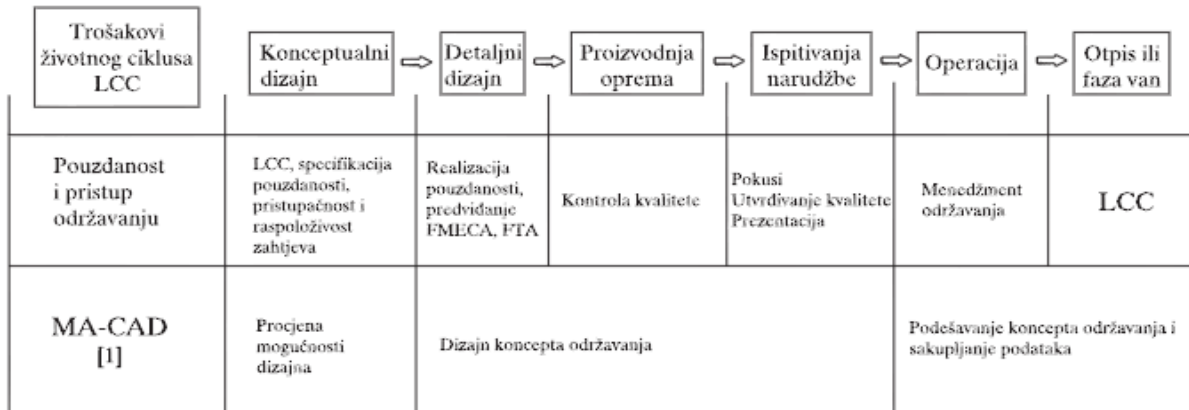
- 1) Analizom kvara kritičnih komponenti glavnog motora koje se načešće otkazuju kao kvar u radu. Kod analiziranja u obzir se uzimaju prijedlozi operatera, starost broda, vrsta propulzije (4-takt, 2-takt), uvjeti održavanja broda, sposobnost i obrazovanje posade te uvjeti radne okoline. Bitno je da se komponente nadgledaju kroz njihov cijeli životni ciklus.
- 2) Oblik održavanja kroz životni vijek. U slučaju stare strojarnice teško je odrediti vrijeme garancije  $t_0$  pojedine komponente.
- 3) Analiza pouzdanosti kritičnih komponenti je zasnovana na značajkama Weibull-ove raspodjele. Minimalna pouzdanost instalirane komponente će biti zadržana tijekom intervala održavanja.
- 4) Planiranje količine rezervnih dijelova.

U tablici 4. su prikazane MA-CAD metode, te se vidi kako u tablici nije uključeno planiranje rezervnih dijelova, a s obzirom da igraju značajnu ulogu u održavanju treba dodatno proširiti spomenutu metodu te implementirati planiranje rezervnih dijelova u istu.

**Tablica 4. Značajke metoda za dizajniranje koncepta održavanja korištenih u MA CAD-u [3]**

Method / Metoda	MA-CAD
ILS/LSA ILS - Integrated Logistic support / Integralna logistička potpora LSA - Logistic Support Analysis / Analiza logističke podrške	LCC - Life Cycle Costs. Phase : conceptual design → detailed design → fabrication → trials → operation → phase-out. / Faze vijeka jednog broda su: konceptualni dizajn → detaljni dizajn → proizvodnja → ispitivanje → operacija → otpis. <i>Type item</i> – the type item classifies items from the functional decomposition according to function, and working principles. / <i>Tip komponente</i> – klasificira instalirane komponente iz funkcionalnog rastavljanja. <i>Failure mode properties</i> – is an attempt to standardize and to structure information about failure modes, used in maintenance concept design. / <i>Svojstvo moda kvara</i> (predvidljivost, vrijeme reakcije i dokaz) – to je pokušaj da se normizira i strukturira informacija o modovima kvara, koja se koristi u dizajnu koncepta održavanja. FMECA - Failure Mode, Effects and Criticality Analysis / Mod kvara, učinci i analiza kritičnosti
ILS/LSA, Kelly	<i>Use study / Studija upotrebe</i>
RCM/MSG – 3 RCM - Reliability Centered Maintenance / Održavanje usmjereno na pouzdanost MSG – 3 - Maintenance Steering Group – 3	<i>Risk analysis</i> – its goal is to classify and quantify a risk. / <i>Analiza rizika</i> – ima za cilj klasificirati i kvantificirati rizik. <i>Risk index</i> – takes into consideration the importance of the failure effect and its expectancy. / <i>Indeks rizika</i> – uzima u obzir značajka učinka kvara i njegovo očekivanje ( $RI = SI * ELFF$ ). <i>Significance analysis</i> – classifies the failure effects on the system, the operator and the environment. / <i>Analiza značajke</i> - klasificira učinke efekata kvara na sustav, operatera i okolinu.
Kelly, Gits	<i>Functional decomposition</i> - the decomposition is extended into the type item decomposition. / <i>Funkcionalno rastavljanje sustava</i> - ono se proširuje rastavljanjem tipa komponente.

