

# Ispitivanje pouzdanosti proizvoda



v.as.mr. Samir Lemeš  
slemes@mf.unze.ba



Tempus



## Zašto ispitivati proizvode?

- Nesigurnost u dizajn
- Ispitivanje gotovih proizvoda
- Varijacije parametara
- Održavanje
- Usaglašenost sa propisima i standardima

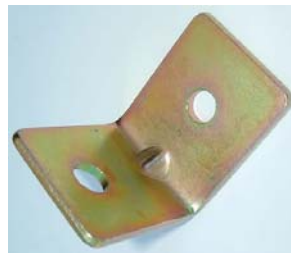


## Zašto ispitivati proizvode?

- **Nesigurnost u dizajn**
- Neophodno je potvrditi da dizajn proizvoda zadovoljava zahtjeve performansi, sigurnosti, pouzdanosti i trajnosti
- Ako dizajn ispunjava sve postavljene zahtjeve, onda ispitivanje nije potrebno
- Potreba za testiranjem je obrnuto proporcionalna nesigurnosti u dizajn

## Zašto ispitivati proizvode?

- **Nesigurnost u dizajn**
- Primjer: dizajn metalnog nosača
- Ako će funkcija biti stacionarna, dovoljno je izvršiti inženjerski proračun statičke nosivosti
- Vibracije, smanjenje mase, povišena temperatura, masovna proizvodnja,... – potrebno je dodatno ispitivanje i provjere dizajna



## Zašto ispitivati proizvode?

- **Nesigurnost u dizajn**
- Efekti eksploatacije i vanjski uticaji mogu biti teško ili nikako predvidljivi, tako da se njihov uticaj može provjeriti samo ispitivanjem
- Ispitivanje se može vršiti u svim fazama: konceptualna faza, faza dizajna, faza prototipa i faza proizvodnje

## Zašto ispitivati proizvode?

- **Ispitivanje gotovih proizvoda**
- Ako je faza dizajna prošla sve testove uspješno, potrebno je ispitati da li proces proizvodnje daje zahtijevane rezultate
- Zavisno od složenosti proizvoda, mogu se ispitivati samo uzorci ili svi proizvodi
- Nekad je dovoljno vršiti samo mjerenja ili kontrolu nekih parametara



## Zašto ispitivati proizvode?

- **Varijacije parametara**
- Svaki proizvod ima određeni broj parametara koji su promjenljivi tokom proizvodnje i eksploatacije: dimenzije, osobine materijala, uslovi okoline (temperatura, vibracije, podmazivanje, električni napon), ...
- Prilikom ispitivanja treba uzeti u obzir najvažnije parametre



## Zašto ispitivati proizvode?

- **Održavanje**
- Održavanje obuhvaća rutinske provjere, podmazivanje, kalibraciju mjernih uređaja, podešavanje i popravke
- Ispitivanje se provodi nakon zahvata održavanja, da bi se provjerilo funkcionisanje proizvoda ili da li je popravka izvršena uspješno



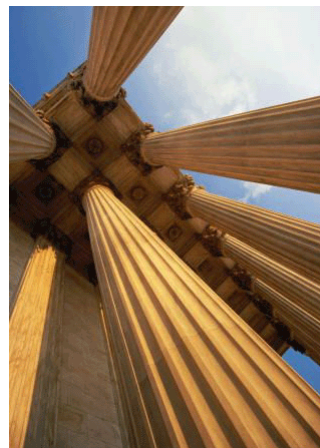
## Zašto ispitivati proizvode?

