

Rezime:

Ispitivanje pogodnosti za održavanje, u toku razvoja uređaja, sastavni je deo Programa i plana pogodnosti za održavanje. U toku ispitivanja proveravaju se kvantitativni i kvalitativni parametri pogodnosti za održavanje. Ispitivanje kvantitativnih parametara vrši se primenom određenih statističkih metoda. U radu je dat primer primene statističkih metoda za ispitivanje pogodnosti za korektivno održavanje jednog elektronskog uređaja i analizirani su rezultati ispitivanja.

Ključne reči: pogodnost za korektivno održavanje, parametri pogodnosti za održavanje, radio-uređaj, statističke metode ispitivanja, srednja i maksimalna vrednost vremena održavanja.

DEMONSTRATION AND VERIFICATION OF
THE MAINTAINABILITY OF ELECTRONIC DEVICES

Summary:

The demonstration and verification of maintainability during the development of a device is an integral part of the Maintainability Plan and Programme. During the demonstration and verification, the quantitative and qualitative parameters of maintainability are checked. The demonstration and verification of the maintainability parameters are done by applying certain statistical methods. An example of applying a statistical methods for testing the maintainability of corrective maintenance of radio is given in the work and the results of the demonstration and verification are analysed.

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

Uvod

Sa povećanjem složenosti i sve masovnijom upotrebom tehničkih sredstava poslednjih decenija ulagani su značajni naponi za povećanje njihove pouzdanosti. Međutim, u isto vreme došlo se do saznanja da će, bez obzira na uložene napore, dolaziti do pojave otkaza, i da se izlaz za razrešavanje problema povećanja

raspoloživosti i efikasnosti u celini mora tražiti izučavanjem problematike održavanja. Kvalitetan proces održavanja može se ostvariti samo ako se u fazi razvoja razreši problematika pogodnosti za održavanje.

Na kvalitet održavanja utiče veći broj činilaca (konstrukcija sredstva, radionica, radnici, snabdevanje i dr.), a njihovo ukupno dejstvo ogleda se u trajanju vremena održavanja.

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

Pogodnost za održavanje opisuje se kvantitativnim i kvalitativnim karakteristikama [1, 5]. Ona može kvantitativno da se meri vremenskim intervalima potrebnim za sprovođenje postupaka održavanja. Najčešće primenjivane kvantitativne mere karakteristika pogodnosti za održavanje jesu srednje vreme korektivnog i srednje vreme preventivnog održavanja, ili srednje vreme aktivnog održavanja, koje obuhvata obe pomenute kategorije.

Kvantitativne mere karakteristika pogodnosti za održavanje mogu biti i druge veličine, kao što su [4]: medijana raspodele vremena korektivnog održavanja, maksimalno trajanje korektivnog održavanja – obično 90% i procenat vremena korektivnog održavanja iznad specificirane vrednosti.

Pitanje pogodnosti za održavanje u toku razvoja tehničkog sredstva rešava se realizacijom Programa i plana pogodnosti za održavanje. Obavezan sastavni deo ovog programa je i ispitivanje i ocena pogodnosti za održavanje.

U standardima Vojske SCG ne postoji propisan način ispitivanja pogodnosti za održavanje. Za ispitivanje kvantitativnih karakteristika pogodnosti za održavanje koriste se određene statističke metode [11], a svaka od njih ima određene specifičnosti, tako da se postavlja pitanje koju od tih metoda treba izabrati i primeniti. U daljem tekstu dat je primer ispitivanja pogodnosti za održavanje pri-

mopredajnika radio-uređaja RUT-1, i sagledana je mogućnost primene statističkih metoda za ispitivanje njegove pogodnosti za korektivno održavanje do nivoa komponenti.

Opis primopredajnika radio-uređaja RUT-1

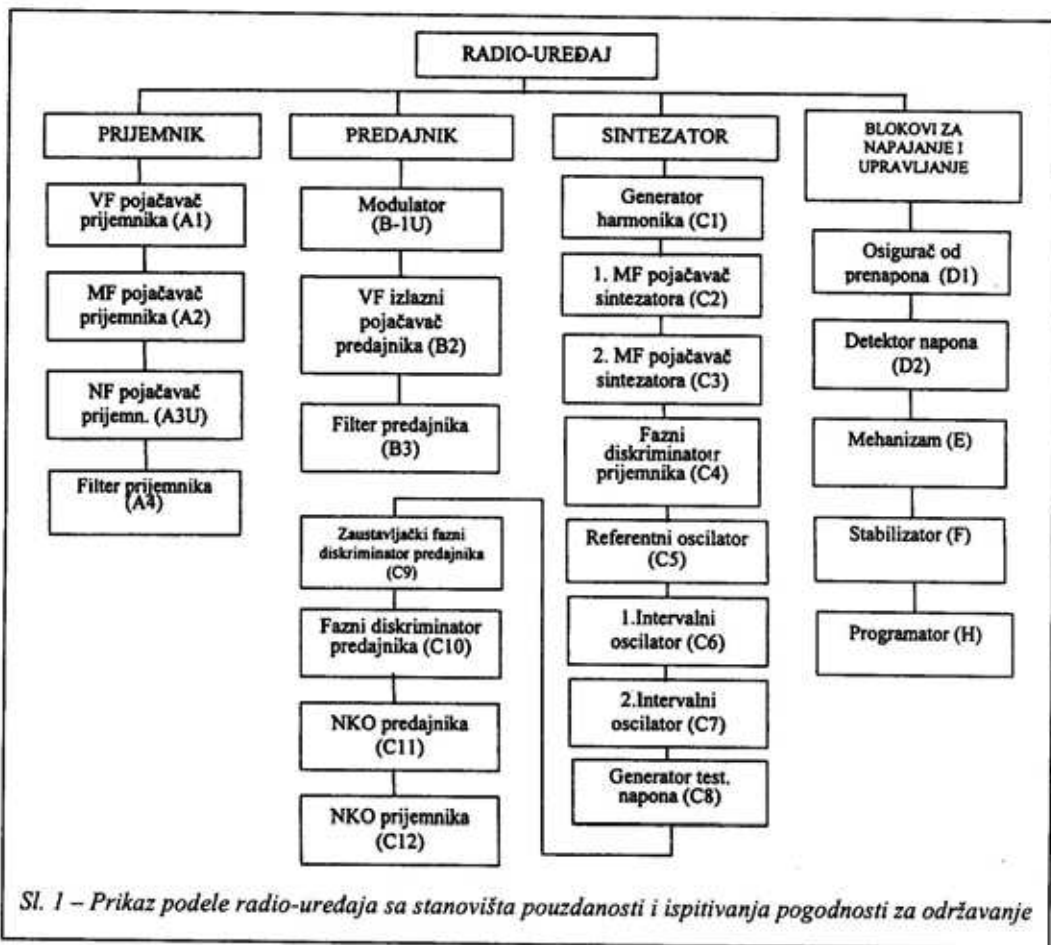
Primopredajnik radio-uređaja je modularne konstrukcije, to jest uređaj je podeljen na određene blokove koji, uglavnom, predstavljaju funkcionalne celine. Elementi skoro svih blokova montirani su na štampanim pločicama koje su sa odgovarajućim kutijama i poklopcima uobličene u fizički zasebne elektromehaničke celine – blokove.

