

# 1 UVOD U ODRŽAVANJE

## 1.1 Ciljevi i zadaće održavanja

### 1.1.1 Što je održavanje?

Promatrajući mehaničke, električke i računalne sustave oko sebe, primjećujemo da oni izvršavaju određenu funkciju kroz određeno vremensko razdoblje. Nerijetko se i uvjerimo da se sustavi kvare, odnosno ne izvršavaju funkciju ili je ne izvršavaju na zadovoljavajući način. Na primjer, automobil se ne pokrene, na monitoru nema slike, helikopter ne može zadržati visinu... Intuitivno je jasno da će svi takvi sustavi prije ili poslije pretrpjeti kvar, bilo neki neočekivani, bilo očekivani, zbog trošenja dijelova sustava.

U elektrotehnici, potrebno je dizajnirati takve elektrotehničke (ili računalne, mikrotehnoške, nanotehnoške) sustave koji će raditi na zadovoljavajući način te koje je moguće dovesti u ispravno stanje kada je to moguće kako bi nastavio rad, a također je potrebno moći procijeniti koliko sustav može raditi i kada se (statistički) može očekivati da sustav više neće raditi. Takvo nadgledanje životnog vijeka sustava, odnosno uređaja, jest održavanje.

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

Uz održavanje veže se i pojam dijagnostike.

**Dijagnostika je zaključivanje o mogućim greškama na temelju promatranja.**

### 1.1.2 Vrste kvarova

**Otkaz je kvar nastao tokom eksploatacije u predviđenim uvjetima.**

Otkazi mogu biti

- Trenutni – slučajni i nepredvidivi.
- Postupni – rezultat degradacije i predvidivi.

Ako nakon nekoliko mjeseci rada računalo ne pokazuje sliku na monitoru, moguće je da je došlo do trenutnog otkaza na grafičkoj kartici. Ako se to dogodi nakon nekoliko godina, opravdano je posumnjati na postupni otkaz koji se dogodio uslijed degradacije svojstava tranzistora.

**Oštećenja su nepredviđena vanjska djelovanja.**

**Degradacija je postupna promjena svojstava materijala.**

Degradacija vremenom vodi do postupnog otkaza.

Uzroci degradacije mogu biti npr. korozija (metali), habanje (ležajevi, klipovi, cilindri), starenje (promjena strukture materijala s vremenom, nezavisno od rada), zamor (promjene uslijed naprezanja pri radu)...

## 1.2 Vrste održavanja

### 1.2.1 Korektivno održavanje

Korektivno održavanje podrazumijeva popravak sustava nakon što je sustav pretrpio kvar, odnosno ne obavlja predviđenu funkciju.

**Korektivno održavanje podrazumijeva slijed akcija nad sustavom koji nije radno sposoban kako bi mu se vratila funkcionalnost na prijašnju razinu, odnosno u ispravno stanje.**

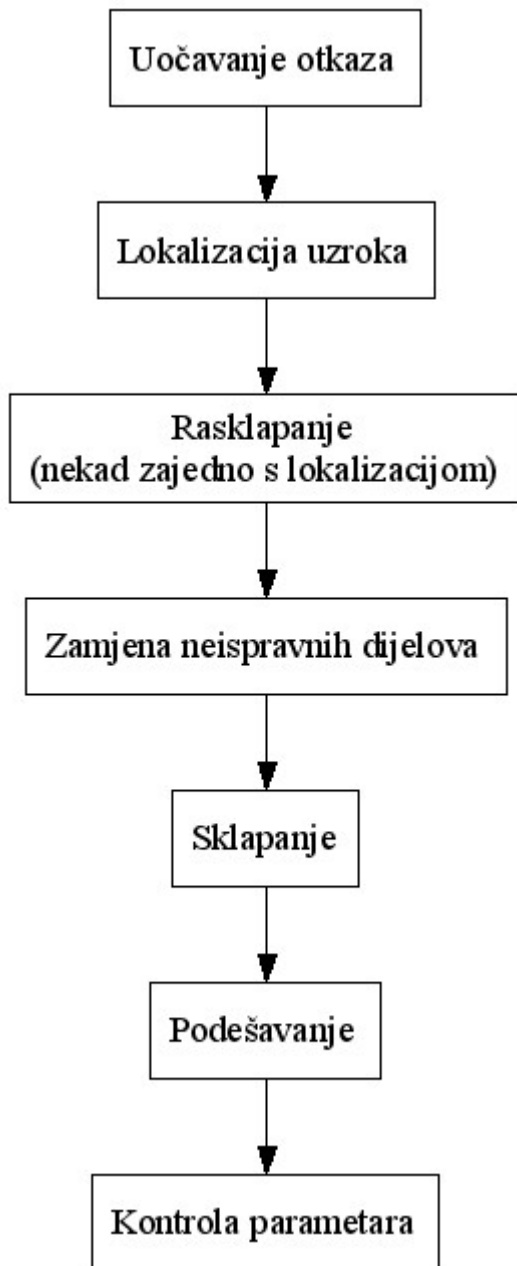
Korake korektivnog održavanja je vrlo jednostavno razumjeti i primijeniti. Što se događa kada u računalu prestane raditi hladnjak procesora? Moguće je da ste primijetili da već neko vrijeme jedan od hladnjaka (*cooler*) zvuči drukčije nego uobičajeno, a sada se uopće ne čuje. Posumnjate na neispravan rad hladnjaka. Još npr. uvidom u temperaturu hladnjaka nekim dijagnostičkim alatom (softverom) primijetite da prelazi uobičajene vrijednosti i odlučite popraviti kvar. Micanjem poklopca kućišta uvjerite se da se hladnjak ne vrti, zamijenite neispravn dio, ponovo sve složite, i uvjerite se da sve radi kako treba. Time ste slijedili uobičajeni postupak korektivnog održavanja.

