

Dr Slavko Pokorni,
pukovnik, dipl. inž.
Vojna akademija,
Beograd

ISKUSTVA IZ PROVERE ZAHTEVA ZA POUZDANOST ELEKTRONSKIH UREĐAJA U USLOVIMA EKSPLOATACIJE VAZDUHOPLOVA*

UDC: 621.38.004.15 : 623.746

Rezime:

U radu se analiziraju bitni elementi izrade i realizacije programa za laboratorijsku proveru zahteva za srednje vreme između otkaza za jedan elektronski uređaj za borbene avione. Rezimirana su iskustva iz realizacije takvog programa i ukazano na povezanost proračunskog podatka o srednjem vremenu između otkaza i izbora odgovarajućeg test-plana, odnosno da je veoma važno da se obavi proračun srednjeg vremena između otkaza pre obavljanja provere postavljenog zahteva u laboratorijskim uslovima.

Ključne reči: pouzdanost, ispitivanje pouzdanosti, eksponencijalna raspodela, elektronski uređaj, avion.

EXPERIENCES FROM RELIABILITY TESTING OF AIRCRAFT ELECTRONIC EQUIPMENT

Summary:

Some important details of creation and realization of a test program for the mean time between failures for fighter aircraft electronic equipment are discussed. Experiences from such a reliability testing program, concerning the calculated and required mean time between failures and choosing a proper test plan, are summarized. The conclusion stresses the importance of the calculation of the mean time between failures before testing.

Key words: reliability, reliability test, exponential distribution, electronic equipment, aircraft.

Uvod

Zahtevani nivo pouzdanosti koji se obično izražava numeričkom vrednošću minimalno prihvatljivog srednjeg vremena između otkaza ili zahtevanim srednjim vremenom između otkaza, mora se ugraditi još u toku projektovanja, a ispunjenje tog zahteva neophodno je proveravati kako u fazi prototipa, tako i u fazi serijske proizvodnje. Kod nas je takva obaveza

propisana za profesionalne uređaje [1], a realizacija ispitivanja obavlja se u skladu sa odgovarajućim standardima [2].

Nužnost i opravdanost laboratorijske provere ispunjenja zahteva za pouzdanost posebno dolazi do izražaja kod uređaja od čijeg pouzdanog rada zavisi bezbednost ljudskih života ili čiji otkaz može izazvati velike materijalne štete.

Za realizaciju takvih ispitivanja potreban je osposobljeni kadar, znatna materijalna sredstva, odgovarajuća oprema i vreme.

* Rad je saopšten na stručnom skupu TOC KoV „Ispitivanje kvaliteta sredstava NVO“, 18. novembra 2003. u Beogradu.

U ovom radu analiziraju se neki bitni elementi izrade programa za proveru zahteva za srednje vreme do/između otkaza sa diskusijom rezultata ispitivanja za uređaj koji je namenjen za teške i složene uslove eksploatacije borbenih aviona, o čemu se detaljnije može videti u [3, 4, 5]. Uređaj je projektovala i proizvela IRCA Energoinvest, a ispitivanje je sprovedeno u Vazduhoplovnom zavodu „Orao“ [6].

Posebno se ukazuje na neophodnost proračuna srednjeg vremena između otkaza, pre nego se pristupi izboru odgovarajućeg test-plana, i eksperimentalnoj proveri postavljenog zahteva za pouzdanost.

Program ispitivanja pouzdanosti

Program ispitivanja pouzdanosti, odnosno provere zahteva za pouzdanost nekog uređaja ili sistema, sastoji se u suštini iz dva dela: programa ispitivanja pouzdanosti, i rezultata ispitivanja.

Prvi deo, odnosno program ispitivanja obuhvata:

1 – cilj ispitivanja – obično provera da li je zadovoljen zahtev za srednje vreme između otkaza prema zahtevima propisa o kvalitetu proizvoda (PKP),

2 – podatke neophodne za ispitivanje.

