

**ANALIZA PLANA TESTIRANJA POUZDANOSTI SLOŽENIH  
MAŠINSKIH SISTEMA**

**ANALYSIS OF A PLAN FOR RELIABILITY TESTING OF COMPLEX  
MECHANICAL SYSTEMS**

**Doc.dr. Mustafa Imamović**

**Mr. Abaz Manduka**

**Mr. Sabahudin Jašarević**

**University of Zenica,**

**Faculty of Mechanical Engineering in Zenica, B&H**

**REZIME**

*Pouzdanost podrazumijeva uspjeh i predstavlja vjerovatnoću da će sistem uspješno funkcionisati u određenom vremenskom intervalu. Drugim riječima, pouzdanost podrazumijeva da u određenom intervalu vremena nije bilo otkaza.*

*Za utvrđivanje nivoa pouzdanosti mašinskih sistema neophodno je izvršiti mjerenje i verifikaciju pouzdanosti koje zajedno čine testiranje pouzdanosti. Pri tome je neophodno utvrditi u prethodnoj fazi planove testiranja koji su osnova za utvrđivanje pouzdanosti.*

*U ovom radu je pokazano kako se mogu formirati planovi testiranja pouzdanosti složenih mašinskih sistema, osnovne karakteristike planova kao i načini realizacije istih.*

*Za konkretan primjer je prikazano testiranje pouzdanosti valjanica kao složenih mašinskih sistema.*

**Ključne riječi:** pouzdanost, testiranje pouzdanosti, plan pouzdanosti, pouzdanost valjaonice

**SUMMARY**

*Reliability implies success and represents probability of successful system operation for certain time period. In other words, reliability means that there were no breakdowns in certain time period.*

*To ascertain level of reliability of mechanical systems, certain measurements and reliability verification is required; these two together form reliability testing sequence. In accordance to this, planning stage demands definition of testing plans which are going to be used as starting point for reliability determination.*

*This paper explains making of plans for testing reliability of complex mechanical systems, basic plan characteristics as well as means of execution of the same plans.*

*Rolling mills reliability test is shown here as an example of complex mechanical systems reliability testing.*

**Keywords:** reliability, reliability testing, reliability plan, rolling mills reliability

## 1. UVOD

Pouzdanost je vjerovatnoća da će tehnički sistem/proizvod obaviti namjenjenu funkciju u zatom vremenskom intervalu, u specificiranim uslovima. Iz definicije slijedi da pouzdanost pokazuje vremensku dimenziju (dužinu) funkcionisanja proizvoda bez otkaza. Pouzdanost je izuzetno bitna, posebno za proizvode/sisteme čije funkcionisanje imaju širi značaj za okolinu i društvo. Potrebno je posebno naglasiti nepouzdanost, otkaze i posljedice koje otkazi proizvoda mogu imati na sisteme i okolinu.

Realizovani sistemi u fazi razvoja ili proizvodnje imaju neku pouzdanost. Za inženjersku praksu i za praktičnu upotrebu proizvoda bitno je da se zna nivo pouzdanosti, kao i da se izmjeri i verifikuje nivo pouzdanosti testiranjem proizvoda.

Gledano sa stanovišta praktične primjene, problematika pouzdanosti proizvoda i sistema ima dva dijela. Prvi dio čini projektovanje, a drugi dio testiranje pouzdanosti.

U okviru projektovanja pouzdanosti, vrši se postavljanje i analiza zahtjeva, uspostavlja projekat sistema sa stanovišta pouzdanosti, vrši proračun pouzdanosti i različite analize koje se sprovode u cilju procjene nivoa pouzdanosti, određivanje kritičnih elemenata, efekata otkaza elemenata na sistem, okolinu i drugo.