Sa stanovišta proračuna intenziteta otkaza i ispitivanja pogodnosti za održavanje primopredajnik radio-uređaja može se predstaviti kao serijska veza blokova koji su grupisani kao što je prikazano na slici 1.

Za navedeni uređaj TTZ nisu formulisani pa će biti procenjeno da li uređaj ispunjava zahteve propisane standardom SNO-1096/92 [12].

U tom standardu srednje vreme opravke jedne neispravnosti, na nivou tehničkog održavanja za elektronska TMS, koja imaju od 3000 do 5000 sastavnih delova bez mikroprocesora, iznosi tri časa, a maksimalno vreme opravke 6 časova.

Na osnovu podataka navedenih u standardu SNO-1096/92, a radi primene metoda ispitivanja pogodnosti za održavanje, za radio-uređaj RUT-1 biće postavljeni zahtevi u odnosu na koje će se vršiti ispitivanje, i to:



- srednje vreme korektivnog održavanja do nivoa komponenti – 180 minuta;
- maksimalno vreme korektivnog održavanja (95%) do nivoa komponenti – 360 minuta.

Opšti postupak ispitivanja i ocene pogodnosti za održavanje

Aktivnosti pogodnosti za održavanje, i samog održavanja, tokom različitih faza kroz koje sredstvo prolazi, od faze planiranja pa do upotrebe, planiraju se u Programu pogodnosti za održavanje, čiji

je sastavni deo i ispitivanje pogodnosti za održavanje.

Ispitivanje treba da obuhvati pripremu izvođača, podnošenje plana ispitivanja i izveštaj naručiocu. Plan ispitivanja treba da odgovara planu programa pogodnosti za održavanje. Ispitivanje pogodnosti za održavanje treba da bude integrisano sa ostalim ispitivanjima tehničkog sredstva, i treba ga obavljati u uslovima koji su približni uslovima predviđenim za upotrebu tehničkog sredstva.

Da bi uverio korisnika (naručioca) da su ispunjeni zahtevi pogodnosti za održavanje,

vanje, proizvođač je dužan da demonstrira ispunjenje tih zahteva, pa se u vezi s tim izrađuje poseban plan i program.

Planom ispitivanja, pored ostalog, treba da se regulišu: kvantitativni zahtevi pogodnosti za održavanje, metode ispitivanja, metode izbora i broj otkaza koji se imitiraju, metode registracije podataka i trajanje ispitivanja uređaja.

Osnovni ciljevi ispitivanja pogodnosti za održavanje su: dobijanje raspodele aktivnog vremena za karakteristične zadatke održavanja, određivanje srednjeg i maksimalnog vremena održavanja za te zadatke i njihovo statističko upoređivanje sa zahtevima postavljenim u TTZ.

Za sva ispitivanja statistički se vrši izbor imitirajućih otkaza, koji predstavljaju skup zadataka održavanja koji se očekuju za određeni uređaj u toku životnog veka. Određuju se metode izazivanja ili imitiranja svakog otkaza koji se sekvencijalno „uvode“ u uređaj. Posle uvođenja svakog otkaza proveravaju se njegove manifestacije, a zatim se za opravku uređaja određuje odgovarajuća ekipa. Kada ljudstvo iz ekipe za opravku izvršava poslove dijagnosticanja i otklanjanja neispravnosti, kontrolori registruju utrošeno vreme, preduzete aktivnosti, osobine uređaja i pomoćne opreme i sve to beleže. Beleže se, takođe, i sva odstupanja od propisanog postupka opravke.

Merenje vremena opravke počinje od momenta kada ekipa za opravku dobije informaciju o režimu rada uređaja i dođe do njega, a završava se kada se uređaj dovede u ispravno stanje.

Svi podaci ispitivanja se analiziraju. Dobijena opitna vrednost vremena zastoja, pri korektivnom održavanju uređaja, upoređuje se sa zahtevima naručioca ka-

da su zadati odgovarajući zahtevi. Na isti način ocenjuje se i vreme izvršavanja zadataka preventivnog održavanja, a opitna vrednost srednjeg vremena zastoja pri tom održavanju upoređuje se sa zahtevima naručioca. U većini slučajeva dobija se i ocena maksimalnog vremena zastoja pri korektivnom (i ako se zahteva pri preventivnom) održavanju i upoređuje se sa zahtevima naručioca.

