

## POUZDANOST PROCESA

## PROCESS RELIABILITY

**Dr.sci. Osman Hatunić, van.prof.**

**Dr.sci. Džemo Tufekčić, red.prof.**

**Mašinski fakultet**

**75000 Tuzla**

**Ključne riječi:** pouzdanost procesa, model, sistem

### **REZIME:**

*Tehnika proučavanja pouzdanosti je relativno mlada naučno-tehnička disciplina koja predstavlja poseban dio teorije projektovanja složenih sistema ili »sistema velikih razmjera«. Pri projektovanju složenih sistema ili pri planiranju programa tehničkih istraživanja u bližoj budućnosti neophodno je usvajati različita rješenja u uslovima nepostojanja potpunih izvornih informacija, postavljati više varijanti projekta i donositi određene potrebne odluke.*

**Key words:** process reliability, model, sistem

### **SUMMARY**

*Tehnic off the examination reliability is relatively young science-professional discipline which represents special part off the theory projecting complex systems, or «huge proportion systems».*

*During projecting complex, or during the planning program off technical invention in the near future it is necessary to adopt diferent solutions in conditions off non existing complete source informations, and set up more project variants and bring out needed decisions.*

*There are two basic possibilities for setting principles off reabilities with sistem:*

- 1. Projecting elements off producing sistem off high level reability, and high expense,*
- 2. Setting up sistem off reliability with less reliable elements but with relative lower investment.*

## **1. UVOD**

Jedan od osnovnih zadataka koje treba riješiti projektom je takvo raspoređivanje materijalnih sredstava i mogućnosti predviđene tehnike koje obezbjeđuje optimalan odnos pouzdanosti projektovanog sistema i ostalih pokazatelja koji su karakteristični za postavljanje i eksploataciju tog sistema. Rješenja ove vrste se zasnivaju na primjeni metoda vjerovatnoće, metoda teorije masovnog posluživanja kao i metoda matematičkog programiranja. Razmatranja pouzdanosti sistema imaju za cilj da umjesto analize gotove činjenice uvedu inženjersku disciplinu prethodnog istraživanja i projektovanja maksimalno pouzdanih sistema.

Problem projektovanja složenih sistema, za razliku od konstruisanja pojedinačnih tipova opreme, se sastoji u znatno većem krugu uslova organizacionog, iskustvenog i tehničkog karaktera. Potrebno je uočiti probleme cjeline sistema u većoj mjeri nego probleme pojedinog oruđa ili mašine.

Složeni sistemi mogu izvršavati čitav niz funkcija ali zahtijevaju takođe i čitav niz osnovnih i pomoćnih sredstava kao i velika ulaganja.

Obezbeđenje pouzdanosti ovakvih sistema predstavlja ozbiljan zadatak inženjera-projektanta sistema, zadatak koji se svodi na slijedeće:

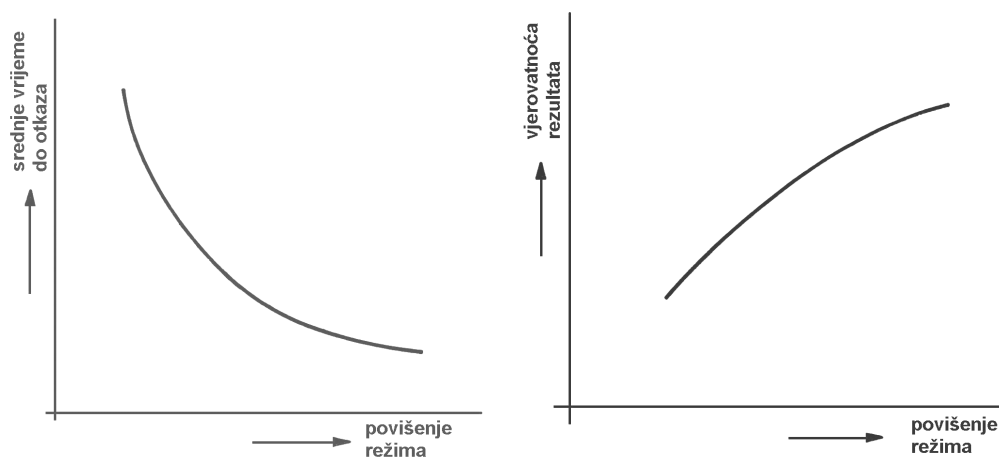
1. Razmatranje posljedica otkaza sistema (proizvodnog, tehnološkog, poslovnog, društvenog, vojnog)
2. Izučavanje problema dužih zastoja
3. Obezbeđenje bezopasnosti sistema.