Detaljnije o elementima koje sadrži program provere zahteva za pouzdanost uopšte i za uređaj o kome se ovde izlažu rezultati, može se videti u [2, 3, 4, 5, 7]. Ovde će biti date samo neke napomene koje autor smatra veoma važnim u konkretnoj realizaciji.

Za izbor statističkog plana redoslednih ispitivanja koriste se odgovarajući standardi.

Moraju se precizno definisati i dokumentovati uslovi razrade i ispitivanja (uslovi i trajanje uhodavanja odnosno starenja, podešavanje i kalibracija, uslovi rada i okoline pri ispitivanju uključujući termička, električna, mehanička i druga opterećenja, vremenski program – cikluse ispitivanja, parametre koji se proveravaju sa dozvoljenim odstupanjima, vremenski program i način kontrole parametara, uslova okoline, preventivno i korektivno održavanje pri ispitivanju, trajanje ispitivanja po uređaju i ukupno).

Razrada uređaja se vrši s ciljem prolaska kroz period ranih otkaza koji se javljaju usled grešaka u proizvodnji komponenti i montaži uređaja. Ukoliko u procesu uhodavanja dođe do otkaza, uređaj treba nakon poslednje opravke da izdrži najmanje dva ciklusa ispitivanja bez otkaza.

Uslovi ispitivanja pri razradi treba da su takvi da se za minimalno vreme pojavi maksimalni broj otkaza, ali bez izazivanja otkaza koji se ne bi mogli javiti u normalnoj eksploataciji, već uz preciznu simulaciju uslova radne sredine.

Ciklusi i uslovi ispitivanja pri proveri pouzdanosti treba da budu što verniji stvarnim uslovima u eksploataciji.

Proces definisanja postupka i uslova razrade i ispitivanja pouzdanosti uređaja predstavlja kritičan korak u izradi programa i zahteva saradnju naručioca i nosioca izrade programa, kao i dobro poznavanje uslova u kojima će uređaj obavljati svoju funkciju, odnosno poznavanje profila misije (zadatka) uređaja.

Definisanje otkaza je takođe jedan od važnih koraka u izradi programa, koji zahteva poznavanje principa rada i funk-

cije uređaja, saradnju nosioca izrade programa i projektanta uređaja.

Drugi deo programa obuhvata rezultate i analizu rezultata ispitivanja sa zaključkom i predlozima.

Primer provere pouzdanosti uređaja za borbene avione

Ovde će biti prikazani osnovni elementi i tok realizacije programa provere zahteva za pouzdanost (srednjeg vremena između otkaza), kao i osnovna iskustva iz njegove realizacije, za uređaj za poboljšanje stabilnosti i upravljivosti aviona (UP-SU), namenjen za borbene avione.

Osnovni zahtevi za pouzdanost i program ispitivanja uređaja UPSU

Uređaj UPSU je namenjen za ugradnju na borbene supersonične avione superiornih letnih karakteristika. Uređaj treba da ima pouzdanost izraženu minimalno prihvatljivim srednjim vremenom između otkaza od 1000 sati. Proizvođač i naručilac su prihvatili rizik od 20%, i faktor diskriminacije 1,5 [8]. To znači da je zahtevano srednje vreme između otkaza $1000 \times 1,5 = 1500$ sati. Na osnovu ovoga je, prema MIL-STD-781C [1], usvojen za ispitivanje statistički test-plan IIC redoslednog ispitivanja. Za ispitivanje su, iz nulte serije, od 9 uređaja koji su prošli proces uhodavanja, metodom slučajnog izbora odabrana za ispitni uzorak 3 uređaja (što je i minimalna veličina uzorka). Na osnovu izabranog test-plana IIC i uzorka od 3 uređaja, došlo se do sledećih kriterija za vreme ispitivanja u

pogledu prihvatanja postavljene hipoteze od 1000 sati:

– minimalno ukupno vreme ispitivanja od 4190 sati ili 1397 sati po uređaju, pod uslovom da se ne desi ni jedan otkaz,

– u slučaju nastanka jednog otkaza vreme ispitivanja bi se nastavilo do ukupno 5000 sati ili 1800 sati po uređaju, pod uslovom da se više ne desi ni jedan otkaz.