Da bi se dokumentovali rezultati, doneli zaključci i odgovarajući predlozi, sačinjava se izveštaj o ispitivanju. Obim izbora za planirana ispitivanja zavisi od raznovrsnosti elemenata koji se mogu popraviti na licu mesta, vremena određenog za ispitivanje, TTZ, izabrane metode za ispitivanje pogodnosti za održavanje, kao i rizika proizvođača i naručioca. Bira se samo neispravnosti koje se mogu otkloniti na mestu eksploatacije.

Utvrđeno je da je 50 opita u izboru obično dovoljan broj za sigurnu statističku procenu parametara [5]. Izbor većeg broja daje tačnije rezultate, ali prirast tačnosti u odnosu na gubitke usled rada sredstva i vremena brzo se umanjuje. Izbor manjeg obima povlači i znatno povećanje verovatnoće nepravilnog rešenja i netačnih rezultata. Ovaj obim zavisi i od metode koja se primenjuje za ispitivanje, i bira se u skladu sa tom metodom.

Imitacija zadataka korektivnog održavanja, u slučaju elektronskih uređaja, vrši se [5]: prekidom, uzemljenjem kola, ugradnjom u uređaj neispravnih elemenata umesto ispravnih, uklanjanjem štampanog kola ili provodnika, ubacivanjem delova koji se ne mogu lako uočiti, kao što je paralelni provodnik kojim se može simulirati stanje van tolerancija, razdešavanjem podesivih kola i korišće-

njem lemljenja sa hladnim spojevima, kako bi se izazvali prekidi. Imitacija se vrši tako što se izvode operacije za otklanjanje otkaza koje se, inače, izvode pri slučajnim prirodnim otkazima.

Izbor otkaza koji se simuliraju vrši se na osnovu prognoziranih podataka o pouzdanosti sistema (uređaja). Broj simuliranih otkaza po sastavnim delovima, sklopovima i blokovima treba da bude proporcionalan sa njihovom pouzdanošću [5]. Otkazi koje treba imitirati biraju se sledećim postupkom:

- nabrojati sve elemente uređaja koji podležu ispitivanju (tj. sve komponente, module i podsklopove koji se menjaju, podešavaju ili održavaju na mestu eksploatacije);

- grupisati elemente po klasama u skladu sa funkcijama koje izvršavaju, po metodama dijagnostike neispravnosti i nivoima montaže. Odrediti broj elemenata svake klase. Klase su oblika „tip komponente/modul“ (tabela 1). Iz razmatranja isključiti klase elemenata čiji otkazi neće uticati na vreme zastoja uređaja (kao što su drugostepene indikatorske sijalice, pomoćni kontrolno-merni uređaji, itd.);

- odrediti srednji intenzitet otkaza elemenata svake utvrđene klase (λ_{ij}), koristeći stvarne podatke o pouzdanosti ili ocene dobijene iz raznih priručnika (npr. iz MIL-HDBK-217A);

- sortirati intenzitete otkaza sastavnih elemenata po klasama, kao što je to prikazano u tabeli 1, odnosno, na mestu 1-1 nalaziće se klasa „tip komponente/modul“ čiji je intenzitet otkaza najveći;

- odrediti broj zadataka koji se simulira (n_{ij}) za svaku klasu, a na osnovu relativne težine λ_{ij}/λ_u i veličine određenog broja uzoraka n , prema obrascu:

$$n_{ij} = n \frac{\lambda_{ij}}{\lambda_u} \text{ gde je } \lambda_u = \sum_i \sum_j \lambda_{ij} - \text{ukupni}$$

intenzitet otkaza uređaja;

q – ukupan broj tipova komponenti (integralna kola, otpornici, kondenzatori, itd.);

p – ukupan broj modula koji se razmatraju (ispravljač, fazni diskriminator, VF pojačavač, itd.);

λ_{ij} – srednji intenzitet otkaza razmatrane klase „tip komponente/modul“ (na primer, tranzistor/VF pojačavač);

n – određeni broj uzoraka koji treba da bude u skladu sa izabranom metodom ispitivanja.

Broj zadataka za svaku klasu mora se zaokružiti na ceo broj prema sledećim pravilima: ako je $n_{ij} > 1$ zaokružiti na sledeći veći broj, a ako je $n_{ij} < 1$ zaokružiti na 1, počevši sa najvećim vrednostima sve dok se ne dostigne ukupno n .

Izbor komponenti, kod kojih se simulira otkaz, iz grupe modul/komponenta može se izvršiti: slučajnim izborom n_{ij} komponenti ili izborom po opadajućoj vrednosti intenziteta otkaza komponenti u grupi do ukupno n_{ij} .

Način otkaza biće specificiran za zadatak u skladu sa iskustvima na sličnim komponentama iz eksploatacije. Ot-

Tabela 1
Prikaz intenziteta otkaza po klasama

Tip komponente	Modul (sklop)				
	1	i	p
1	λ_{11}		λ_{1i}		λ_{1p}
.	.		.		.
.	.		.		.
.	.		.		.
j	λ_{j1}	λ_{ji}	λ_{jp}
.	.		.		.
.	.		.		.
.	.		.		.
lj	λ_{lj1}		λ_{lji}		λ_{ljp}

kaz se simulira na sredstvu koje se ispituje, bez znanja lica koja vrše opravku. Indukovani otkaz ne sme biti evidentan (vizuelno ili na drugi način).