LSA metoda obuhvaća zadatke u traženju dizajna, operacijskih i potpornih pristupa koji minimiziraju LCC (engl. *Life Cycle Costs*). ILS/LSA je selektivna primjena znanstvenih i inženjerskih analiza poduzetih za vrijeme procesa dizajna u skladu s mogućnostima održavanja. Glavni cilj održavanja u brodskom životnom ciklusu je smanjenje troškova životnog ciklusa LCC. Uobičajene faze vijeka jednog broda prikazane su na slici 22.



**Slika 22. Ciklus brodskog vijeka [6]**

#### 6.4. IZABRANI PROPULZIJSKI SUTAV I REZULTATI UČESTALOSTI KVAROVA

Propulzijski sustav se sastoji od dizel motora i reduktora, a dizel motor je srednjekretni MAN 7L 400/500 snage  $\approx 2200\text{kW}$ . Reduktor je Renk tipa i smanjuje brzinu vrtnje motora sa  $430\text{ min}^{-1}$  na brzinu vrtnje propelera od  $185\text{ min}^{-1}$  ( $i = 430/185 \cong 2,3$ ). Podaci su dobiveni iz izvornih podataka dobivenih svakodnevnim prikupljanjem dnevnih izvješća u trajanju od 13 godina.

Ukupni prekidi rada, odnosno funkcionalni kvarovi porivnog motora unutar perioda od 13 godina su bili  $t_k = 386\text{ h}$ , tj. 2,4 h prosječni prekid rada. Istraživanje pokazuje da ventil za ubrizgavanje ima najviše izmjena s prosječnim vremenom izmjene od 0,5 h. Sljedeći je ispušni ventil s prosječnim vremenom izmjene od 2,5 h.

Slučajni kvarovi kod porivnog motora, prikazani u tablici 5. te se razlikuju po duljini trajanja prekida rada i dijele se u 3 skupine:

- 1) kvarovi koji uzrokuju prekid rada manji od 2 h,  $t_k \leq 2\text{ h}$ ,
- 2) kvarovi koji uzrokuju prekid rada od 2 h do 5 h,  $2\text{ h} \leq t_k \leq 5\text{ h}$ ,
- 3) kvarovi koji uzrokuju prekid rada dulji od 5 h,  $t_k \geq 5\text{ h}$ .

Najpotpuniji su zapisi o ispušnom ventilu, premda u nekim zapisima rubrika „stanje ventila“ nije ispunjena, već samo piše izmjena. Suma analiza najintenzivnije praćenih komponenti, kod kojih je identificiran funkcionalan kvar, prikazana je u tablici 7.

**Tablica 5. Raspodjela pojave kvarova porivnog stroja [3]**

INTERVAL	$N(t_k \leq 2h)$	$N(2h < t_k < 5h)$	$N(t_k \geq 5h)$	$N_{uk}$
1.	5	7	1	13
2.	1	1	-	2
3.	6	-	-	6
4.	7	2	-	9
5.	11	2	1	14
6.	-	3	1	4
7.	3	1	1	5
8.	3	4	2	9
9.	11	4	-	15
10.	4	9	1	14
11.	16	3	2	21
12.	9	13	2	24
13.	12	7	-	19
	$\sum 88$	$\sum 56$	$\sum 11$	$\sum 155$

Tijekom 61600 radnih sati glavnog motora izvedene su 62 izmjene ispušnog ventila u paru, te je zabilježeno 30 slučajeva neispravnog stanja (puknuće, erozija, curenje, taloženje, izgaranje), znači  $\approx 50\%$ . Najčešće se radilo o izgorjelim ventilima kao posljedici puknuća pladnja (sjedišta) ventila.



Tablica 6. Stope kvarova porivnog stroja [3]

Component (system) / Komponenta (sustav)	Failure rate / Stopa kvara $h^{-1}$
Fuel oil system / Sustav goriva	
- fuel pump / crpka goriva	$0,1136 \times 10^{-3}$
- fuel oil high-pressure pipe / visokotlačna cijev crpke goriva	$0,0487 \times 10^{-3}$
- injection valve / rasprskič	$0,0649 \times 10^{-3}$
Exhaust valve / Ispušni ventil	$0,4870 \times 10^{-3}$
Inlet valve / Usisni ventil	$0,0487 \times 10^{-3}$
Lubrication system / Sustav podmazivanja	$0,1623 \times 10^{-3}$
Cooling system / Sustav hlađenja	$0,2597 \times 10^{-3}$
Other / Ostalo	$0,1298 \times 10^{-3}$
Total failure rate / Ukupna stopa kvara	$1,3147 \times 10^{-3}$

Indeks kvarova komponenti i sustava je prikazan u tablici 6., gdje ukupan indeks kvara glavnog motora iznosi  $\lambda = 1,3147 \cdot 10^{-3} h^{-1}$ . Što je prema nekim društvima  $\approx 24\%$  veći indeks kvara nego kod drugih glavnih motora, gdje iznosi  $\lambda = 0,989 \cdot 10^{-3} h^{-1}$ , te najveći  $\lambda$  ima ispušni ventil.