Testiranje pouzdanosti i životnog vijeka proizvoda obezbjeđuje alate pomoću kojih se može potvrditi da je pouzdanost ispunjena. Praktično testiranje pouzdanosti ima dvije dominantne oblasti i to: mjerenje i određivanje nivoa pouzdanosti novog sistema ili proizvoda. Sprovodi se u fazi razvoja i verifikuje u fazi serijske proizvodnje. U teoretskom pogledu testiranje pouzdanosti se oslanja na zakonitostima statistike i vjerovatnoće. Čine ga mjerenje i verifikacija. Namjenjena je proizvođačima i korisnicima proizvoda i sistema sa ciljem da se potvrdi dogovoreni/zahtjevani nivo pouzdanosti. U ovom radu je prikazano kako se mogu testirati složeni mašinski sistemi sa prezentacijom rezultata testiranja na jednoj valjaonici.

## 2. KLASIFIKACIJA TESTOVA POUZDANOSTI

Testiranje pouzdanosti obuhvata mjerenje i određivanje pouzdanosti i parametara pouzdanosti komponenti i sistema. Odvijaju se u fazi razvoja sistema i verifikacija, odnosno potvrda ostvarenog nivoa pouzdanosti, koji se najčešće izvodi pri isporuci sistema. Pri testiranju pouzdanosti u fazi razvoja i pri isporuci najčešće se realizuju testovi prikazani u slici 1.

Međutim, testiranje pouzdanosti klasifikuje se u četiri osnovne kategorije: razvojna testiranja, kvalifikaciona testiranja, demonstraciona testiranja i test obezbjeđenja kvaliteta.

*Razvojna testiranja* se odvijaju sa ciljem da se odredi/izmjeri pouzdanost i parametri pouzdanosti komponente/sistema. Razvojna testiranja obuhvataju i test rasta pouzdanosti sa ciljem da se modifikacijom komponenti i podsistema obezbijedi zahtjevani nivo pouzdanosti.

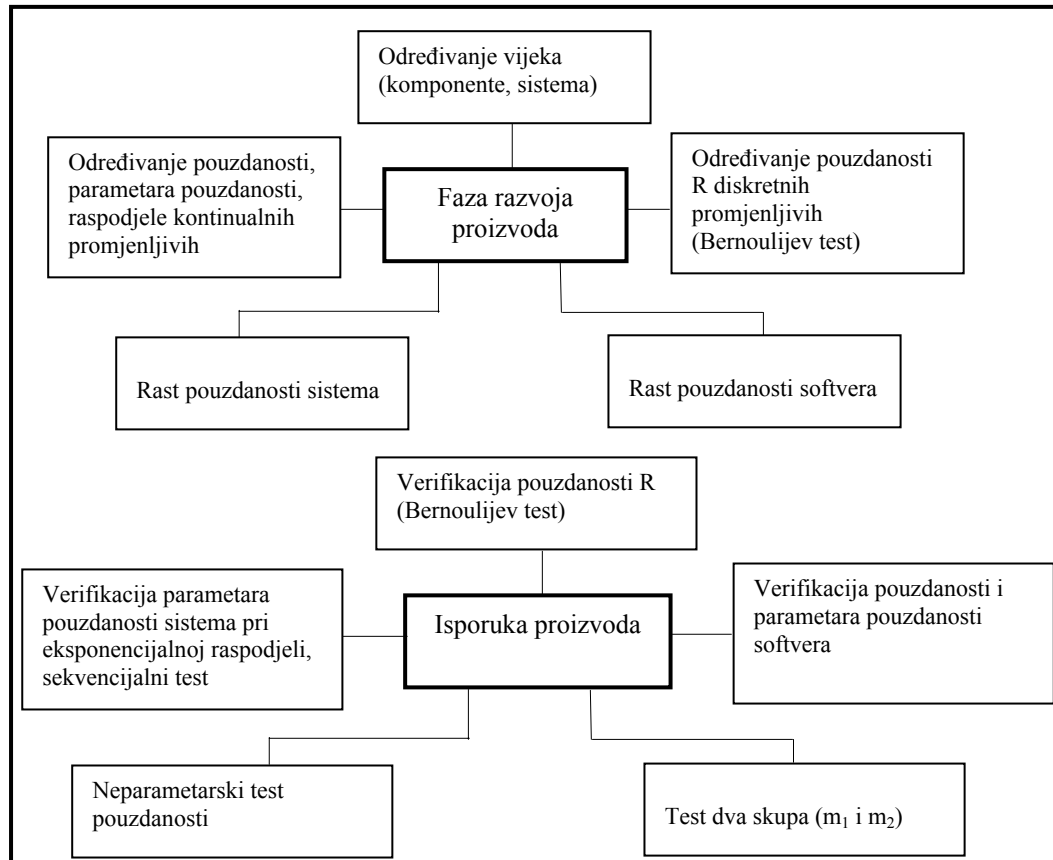
*Kvalifikaciona testiranja* se obavljaju na kraju razvoja sa ciljem da se potvrdi obezbjeđenje zahtjevnog nivoa pouzdanosti komponente i sistema prije početka serijske proizvodnje.

