

TEROTEHNOLOGIJA

- Predavanja 3
- Vježbe 1
- ECT bodovi 5
- Literatura Stipe Belak
- <http://vus.hr/Nastavni%20materijali/stranice/terotehnologija.htm>
- Predavanja: Marijan Gržan
- Vježbe Marijan Gržan

1. TEROTEHNOLOGIJA

- Cilj svake dobro organizirane i upravljane funkcije održavanja poslovnih sustava jeste zadržavanje niske razine troškova koje čini zbroj troškova radnika na održavanju, troškova materijala i rezervnih dijelova te troškova koji nastaju kao proizvodni gubici zbog zaustavljanja proizvodnog procesa ili smanjenog obujma istog uslijed nastalih kvarova ili redovitih remonta.

1.1. Standardni elementi takvog terotehnološkog sustava su:

- upravljanje dizajnom (dizajniranje pouzdanih sustava i sustava pogodnih za održavanje),
- upravljanje nabavom (primjenom različitih tehnika izbora najpovoljnijeg proizvođača i/ili dobavljača),
- upravljanje projektima (pribavljanje sredstava sa željenim operativnim i održavateljskim karakteristikama),

- upravljanje operacijama (uvođenje operacijskih tehnika kojima se smanjuju zastoji i unaprjeđuje efektivnost poslovnog sustava),
- upravljanje financijama (kontrola troškova, nadzor nad troškovima i odlučivanje na temelju povratnih informacija),
- upravljanje ljudskim potencijalima (izbor kadrova te razvoj i provođenje programa usavršavanja operativnog osoblja i radnika na održavanju).

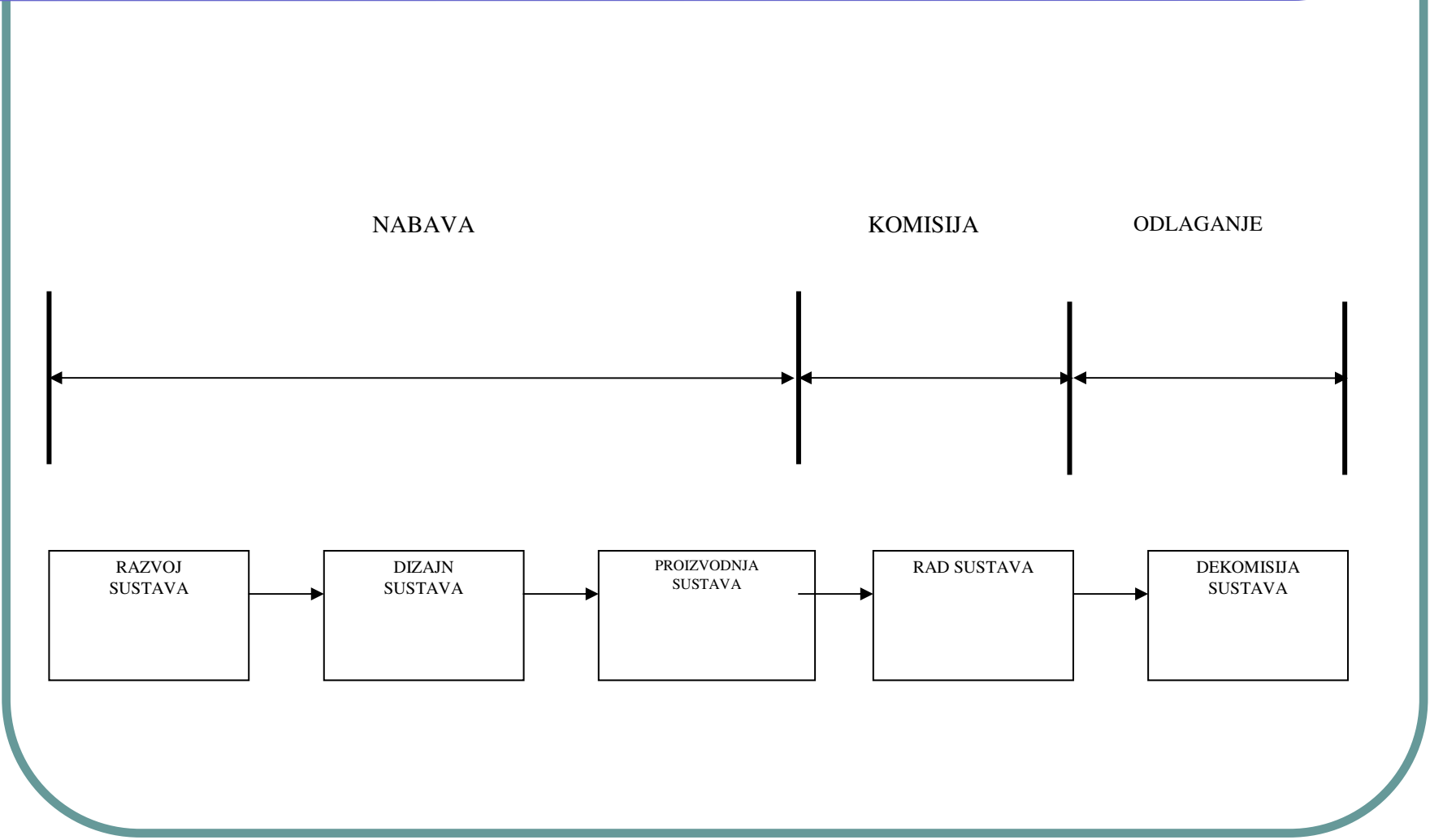
1.2. Definicija

Prema Odboru za Terotehnologiju britanskog Ministarstva Industrije iz 1979. godine :

- terotehnologija predstavlja "multidisciplinarni pristup kojim se osiguravaju optimalni troškovi životnog ciklusa razvoja i upotrebe opreme i poslovnih sustava i obuhvaća upravljanje sustavom od njegovog stvaranja do odlaganja ili preraspoređivanja

1.3. Životni ciklus, odnosno vijek sustava definira se kroz:

- faza nabave (razvoj, dizajniranje i proizvodnja sustava);
- faza komisije (rad sustava);
- faza odlaganja (dekomisija sustava).



1.4. Krajnja definicija

- ***Terotehnologija je znanstvena disciplina koja istražuje metode i zakonitosti menadžmenta trajnih materijalnih sredstava ili tehničkih poslovnih sredstava tijekom njihovog životnog vijeka trajanja.***

1.5. Terotehnoške aktivnosti

obuhvaćaju sve organizirane poslove koji započinju:

- izradom studije izvodljivosti (feasibility study),
- projektiranja (organizacije, nadzora i evaluacije projekta),
- provedbe financiranja,
- proizvodnje,
- nabave,
- montaže,
- puštanja u probni rad,
- nadzor u garancijskom periodu,
- pogon,
- održavanje
- ekološka rasprema i odlaganje (dekomisija).

- **komisija sustava**

sve aktivnosti izrade studije izvodljivosti, organizacije i provedbe financiranja, projektiranja, proizvodnje, nabave, montaže i puštanja u probni rad

- **eksploatacija sustava**

Aktivnosti nadzora u garantnom periodu, pogon i održavanje

- **dekomisija sustava**

poslove prestanka radne aktivnosti, ekološke raspreme i odlaganja zajednički nazivamo

1.6. menadžment sustava

- Primjenom menadžerskih metoda i tehnika u periodu komisije, eksploatacije i dekomisije sustava upravlja se troškovima životnog vijeka sustava, ali i ostvarenom produkcijom (outputom funkcije) sustava. Racionalnim menadžmentom sustava nastoji se ostvariti najpovoljnije ekonomske efekte uzimajući u obzir sve utjecaje i posljedice projektirane funkcije sustava ali i moguće posljedice neispravne funkcije sustava.

1.7. stupanj terotehnološke povoljnosti

- je postizanje maksimalne vrijednosti omjera

$$\eta_t = \frac{\textit{ukupna produkcija sustava u eksploatacijskom vijeku}}{\textit{ukupni troškovi sustava u životnom vijeku}}$$

Stupanj terotehnološke povoljnosti (η_t)

- Određivanjem stupnja terotehnološke povoljnosti (η_t) kao omjera produkcije i troškova te određivanjem ekstremnih vrijednosti omjera realno izražavamo, za analiziranu produkciju nekog sustava, ukupne troškove produkcije po jedinici produkcije, ili količinu produkcije koju je moguće ostvariti angažmanom jediničnih financijskih sredstava.

1.8. Produkcija sustava

- definirana je kao ukupna produkcija u eksploatacijskom vijeku sustava. To bi najčešće značilo maksimalni radni učinak kao funkciju ostvarenog vremena rada i funkcije kriterija te radnog kapaciteta sustava. Za određivanje ostvarenog vremena rada potrebno je prethodno odrediti početak eksploatacijskog vijeka.

1.9. eksploatacijski vijek

- Za većinu proizvodnih sustava eksploatacijski vijek počinje završetkom perioda uhodavanja sustava. Postoje sustavi kod kojih je moguće provoditi zahvate otklanjanja kvarova tijekom eksploatacije (primjer trgovačkog broda), a pojavom kvara najčešće ne dolazi do velikih šteta ili ljudskih žrtava, stoga bi isključenje perioda uhodavanja iz eksploatacijskog vijeka bilo bi preskupo i neracionalno.

- Završetak eksploatacijskog vijeka sustava također nije jednoznačan i ovisi o poslovnoj politici vlasnika ili korisnika sustava i/ili značajkama sustava a jedan od važnijih kriterija izbora je utjecaj posljedica koje bi mogao izazvati kvar sustava .

- Početkom životnog vijeka sustava, definiranjem projektnog zadatka za izradu studije izvodljivosti (e: feasibility study), određuju se značajke projekta koje imaju najveći utjecaj i posljedice na performanse i stupanj terotehnološke povoljnosti predmeta zadatka limitirajući visinu *nt*. Stoga odluke i izbori koji se donose na početku aktivnosti definiranja značajki sustava, u daljnjim aktivnostima mogu se manje ili više uspješno pretočiti u tehnička, ekonomska i organizacijska rješenja, ali posljedice pogrešnih odluka učinjenih izborom temeljnih značajki sustava koje ne omogućavaju postizanje optimalne vrijednosti performansi cjeline projekta, nije moguće eliminirati u kasnijim aktivnostima realizacije projekta.

2. RAZVOJ KONCEPTA TEROTEHNOLOGIJE

Iza ratnih zbivanja dva su faktora dovela do potrebe i zahtjeva za održavanjem velikih i vrijednih poslovnih sustava:

- potreba za ubrzanom proizvodnjom kako bi se nadoknadili proizvodni gubitci nastali zbog usmjeravanja proizvodnih sustava u ratne svrhe.
- potreba u velikom broju industrijskih grana, uključujući i proizvođače sredstava za rad, za velikim proizvodnim naporima kako bi se nadomjestila sredstva izgubljena tijekom ratnih zbivanja

- Aspekt kvalitete poslovnih sustava je prepoznat još u ranoj fazi i naponi za unaprjeđivanjem upravljanja kvalitetom su naširoko zagovarani i prihvaćeni. Takve inicijative su, uz nužne preinake, nastavljene i do danas. U međuvremenu su uspostavljeni i međunarodni standardi sa smjernicama upravljanja kvalitetom

- osjetila potreba za razvojem novog prikladnog termina kojim bi se identificirao ovaj novi koncept ekonomskog upravljanja materijalnim poslovnim sustavima i taj se posao prepustio cijelom nizu leksikografa. Oni su preporučili termin "terotehnologija" koji potječe od grčke riječi "terein" koja znači "brinuti se".

2.1. Opseg terotehnologije

- a. Terotehnologija se bavi specifikacijom (potankim opisivanjem) 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.

b. 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.

- 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.

metode koje su usvojile mnogo principa terotehnološkog koncepta

- menadžment resursa,
- LCC (Life Cycle Costs) – upravljanje troškovima cijelog životnog vijeka sredstva,
- cjeloživotni troškovi,
- potpuna predanost za života,
- upravljanje troškovima "od rođenja do groba",
- "od koljevke pa do groba" menadžment,
- troškovi posjedovanja,
- troškovi korištenja,
- cijeloživotna skrb,
- dizajn za upravljanje cijeloživotnim troškovima.

LCC (Life Cycle Costs) – upravljanje troškovima cijelog životnog vijeka sredstva

- LCC je vjerojatno najprepoznatljiviji. LCC se često koristi u istom značenju kao i "Terotehnologija", međutim terotehnologija je zapravo "znanost" o LCC
- Najveća teškoća leži u odlučivanju da li cijeloživotni troškovi trebaju ili ne trebaju uključiti posljedične troškove u slučajevima kada se dogodi kvar na nekom sredstvu

- procjenjivanje troškova tijekom cijelog korisnog vijeka sustava će mnogo bolje izvesti korisnička organizacija nego dobavljač ili proizvođač sustava. U tom će slučaju procjene najvjerojatnije uzeti u obzir i neke povjerljive čimbenike, kao što su korisnikova tržišna očekivanja koja bi tako ostala nepoznata dobavljaču. Ako pretpostavimo da je dogovor ipak konačno postignut da LCC ne bi trebao uključivati takve posljedične troškove, ova tehnika i dalje ima jednu veliku manu koja ju uvijek sprječava u postavljanju optimalnog dizajna ili optimalnih operativnih principa.

razvoj filozofije i metoda održavanja sve do uvođenja terotehnološkog koncepta:

Od pojave prvih materijalnih poslovnih sredstava

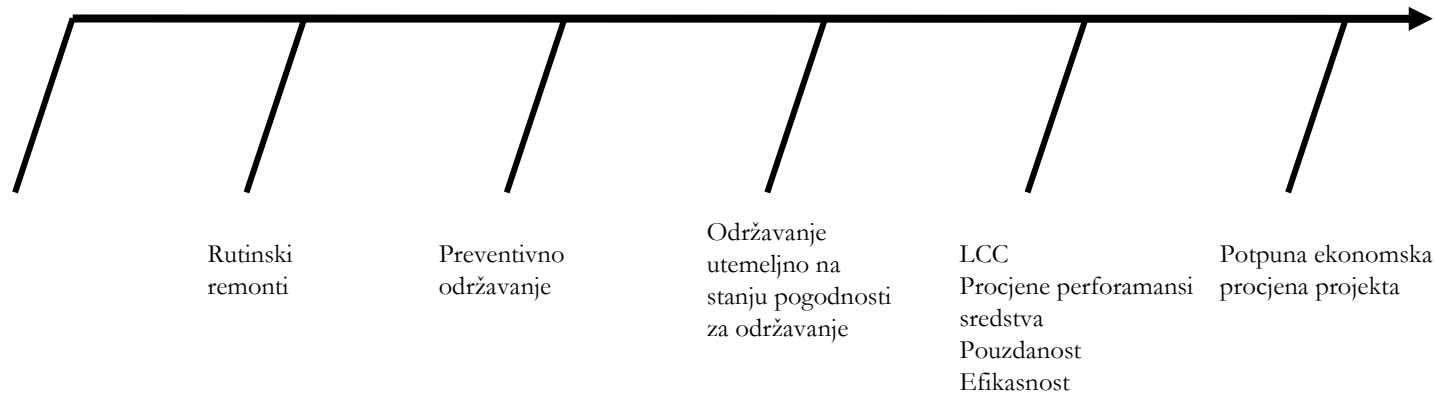
Od početka do sredine 20. stoljeća

Razdoblje nakon 2. sv rata (od 50-tih godina 20. st.)

Kasniji razvoj (od 70-tih godina 20. st.)

Suvremeni modeli (od 90-tih godina 20. st.)

Stvarno i potpuno prihvaćena Terotehnologija



3. TEROTEHNOLOŠKI POJMOVI I DEFINICIJE

- Da bi se istakle razlike između pojmova terotehnologije i održavanja, najjednostavnije je započeti definicijama temeljnih pojmova i njihovim značenjem u terotehnologiji
- ***Tehnologija je skup metoda i postupaka za transformaciju inputa u outpute; ili znanstvena disciplina koja je usmjerena na istraživanje metoda, procedura i vještina***

održavanje i organizacija

- **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.
- **Organizacija** je složena funkcionalna struktura namijenjena izvršavanju poslovnih procesa, sastavljena od više dijelova (podstruktura) međusobno povezanih funkcionalnim procedurama kojima se određuju hijerarhija, međuzavisnosti podstruktura i prioriteta u izvršavanju funkcije organizacije

projektiranje organizacije i organizacijska struktura

- **Projektiranje organizacije** je dugoročan i sveobuhvatan proces namjernog i kontroliranog razvoja i promjene organizacije, definiranja, provjere kvalitete poslovnih procedura, s ciljem poboljšanja efektivnosti organizacije.
- **Organizacijska struktura** je skup funkcionalnih poslovnih procedura kojima su određeni stalni ili promjenljivi raspored zaposlenika u grupe s određenim zadacima i njihove relacije.

Operativni nivo organizacije i osnovno sredstvo

- **Operativni nivo organizacije** je najniži nivo hijerarhijske strukture jedne organizacije. Sastavni dio operativnog nivoa su izvršitelji osnovne djelatnosti organizacije (oni koji proizvode, pružaju usluge, osiguravaju input i neposredno ga transformiraju u output organizacije).
- **Osnovno sredstvo**, je trajno materijalno poslovno sredstvo čija nabavna cijena prelazi zakonom propisani iznos

Tehničko sredstvo, tehnički sustav, podsustav

- **Tehničko sredstvo** je materijalno osnovno sredstvo, sustav koji predstavlja skup elemenata i relacija između elemenata i njihovih karakteristika međusobno povezanih u cjelinu s mogućnošću izvršenja korisnog rada. Tehničko sredstvo svoju namjenu po funkciji i cilju može izvršavati autonomno ili u sklopu sustava višeg nivoa.
- **Tehnički sustav** je skup elemenata ili podsustava koji u sinergijskom aktivnosti ostvaruju neku projektiranu funkciju.
- **Podsustav – komponentni sustav- komponentni podsustav** je funkcionalna cjelina koja je sastavni dio nekog sustava. U određenom stupnju analize može se smatrati sustavom.

Element, stanje tehničkog sustava, pouzdanost

- **Element – komponenta sustava – komponenta podsustava** je funkcionalna cjelina ili dio sustava ili podsustava koji se ne sastoji od manjih funkcionalnih cjelina.
- **Stanje tehničkog sustava** je opis stupnja realizacije funkcije (realizacije projektirane, deklarirane radne aktivnosti).
- **Pouzdanost** je vjerojatnost, na određenom nivou povjerenja, da će sustav uspješno obaviti funkciju za koju je namijenjen bez otkaza i unutar specificiranih granica performansi. Pouzdanost analiziramo uzimajući u obzir prethodno vrijeme korištenje sustava, specificiranog vremena trajanja aktivnosti uz korištenje na propisan način pod specificiranim nivoom opterećenja i u svrhu za koju je namijenjeno.

Pogodnost za održavanje, Spremnost za upotrebu

- ***Pogodnost za održavanje*** (maintainability) je karakteristika sustava da se, pod utvrđenim uvjetima upotrebe, može zadržati u radnom stanju ili vratiti u radno stanje definirano projektiranom funkcijom, kada se održavanje obavlja pod utvrđenim uvjetima i po određenom režimu održavanja.
- ***Spremnost za upotrebu*** (radna spremnost, spremnost, raspoloživost) je svojstvo sustava da obavlja projektiranu funkciju u potrebnom trenutku i u određenom vremenskom intervalu. Spremnost sustava postoji bez obzira nalazi li se ono u radu ili u stanju mirovanja (stand by).

Zastoj, ispravnost, defekt

- **Zastoj** je stanje sustava u kojem ono ne može izvršavati projektiranu i očekivanu funkciju.
- **Ispravnost** je svojstvo proizvoda ili sustava da u cijelosti ispunjava zahtjeve iz njegove specifikacije.
- **Defekt** (greška) je odstupanje karakteristika kvalitete koje dovodi do toga da sustav ne izvršava specificirane i predvidive zahtjeve upotrebe. Greške su klasificirane u četiri klase prema stupnju utjecaja.

Neispravnost, rekonstrukcija, zahvat održavanja, nadzor

- **Neispravnost** je odstupanje kvalitete proizvoda ili outputa sustava u usporedbi sa postavljenim i specificiranim zahtjevima funkcije kriterija.
- **Rekonstrukcija** je aktivnost kojom se mijenjaju karakteristike sustava najčešće u cilju poboljšanja učinka.
- **Zahvat održavanja** (reparatura, popravak) je vraćanje elemenata sustava i samog sustava u stanje spremnosti ili u stanje specificirane radne aktivnosti.
- **Nadzor** je specifični zahvat održavanja kojim se ostvaruje uvid u stanje sustava pomoću stalnih ili povremenih pregleda

otkaz

- **Otkaz** (kvar) je prestanak sposobnosti sustava da izvršava projektirane aktivnosti odnosno da ostvaruje projektiranu funkciju. Pojam otkaza bitno je povezan sa pojmom funkcije kriterija jer se definiranjem funkcije kriterija može promijeniti i kvalifikacija otkaza. Otkaz ili kvar povezan sa funkcijom kriterija je širi pojam koji u sebi sadrži pojmove zastoja, greške, neispravnosti pa čak i spremnosti sustava. Intenzitet otkaza je odnos funkcije gustoće pojave stanja u otkazu i kumulativne gustoće pojava stanja u radu. Pojednostavljeno rečeno to je omjer između broja elemenata koji su otkazali i ukupnog broja elemenata tijekom rada sustava u nekom vremenskom periodu.

Funkcija kriterija, popravljivost

- **Funkcija kriterija** je funkcija koja određuje prihvatljivi output nekog sustava. Najčešće to je granica koja definira najmanji prihvatljivi nivo outputa realiziranog radom sustava, ali može biti i definirano polje prihvatljivih outputa i to statičko ili dinamičko.
- **Popravljivost** je svojstvo elementa ili sustava koja određuje mogućnost sustava da ponovo izvršava, funkcijom kriterija specificiranih radnih aktivnosti, nakon zahvata održavanja i po otklanjanju neispravnosti

Trajnost, tehnička dijagnostika

- **Trajnost** je svojstvo elementa ili sustava da održava projektiranu i funkcijom kriterija specificiranu radnu aktivnost u toku eksploatacije do graničnog stanja. U tijeku vremena trajnosti element ili sustav se može više puta uključivati u rad i isključivati te podvrgavati zahvatima održavanja.
- **Tehnička dijagnostika** je sastavni dio modela održavanja prema stanju koji daje odgovor na pitanje kakvo je stanje elementa ili sustava u određenom vremenskom trenutku.

Životni vijek, eksploatacijski vijek

- **Životni vijek** sustava je vrijeme od početka ulaganja materijalnih sredstava s ciljem realizacije sustava pa do konačnog izdvajanja sustava iz procesa eksploatacije (dekomisije).
- **Eksploatacijski vijek** sustava je vrijeme od puštanja sustava u rad (komisija) do njegovog isključivanja iz eksploatacije (dekomisija). U tom periodu moraju se vratiti sva sredstva uložena u sustav a utrošena u životnom vijeku sustava.

MTBF, MTTR

- **MTBF - (mean time between failures) srednje vrijeme između kvarova** je prosječno vrijeme između kvarova nekog tehničkog sustava u određenom periodu eksploatacijskog vijeka trajanja i u principu je promjenljiva veličina u različitim fazama eksploatacijskog vijeka.
- **MTTR - (mean time to restore function) srednje vrijeme do ponovne uspostave funkcije** (često se zamjenjuje se pojmom srednjeg vremena popravka - mean time to repair). U praksi je pogodnije upotrebljavati pojam **MDT – mean downtime** što označava srednje ukupno vrijeme kvara. U MDT je uključeno i vrijeme koje protekne od pojave kvara do ponovnog početka specificirane radne definirane funkcijom kriterija,

MTTF, MTBM

- **MTTF – (mean time to failure) srednje vrijeme do pojave kvara.** Vrlo je sličan pojmu MTBF, u analizi pouzdanosti ima isto značenje i brojčanu vrijednost za neki određeni sustav i određeni period eksploatacijskog vijeka trajanja. MTTF nam daje orijentacijsku vrijednost vremena rada sustava u kojem vjerojatno neće doći do pojave kvara sustava iako je takav podatak upotrebljiv za sustav općenito a ne za odabrani trenutak eksploatacijskog vijeka trajanja.
- **MTBM – (mean time between maintenance) srednje vrijeme između održavanja.** Ima neko značenje u eksploataciji samo u vezi s preventivnim održavanjem kada služi za planiranje zahvata održavanja

MPMT, poslovna sredstva

- **MPMT – (mean preventing maintenance time) srednje vrijeme preventivnog održavanja.** Ima eksploatacijsku vrijednost samo kod planiranja preventivnog održavanja i radi proračuna veličine MDT.
- **Poslovna sredstva** su sva sredstva potrebna nekoj organizaciji za obavljanje funkcije – ostvarivanje funkcije transformacije inputa organizacije u output prema definiranom skupu procedura i u skladu s definiranom funkcijom kriterija. Poslovna sredstva temeljem trajanja poslovnih sredstava možemo podijeliti na: dugotrajna poslovna sredstva i kratkotrajna poslovna sredstva.