Istraživanja su pokazala da pouzdanost sistema opada sa povišenjem elemenata režima rada.

## 2. POSTAVLJANJE PRINCIPA POUZDANOSTI ODREĐENOG SISTEMA

Dvije su osnovne mogućnosti postavljanja principa pouzdanosti određenog sistema i to:

1. Projektovanje elemenata proizvodnog sistema visokog stepena pouzdanosti i shodno tome visokih troškova i
2. Postavljanje sistema pouzdanosti iz manje pouzdanih elemenata ali i sa relativno nižim ulaganjima.



SLIKA 1. – ZAVISNOST VJEROVATNOĆE OSTVARENJA REZULTATA I SREDNJEG VREMENA DO OTKAZA OD POVIŠENJA ELEMENATA REŽIMA RADA DATOG PROCESA

Pokazalo se, kako je lako zapaziti da problem pouzdanosti složenog sistema kakav je proces ili bilo kog drugog, nije moguće postići jednostranim mjerama, već je potrebno projektovati i izvesti kompleks mijera različitog karaktera koje će obezbijediti traženi stepen pouzdanosti. Na osnovu datih razmatranja može se reći da je **POUZDANOST SISTEMA** vjerovatnoća da će projektovani sistem izvršavati projektom postavljenu funkciju u predviđenom vremenu i pri postojanju uslova okoline.

## 3. VRSTE SISTEMA

U opštem slučaju razlikujemo dvije vrste sistema i to:

1. Sistemi kod kojih se ne primjenjuju mjere održavanja u toku rada sve do otkaza svih rezervnih podsistema, odnosno sistemi kod kojih je nemoguće vršiti opravke u momentu pojava kvara (vasionski brodovi, rakete i sl.) i
2. Sistemi kod kojih je moguće primjenjivati mjere održavanja u trenutku pojave kvara i tokom vremena njihove eksploatacije (skoro svi sistemi na zemlji pa prema tome i sistemi proizvodnih procesa).

## 4. KRITERIJI FUNKCIJE POUZDANOSTI

Niz ispitivanja je pokazao da se u osnovi mogu razlikovati četiri kriterija za ocjenu pouzdanosti i to:

### 1. *Gotovost sistema*

Gotovost sistema je kriterij koji određuje sposobnost stupanja u dejstvo sistema u potrebnom trenutku. Razlikujemo:

- 1.1. Trenutnu gotovost koja predstavlja vjerovatnoću gotovosti stupanja u dejstvo datog sistema u bilo kom slučajno izabranom trenutku vremena  $t$
- 1.2. Relativno vrijeme ispravnosti ili ciklus trajanja u toku koga je dati sistem pripravan za eksploataciju
- 1.3. Gotovost pri predviđenom režimu rada predstavlja period vremena u toku koga je dati sistem pripravan za korišćenje ako je razmatrani period dovoljno velik.

Izbor datih potkriterija za ocjenu gotovosti zavisi od grafika rada sistema. Ako je grafik rada takav da je vrijeme rada  $t_i$  niz puta manje od vremena prekida  $t_p$ , to se može očekivati da će stepen gotovosti biti blizak jedinici jer se vjerovatno u dugom vremenu prekida mogu otkloniti svi nedostaci koji uzrokuju otkaze i obratno, za malo  $t_p$  i veliko  $t_i$ , koeficijent gotovosti će opadati zbog nemogućnosti dejstva sistema održavanja.

### 2. *Vjerovatnoća bezotkaznog rada*

Vjerovatnoća bezotkaznog rada predstavlja kriterij pouzdanosti koji karakteriše vjerovatnoća da sistem u datom intervalu vremena neće dostići stanje punog otkaza pri uslovu da je u početku datog intervala sistem bio u stanju potpune pripravnosti.

Vjerovatnoću bez otkaznog rada je neophodno koristiti za sisteme koji se ne mogu u toku rada podešavati. Jasno je da postavljanje paralelnih rezervnih podsistema kao i njihove opravke odmah po pojavi kvara u odnosu na opravke poslije ispadanja cijelog rezervnog sistema povećavaju vjerovatnoću bez otkaznog rada.