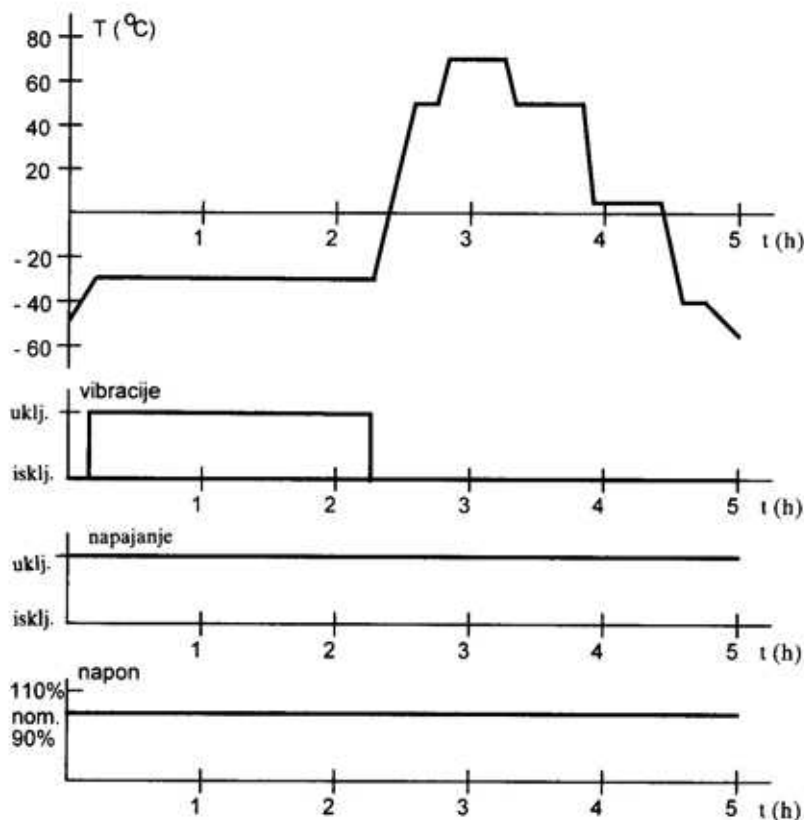
Uslovi razrade uređaja

Razrada uređaja izvršena je sa 80 časova po uređaju, kombinovanim podvrgavanjem uređaja vibracijama i temperaturnom cikliranju. Temperaturni ciklus, u pogledu gradijenata i nivoa a takode i vibracije bili su nešto blaži nego što se predviđa u eksploataciji. Postupak razrade uređaja sastojao se od ciklusa vibracija od 2 časa na početku i na kraju i 38 temperaturnih ciklusa između, što je ukupno 80 časova. Postavljen je uslov da se u poslednjih 10 časova ne javi kvar, inače se vreme uhodavanja produžava za još 10 ciklusa (20 časova).

Uslovi ispitivanja pouzdanosti

Uslovi ispitivanja pouzdanosti određeni su tako da simuliraju uslove prema profilu zadatka aviona na kojima će se uređaj koristiti, pri čemu svaki ciklus reprezentuje dva karakteristična profila leta: letnji i zimski.

Ispitivanje je predstavljalo kombinaciju dva osnovna ciklusa, od kojih ciklus „A“, slika 1, predstavlja kombinovan uticaj termičkih i električnih opterećenja, a ciklus „B“, slika 2, termičkih i električnih opterećenja i vibracija. Ciklus



Sl. 1 – Ciklus A kombinovanih termičkih i električnih opterećenja

„B“ se razlikuje, u suštini, od ciklusa „A“ u primeni slučajnih vibracija u trajanju od 2 časa pri sniženim temperaturama. Vodio se računa da nivo i distribucija opterećenja budu ravnomerni u jednom ispitnom ciklusu, slika 3.