Tablica 7. Sažetak neispravnog stanja komponenti [3]

Component / Komponenta	Functional failure / Funkcionalni kvar
<b>Injection valve / Rasprskič</b>	
union for cooling / spojnica za hlađenje	1
blockage / blokiran	1
bad work / loš rad	1
spring, damaged valve / opruga, neispravan ventil	1
Total / Ukupno	4
<b>Exhaust valve / Ispušni ventil</b>	
deposits, housing / naslage, kućište	1
burnt valve / izgoren ventil	19
blownout valve / puknuće pladnja	5
damaged valve / oštećeni ventil	1
seat, corrosion / sjedište, korozija	2
leakage valve / probijen, propuštanje	2
Total / Ukupno	30
<b>Inlet valve / Usisni ventil</b>	
burnt valve / izgoren ventil	2
damaged valve / oštećeni ventil	1
Total / Ukupno	3
<b>Fuel pump / Crpka goriva</b>	
thrust plate / podizna pločica	3
leakage pump cover / poklopac, propuštanje goriva	3
replacement plug / zamjena čepa	1
Total / Ukupno	7

## 6.5. ANALIZA I PODEŠAVANJE KONCEPTA ODRŽAVANJA

Podaci iz dnevnika stroja koriste se za unaprijeđenje koncepta održavanja. Unaprijeđenje koncepta održavanja za ispušni ventil se zasniva na analizi moda rizika - FMEA, Weibull-ovoj karakteristici, analizi rizika na način da se odredi gornji i donji kriterij rizika, klasifikaciji značajnosti i indeksu rizika. Koncept je povezan s komponentama tipa TID: D-4 „Puštanje ispušnih plinova preko ventila“, s funkcijom vremena ispuštanja produkata izgaranja. Unutar ovog tipa komponenti nalaze se dva podtipa komponenti:

- 1) TID B – Jedinica za otvaranje ventila – koja je u funkciji pretvorbe kružnog gibanja bregastog vratila u translacijsko (pravocrtno) gibanje podizne motke.
- 2) TID C – Mehanizam za balansiranje u prijenos – koji je u funkciji prenošenja translacijskog (pravocrtnog) gibanja podizne motke u pomak pladnja (sjedišta) ventila.

Za kritičnu FMEA-a komponente tipa TID: D-4 indeks rizika je nepoželjan i neprihvatljiv, te FMEA sadrži kritični učinak kvara. Stoga, treba detaljnije istražiti FMEA, a to uključuje specifikaciju dokaza (e) i vrijeme reakcije (p). Dokaz (e) je glavni indikator pri određivanju inspekcije ili stanja nadgledanja.

Za slučaj da podaci ukazuju na visoku stopu predvidljivosti treba razmotriti plansko održavanje. Dokaz (e) za provjeru ispušnog ventila (I), za potencijalni kvar se jedino može otkriti tehničkim (temeljitim) pregledom i provjerom ventila i sjedišta istih. Vrijeme reakcije (p) je srednje vrijeme koje između potencijalno i funkcionalnog kvara.

Iskustva stručnjaka ukazuju da je to vrijeme, za ispušni ventil, između 5-50 h, ovisno o opterećenju. Razina potencijalnog kvara i vremena reakcije mora biti dovoljno velika da se mogu izvesti aktivnosti održavanja u pogodnom trenutku. To znači da trajanje putovanja, od trenutka pojave potencijalnog kvara, treba biti kraće od vremena reakcije.

Sigurnosni indeks značaja za ispušni ventil  $SI(o) = 0,0001$  (mod kvara negativno djeluje smao na 1 cilindar, koji se može isključiti). Indeks značaja za operativnost je  $SI(o) = 0,001$  je malo viši, zbog toga što brod nije operativan nekoliko sati koji su potrebni za izvođenje korektivnog zahvata, za vrijeme putovanja. Indeks rizika je nepoželjan te za smanjenje rizika treba izučiti kako primjeniti preventivno održavanje.

Održavanje ispušnog ventila treba provoditi svakih 5000 radnih sati (izmjena svih ispušnih ventila, temeljiti popravak i ponovna ugradnja) prema preporukama proizvođača. Srednje

vrijeme između temeljitih popravaka (engl. *mean time between overhaul* - MTBO) za ispušni ventil prema MAN B&W je između 4000-6000 radnih sati. Stvarno vrijeme je oko 3500 sati, dok je za slučaj navedenog motora interval periodičkog održavanja treba biti smanjen na  $\approx$  3400 sati. Pouzdanost ispušnog ventila je među glavnim temama od početka razvoja motora do faze otpisa.

Sastav goriva i korozivni sastav igorenih plinova imaju značajan utjecaj na pouzdanost u pogledu mehaničkog i kemijskog aspekta. Za postizanje što duljeg životnog vijeka ispušnog ventila vrlo je važno istaknuti održavanje ventila za ubrizgavanje. Podaci istraživanja dobiveni preko zadanih parametara za podešavanje koncepta održavanja su prikazani u tablici 8.