Dugotrajna poslovna sredstva, materijalna osnovna sredstva

- **Dugotrajna poslovna sredstva** možemo uvjetno nazvati i osnovna sredstva koja se mogu podijeliti na materijalna dugotrajna poslovna sredstva ili materijalna osnovna sredstva i na nematerijalna dugotrajna poslovna sredstva ili nematerijalna osnovna sredstva.
- **Materijalna osnovna sredstva** su trajna sredstva za obavljanje određene proizvodne ili uslužne djelatnosti a najčešće su to sustavi koji uključuju zemljište, građevine, postrojenja, opremu, alat, pribor, upute za upotrebu, sve predujmove za nabavu materijalnih osnovnih sredstava, investicije u tijeku, knjige, umjetnička djela, računalni programi, poslovne procedure i procedure kontrole kvalitete te sva dugoročna financijska imovina (akumulirana amortizacija, udjeli i dionice, dugoročni krediti, depoziti i potraživanja).

Nematerijalna i kratkotrajna poslovna sredstva

- **Nematerijalna osnovna sredstva** čine svu trajnu nematerijalnu imovinu organizacije i obuhvaćaju patente licencije, zaštitne znakove, Goodwill, izdatke za istraživanje i razvoj, nematerijalna ulaganja u pripremi, predujmove za nematerijalna sredstva i akumuliranu amortizacija nematerijalne imovine.
- **Kratkotrajna poslovna sredstva** nazivamo i obrtna sredstva, također ih možemo podijeliti na kratkotrajna materijalna poslovna sredstva i kratkotrajna nematerijalna poslovna sredstva. Materijalna obrtna sredstva obuhvaćaju sirovine, zalihe, sitni inventar, potrošni materijal, nedovršenu proizvodnju, novac na računima i sva kratkoročna potraživanja

- ***Samo tehnička dugotrajna poslovna sredstva od svih materijalnih osnovnih sredstava su predmet terotehnologije. Terotehnologiju možemo definirati kao tehnologiju upravljanja tehničkim osnovnim sredstvima (menadžment tehničkih osnovnih sredstava) ili kao menadžment posjedovanja tehničkih materijalnih sredstava.***

kvaliteta

- ***Kvaliteta (quality) tehničkog sustava je razina ostvarenja radne aktivnosti sustava. Kvalitetu sustava definiramo kao skup svih radnih svojstava sustava koji određuju parametre upotrebljivosti uzimajući u obzir radne uvjete i potrebno vrijeme rada.***

Komponente kvalitete tehničkih sustava su funkcionalnost, pouzdanost, ekonomičnost i sigurnost.

Ekonomičnost, sigurnost, pouzdanost, radni uvjeti sustava

- **Ekonomičnost** označava mjeru ukupnih troškova produkcije sustava i njegovog pogona u eksploataciji sustava po jedinici produkcije sustava.
- **Sigurnost (safety)** je značajka sustava da svojim kvarom neće ugroziti radne sposobnosti ili oštetiti druge sustave (ili osobe) sa kojima zajedno ostvaruje radnu funkciju.
- **Pouzdanost (reliability)** je vjerojatnost da će određeni sustav ostvariti određenu radnu aktivnost u očekivanom vremenskom periodu i u unaprijed određenim radnim uvjetima.
- **Radni uvjeti sustava** Posebno važan faktor pri procjeni pouzdanosti, funkcionalnosti i ekonomičnosti su radni uvjeti sustava. Pod radnim uvjetima podrazumijevamo vanjske i unutrašnje uvjete rada, ali i specificirane zahtjeve sustava (radni uvjeti za koje je sustav projektiran i izrađen), te posebno radne uvjete sustava (unutrašnje) koji određuju funkciju sustava (kapacitet, ...).

4. EKONOMSKA PROCJENA ISPLATIVOSTI INVESTICIJE

- Samim razvojem menadžerskog pristupa financiranju poduzeća i projekata razvio se cijeli niz metoda financijskog odlučivanja. Među tim brojnim metodama ističu se dvije temeljne metode financijskog odlučivanja, a to su metoda čiste sadašnje vrijednosti i metoda interne stope profitabilnosti.

4.1. Metoda čiste sadašnje vrijednosti (NPV)

- U ekonomskim procjenama projekata je iznimno važno definirati točno kada će, tijekom životnog vijeka projekta, pojedini trošak nastati, odnosno u kojem će se trenutku određeni iznos novca u obliku prihoda primiti. Razlog leži u činjenici da vrijednosti takvih novčanih iznosa za poduzeće variraju s obzirom na vrijeme kada su nastali.

Diskotni faktor

- Da bi organizacija znala točnu vrijednost nekog izdatka ili primitka u budućnosti, ona ga svodi na sadašnju vrijednost množeći ga s diskontnim faktorom koji se izračunava na sljedeći način:

$$r = \frac{1}{(1 + k)^n}$$

- r = diskontni faktor
- k = diskontna (kamatna) stopa na investicije
- n = broj godina između sadašnjosti i budućeg izdatka ili primitka

- Diskontni faktori se, kako bi se izbjeglo dugotrajno izračunavanje, mogu pronaći i u drugim financijskim tablicama za zadanu diskontnu stopu i za odgovarajuće godine. Čista sadašnja vrijednost predstavlja temeljni kriterij financijskog i investicijskog odlučivanja
- Kada govorimo o novčanim tokovima projekta, pod čistom vrijednošću se podrazumijeva razlika između godišnjih novčanih tokova u cijelom vijeku efektiviranja projekta i investicijskih troškova. Pod efektiviranjem se ovdje podrazumijeva stvaranje profita i novčanih tokova projekta koji se mogu tretirati kao njegov doprinos povećanju sadašnje vrijednosti poduzeća.

Čista vrijednost projekta

$$S = \sum_{n=1}^N V_n - I$$

- S = čista vrijednost projekta,
- N = vijek efektiviranja projekta,
- V_n = novčani tok projekta u n -toj godini,
- $\sum V_n$ = suma svih novčanih tokova u vijeku efektiviranja projekta,
- n = broj godina između sadašnjosti i budućeg izdatka ili primitka,
- I = vrijednost investicije.

- U slučaju jednokratnog ulaganja potrebno je samo diskontirati buduće novčane tokove projekta i u tom se slučaju čista sadašnja vrijednost može definirati kao razlika između zbroja diskontiranih čistih novčanih tokova u cjelokupnom vijeku efektiviranja projekta i iznosa investicijskih troškova:

$$S_0 = \sum_{n=1}^N \frac{V_n}{(1+r)^n} - I$$

- S_0 čista sadašnja vrijednost

Izračunavanje čiste sadašnje vrijednosti

provodi se u sljedeća tri koraka :

- izračunavanje sadašnje vrijednosti očekivanih novčanih tokova u cjelokupnom vijeku efektuiranja projekta,
- sumiranje diskontiranih čistih novčanih tokova u cijelom vijeku efektuiranja projekta
- utvrđivanje čiste sadašnje vrijednosti oduzimanjem investicijskih troškova od zbroja sadašnje vrijednosti novčanih tokova u cijelom vijeku efektuiranja projekta.

Diskontni faktori

GODINA	DISKONTNI FAKTOR	NOVČANI TOKOVI (V_n)			DISKONTIRANI NOVČANI TOKOVI (V_{nt})		
		projekt A	projekt B	projekt C	projekt A	projekt B	projekt C
0		100.000	100.000	100.000	100.000	100.000	100.000
1	0,909	5.000	17.500	10.000	4.545	15.907	9.090
2	0,826	10.000	17.500	15.000	8.260	14.455	12.390
3	0,751	15.000	17.500	20.000	11.270	13.143	15.020
4	0,683	20.000	17.500	25.000	13.660	11.952	17.075
5	0,621	25.000	17.500	30.000	15.525	10.868	18.630
6	0,564	30.000	17.500	25.000	16.920	9.870	14.100
7	0,513	25.000	17.500	20.000	12.825	8.977	10.260
8	0,466	20.000	17.500	15.000	9.320	8.155	6.990
9	0,424	15.000	17.500	10.000	6.360	7.420	4.240
10	0,385	10.000	17.500	5.000	3.850	6.738	1.925
ukupno		175.000	175.000	175.000	102.535	107.485	109.720
sveukupno					2.535	7.485	9.720

Utjecaj inflacije na buduću vrijednost novčanih tokova

GODINA	ČISTA SADAŠNJA VRIJEDNOST UZ 10% DISKONTNU STOPU	STVARNA VRIJEDNOST UZ GODIŠNJU STOPU OD 5% INFLACIJE	KORIGIRANA ČISTA SADAŠNJA VRIJEDNOST
0	100.000,00	100.000,00	100.000,00
1	90.909,10	95.238,09	86.580,08
2	82.644,63	90.702,95	74.961,11
3	75.131,48	86.385,62	64.902,79
4	68.301,35	82.270,67	56.191,97
5	62.092,13	78.351,48	48.650,10
6	56.465,27	74.626,86	42.124,92
7	51.316,26	71.068,15	36.469,52
8	46.650,49	67.686,47	31.576,07
9	42.410,62	64.462,06	27.338,76
10	38.554,96	61.391,12	23.669,32

S obzirom na cilj i svrhu, razlikujemo dvije temeljne vrste ekonomske procjene:

- prva vrsta procjena se radi zbog utvrđivanja ukupne održivosti projekta tijekom cijelog životnog vijeka; ako suma svih primitaka nadmašuje sumu svih izdataka projekt će korisniku donijeti profit;
- druga vrsta procjene se radi zbog usporedbe različitih alternativa jer, u fazi istraživanja, predloženi projekt kojeg menadžment treba prihvatiti ili odbaciti najčešće ima konkurenciju; nakon usporedbe izabire se ona alternativa koja rezultira nanižim troškovima.

4.2 Metoda interne stope profitabilnosti

- Uz određenu diskontnu stopu čista sadašnja vrijednost nekog projekta biti će jednaka nuli. Upravo se ta stopa, uz koju je čista sadašnja vrijednost projekta jednaka nuli, naziva interna stopa profitabilnosti

$$\sum_{n=1}^N \frac{V_n}{(1+R)^n} = I$$

- R oznaka za internu stopu profitabilnosti

Interna stopa , iteracija

- Interna stopa se računa metodom pokušaja i pogrešaka, kako bi se u nekom ponavljanju postupka računanja čiste sadašnje vrijednosti pronašla upravo ona stopa uz koju je čista sadašnja vrijednost jednaka nuli. Upravo se zbog ponavljanja postupka računanja nulte čiste sadašnje vrijednosti ova metoda naziva i metodom iteracije.
- Iteracija, odnosno ponavljanje postupaka pokušaja i pogrešaka se vrši tako da se najprije odabere jedna diskontna stopa za koju se vjeruje da je blizu internoj stopi profitabilnosti te se njezinom primjenom izračunava čista sadašnja vrijednost projekta

Postupak izračunavanja interne stope profitabilnosti projekta A

GODINA	NOVČANI TOKOVI	DISKONTNA STOPA 11%		DISKONTNA STOPA 10,5%	
		diskontni faktor	iznos	diskontni faktor	iznos
0	(100.000)		(100.000)		(100.000)
1	5.000	0,901	4.505	0,905	4.525
2	10.000	0,812	8.120	0,819	8.190
3	15.000	0,731	10.965	0,741	11.115
4	20.000	0,659	13.180	0,670	13.400
5	25.000	0,593	14.825	0,607	15.175
6	30.000	0,543	16.290	0,549	16.470
7	25.000	0,481	12.025	0,497	12.425
8	20.000	0,434	8.680	0,450	9.000
9	15.000	0,390	5.850	0,407	6.105
10	10.000	0,352	3.520	0,368	3.680
ukupno	175.000		97.960		100.085
sveukupno			(2.040)		85

5. ANALIZA FUNKCIJE TEHNIČKIH SUSTAVA

- **Stanje sustava**

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 otkazu", 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 otkazu".

Stanje u kvaru tehničkog sustava

- ***je svako stanje tehničkog sustava koje odstupa od definiranih (projektiranih, specificiranih, funkcijom kriterija determiniranih) karakteristika funkcije sustava.*** Bez obzira da li uslijed pojave kvara sustav može nastaviti funkciju sa promjenjenim performansama (smanjenom radnom aktivnošću) ili nastaje zastoј (prekid svake aktivnosti) pojavom kvara, u teoriji pouzdanosti, smatra se da je sustav izvan funkcije.

- ***Svako stanje tehničkog sustava koje odstupa od radnog stanja definiranog prethodno određenom i specificiranom funkcijom kriterija je kvar tehničkog sustava.*** Da bi kvar tehničkog sustava mogli istraživati, te da bi istraživanje karakteristika složenih tehničkih sustava kroz efektivnost i pouzdanost sustava bilo znanstveno utemeljeno kvarove tehničkih sustava dijelimo na inherentne kvarove i neinherentne kvarove.

Neinherentni kvarovi

- Kvarovi koji sustavu nisu inherentni (nisu svojstveni; ne potječu od osnovne funkcije sustava) zovu se neinherentni kvarovi. Mogu biti posljedica nepravilnog rukovanja, sudara, udara, posljedica "više sile", prirodnih pojava i katastrofa i tome slično. Očito je da nikakva tehnologija (tehnologija održavanja, terotehnologija) ni teorija ne može istraživati takvu vrstu kvarova koja nije povezana s tehnološkim postupkom rada niti funkcijom složenog sustava.

Inherentni kvarovi

- Druga temeljna vrsta kvarova tehničkih sustava su oni kvarovi koji su posljedica radne funkcije sustava. Ovi kvarovi posljedica su propisane radne aktivnosti (funkcije) sustava i nastaju samo tijekom funkcije sustava. Ovi kvarovi nazivaju se ***inherentni kvarovi***. Inherentni kvarovi dijele se u tri glavne skupine prema uzrocima i vremenu nastanka na početne kvarove, slučajne kvarove i kvarove zbog istrošenosti.

Početni kvarovi (early failures)

- Početni kvarovi pojavljuju se odmah nakon puštanja sustava u rad. Uzrok početnih kvarova mogu biti: nekvalitetna izrada komponenti (ili podsustava), (substandardne komponente, substandardni podsustavi), pogrešna montaža (pogrešan postupak ili nepridržavanje tehnološkog postupka montaže), slaba organizacija tehnološkog postupka montaže ili nedovoljna kontrola kvalitete u tijeku proizvodnog procesa ili nedovoljna kontrola kvalitete po izradi sustava.

- **Početni kvarovi otklanjaju se zahvatima održavanja tijekom garancijskog perioda.** Garancijski period, kod ozbiljnih proizvođača, određuje se u vremenu potrebnom za otklanjanje najvećeg broja (veličina najvećeg broja definira se poslovnom politikom tvrtke proizvođača) početnih kvarova. **Vremenski period u kojem se otklanjaju početni kvarovi nazivamo period uhodavanja ("burn in" period, "debugging" period).**

Slučajni kvarovi (chance failures)

- Slučajni kvarovi počinju se zapravo javljati od samog početka rada sustava, dakle i u periodu uhodavanja, pri čemu ih je teško separirati od početnih kvarova. Uzroci slučajnih kvarova ne mogu se pouzdano odrediti ili bi njihovo određivanje bilo neekonomično.

Pretpostavljamo da su slučajni kvarovi posljedica unutrašnjih koncentracija naprezanja (mehaničkih, toplinskih, električkih i sl.), a koja prelaze projektiranu izdržljivost komponente.

- Utjecaj slučajnih kvarova, a time i njihovo rano otkrivanje možemo smanjiti primjenom ekspertnih sustava nadzora rada složenih sustava, ali sprječavanje posljedica pojave slučajnih kvarova možemo ostvariti samo odgovarajućim projektiranjem sustava.

Sprječavanje posljedica pojave slučajnih kvarova i osiguranje potrebnih značajki projekta sustava zadatak je analize pouzdanosti sustava.

Kvarovi zbog istrošenosti (wearout failures)

- Kvarovi zbog istrošenosti javljaju se zadnji u vremenskom slijedu. Pod pojmom istrošenosti kod kvarova ne podrazumijevamo samo fizičku istrošenost (promjene dimenzija) nekog komponentnog dijela – komponente, već istrošenost resursa u bilo kom obliku (pojava zamora – istrošenost resursa sposobnosti podnošenja promjenljivih opterećenja/naprezanja; pojava puzanja – istrošenost resursa otpornosti prema pojavi trajnih deformacija, pojava zaribavanja kliznog ležaja

- ***Dosljednomo provedbom propisanih mjera preventivnog održavanja kvarovi zbog istrošenosti mogu se potpuno eliminirati.***

Ponekad se slučajni kvarovi manifestiraju kao kvarovi zbog istrošenosti. Do pojave slučajnog kvara koji ima sve manifestacije kvara zbog istrošenosti može doći i uz primjenjene mjere preventivnog održavanja.

Vijek trajanja

- Prema definiciji pouzdanosti ona se temelji na vremenu rada kao resursu trajanja sustava. U kontinuiranom radu resurs trajanja najpogodnije je izraziti nekom vremenskom jedinicom (minuta, sekunda, sat, mjesec, godina...). Ali ako uređaj radi povremeno u pravilnim ili nepravilnim periodima npr. operacija otvaranja (zatvaranja) ili kombinacija operacije i vremena trajanja operacije tada definiranje resursa trajanja kao vrijeme može biti nepogodno.

- . Da bi mogli trajnost komponente upotrijebiti kao osnovu za definiranje postupaka održavanja i proračun pouzdanosti, vijek trajanja definiramo kao:
 - - korisni vijek trajanja (useful life)
 - - prosječni vijek trajanja (mean wearout life).

- ***Korisni vijek trajanja*** je vremenski period koji protekne od završetka perioda uhodavanja do trenutka zakazivanja prve komponente zbog istrošenosti u značajno velikoj populaciji istovrsnih komponenata. Izražava se u satima i označava sa **T_w** .
- ***Prosječni vijek trajanja*** je vremenski period od početka rada neke komponente do srednjeg vremena zakazivanja zbog istrošenosti prve i posljednje komponente u populaciji. Izražava se u satima i označava sa **M** .

- Značenje korisnog vijeka trajanja T_w leži u činjenici da ako prije isteka korisnog vijeka trajanja zamjenimo sve istovrsne komponente novima neće doći do kvara komponenti zbog istrošenosti. ***Unutar korisnog vijeka trajanja (T_w) komponentom se možemo koristiti bez rizika od pojave kvara zbog istrošenosti.***

- U praksi korisni vijek trajanja T_w uvijek je značajno manji od prosječnog vijeka trajanja M .

$$T_w < M$$

Učestalost i pojavnost kvarova

- Osim utvrđivanja vrste kvara (početni, slučajni, zbog istrošenja) analizom eksploatacije sustava možemo utvrditi i frekvenciju pojave kvarova mjerenjem vremena između kvarova, odnosno učestalost kvarova po jedinici vremena koja značajno odstupa u različitim periodima eksploatacije sustava.

Prosječno vrijeme između kvarova ("mean time between failures")

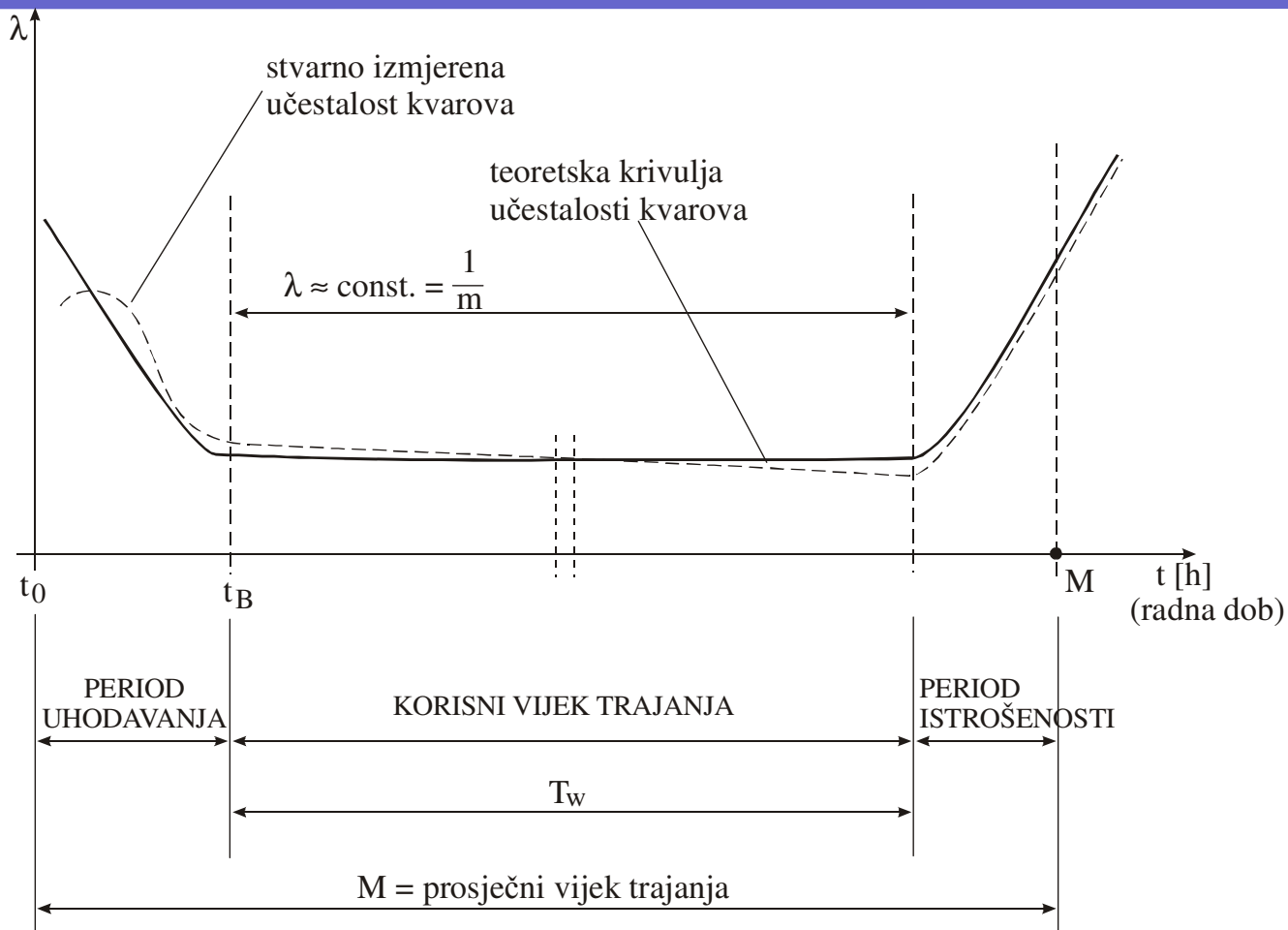
- ***Prosječno vrijeme između kvarova*** ("mean time between failures") označava srednje izmjereno vrijeme između dva kvara sustava u promatranom periodu eksploatacije sustava, označava se sa **m** (**MTBF**) i izražava u satima.

