

Rezime:

Pogodnost za održavanje je inherentna karakteristika uređaja i obuhvata aktivnosti koje se preduzimaju u toku njegovog razvoja radi efikasnog održavanja u toku korišćenja. Pitanje pogodnosti za održavanje, u toku razvoja uređaja, rešava se realizacijom Programa i plana pogodnosti za održavanje. Sastavni deo tog programa je i ispitivanje pogodnosti za održavanje. Ispitivanje kvantitativnih karakteristika pogodnosti za održavanje vrši se primenom određenih metoda. U radu je dat pregled statističkih metoda za ispitivanje pogodnosti za održavanje uređaja.

Ključne reči: pogodnost za održavanje, karakteristike pogodnosti za održavanje, statističke metode ispitivanja, srednja i maksimalna vrednost vremena održavanja.

STATISTICAL METHODS FOR THE DEMONSTRATION AND
VERIFICATION OF DEVICE MAINTAINABILITY

Summary:

Maintainability is an inherent characteristic of a device and comprises activities undertaken during the device development with the aim to achieve efficient maintenance during its utilization. The viability of maintainability during the device development is verified by the realization of the maintainability plan and programme. An integral part of that programme is the demonstration and verification of maintainability. The demonstration and verification of maintainability is done by applying particular methods. A survey of statistical methods for the demonstration and verification of maintainability of a device is given in the work.

Key words: maintainability, maintainability characteristics, statistical test methods, mean and maximum duration of maintenance task.

Uvod

Održavanje je jedan od najbitnijih segmenata ITOB svih popravljivih tehničkih sredstava jer od njega, u velikoj meri, zavisi ukupna efektivnost svakog tehničkog sredstva. To znači da tehnička sredstva treba projektovati i konstruisati tako da, pored zadovoljenja performansi, budu prilagođena i za održavanje.

Kvalitetan proces održavanja obezbeđuje se samo ako se, još u fazi razvoja, sredstva prilagode održavanju, to jest ako se razreši problematika pogodnosti za održavanje.

Pogodnost za održavanje definiše se kao verovatnoća da će se određeni postupci održavanja obaviti do određenog vremena i pod određenim uslovima, i kao takva predstavlja funkciju raspodele vre-

mena postupaka održavanja i može se opisati tim vremenima. Obuhvata aktivnosti koje se preduzimaju u toku razvoja nekog sredstva radi njegovog efikasnog održavanja u toku korišćenja, a opisuje se svojim kvantitativnim i kvalitativnim karakteristikama (parametrima).

Pogodnost za održavanje može kvantitativno da se meri vremenskim intervalima potrebnim za sprovođenje postupaka održavanja. Pri tome treba znati da ukupno vreme, koje je potrebno za održavanje, obuhvata vremena individualnih aktivnosti za preventivno i korektivno održavanje sredstava. Ukupno vreme održavanja širi je pojam od vremena vezanih isključivo za pogodnost održavanja i uključuje i neka druga vremena koja se odnose npr. na pribavljanje ispitne opreme, rezervnih delova, itd.

Najčešće primenjivane kvantitativne mere karakteristika pogodnosti održavanja su *srednje vreme korektivnog i srednje vreme preventivnog održavanja* ili *srednje vreme aktivnog održavanja* koje obuhvata obe pomenute kategorije održavanja.

Matematički izrazi za ove veličine zavise od funkcije raspodele vremena održavanja, a najčešće se koriste normalna ili lognormalna raspodela [1].

Kvantitativne mere karakteristika pogodnosti održavanja mogu biti i druge veličine kao što su:

- za korektivno održavanje:
- medijana raspodele vremena korektivnog održavanja, M_{eko} ;
- maksimalno trajanje korektivnog održavanja (obično 90 %), $t_{ko,0,9}$;
- procenat vremena korektivnog održavanja iznad specificirane vrednosti;

- za preventivno održavanje:
- periodičnost radova preventivnog održavanja;
- skup aktivnosti održavanja za svaku periodičnost;
- ukupno trajanje radova u toku određenog perioda.

Ugradnja pogodnosti za održavanje ostvaruje se kroz određeni program, čiji sastavni deo je i ispitivanje i ocena karakteristika pogodnosti za održavanje preko nekih od parametara, a na osnovu definisanih TTZ.

Ispitivanje se realizuje kroz program ispitivanja. Jedan od osnovnih problema pri definisanju programa za ispitivanje je izbor odgovarajućih metoda ispitivanja. S obzirom na to da u postojećim standardima u Vojsci SCG nije obrađena problematika ispitivanja pogodnosti za održavanje, cilj rada je da prikaže statističke metode za ispitivanje, mogućnosti njihove primene i uporednu ocenu.

Pogodnost za održavanje u standardima Vojske SCG

U propisima i standardima Vojske SCG pogodnost za održavanje se razmatra u standardu SNO 1096-92 [7], gde se navodi da se ona propisuje ili izražava putem skupa količinskih (kvantitativnih) i kvalitativnih parametara. Po ovom standardu u količinske parametre spadaju srednje vreme korektivnog održavanja (takode za svaki nivo održavanja posebno) i srednje i/ili maksimalno vreme korektivnog održavanja (za svaki nivo održavanja posebno). U standardu su ovi pojmovi definisani i navedene vrednosti od kojih ova vremena ne smeju biti veća,

i to za mašinska i elektronska sredstva. U standardu su detaljno opisani kvalitativni zahtevi pogodnosti za održavanje.