Ovako izabrani otkazi treba da se „uvedu“ u uređaj u odsustvu ekipe za popravku na ispitnom mestu. Posle uvođenja i provere otkaza ekipa za održavanje se poziva na ispitno mesto i ona počinje sa radom u izabranom režimu sredstva, a nakon otkrivanja neispravnosti pristupa održavanju (njenom otklanjanju). Kontrolor registruje vreme potrebno za svaku etapu procesa održavanja. Registrovanje se vrši ručno ili pomoću računara. Podaci o svakom imitirajućem otkazu i vreme izvršavanja zadataka održavanja unose se u odgovarajući obrazac.

Ispitivanje pogodnosti za održavanje radio-uređaja RUT-1

U skladu sa opisanim postupkom, a radi određivanja vrste i broja zadataka održavanja koji se simuliraju, za radio-uređaj RUT-1 najpre je izvršeno određivanje intenziteta otkaza.

Za prognozu otkaza sastavnih delova, kao izvor podataka korišćen je MIL-HDBK-217C (Military Standardization Handbook, Reliability Prediction of Electronic Equipment).

Model intenziteta otkaza sastavnih delova zavisi od tipa dela, a opšti oblik je:

$$\lambda_d = \lambda_b (\pi_E \pi_L \pi_A \dots \pi_N),$$

gde je λ_b – osnovni intenzitet otkaza koji zavisi od opterećenja pri očekivanoj radnoj temperaturi, a π su određeni parametri.

Uzeto je da su sastavni delovi (komponente) rasterećeni, a intenzitet otkaza

određen je po grupama [9]. Sa stanovišta pouzdanosti uređaj je predstavljen serijskim vezama. Nakon određivanja osnovnog intenziteta otkaza određene su vrednosti ostalih parametara za određeni tip – grupu sastavnih delova, a nakon toga izračunat je intenzitet otkaza delova λ_d , na osnovu kojeg su izračunati intenziteti otkaza pojedinih modula, a nakon toga izračunat je intenzitet otkaza kompletnog primopredajnika ($\lambda_{pd} = 200,1982 \cdot 10^{-6}$ otkaza/čas).

Matrica intenziteta otkaza, po modulima i sastavnim elementima, prikazana je u tabeli 2, koja je dobijena unošenjem zbirnih intenziteta otkaza za grupe (klase) „elementi/blokovi“ („tip komponente/modul“). U tabeli je izračunato i procentualno učešće pojedinih elemenata (komponenti) i blokova (modula) u ukupnom intenzitetu otkaza.

Na osnovu tabele 2 (sa zbirnim intenzitetima otkaza) vrši se izbor zadataka (grešaka) koji se simuliraju. Uzima se da broj simuliranih otkaza bude proporcionalan broju očekivanih otkaza u eksploataciji. Može se očekivati da će ovaj broj biti, u principu, proporcionalan prognoziranoj intenzitetu otkaza klase (grupe). Zavisno od važnosti delova sistema može se odstupiti od ove proporcionalnosti i simulirati veći ili manji broj grešaka za određeni deo.

Broj simuliranih otkaza zavisi od preciznosti kojom se želi odrediti i oceniti parametar pogodnosti za održavanje. Za eksperimentalnu proveru u ovom primeru predviđeno je simuliranje 30 grešaka, kao kompromis između preciznosti, značaja uređaja, zahteva metoda koje će se primeniti i praktičnih mogućnosti.

Raspored broja simuliranih grešaka, po elementima i modulima, prikazan je u

Matrica intenziteta otkaza po sastavnim blokovima i elementima

Elementi		Kondenzatori	Tranzistori	Transformat.	Kristali	Diode	Zavojn. i prig.	Otopnici	Konektori	Preklopnici	Magneti	Sjajalice	Osiguraci	Filteri	Ostalo	UKUPNO	Procenat (%)	
Blokovi	Pred.	B1-U	3,83	2,53	0,88	0,6	1,66	0,44	0,77	0,07						10,77	5,38	
		B-2	0,94	3,88	4,84		1,39	0,09	1,92	0,14						13,20	6,59	
		B3	7,75					1,64		0,14	0,58						10,12	5,05
	Pri.	A1	20,69	2,64	0,44		0,35	3,31	0,06	0,22							27,73	13,05
		A2	7,24	2,38	3,07	0,6	0,08	0,16	0,21	0,22				2,2			16,17	8,08
		A3-U	1,50	3,65	0,44		0,96	0,38	0,60	0,07							8,02	4,01
	Sintezaator	A4	3,86					0,1		0,14							4,11	2,05
		C12	10,37	0,56	1,76		0,87	0,26	0,15	0,22	0,19						14,39	7,19
		C2	1,36	0,84	0,44		0,04	0,14	0,13								2,962	1,48
		C1	1,42	0,56	2,19	0,6	0,66	0,26	0,05								5,76	2,88
		C3	0,08	1,07	0,88		0,04	0,09	0,13								2,29	1,15
		C6	2,71	0,28	0,87	6	0,44	0,16	0,06								10,54	5,26
		C7	6,48	0,56	0,44	3	0,22	0,01	0,04								10,76	5,38
		C5	5,18	0,56	0,44	2,4	0,17	0,04	0,04								8,85	4,43
		C4	0,09	1,12	1,76		0,26	0,05	0,06								3,36	1,68
		C8	0,03	1,68	0,44		0,38		0,04								2,57	1,29
		C11	9,08	0,56			0,87	0,26	0,15	0,22	0,19						11,34	5,66
		C10	0,1	1,4	1,32		0,13	0,13	0,07								3,17	1,58
		C9	0,06	2,25	1,32		0,51	0,03	0,06								4,23	2,12
		Nap. i upr.	D1	0,15	0,56			0,63		0,19								1,54
	D2		0,01				0,04		0,09								0,15	0,07
	D		0,04						0,11	0,86	1,53		5,49	4,2			13,17	6,58
	F		0,06	2,53			1,53	0,05	0,3	0,07							4,54	2,28
	H									0,14	0,19						0,33	0,18
	E		0,03	3,09			0,33		0,34	0,07	0,57	2,95				0,96	8,38	4,18
	šas.		0,10				0,09			0,005	1,37						1,65	0,83
	UKUPNO		83,19	32,76	21,54	13,20	11,75	7,64	5,64	3,96	3,26	2,95	5,49	4,20	2,20	2,38	200,1	
Procenat (%)		41,57	32,76	21,54	6,59	5,87	3,82	2,82	1,98	1,63	1,47	2,74	2,09	1,10	1,19		100	

Napomena:

Brojevi u tabeli, osim reda i kolone „%“, prikazuju zbirni intenzitet otkaza po klasama „tip komponente/modul“.