- Usaglašenost sa propisima i standardima
- Neki proizvodi podliježu propisanim načinima i metodama ispitivanja
- Posude pod pritiskom
- Električni uređaji
- Mjerni uređaji
- Motorna vozila



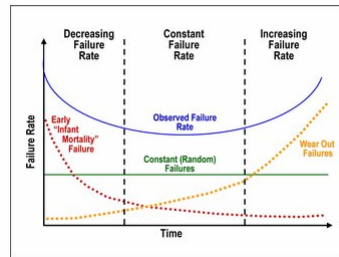
## Pouzdanost

- Pouzdanost je vjerojatnoća da će sistem raditi na zadovoljavajući način pod određenim uslovima u određenom vremenskom razdoblju
- Sa aspekta krajnjeg korisnika, pouzdanost je vezana za garantni rok
- Taj pristup ne mjeri kvalitet tokom vremena



## Pouzdanost

- Proizvođač se obavezuje da u garantnom roku ili neće doći do kvarova ili da će sve nastale kvarove otkloniti o svom trošku
- Učestalost kvarova u i izvan garantnog roka ugrožava reputaciju proizvođača
- **Pouzdanost** ocjenjuje kvalitet proizvoda u zavisnosti od vremena



## Pouzdanost

- Pouzdanost (*Reliability*) se može izraziti i preko broja kvarova u datom vremenskom periodu
- Trajnost (*Durability*) je poseban aspekt pouzdanosti koji označava sposobnost proizvoda da izdrži uticaj mehanizama kao što su habanje, korozija, promjena električnih parametara itd. tokom vremena
- Trajnost: vrijeme; Pouzdanost: vjerovatnoća

## Pouzdanost

- Ciljevi analize pouzdanosti su:
- Primjena inženjerskih znanja i specijalističkih tehnika s ciljem smanjenja ili sprečavanja pojave kvarova
- Identifikacija i otklanjanje uzroka kvarova
- Određivanje korektivnih aktivnosti u slučaju da do kvarova ipak dođe



## Pouzdanost

- Kvar (*Failure*) je stanje u kojem proizvod ne zadovoljava traženu ili očekivanu funkciju
- Da bi se mogli predvidjeti i spriječiti kvarovi, potrebno je znati uzroke za pojavu kvarova
- Osnovni uzroci kvarova obuhvaćaju:
  - Nepravilan ili pogrešan dizajn
  - Preopterećenje
  - Promjene uticajnih parametara
  - Istrošenost

## Pouzdanost

- Kvar (*Failure*) je stanje u kojem proizvod ne zadovoljava traženu ili očekivanu funkciju
- Da bi se mogli predvidjeti i spriječiti kvarovi, potrebno je znati uzroke za pojavu kvarova
- Osnovni uzroci kvarova obuhvaćaju:
  - Nepravilan ili pogrešan dizajn
  - Preopterećenje
  - Promjene uticajnih parametara
  - Istrošenost

## Pouzdanost

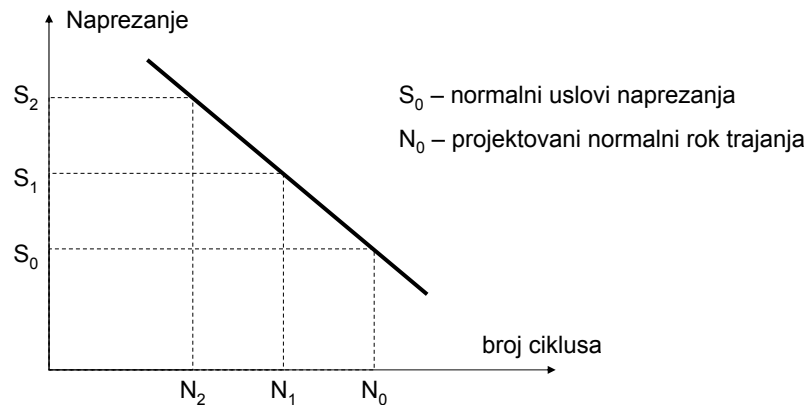
- Primjer iskazivanja pouzdanosti:
- Proizvod (akumulator) će davati napon od 12V sa 95% pouzdanosti tokom 2 godine u normalnim uslovima zatvorenog prostora
- Funkcija
- Vjerovatnoća
- Vrijeme
- Uslovi okruženja