U Vojsci SCG ne postoje propisi kojima se reguliše problematika ispitivanja kvantitativnih parametara pogodnosti za održavanje.

Pregled statističkih metoda za ispitivanje pogodnosti za održavanje

Za ocenu realizacije pogodnosti za održavanje tehničkog sredstva koje se razvija koriste se odgovarajuće statističke metode.

Osnovne metode biće opisane prema redosledu navedenom u tabeli 1, u kojoj su navedene samo metode koje se prvenstveno odnose na korektivno održavanje, a dati su osnovni pokazatelji (parametri), odnosno karakteristike pogodnosti održavanja koje se proveravaju ovim metodama, kao i broj metode po standardima MIL-STD-471A [3] i u ranijoj verziji ovog standarda MIL-STD-471, gde su ove metode uglavnom i razradene. Princip ispitivanja pogodnosti za održavanje pomoću ovih metoda sastoji se u *sažimanju* vremena rada uređaja radi

obrazovanja statističkog izbora zadataka održavanja, koji odgovaraju očekivanim za vreme realnog vremena eksploatacije.

Na osnovu analize podataka za svaku metodu određen je kriterijum za prihvatanje ili odbacivanje uređaja u vezi sa odgovarajućim parametrom pogodnosti za održavanje.

U opštem slučaju metode mogu biti fiksne i sekvencijalne. Kod fiksnih metoda koristi se određeni (fiksni) broj uzoraka za ispitivanje, a kod sekvencijalnih promenljivi broj uzoraka.

Svaka od metoda ispitivanja sadrži jednačinu ili uputstvo za određivanje minimalnog broja zadataka održavanja koji će biti demonstrirani. Odstupanje od tog minimalnog broja utiče na statističku vrednost postupaka ispitivanja. Neke metode ispitivanja pri izračunavanju veličine uzorka zahtevaju od ranije poznavanje ocene varijanse (disperzije) za raspodelu od interesa. Ovakva ranija ocena može se dobiti na osnovu podataka o sličnom uređaju, uz uslov da se u obzir uzmu i sličnosti vezane za tehničko obezbeđenje (obučenost osoblja za održavanje, oprema za testiranje, uslovi okoline).

Pre korišćenja podataka za ispitivanje hipoteze, u vezi zahteva pogodnosti

Tabela 1

Pregled glavnih metoda ispitivanja

Broj metode	Parametar na osnovu kojeg se vrši ispitivanje	Oznaka metode po MIL-STD-	
		471A	471
1.	Srednja vrednost vremena održavanja	1-A	-
2.	Srednja vrednost vremena održavanja	1-B	-
3.	Maksimalno vreme održavanja pri datom procentu	2	-
4.	Procenat vremena održavanja iznad zadate vrednosti	3	-
5.	Ispitivanje medijane vremena korektivnog održavanja	4	3
6.	Srednja i maks. vrednost vremena kor. održavanja (za 90 ili 95 %)	8	1
7.	Srednja i maks. vrednost vremena održavanja	9	2
8.	Medijana i maks. vreme održavanja	10	4

za održavanje, potrebno je da se oni analiziraju i da se izračuna srednja vrednost i varijansa (disperzija) za ustanovljene vrednosti, kao i logaritmi ustanovljenih vrednosti. Ova analiza daje podatke o homogenosti populacije vremena održavanja kao i vrednosti pretpostavke o raspodeli.

Pretpostavka o raspodeli može da se proveriti primenom neke od grafičkih metoda (histogram ili papir verovatnoće) ili analitičkim putem (npr. metodom Kolmogorov-Smirnov) [4] [6].

Broj zadataka za proveru vremena održavanja „n“ treba da bude u skladu sa izabranom metodom ispitivanja.

Ispitivanje pogodnosti za održavanje izvodi se „n“ puta, gde je „n“ odabrana veličina uzorka, sem sekvencijalnih ispitivanja gde treba pripremiti i do 100 uzoraka.

U okviru opisa svake metode objašnjena je njena namena, pretpostavke neophodne za njenu primenu, određivanje broja uzoraka, nulta i alternativna hipoteza, zahtevi u odnosu na verovatnoću prijema i postupak prihvatanja.

Metoda 1 – ispitivanje srednje vrednosti

Ova metoda predviđena je za ispitivanje pogodnosti za održavanje, kada su zahtevi za pogodnost održavanja dati u obliku: μ_1 – zahtevane srednje vrednosti vremena održavanja i μ_0 – srednje vrednosti vremena održavanja koja se želi postići projektovanjem (ciljna vrednost), a koju određuje isporučilac (proizvođač).

Određivanje uzorka vrši se na osnovu lognormalne raspodele. Ova metoda koristi centralnu graničnu teoremu. Pret-

postavlja se da se aktivno vreme održavanja može adekvatno opisati lognormalnom raspodelom. Varijansa (disperzija) σ^2 logaritma vremena održavanja prethodno je poznata ili se može predvideti. Minimalni broj uzoraka je 30 (približno).

Vrši se ispitivanje nulte hipoteze H_0 da je srednja vrednost = μ_0 i alternativne hipoteze H_1 da je srednja vrednost = μ_1 , gde je $\mu_1 > \mu_0$.

Veličina uzorka data je izrazom:

$$n = \frac{(z_\alpha \mu_0 + z_\beta \mu_1)^2}{(\mu_1 - \mu_0)^2} (e^{\sigma^2} - 1) \quad (1)$$

gde je:

σ^2 – ranija ocena disperzije logaritma vremena održavanja;

α – rizik proizvođača;

β – rizik potrošača;¹

z_α i z_β – koeficijenti (standardne normalne devijacije) čije su osnovne vrednosti navedene u tabeli 2.