**Tablica 8. Podešavanje ispušnog ventila [3]**

<b>Analiza modova kvara/Failure Mode Analysis – FMA</b>	Kombinacija uzroka/moda kvara FMA		Ispušni ventil (TID: D – 4)
	Mod kvara/Failure mode		Trošenje, izgaranje pladnja (sjedišta)
	Mehanizam kvara/Failure mechanism		Abrazija, korozija, naslage
	Uzrok kvara/Cause of failure		Upotreba, kvaliteta goriva, voda ugorivu
	Lokacija uzroka/Cause location		Unutarnja, vanjska
	Bazični učinci kvara/Basic failure effects		Nema zatvaranja
	Učinci tipa kvara/Type's failure effects		Loše izgaranje i pad snage cilindra
	FMA- svjostva	Predvidljivost	$p=0,51$
Vrijeme reakcije		$p \approx 27$ (5-50h)	
Dokaz		$e = I$ (inspekcija)	
<b>Weibull Characteristic/ Weibullove karakteristike</b>	Parametar oblika/Shape parameter	$\beta = 2,23$	
	Parametar omjera/Scale parameter	$\eta = 3447$ h	
	Parametar ulaza/Threshold parameter	$t_0 = 0$	
<b>Analiza rizika / Risk analysis</b>	Kriterij gornjeg rizika/Upper risk criterion	URC = 0,07	
	Kriterij donjeg rizika/Lower risk criterion	LRC = 0,0007	
	Indeks rizika sigurnosti/Safety risk index	RI(s) = 0,00246 – značajna komponenta	
	Indeks rizika operacije/Operation	RI(o) = 0,0246 – značajna	

	risk index	komponenta
	Očekivana frekvencija kvara u vijeku/Expected life failure frequency	ELFF = 24,6
	Indeks značajke sigurnosti/Safety significance index	SI(s) = 0,0001
	Indeks značajke operacije/Operation significance index	SI(o) = 0,001
	Klasa značaja sigurnosti/Safety significance classes	SFE – evidentna funkcija sigurnosti
	Klasa značaja za operaciju/Operation significance classes	OPS – primarna funkcija plovidbe
<b>Izbora pristupa održavanja / The choice of maintenance approach</b>	Preventivno održavanje / Preventive maintenance PM	<p>1. Periodično održavanje(predloženi interval održavanja je 3400h)</p> <p>2. Povremeno održavanje prema stanju / I(inspekcija), Predvidljivost: visoka (<math>0,5 \leq p \leq 1</math>), <math>\beta &gt; 2</math>  <math>p=0,51</math>, <math>\beta=2,23</math> (značajni IFR).  Vrijeme reakcije: <math>p &gt; 0</math>  <math>P_{sr}=(p_{max}+p_{min})/2=27,5h</math></p>
<b>Planiranje minimuma zaliha pričuvnih dijelova / Planning the minimum spare parts supply</b>	Preporuka klasifikacijskog zavoda i istraživanja / Recommendation of the Croatian Register of Shipping and Research	<p>Klasifikacijski zavod:</p> <p>-preporučeni <math>PD_{min}</math> za porivne strojeve</p> <p>- 2 sloga(porivni stroj MAN 7L 400/500) ima dva ispušna ventila na jednom cilindru</p> <p>Istraživanje: <math>PD_{min}=1,6(2)</math></p> <p>Ukupno: najmanje 6 ispušnih ventila</p>

### 6.5.1. Analiza modela za podešavanje i oblikovanje koncepta održavanja

Pregaranje sjedišta ventila je najčešći mod kvara ispušnog ventila, te se na temelju analize i primjera ispušnog ventila dobiva model za MA-CAD koji je prikazan na slici 23. Model za podešavanje i oblikovanje koncepta održavanja ( novi MA-CAD) se sastoji od dva dijela:

1. **BROD** – prati se ponašanje u strojanici te se formira baza podataka i šalje se u „ured“. Bilježe se dnevna izješća iz strojarnice u dnevnik stroja kroz period od 24 sata. Unose se podaci o kvaru i trajanju kvarova, te o aktivnostima održavanja.
2. **URED** – koristi bazu podataka s broda, provodi analizu podataka iz baze te podešava koncept održavanja.

Ovakva procedura se sastoji od 12 koraka :

- 1) **Podaci o radu** – sadrže podatke o komponenti (sustavu) po cilindru, broj radnih sati porivnog stroja, vrijeme između kvarova (engl. *time between failures* - TBF), te opis stanja i kvarova.
- 2) **Analiza podataka** – definiraju se kritične komponente te se unutar komponente identificira, preko analize moda kvara, kritični FMCC, tj. kritični učinak kvara.
- 3) **Identifikacija tipa komponente** – postiže se funkcionalnom dekompozicijom sustava. Funkcije broda se dijele na podfunkcije, te se one dalje dijele prema sustavu koji opslužuju. Nadalje, dekompozicijom se dolazi do razine instalirane komponente, te se zatim određuje tip komponente.
- 4) **Mreža aktora** – je grafički prikaz funkcionalnosti tipa komponente. Mreža aktora se radi da se prikaže širenje učinka kvara u slučaju kompleksa komponenti koji uključuje brojne podfunkcije.
- 5) **FMEA analiza** – uključuje specifikaciju tipa komponente, podtip te samu komponentu. Funkcionalni kvar se identificira na najnižoj razini funkcionalne dekompozicije. Učinci kvara tipa i bazični učinci kvara se potom određuju.
- 6) **Oblikovanje (životnog) održavanja i analiza pouzdanosti** – za dane primjere, osim za Weibull-ove parametre  $\beta$  i  $\eta$ , određuje se srednje vrijeme između kvarova preko standardnih devijacija  $\sigma$  i svojstava predvidljivosti moda kvara  $p$ . Parametar  $\eta$  predstavlja (životnu) značajku (interval održavanja).