- Recipročna vrijednost prosječnom vremenu između kvarova **m** jeste učestalost kvarova ili **indeks kvarova λ** . **Označava broj kvarova sustava u jedinici vremena.**

$$\lambda = \frac{1}{m} \left[\frac{1}{h} \right]$$

$$\lambda = \frac{1}{\text{MTBF}}$$

Indeks kvarova λ (mjera učestalosti kvarova sustava) značajno ovisi o periodu eksploatacije sustava,

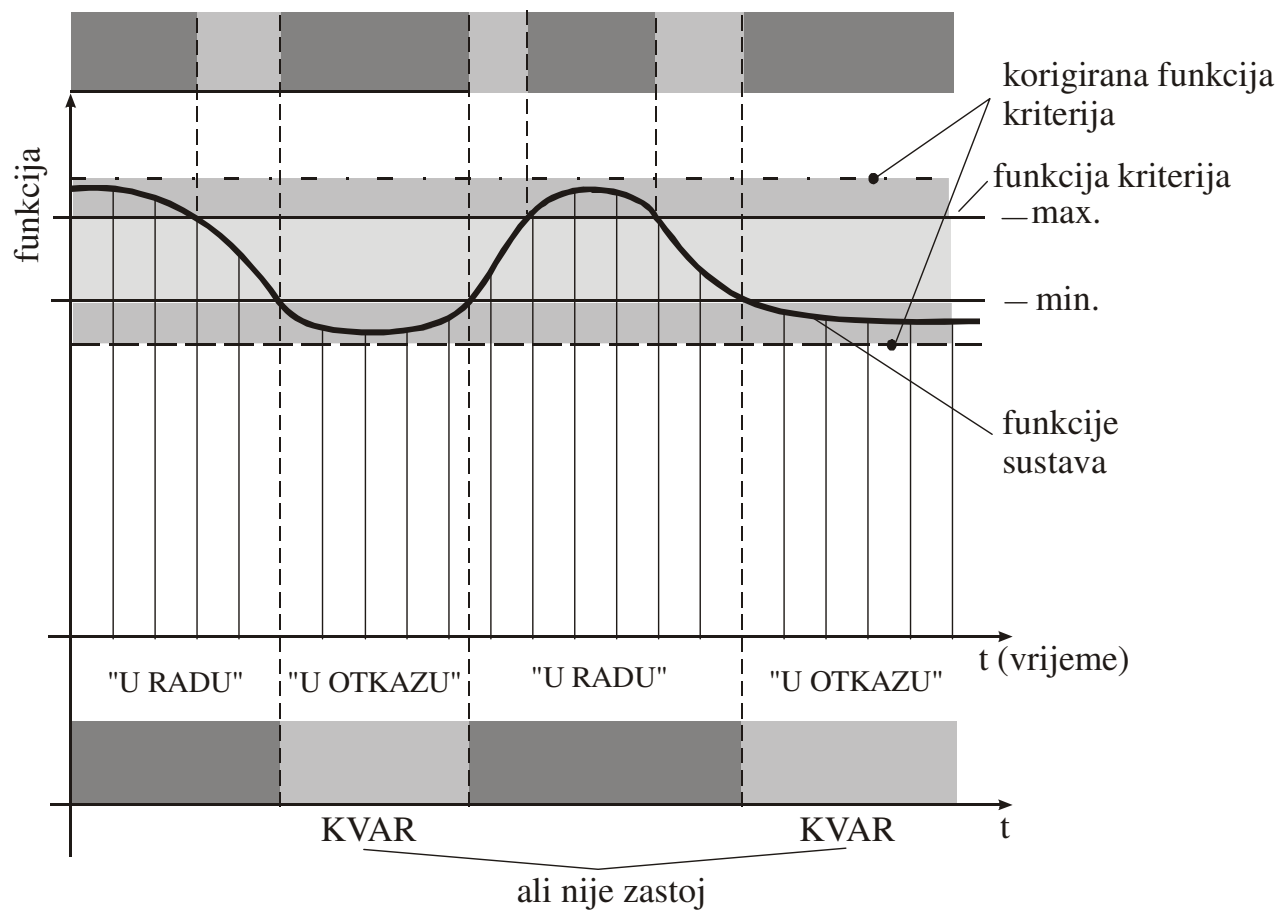


6. EFEKTIVNOST TEHNIČKIH SUSTAVA

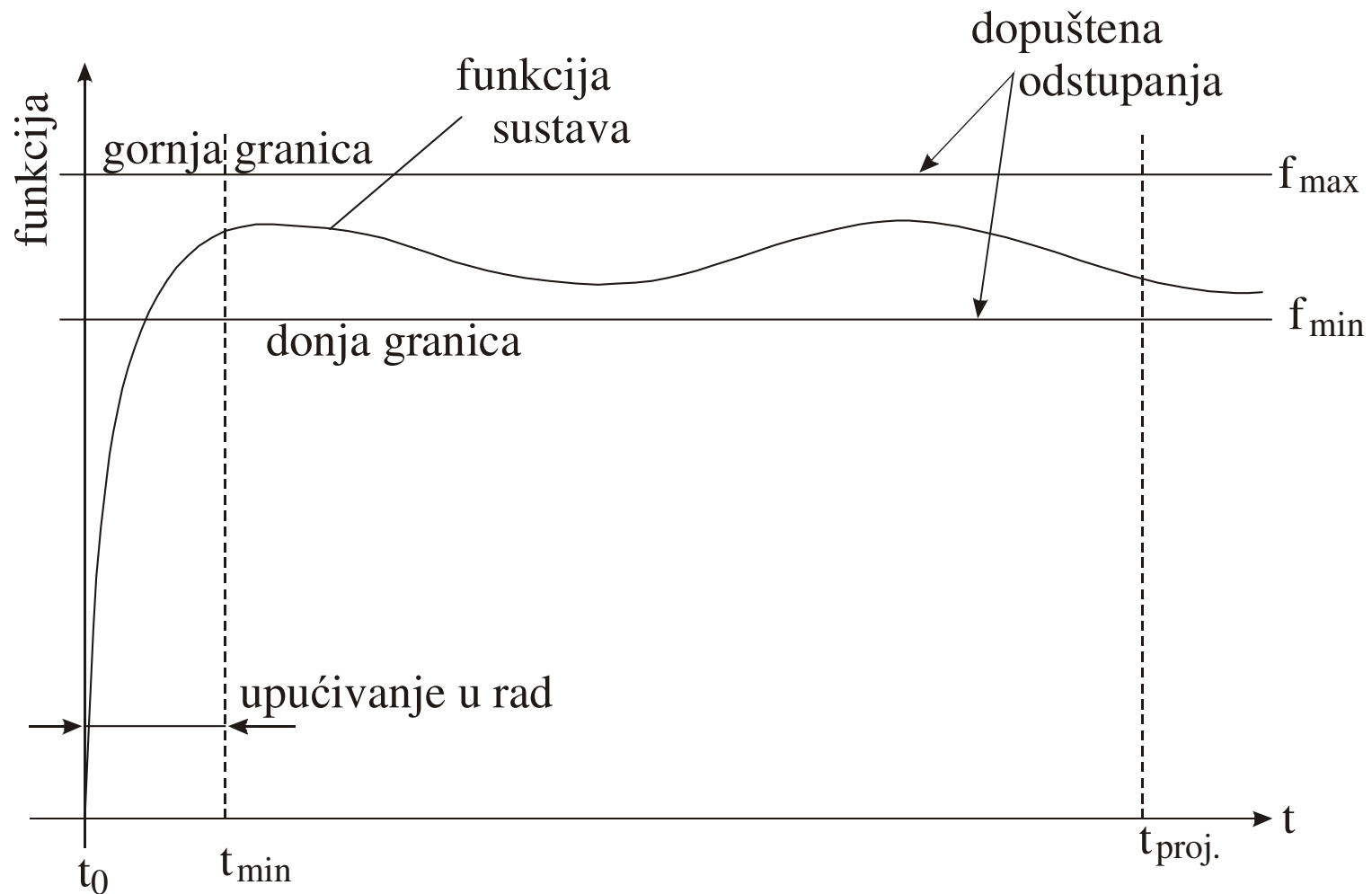
- **Funkcija kriterija**

Tehnički sustav je skup elemenata ili podsustava koji u sinergijskoj aktivnosti ostvaruju radnu aktivnost – funkciju. Parametre funkcije i kriterije prihvatljivosti zajednički nazivamo ***funkcija kriterija***. Time funkcija kriterija postaje temeljno mjerilo za procjenu radnog stanja sustava, te mjerilo za ocjenu efektivnosti kroz određivanje radnog resursa sustava.

Funkcija kriterija



Funkcija tehničkog sustava



- ***Raspoloživost sustava*** je vjerojatnost da sustav započne funkciju unutar područja funkcije kriterija;
- ***Pouzdanost (reliability)*** je vjerojatnost održavanja funkcije sustava u granicama funkcije kriterija u određenom vremenskom periodu;
- ***Prilagodljivost (adaptability)*** je sposobnost sustava na prilagodbu promjeni opterećenja, kapaciteta i sl. prouzročenoj promjeni vanjskih parametara

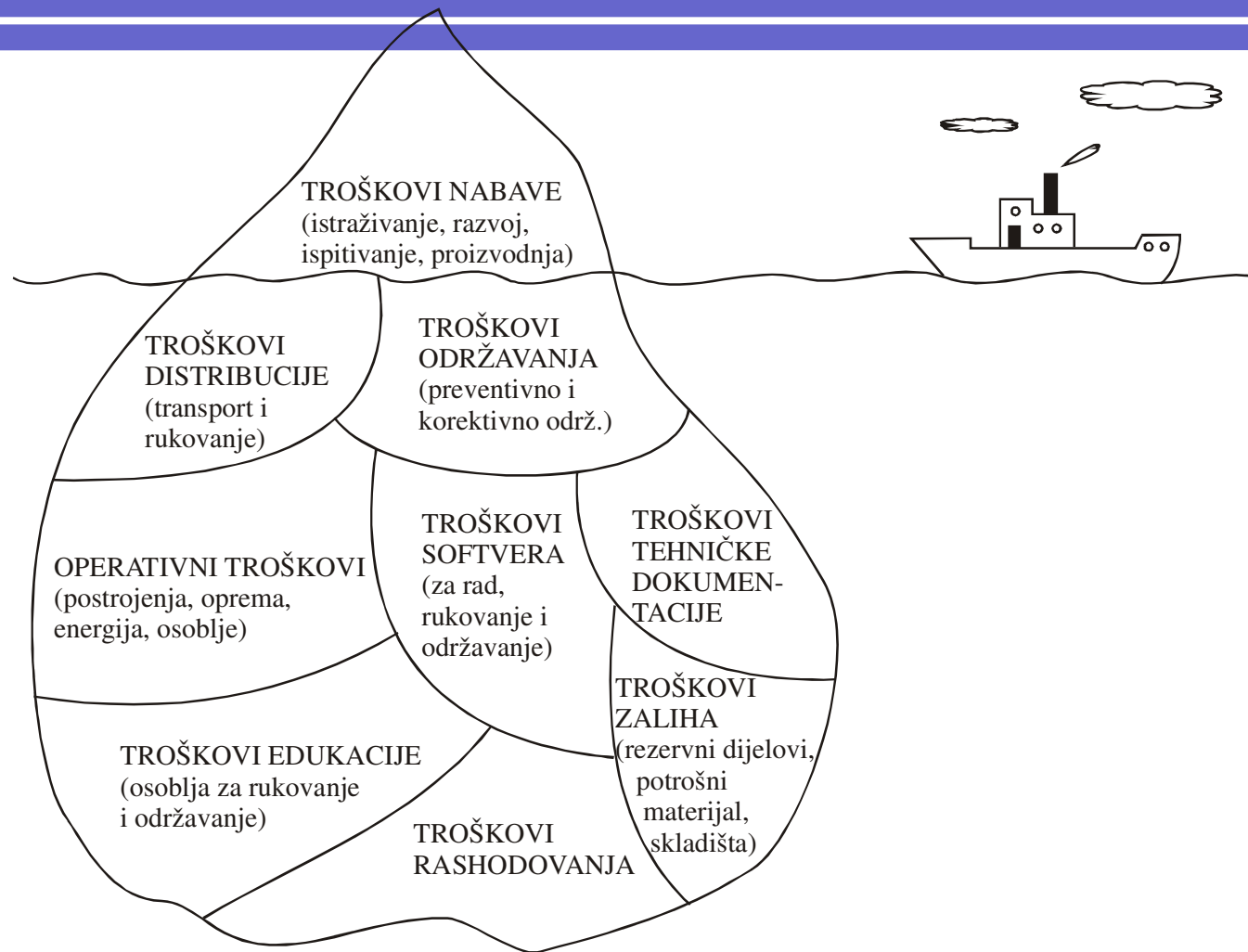
Odnos između *kvalitete* i *efektivnosti* sustava

- Kvaliteta sustava je razina ostvarenja funkcije, i u datom trenutku je **statička** veličina.
- Efektivnost (učinkovitost) sustava je vjerojatnost ispunjavanja **funkcije kriterija** u određenom vremenskom periodu i **dinamička** je veličina.

- Kvaliteta sustava može se ocijeniti po izradi (izgradnji) sustava, a efektivnost sustava može se ocijeniti sigurno tek u vremenu eksploatacije sustava. Efektivnost se može samo procijeniti u vrijeme projektiranja sustava kao projektirana vrijednost (temelj za projektni zahtjev).

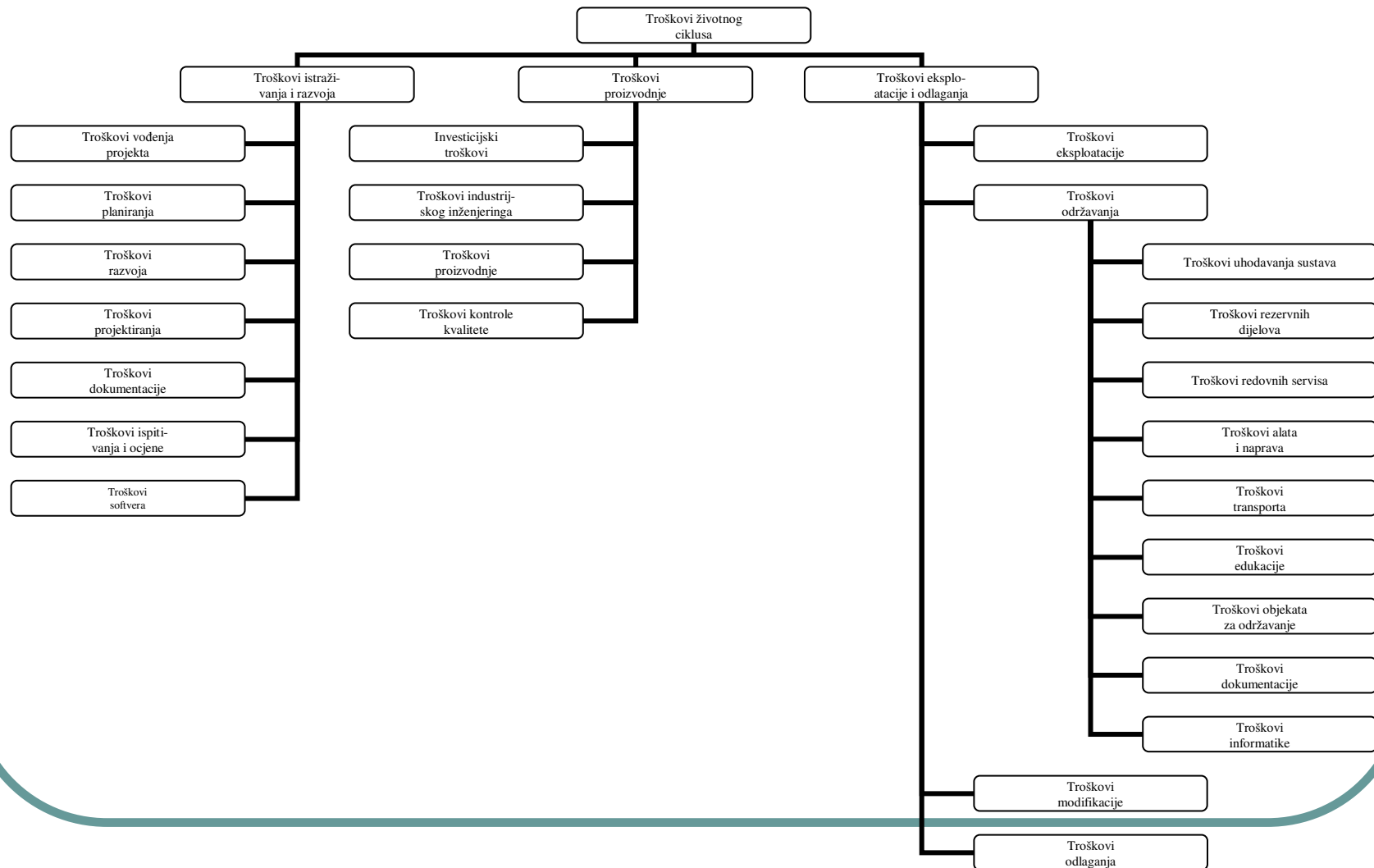
Troškovi efektivnosti

- Troškove tehničkih sustava, analizirani sa stajališta eksploatacije nužno se svode na troškove efektivnosti sustava. Pod troškovima efektivnost sustava podrazumijevaju se troškovi ostvarivanja raspoloživosti i troškovi postizanja tražene pouzdanosti. Razliku između ukupnih troškova efektivnosti sustava i troškova nabave sustava (koji se često znaju uzimati u analizu kao jedino mjerilo izbora sustava) može se uočiti na slici

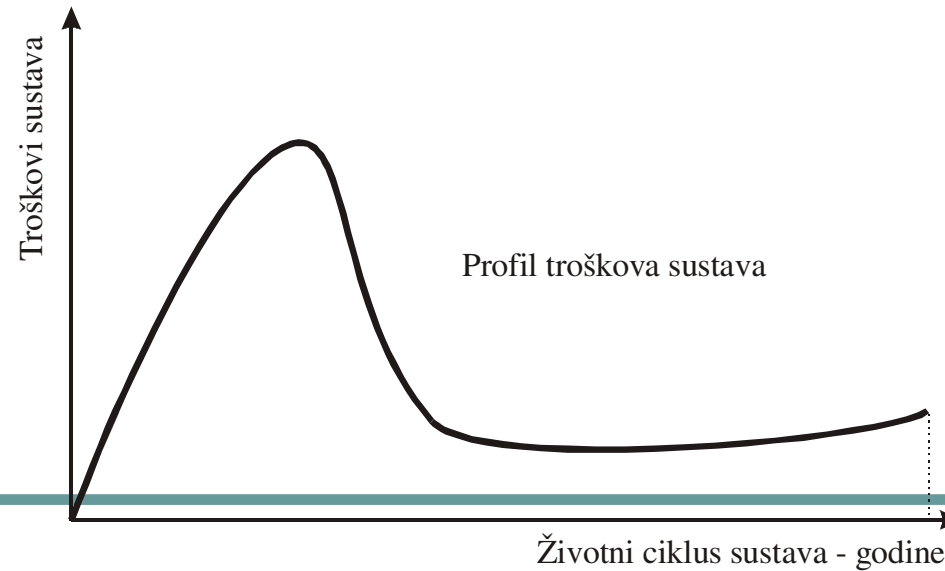
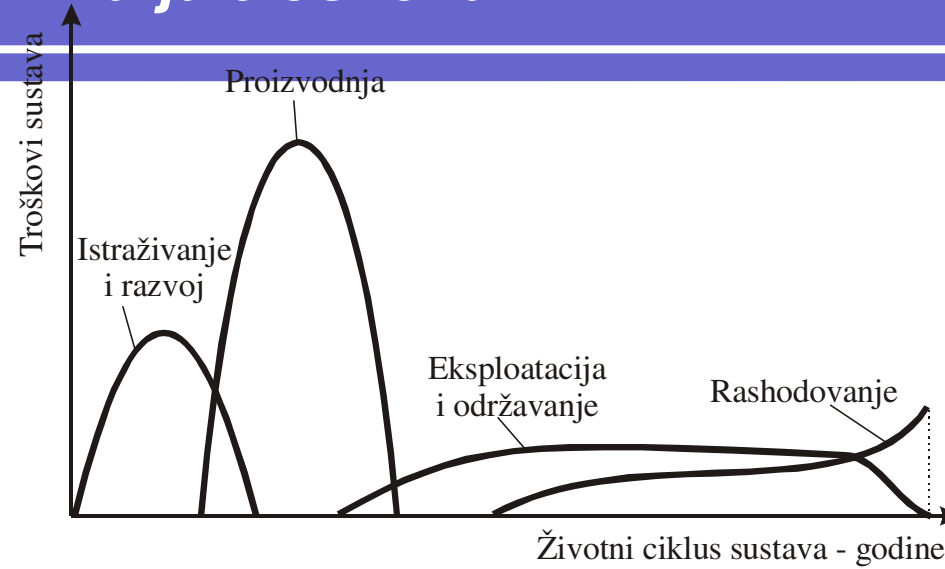


- ***Vidljivi dio troškova životnog vijeka sustava:***
- Troškovi nabave, bez obzira na to da li se tehnički sustav kupuje ili razvija (istraživanje, projekt, ispitivanje, proizvodnja)
- ***Nevidljivi dio troškova životnog vijeka sustava:***
- Troškovi distribucije i rukovanja (transport, rukovanje, manipulacija)
- Pogonski troškovi (kapaciteti, energija, oprema, i dr.)
- Troškovi edukacije (edukacija servisera i operatera)
- Troškovi održavanja i remonta (preventivno i korektivno servisiranje)
- Troškovi tehničke dokumentacije (upute, priručnici, katalozi, prospekti i dr.)
- Troškovi zaliha (rezervni dijelovi, potrošni i repromaterijal, ambalaža)
- Troškovi rashodovanja (troškovi vezani za dekomisiju i odlaganje tehničkog
- sustava).

Troškovi životnog vijeka po aktivnostima i fazama



Krivulje troškova životnog ciklusa po aktivnostima i kumulativna krivulja troškova



Ugovorom između kupca i proizvođača (dobavljača) sustava određuju se troškovi životnog ciklusa tehničkog sustava, na način da se zahtjeva:

- da se realiziraju minimalni troškovi u fazama razvoja i proizvodnje;
- da se realiziraju minimalni troškovi podrške vezane za servisiranje;
- da se realiziraju minimalni troškovi tijekom cjelokupnog životnog ciklusa.