## Pouzdanost

### ■ S-N dijagram



## Pouzdanost

- Jednačina kojom se definiše pouzdanost uređaja:

$$R = 100 \cdot e^{-\frac{t}{m}}$$

- R - vjerojatnoća da će uređaj raditi unutar specificiranih tolerancija za vrijeme t,
- e - baza prirodnog logaritma
- t - posmatrano vrijeme
- m - srednje vrijeme između pojave kvarova

## Pouzdanost

- Iz jednačine se vidi da se pouzdanost povećava sa povećanjem srednjeg vremena između pojave kvarova (MTBF).
- Formula ne odgovara za opremu koja je na početku rada i koja je na kraju predviđenog operativnog rada
- MTBF (Mean Time Between Failures)
- Srednje vrijeme do pojave kvara

## Pouzdanost

- Za većinu standardnih serijski proizvedenih uređaja), MTBF iznosi 1000 ili više sati rada do pojave kvara
- Npr. 1000 sati MTBF-a odgovara za 24-satni rad pouzdanost od 97.5%
- Vjerojatnoća kvara u 24 sata je 2.5%



## Pouzdanost

- Pouzdanost složenih sistema:
- Serijski sistemi:  
 $R_s = (R_1) (R_2) (R_3) (R_4) (R_5)$
- Paralelni (redudantni) sistemi:  
 $R_s = 1-(1-R_1) (1-R_2) (1-R_3) (1-R_4)$

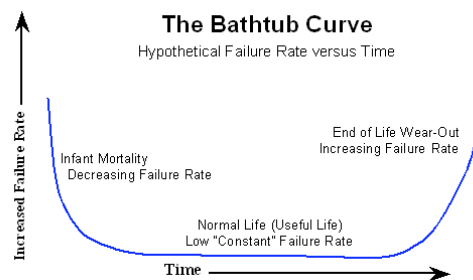
## Pouzdanost

- MTTF (Mean Time To Failure)
- Srednje vrijeme do pojave kvara
- Koristi se kod proizvoda koji se ne mogu popraviti
- Nekad se na osnovu analize troškova utvrdi da se ne isplati popravljati pokvaren dio, nego je bolje izvršiti zamjenu novim dijelom
- Neke komponente su fizikalno nepopravljive (osigurači, sijalice,...)



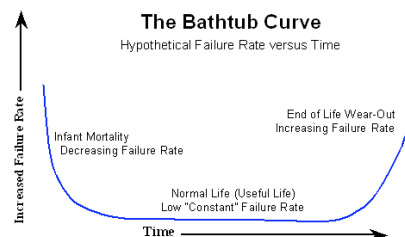
## Kriva pouzdanosti

- Životni ciklus proizvoda se može podijeliti na tri perioda
- Koritasta krivulja prikazuje životni ciklus proizvoda



## Kriva pouzdanosti

- Period uhadavanja: vjerovatnoća pojave kvarova opada
- Period normalnog životnog vijeka: vjerovatnoća pojave kvarova je konstantna
- Period starenja – vjerovatnoća pojave kvarova raste



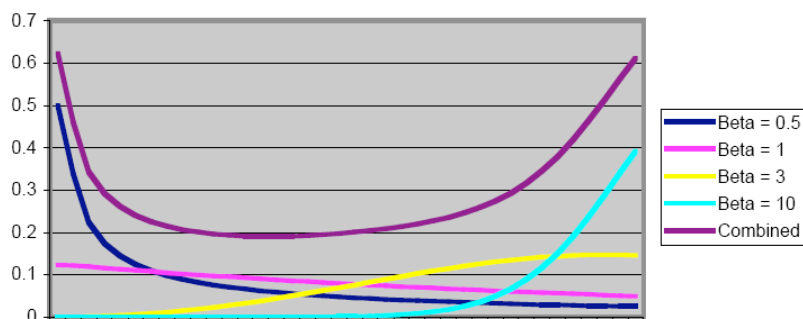
## Kriva pouzdanosti

- Weibullova analiza se može koristiti kao metoda za određivanje kojem dijelu krive pouzdanosti pripada populacija proizvoda
- Weibullova distribucija je 3-parametarska distribucija
- Parametri su  $\beta$ ,  $\eta$ , i vrijeme

$$f(T) = \left(\frac{\beta}{\eta}\right) \left(\frac{T}{\eta}\right)^{[\beta-1]} e^{-\left(\frac{T}{\eta}\right)^\beta}$$