Prednosti ovakvog pristupa su najniža cijena i najveće iskorištenje resursa sustava (koristimo resurse dok god funkcioniraju).

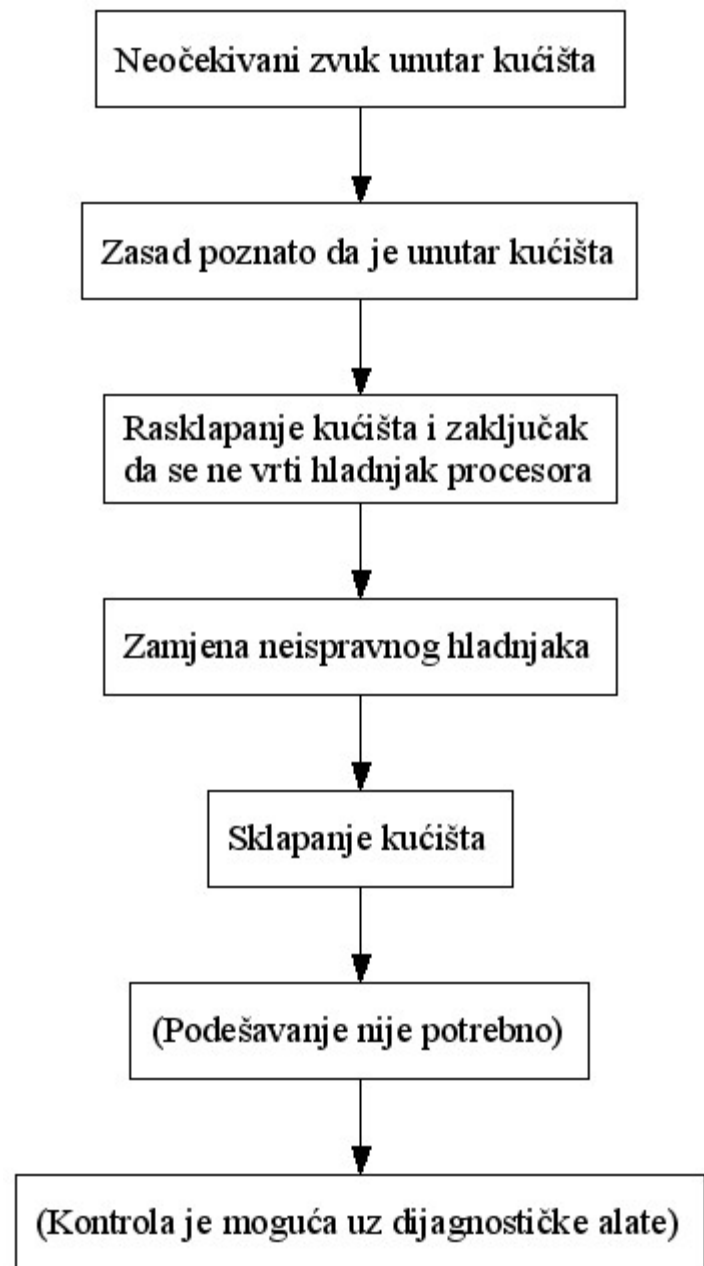
Što se nedostataka tiče, potrebno je istaknuti da je time otežano planiranje, jer osim eventualno statističkih podataka, nije moguće znati kada će pojedini dijelovi sustava odnosno sustav u cjelini prestati s radom. Time je otežana potpora radu sustava (postoji li spremna radna snaga za izvršavanje popravka, postoje li pričuvni dijelovi i oprema za popravak...). Kod velikih sustava, pogotovo u profesionalnoj primjeni, ne može se dopustiti da sustav prestane funkcionirati da bi ga ponovo osposobili: primjer je medicinska oprema ili avioni. Dakle, sustavi na koje se primjenjuje ovaj tip održavanja ne osigurava pouzdanost namjene.