*Demonstraciona testiranja* se izvode radi formalnog pokazivanja (kupcu) ostvarenog nivoa pouzdanosti. *Test obezbjeđenja kvaliteta* ostvaruje se u serijskoj proizvodnji, pri svakoj isporuci serije, sa ciljem da se potvrdi ostvarenje zahtjevanog nivoa pouzdanosti serije ili modifikacije.

Pri testiranju pouzdanosti obično se koriste slijedeći testovi: test, vremena ili života (kontinualne promjenljive), test događaja ili test jednog hica (uspjeh ili neuspjeh – diskretne promjenljive), Burn-in test, ubrzana testiranja ili testiranja sa preopterećenjem, test okoline (Environmental testing) [1].

Pri testiranju komponente ili sistema sa kontinualnom promjenljivom mjeri se vrijeme otkaza. Na osnovu izmjerenih vremena do otkaza određuje se pouzdanost i parametri pouzdanosti.

Sem toga obično se vrše i analize otkaza, kao što su: modovi otkaza (oblici otkaza), mehanizmi otkaza (uzroci otkaza), posljedice otkaza i drugo. U slučaju diskretne promjenljive rezultat testa svake jedinice je samo jedan od dva događaja: uspjeh (pouzdanost) ili neuspjeh (otkaz ili nepouzdanost). Burn-in test se obično obavlja na komponentama ili podsistemima sa ciljem da se eliminišu loše komponente i spriječi njihova ugradnja u sistem u određenim/višim fazama proizvodnje. Pri ovakvim testiranjima obično se primjenjuju povišeni uslovi okoline (temperatura, napon, snaga, vibracija, mehanička opterećenja i dr.) u cilju skraćanja vremena testiranja.



Slika 1. Testovi pouzdanosti u fazi razvoja i isporuke proizvoda

Ubrzana testiranja ili testiranja s preopterećenjem izvode se u cilju skraćanja vremena testiranja i dobivanja rezultata pouzdanosti komponente (a rjeđe kod sistema). Pod preopterećenjem se mogu uzeti različiti faktori pojedinačno kao što su: temperatura, mehaničko opterećenje, vibracije, napon, struja, snaga, akustička opterećenja i dr., a može se vršiti i testiranje sa više faktora preopterećenja istovremeno. Test okoline obuhvata otkivanje uticaja okoline na funkcionisanje i pouzdanost komponente i sistema. Uslovi okoline se definišu u fazi razvoja.

### 3. PLANIRANJE TESTA POUZDANOSTI

Testiranje pouzdanosti sistema može biti dugotrajno, skupo, sa angažovanjem velikog broja stručnjaka, opreme, izradom specijalnih alata. Znači, testiranje pouzdanosti sistema ima svoj tehnički i ekonomski aspekt. Zato je izuzetno važno uraditi plan testa koji treba da obuhvati oba aspekta. Elementi koji imaju značajnog uticaja na tehnički aspekt testiranja i analize rezultata su: broj jedinica u testu  $n$ , vrijeme testiranja, tip testiranja, očekivano vrijeme