- Prvi zahtjev traži relativno niske nivoe pouzdanosti i pogodnosti za servisiranje što se opet odražava na visoke troškove održavanja i tehničke podrške, zbog velikog broja rezervnih dijelova i potrebnih intervencija, koje su posljedica povećanog broja kvarova.
- Drugi zahtjev daje niske troškove servisiranja. Ipak, ovaj prilaz postaje skup zbog povećanih troškova za vrijeme razvoja i proizvodnje, da bi se dobili visoki nivoi pouzdanosti i pogodnosti za servisiranje.
- Treći prilaz daje minimalne troškove tijekom životnog ciklusa i tu se može naći optimalni nivo. Očito je da pri povećanju efektivnosti eksploatacijski troškovi opadaju ali zato troškovi razvoja i proizvodnje rastu

Optimizacija troškova efektivnosti

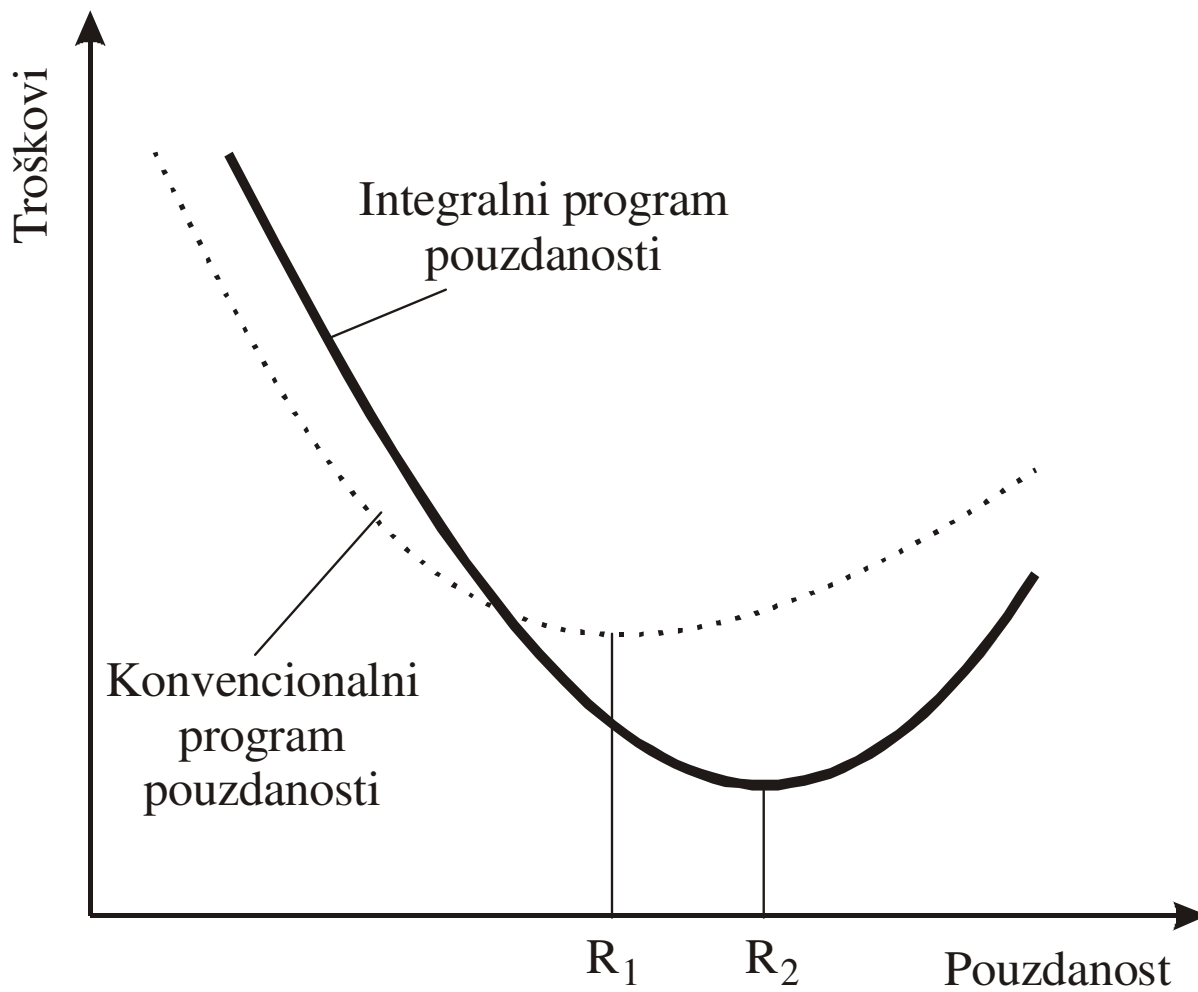
- Prilikom razvoja tehničkog sustava teži se da isti ima optimalni nivo efektivnosti u odnosu na troškove. Ova veza između efektivnosti i troškova efektivnosti može se izraziti relacijom:

$$T_R = k_1 + k_2 \cdot \ln T_{uk}$$

- T_R - troškovi efektivnosti,
- T_{uk} - srednje vrijeme između kvarova,
- k_1 - konstante koje se određuju na osnovu podataka i informacija za troškove razvoja nekog sličnog tehničkog sustava za neku specificiranu vrijednost efektivnosti.

Smanjenje troškova str.56

- Cilj smanjenja sveukupnih troškova proizvodnje tehničkog sustava moguće je postići primjenom integralnog programa efektivnosti, koji se zasniva na temeljnim principima pouzdanosti. To je program koji koordinira mjere za podizanje pouzdanosti u svim fazama životnog ciklusa jednog tehničkog



- U ovom programu se mora osigurati da svi zahtjevi efektivnosti tijekom istraživanja, razvoja, ispitivanja i verifikacije, proizvodnje, kontrole, pakiranja i isporuke, transporta budu zadovoljeni, a ako je moguće i premašeni. Da bi postigao taj cilj, koncept efektivnosti sa svojim osnovnim principima mora se primijeniti od samog početka.

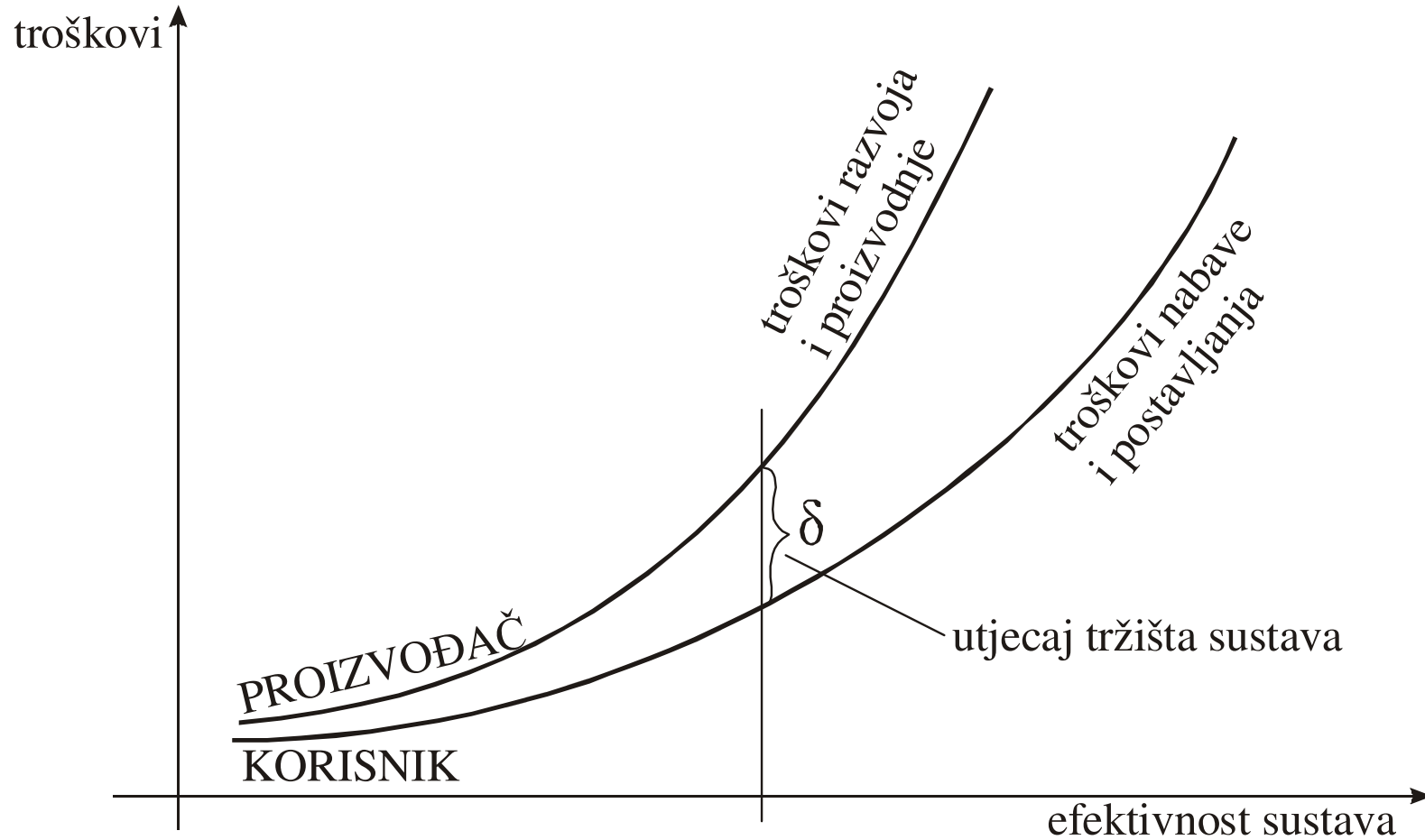
Program mora rezultirati:

- smanjenjem potrebnog broja sastavnih elemenata,
- boljim rasporedom sastavnih elemenata u tehničkom sustavu,
- izborom kvalitetnijeg materijala,
- boljim izborom odnosa između radnog i kritičnog opterećenja pri konstruiranju novih elemenata,
- korištenjem metoda statistike i teorije vjerojatnosti da bi se odabrale optimalne razdiobe radnog i kritičnog naprezanja,
- izradom kontrolnih lista kojima se otkrivaju moguće greške u konstrukciji i kojima se signaliziraju eventualna poboljšanja u konstrukciji, što doprinosi optimalnoj efektivnosti

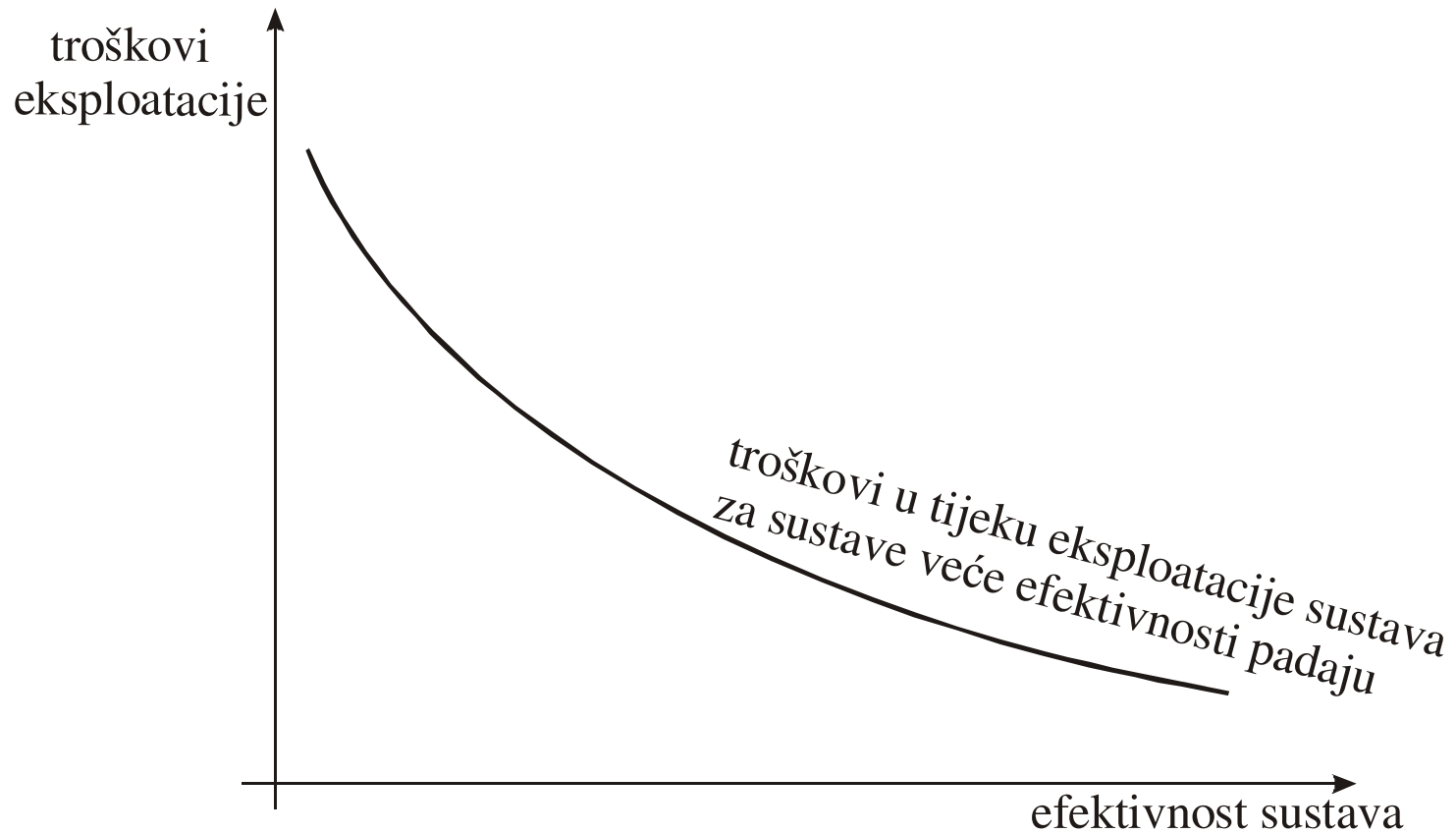
Troskove efektivnosti najjednostavnije je tumačiti metodom usporedbe s poznatim podacima od konkurencije.

- do takvih podataka je vrlo teško doći i to iz više razloga: konkurencija ne želi svoje podatke dati u javnost, razlike u poslovanju i veličini poduzeća, razlike u sustavu vođenja računovodstva, razlike u organizaciji poslovanja itd. Do sada su ovakve prepreke u znatnoj mjeri utjecale na stvaranje otpora za vođenje stvarno korisnih analiza. Drugi značajniji pristup u tumačenju troškova efektivnosti je izračun onoga što se smatra troškovima koji se mogu izbjeći

. Utjecaj efektivnosti sustava na troškove proizvodnje i troškove nabave sustava



Utjecaj efektivnosti na troškove eksploatacije sustava



Matematički model efektivnosti sustava

- Prema temeljnoj podjeli efektivnosti sustava na raspoloživost (availability), pouzdanost (reliability) i prilagodljivost (adaptability), možemo napisati i temeljnu relaciju za određivanje efektivnosti tehničkog sustava

$$E_s(t) = A_s(t) \cdot R_s(t) \cdot FP$$

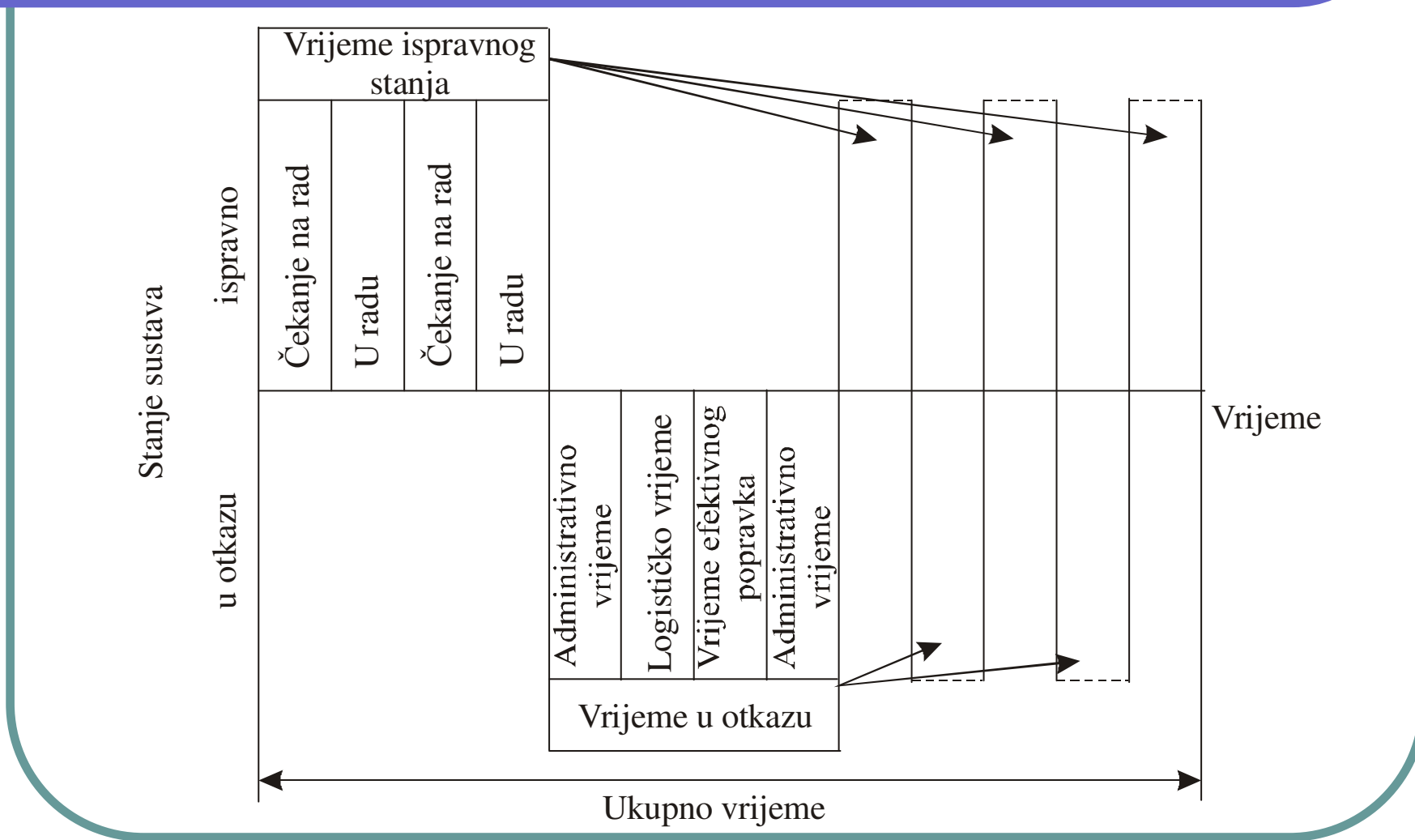
- **ES(t)** je efektivnost sustava kao funkcija vremena rada sustava; izražena kao vjerojatnost;
- **AS(t)** je raspoloživost sustava kao funkcija vremena; izražena kao vjerojatnost;
- **RS(t)** je pouzdanost sustava kao funkcija vremena; izražena kao vjerojatnost;
- **FP** je funkcija prilagodljivosti. Nije ovisna o vremenu nego o konstrukciji i konfiguraciji sustava, iskorištenosti resursa pojedinih komponenti (otpornost na vibracije, povišena temperatura, udarce, ubrzanja, vlagu i slično).

Raspoloživost (availability)

- Raspoloživost sustava, definirana kao vjerojatnost da će sustav započeti funkciju i rezultat rada (output) dovesti u granice definirane funkcijom kriterija, svakako je funkcija vremena. Ipak, ***upućivanje u rad osim pokretanja temeljne funkcije karakterizirano je i prijelaznim pojavama*** (povećana opterećenja uslijed ubrzavanja, povećana trenja zbog smanjenog podmazivanja, povećani otpori gibanja uslijed smanjenog/nikakvog podmazivanja, povećana pogonska struja i naponi zbog smanjenih otpora, prijelazne pojave u elektroničkim elementima) u komponentama sustava

- ***Raspoloživost kao vjerojatnost uspješnog početka funkcije sustava, više od rizika pojave slučajnih kvarova ovisi o iskorištenosti pojedinih resursa komponenti sustava.*** Primjer za iskorištenost resursa komponente može biti žarulja. Prilikom paljenja svjetla, kao prijelazna pojava, a zbog smanjenog otpora, javlja se povećana struja kroz nit

Klasifikacija vremena za proračun raspoloživosti

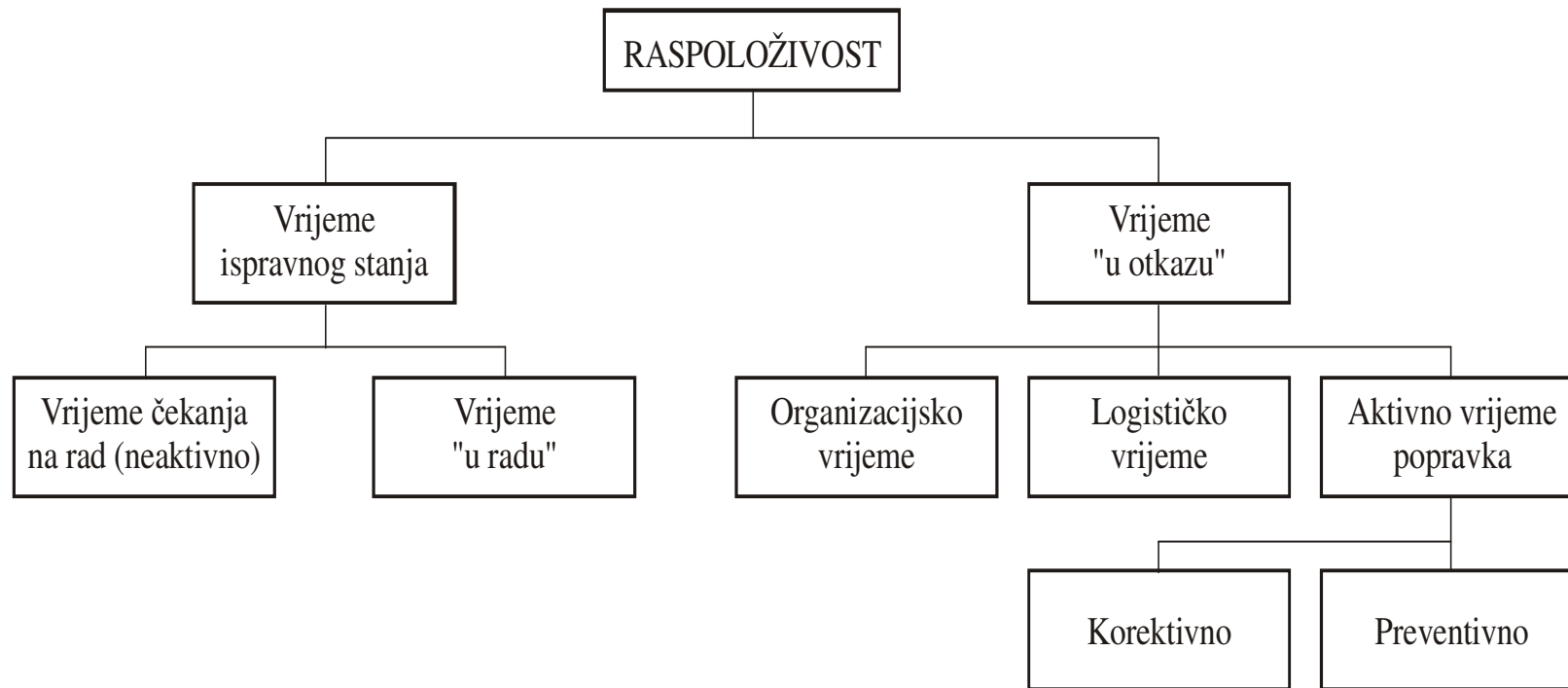


- Raspoloživost se može izračunati preko odgovarajućeg odnosa vremena ispravnog stanja sustava i vremena stanja sustava u otkazu.

$$A(t) = \frac{T_1}{T} = \frac{T_1}{T_1 + T_0} = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{j=1}^m t_j}$$

- T – ukupno kalendarsko vrijeme (životni vijek sustava),
- T1– ukupno vrijeme ispravnog stanja,
- T0– ukupno vrijeme u otkazu,
- ti– i-to vrijeme ispravnog stanja,
- tj – j-to vrijeme u otkazu,
- n, m – ukupan broj segmenata vremena ispravnih stanja i vremena u otkazu u ukupnom vremenu, respektivno.

Klasifikacija vremena rada i održavanja za proračun raspoloživosti



- Vrijeme "ispravnog stanja" kao i vrijeme "u otkazu" sustava (ili njegovih elemenata) predstavlja odgovarajući zbroj pojedinačnih vremena ispravnog stanja u otkazu. Vrijeme ispravnog stanja predstavlja zbroj vremena čekanja na rad i vremena "u radu" odnosno:

$$t_i = t_{ri} + t_{\check{c}i} = (t_{ci} + t_{pi}) + t_{\check{c}i}$$
$$t_{ri} = t_{ci} + t_{pi}$$

- – vrijeme u radu između korektivnog održavanja,
- – vrijeme u radu između preventivnog održavanja.

- Raspoloživost se može definirati na više načina u zavisnosti od promatranih segmenata vremena "ispravnog stanja", "u radu" i "u otkazu" i dubine analize obuhvaćenog vremena. U tom smislu definirane su:
- - operativna raspoloživost (operation availability)
- - ostvarena raspoloživost (achieved availability)
- - unutrašnja raspoloživost (inherent availability) .