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

Na slici 1 prikazan je postupak korektivnog održavanja po koracima, a slika 2 ilustrira primjerom.



Sl. 1: Korektivno održavanje



Sl. 2: Primjer - kvar hladnjaka procesora

### 1.2.2 Preventivno održavanje

Preventivno održavanje podrazumijeva brigu i servisiranje sustava kako bi ostao u zadovoljavajućim radnim karakteristikama, koristeći sustavni nadzor, detekciju i ispravak potencijalnog kvara prije nego dođe do njega.

Preventivno održavanje podrazumijeva prevenciju, odnosno sprečavanje pojave kvara. Cilj je imati sustave koji se nikada neće pokvariti, a njih osiguravamo tako da periodički provjeravamo svojstva i funkcije sustava.

Preventivno održavanje se izvodi periodički, na sljedeće načine:

- **Vremenski orijentirano** – Nakon isteka određenog vremena sustav se pregledava i servisira. To može biti nakon 100 sati, nakon tjedan dana, svakih 10 dana, jednom mjesečno i slično.
- **Radno orijentirano** – Sustav se pregledava i servisira nakon što je radio određen vremenski period. Razlika u odnosu na vremenski orijentirano održavanje može se ilustrirati na sljedeći način: Neka se lokomotiva održava na temelju rada nakon 100 sati vožnje. Recimo da u nekom kontinuiranom vremenskom periodu odvozi 80 sati, i nakon dva tjedna odvozi još 20 sati. Vremenski je prošlo više od 100 sati, ali je lokomotiva ukupno radila 100 sati i tek se tada izvodi održavanje. (Napomena: u ovakvom slučaju vjerojatno bi se kombinirano izveo vremenski orijentiran pregled jer u stvarnosti nije vjerojatno da bi lokomotiva bila puštena u upotrebu bez pregleda nakon dužeg vremena neaktivnosti).

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

Prednosti ovakvog pristupa održavanju su jednostavnije planiranje (znamo da će to biti nakon određenog vremenskog perioda) i što na taj način sustav održavamo pouzdanim i sigurnim. Među nedostatke ubrajamo skuplje održavanje nego što je korektivno a ujedno je i vremenski sustav manje raspoloživ pa je manje iskorištenje resursa sustava.

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

### 1.2.3 Održavanje prema stanju

U poslovnim sustavima pokušava se maksimizirati vrijeme provedenog u radu jer rad donosi profit. Zato je potrebno izbjeći nepotrebne zastoje. Kao što možemo naslutiti, neizbježni zastoj će svakako biti sama kontrola i zamjena dijelova, ili neki drugi aspekt održavanja, ali postoji dio posla koji se može unaprijed pripremiti kako bi se izbjeglo čekanje jednom kada dođe do kvara uređaja.

**Održavanje prema stanju podrazumijeva praćenje degradacije dijelova kako bi se zamjenski dijelovi pripremili prije otkaza da ih se može pravodobno zamijeniti.**

Na taj način moguće je pravodobno reagirati i brže osposobiti sustav. Potrošeno vrijeme je samo ono korišteno da se popravi ili zamijeni neispravn dio.

Metode koje se mogu koristiti za praćenje degradacije su, među ostalim, infracrveno snimanje, mjerenja topline, snimanje razine buke i vibracija i slično.

Prednosti održavanja prema stanju su dostupnost i veća pouzdanost opreme.

## 2 POUZDANOST

### 2.1 Definicija pouzdanosti

Pouzdanost je vjerojatnost da će sustav raditi na predviđeni način u određenom vremenu i u predviđenim radnim uvjetima, uz minimalne prekide uzrokovane greškama u dizajnu ili radu.

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

Pouzdanost se odnosi na kvalitetu ili konzistentnost sustava.

Pouzdanost mora biti uključena u proces dizajniranja sustava. Prilikom dizajniranja, zahtjevi pouzdanosti za cijeli sustav preslikavaju se na podsustave odnosno podzadace dizajna.