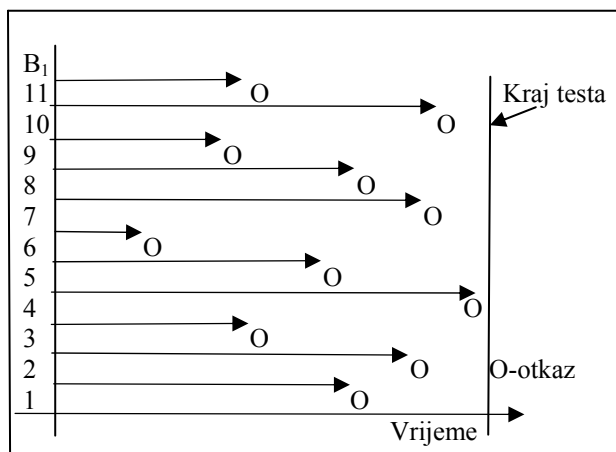
testiranja i očekivani broj otkaza. Za svaki test je potrebno detaljno razraditi metodologiju obrade rezultata. Pri određivanju veličine skupa može se poći od određenih iskustava:

- Broj jedinica pri ispitivanju komponenti (elemenata) veći je i kreće se od 10 do nekoliko stotina,
- Broj jedinica pri ispitivanju podсистema obično je manji od 20 – 30,
- Broj jedinica pri ispitivanju kompletnih sistema je 1 – 10.

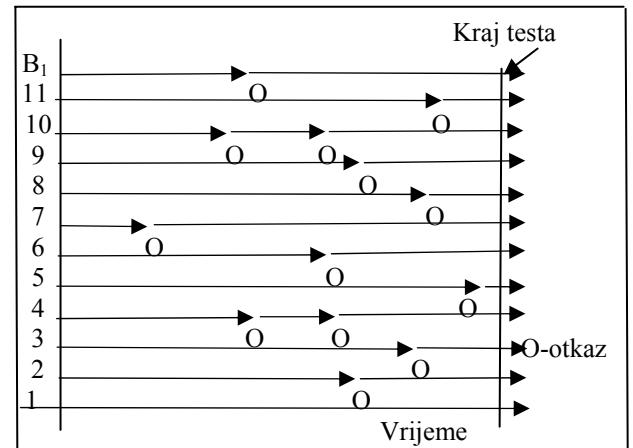
Ako se pretpostavlja da otkazi pripadaju normalnoj raspodjeli tada se obično uzima broj jedinica veći od 30. Ako je broj jedinica manji od 30, tada se koristi studentova  $t$  raspodjela. Za primjenu Weibullove raspodjele preporučuje se minimum 7 jedinica.

Imajući u vidu način formiranja jedinica i dužinu testa mogući su slijedeći tipovi testiranja [2]:

- Testiranje dok sve jedinice u testu ne otkazu, bez zamjene otkazale jedinice, test ograničen otkazom (Failure Terminated Test), slika 2.
- Testiranje određeno vrijeme pri čemu su sve jedinice otkazale i one zamjenjuju, vremenski ograničen test (Time Terminated Test), slika 3.
- Testiranje određeno vrijeme pri čemu je samo dio jedinica otkazalo, ali se otkazale jedinice ne zamjenjuju vremenski ograničen test (Fixed Length Testing),
- Jedinice su grupisane u više grupa, testiranje grupa se završava poslije otkaza bilo koje jedinice u grupi, test ograničen otkazom grupe (Sudden Death Testing).



Slika 2. Testiranje dok sve jedinice u testu ne otkazu, bez zamjene otkazale jedinice, test ograničen otkazom



Slika 3. Testiranje u određeno vrijeme, pri čemu su sve jedinice otkazale i zamjenjene, vremenski ograničen test