Oprema za ispitivanje

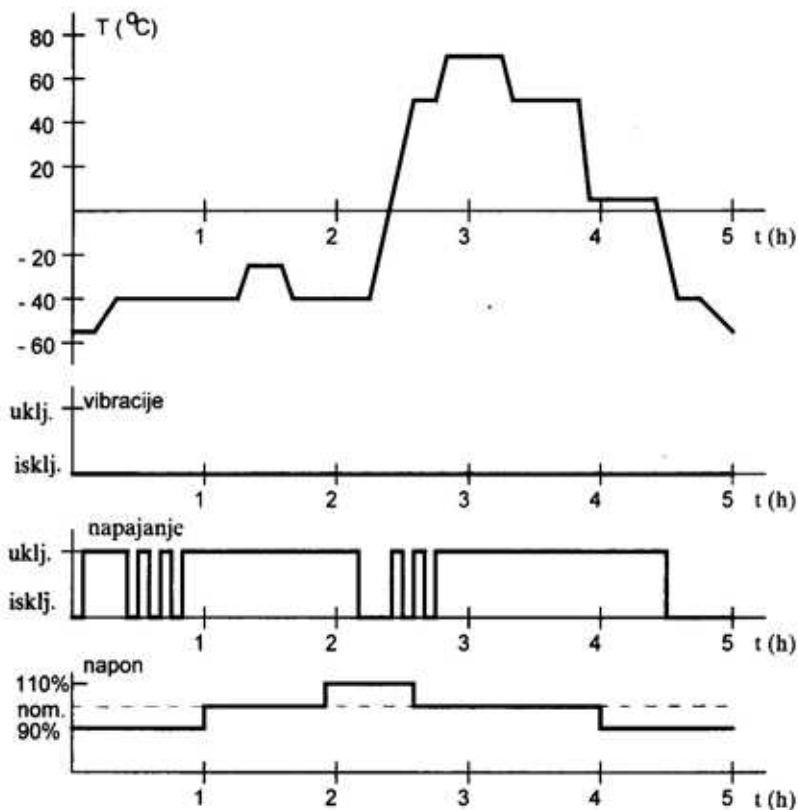
Nepostojanje odgovarajućih termokomora sa temperaturnim gradijentom od najmanje $7,5^{\circ}\text{C}/\text{min}$, koliko su zahtevali uslovi ispitivanja, nametnulo je potrebu dogradnje i proširenja mogućnosti postojeće klima komore. Ovo je predstavljalo

originalno tehničko rešenje kojim su postignuti gradijenti do $15^{\circ}\text{C}/\text{min}$ u fazi hlađenja i $5^{\circ}\text{C}/\text{min}$ u fazi grejanja. Projektovan je i realizovan rashladni sistem sa tečnim azotom, a za upravljanje je iskorišten procesor ugrađen u postojeću klima komoru VUK04/1000.

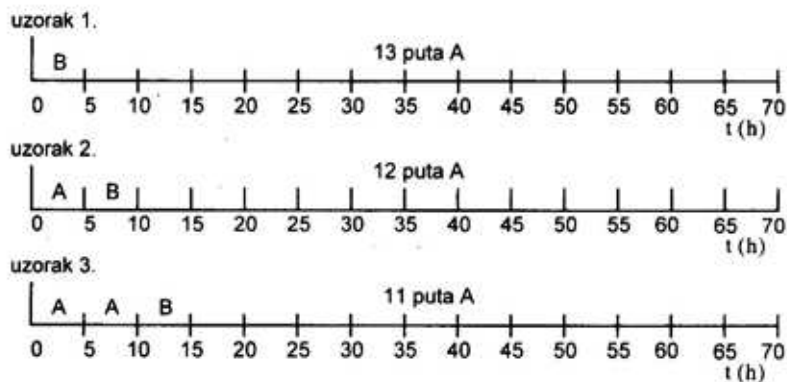
Rezultati provere zahteva za pouzdanost

a) u toku razrade uređaja

U toku razrade 9 uređaja, 7 je prošlo proceduru bez otkaza, a na 2 su se desili otkazi nakon 20 ciklusa. Nakon otklanja-