### 2.2 Srednje vrijeme između kvarova

Srednje vrijeme između kvarova (Mean Time Between Failure):

- Oznaka *MTBF* [ h ]
- Jedan je od najvažnijih parametara pouzdanosti sustava.
- Pokazuje koliko je prosječno vrijeme između kvarova sustava.
- Povećanjem *MTBF* povećava se i pouzdanost.

## 2.3 Razdioba kvarova

Razdioba kvarova:

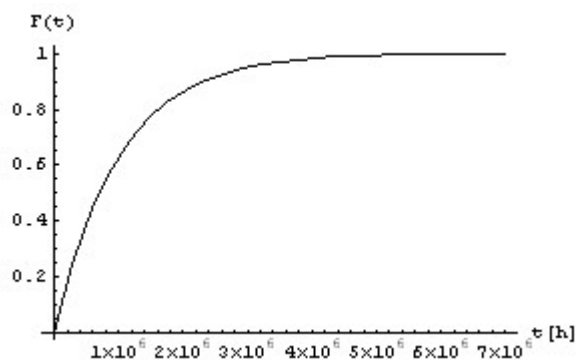
- Oznaka  $F(t)$  – funkcija, a ne podatak!
- Funkcija vjerojatnosti kvara u ovisnosti o vremenu.
- Vrlo je česta eksponencijalna razdioba kvarova.

### 2.3.1 Eksponencijalna razdioba kvarova

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t)$$

Eksponencijalna razdioba kvarova opisuje raspodjelu koja od početnog vremenskog trenutka kada je raspodjela jednaka nuli (sustav je “nov” i očekujemo da ne postoji vjerojatnost da se pokvari) raste te se asimptotski približava vjerojatnosti da će se sigurno pokvariti (“100% će se pokvariti”).

Na slici 3 prikazan je primjer eksponencijalne razdiobe kvarova. To je funkcija zadana konstantnim parametrom  $\lambda = 10^{-6} \text{ h}^{-1}$ , što znači da učestalost kvarova iznosi 0.000001 kvar u satu. Na slici pratimo promjenu razdiobe kvarova u vremenu, pri čemu je vremenska domena izražena u milijunima sati, a raspodjela kvarova u skali 0..1, što odgovara postotcima 0% - 100%.



Sl. 3: Eksponencijalna raspodjela kvarova

Kako interpretirati sliku? Pretpostavimo da naš sustav ima 1000 računala. Ako i jedno računalo u nekom trenutku ne radi, sustav je pretrpio kvar (računala su dakle tako organizirana da zahtijevamo da sva rade da bismo rekli da je “sve u redu”). Zanima nas koliko će računala, vjerojatnosno gledano, prestati raditi nakon 1 milijun sati.

Za  $t = 1 * 10^6 \text{ h}$ ,  $F(t)$  iznosi 0.63. Razdioba kvarova je 63%. Gledajući ukupni sustav, nakon milijun sati, 63% je vjerojatno da je sustav do tada pretrpio kvar, odnosno od 1000 računala u sustavu, 630 je statistički gledano do tada prestalo raditi.

## 2.4 Funkcija pouzdanosti

Sada smo upoznati s razdiobom kvarova, funkcijom koja opisuje koliko je vjerojatno da je sustav nakon određenog vremenskog perioda prestao raditi. Dok funkcija razdiobe kvarova opisuje kojom stopom se mijenja raspodjela kvarova, funkcija pouzdanosti predstavlja stupanj rada sustava u vremenu.

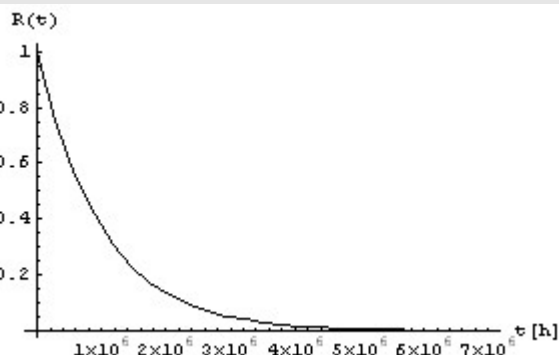
Funkcija pouzdanosti:

- Oznaka  $R(t)$  – funkcija
- Opisuje pouzdanost sustava kroz vrijeme

Funkcija pouzdanosti povezana je s funkcijom razdiobe kvarova na sljedeći način:

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

Kod razdiobe kvarova vidjeli smo da je najveća vrijednost koju  $F(t)$  može poprimiti jednaka 1 i da je time označena stopostotna vjerojatnost kvara. Vjerojatnost kvara ne može biti veća od 100%. Ako pogledamo gornju formulu, vidimo da je ona komplementarna funkciji  $F(t)$ , tj.  $F(t) + R(t) = 1$ , pa funkcija pouzdanosti za eksponencijalnu razdiobu kvarova u gornjem primjeru prikazana na slici 4. Dakle pouzdanost je na početku maksimalna, pa eksponencijalno opada i asimptotski se približava nuli.