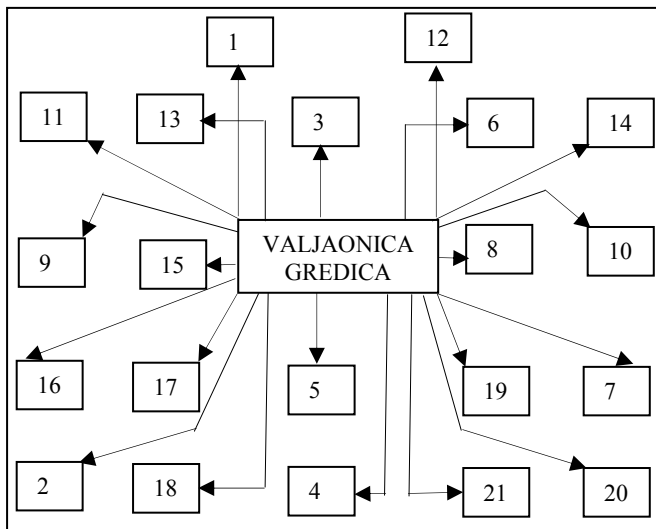
Kod vremenski ograničenog testa dio jedinica preživi vrijeme testiranja. Test ograničen otkazom grupe završava kada naj manje jedna jedinica otkaze u svakoj grupi. Testira se veliki broj grupa, pri čemu se formiraju grupe sa 5 – 7 jedinica u grupi. Izmjereni podaci se upisuju u specijalne formulare pripremljene za testiranje.

Analiza podataka čini slijedeću fazu testiranja. Pomoću analize dolazi se do četiri osnovne funkcije (pouzdanost, nepouzdanost, gustina raspodjele, intezitet otkaza) od vremena.

#### 4. TESTIRANJE POUZDANOSTI VALJAONICE, KAO SLOŽENOG MAŠINSKOG SISTEMA

Valjaonice gredica je složen mašinski sistem. Sastoji se od više podсистema ili sistema niže složenosti, slika 4. Sa ciljem testiranja pouzdanosti ovako složenog sistema neophodno je pripremiti odgovarajuću metodologiju sa jasno definisanim koracima. Osnovni koraci koji su bili definisani kod provođenja ovoga istraživanja su [3]:

- Utvrđivanje strukture valjoanice gredica, valjačke pruge i valjačkih stanova, te definisanje njihove međusobne povezanosti u okviru sistema,
- Utvrđivanje vremenske slike ponašanja valjačkih stanova u procesu rada za određen period vremena,
- Utvrđivanje parametara pouzdanosti obradom rezultata testiranja. Nakon ovoga moguće je vršiti analizu rezultata, poređenje rezultata, te donositi zaključke.
- Nakon ovoga testiranja moguće je bilo utvrditi elemente koji naj češće otkazuju u sistemu, kao i vrste kritičnih stanja.

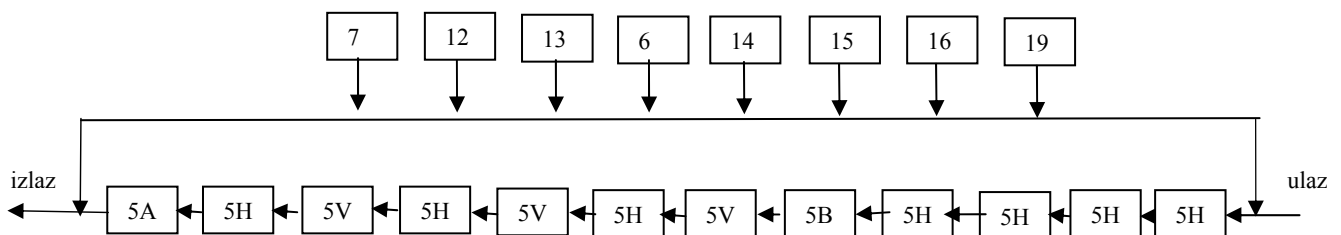


Slika 4. Shema strukture valjoanice gredica

Kao što se vidi sa slike 4. valjoanice gredica se sastoje od 20 podsistema. Ovdje su navedeni samo neki, a to su: 1- postrojenja za transport valjanog materijala, 3- zagreivna jedinica, 4- prevrtači, 5- valjački stanovi, 10- postrojenja za hlađenje gredica, 14- postrojenja za vodeno hlađenje...itd.