Tabela 2
Važnije vrednosti za p i Z_p

$p(\alpha, \beta)$	0,01	0,05	0,10	0,15	0,20	0,30
$Z_p (Z_\alpha Z_\beta)$	2,33	1,65	1,28	1,04	0,84	0,52

Postupak prihvatanja hipoteze je sledeći:

– na osnovu slučajnog uzorka od „n“ vremena aktivnog održavanja X_1, X_2, \dots, X_n izračunava se aritmetička sredina uzorka (srednja vrednost uzorka):

¹ S obzirom na to da se ispitivanje pogodnosti za održavanje zasniva na statistici (određenom broju uzoraka), pri svakom ispitivanju postoji verovatnoća da kupac (naručilac) primi uređaj koji je lošiji od onog koji je zahtevao ili da odbaci uređaj koji je bolji od onog što je zahtevao, ili obrnuto, proizvođač (isporučilac) može da isporuči uređaj koji je bolji od zadatog tehničkim uslovima ili da kupcu preda uređaj koji je lošiji od traženog. Iz navedenog se vidi da i kupac (naručilac) i proizvođač (isporučilac) imaju posla sa nekim rizicima o kojima se moraju dogovoriti. Na primer, ako proizvođač predvidi rizik $\alpha = 0,2$, to znači da će verovatnoća pravilne ocene rezultata ispitivanja pogodnosti za održavanje biti 0,8.

$$\bar{X} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n X_i \quad (2)$$

i varijansa:

$$\hat{d}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2 = \frac{1}{n-1} \left(\sum_{i=1}^n X_i^2 - n\bar{X}^2 \right) \quad (3)$$

– prihvatiti H_0 ako je:

$$\bar{X} \leq \left(\mu_0 + z_\alpha \frac{\hat{d}}{\sqrt{n}} \right) \quad (4)$$

u protivnom odbaciti H_0 .

Metoda 2 – ispitivanje srednje vrednosti

Ova metoda razlikuje se od metode 1 po tome što nema specifičnih pretpostavki vezanih za statističku raspodelu srednjih vremena održavanja, i što treba da bude poznata disperzija vremena održavanja d^2 iz ranijih informacija, ili se mogu dobiti relativno precizne procene.

Veličina uzorka data je izrazom:

$$n = \left[\frac{z_\alpha + z_\beta}{\frac{\mu_1 - \mu_0}{\hat{d}}} \right]^2 \quad (5)$$

Pri postupku odlučivanja nultu hipotezu H_0 prihvatiti ako je:

$$\bar{X} \leq \left(\mu_0 + z_\alpha \frac{\hat{d}}{\sqrt{n}} \right) \quad (6)$$

u protivnom treba je odbaciti.

Metoda 3 – ispitivanje maksimalnog vremena održavanja pri datom procentu

Ova metoda predviđena je za ispitivanje pogodnosti za održavanje kada su

zahtevi za proveru pogodnosti za održavanje izraženi u obliku maksimalno dozvoljene vrednosti vremena održavanja (T_1) i maksimalne vrednosti vremena održavanja koja se želi postići projektovanjem (T_0) kod propisanog procenta zadataka održavanja (npr. 95% zadataka održavanja mora biti završeno u datom vremenu). Ako je određeno da procentna vrednost bude 50%, tada ova metoda predstavlja ispitivanje medijane.

Pretpostavlja se da vremena održavanja mogu biti opisana pomoću lognormalne raspodele. Iz prethodnih informacija poznata je disperzija logaritma vremena održavanja σ^2 ili se za nju mogu dobiti relativno precizne procene.

Ispituje se i nulta hipoteza H_0 da je $(1-p)$ procenata $X_p = T_0$ ili $P(X > T_0) = p$ i alternativne hipoteze H_1 da je $(1-p)$ procenata $X_p = T_1$ ili $P(X > T_1) = p$, pri čemu je $T_1 > T_0$. X_p je $(1-p)$ procenat od X . Da bi se udovoljilo rizicima α i β , veličina uzorka treba da bude:

$$n = \left(1 + \frac{z_p^2}{2} \right) \cdot \left(\frac{z_\alpha + z_\beta}{\ln T_1 - \ln T_0} \right)^2 \cdot \bar{\sigma}^2 \quad (7)$$

gde je:

$\bar{\sigma}^2$ – prethodna procena σ^2 , stvarna vrednost disperzije logaritma vremena održavanja;

Z_p – standardno normalno odstupanje koje odgovara $(1-p)$ -tom procentu.

(Vrednost za „n“ se zaokružuje na prvi sledeći veći broj).

Postupak odlučivanja sastoji se u sledećem:

Iz slučajnog uzorka od „n“ vremena održavanja, X_1, X_2, \dots, X_n izračunati:

$$\bar{Y} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \ln X_i \quad (8)$$

$$s^2 = \frac{1}{n-1} \left| \sum_{i=1}^n (\ln X_i)^2 - n \bar{Y}^2 \right| =$$

$$= \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (\ln X_i - \bar{Y})^2 \quad (9)$$

$$X^* = \ln T_0 + z_\alpha \cdot s \cdot \left| \frac{1}{n} + \frac{z_p^2}{2(n-1)} \right|^{\frac{1}{2}} \quad (10)$$

– prihvatiti nultu hipotezu H_0 ako je:

$\bar{Y} + z_p s \leq X^*$, u suprotnom je odbaciti (11).