Da bi se dobio intenzitet otkaza brojeve treba pomnožiti sa 10^{-6} otkaza/čas.

tabeli 3. Za svaku grešku formira se lista sa opisom simuliranog otkaza, opisom rada i utvrđenim vremenima opravke. Ispitivanje uređaja vršeno je standardnim i specijalnim instrumentima za ispitivanje modula. S obzirom na to da je uređaj modularne strukture, obavljeno je postupno ispitivanje opravke do nivoa modula, a posle i do nivoa komponenti.

Za svaki otkaz određena su odgovarajuća vremena, i to [2]:

- vreme dijagnostike TD (TD = TD1 + TD2);
- lokalizacija greške na nivou komponenti TD1;
- lokalizacija greški na nivou modula TD2;
- vreme opravke, zamene TR;

Raspored simuliranih otkaza po sastavnim blokovima i elementima

Elementi		Kondenzatori	Tranzistori	Transformat.	Kristali	Diode	Zavojn. i prig.	Opornici	Konektori	Preklopnici	Magneti	Sijalice	Osigurači	Filteri	Ostalo	UKUPNO	
Blokovi	Pred.	B1-U	1			1										2	
		B-2			1			1									2
		B-3	1					1									2
	Prij.	A1	2					1									3
		A2	1	1	1												3
		A3-U		1													1
		A4	1														1
	Sintezator	C12	2														2
		C2															0
		C1			1												1
		C3															0
		C6	1			1											2
		C7	1			1											2
		C5	1														1
		C4															0
		C8															0
		C11	1														1
		C10															0
	Nap. i upr.	C9		1													1
		D1				1											1
		D2															0
		D								1							1
		F		1													1
		H															0
		E		1								1					2
		šas.								1							1
	UKUPNO		11	6	3	3	1	2	1	1	1	1	0	0	0	0	30

– vreme kontrole TC.

Ukupno vreme na osnovu popravke do nivoa komponenti je:

$M_{ci} = TD + TR + TC + \text{rasklapanje} + \text{sklapanje}$.

U tabeli 4 prikazani su dobijeni rezultati koji se dalje koriste za analizu pogodnosti održavanja.

Analiza podataka ispitivanja radio-uređaja

Zadatak analize podataka o vremenima održavanja sastoji se u tome da se

odredi raspodela vremena izvršenja zadatka, i da se dobiju srednje i maksimalne vrednosti, disperzija, dopuštene granice i objašnjenje o tome da li zadovoljavaju postavljene zahteve u skladu sa TTZ i izabranom metodom ispitivanja.

U skladu sa navedenim potrebno je [10]:

– odrediti tačno vreme izvršenja svakog zadatka i vreme svake etape procesa održavanja (otkrivanje, određivanje, otklanjanje i provera);

– rasporediti vrednosti vremena izvršavanja zadataka po rastućem redosle-

Rezultati merenja vremena korektivnog održavanja

Greška broj	Modul/sklop	Komponenta	$\Sigma \lambda_i$ 10^{-6} o/h	TD			TR	TC 1+2+3	Rasklapanje	Sklopavanje	M_{ci}	λ_i/M_{ci} (10^{-6}) o/h
				TD1	TD2	TD1+TD2						
1	B1-U	Tr8	2,53	105	30	135	20	20	6	9	190	442,75
2	B1-U	D6	1,66	195	15	210	5	20	6	9	250	464,80
3	B2	R9	1,92	91	90	181	12	25	4	8	230	441,60
4	B2	T2	4,84	183	40	223	10	35	4	8	280	1645,60
5	B3	C13	7,75	25	45	70	25	20	5	10	130	930,00
6	B3	L12	1,64	33	50	83	27	20	5	10	145	209,92
7	B3	P1-B	0,58	40	45	85	30	25	10	10	160	78,30
8	A1	C24	20,69	62	55	117	25	25	8	10	185	3103,50
9	A1	C41	20,69	15	34	49	20	13	8	10	100	1779,34
10	A1	L23	3,31	16	35	51	23	13	8	10	105	304,52
11	A2	C57	7,24	51	55	106	22	20	4	8	160	999,12
12	A2	T7	3,07	45	43	88	30	25	4	8	155	405,24
13	A3-U	Tr12	3,65	92	40	132	15	28	10	15	200	730,00
14	A4	C5	3,86	5	10	15	8	3	3	3	32	96,50
15	C12	C8	10,37	25	40	65	10	20	10	10	115	1140,70
16	C12	C15	10,37	10	35	45	10	15	10	10	90	808,86
17	C1	T5	2,19	20	29	49	20	18	4	7	98	175,20
18	C6	C4	2,71	15	34	49	15	20	4	7	95	216,80
19	C6	H1	6,00	29	20	49	18	10	4	7	88	450,00
20	C7	C19	6,48	21	20	41	16	10	5	8	80	401,76
21	C7	H4	3,00	16	25	41	14	12	5	8	80	195,00
22	C5	C16	5,18	22	20	42	15	15	5	8	85	352,24
23	C11	C7	9,08	13	10	23	7	5	5	5	45	363,20
24	C9	Tr2	2,25	12	25	37	17	13	4	7	78	130,50
25	D1	ZD2	0,63	20	5	25	8	5	5	7	50	28,35
26	F	Tr2	2,53	50	62	112	25	20	5	8	170	354,20
27	D	P8g	1,53	5	24	29	20	3	4	9	65	73,44
28	E	Tr4	3,09	270	40	310	15	20	10	15	370	1158,75
29	E	EM-3	2,95	335	35	370	25	20	15	15	445	1312,75
30	šasija	PR 22	1,37	5	8	13	11	5	3	3	35	38,36
UKUPNO			153,16	1826	1019	2845	518	503	183	262	4311	18831,54

du i dobiti odgovarajuće gustine ili funkcije raspodele;