Operativna raspoloživost

- za sustave koji se koriste povremeno, u nekom kratkom vremenskom periodu izražava se u obliku:

$$A_{\text{or}}(t) = \frac{\text{vrijeme u radu} + \text{vrijeme čekanja na rad}}{\text{ukupno vrijeme}} =$$

$$= \frac{\text{vrijeme između održavanja} + \text{vrijeme čekanja na rad}}{\text{vrijeme između održavanja} + \text{vrijeme čekanja na rad} + \text{vrijeme održavanja}}$$

- ili u analitičkom obliku

$$A_{\text{or}}(t) = \frac{\sum_{i=1}^n t_{ri} + \sum_{i=1}^n t_{\check{c}i}}{\sum_{i=1}^n t_i + \sum_{i=1}^n t_{\check{c}i} + \sum_{j=1}^m t_j}$$

- odnosno kada , raspoloživost teži konstantnoj vrijednosti, tj.

$$A_{\text{or}} = \lim_{t \rightarrow 0} A_{\text{or}}(t)$$

Aor – operativna raspoloživost

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{srednje vrijeme u radu} + \text{srednje vrijeme čekanja na rad}}{\text{srednje vrijeme u radu} + \text{srednje vrijeme čekanja na rad} + \text{srednje vrijeme održavanja}} \\ &= \frac{\text{srednje vrijeme između održavanja} + \text{srednje vrijeme čekanja na rad}}{\text{srednje vrijeme između održavanja} + \text{srednje vrijeme u otkazu}} \\ &= \frac{\text{MTBM} + \text{MRT}}{\text{MTBM} + \text{MRT} + \text{MDT}} \end{aligned}$$

Srednje vrijeme između održavanja MTBM predstavlja srednje vrijeme između preventivnog i korektivnog održavanja odnosno:

$$\text{MTBM} = \frac{\sum_{i=1}^{n_c} t_{ci} + \sum_{i=n_c+1}^{n_p} t_{pi}}{n_c + n_p} = \frac{1}{\frac{1}{\text{MTBM}_c} + \frac{1}{\text{MTBM}_p}}$$

- MTBM (Mean Time Between Maintenance) – srednje vrijeme između održavanja,
- MTBM_c (Mean Time Between Corrective Maintenance) – srednje vrijeme između korektivnih održavanja,
- MTBM_p (Mean Time Between Preventive Maintenance) – srednje vrijeme između preventivnih održavanja

- MDT (Mean Down Time) – srednje vrijeme u otkazu,
- MRT (Mean Redens Time) – srednje vrijeme čekanja na rad,
- \bar{M} (Mean maintenance active repair) – srednje preventivno i korektivno vrijeme aktivnog održavanja (aktivno vrijeme, popravci),

Srednje vrijeme aktivnog održavanja se određuje preko izraza u obliku

$$\bar{M} = \frac{\sum_{j=1}^{m_c} t_{cj} + \sum_{j=m_c+1}^{m_p} t_{pj}}{m_c + m_p} = \frac{m_c M_{ct} + m_p M_{pt}}{m_c + m_p} = \frac{M_{ct} (1/MTBM_c) + M_{pt} (1/MTBM_p)}{1/MTBM_c + 1/MTBM_p}$$

- M_{ct} (Mean active corective maintenance time) - srednje vrijeme aktivnog korektivnog održavanja,
- M_{pt} (Mean active preventive maintenance time) - srednje vrijeme preventivnog aktivnog održavanja,
- m_c, m_p ukupan broj intervencija korektivnog i preventivnog održavanja, respektivno.

Ako je ukupno vrijeme promatranja dovoljno veliko, funkcija $A(t)$ teži ka konačnoj vrijednosti, što se može napisati kao:

$$A_i = \lim_{t \rightarrow \infty} A_i(t) = \frac{\mu}{\lambda + \mu} = \frac{\text{srednji intenzitet popravka}}{\text{srednji intenzitet otkaza} + \text{srednji intenzitet popravka}}$$

Pouzdanost tehničkih sustava

- **Vjerojatnost** (probability) je granična vrijednost omjera istovrsnih ishoda nekog događaja i ukupnog broja događaja kada se promatrani broj događaja bliži neizmjernom. **Procjena vjerojatnosti** je omjer istovrsnih ishoda nekog događaja i ukupnog broja događaja kada je broj promatranih događaja neograničen.
- Vjerojatnost označavamo sa P , a procjenu vjerojatnosti sa P' ; broj istovrsnih događaja označavamo sa (n) , a ukupni broj svih promatranih događaja označavamo sa (N) .

$$P' = \frac{n}{N}$$

$$P = \lim P' = \lim_{N \rightarrow \infty} \frac{n}{N}$$

- Iz promatranog izraza proizlazi da ako prava vjerojatnost nije poznata unaprijed ("a priori") egzaktna vrijednost prave vjerojatnosti se nikad ne može izračunati jer je očito da nikad nećemo izvršiti neizmjeran broj pokusa. Realno, možemo postići samo manje ili više dobru procjenu (bolja ili slabija procjena) vjerojatnosti. ***Vjerojatnost izračunata na temelju malog broja pokusa samo je gruba procjena vjerojatnosti.***

- ***Pri velikom broju pokusa, vjerojatnost je u stanju predskazati gotovo točan broj pojava, ali ishod nekog pojedinačnog pokusa nikad ne može predskazati. Prava pouzdanost nekog sustava nije nikad poznata, ali procjena pouzdanosti, koja je dovoljno blizu pravoj pouzdanosti, može se odrediti statističkim metodama i računom vjerojatnosti.***

Pouzdanost i nepouzdanost sustava

- Efektivnost, temeljena na vremenskoj slici stanja sustava, može se opisati relacijom:

$$R(t) + F(t) = 1$$

- pri čemu je: $R(t)$ – vjerojatnost da je sustav u promatranom periodu u stanju "u radu" – pouzdanost sustava; $F(t)$ – vjerojatnost da je sustav u promatranom periodu u stanju "u kvaru" – vjerojatnost kvara, nepouzdanost sustava

- za potrebe ove analize, pretpostavljamo da sustav može biti samo u dva stanja "u radu" ili "u kvaru", onda je suma tih dviju vjerojatnosti jednaka 1 jer sustav ne može biti u nekom trećem stanju.

$$R(t) + F(t) = 1 \quad / \quad \frac{d}{dt}$$

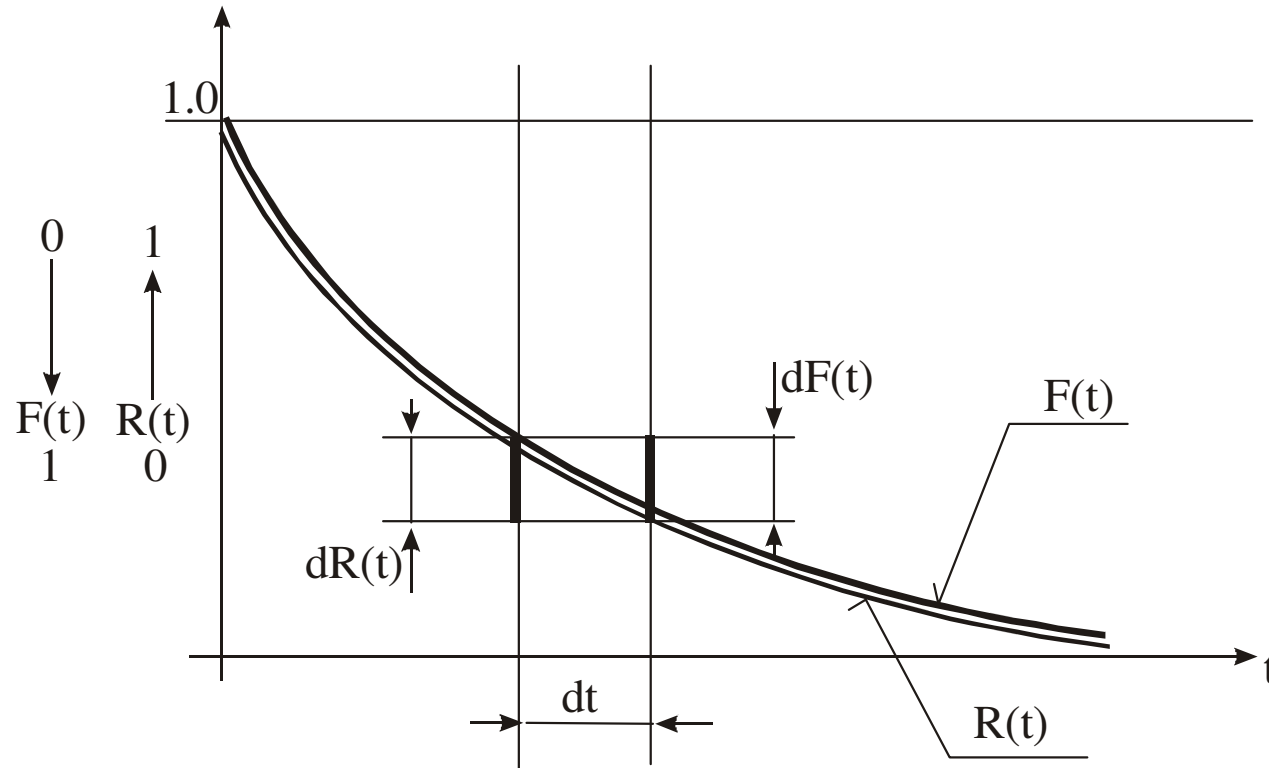
- Označimo li:

$$\frac{dF(t)}{dt} = f(t) \quad \frac{dR(t)}{dt} = \rho(t)$$

$$\rho(t) + f(t) = 0$$

- **f(t)** je diferencijalna funkcija razdiobe stanja u kvaru ili funkcija gustoće vjerojatnosti pojave stanja sustava u kvaru.
- **ρ(t)** je diferencijalna funkcija razdiobe pouzdanosti sustava ili funkcija gustoće pouzdanosti rada sustava.

Prirast nepouzdanosti i pad pouzdanosti sustava kao funkcija vremena rada



možemo zaključiti o prirastu vjerojatnosti kvara (smanjenju pouzdanosti) sustava u odsječku vremena rada dt ; odnosno o povećanju nepouzdanosti u tom vremenskom odsječku

Funkcija gustoće nepouzdanosti

- Za kontinuirane pojave funkcija gustoće nepouzdanosti određena je izrazom

$$f(t) = \frac{dF(t)}{dt}$$

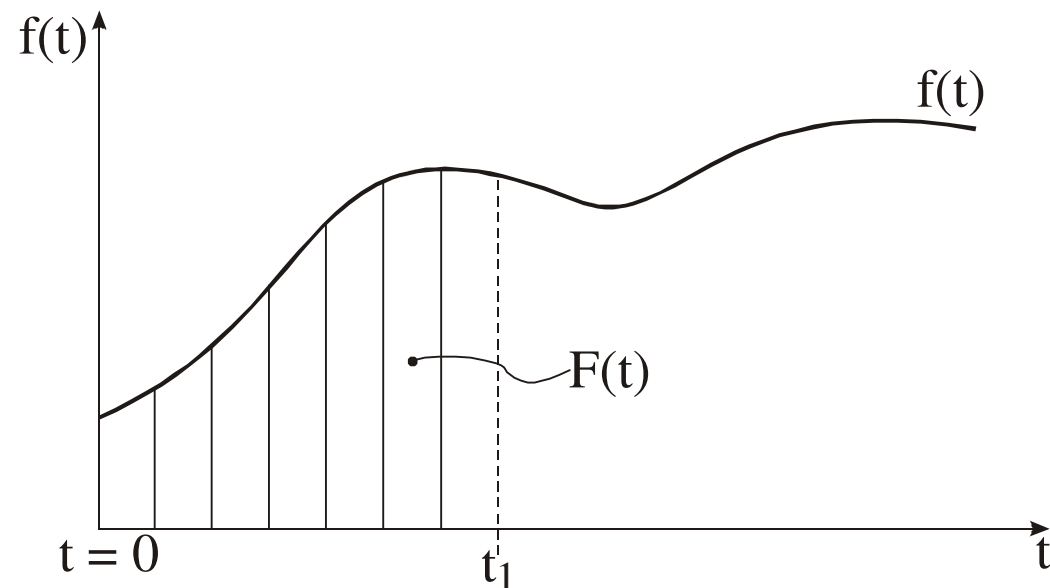
- Funkcija gustoće nepouzdanosti je derivacija kumulativne funkcije nepouzdanosti (vjerojatnosti kvara) za promatrani period. Ovakav izraz za funkciju gustoće nepouzdanosti opravdano je primijeniti kada analiziramo pouzdanost rada sustava koji je sastavljen od vrlo velikog broja istovrsnih ili jednakih komponenti, pri čemu promjena stanja (promjena stanja «u radu» u stanje «u kvaru») jedne komponente ima vrlo mali utjecaj na ukupnu funkciju pa time i pouzdanost sustava

Za slučaj diskretnih (diskontinuiranih) promjena funkcija gustoće nepouzdanosti ima oblik:

$$f(t) = \frac{N_f}{N_0 \cdot \Delta t}$$

- pri čemu primijenjene oznake imaju sljedeće značenje:
- N_f - broj pojava "u kvaru", broj komponenti sustava koje dođu u stanje «u kvaru» u promatranom periodu.
- N_0 - ukupni broj komponenti koje su bile u radu (ispravne) na početku promatranog perioda.
- Δt - vremenski period u kojem analiziramo promjenu pouzdanosti sustava.

Relaciju primjenjujemo kod analize pouzdanosti onih sustava kod kojih promjena radnog stanja (iz stanja «u radu» u stanje «u kvaru») jedne komponente ima značajan utjecaj na pouzdanost cijelog sustava



- Kumulativna funkcija nepouzdanosti sustava $F(t)$, ili vjerojatnost pojave kvara sustava, u zadanom periodu, prikazana je površinom ispod krivulje gustoće nepouzdanost i izrazom

$$F(t) = \int_0^{t_1} f(t)dt$$

Funkcija gustoće pouzdanosti

- Za kontinirane pojave funkcija gustoće pouzdanosti (gustoća vjerojatnosti bezotkaznog rada) određena je izrazom

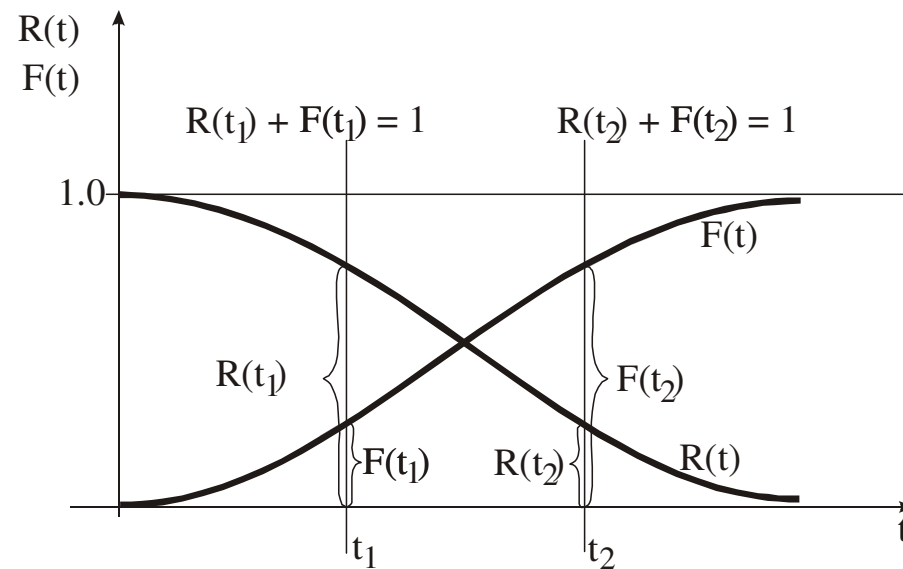
$$\rho(t) = \frac{dR(t)}{dt}$$

- a za slučaj diskontinuiranih pojava

$$\rho(t) = \frac{N_s}{N_0 \Delta t}$$

- N_s - broj komponenti sustava koje ostanu ispravne (u radu) na kraju promatranog perioda.
- N_0 - ukupni broj događaja u promatranom periodu, ukupni broj komponenti koje su bile u radu (ispravne) na početku promatranog perioda.
- Δt - vremenski period u kojem analiziramo promjenu pouzdanosti sustava.

Odnos između pouzdanosti nekog sustava u određenom vremenu rada i postignute nepouzdanosti



Pouzdanost i nepouzdanost kao funkcija vremena rada

- Do sada se stalno pojavljivao izraz kumulativna funkcija pouzdanosti i kumulativna funkcija nepouzdanosti. Smisao izraza kumulativna zapravo je temeljen na svojstvu sustava da radom gubi (negativno akumulira) pouzdanost sustava. Očito je da je pouzdanost na početku promatranog perioda jednaka jedinici, a protekom vremena pada (raste vjerojatnost kvara sustava, raste nepouzdanost) da bi na kraju drugog perioda (kada) pouzdanost bila jednaka nuli

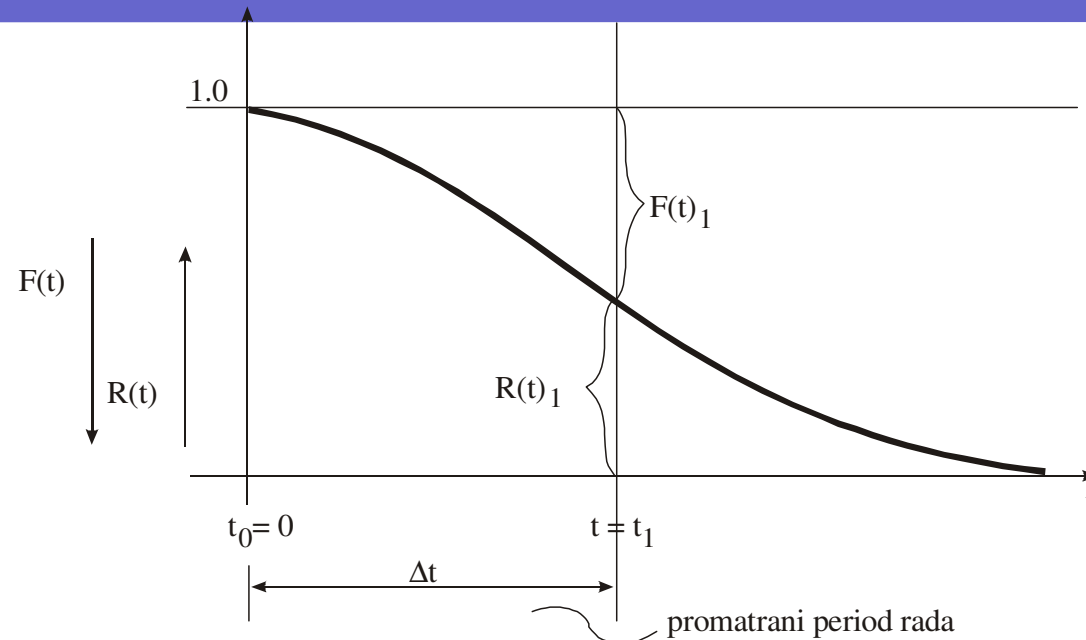
$$R(t) = \left\{ \begin{array}{ll} \text{za } t = 0 & R(t) = 1 \\ \text{za } t = \infty & R(t) = 0 \end{array} \right\}$$

Možemo reći da istodobno sa padom veličine pouzdanosti raste veličina nepouzdanosti sustava

$$F(t) = \begin{cases} \text{za } t = 0 & F(t) = 0 \\ \text{za } t = \infty & F(t) = 1 \end{cases}$$

- da bi, ako promatramo dovoljno dugi period nepouzdanost sustava postala jednaka 1 (svaki će se sustav pokvariti ako ga dovoljno dugo pustimo raditi).

Akumulirana nepouzdanost i preostala pouzdanost sustava



- Preostala pouzdanost sustava prema slici određena je relacijom (6.41), te ako akumuliranu nepouzdanost izrazimo u intervalu akumuliranog vremena rada sustava Δt dobivamo izraz za pouzdanost prema

$$R(t) = 1 - \int_0^{t_1} f(t) dt$$

Pouzdanost sustava za pojavu slučajnih kvarova

- ***Pouzdanost tehničkog sustava definirana je kao vjerojatnost održavanja funkcije sustava u granicama definiranim funkcijom kriterija u određenom vremenskom periodu*** . Pretpostavimo analizu sustava složenog od velikog broja komponenti, uz stajalište da je za ispravan rad sustava dovoljan ali ne i nužan uvjet da sve komponente sustava rade ispravno (u granicama definiranim njihovim funkcijama kriterija). Za ovako definiranu analizu sustava **pouzdanost sustava definiramo kao vjerojatnost da će određeni broj komponenata od ukupnog broja komponenata ostati ispravan u određenom periodu rada.**

Povežemo li pouzdanost ovakvog sustava sa određenim vremenskim periodom u radu sustava kako je to već obrađeno u

- ukupan broj komponenata N_0 je broj ispravnih komponenata s kojim je započeo promatrani vremenski period;
- broj komponenata koje su na kraju promatranog perioda radile ispravno označavamo sa N_S ;
- broj komponenata koje su na kraju promatranog perioda bile u kvaru (kvar se pojavio tijekom promatranog perioda) označavamo sa N_f .

pouzdanost takvog sustava možemo izraziti kao:

$$R(t) = \frac{N_s}{N_0} = \frac{N_0 - N_f}{N_0}$$

$$R(t) = 1 - \frac{N_f}{N_0} \bigg/ \frac{d}{dt}$$

Daljnjom razradom jednažbe na kraju dobivamo

$$\frac{1}{R(t)} \cdot \frac{dR(t)}{dt} = -\frac{1}{N_s} \cdot \frac{dN_f}{dt}$$

$$\frac{1}{N_s} \cdot \frac{dN_f}{dt} = \lambda$$

nazivamo indeks kvarova i označavamo sa λ .

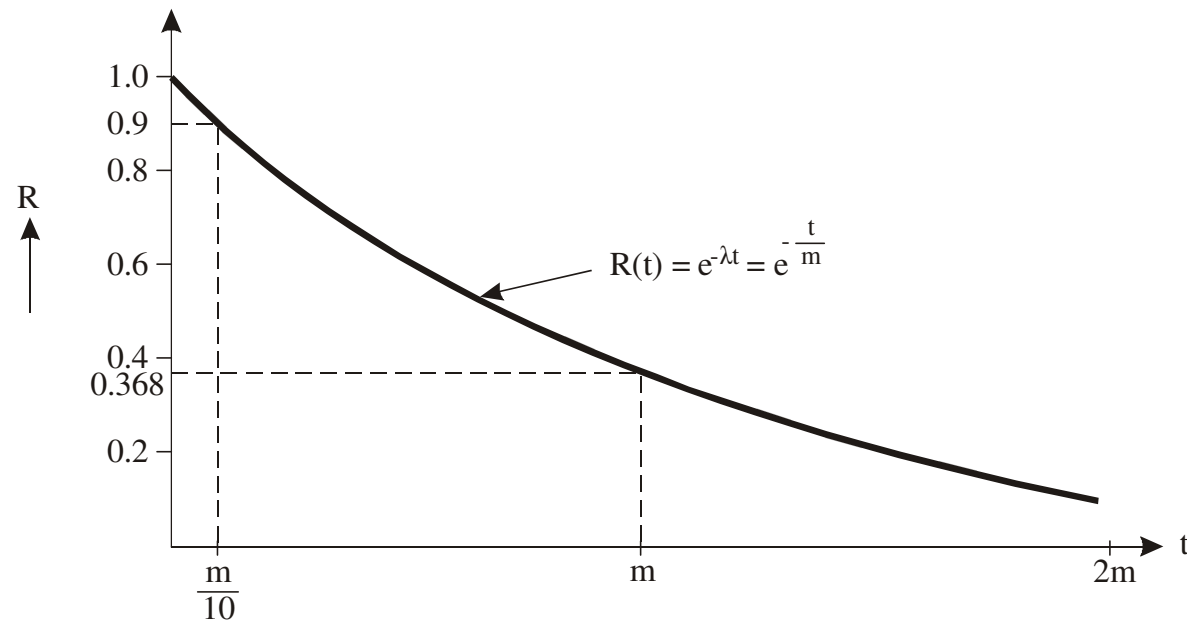
- Za period rada sustava u kojem indeks kvarova možemo smatrati konstantnim, a to je period slučajnih kvarova pouzdanost sustava može se izraziti eksponencijalnom razdiobom.
- Iz dijagrama definiranog kao krivulja čamca koji nam za različite periode eksploatacije daje funkcionalnu vezu nekog sustava, vidimo da u periodu eksploatacije kojeg označavamo kao **korisni vijek trajanja (T_w)** možemo smatrati da je $\lambda = \text{const}$. Za taj period rada sustava indeks kvarova λ uzimamo konstantnim i zovemo ga indeks slučajnih kvarova.