## Kriva pouzdanosti

- Parametar  $\beta$  pokazuje učestalost kvarova
- Kad je  $\beta < 1$ , radi se o periodu uhodavanja



## Određivanje pouzdanosti

- Dva pristupa pouzdanosti:
- Tehnike mjerenja
  - Predviđanje pouzdanosti (faza dizajna)
  - RDT/ALT (faza prototipa)
- Tehnike unapređenja
  - FMEA (faza dizajna)
  - HALT (faza prototipa)

## Određivanje pouzdanosti

- **Predviđanje pouzdanosti**
- Metod proračuna pouzdanosti proizvoda određivanjem vjerovatnoće pojave kvara svake pojedine komponente, a ztim sumiranjem svih pojedinačnih vjerovatnoća
  - Za određivanje broja rezervnih dijelova
  - Kod izbora komponenti proizvoda
  - Za utvrđivanje garantnog roka
  - Za utvrđivanje parametara za RDT/ALT

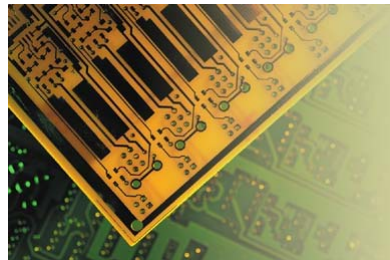
## Određivanje pouzdanosti

- **RDT (Reliability Demonstration Test)**
- Ispitivanje demonstracijom pouzdanosti
- Uzorci proizvoda se ispituju da bi se provjerili zahtjevi pouzdanosti
- Obično se ispitivanja izvode pod većim opterećenjem (okolinski, električni ili mehanički parametri) da se rezultati dobiju za kraće vrijeme



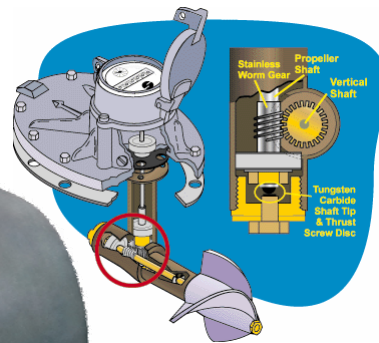
## Određivanje pouzdanosti

- **ALT (Accelerated Life Test)**
- Ispitivanje ubrzanim životnim vijekom
- Tehnika slična RDT-u, koristi se i za:
- karakterizaciju dominantnih mehanizama pojave kvarova, obično usljed istrošenosti
- češće na nivou sklopa nego na nivou cijelog sistema



## Određivanje pouzdanosti

- Ako nije moguće izabrati faktor ubrzanja, isti se određuje eksperimentalnim putem
- Ako je dominantni uzrok kvarova istrošenost, ne može se kompenzirati vrijeme povećanim brojem ispitanih proizvoda



## Određivanje pouzdanosti

- **FMEA (Failure Modes Effects Analysis)**
- Analiza efekata načina pojave kvarova
- Sistematska tehnika za analiziranje sistema na sve potencijalne načine pojave kvara
- Koristi se za identifikaciju komponenti sa najvećim rizikom, te za ublažavanje njihovog uticaja na ukupni rizik proizvoda



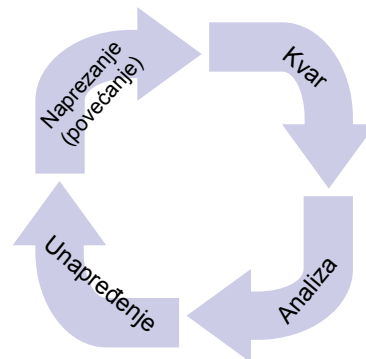


## Određivanje pouzdanosti

- **HALT (Highly Accelerated Life Testing)**
- Ispitivanje jako ubrzanim životnim vijekom
- Metoda primjene progresivno visokih nivoa opterećenja (okolinskih, električnih, mehaničkih) na proizvod sve do tačke pojave kvara, s ciljem povećanja i unapređenja robusnosti dizajna i proširenja granica područja upotrebe