Sl. 4: Funkcija pouzdanosti za eksponencijalnu raspodjelu kvarova

## 2.5 Učestalost kvarova

Učestalost kvarova je vjerojatnost da će se kvar pojaviti u određenom vremenskom intervalu.

$$\lambda = 1 / MTBF$$

$$\lambda = [ R(t_1) - R(t_2) ] / (t_1 - t_2) \times R(t_1), \text{ ili}$$

$$\lambda = [ R(t) - R(t + \Delta t) ] / \Delta t \times R(t)$$

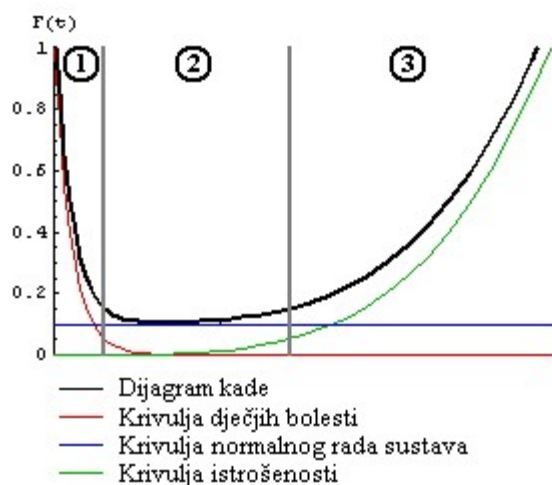
Učestalost kvarova:

- Oznaka  $\lambda [h^{-1}]$  ili [kvarova / h]
- Pokazuje koliko se kvarova dogodi sustavu u nekom periodu.
- Ovisi o razdiobi kvarova.
- Povećanjem učestalosti kvarova smanjuje se pouzdanost.

Učestalost kvara nije uvijek konstantna pa se koristi funkcija hazarda da se opise trenutna učestalost kvara u nekom vremenskom trenutku. Dijagram kade, posebni oblik funkcije hazarda, tipična je reprezentacija učestalosti kvarova sustava za vrijeme životnog vijeka sustava.

### 2.5.1 Dijagram kade

Dijagram kade često se koristi da se prikaže učestalost kvarova tijekom radnog vijeka sustava. Dijagram kade dobije se superpozicijom (zbrajanjem) triju krivulja: krivulja dječjih bolesti, krivulja normalnog rada sustava, krivulja istrošenosti sustava. Slika 5 pokazuje kvalitativni dijagram kade. X-os predstavlja vrijeme i na slici nije prikazana (tako da vrijedi općenito), a Y-os predstavlja razdiobu kvarova. Na slici faza dječjih bolesti označena je oznakom (1), faza normalnog rada sustava označena je s (2), a faza istrošenosti oznakom (3). Faza dječjih bolesti relativno je kratak početni period rada sustava gdje je moguća pojava greški zbog tehnologije proizvodnje. Faza istrošenosti javlja se zbog degradacije svojstava tranzistora, korozije materijala i sl.



Sl. 5: Dijagram kade

**Faza dječjih bolesti – opadajuća učestalost kvarova**

**Normalni rad sustava – nasumični kvarovi, konstantni**

**Faza istrošenosti – rastuća učestalost kvarova**

## 2.6 Primjeri

### 2.6.1 Primjer 1

Mjerenjem je utvrđeno da se sustav kvare svakih 4000 sati. Kolika je učestalost kvarova? Grafički prikaži funkciju pouzdanosti. Kolika je pouzdanost sustava nakon 11500 sati?

Zadano je srednje vrijeme između kvarova,  $MTBF = 4000$  h. Možemo izračunati učestalost kvarova pomoću formule  $\lambda = 1 / MTBF$ . Iz toga slijedi:

$$\lambda = 1 / MTBF = 1 / 4000 \text{ h} = 2.5 \times 10^{-4} \text{ h}^{-1},$$

što znači da se unutar jednog sata (statistički) dogodi 0.00025 kvarova na sustavu.  $\lambda$  se često izražava u  $10^6$  sati, pa bi rezultat mogli zapisati kao  $\lambda = 250 \times 10^{-6} \text{ h}^{-1}$ , što znači da se dogodi 250 kvarova u milijun sati.