7) *Analiza rizika* – zahtjeva određivanje gornjeg i donjeg kriterija rizika, značajke rizika i indeksa rizika za kritični FMEA. Ako je  $RI > LRC$  komponenta je značajna (rizična), i obrnuto, ako je  $RI < LRC$  komponenta nije značajna (rizična) te ima prihvatljiv indeks rizika. Stoga su ovakve komponente obuhvaćene aktivnostima korektivnog održavanja. Značajna komponenta ima značajan učinak kvara, te zbog toga indeks rizika iste ne smije biti nepoželjan niti neprihvatljiv. Stoga se za svaku značajnu komponentu, koja je tako označena putem analize rizika, određuje određeni način održavanja.

Aktivnosti preventivnog održavanja imaju za cilj održavanje operativnog stanja (kvaro još nije uslijedo), dok aktivnosti korektivnog održavanja imaju za zadatak vraćanje operativnog stanja komponente. Kada se primjenjuje preventivno održavanje željeni učinak je smanjiti očekivanu frekvenciju kvara u životnom vijeku (engl. *Expected Life Failure Frequency* - ELFF) i indeks rizika. Odnosno učinci kvara su uvijek isti, samo se preko održavanja pokušava smanjiti vjerojatnost njihove pojave.

RI nepoželjan – kada se indeks rizika nalazi u nepovoljnom području, te se korektivno održavanje dodaje za učinkovitije održavanje. Poslije za vrijeme optimizacije troškova, se utvrđuje da li je korektivno održavanje prihvatljivo ( $CM < PM$ ?).

RI neprihvatljiv – kada se indeks rizika nalazi u neprihvatljivom području, stoga preventivno održavanje nije pogodno. Indeks rizika se može spustiti na prihvatljivu razinu putem održavanja ili modifikacija.

Predvidljivost kvara određuje odabir periodičnom pristupu. Predvidljivost pokazuje da li se ponašanje kvara može provjeriti preko periodičkih aktivnosti, te djelomično pokazuje da li indeks kvara u padu (DFR), porastu (IFR) ili konstantan (CFR). Ako je indeks kvara konstantan ili u padu predvidljivost je nula ( $p = 0$ ,  $\beta \geq 1$  i  $t_0 = 0$ ). U takvim slučajevima je periodično održavanje nedovoljno, stoga neće biti u nizu učinkovitih načina održavanja.

Preventivno održavanje se može uzeti u obzir ako je niska predvidljivost ( $0 < p \leq 0,5$ ,  $1 < \beta < 2$  i  $t_0 = 0$ ), stoga je prikladnije održavanje po stanju.

Periodično preventivno održavanje se koristi u slučaju visoke predvidljivosti (značajan IFR,  $p > 0,5$ ), te visoka predvidljivost odgovara Weibullo-vom parametru oblika  $\beta > 2$ , za slučaj da je  $t_0 = 0$ .

Dokaz (e) i vrijeme reakcije (p) – kod odabira pristupa održavanja za kritičnu komponentu uključuje pristup održavanje po stanju. Dokaz (e) pokazuje da li operater može primjetiti razvoj propadanja. Ako može vrijeme reakcije se uzima kao sekundarni kriterij. Za slučaje kada je vrijeme reakcije nula ili vrlo malo, nepredviđeni

ili skoro nepredviđeni kvar, odbacuje se održavanje prema stanju, dok se u protivnom pridodaje nizu učinkovitih načina održavanja.