Metoda 4 – Ispitivanje procenta vremena održavanja iznad specificirane vrednosti

Ova metoda predviđena je za ispitivanje pogodnosti za održavanje, kada su zahtevi pogodnosti za održavanje kvantitativno izraženi u obliku zahtevanog kritičnog procenta vremena održavanja (ili kritičnog broja norma časova) X_{p_1} , kao i vrednosti istog parametra koja se želi postići projektovanjem X_{p_0} , koju bira sam izvršilac (isporučilac). Ispitivanje nema posebne pretpostavke u pogledu statističke raspodele vremena održavanja i primenjuje se u slučaju kada se želi kontrolisati vreme ili broj norma-časova koji su potrebni za obavljanje određenih zadataka održavanja. U ovom ispitivanju se i nulta i alternativna hipoteza odnose na istu vrednost vremena pri čemu je promenljiva procentna vrednost. Po tome se ova metoda razlikuje od metode 3, gde je nepromenljiva procentna vrednost, a menja se vrednost vremena održavanja.

Vrši se ispitivanje nulte hipoteze H_0 da je $T = X_{p_0}$ i alternativne hipoteze H_1 da

je $T = X_{p_1}$, gde je $p_1 > p_0$ i to za utvrđeno α i β .

Za izračunavanje veličine uzorka „n“ i broja prihvatanja „c“, kada p_0 nema malu vrednost, koristi se normalna aproksimacija binomne raspodele, a inače se koristi Poissonova aproksimacija.

Jednačine za „n“ i „c“ su:

1. slučaj: za $0,20 < p_0 < 0,80$ ($q_i = 1 - p_i$)

$$n = \left| \frac{z_\beta \sqrt{p_1 q_1} + z_\alpha \sqrt{p_0 q_0}}{p_1 - p_0} \right|^2 - \text{uzeti sledeću}$$

višu vrednost (12)

$$c = n \cdot \left| \frac{z_\beta p_0 \sqrt{p_1 q_1} + z_\alpha p_1 \sqrt{p_0 q_0}}{z_\alpha \sqrt{p_0 q_0} + z_\beta \sqrt{p_1 q_1}} \right| - \text{uzeti}$$

sledeću nižu vrednost (13)

za z_α i z_β videti tabelu 2.

2. slučaj: za $p_0 < 0,20$

„n“ i „c“ se mogu naći iz sledećih izraza:

$$\sum_{r=0}^c \frac{e^{-np_0} (np_0)^r}{r!} \geq 1 - \alpha \quad (14)$$

$$\sum_{r=0}^c \frac{e^{-np_1} (np_1)^r}{r!} \leq \beta \quad (15)$$

Na osnovu ovih izraza sačinjena je tabela 3, pomoću koje se, za različite vrednosti α , β i odnos p_1/p_0 mogu izračunati vrednosti „n“ i „c“.

Postupak odlučivanja sastoji se u sledećem:

– iz slučajnog uzorka od n vrednosti vremena održavanja X_1, \dots, X_n izračunati broj posmatranja koji prelaze specificirano vreme T . Ovaj broj označava se sa r .

– prihvatiti H_0 ako je $r \leq c$, a odbaciti ako je $r > c$.

Tabela za izračunavanje n i c za specificirano p_0 , p_1 , α i β kada je $p_0 < 0,20$

$k = p_1/p_0$	$\alpha = 0,05$						$\alpha = 0,10$						$\alpha = 0,20$					
	$\beta = 0,05$		$\beta = 0,10$		$\beta = 0,20$		$\beta = 0,05$		$\beta = 0,10$		$\beta = 0,20$		$\beta = 0,05$		$\beta = 0,10$		$\beta = 0,20$	
	c	D	c	D	c	D	c	D	c	D	c	D	c	D	c	D	c	D
1,5	66	54,1	54	43,4	39	30,2	51	43,0	40	33,0	29	23,2	36	31,8	27	23,5	17	14,4
2	22	15,7	18	12,4	14	9,25	17	12,8	14	10,3	10	7,02	12	9,91	9	7,29	6	4,73
2,5	13	8,46	10	6,17	8	4,70	10	7,02	8	5,43	6	3,90	7	5,58	5	3,84	3	2,30
3	9	5,43	7	3,93	6	3,29	7	4,66	5	3,15	4	2,43	4	3,09	3	2,30	2	1,54
4	6	3,29	5	2,61	4	1,97	4	2,43	3	1,75	2	1,10	3	2,30	2	1,54	1	0,824
5	4	1,97	3	1,37	3	1,37	3	1,75	2	1,10	2	1,10	2	1,54	1	0,824	1	0,824
10	2	0,818	2	0,818	1	0,353	1	0,532	1	0,532	1	0,532	1	0,824	1	0,824	0	0,227

Da se nađe veličina uzorka n , za dato p_0 , p_1 , α i β treba odgovarajuću vrednost D podeliti sa p_0 i uzeti prvi ceo broj manji od količnika. Primer: $p_0 = 0,05$, $p_1 = 0,20$, $\alpha = 0,10$, $\beta = 0,05$

$p_1/p_0 = 0,20/0,05 = 4$ tada je $n = D/0,05 = 2,43/0,05 = 48$, $c = 4$

Pri tome će se ispitivanje prihvatiti samo ako kod najviše 4 provere stvarno realizovano vreme održavanja „r“ bude veće od propisanog. Prihvata se za $r < c = 4$.