– aproksimirati u granicama propisanih i dozvoljenih granica dobijenu raspodelu teoretskom raspodelom (primenom grafičkih i/ili analitičkih metoda);

– izračunati srednju i maksimalnu moguću vrednost vremena održavanja i disperziju izabranog skupa ili drugu vrednost koju zahteva metoda ispitivanja;

– uneti ocenu parametara izbora u ranije razrađeni plan ispitivanja radi prihva-

tanja ili odbacivanja hipoteze da dobijeni parametri ne prelaze zadatu vrednost;

– izraditi izveštaj o rezultatima ispitivanja.

U okviru analize podataka za primopredajnik radio-uređaja prvo su, na osnovu tabele 4, podaci sortirani po rastućim vrednostima. Na osnovu njih je radi provere podataka i pretpostavke o lognormalnoj raspodeli, izvršeno određivanje funkcije raspodele vremena održavanja grafičkim i analitičkim putem. Kao gra-

fičke metode korišćeno je crtanje histograma i papir verovatnoće [10]. Za određivanje funkcije raspodele analitičkim putem primenjena je metoda Kolmogorov–Smirnov.

Na osnovu izvedenih izračunavanja utvrđeno je da funkcija gustine vremena za korektivno održavanje do nivoa komponenti odgovara lognormalnoj raspodeli, a izgled funkcije prikazan je na slici 2.

Primena metoda za ispitivanje pogodnosti za održavanje radio-uređaja

Na osnovu simulacije 30 grešaka (neispravnosti), utvrđene lognormalne raspodele vremena korektivnog održavanja, kao i karakteristika i mogućnosti primenjivosti opisanih metoda za ispitivanje pogodnosti za održavanje radio-uređaja, razmotrena je mogućnost primene pojedinih statističkih metoda za ispitivanje pogodnosti za korektivno održavanje do nivoa komponenti [11].

Imajući u vidu da u standardu SNO-1096/92 nisu propisani rizici proizvođača i potrošača, za primer će biti uzeti mini-

malni, jednaki rizici i za proizvođača i za potrošača ($\alpha, \beta = 0,10$).

Metoda 1 može se primeniti jer postoji zadato srednje vreme korektivnog održavanja do nivoa komponenti (180 minuta), i ustanovljeno je da se radi o lognormalnoj raspodeli, što je pretpostavka za ovu metodu.

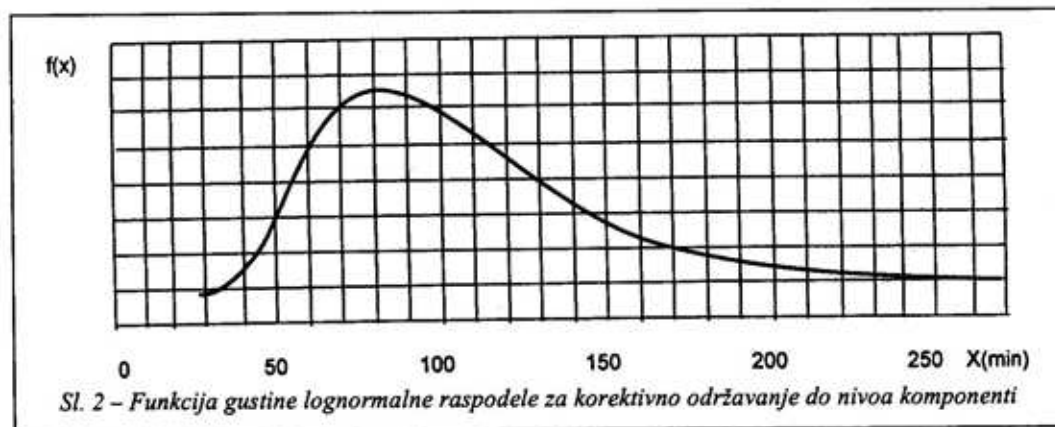
Disperzija logaritma vremena održavanja σ^2 nije poznata, i u ovom primeru će biti uzeta vrednost koja je određena grafičkim i analitičkim putem:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{1}{2\sigma^2}(\ln x - \hat{\theta})^2},$$

$$\hat{\theta} = 4,7714; \bar{M}_c = 118,0844; \bar{M}_c = 144,3296; M_0 = 79,0436; M_{c,0,9} = 265,6766$$

Metoda 2 može se primeniti, ali pošto se ova metoda koristi kada nije poznata raspodela, pošto ispituje isti parametar kao i metoda 1 i koristi iste ulazne podatke, ona neće biti razmatrana.