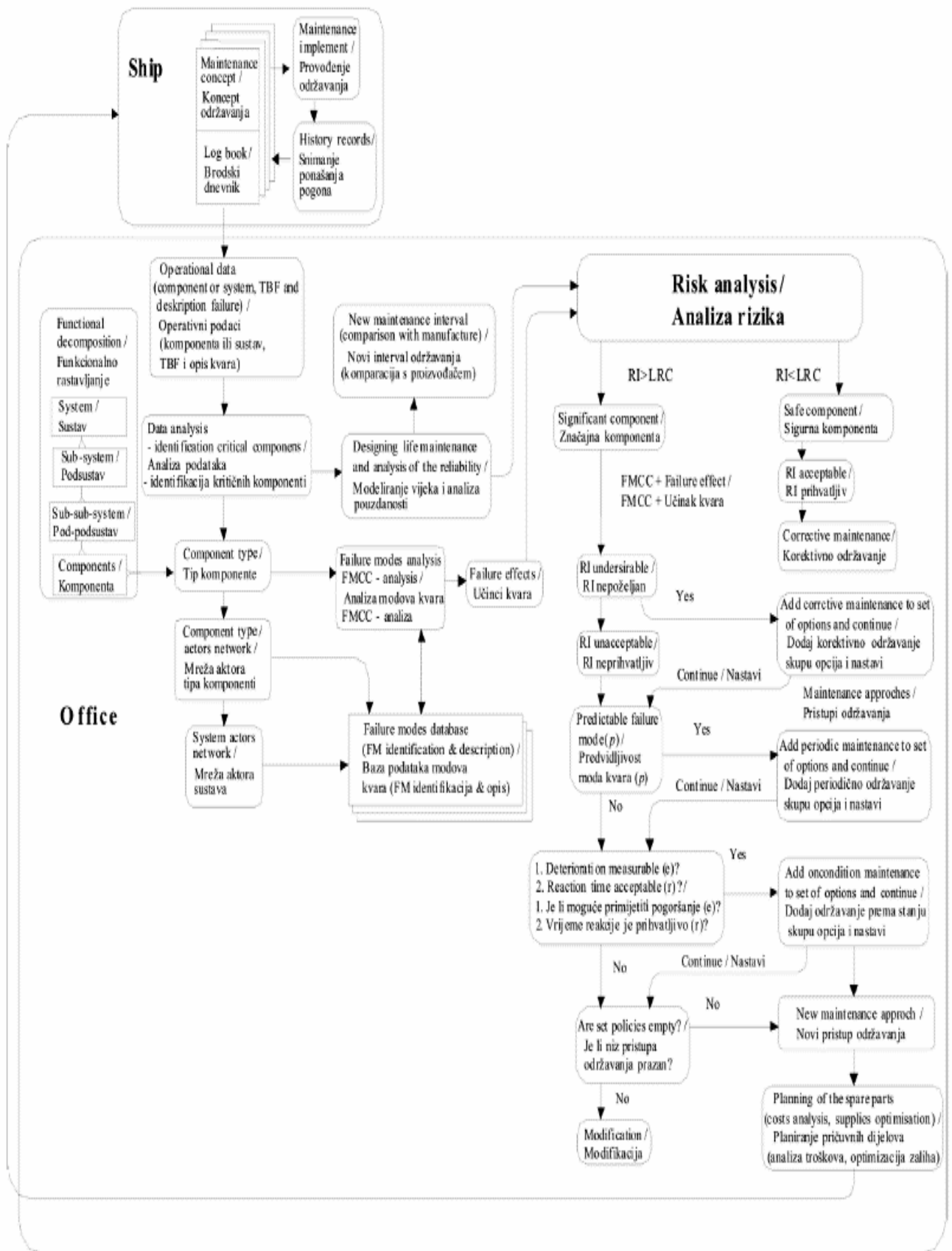
Vrijeme reakcije je u vezi s intervalom inspekcije koji određuje potencijalni kvar prije nego uslijedi funkcionalni kvar, ovisno o primjenjenom tipu nadzora, kontinuirani ili diskretni.

Za slučaj kontinuiranog nadzora dokaz (e) se odnosi na performanse (P), senzore (S) i vizualno (V), te se ovi parametri stalno znaju kao i stanje komponente. Periodični interval se može približiti MTTF (engl. expected time to failure).

Za slučaj diskretnog održavanja po stanju dokaz (e) je ispunjen vizualnim (V), pregledima (I), alatom (T) i skrivenim (H) parametre, te se pretpostavlja da se potencijalni kvar može primjetiti tijekom vremena pregleda i vremena reakcije  $p > 0$ .

- 8) *Identifikacija zadatka održavanja i intervala optimizacije* – slijedi kako odabira strategije održavanja, te sadrži specifikaciju opisa zadatka održavanja i optimizacijskog intervala. Cijena optimizacije je uključena u podešavanje koncepta održavanja, to su cijene korektivnog i preventivnog održavanja, te je za svaki FMEA zahtjevan najniži trošak održavanja.
- 9) *Grupiranje zadataka* – se koristi kada je specificiran zadatak održavanja za određenu komponentu. Zadatak se može grupirati na dvije razine : komponenta i sustav.
- 10) *Razina održavanja i namjena resursa* – strategija održavanja je dovršena te je svaki zadatak namjenjen prema razini izvedbe. razlikuju se 4 razine : brod (izvršava posada u radu), luka ( vraćanje, od strane posade, u prvotno stanje komponente tijekom stajanja u luci), obala ( treća stranka je uključena u održavanje), pristajanje-dokovanje ( ovo su zadaci preventivnog održavanja). Potrebni rezervni dijelovi, alati i ustanove se određuje.
- 11) *Planiranje rezervnih dijelova* – je važan aspekt kod podešavanja i oblikovanja koncepta održavanja, te predstavlja osnovu za daljnja smanjenja troškova. Potrebni broj rezervnih dijelova se dobije putem dijeljenja srednje stope korištenja  $\lambda_n$  sa MTBF. Preporučene minimalne količine rezervnih djelova s aspekta sigurnosti razine se također moraju uzeti u obzir.
- 12) *Koncept održavanja* – planiranje rezervnih dijelova je zadnji korak kod oblikovanja koncepta održavanja, te je sljedeća razina implementacija samog koncepta na brod u plovidbi.





Slika 23. Model za podešavanje i oblikovanje koncepta održavanja [3]

## ZAKLJUČAK

U radu su navedene strategije održavanja i njihova podjela s čime je napravljena osnova za razumijevanje njihovih prednosti i nedostataka kod njihove primjene. To omogućava da se primjenom različitih alata i postupkom analize postigne optimalni pristup održavanju za pojedini brodski sustav.