## Određivanje pouzdanosti

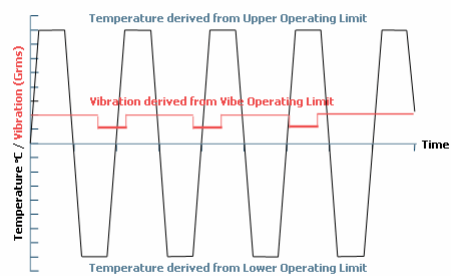
- HALT se koristi za:
- Brzo otkrivanje grešaka u dizajnu
- Ocjenu i proširenje granica dizajna
- Izbacivanje "zrelih" proizvoda na tržište
- Smanjenje vremena i troškova razvoja
- Ocjenu ušteta na proizvodu



## Određivanje pouzdanosti

- **HASS (Highly Accelerated Stress Screen)**
- Praćenje jako ubrzanog opterećenja
- Ekstremno visoki nivoi opterećenja

HASS - Detection Screen Example



Ramp Rate of 60°C per minute  
Dwell Time of 10-15 minutes

## Određivanje pouzdanosti

- Statističke metode koje se koriste za ubrzano određivanje životnog vijeka (HALT, ALT, HASS):
  - Arrheniusov model
  - Eyring model
  - Peck model
  - Reich-Hakim model
  - Lawson model
  - Coffin-Manson model

## Određivanje pouzdanosti

- **Arrheniusov model** se koristi za određivanje kako temperatura ubrzava starenje proizvoda u odnosu na uslove normalne temperature

- Faktor ubrzanja:  $t_f = A \cdot e^{\left(\frac{E_a}{k} \left(\frac{1}{T_u} - \frac{1}{T_t}\right)\right)}$

- $E_a$  = energija aktivacije (eV)
- $k$  = Boltzmannova konstanta
- $T_u$  = referentna temperatura
- $T_t$  = temperatura testiranja

## Određivanje pouzdanosti

- Energija aktivacije ( $E_a$ ) zavisi od mehanizma pojave kvara i od materijala, i kreće se od 0,3 do 1,5
- Arrheniusov model se uspješno koristi kod kvarova koji nastaju usljed hemijskih procesa, procesa difuzije ili migracijskih procesa
- Najčešća primjena: ispitivanje elektronskih komponenti

## Određivanje pouzdanosti

- **Eyring model** je unaprijeđeni Arrheniusov model koji uzima u obzir naprezanja iz okoline, kao što su termomehaničke pojave

$$t_f = AT^\alpha \cdot e^{\left(\frac{Ea}{kT} + \left(B + \frac{C}{T}\right)S_1 + \left(D + \frac{E}{T}\right)S_2\right)}$$

- $S_1$  i  $S_2$  su funkcije koje zavise od npr. napona i jačine struje
- A, B, C, D, E: parametri ubrzanja

## Određivanje pouzdanosti

- Sljedeći modeli uzimaju u obzir temperaturu i vlažnost:
- **Peck model** – normalizirane vrijednosti temperature (85°C) i vlažnosti (85%)
- **Reich-Hakim model** – određuje srednji životni vijek komponente  $t_{50\%}$
- **Lawson model** – faktor ubrzanja raste linearno s temperaturom i nelinearno sa vlažnošću

## Određivanje pouzdanosti

- **Coffin-Manson model** se koristi za mehaničke uzroke otkaza (npr. propagacija pukotine)

$$N_f = A \cdot f^{-\alpha} \cdot \Delta T^{-\beta} \cdot G(T_{\max})$$

- $N_f$  = Broj ciklusa do pojave kvara
- $f$  = frekvencija ciklusa
- $\Delta T$  = promjena temperature tokom ciklusa
- $G(T_{\max})$  = Arrheniusov model