### 3. *Srednje vrijeme do otkaza sistema*

Za sisteme kod kojih je moguća opravka u toku srednje vrijeme do otkaza sistema predstavlja očekivano vrijeme u toku koga se sistem nalazi u stanju sposobnosti za rad i pri uslovi da je na početku rada sistem bio potpuno ispravan. Kod sistema drugog tipa kod kojih opravka nije moguća, srednje vrijeme do otkaza je karakterisano očekivanim vremenom u toku koga je sistem u stanju sposobnosti za rad, što znači do trenutka dok ne otkaze sva oprema.

### 4. *Trajanje prinudnog zastoja*

Vrijeme trajanja jednog prinudnog zastoja može kod nekih sistema poslužiti kao najbolja mjera efektivne pouzdanosti. Kod sistema odbrane npr. u vremenu trajanja prinudnog zastoja može uslijediti dejstvo neprijatelja. Trajanje ovakvih zastoja može, vezano sa troškovima zakašnjenja, biti odličan pokazatelj efikasnosti sistema. Naročito kada je rad drugih dijelova sistema uslovljen radom dijela koji ima prinudan zastoj.

### 5. *Druge mjere efektivne pouzdanosti.*

U nekim slučajevima ima smisla objediniti mjere pouzdanosti i funkcionisanja u jednu mjeru. U svakom slučaju je neophodno da se data mjera pouzdanosti može izraziti kvantitativno, da ima svoju fizičku osnovu, da nije suviše prosta niti složena u odnosu na realnost i da se može matematski obrađivati. Treba reći, da troškovi moraju biti prisutni pri ocjeni pouzdanosti. Moguće je razraditi potpuno pouzdan sistem ali da utrošena sredstva ne opravdavaju rješenja. Međutim, nije neophodno da u model pouzdanosti uđu troškovi jer ovo može da utiče na rad. Troškove ostvarenja određenih varijanti je moguće i potrebno ocjeniti poslije ostvarenja funkcije i potrebnog stepena pouzdanosti. Usvojivši mjeru efektivne pouzdanosti moguće je izvršiti optimiranje njenog značenja prema troškovima. Jedna od procedura optimiranja se sastoji u postizanju zadatog nivoa gotovosti pri najmanjim troškovima izvedbe ili obratno, dobijanje maksimalne gotovosti za zadate troškove postavljanja mjere efektivne pouzdanosti ili postizanje optimuma između mjere efektivne pouzdanosti i gotovosti sistema.

## 5. MODEL POUZDANOSTI SISTEMA

### 5.1. *Opšta razmatranja*

Osnovni zadatak pri razmatranju pouzdanosti sistema se sastoji u postavljanju matematičkih modela pouzdanosti u cilju ostvarenja mogućnosti za poređenje različitih varijanti projekta i izbor najpovoljnije varijante.

Za determinisanje pouzdanosti zadatog sistema potrebno je odrediti:

1. Proces pojave otkaza opreme (sredstava rada) datog sistema.
2. Strukturu sistema koja prikazuje karakter postavljanja i spajanja elemenata kao i principe rada.
3. Uslove otkaza sistema.
4. Pravila i strategiju izvođenja opravki.

*Proces pojave otkaza opreme* - opisuje vjerovatnu zakonitost koja određuje otkaze. Pokazalo se da je najbliže stvarnosti hipoteza da se otkazi povinuju zakonu eksponencijalne raspodjele koji daje mogućnost dalje matematske obrade.

*Struktura sistema* — određuje oblik funkcije pouzdanosti. Npr. za dvije jedinice opreme iste vrste može se predvidjeti paralelan rad (obje jedinice rade istovremeno) ili naizmeničan (jedna jedinica radi a druga se uključuje kada prva otkaze).

*Uslovi otkaza sistema* su treći parametar koji definiše funkciju pouzdanosti. Ako na primjer za slučaj dvije jedinice opreme koje rade paralelno otkazu obje jedinice opreme sistem prestaje da radi. Uslov otkaza sistema je prema tome otkaz obje jedinice opreme.

*Pravila i strategija izvođenja remonta sistema.* Ako dijelovi opreme koji često ispadaju iz rada imaju malo vrijeme opravke u odnosu na one dijelove koji rjeđe otkazuju najvjerovatnije je da će vrijeme remonta odgovarati zakonu eksponencijalne raspodjele. Ako pak, svaki dio sistema ima istu intenzivnost otkaza i zahtijeva jednako vrijeme opravki tada je za sistem u cjelini bolje uvesti ravnomjernu raspodjelu vremena opravki. Za konstruktora je lakše promijenuti raspodjelu vremena opravke nego raspodjelu vremena pojave otkaza. Npr. ako mali broj dijelova predstavlja osnovni procenat otkaza opreme to je tada moguće projektovati i obezbijediti brzu zamjenu ovih dijelova.