Kao polazna točka postavljen je pojam kvara kao uzroka zastoja i smanjenja pouzdanosti, a time i sigurnosti. Podjela kvara, te zakonitosti pojave kvara pomažu razumjevanju zašto su nastale različite strategije održavanja, te zašto je potrebna korekcija za pojedini tehnički sustav. Analizom određenog pristupa održavanju utvrđuje se kakav učinak postiže trenutno korištenom strategijom održavanja, te se dobiva uvid za moguća poboljšanja odnosno izmjenu strategije održavanja. Opisivanjem različitih strategija održavanja i njihovih karakteristika prikazano je što se sve može postići korištenjem optimalne strategije održavanja. Također, opisane su strategije održavanja koje su još u fazi ideje, te se očekuje da će daljnji napredak tehnologije brodske sustave učiniti spremnim za implementaciju ovakvih strategija.

Kao glavni primjer načina optimiranja strategije održavanja u radu se koristi metoda za podešavanje i oblikovanje koncepta održavanja (MA-CAD). Ova metoda započinje sa ugrađenom komponentom do analize rizika, odnosno od moda kvara do koncepta održavanja. Metoda smanjuje troškove za životnog vijeka te udovoljava sigurnosnim zahtjevima. Za inicijalni oblikovanje koncepta održavanja koriste se predviđanja za očekivana ponašanja nove opreme, dok se podešavanje koncepta održavanja bazira na promatranju stvarnog ponašanja opreme koja je u eksploataciji. Bitno je istaknuti da su oblikovanja koncepta održavanja, koja se zasnivaju na stvarnim podacima, mnogo točnijih od onih koji se baziraju na inicijalnim podacima za novi brod.

Operativni koncept održavanja bi trebalo prekontrolirati s vremena na vrijeme te prilagoditi ako postoji značajana razlika između dobivenih podataka i korištenih podataka za izradu koncepta održavanja. Nakon nekog vremena pristup kompanije se može promijeniti na način da se definiraju novi kriteriji značaja i rizika.

Sadašnji i budući ciljevi u održavanju teže stvaranju sustava koji će biti sve više autonomni te imati razvijeniju umjetnu inteligenciju koja im je za to potrebna. Biti će sposobni da sami otkrivaju nepravilnosti i kvarove u radu, te ih sami korigiraju uz minimalni ili potpuno bez utjecaja čovjeka.

## LITERATURA

- [1] Lovrić, J.: Osnove brodske terotehnologije, Sveučilište u Splitu, Pomorski fakultet u Dubrovniku, 1989.
- [2] Belak, S.: Terotehnologija, Visoka škola za turistički menadžment u Šibeniku, 2005.
- [3] Bukša, A.; Šegulja, I.; Tomas, V.: Ship Machinery Maintenance Concept Adjustment and Design, Pomorski fakultet u Rijeci, Strojarsvo, 5, (3), 2009., str. 227-238.
- [4] Tomas, V.; Šegulja, I.; Čišić, D.: Mogućnosti i problemi primjene suvremenih strategija u pomorstvu, Pomorski fakultet u Rijeci, 2005., str. 29-41.
- [5] Robert M. Conachey, Randal L. Montgomery : Application of Reliability-centered Maintenance Techniques to the Marine Industry, at a meeting of the SNAME, Texas Section, (08.04.2003.)
- [6] Šegulja, I.; Bukša, A.: Održavanje brodskog pogona, Pomorski fakultet u Rijeci, 2006., str. 105-118.
- [7] Ladislav, S.: Računalni programi u službi održavanja broda,
- [8] <https://nastava.fesb.unist.hr/nastava/nastavnici/detalji/barle> (20.04.2016.)
- [9] <https://www.pfst.unist.hr/hr/sadasnji-studenti/nastava/nastavni-materijali> (05.04.2016.)
- [10] <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1474667015300823> (15.05.2106.)
- [11] <https://www.maintenanceassistant.com/condition-based-maintenance/> (12.05.2016.)
- [12] [http://www.academia.edu/3842218/Expert\\_system\\_applications\\_in\\_marine\\_technologies](http://www.academia.edu/3842218/Expert_system_applications_in_marine_technologies) (14.05.2016.)
- [13] [https://books.google.hr/books?hl=en&lr=&id=hbr0CAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=reliability+of+technical+systems&ots=gSVXiicuV8&sig=JSWYR2Ajz-P8x8Ej8E9X5ifM5M&redir\\_esc=y#v=onepage&q=reliability%20of%20technical%20systems&f=false](https://books.google.hr/books?hl=en&lr=&id=hbr0CAAQBAJ&oi=fnd&pg=PA1&dq=reliability+of+technical+systems&ots=gSVXiicuV8&sig=JSWYR2Ajz-P8x8Ej8E9X5ifM5M&redir_esc=y#v=onepage&q=reliability%20of%20technical%20systems&f=false) (18.05.2016.)
- [14] <https://www.maintenanceassistant.com/planned-maintenance/> (12.05.2016.)
- [15] <https://www.maintenanceassistant.com/preventative-maintenance/> (12.05.2016.)
- [16] <http://www.vorne.com/learning-center/tpm.htm> (20.05.2016.)