S obzirom da je  $\lambda$  konstantna, funkcija razdiobe kvarova je

$$F(t) = 1 - \exp(-\lambda t) = 1 - \exp(-2.5 \times 10^{-4} \text{ h}^{-1} * t).$$



Parametar  $t$  je parametar funkcije i nije zadan nego se grafički prikazuje kao X-os, dok je ovisnost razdiobe kvarova funkcija vremena  $F(t)$  !

Kako je funkcija pouzdanosti  $R(t) = 1 - F(t)$ , slijedi:

$$R(t) = 1 - F(t) = 1 - (1 - \exp(-\lambda t)) = \exp(-\lambda t) = \exp(-2.5 \cdot 10^{-4} \text{ h}^{-1} \cdot t).$$

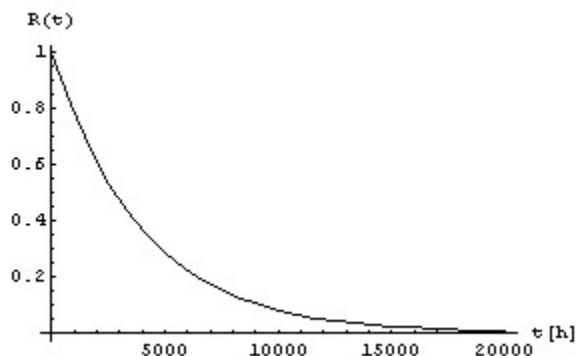
Da bismo mogli nacrtati graf, potrebno je znati barem nekoliko točaka. Izračunajmo vrijednost funkcije za nekoliko točaka, npr. nekoliko višekratnika od  $MTBF$ .

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

Tablica 1: Izračunavanje funkcije pouzdanosti

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

Nakon 11500h, pouzdanost sustava  $R(t)$  iznosi, nakon što podatak o vremenu uvrstimo u formulu, 0.056, odnosno 5.6%.



Sl. 6, uz primjer 1: Funkcija pouzdanosti

## 3 UZROCI I VRSTE KVAROVA

### 3.1 Pojam kvara i greške

Murphyjev zakon: "Sve što može poći krivo, poći će krivo".

Bojnik Edward Murphy, Jr., razvojni inženjer koji je kratko vrijeme radio na raketnom eksperimentu za USAF, 1949.

Kvar je stanje koje ne odgovara željenom ili namijenjenom cilju.

Kvar != Uspjeh.

**Kvar (engl. *failure*) je nemogućnost komponente, opreme, podsustava ili sustava da obavlja zamišljenu funkciju. (Def. prema ISO/CD 10303-226)**

Kvar može izazvati jedna ili više grešaka.

**Greška (engl. *fault*) je neuobičajeno stanje ili defekt u komponenti, opremi ili podsustavu koje može voditi do kvara.**

#### 3.1.1 Primjer 2

Iz navedenih objašnjenja vidljivo je da greška vodi do kvara. Pojavi li se greška na matičnoj ploči vašeg računala, ukoliko ne postoji još jedna matična ploča koja može preuzeti zadaću ove matične ploče, vaše računalo ne obavlja svoju funkciju pa kažemo da je u kvaru. Primijetite da tu matičnu ploču možemo promatrati kao nezavisan sustav, pa reći da je matična ploča u kvaru.

Dakle, za gornji primjer, iz perspektive matične ploče, matična ploča je u kvaru jer ne obavlja svoju funkciju, i analizom odnosno dijagnostikom mogli bismo pronaći komponentu matične ploče koja ima grešku. Promatrano iz perspektive računala kao sustava, računalo je u kvaru, jer matična ploča ima grešku.

## 3.2 Uzroci i vrste kvarova

### 3.2.1 Redundancija

Zašto računalni serveri često imaju dvije matične ploče (npr. Dual Xeon) ? Matična ploča je kritična komponenta računalnog sustava. Ako želimo osigurati da server radi bez prestanka, ne možemo se pouzdati u samo jednu matičnu ploču jer kako vrijeme prolazi, tako je raspodjela kvarova sve veća (v. graf razdiobe kvarova) i u jednom trenutku će doći do kvara na matičnoj ploči. Dodavanjem još jedne matične ploče koja će na sebe preuzeti funkciju prve ploče kada ova prestane ispravno raditi, osiguravamo značajno poboljšanje pouzdanosti.

**Redundancija je dupliciranje kritičnih komponenti sustava radi povećanja pouzdanosti.**

### 3.2.2 Serijski i paralelno spojene komponente

Serijski spojene komponente nekog sustava obavljaju različite funkcije i na taj način spojene komponente predstavljaju cjelinu, odnosno cijeli sustav. U računalu su jedan CPU, jedna matična ploča, jedan tvrdi disk, jedna grafička kartica, itd., serijski spojene komponente.