Sada pouzdanosti ima oblik:

$$R(t) = e^{-\frac{t}{m}}$$

- što omogućava prikaz standardizirane krivulje pouzdanosti u kojoj je grafički prikazana ovisnost pouzdanosti o srednjem vremenu između kvarova ($R = f(m)$).

ovisnost pozdanosti o srednjem vremenu između kvarova
($R = f(m)$).



- Standardizirana krivulja pouzdanosti daje nam temeljne informacije o stupnju preostale pouzdanosti kao funkcije srednjeg vremena između kvarova **m** (MTBF) ili njegovog dijela.

možemo izraziti funkciju gustoće kvarova pomoću indeksa kvarova

$$\lambda = \frac{f(t)}{R(t)}$$

- Ili

$$f(t) = \lambda \cdot R(t)$$

- što znači da je u svakom trenutku ($t = t_i$) **indeks kvarova jednak omjeru gustoće kvarova $f(t_i)$ i pouzdanosti $R(t_i)$ u istom trenutku t_i .**

Pouzdanost sustava na pojavu kvara zbog istrošenosti

- Bez izmjene istrošenih dijelova, pouzdanost sustava temeljena na istrošenosti slijedi normalnu (Gauss-ovu) razdiobu po izrazu

$$f(T) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(T-M)^2}{2\sigma^2}}$$

- pri čemu oznake u relaciji imaju sljedeća značenja:
- T = ukupno akumulirano vrijeme rada sustava
- M = prosječni vijek trajanja
- σ = standardna devijacija

- Gustoća kvarova $f(t)$; $f(T)$ dobro oslikava razliku između eksponencijalne razdiobe (za slučajne kvarove) i normalne razdiobe (za kvarove uslijed istrošenosti).

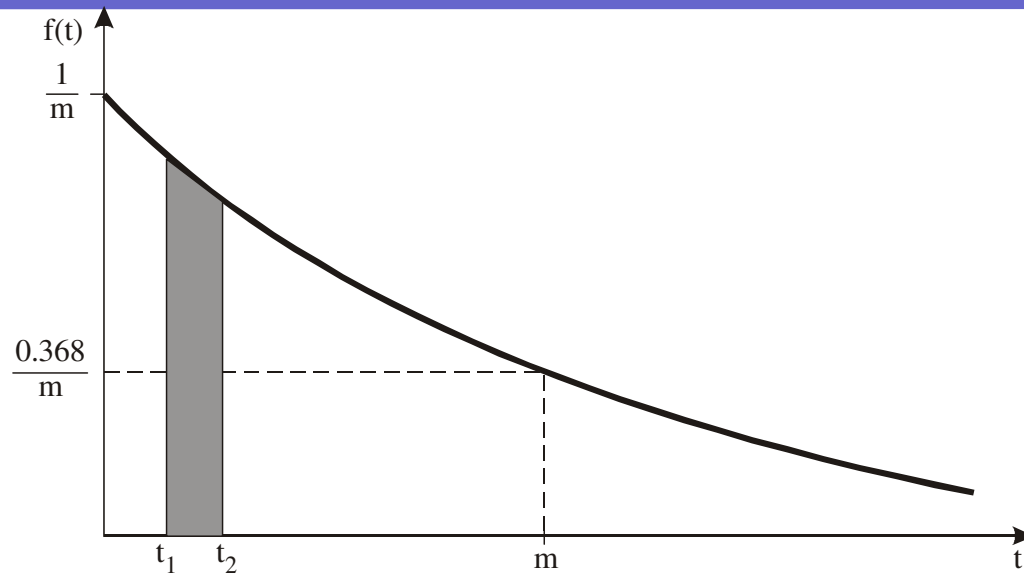
- - **eksponencijalna**

$$f(t) = \frac{1}{m} e^{-\frac{t}{m}}$$

m = prosječno vrijeme između kvarova

t = pogonsko vrijeme.

Eksponecijalna razdioba



- Eksponecijalna razdioba za slučajne kvarove prikazana funkcijom gustoće kvarova neovisna je o radnoj dobi (T), ali je ovisna o odabranom vremenu (t) i vrijedi sve do pojave kvarova zbog istrošenosti.

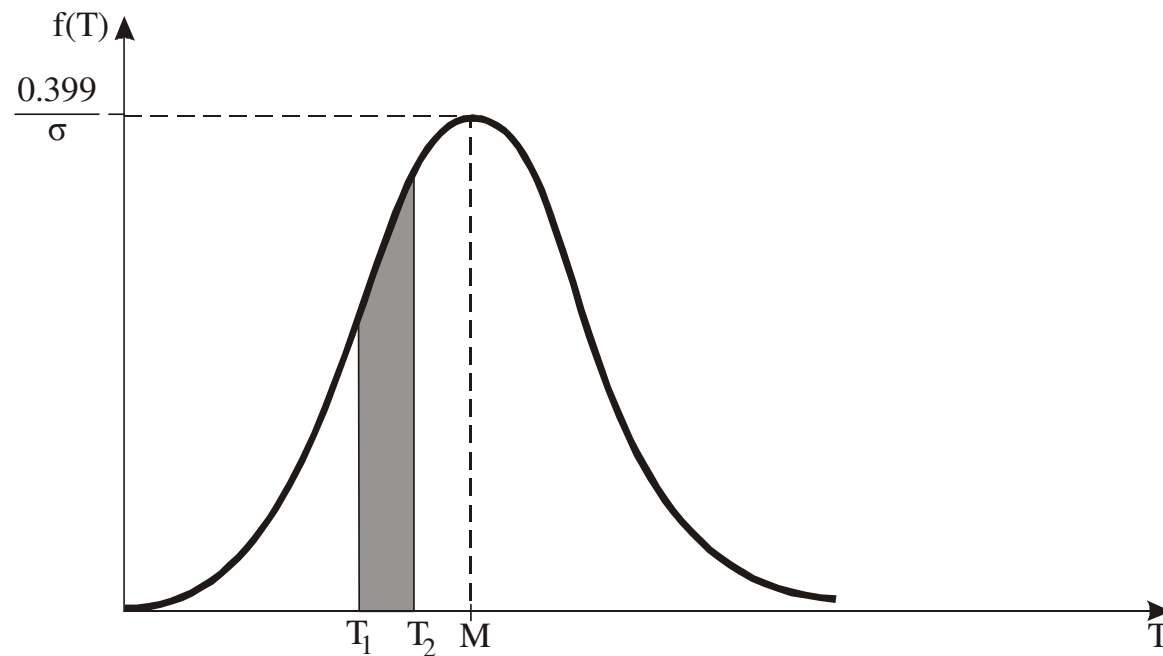
Normalna razdioba

- - **normalna**

$$f(T) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(T-M)^2}{2\sigma^2}}$$

- T = radna dob (starost komponente ili sustava)
- Kod normalne raspodjele najveća gustoća kvarova nekog uzorka komponente ili sustava javlja se kod prosječnog vijeka trajanja M.

Normalna razdioba



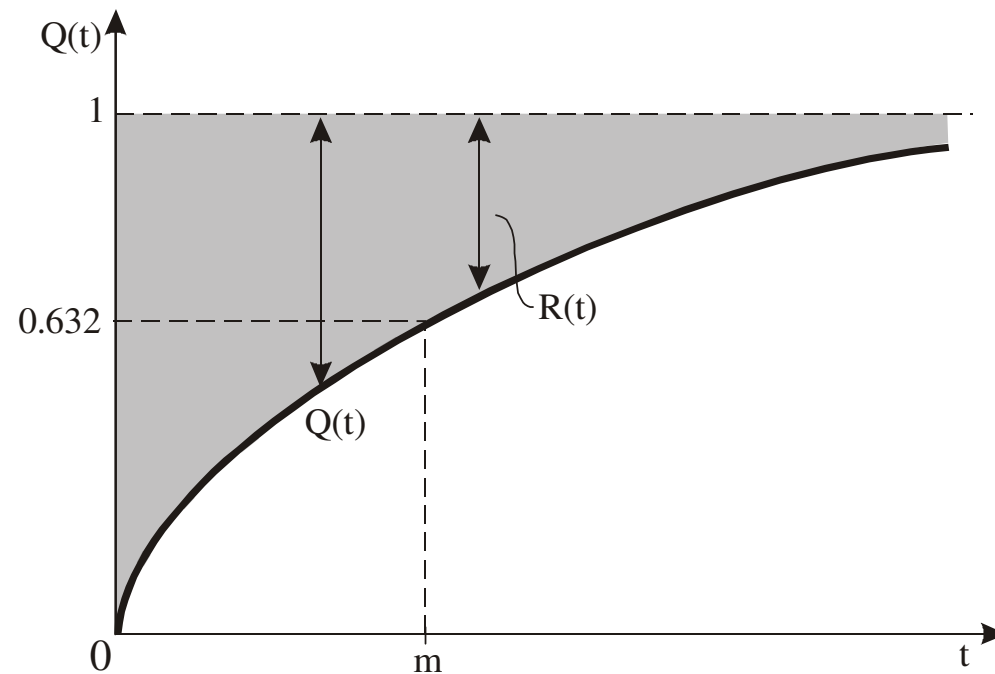
- Površina ispod krivulje gustoće kvarova u nekom intervalu $t_2 - t_1$ ($T_2 - T_1$) daje nam veličinu nepouzdanosti sustava (komponente) $F(t)$ ili kumulativnu vjerojatnost kvara.
- Za eksponencijalnu razdiobu:

$$F(t) = 1 - e^{-\lambda t}$$

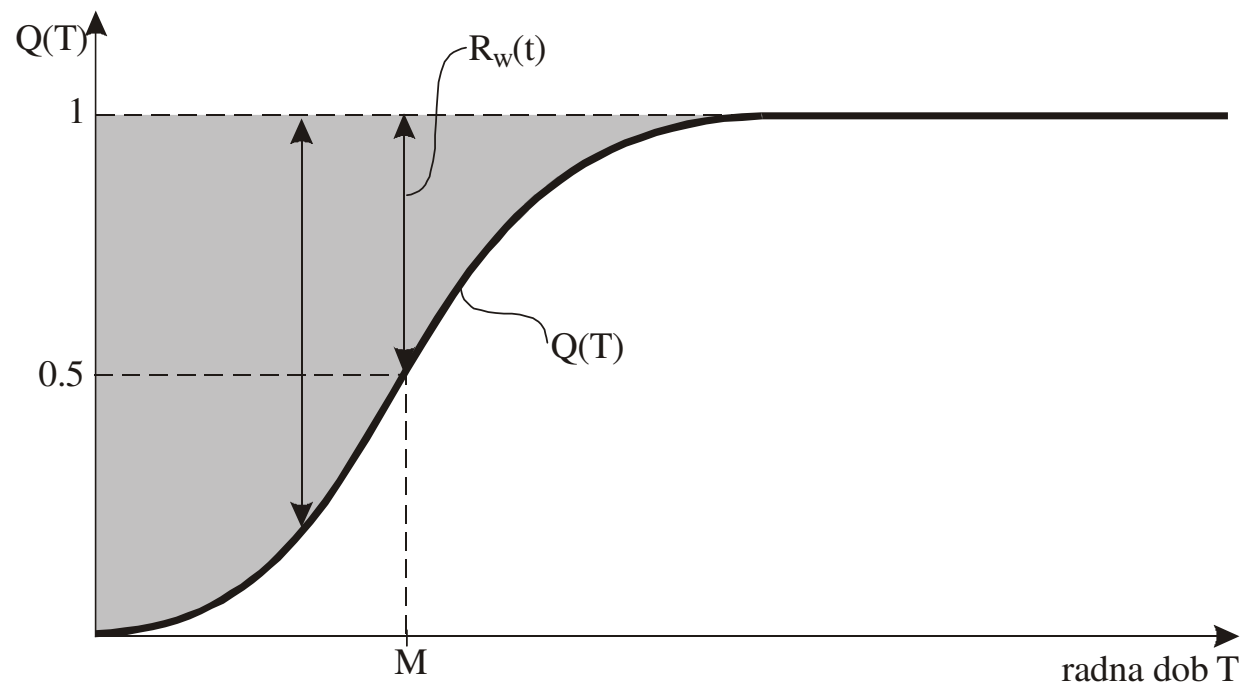
- - za normalnu razdiobu

$$F(T) = 1 - \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_T^{\infty} e^{-\frac{(T-M)^2}{2\sigma^2}} dt$$

Krivulje nepouzdanosti sustava imaju oblik za eksponencijalnu razdiobu



- za normalnu razdiobu(. Krivulja nepouzdanosti na pojavu kvarova zbog istrošenosti)



Složena pouzdanost

- ***Složena pouzdanost (combined reliability) označava izgleda komponente (sustava) da izdrži i slučajne kvarove i kvarove zbog istrošenosti.***

Ovakvu kombiniranu pouzdanost u analizu uzimamo kod sustava kod koji smo se opredijelili na produljenje eksploatacijskog vijeka trajanja osim na korisni vijek trajanja još i na dio perioda rada sustava kod kojeg se pojavljuju kvarovi zbog istrošenosti. Duljina eksploatacijskog vijeka sustava preko korisnog vijeka trajanja najviše ovisi o poslovnoj politici korisnika sustava i ne može biti predmet terotehnološke analize.

- Pouzdanost sustava na pojavu slučajnih kvarova određena je prema izrazu

$$R(t) = e^{-\frac{t}{m}}$$

- a na pojavu kvarova zbog istrošenosti prema izrazu

$$R_w(T) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_T^{\infty} e^{-\frac{(T-M)^2}{2\sigma^2}} dt$$

Složena pouzdanost sustava određena je izrazom

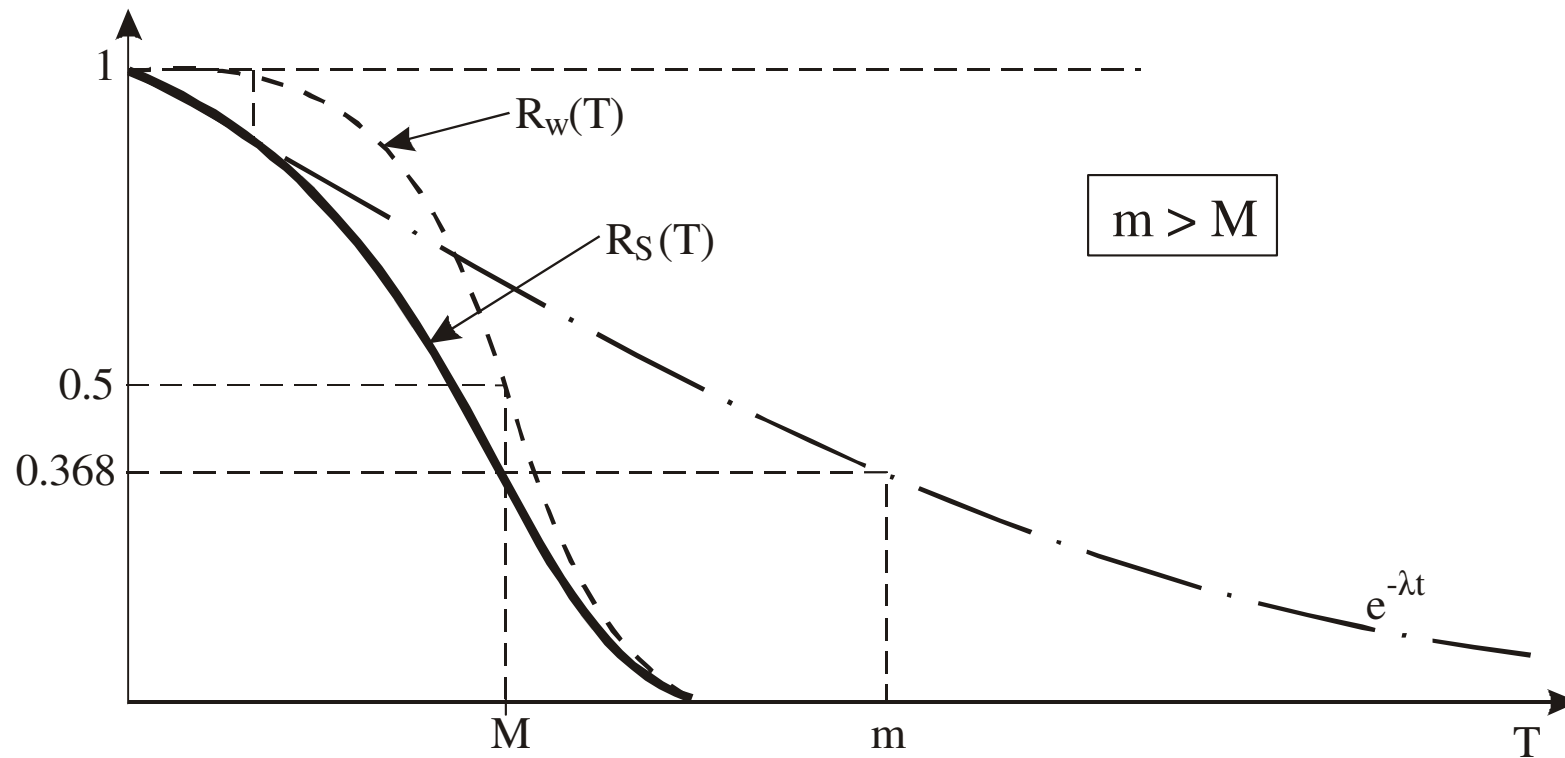
$$R_s(T) = e^{-\lambda T} \cdot R_w(T)$$

- **RS** je složena pouzdanost;
- **Rw** je pouzdanost za kvarove zbog istrošenosti;
- **T** je radna dob komponente sustava ili sustava;
- **M** je prosječni vijek trajanja komponente;
- **m** je prosječno vrijeme između kvarova

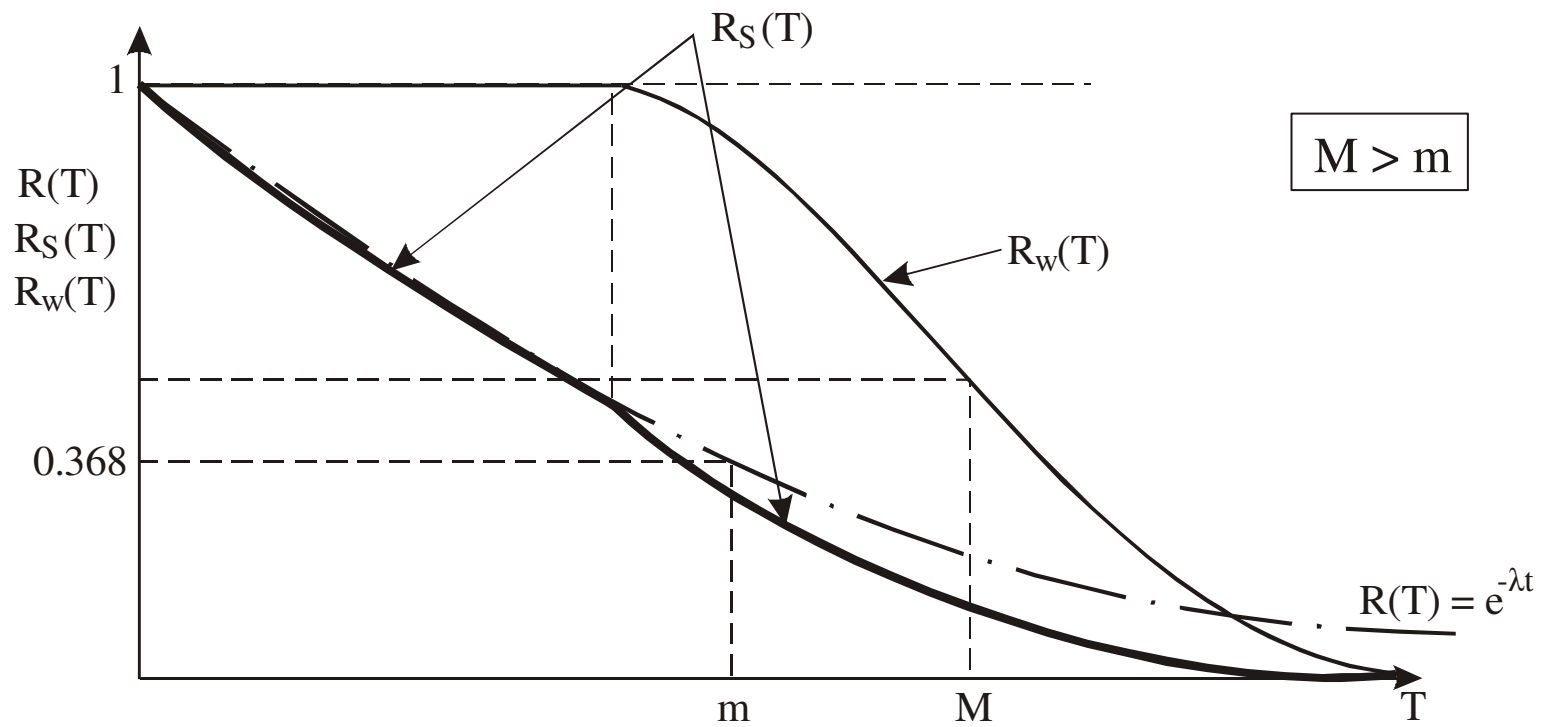
Složena pouzdanost

- može se prikazati za dva karakteristična slučaja (srednje vrijeme između kvarova sustava **m** je veće od prosječnog vremena trajanja sustava **M**) i (srednje vrijeme između kvarova sustava **m** je manje od prosječnog vremena trajanja sustava **M**)

. Složena pouzdanost za $m \geq M$



. Složena pouzdanost za $m \leq M$



7. ODREĐIVANJE POUZDANOSTI SLOŽENIH SUSTAVA

- Tehnički sustavi, prema zalihosti (redundaciji, od **e**: redundancy), mogu se podijeliti na sustave sa zalihošću (redundantni sustavi) i sustave bez zalihosti (neredundantni sustavi). **Zalihost je svojstvo sustava da izbjegne zastoje rada i u slučaju da dođe do pojave kvara neke komponente sustava.** Zalihost ili redundanca sustava može biti potpuna ili djelomična a najviše ovisi o konfiguraciji sustava. Pod konfiguracijom sustava podrazumijeva se funkcionalna struktura.

Funkcionalna struktura sustava

- *je opis funkcionalnih i hijerarhijskih uvjetovanosti rada komponenti sustava. Prema funkcionalnoj strukturi sustava ili konfiguraciji sustava sustave dijelimo na paralelne, serijske, stand by i kombinirane sustave.* Najčešće, funkcionalna struktura složenih sustava, nije samo ni serijska, ni paralelna, ni stand by, u svim komponentama strukture, već je *konfiguracija sustava uvjetovana mogućim posljedicama pojave kvara komponente na rad sustava.*

Paralelni sustavi

- Kod neredundantnih sustava koji su složeni primjenom serijske funkcionalne strukture zalihost, unutar strukture serijskog sustava ne postoji. Kod sustava paralelne funkcionalne strukture redundanca može biti ili potpuna ili djelomična. Kod stand by sustava redundanca je potpuna. Redundantni sustavi mogu biti paralelni i stand by sustavi. Paralelni sustavi sa djelomičnom redundancijom su sustavi kod kojih, u projektiranoj funkciji sustava, sve komponente rade istim (nazivnim) kapacitetom kao što je kapacitet cijelog sustava. Kvarom jedne komponente sustava sustav nastavlja rad sa smanjenim kapacitetom

Žilavost sustava

- Mogućnost sustava da nastavi, makar i reduciranu, funkciju ispravnije bi bilo nazvati žilavost sustava.