Metoda 3 u ovom primeru nije primenjena, jer je potreban veliki broj uzoraka. Naime, ako se uzme da je zadato maksimalno dozvoljeno vreme korektiv-



nog održavanja jednako 360 minuta (za 95%), da je željena vrednost tog vremena, na primer, 280 minuta, i ako se uzme u obzir lognormalna raspodela sa disperzijom $\sigma^2 = 0,4$, za broj uzoraka za ovu metodu [11], dobija se:

H_0 : 95-ti procenat = $X_p = X_{0,05} = 280$ minuta = T_0 ;

H_1 : 95-ti procenat = $H_p = H_{0,05} = 360$ minuta = T_1 ;

$\ln T_0 = 5,63$; $\ln T_1 = 5,886$; $1-p = 0,95$; $p = 0,05$; $Z_p = 1,65$; $Z_\alpha, Z_\beta = 1,28$;

$$n = \left(1 + \frac{z_p^2}{2}\right) \cdot \left(\frac{z_\alpha + z_\beta}{\ln T_1 - \ln T_0}\right)^2 \cdot \sigma^2 = 94$$

Vidi se da je broj potrebnih uzoraka 94, a u ovom primeru simulirano je samo 30 zadataka.

Metoda 4 biće primenjena samo radi ilustracije, jer u zahtevima nije dat procenat vremena održavanja. Kao primer biće uzete orijentacione vrednosti vremena održavanja za 50 i 25 procenata.

Metoda 5, takođe, biće primenjena radi ilustracije, jer ni za ovu metodu nije postavljen zahtev u pogledu medijane. Biće uzeto, kao i kod *metode 4*, da medijana vremena korektivnog održavanja (ERT) iznosi 110 minuta.

Metoda 6 biće primenjena, jer se radi o sekvencijalnom ispitivanju, mada će za ispitivanje maksimalnog vremena održavanja biti potrebna dodatna ispitivanja.

Metoda 7 biće primenjena samo kao primer za ispitivanje maksimalnog vremena korektivnog održavanja za dati procenat.

Metoda 8 neće se razmatrati, jer zahteva simulaciju najmanje 50 zadataka.

Ispitivanje srednjeg vremena korektivnog održavanja primenom metode 1

Zadate su i poznate određene vrednosti.

Rizik proizvođača $\alpha = 0,10$ da će sistem biti odbačen ako mu je stvarno vreme korektivnog održavanja do nivoa komponenti jednako željenoj vrednosti $\mu_0 = 130$ minuta.

Rizik kupca (naručioca) $\beta = 0,10$ da će sistem biti prihvaćen ako mu je stvarno vreme korektivnog održavanja do nivoa komponenti jednako maksimalno dopuštenoj vrednosti $\mu_1 = 180$ minuta.

Iz grafičkih i analitičkih proračuna utvrđeno je da je u slučaju korektivnog održavanja do nivoa komponenti $\sigma^2 = 0,4$.

Nulta hipoteza H_0 : srednja vrednost = $\mu_0 = 130$ minuta;

Alternativna hipoteza H_1 : srednja vrednost = $\mu_1 = 180$ minuta; $\sigma^2 = 0,4$ (0,63); $\alpha = \beta = 0,10$; $z_\alpha = z_\beta = 1,28$ (tabela 2 [11]).

Veličina uzorka je:

$$n = \frac{(z_\alpha \mu_0 + z_\beta \mu_1)^2}{(\mu_1 - \mu_0)^2} (e^{\sigma^2} - 1) = 30,86 \approx 30.$$

Zadaci su uzeti prema tabeli 4. Primenom izraza (2) i (3) [11] dobija se aritmetička sredina uzorka i varijansa;

$$\bar{X} = 143,7; \hat{d}^2 = 9222,079; \hat{d} = 96,03$$

Na osnovu hipoteze H_0 uređaj se prihvata ako je zadovoljena nejednakost data izrazom:

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

Vremena korektivnog održavanja za primenu u metodi 4

R. b. zad.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Otkaz br.	1	3	5	6	8	9	11	12	13	14	15	16	18	19	21	22	23	24	25	26	27	29	30
X_i	190	230	130	145	185	100	160	155	200	32	115	90	95	88	80	85	45	78	50	170	65	445	35

U ovom slučaju je $143,7 \leq 152,44$, pa se za korektivno održavanje do nivoa komponenti uređaj prihvata.

Ispitivanje procenta vremena korektivnog održavanja iznad specificirane vrednosti primenom metode 4

Smatra se prihvatljivim da vrednost medijane (50. procenat) u slučaju korektivnog održavanja do nivoa komponenti iznosi 110 minuta, a neprihvatljivim ako 25. procenat vrednosti vremena održavanja bude jednak 110 minuta. Ako je $\alpha = \beta = 0,10$ sledi da je:

H_0 : 110 minuta = $X_{0,50} = 50$ procenata – medijana,

H_1 : 110 minuta = $X_{0,75} = 25$ procenata vrednosti vremena održavanja,

$\alpha = \beta = 0,10$; $z_\alpha = z_\beta = 1,28$ (tabela 8);

$p_1 = 0,75$; $p_0 = 0,50$;

$q_0 = 1 - p_0 = 0,50$; $q_1 = 1 - p_1 = 0,25$

Pošto je $0,20 < p_0 < 0,80$ može se izračunati n i c

$$n = \left| \frac{z_\beta \sqrt{p_1 q_1} + z_\alpha \sqrt{p_0 q_0}}{p_1 - p_0} \right|^2 \approx 23$$

$$c = n \cdot \left| \frac{z_\beta p_0 \sqrt{p_1 q_1} + z_\alpha p_1 \sqrt{p_0 q_0}}{z_\alpha \sqrt{p_0 q_0} + z_\beta \sqrt{p_1 q_1}} \right| \approx 14$$

U tabeli 5 slučajnim su izborom (iz table 4) uzeta 23 vremena korektivnog održavanja.

Uočava se da broj zadataka koji prelaze specificirano vreme iznosi 11 ($r = 11$). S obzirom na to da je $r \leq c$ ($11 \leq 14$) prihvata se nulta hipoteza.

Ispitivanje medijane vremena korektivnog održavanja primenom metode 5

Usvaja se da je za korektivno održavanje do nivoa elementa ERT = 110, a veličina uzorka = 20. U tabeli 6 slučajnim izborom je (iz table 4) uzeto 20 vremena korektivnog održavanja, a navedeni su i drugi podaci potrebni za ovu metodu.