Paralelno spojene komponente nekog sustava obavljaju istu funkciju, odnosno, u slučaju greške na jednoj komponenti, druga preuzima funkciju prve kako bi sustav mogao nesmetano dalje raditi. Paralelno spojene komponente su redundantne komponente.

Ako je računalo opremljeno s dva (ili više) tvrda diska, jesu li ti diskovi redundantni? U pravilu nisu jer kućni korisnici rijetko imaju podešen sustav tako da se automatski nakon što dođe do greške na primarnoj particiji, podaci spremaju i dobivljaju s neke druge particije (i također, da su datoteke operativnog sustava i svih potrebnih programa i datoteka dostupni na drugim particijama). Djelomično bi redundantni bili diskovi koji služe za *backup* podataka, a stvarno redundantni za primjer tvrdih diskova bili bi RAID (*Redundant Array of Independent Disks*, nećemo se upuštati u detaljnije objašnjavanje).

Isto tako, za potrebe redundantnih matičnih ploča, proizvođači proizvode dvojne matične ploče (npr. Dual Xeon).

### 3.2.3 Primjer 3

Kvar se događa promatrano na nekom sustavu, a uzrokuje ga greška na podsustavu. Sustav može biti grozd računala (*cluster*), pojedinačno računalo, komponenta, automobil, svemirski satelit, igračka psića na baterije i slično.

Neka je sustav koji promatramo računalo. Kažemo da je računalo u kvaru ako ne obavlja svoju funkciju. Ako računalo ima dvojnu matičnu ploču, ono neće biti u kvaru kada dođe do greške na jednoj matičnoj ploči (važno je naglasiti da ovdje spominjemo grešku jer je sustav računalo, a matična ploča je podsustav!), nego tek ako obje matične ploče imaju grešku, jer tada ni računalo neće raditi.

### 3.2.4 Vrste kvarova

- **Pojedinačni**
  - Opisuje mogućnost da bilo koji dio sustava, ako padne, uzrokuje prekid obavljanja rada sustava.
- **Kaskadni**
  - Sustav se sastoji od međusobno zavisnih dijelova (komponenata) pri približno punom opterećenju. Kvar nastaje pri greški na jednoj (ili više) komponenata, pri čemu se opterećenje te komponente prenosi na obližnje komponente, koje pri tome zbog dodatnog opterećenja mogu doći od greške i tako se kaskadno (kao domino) šire greške uzrokujući kvar.
  - Primjer: pad naponske mreže nakon kvara transformatora (pošalje šiljak napona).

## 4 RASPOLOŽIVOST I EFIKASNOST SUSTAVA

### 4.1 Sustav otporan na greške

Sustav otporan na greške (engl. *fault-tolerant system*) dio je takvog sustava koji može nastaviti rad u slučaju kvara neke od komponenti sustava.

Funkcija sustava ostaje nenarušena ili djelomično narušena, dok kod uobičajenih sustava (bez poduzetih mjera da bude otporan na pogreške) greška podsustava može odmah uzrokovati kvar sustava. Sustavi otporni na pogreške od iznimne su važnosti u područjima gdje je potrebna visoka raspoloživost (medicinska oprema, avionska navigacija...)

#### 4.1.1 Duplikacija komponenti

Za ostvarenje sustava otpornog na pogreške potrebno je duplicirati kritične komponente sustava. To je moguće ostvariti na sljedeće načine:

- **Replikacija**
  - Više identičnih primjeraka istog podsustava.
  - Zadaci se paralelno prosljeđuju svim primjercima.
  - Rezultat se određuje na temelju većine glasova (točan rezultat je onaj koji se pojavi kod većine).
- **Redundancija**
  - Više identičnih primjeraka istog podsustava.
  - Ako dođe do greške na jednom primjerku, rezervni će preuzeti njegovu funkciju.
- **Diverzifikacija** (raznolikost)
  - Više različitih implementacija istog podsustava.
  - Kao kod replikacije, svi primaju zadatak, a točan rezultat određuje većina glasova.

#### 4.1.2 Kada koristiti sustav otporan na pogreške

Nije uvijek potrebno imati sustav otporan na greške. Nekada nema potrebe za dupliciranim komponentama, nekada se ne isplati, a takvi sustavi osim očitih prednosti mogu imati i nedostatke (npr. zbog otpornosti na pogrešku možemo previdjeti grešku na komponenti te kasnije zamjenom neke komponente pogrešno zaključiti koja komponenta ne radi).