Ekperimentalni i eksploatacioni podaci iz proučavanja pouzdanosti potvrđuju da se otkazi dešavaju po zakonu eksponencijalne raspodjele. U literaturi su razmotreni mnogi tipovi raspodjele otkaza. Kako su opiti pokazali moguće je pomoću matematičkih modela u dovoljnoj mjeri tačno prognozirati otkaze elemenata sistema i na osnovu toga projektovati sistem.

## 5.2. Osnovni parametri modela

Uzmimo da u nekom trenutku vremena  $t=0$  imamo  $n$  jednakih jedinica opreme istih vremenskih karakteristika i sa identičnom distribucijom vjerovatnoća otkaza  $F(t)$ .

Razmatraćemo dva slučaja:

1. Jedinice koje otkazu se ne zamjenjuju

U ovom slučaju je očekivani broj otkaza  $n_f(t)$  u vremenu  $t$  ravan:

$$n_f(t) = n \cdot F(t)$$

Na isti način je očekivani broj ispravnih jedinica  $n_s(t)$  u trenutku  $t$ :

$$n_s(t) = n - n_f(t) = n - n \cdot F(t) = n \cdot [1 - F(t)]$$

Učestanost otkaza (ispadanja iz stroja) datih jedinica opreme je moguće odrediti kao izvod očekivanog broja otkaza po vremenu čime se dobija:

$$\frac{dn_f(t)}{dt} = \frac{d[n \cdot F(t)]}{dt} = n \cdot F'(t) = n \cdot f(t)$$

gde je:

$f(t)$  - funkcija gustine vjerovatnoće.

Odnos učestanosti otkaza i očekivanog broja ispravnih jedinica opreme u trenutku  $t$  se naziva intenzitet otkaza i dat je slijedećom vezom:

$$q(t) = \frac{\frac{d}{dt} n f(t)}{n_s(t)} = \frac{n \cdot f(t)}{n[1 - F(t)]} = \frac{f(t)}{1 - F(t)}$$

Intenzitet otkaza  $q(t)$  je statistički pokazatelj sa kojim se u najčešćem broju slučajeva ima posla. Treba ga razumjeti kao uslovnu gustinu vjerovatnoće otkaza jedinice opreme u vremenu  $(t)$  pri uslovima da je ista do tog vremena radila ispravno. Ako se pretpostavi da je raspodjela vjerovatnoće otkaza eksponencijalnog karaktera tj.:

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

gde je:

$\lambda$  konstanta

to se dobija:

$$f(t) = F'(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}$$

2. Intenzitet otkaza

$$q(t) = \frac{f(t)}{1 - F(t)} = \frac{\lambda \cdot e^{-\lambda t}}{1 - (1 - e^{-\lambda t})} = \frac{\lambda \cdot e^{-\lambda t}}{e^{-\lambda t}} = \lambda$$

Na osnovu datog moguće je zaključiti da oprema ima postojan (konstantan) intenzitet otkaza što u suštini znači da je vjerovatnoća otkaza određene jedinice opreme u momentu vremena  $t + dt$  pri uslovu da je ista bila ispravna u trenutku  $t$  ravna  $\lambda dt$  a vjerovatnoća pojave jednog ili više otkaza u intervalu  $t, t + dt$  je ravna  $\lambda dt + o(dt)$  pri čemu je drugi član zavisao od veličine  $dt$  i prema tome zanemarljivo mali.

2. Jedinice koje otkazu se zamjenjuju.

Pretpostavimo da je moguće, pri svakom otkazu određene jedinice opreme, izvršiti odmah njenu zamjenu što znači da ćemo uvijek imati garnituru od  $n$  jednakih jedinica opreme. Međutim, usljed zamjene neke od jedinica novom to će vremenske karakteristike svake od jedinica biti različite. Broj zamjena poslije pojave prvih otkaza će kao  $i$  u prethodnom slučaju biti:

$$n F(t)$$

Kako međutim, zamjene jedinice takođe mogu otkazati to je neophodno ovu mogućnost uzeti u obzir. Ako srednji broj očekivanih zamjena u vremenu  $t$  označimo sa:

$$u(t) = E\{n(t)\}$$

to će biti:

$$U(t) = P\{n(t) \geq 1\} + P\{n(t) \geq 2\} + \dots$$

što znači da će srednji broj očekivanih zamjena u vremenu  $t$  biti ravan vjerovatnoći otkaza jedne ili više jedinica opreme plus vjerovatnoći otkaza dvije ili više jedinica opreme plus itd.