Sl. 2 – Ciklus B kombinovanih termičkih i električnih opterećenja i vibracija



Sl. 3 – Ciklus ispitivanja koji se ponavlja

nja kvarova uređaji su prošli ponovljenu proceduru.

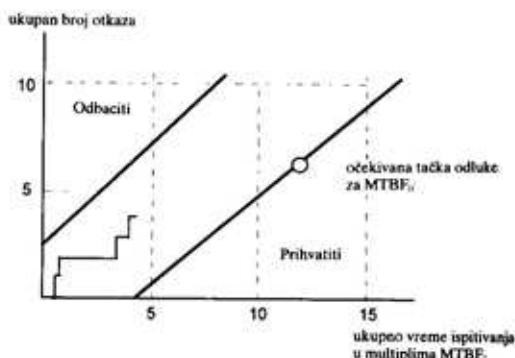
b) u toku ispitivanja pouzdanosti

Ispitivanju su podvrgnuta 3 uređaja od kojih je jedan namerno odabran od onih na kojima su se desili otkazi u toku razrade. Jedan uređaj je odradio 1475 časova bez ijednog otkaza, drugi ukupno 1305 časova sa 2 otkaza (posle 210 i 1305 časova), a treći 1445 časova takođe sa dva otkaza (posle 180 i 1080 časova). Dakle uređaji su odradili ukupno 4225 časova, kada je prekinuto ispitivanje, po dogovoru, zbog velikih troškova.

Na osnovu rezultata ispitivanja, ustanovljeno srednje vreme između otkaza iznosi 1056 sati. Za interval poverenja od 60%, donja granica srednjeg vremena između otkaza iznosi 766 časova, a gornja granica 1840 časova. Rezultati ispitivanja su ucrtani u grafik prihvatiti-odbaciti test-plana IIC, prema MIL-STD-781C, slika 4.

S obzirom na trenutak u kome je ispitivanje prekinuto nije se mogla doneti odluka ni da je hipoteza potvrđena ni opovrgnuta, već bi ispitivanje trebalo nastaviti. Međutim to je iziskivalo dodatne troškove. Da bi došlo do odluke o prihvatanju, uređaji bi trebalo da izdrže bez otkaza bar još ukupno 5000 časova, a da bi brzo došlo do odluke o odbacivanju trebalo bi da se za stotinjak sati desi bar još 4 otkaza, što je na osnovu dotadašnjih rezultata ispitivanja bilo malo verovatno.

Analizirajući rezultate, može se uočiti da su prva dva otkaza nastala relativno rano (posle 180 časova na jednom i 210 na drugom uređaju). S obzirom da su uslovi pri razradi bili blaži od uslova koji se očekuju u eksploataciji, odnosno pri is-



Sl. 4 – Grafik prihvatiti-odbaciti statističkog test-plana II C sa ucrtanim podacima dobijenim na osnovu ispitivanja

pitivanju, verovatno nisu bili takvi da se eliminišu otkazi iz perioda ranih otkaza, već su se pojavili u toku ispitivanja, i time uticali na rezultate. S obzirom da primenjeni plan ispitivanja važi za period normalne eksploatacije, odnosno eksponencijalnu raspodelu vremena do otkaza, to se nameće potreba pažljivog razmatranja uslova pri razradi uređaja, kako sa stanovišta nivoa opterećenja tako i u pogledu trajanja ispitivanja. Ovde bi period razrade trebalo da traje bar 200 časova, što je prvobitno i predlagano. Međutim to podrazumeva da takvu razradu prođu uređaji pre nego što krenu u eksploataciju.