Metoda 5 – ispitivanje medijane vremena održavanja

Ova metoda omogućava ispitivanje pogodnosti za održavanje kada je specificirani zahtev u TTZ-u za uređaj postavljen u pogledu medijane vremena korektivnog održavanja uređaja (ERT).

Ova metoda pretpostavlja da je raspodela vremena korektivnih zadataka održavanja lognormalna. Veličina zahtevanog uzorka je 20, a potrebna je da bi se koristile jednačine opisane u ovoj metodi ispitivanja.

Najpre se odaberu zadaci za ispitivanje. Trajanje svakog zadatka se beleži i koristi za izračunavanje sledećih statističkih vrednosti:

$$\text{Log MTTR}_G = \frac{\sum_{i=1}^{n_c} (\log X_{ci})}{n_c} \quad (16)$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_c} (\log X_{ci})^2}{n_c} - (\text{Log MTTR}_G)^2}$$

(osnova logaritma je 10) (17)

gde je MTTR_G – geometrijska sredina izmerenih vremena korektivnog održavanja, a S – srednje kvadratno odstupanje izmerenih vremena održavanja.

U postupku odlučivanja smatra se da je uređaj koji se ispituje zadovoljio zahteve pogodnosti za održavanje (ERT) i da se prihvata ako geometrijska sredina izmerenih vremena korektivnog održavanja (MTTR_G) i standardna devijacija (S), zadovoljavaju sledeći izraz:

$$\text{Log MTTR}_G \leq \text{Log ERT} + 0,397 \cdot S \quad (18)$$

gde je:

Log ERT – logaritam vremena održavanja uređaja,

Log MTTR_G i S – vrednosti određene datim izrazima.

U suprotnom slučaju uređaj se odbacuje.

Metoda 6 – sekvencijalno ispitivanje pri dvostrukom zahtevu: srednje vrednosti i maksimalnog vremena održavanja (90 ili 95 %)

Ova metoda predviđena je za ispitivanje zahteva pogodnosti za održavanje

u slučaju da se vremena realizacije zadataka održavanja mogu smatrati elementima lognormalne raspodele i da su zahtevi pogodnosti za održavanje izraženi u obliku dvostrukog zahteva, i to za srednju vrednost i maksimalnu vrednost (za 90 ili 95%) vremena održavanja.

Da bi se razmatrao kombinovani zahtev srednje vrednosti i 90 ili 95% postoje sledeća ograničenja:

– srednja vrednost treba da bude veća od 10, a manja od 100 vremenskih jedinica;

– odnos maksimalne vrednosti, u koju se može uklopiti 90 % vremena održavanja, i srednje vrednosti je manji od dva (plan B1);

– odnos maksimalne vrednosti, u koju se uklapa 95% vremena održavanja i srednje vrednosti manji je od tri (plan B2).

Postupak odlučivanja je sledeći:

– slučajni uzorci vremena održavanja X_1, \dots, X_n uzimaju se dok se ne donese odluka – prihvatiti ili odbaciti. Računa se ukupan broj vremena održavanja koji prelazi specificirano vreme i za srednju i maksimalnu vrednost odvojeno.

Ovi brojevi upoređuju se sa vrednostima odlučivanja koje mogu biti date u obliku tabela ili dijagrama za planove A, B1, B2 [3].

Kada jedan plan obezbedi odluku o prihvatanju, prekida se ispitivanje po njemu, a po drugom planu se nastavlja dok se ne donese odluka. Uredaj će biti odbacjen kada se odluka za odbacivanje desi na bilo kom planu, bez obzira na status drugog plana. Uredaj će biti prihvaćen samo kada odluka za prihvatanje bude postignuta na oba plana.

Ova metoda provere parametara pogodnosti za održavanje zahteva da se

specificiraju vrednosti za M_c i M_{cmax} . Plan A koristi se za određivanje usaglašenosti sa specifikacijom M_c , plan B1 se bira ako je $M_{cmax} = M_{c;0,90}$, tj. 90%, a plan B2 se uzima ako je $M_{cmax} = M_{c;0,95}$, tj. 95%.

Kriterijumi prihvatiti–odbaciti za planove A, B1 i B2 grafički su predstavljeni na slikama 1 i 2. Ako do 100 posmatranja nije doneta odluka o prihvatanju ili odbacivanju, odluka će se doneti na osnovu sledećih pravila:

1. Plan A: prihvatiti samo ako 29 ili manje posmatranja prelaze M_c ,

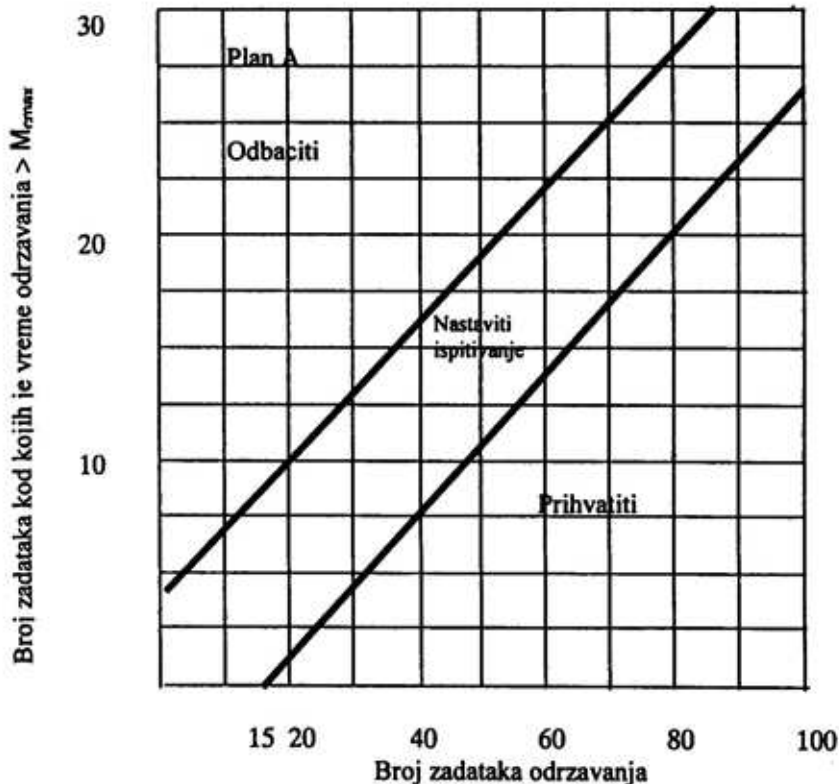
2. Plan B1: prihvatiti samo ako 5 ili manje posmatranja prelaze M_{cmax} ,

3. Plan B2: prihvatiti samo ako 2 ili manje posmatranja prelaze M_{cmax} .

Metoda 7 – ispitivanje srednje vrednosti vremena održavanja (za korektivno, preventivno i kombinovano održavanje) i M_{max}

Ova metoda [3] primenjuje se za ispitivanje sledećih pokazatelja pogodnosti održavanja: srednjeg vremena korektivnog održavanja (μ_c), srednjeg vremena preventivnog održavanja (μ_{pm}), srednjeg vremena održavanja (uključuje preventivne i korektivne aktivnosti održavanja) ($\mu_{p/c}$), i M_{max} (maksimalno vreme korektivnog održavanja za dati procenat).

Postupci ove metode za ispitivanje μ_c zasnovani su na centralnoj graničnoj teoremi, pri čemu se ne zahteva nikakva informacija u odnosu na disperziju (d^2) vremena održavanja. Prema tome, može da bude primenjena bez obzira na oblik razmatrane raspodele, pod uslovom da je adekvatna veličina uzorka. Minimalna potrebna veličina uzorka je 30, a stvarna veličina uzorka (ako se zahteva veća od 30) biće određena posebno za svaki ure-



Sl. 1 – Grafički prikaz kriterijuma po planu A

đaj koji se ispituje u dogovoru proizvođača i kupca.

Postupak ove metode za ispitivanje M_{maxc} važi za one slučajeve u kojima je određena raspodela vremena korektivnog održavanja lognormalna.

Glavna prednost ove metode je mogućnost primene u mnogim slučajevima. Pogodna je za potvrđivanje zahteva i za preventivno i korektivno održavanje. Primena ove metode zahteva identifikaciju karakteristika ili indikatora od interesa i specifikaciju kvantitativnih zahteva. Kada se vrši ispitivanje μ_c ili μ_{pm} , ili kombinacija oba, treba da bude specificiran (zadat) i rizik kupca, a kada se ispituje M_{maxc} , treba da bude specificirana procentualna tačka koja definiše vrednost M_{maxc} .

U toku ispitivanja beleži se trajanje svakog zadatka i koristi se za izračunavanje sledećih statističkih vrednosti:

$$\bar{X}_c = \frac{\sum_{i=1}^{n_c} x_{ci}}{n_c} \quad (19)$$

$$M_{maxc}^* = \text{anti log} \frac{\sum_{i=1}^{n_c} \ln X_{ci}}{n_c} + \quad (20)$$

$$\phi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_c} (\ln X_{ci})^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n_c} \ln X_{ci}\right)^2}{n_c}}{n_c - 1}} \quad (\text{osnova } e)$$

gde je ϕ – vrednost nezavisno promenljive linearne logaritamске funkcije koja odgovara procentualnoj tački za koju je ustanovljeno M_{maxc} .

Za vrednosti ϕ koristi se tablica funkcije normalne raspodele koja odgovara specificiranom stepenu rizika kupca β . U tabeli 4 navedene su vrednosti ϕ