Proračun pouzdanosti sustava

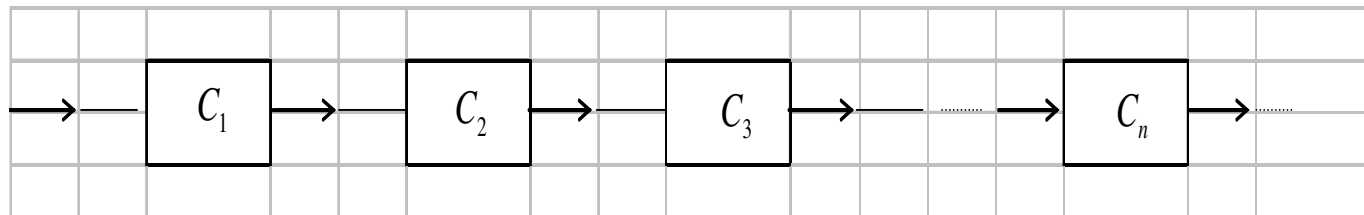
- Za potpun proračun pouzdanosti sustava potrebno je poznavati funkcionalne relacije ili veze raznih komponenti tog sustava i procjene njihovih individualnih pouzdanosti. Za dobijanje proračuna pouzdanosti sustava postoje tri različita pristupa: egzaktan ili poluegzaktan **matematički model**, simulacijske metode (pod čestim nazivom **Monte Carlo metode**) i **metoda određivanja graničnih vrijednosti** (metoda granica).

Proračun pouzdanosti sustava matematičkom metodom

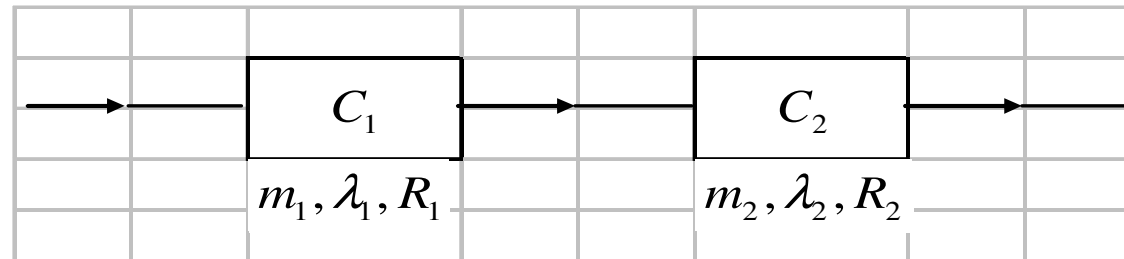
- Budući da se većina tehničkih sustava i podsustava može matematički opisati najčešće se koristi matematički model. Tehnički sustav se sastoji od većeg ili manjeg broja sastavnih elemenata (podsistema, sklopova, podsklopova, dijelova) te se njegova pouzdanost može odrediti samo ako se analiziraju i analitički obuhvate pouzdanosti svakog pojedinog elementa, a onda se kombiniraju kako bi se dobio proračun za cijeli sustav. Posebno se analiziraju načini povezivanja elemenata unutar strukture blok dijagrama pouzdanosti, a promatrat će se samo serijski i paralelni načini vezivanja elemenata.

Serijska veza elemenata

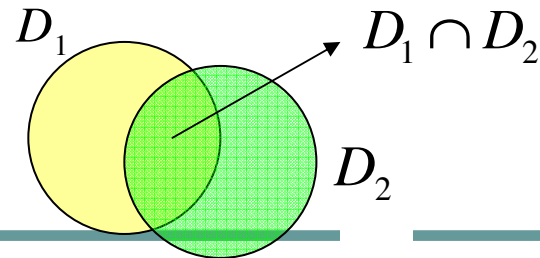
- Pod serijskim vezivanjem elemenata sustava podrazumijeva se takva konfiguracija sustava kod koje pri pojavi kvara bilo kojeg elementa (podsustava, sklopa, podsklopa, ...) dolazi do kvara cijelog sustava (podsustava, sklopa, podsklopa). Blok dijagram pouzdanosti ovakvog načina vezivanja elemenata sustava dan je na slici



Serijska veza dva elementa



- Po Boole-ovoj algebri, koja se koristi za analize logičnih odnosa mogućih događaja za realizaciju događaja, serijska veza dva elementa može se izraziti u obliku presjeka događaja,



po osnovnoj definiciji predstavlja njihovu pouzdanost i može se izraziti u obliku:

$$P(D_s) = R_s(t) = R_1(t) \cdot R_2(t)$$

- $R_s(t)$ gdje je s označena pouzdanost cijelog sustava,
- $R_i(t)$ $i=1,2$ pouzdanost pojedinačnog elementa.

srednje vrijeme rada do kvara sustava (MTBF – Mean Time Between Failure)

- Ako je intenzitet kvara prvog elementa i intenzitet kvara drugog elementa, a oba elementa imaju eksponencijalni zakon raspodjele kvara, tada se srednje vrijeme rada do kvara sustava (MTBF – Mean Time Between Failure) računa

$$m_s = \int_0^{\infty} R_s(t) dt = \int_0^{\infty} R_1(t) \cdot R_2(t) dt = \int_0^{\infty} e^{-\lambda_1 t} \cdot e^{-\lambda_2 t} dt$$

- Nakon rješenja integrala dobivamo:

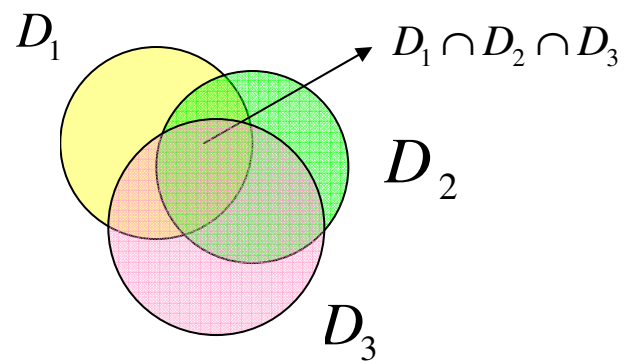
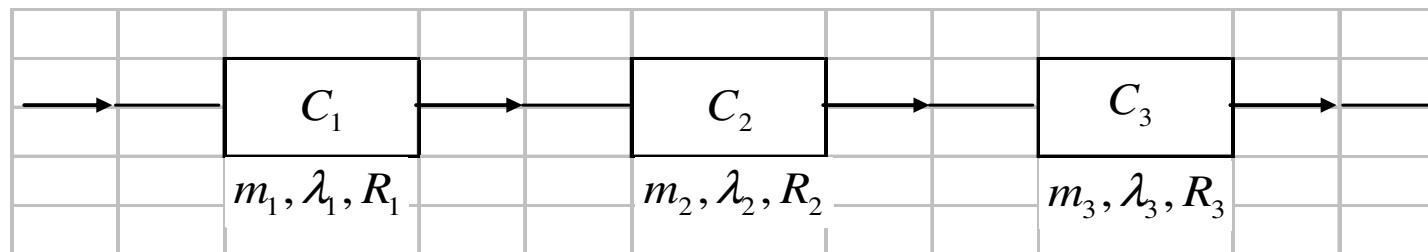
$$m_s = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2}$$

- Ili, ako se MTBF izrazi pomoću srednjih vremena koja proteknu između dva uzastopna kvara komponenti u serijskoj

vezi,

$$m_s = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} = \frac{1}{\frac{1}{m_1} + \frac{1}{m_2}} = \frac{1}{\frac{m_2 + m_1}{m_1 \cdot m_2}} \qquad m_s = \frac{m_1 \cdot m_2}{m_1 + m_2}$$

Serijska veza tri elementa



$$P(D_s) = P(D_1 \cap D_2 \cap D_3) = P(D_1) \cdot P(D_2) \cdot P(D_3)$$

- Ili izraženo kroz pouzdanosti elemenata:

$$R_s(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdot R_3(t)$$

- Ako je pouzdanost svih elemenata jednaka tada se

$$R_s(t) = R(t) \cdot R(t) \cdot R(t) = R^3(t)$$

- Ili:

$$m_s = \frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2 + \lambda_3}$$

Serijska veza n elemenata

- Vjerojatnost realizacije događaja , $P(D_s)$ odnosno pouzdanosti sustava , $R_s(t)$ osigurana je samo ako je realiziran D_1 događaj (element "1" je U RADU) i D_2 događaj (element "2" je U RADU) i ... i D_n događaj (element " n " je U RADU).

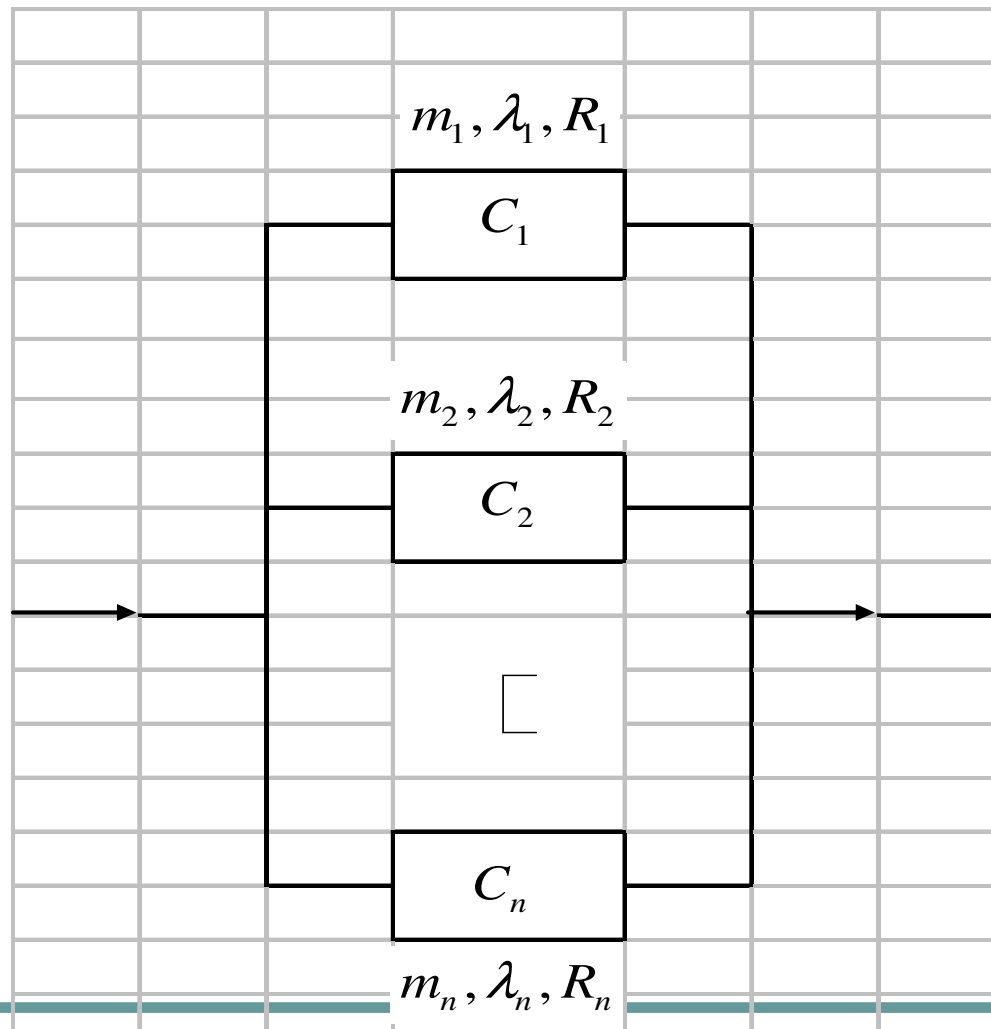
Prema tome,

$$P(D_s) = P(D_1 \cap D_2 \cap \dots \cap D_n) = P(D_1) \cdot P(D_2) \cdot \dots \cdot P(D_n)$$

$$R_s(t) = R_1(t) \cdot R_2(t) \cdot \dots \cdot R_n(t)$$

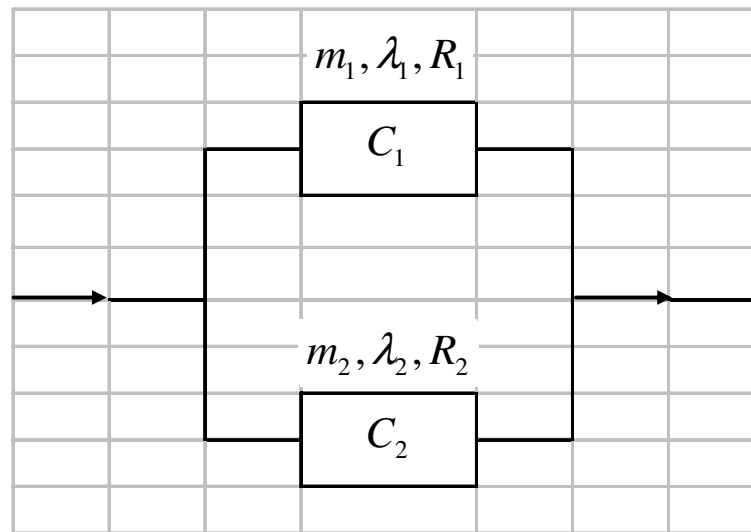
Paralelna veza elemenata

- Pod paralelnim vezivanjem sastavnih elemenata sustava podrazumijeva se takav sustav kod kojeg do kvara dolazi samo u slučaju kad se kvarovi jave na svim paralelno vezanim elementima. Blok dijagram pouzdanosti ovakvog načina vezivanja elemenata sustava dan je na slici:

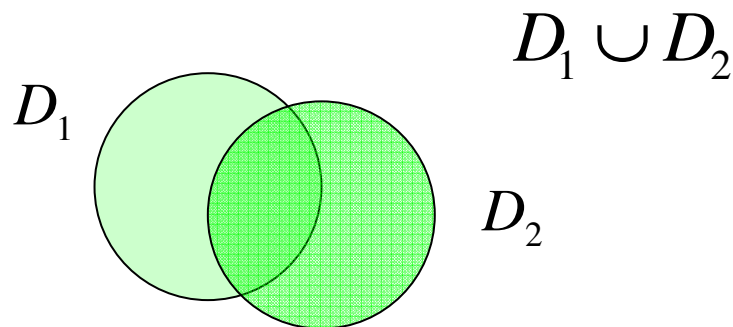


Paralelna veza dva elementa

- Paralelna veza 2 elementa sustava prikazana je na slici. Pretpostavlja se da su elementi različitih pouzdanosti i različitih indeksa kvarova.



- Vjerojatnost realizacije povoljnog događaja , odnosno pouzdanost , osigurana je kada je realiziran događaj (element "1" je U RADU) ili kada je realiziran događaj (element "2" je U RADU).



- Po teoremu o vjerojatnosti unije skupova (koji nisu međusobno disjunktne) i vjerojatnosti realizacije povoljnih događaja $P(D_i)_{i=1,2}$, vjerojatnost realizacije povoljnog događaja $P(D_s)$ može se izraziti kao:

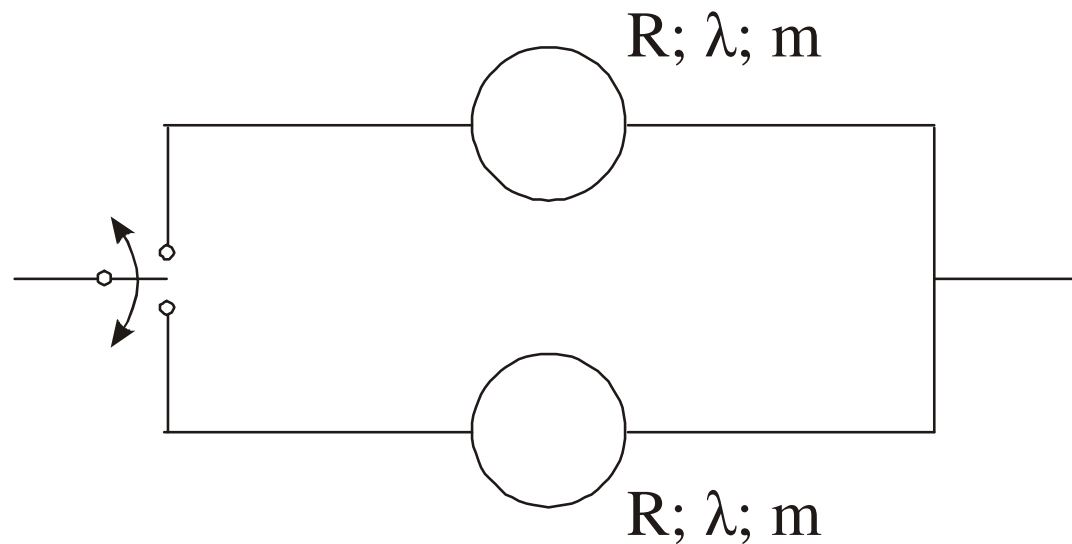
- $$P(D_s) = P(D_1 \cup D_2) = P(D_1) + P(D_2) - P(D_1 \cap D_2)$$

$$R_s(t) = R_1(t) + R_2(t) - R_1(t) \cdot R_2(t)$$

"Stand by" funkcionalna struktura

- "Stand by" funkcionalno strukturirani sustavi karakterizirani su takvom konfiguracijom sustava koji obuhvaća dio sustava koji je u pričuvi (stand by) za vrijeme rada sustava punim kapacitetom. "Stand by" sustavi mogu također imati jednake ili različite pričuvne komponente (stand by). Pri tome mogu postojati i različite radne i pričuvne komponente po pouzdanosti kao i po kapacitetu. Kod funkcionalnog strukturiranja stand by sustava s komponentama različitih radnih kapaciteta najčešće imamo slučaj parcijalne redundancije. Pouzdanost stand by funkcionalno strukturiranih sustava, prikazanog slikom, s jednakim komponentama, određena je relacijom:

Stand by sustav s komponentama jednake pouzdanosti



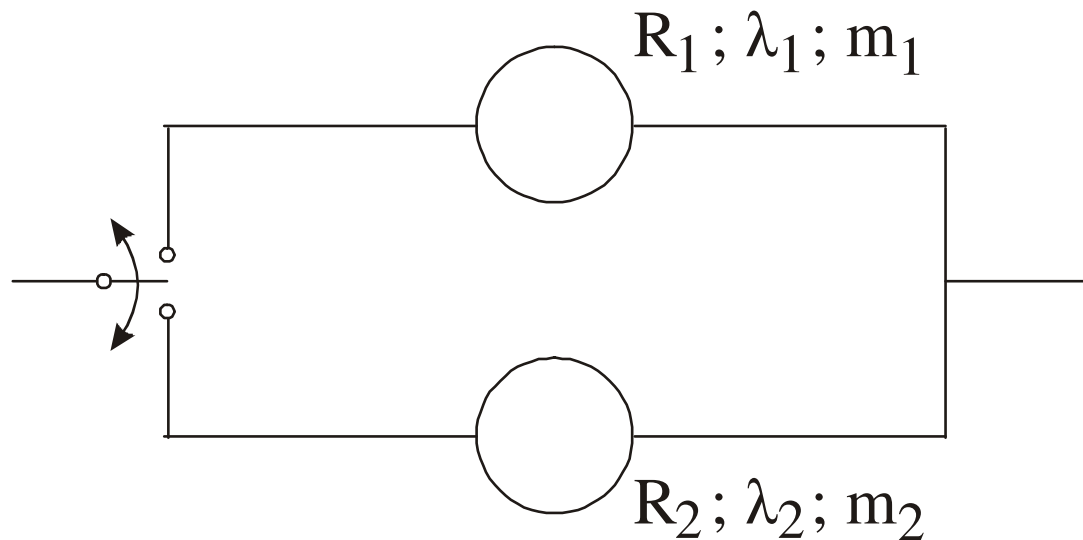
$$R_s = R(1 + \lambda t) \quad R_s = R \left(1 + \frac{t}{m} \right)$$

prosječno vrijeme između kvarova
iznosi:

$$m_s = \frac{2}{\lambda}$$

$$m_s = 2m$$

Stand by sustav s različitim komponentama



Pouzdanost ovakvog sustava određena je relacijom

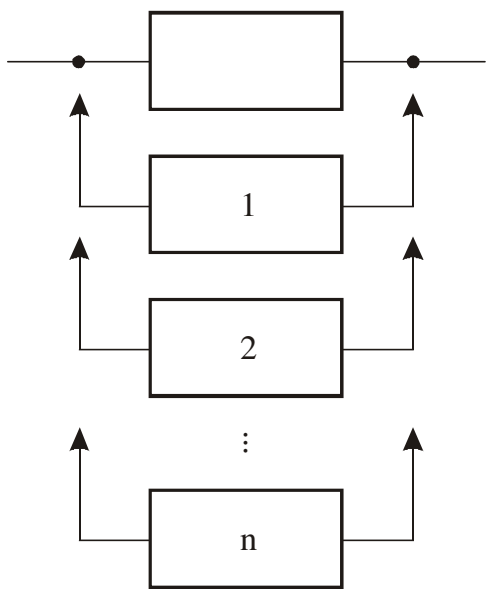
$$R_s = R_1 + \frac{\lambda_1}{\lambda_2 - \lambda_1} (R_1 - R_2)$$

$$m_s = \frac{1}{\lambda_1} + \frac{1}{\lambda_2}$$

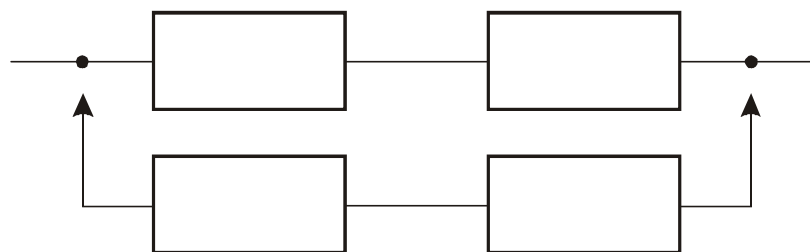
Pasivna stand by složena struktura

- Pod pasivnom paralelnom vezom ili pasivnom rezervom podrazumijeva se ugradnja paralelnih elemenata, ali tako da se njegovo uključivanje u rad ostvaruje samo ako dođe do pojave stanja u otkazu elementa koji je aktivan, odnosno na elementu kome ovaj paralelni elementi predstavljaju pričuvu (stand by rezervu).

Pasivne paralelne veze

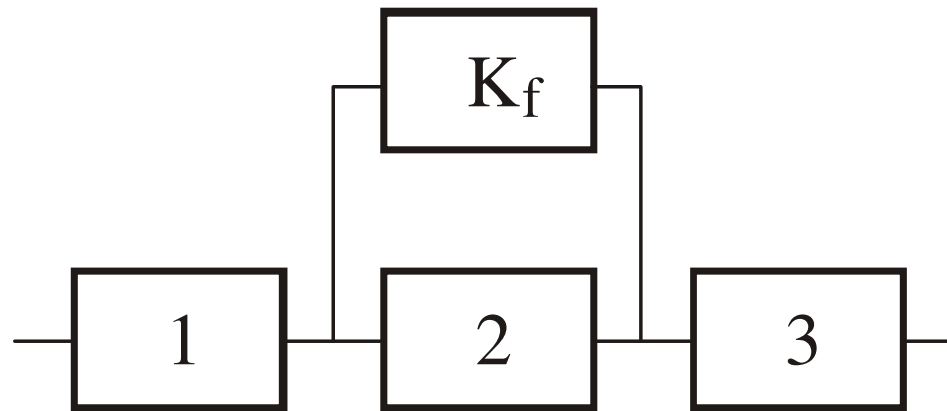


a)



b)

Specifične veze

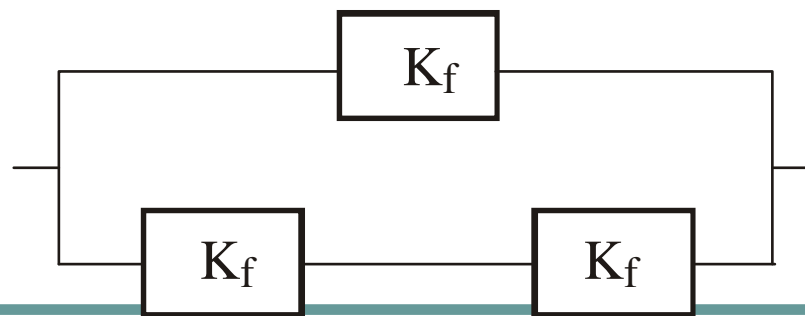


kvazi-serijskom vezom je prikazana na slici , a funkcija pouzdanosti je:

$$R_s = R_1 [1 - (1 - R_2)(1 - k_f)] R_3$$

Kvazi-paralelna veza sustava

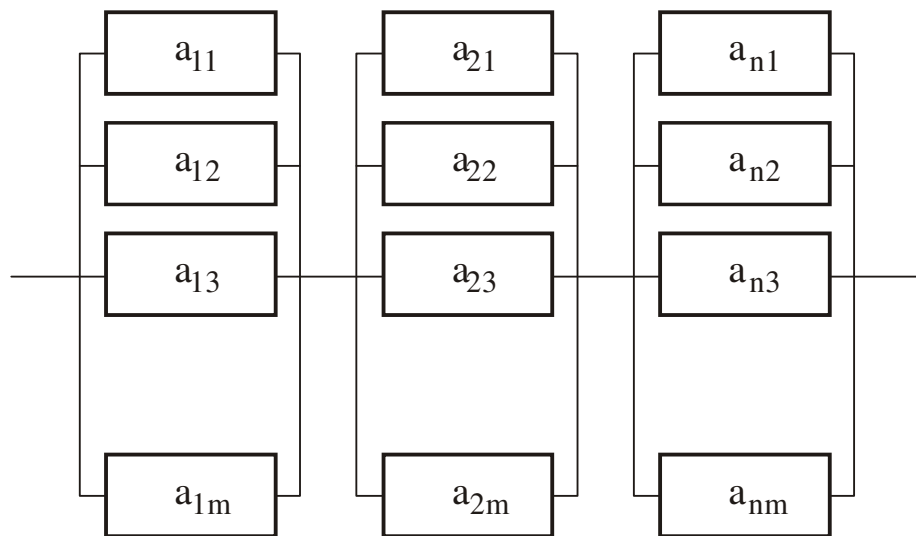
- čiji je blok dijagram prikazan na slici predstavlja vezu osnovne grane (1) čije performanse odgovaraju performansama sustava i paralelne grane (2) čije performanse u potpunosti ne odgovaraju performansama sustava:



Kompleksne veze

- Kombiniranjem paralelnih, serijskih, pasivno-paralelnih, kvazi-paralelnih i kvazi-serijskih konfiguracija sustava i veza dobivaju se kombinirani sustavi. Očigledno je da sustavi ove vrste osiguravaju u svojim određenim dijelovima svojstva i serijskih i paralelnih i pasivno paralelnih i djelomično paralelnih i specifičnih veza elemenata u kompleksnim sustavima.