Orijentacionim proračunom pouzdanosti, prema metodologiji datoj u [9, 10, 11] dobija se za srednje vreme između otkaza 1490 časova, što je blisko zahtevanom. Međutim iskustvo pokazuje da se u postupku detaljnog proračuna uvek dobijaju niže vrednosti (i do 2 puta).

Zaključak

Ovo je, po saznanju autora, još uvek prva kod nas realizovana provera zahteva za pouzdanost elektronskih uređaja za

uslove eksploatacije na borbenim vazduhoplovima.

Rad na izradi programa ispitivanja (provere) pouzdanosti i analiza rezultata pokazali su da su od posebnog značaja pravilno definisanje uslova i trajanja razrade uređaja i uslova ispitivanja pouzdanosti. Pri tome uslovi (nivoi opterećenja) i vreme trajanja razrade treba da su takvi da za kratko vreme dovedu do prolaska uređaja kroz period ranih otkaza, a da ne izazivaju otkaze koji se u normalnoj eksploataciji (s obzirom na opterećenja) ne bi mogli desiti.

Takođe, uslovi ispitivanja pouzdanosti treba da su precizna simulacija uslova eksploatacije, koji su za borbene avione veoma složeni i teški, pa je u prvom planu korektnost uslova i mogućnost opreme za ispitivanje.

Takođe, kao problem javlja se izbor test-plana, koji će za razumno vreme i rizike naručioca i proizvođača dovesti do korektno odluke. U vezi sa tim je i zahtev za pouzdanost (srednje vreme između otkaza) koja se u postupku projektovanja mora ugraditi i računski proveriti proračunom prognostičke pouzdanosti.

Razrada programa ispitivanja predstavlja originalnu i kreativnu primenu zahteva i kriterija definisanih standardima, u skladu sa konkretnim uslovima primene uređaja.

Literatura:

- [1] Military Standard MIL-STD-781C, Reliability Design Qualification And Production Acceptance Tests: Exponential Distribution, USA Department of Defense, 1977.
- [2] SNO 4264/84, POUZDANOST – Provera zahteva za srednje vreme između otkaza u slučaju ekspanencijalne raspodele, Sl. vojni list br. 8/84.
- [3] Pokorni, S.: Provera zahteva za pouzdanost elektronskih uređaja za vazduhoplove, Kvalitet i standardizacija, 19 (1991), str. 17–21.
- [4] Pokorni, S.: Provera ispunjenja zahteva za pouzdanost elektronskih uređaja savremenih aviona, Vojnotehnički glasnik 1/1993, str. 45–52.
- [5] Pokorni, S.: Ispitivanje pouzdanosti elektronskih uređaja za vazduhoplove, XXXIV konferencija ETAN-a, II–III sveska, str. 107–113, 1990.
- [6] Elaborat o proveri pouzdanosti uređaja UPSU, VZ „ORAO“ Rajlovac, 1990.
- [7] Pokorni, S.: Metodologija ugradnje zahtevane pouzdanosti elektronskih uređaja na vazduhoplovima, XXXI konferencija ETAN-a, II sveska str. 155–163, 1987.
- [8] PKP 2826/88, Uredaj za poboljšanje stabilnosti i upravljivosti aviona, Energoinvest Sarajevo.
- [9] MIL-HDBK-217D, Reliability Prediction of Electronic Equipment, 1982.
- [10] Pokorni, S.: Pouzdanost i održavanje tehničkih sistema, GŠ VJ, Uprava za školstvo i obuku, Vojna akademija, Beograd, 2002.
- [11] Pokorni, S.: Pristup određivanju pouzdanosti elektronskih uređaja u uslovima eksploatacije vazduhoplova, magistarski rad, Elektrotehnički fakultet u Sarajevu, 1985.