Ako uzmemo da je:

$$P\{n_1(t) \geq k\} = F^k(t) \quad n(t) = \cdot n_1(t)$$

gdje je:

$F^k(t) = k$  - ta omča funkcije rasporeda  $F(t)$  tj.

$$F^{n+1}(t) = \int_0^1 F^n(t - \tau) dF(\tau)$$

Na taj način je:

$$U(t) = n \cdot \sum_0^{\infty} F^k(t) \quad \text{ili}$$

$$U(t) = n \cdot F(t) + \int_0^1 U(t-\tau) dF(\tau) = n \cdot F(t) + \int_0^1 U(t-\tau) f(\tau) \cdot d\tau$$

Učestanost zamjena  $u(t)$  se može dobiti prosto kao izvod  $U(t)$  po vremenu tj.:

$$u(t) = \frac{dU(t)}{dt} = n \cdot f(t) + \int_0^1 u(t-\tau) f(\tau) d\tau$$

Rješenje ove jednačine je moguće dobiti korišćenjem Laplasovih zamjena za omče pa se uz pretpostavku da je:

$$f(t) = \lambda \cdot e^{-\lambda t}$$

dobija:

$$L\{u(t)\} = \frac{n \cdot \lambda}{s}$$

pa se koristeći obrnutu zamjenu dobija:

$$u(t) = n \cdot \lambda$$

Na ovaj način se vidi da je u slučaju procesa sa zamjenama kao i kod procesa bez zamjena pri eksponencijalnoj raspodjeli otkaza uslovna vjerovatnoća otkaza jedinice opreme u intervalu  $t, t + dt$  pri uslovu da je bila ispravna u momentu  $t$  ravna  $\lambda dt$ . Ovim je utvrđen veoma važan rezultat koji dozvoljava da se operiše uslovnim vjerovatnoćama otkaza kako za sisteme kod kojih nije moguća tako i za sisteme kod kojih je moguća zamjena u toku rada.

## 6. ZAKLJUČAK

U sravnjivanju različitih varijanti projekta procesa neophodno je razmatranje pojava na znatno višem nivou od nivoa podsistema datog procesa jer je samo u tom slučaju moguće pravilno postaviti uslove funkcionisanja sistema i njegovog daljeg usavršavanja. Ako npr. postavljamo proces automatizirane kontinuirane proizvodnje neophodno je u svrhu izbora tipa za mjerenje i obradu podataka odrediti sadašnje i buduće uslove rada preduzeća u cjelini. Prethodno rješenje projekta (idejno rješenje) treba da dâ odgovor na naprijed definisana pitanja posljedica otkaza, dužih zastoja i bezopasnosti. Vrlo često su u pitanju protivrječni ciljevi. Pretpostavimo na primjer da tražimo:

- Minimum vremena zastoja
- Minimum troškova eksploatacije.

Data dva cilja su protivrječna jer se smanjenje zastoja rješava pored ostalog i uvođenjem rezervnih sredstava rada a ovo opet povlači za sobom povećanje troškova eksploatacije. U ovakvim slučajevima je neophodno pronaći potreban i dovoljan optimum između tražene pouzdanosti i troškova ostvarenja iste.

## 7. REFERENCE

- [1] MEREDITH R.J.: «The management of operations», John Wiley, New York. 1998.
- [2] MUTILER R.: «Production = linetechnique», McGraw – Hill Book Company, New York and London, 1994.
- [3] OPITZ H.: «Produkt planung konstruktion arbeit svorbereitung», W.Girand st, Essen, 1981.
- [4] SCHONBERGER J.R.: «Operations management productiviti and quality», Business publications, Plano Texas, 1991.
- [5] TABORŠNK D. BUCHBERGER Č.: «Studija rada», Zavod za unapređenje produktivnosti rada, Zagreb, 1988.
- [6] TUFEKČIĆ DŽ , BRDAREVIĆ S.: «Obrada rezanjem», Fakultet elektrotehnike i mašinstva u Tuzli, Mašinski fakultet u Zenici, Tuzla, 1995.