U postupku testiranja pouzdanosti valjoanice gredica u slijedećem koraku neophodno je bilo odrediti međusobnu zavisnost njenih strukturnih cjelina, jer ona direktno utiče na veličine iz vremenske slike ponašanja sistema. Konkretno kod te valjoanice gredica sistemi su uglavnom sa rednom vezom. To znači da otkaz bilo kog sistema uslovljava otkaz cijele valjoanice gredica.

Na slici 5. je kao primjer prikazan podsistem valjačke pruge sa svojom strukturom.



Slika 5. Blok dijagram strukture sistema kontinuirane valjačke pruge za gredice

Vremenska slika stanja je utvrđena za zadani period vremena (10 godina) za sve podsisteme i na osnovu tih podataka su utvrđeni parametri pouzdanosti.

Procjeni pokazatelja pouzdanosti prethodi izbor zakona raspodjele. To je postupak provjere koji od poznatih zakona naj bolje odgovara rezultatima, tj. sa kojim zakonom raspodjele se mogu naj bolje interpretirati rezultati. Provedenim postupkom za valjoanicu gredica utvrđeni zakon je Weibull-ova dvo parametarska raspodjela sa parametrima  $\beta=0,75$  a  $\eta=4,36$ . Rezultati obrade testiranih podataka za valjoanicu gredica dati su u tabeli 1.

Tabela 1. Vrijednosti funkcija  $R(t)$ ,  $\lambda(t)$  i  $f(t)$  za valjaonicu gredica

t	R(t)	F(t)	t	$\lambda(t)$	F(t)
0.0	1.0000	0.0000	0.0	0.0000	0.0000
2.0	0.5728	0.4272	0.2	0.3715	0.3365
4.0	0.3918	0.6082	0.4	0.3124	0.2645
6.0	0.2808	0.7192	0.6	0.2823	0.2252
8.0	0.2068	0.7932	0.8	0.2627	0.1985
10.0	0.1552	0.8448	1.0	0.2485	0.1784
12.0	0.1181	0.8819	1.2	0.2374	0.1624
14.0	0.0909	0.9091	1.4	0.2284	0.1491
16.0	0.0706	0.9294	1.6	0.2209	0.1379
18.0	0.0553	0.9447	1.8	0.2145	0.1282
20.0	0.0436	0.9564	2.0	0.2090	0.1197

U postupku testiranja pouzdanosti valjaonice gredica u slijedećem koraku neophodno je bilo odrediti međusobnu zavisnost njenih strukturnih cjelina jer ona direktno utiče na veličinu iz vremenske slike ponašanja sistema. Konkretno kod te stvarne valjaonice gredica sistemi su sa rednom vezom. To znači da otkaz bilo kog podsistema uslovljava i otkaz cijele valjaonice gredica.

## 5. ZAKLJUČCI

Provedenom analizom u ovom radu utvrđena je metodologija plana testiranja složenih mašinskih sistema. Izvršena je teoretska analiza testa pouzdanosti, a nakon toga i način planiranja testova pouzdanosti. Za sve vrste testiranja date su njihove osnovne karakteristike. Na osnovu tako provedene analize izvršeno je eksperimentalno testiranje pouzdanosti valjaonice kao složenog mašinskog sistema. Definisani su koraci testiranja, karakteristike, kao i prezentacija rezultata. Na osnovu metodologije i rezultata prikazano u ovom radu, moguće je analizirati tj. testirati iste sisteme, te vršiti poređenje rezultata. Pored toga na osnovu izloženog moguće je definisati planove testiranja sličnih sistema.

## 6. LITERATURA

- [1] Zeljković V., Papić Lj.: „Testiranje pouzdanosti“, Lola Institut, Beograd, 2001.
- [2] Vujanović N.: „Teorija pouzdanosti tehničkih sistema“, Beograd 1987.
- [3] Imamović M.: „Istraživanje pouzdanosti valjačkih stanova“, Magistarski rad, Mašinski fakultet u Zenici 1999.godine.