Kriteriji koji mogu pomoći pri odabiru tipa sustava su:

- **Stupanj kritičnosti komponente**
  - Matična ploča može biti kritična komponenta, floppy disk jedinica možda i nije.
- **Pouzdanost komponente**
  - Potrebno je procijeniti postoji li realna mogućnost da dođe do greške na komponenti.
- **Cijena**
  - Ukoliko nije riječ o sustavu koji bi mogao izazvati velike štete ako prestane s radom, a cijena sustava otpornog na grešku je previsoka, ne isplati se.
  - Osobno računalo, osobni automobil, televizor, igračka psića na baterije primjeri su sustava koji nisu isplativi niti bi donosili veću korist da su otporni na greške.

## 4.2 Efikasnost sustava

- Dizajniranje sustava visokog stupnja efikasnosti i raspoloživosti.
- Tipični pouzdani sustavi: 99.999% ili 99.9999% raspoloživosti.

## 5 TKO ŽELI ZNATI VIŠE... :-)

Članci koji su bili vrlo korisni pri sastavljanju ove skripte i koji mogu poslužiti kao početak za daljnje proučavanje problematike:

*Reliability Centred Maintenance*, [http://en.wikipedia.org/wiki/Reliability\\_centred\\_maintenance](http://en.wikipedia.org/wiki/Reliability_centred_maintenance)

*Maintenance, Repair and Operations*, [http://en.wikipedia.org/wiki/Maintenance%2C\\_Repair\\_and\\_Operations](http://en.wikipedia.org/wiki/Maintenance%2C_Repair_and_Operations)

*Preventive Maintenance*, [http://en.wikipedia.org/wiki/Preventive\\_maintenance](http://en.wikipedia.org/wiki/Preventive_maintenance)

*Predictive Maintenance*, [http://en.wikipedia.org/wiki/Predictive\\_maintenance](http://en.wikipedia.org/wiki/Predictive_maintenance)

*Reliability Engineering*, [http://en.wikipedia.org/wiki/Reliability\\_engineering](http://en.wikipedia.org/wiki/Reliability_engineering)

*Failure Rate*, [http://en.wikipedia.org/wiki/Failure\\_rate](http://en.wikipedia.org/wiki/Failure_rate)

*Mean Time Between Failure*, <http://en.wikipedia.org/wiki/MTBF>

*Redundancy*, [http://en.wikipedia.org/wiki/Redundancy\\_%28engineering%29](http://en.wikipedia.org/wiki/Redundancy_%28engineering%29)

*Fault Tolerant Design*, [http://en.wikipedia.org/wiki/Fault\\_tolerant\\_design](http://en.wikipedia.org/wiki/Fault_tolerant_design)

*Fault Tolerant System*, [http://en.wikipedia.org/wiki/Fault-tolerant\\_system](http://en.wikipedia.org/wiki/Fault-tolerant_system)

*Safety Engineering*, [http://en.wikipedia.org/wiki/Safety\\_engineering](http://en.wikipedia.org/wiki/Safety_engineering)

# SADRŽAJ

<b>1 Uvod u održavanje.....</b>	<b>1</b>
1.1 Ciljevi i zadaće održavanja.....	1
1.1.1 Što je održavanje?.....	1
1.1.2 Vrste kvarova.....	1
1.2 Vrste održavanja.....	2
1.2.1 Korektivno održavanje.....	2
1.2.2 Preventivno održavanje.....	3
1.2.3 Održavanje prema stanju.....	4
<b>2 Pouzdanost.....</b>	<b>5</b>
2.1 Definicija pouzdanosti.....	5
2.2 Srednje vrijeme između kvarova.....	5
2.3 Razdioba kvarova.....	6
2.3.1 Eksponencijalna razdioba kvarova.....	6
2.4 Funkcija pouzdanosti.....	6
2.5 Učestalost kvarova.....	7
2.5.1 Dijagram kade.....	8
2.6 Primjeri.....	8
2.6.1 Primjer 1.....	8
<b>3 Uzroci i vrste kvarova.....</b>	<b>10</b>
3.1 Pojam kvara i greške.....	10
3.1.1 Primjer 2.....	10
3.2 Uzroci i vrste kvarova.....	11
3.2.1 Redundancija.....	11
3.2.2 Serijski i paralelno spojene komponente.....	11
3.2.3 Primjer 3.....	11
3.2.4 Vrste kvarova.....	12
<b>4 Raspoloživost i efikasnost sustava.....</b>	<b>13</b>
4.1 Sustav otporan na greške.....	13
4.1.1 Duplikacija komponenti.....	13
4.1.2 Kada koristiti sustav otporan na pogreške.....	13
4.2 Efikasnost sustava.....	14
<b>5 Tko želi znati više... :-)......</b>	<b>15</b>