Tablica zavisnosti ϕ od β

ϕ	β
0,84	20 %
1,04	15 %
1,28	10 %
1,65	5 %

Tabela 4

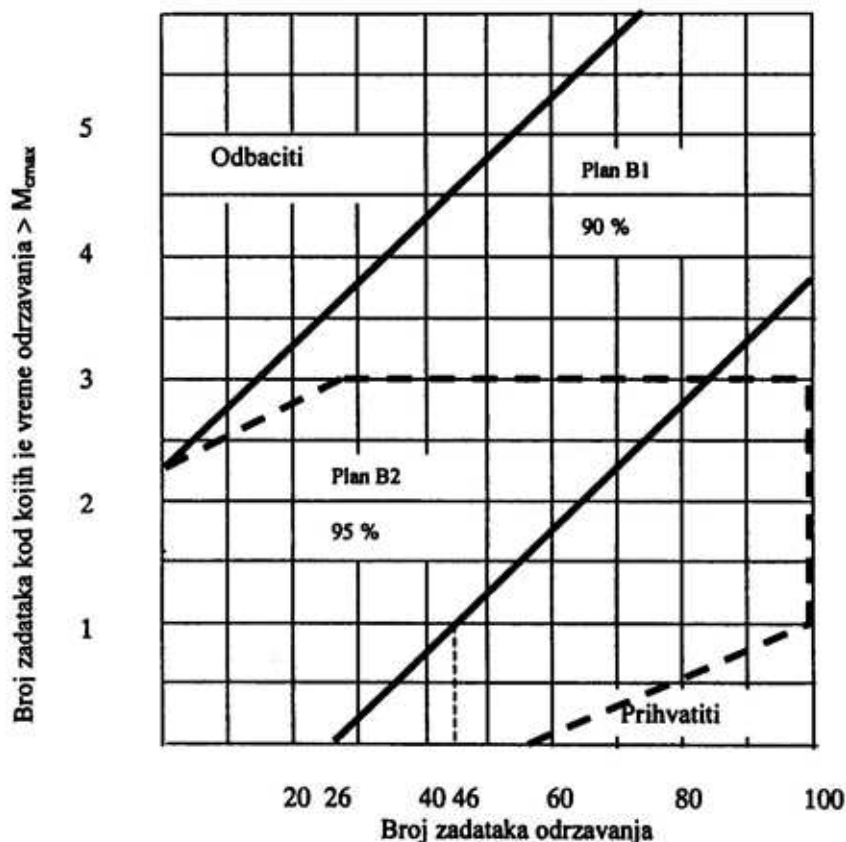
koje odgovaraju najčešće korišćenim vrednostima rizika kupca β .

Kriterijum prihvatanja/odbacivanja računa se za svaku specificiranu karakteristiku na sledeći način:

- ispitivanje srednjeg vremena korektivnog održavanja (μ_c):
- granična vrednost prihvatanja/odbacivanja za μ_c je:

$$\bar{X}_c + \frac{\phi \cdot \hat{d}_c}{\sqrt{n_c}} \quad (21)$$

gde je \hat{d}_c – standardno odstupanje uzorka zadataka korektivnog održavanja. Pri



Sl. 2 – Grafički prikaz kriterijuma za planove B1 i B2

tome se prihvata ako je specificirano

$$\mu_c \geq \bar{X}_c + \frac{\phi \cdot \hat{d}_c}{\sqrt{n_c}} \quad (22), \text{ a odbacuje ako je}$$

$$\text{specificirano } \mu_c < \bar{X}_c + \frac{\phi \cdot \hat{d}_c}{\sqrt{n_c}} \quad (23)$$

$$M_{\max}^* = \text{anti log} \left[\frac{\sum_{i=1}^{n_c} \ln X_{ci}}{n_c} + \phi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_c} (\ln X_{ci})^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n_c} \ln X_{ci}\right)^2}{n_c}}{n_c - 1}} \right] \quad (24)$$

Prihvata se ako je specificirano $M_{\max} \geq M_{\max}^*$, a u protivnom odbacuje.

Metoda 8 – Ispitivanje medijane i maksimalnog vremena održavanja za korektivno i preventivno održavanje

Ova metoda koristi test-proporcije da se ispita ispunjenje zahteva za \bar{M}_{ci} , \bar{M}_{pm} , M_{\max} i $M_{\max pm}$ kada je raspodela vremena korektivnog i preventivnog održavanja nepoznata, gde su navedene veličine: medijana vremena korektivnog održavanja, medijana vremena preventivnog održavanja, maksimalno vreme korektivnog održavanja i maksimalno vreme preventivnog održavanja, respektivno. Metoda je namenjena za ispitivanje kada se ne raspolaze informacijom o raspodeli vremena zadataka održavanja. Metoda zadržava stepen poverenja od 75 % ili 90%, zavisno od želje, i zahteva minimalnu veličinu uzorka „n“ od 50 zadataka.

Na sličan način vrši se i ispitivanje srednjeg vremena preventivnog održavanja (μ_{pm}) i srednje vrednosti svih aktivnosti održavanja ($\mu_{p/c}$)

- ispitivanje M_{\max} ;
- vrednost prihvatanja/odbacivanja za M_{\max} je:

Primena ove metode zahteva specifikaciju navedenih veličina i stepena poverenja 75% ili 90%. U toku ispitivanja trajanje svakog zadatka treba da se uporedi sa traženom vrednošću specificirane karakteristike ili indikatora, i zabeleži kao veće ili manje od zahtevanog.

Uređaj koji se ispituje biće prihvaćen kada je broj posmatranih vremena zadataka, koji prelaze zahtevanu vrednost svakog specificiranog indikatora, manji ili je jednak broju prikazanom u tabeli 5 ili 6 za odgovarajući specificirani stepen poverenja.

Tabela 5 prikazuje nivo prihvatanja pri ispitivanju srednje vrednosti za zadatke korektivnog i preventivnog održavanja. Nivo prihvatanja prikazan je za dva stepena poverenja i veličinu uzorka od 50 zadataka.

Tabela 5
Tabela prihvatanja za M_{ci} ili M_{pm}

Veličina uzorka = 50

Stepen poverenja	75%	90%
Nivo prihvatanja	22	20

Tabela 6 prikazuje nivo prihvatanja pri ispitivanju M_{maxc} i M_{maxpm} (za 95 procenata). Nivo prihvatanja prikazan je za dva stepena poverenja i veličinu uzorka od 50 zadataka.

Tabela za M_{maxc} ili M_{maxpm}

Veličina uzorka = 50

Stepen poverenja	75%	90%
Nivo prihvatanja	1	0

Tabela 6

Uporedni pregled metoda

Uporedni pregled opisanih metoda prikazan je u tabeli 7, u kojoj su date osnovne karakteristike za svaku metodu ispitivanja, kao što su: parametri koji se ispituju, pretpostavke, vrsta ispitivanja i minimalna količina uzorka.