- [17] <https://www.industryforum.co.uk/wp-content/uploads/sites/6/2011/05/Total-Productive-Maintenance-Overview-Low-Res.pdf> (20.05.2016.)
- [18] <http://www.qualitydigest.com/inside/operations-article/010716-what-total-productive-maintenance.html#> (20.05.2016.)
- [19] <https://www.maintenanceassistant.com/reliability-centered-maintenance/> (19.05.2016.)
- [20] <https://www.pfst.unist.hr/hr/sadasnji-studenti/nastava/nastavni-materijali> - autorizirana predavanja (25.05.2016.)

## POPIS TABLICA

Tablica 1.	Metode i tehnike za kontrolu stanja TS-a.....	28
Tablica 2.	Razlike između tradicionalne i suvremene organizacije održavanja.....	47
Tablica 3.	Troškovi održavanja.....	53
Tablica 4.	Značajke metoda za dizajniranje koncepta održavanja korištenih u MA-CAD-u.....	58
Tablica 5.	Raspodjela pojave kvarova porivnog stroja.....	60
Tablica 6.	Stope kvarova porivnog stroja.....	61
Tablica 7.	Sažetak neispravnog stanja komponenti.....	61
Tablica 8.	Podešavanje ispušnog ventila.....	64

## POPIS ILUSTRACIJA

Slika 1. Aktivnosti na pouzdanosti i pogodnosti za održavanje u toku životnog vijeka sustava.....	5
Slika 2. Sustav održavanja.....	6
Slika 3. Promjena radne sposobnosti u vremenu eksploatacije.....	8
Slika 4. Promjena razine pouzdanosti sustava sa vremenom korištenja.....	11
Slika 5. Krivulja kade na kojoj je prikazana zavisnost svojstvenih kvarova i vremenu.....	14
Slika 6. Funkcija kriterija tehničkog sustava.....	16
Slika 7. Troškovi životnog vijeka.....	17
Slika 8. Podjela preventivnog održavanja.....	22
Slika 9. Utjecaj na troškove održavanja u životnom vijeku TS-a.....	23
Slika 10. Prikaz planskog održavanja.....	29
Slika 11. Prikaz TPM strukture.....	31
Slika 12. Elementi tipičnog ekspertnog sustava.....	37
Slika 13. Dijagram toka ekspertnog sustava.....	39
Slika 14. Prikaz mape pretvorbe održavanja.....	41
Slika 15. Faze u razvoju sustava održavanja.....	48
Slika 16. Metode i strategije koje se primjenjuju u ovisnosti od faze razvoja pojedine organizacije održavanja.....	48
Slika 17. Redosljed usavršavanja sustava održavanja.....	49
Slika 18. Određivanje P-F intervala.....	50
Slika 19. Izvori podataka o preventivnom održavanju.....	51
Slika 20. Prikaz troškova održavanja.....	54
Slika 21. Prikaz MA-CAD metode.....	56
Slika 22. Ciklus broskog vijeka.....	59
Slika 23. Model za podešavanje i oblikovanje koncepta održavanja.....	68

## POPIS KRATICA

CFR (engl. *Constante Failure Rate*) – konstantna stopa kvara.

CM (engl. *Corrective Maintenance*) – korektivno održavanje.

CMSS (engl. *Computerised Maintenance Management System*) – informacijski sustav za upravljanje održavanjem.

DFR (engl. *Decreasing Failure Rate*) – smanjivajuća stopa kvara.

ELFF (engl. *Expected Life Failure Frequency*) – očekivana frekvencija kvara u životnom vijeku.

ES (engl. *Expert Systems*) – ekspertni sustavi.

FMA (engl. *Failure Mode Analysis*) – analiza moda kvara.

FMEA (engl. *Failure Mode Effects Analysis*) – analiza učinka moda kvara.

FMECA (engl. *Failure Mode, Effectivnes and Criticality Analysis*) – analiza moda, učinka i kritičnosti kvara.

FTA (engl. *Fault Tree Analysis*) – stablo analize kvarova.

IFR (engl. *Increased Failure Rate*) – povećavajuća stopa kvara.

ILS (engl. *Integrated Logistic Support*) – integralna logistička potpora.

LCC (engl. *Life Cycle Costs*) – troškovi životnog vijeka.

LRC (engl. *Lower Risk Criterion*) - kriterij donjeg rizika.

LSA (engl. *Logistic Support Analysis*) – analiza logističke potpore.

MA-CAD (engl. *MAintenance Concept Adjustment and Design*) - podešavanje i oblikovanje koncepta održavanja.

MTBF (engl. *Mean Time Between Failure*) – srednje vrijeme između kvara.

MTBO (engl. *Mean Time Between Overhaul*) – srednje vrijeme između temeljitih popravaka.

OEE (engl. *Overall Equipment Effectivnes*) – ukupna učinkovitost opreme.

PHM (engl. *Prognostic and Health Management*) – upravljanje usmjereno na dijagnostiku i zdravlje sustava.

PM (engl. *Preventive Maintenance*) – preventivno održavanje.

RCM (engl. *Reliability Centered Maintenance*) – održavanje usmjereno na pouzdanost.

RI (engl. *Risk Index*) – indeks rizika.

TBF (engl. *Time Between Failures*) – vrijeme između kvarova.

TID (engl. *Type Installed Item*) – tip instalirane komponente.

TPM (engl. *Total Productive Maintenance*) – potpuno cjelovito održavanje.