- Slika prikazuje slučaj kada je serijski vezano "n" grupa koje se sastoje od jednakog broja "m" paralelno vezanih elemenata. Pretpostavlja se da su svi kvarovi neovisni jedan od drugoga. Tada se pouzdanost tehničkog sustava može računati:



$$R_s = \prod_{i=1}^n \left[1 - (1 - R_i)^m \right] = \left[1 - (1 - R_i)^m \right]^n$$

Monte Carlo metoda

- Izraz **Monte Carlo metoda** je u biti vrlo općenit. Monte Carlo metode su metode za rješavanje problema temeljene na upotrebi slučajnih brojeva i statističke vjerojatnosti. Mogu se koristiti od ekonomije do nuklearne fizike. Naravno, način upotrebe tih metoda široko varira od polja do polja upotrebe, ali da bismo nešto nazvali „Monte Carlo“ pokusom, dovoljno je koristiti slučajne brojeve za istraživanje nekog problema

- Upotreba Monte Carlo metoda za simuliranje fizičkih pojava nam omogućava rješavanje kompleksnih problema. Rješavanje jednačbi koje opisuju odnose između dviju pojava je prilično jednostavno, ali rješavanje istih jednačbi za stotine ili tisuće pojava je nemoguće. Rješenje je određeno slučajnim uzorkovanjem odnosa ili međudjelovanja dok se ne pojavi rezultat. Stoga, mehanizam izvođenja rezultata uključuje brojna ponavljanja pokusa ili računanja

- Sistematska upotreba metode, te njezin naziv, datira iz 40-ih godina prošlog stoljeća iz škole matematičara i fizičara u Los Alamosu, a posebno iz rada von Neumanna (1903-1957), Ulama, Metropolisisa, Fermija, Kahna i Richtmyera.

Formulacija Monte Carlo problema

Upotreba Monte Carlo metode je jedan od najboljih primjera kreativnog korištenja računala kao istraživačkog alata. Ono podupire iznimno veliki broj matematičkih disciplina, od teorije vjerojatnosti pa do teorije brojeva. Monte Carlo metoda ovisi o upotrebi teorije vjerojatnosti za rješavanje nekoliko kategorija problema:

- Problemi koji ovise o njihovoj formulaciji u vjerojatnosnom i slučajnom okruženju.
- Situacije u kojima su fizički eksperimenti nepraktični ili preskupi.
- Problemi u kojima je točna jednadžba preteška ili nemoguća za rješavanje upotrebom drugih znanih tehnika.
- Proces koji se sastoji od dugih koraka, a od kojih svaki uključuje vjerojatnosne relacije

Tipična situacija za formulaciju Monte Carlo problema, određenoj kao direktna simulacija Monte Carlo

- Istražitelj ima problem koji želi istražiti.
- Ne može napraviti pokus.
- Ni ne pokušava odrediti jednadžbu koja bi opisala cijeli problem.
- Čak i ako izvede jednadžbu, koja je ponekad upitna, iz nje ne može ništa saznati.
- Pokušava odrediti slučajan proces koji bi dao isti odgovor na problem, a bez izvođenja analitičkog rješenja.
- Simulira slučajan proces na računalu, te procjenjuje pomoću njega parametre za njegovo rješenje

Monte Carlo metoda za prognoziranje pouzdanosti tehničkih sustava

- U slučaju kada su tehnički sustav, njegovi podsustavi ili njihove međurelacije tako složeni da se ne može ekonomično razviti matematički model ili ako matematički model uopće nije ni moguć, koristi se simulacijska ili Monte Carlo metoda. Ova metoda uključuje određivanje – distribuciju parametara različitih elemenata sustava, selekciju slučajnog uzorka svakog elementa i njegove parametre. Kombiniranjem ovih uzoraka dobiva se pouzdanost sustava uz uvjet da su prethodno poznati utjecaji različitih vrijednosti elementarnih parametara na sustav.

- Proračunata pouzdanost svakog elementa može se predstaviti nizom slučajnih brojeva. Ako je, npr., pouzdanost jednog elementa 0,9000, onda uspjeh (zadovoljavajuća operacija) ovog elementa može biti predstavljen svim brojevima od 0,0000 do 0,8999, a kvar (nezadovoljavajuća operacija) brojevima od 0,9000 do 0,9999. Odabir brojeva se nastavlja u nizu, pa svaki sljedeći broj predstavlja neki drugi uspjeh ili kvar. U praksi se ovaj postupak obavlja pomoću kompjutera u kojem se nalazi odgovarajuća baza podataka i program za generiranje slučajnih brojeva.

Treba naglasiti da mnogi faktori utiču na teškoće u razvoju programa. Da bi se naglasila priroda i sadržaj složenosti izdvojena su tri faktora iz te grupe:

- Redundanca mnogih sustava je sekvencijalna, a u nekim slučajevima je „aktivno paralelna“. To znači da vrijeme kvara jednog elementa utječe na pouzdanost njegovog sekvencijalnog redundantnog zamjenika
- Kompleksni zadatak često uključuje nekoliko faza. Za svaku fazu primjenjuju se individualni logički dijagrami. Element koji je redundantan u jednoj fazi može biti u jednom ili drugom redu, a možda i u različitoj redundantnoj konfiguraciji.
- Zadatak može imati nekoliko ciljeva, a vjerojatnost da se ostvari svaki cilj može biti individualno zahtijevana. Kod velikog broja sustava, vjerojatnosti sigurnosti i uspjeha zadataka su određene i međusobno povezane

Metoda granica

- Metoda granica je metoda proračuna pouzdanosti pomoću graničnih vrijednosti. Primjenjuje se uvijek kada pouzdanost treba izračunati za sustav ili za najjednostavniju redundantnu konfiguraciju. Ova metoda štedi vrijeme u odnosu na znatno duže procedure s matematičkim modelima. Isto tako je pogodna za visoko složene sustave kod kojih se ne mogu razviti egzaktni matematički modeli, a simulacijski postupci moraju biti prethodno razvijeni

- Ova metoda obuhvaća računanje gornjih i donjih granica za predviđanje, a zahtijeva samo jednostavan proračun vjerojatnosti uspjeha ili kvara te kombiniranje ovih vrijednosti kako bi se dobila precizna ocjena prave vrijednosti. Vjerojatnosti slučajeva kvara se oduzimaju od jedinice – da bi se dobila gornja proračunata granica pouzdanosti, a vjerojatnosti uspješnih slučajeva se dodaju jedinici – da bi se dobila donja granica. Ove granice su sve bliže što se promatra veći broj slučajeva

ORGANIZACIJA ODRŽAVANJA

- ***Organizacija je složena funkcionalna struktura sastavljena od više dijelova (podstruktura) međusobno povezanih funkcionalnim procedurama kojima se određuju hijerarhija, međuzavisnosti podstruktura i prioriteta u izvršavanju funkcije organizacije***

- Organizacija se može promatrati kao **entitet (sustav)** i kao **proces**. Zavisno od težišta analize organizacije kao entiteta ili kao procesa, mogu se postaviti i različite definicije organizacije, ali uzimajući oba elementa organizacije podjednako možemo organizaciju definirati kao **otvoreni, funkcionalni i sociotehnološki sustav. Sociološka dimenzija organizacije je bitan element razlikovanja organizacije i tehnologije.**

Iz definicije organizacije kao **sociotehnoškog entiteta** deriviraju se tri temeljne karakteristike organizacije:

- organizacija se sastoji od ljudi,
- organizacija ima svoju svrhu i ciljeve,
- organizacija je sustav čija je struktura formalizirana u određenom stupnju
- što kao rezultat ima definiranje, propisivanje i ograničavanje ponašanja članova organizacije primjenom definiranih procedura interakcija.

Promatramo li organizaciju kao **proces strukturiranja i definicije** dijelova koji u interaktivnim procedurama čine organizaciju kao entitet bitno je uočiti da su procesom organiziranja obuhvaćeni:

- radne aktivnosti,
- ljudski resursi,
- sustav definiran kroz procedure

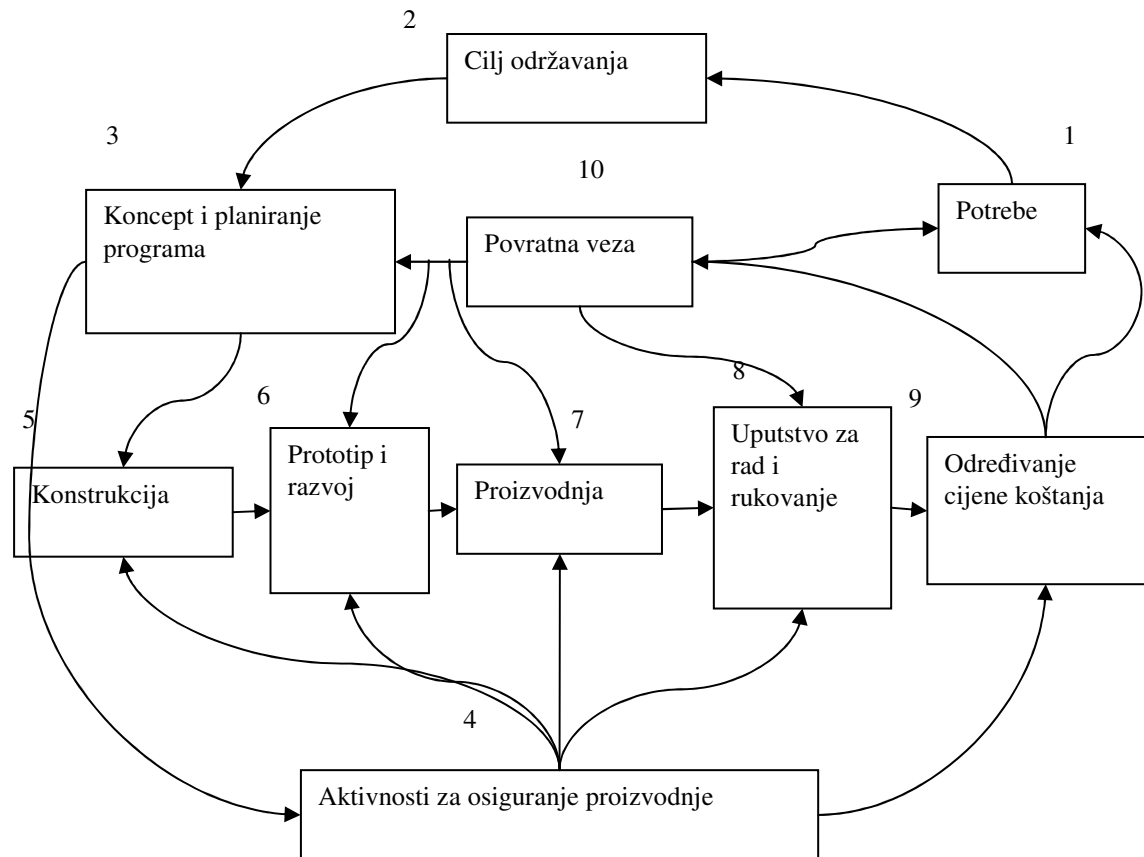
Ako organizaciju promatramo kao **sustav definiran procedurama** tada taj sustav ravnotežu djelovanja ostvaruje kroz:

- funkciju ostvarivanja cilja,
- prilagođavanje sustava u odnosu na okolinu,
- integraciju svih dijelova sustava i
- proceduralnu regulaciju unutrašnjih napetosti.

Održavanje

- podsustav održavanja (kao funkciju poduzeća) poduzeće djeluje kao faktor okoline, a u slučaju poduzeća čija je djelatnost održavanje u okviru kontingentnih faktora; okoline, strategije, tehnologija i veličine, težište je pomaknuto na faktore tehnologije. Pod tehnologijom se ovdje podrazumijevaju i tehnologije osnovne djelatnosti poduzeća i tehnologije funkcije održavanja i njihov međusobni utjecaj.
- Najznačajniji faktori, sa stajališta održavanja su:
- ***cilj aktivnosti održavanja;***
- ***postupci i tehnologije održavanja;***
- ***politika održavanja;***
- ***strategija održavanja;***
- ***principi održavanja;***
- ***sustav održavanja;***
- ***svojstva tehničkih sredstava i tehnologije;***
- ***broj, struktura i lokacije proizvodne opreme tehničkih sredstava.***

Cilj održavanja



Cilj održavanja

- ***je postizanje maksimalne raspoloživost sredstava za rad uz što niže troškove održavanja.*** Potciljevi 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.

1. Sprječavanje kvarova postiže se:

- a) pregledom stanja, čišćenjem i podmazivanjem;
- b) popravkom oštećenja;
- c) nadzorom u eksploataciji i tehničkom dijagnostikom.

Njega u eksploataciji

Tekuće održavanje

Planski popravci

Održavanje po stanju

Priprema rada

Upravljanje zalihama
rez. dijelova i materijala

Izrada i popravci
rezervnih dijelova

Produžavanje radnog
vijekra sredstava rada

Skraćivanje vremena
za popravke

Smanjenje troškova
materijala

Potciljevi održavanja

Sprečavanje kvarova

Otklanjanje slabih mjesta
na sredstvima rada

Inovacije u
održavanju

Pregledi stanja
čišćenje i podmazivanje

Popravci oštećenja

Nadzor eksploatacije

Praćenje kvarova

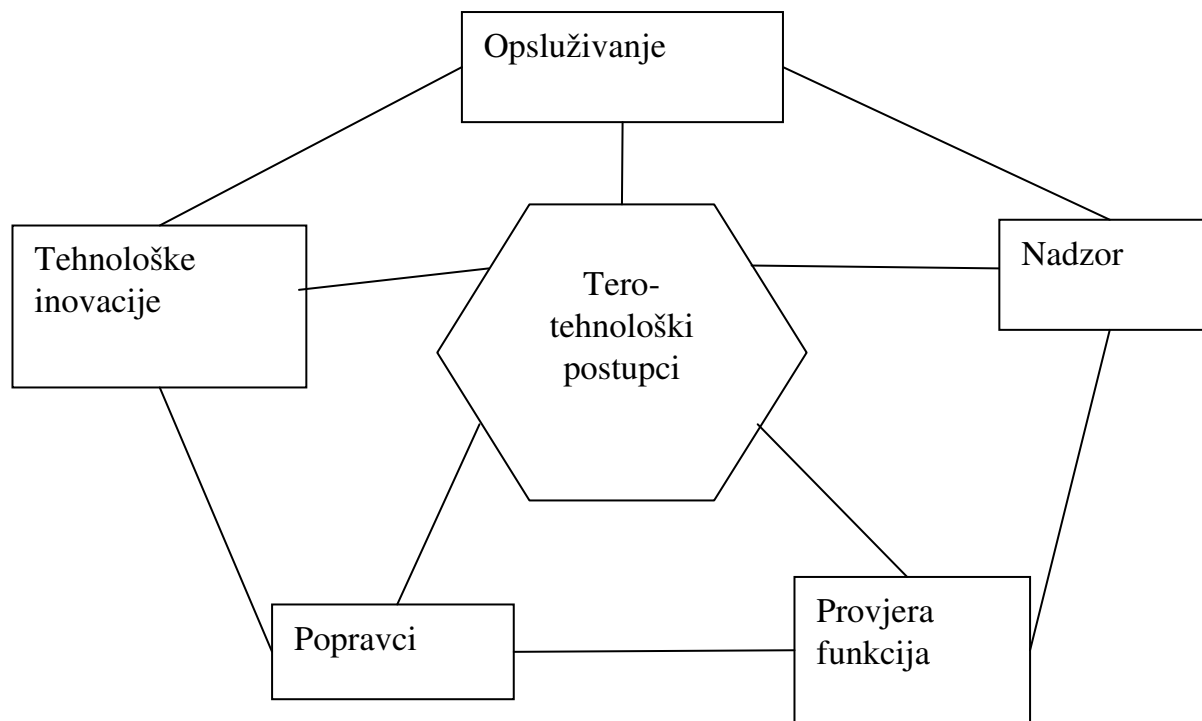
Analiza slabih mjesta

Programi otklanjanja
slabih mjesta

CILJ održavanja je maksimalna raspoloživost sredstava za rad uz što niže troškove

- **2. Otklanjanje slabih mjesta nad sredstvima rada postiže se:**
- a) praćenjem kvarova;
- b) analizom slabih mjesta;
- c) programima otklanjanja slabih mjesta (max. nivoa pouzdanosti).
- **3. Produžavanje radnog vijeka sredstva rada postiže se:**
- a) tekućim održavanjem;
- b) planskim popravcima i
- c) pridržavanjima uputstava za eksploataciju.
- **4. Skraćenje vremena za zahvate održavanja postiže se:**
- a) održavanjem po stanju i
- b) adekvatnom pripremom rada.
- **5. Smanjenje troškova materijala postiže se:**
- a) izradom i popravcima rezervnih dijelova i
- b) upravljanjem zalihama rezervnih dijelova

TEROTEHNOLOŠKI POSTUPCI



Poslove i aktivnosti održavanja možemo grupirati uglavnom prema četiri kriterija

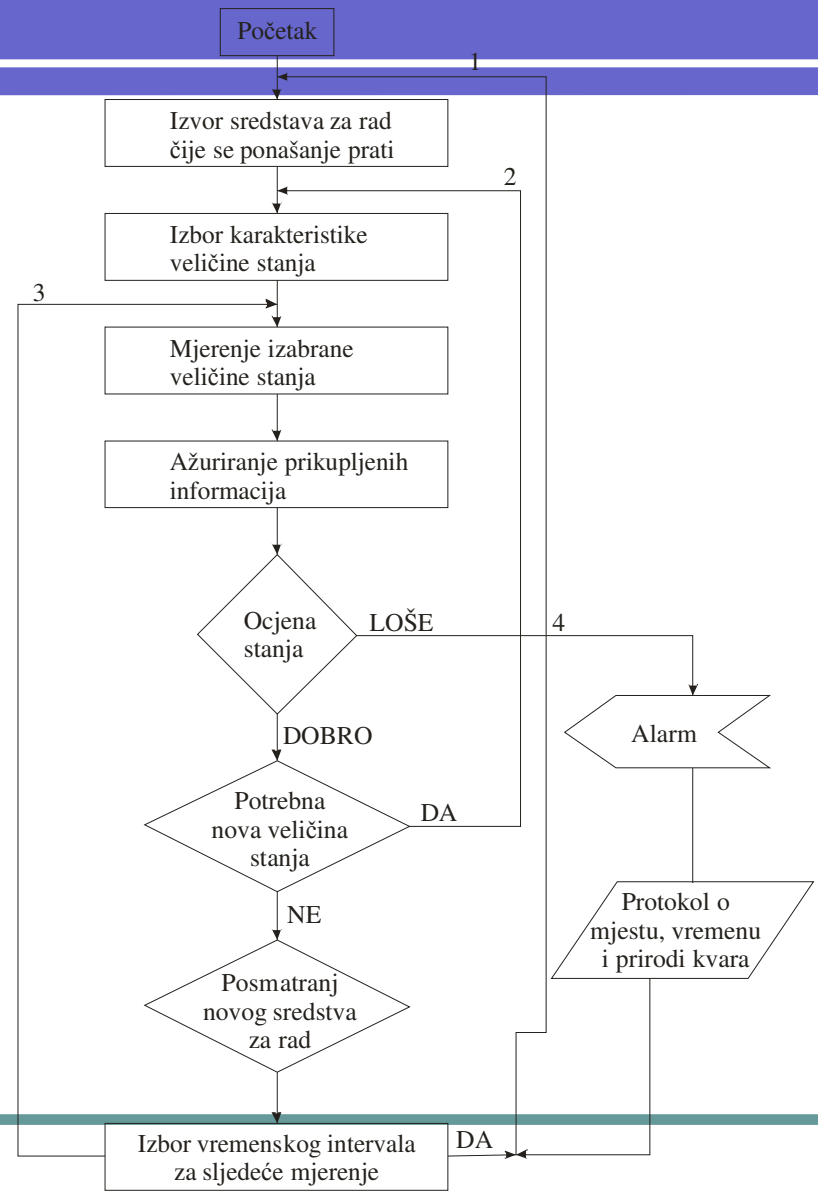
- *prema izvoru financiranja;*
- *prema tehnološkoj namjeni;*
- *prema vremenu u odnosu na nastalu neispravnost i*
- *prema načinu djelovanja u odnosu na tehničko sredstvo.*

Preventivni radovi na održavanju sadrže operacije koje se odnose na

- kontrolu stanja i praćenje degradacije parametra koji opisuju tehničko sredstvo i njegovu pouzdanost (ove operacije uključuju sve vrste mjerenja kao i provjeru i baždarenje u tehničko sredstvo ugrađene mjerne i test opreme i instrumente);
- traženje i otklanjanje slabih mjesta;
- preventivnu zamjenu elemenata zbog starenja i trošenja;
- preventivna podešavanja;
- čišćenje, zaštitu od korozije i podmazivanja.

Preventivne aktivnosti održavanja svrstavaju se u vrste

- - prema konstantnoj trajnosti;
- - prema konstantnom datumu i
- - prema stanju.



Korektivni radovi

- služe da se njihovim izvođenjem uspostave narušene funkcije tehničkih sredstava koje su izašle iz dozvoljenih granica radne sposobnosti (otklone neispravnosti). Otkaz se po pravilu već dogodio a nakon toga nastaju sve aktivnosti na njegovom otklanjanju. Osnovni poslovi korektivnog održavanja su:
 - - zamjena neispravnog dijela ili sklopa ispravnim,
 - - obnavljanje tehničkih karakteristika sustava;
 - - podešavanje.

● **Prema načinu djelovanja u odnosu na tehničko sredstvo, radove na održavanju možemo podijeliti na:**

- - radove koji se izvode na samom tehničkom sredstvu (neposredne – npr. pregled ili zamjena dijela);
- - radove koji se ne izvode na samom tehničkom sredstvu (posredne – npr. planiranje, izrada rezervnih dijelova itd.).

Preventivni sustav održavanja obuhvaća sljedeće kategorije radova:

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

Korektivni sustav održavanja obuhvaća, ali kao neplanske kategorije:

- - podešavanje,
- - male ili lake popravke,
- - srednje popravke
- - generalne popravke,
- - zamjenu dijela,
- - revitalizaciju.