U opštem slučaju, parametar pogodnosti za održavanje koji se proverava je primarni element u izboru metode ispitivanja. Taj parametar može biti propisan (dat u TTZ) ili je na neki drugi način značajan za naručioca (potencijalnog korisnika).

Na primer, ako je u TTZ zadato srednje vreme korektivnog održavanja mogu se koristiti metode 1, 2 i 7. Koja će od ove tri metode biti primenjena zavisi od toga kakva je raspodela vremena održavanja i da li postoje podaci o disperziji tog vremena. Ako se radi o lognormalnoj raspodeli i poznatoj disperziji primeniće se metoda 1, u slučaju druge vrste raspodele primeniće se metoda 2, a ako nije poznata disperzija primeniće se metoda 7.

Ako je u TTZ zadato maksimalno vreme korektivnog održavanja mogu se koristiti metode 3, 7 i 8. Izbor metode je sličan kao i u slučaju srednjeg vremena održavanja.

Ako je u TTZ zadata medijana vremena korektivnog održavanja primeniće se metode 5 i 8. Ako je poznata raspodela vremena treba primeniti metodu 5, a u suprotnom metodu 8.

U slučaju kada je u TTZ zadata i srednja i maksimalna vrednost vremena korektivnog održavanja vrši se ispitivanje po više metoda, posebno za srednje, a posebno za maksimalno vreme održava-

Pregled glavnih metoda ispitivanja

Tabela 7

Broj metode	Parametar na osnovu kojeg se vrši ispitivanje	Pretpostavke	Vrsta ispitivanja	Minimalna količina uzorka (približno)
1.	Srednja vrednost vremena održavanja	lognormalna raspodela ranija ocena σ^2	fiksno	30
2.	Srednja vrednost vremena održavanja	ranija ocena d^2	fiksno	30
3.	Maksimalno vreme održavanja pri datom procentu	lognormalna raspodela ranija ocena σ^2	fiksno	20
4.	Procenat vremena održavanja iznad zadate vrednosti	nema	fiksno	20
5.	Ispitivanje medijane vremena kor. održavanja	lognormalna raspodela	fiksno	20
6.	Srednja i maks. vrednost vremena kor. održavanja (za 90 ili 95 procenata)	lognormalna raspodela	sekvencijalno	ne
7.	Srednja i maks. vrednost vremena održavanja	nema	fiksno	30
8.	Medijana i maks. vreme održavanja	nema	fiksno	50

nja ili se primenjuje metoda 6 za kombinovano ispitivanje.

Kod metode 6 primenjuje se sekvencijalno ispitivanje koje podrazumeva promenljiv broj uzoraka ispitivanja i ispitivanje se vrši sve dok se ne donese odluka o prihvatanju ili odbacivanju sredstva. Kao opšte pravilo sekvencijalno ispitivanje se koristi samo ako ranije poznavanje (tj. na osnovu prognoza) pokazuje da sredstvo može biti mnogo bolje (ili lošije) od specificiranih vrednosti. Za sekvencijalna ispitivanja treba da se koristi prosto slučajno uzorkovanje.

Zaključak

U radu je opisano osam metoda za ispitivanje pogodnosti za održavanje. Koja je metoda najpogodnija i koja će se primeniti zavisi, pre svega, od TTZ i zadate karakteristike (parametra) pogodnosti za održavanje, vremena koje je na raspolaganju, osposobljenosti i iskustva ljudstva za ispitivanje, od već poznatih parametara na osnovu iskustva ili ranijih ispitivanja, od rizika proizvođača i kupca, itd.

Svaka metoda zahteva izvršavanje određenog broja zadataka korektivnog

i/ili preventivnog održavanja, pa treba težiti da broj zadataka ispitivanja bude što je moguće veći, jer će tada izabrani skup adekvatnije reprezentovati ceo skup zadataka održavanja. Takođe, treba težiti da se rezultati provere primenom što više metoda, a što je moguće jer je u osnovi realni eksperiment isti.

Za ispitivanje pogodnosti za održavanje tehničkih sredstava u Vojsci SCG potrebno je usvojiti odgovarajuće standarde, a propise za TTZ dopuniti odgovarajućim veličinama i njihovim vrednostima (na primer, rizici kupca i proizvođača).

Literatura:

- [1] Petković, R.; Kokanović, M.; Čirović, M.: Organizacija održavanja TMS, CVTŠ KoV, Zagreb, 1988.
- [2] Postavljanje i sprovođenje zahteva za pogodnost za održavanje u fazama razvoja TMS, Institut za nuklearne nauke „Boris Kidrič“, Beograd-Vinča, 1985.
- [3] Vojni standard MIL-STD-470 i 471A: Pogodnost za održavanje sistema i uređaja (Zahtevi, verifikacija i ocena) – Prevod sa engleskog, TU SSNO, 1984.
- [4] Vujanović, N.: Teorija pouzdanosti tehničkih sistema, VINC, Beograd, 1990.
- [5] Ispitivanje i ocena pogodnosti za održavanje TMS, Institut za nuklearne nauke „Boris Kidrič“, Beograd-Vinča, 1985.
- [6] Čosović, D.: Statističke metode ispitivanja pogodnosti za održavanje, Specijalistički rad, VTA, Beograd, 2001.
- [7] SNO 1096/92: Taktičko-tehnički zahtevi za sredstva ili sisteme NVO.