Tabela 6
Vremena zadataka korektivnog održavanja za primenu metode 5

Br. zad.	Otkaz. br.	X_i	$\log X_i$
1	1	190	2,278753
2	3	230	2,361727
3	5	130	2,113943
4	6	145	2,161368
5	8	185	2,267171
6	11	160	2,204119
7	12	155	2,190331
8	13	200	2,301029
9	15	115	2,060697
10	16	90	1,954242
11	18	95	1,977723
12	19	88	1,944482
13	21	80	1,903089
14	22	85	1,929418
15	23	45	1,653212
16	25	50	1,698970
17	26	170	2,230448
18	27	65	1,812913
19	29	445	2,648360
20	30	35	1,544068
Σ		2758	41,23607
$\Sigma/20$		137,9	2,061803

Na osnovu podataka iz tabele 6 izračunava se:

$$\log MTTR_G = \frac{\sum_{i=1}^{n_c} (\log X_{ci})}{n_c} = 2,0618$$

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_c} (\log X_{ci})^2}{n_c} - (\log MTTR_G)^2} = 0,261$$

Nultu hipotezu treba prihvatiti ako je zadovoljena nejednakost:

$$\log MTTR_G \leq \log ERT + 0,397 \cdot S$$

U ovom slučaju je $2,0618 \leq 2,1436$, pa se nulta hipoteza prihvata.

Ispitivanje vremena korektivnog održavanja primenom metode 6

Zadato je maksimalno srednje vreme korektivnog održavanja do nivoa elemenata $M_c = 180$ minuta i maksimalno vreme održavanja $M_{cmax;0,90} = 360$ minuta. Uzeto je da je zadato maksimalno vreme za 90. procenat, a ne za 95. jer su po planu B1 blaži kriterijumi za ocenu.

Na osnovu metode 6 potrebno je izvršiti ispitivanje po planu A i po planu B1. Da bi se uređaj prihvatio potrebno je da budu ispunjeni zahtevi po oba plana.

Za ispitivanje korektivnog održavanja odabrano je za početak 20 zadataka koji su navedeni u tabeli 7.

Na osnovu podataka iz tabele 7 vidi se da je prvo vreme korektivnog održava-

nja do nivoa elemenata veće od specificiranog srednjeg vremena. Na osnovu dijagrama sa slike 1 [11] i kriterijuma prihvatanja za plan A (srednja vrednost) vidi se da je u ovom slučaju za prihvatanje potrebno minimalno 15 zadataka. Posle 15. zadatka, pošto više nijedno vreme nije veće od specificiranog, uređaj se prihvata.

Za ispitivanje po planu B1 (dijagram na slici 2 [11]) potrebno je najmanje 26 zadataka, pod uslovom da nijedno vreme ne bude veće od specificiranog. Iz tabele 7 vidi se da je vreme 19 zadataka veće od specificiranog, pa je tada potrebno nastaviti ispitivanje do najmanje 46 zadataka.

Da bi se donela odluka o prihvatanju uređaja moraju biti ispunjeni kriterijumi po oba plana, a imajući u vidu da je za ovaj primer vršena simulacija samo 30 zadataka, ne može se doneti odluka ni o prihvatanju ni o odbacivanju bez minimalno 16 dodatnih ispitivanja.

Ispitivanje maksimalnog vremena održavanja pri datom procentu primenom metode 7

Ova metoda primeniće se za ispitivanje maksimalnog vremena korektivnog održavanja za 95 procenata. U zahtevu za uređaj specificirano je da je maksimalno vreme korektivnog održavanja do nivoa komponenti 360 minuta. Za procentualnu tačku od 95% iz tabele 4 [11] dobija se da je $\phi = 1,65$.

Vremena korektivnog održavanja do nivoa komponenti za primenu u metodi 6

Tabela 7

R. b. zad.	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
Otkaz br.	3	5	6	9	10	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	27	28	30
M_c	230	130	145	100	105	32	115	90	98	95	88	80	80	85	45	78	50	65	370	30

Za graničnu vrednost za kriterijum prihvatanja/odbacivanja za $M_{\max c}$ za korektivno održavanje radio-uređaja do nivoa komponenti dobija se:

$$M_{\max c}^* = \text{anti log} \frac{\sum_{i=1}^{n_c} \ln X_{ci}}{n_c} + \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n_c} (\ln X_{ci})^2 - \frac{\left(\sum_{i=1}^{n_c} \ln X_{ci}\right)^2}{n_c}}{n_c - 1}} = 341,57$$

Pošto je zadato $M_{\max c} = 360$ minuta veće od $M_{\max c}^*$, uređaj se prihvata.

Uporedni pregled rezultata ispitivanja primenom statističkih metoda

Uporedni pregled rezultata ispitivanja prikazan je u tabeli 8.

Tabela 8

Uporedni pregled rezultata ispitivanja

R. br.	Primenjena metoda	Parametar koji se ispituje za korektivno održavanje	Rezultat ispitivanja		Napomena
			Prihvatiti	Odbaciti	
1	Metoda 1	Srednja vrednost vremena održavanja	*		
2	Metoda 4	Procenat vremena održavanja	*		(50 i 75%)
3	Metoda 5	Medijana vremena održavanja	*		
4	Metoda 7	Maksimalno vreme održavanja	*		

Iz table 8 vidi se da se ispitivanjem pomoću četiri metode uređaj može prihvatiti u svim slučajevima, pa se može

zaključiti da uređaj u celini zadovoljava zahteve pogodnosti za održavanje.

Zaključak

Izučavanje pogodnosti za održavanje elektronskih tehničkih sredstava treba započeti u fazama istraživanja, postavljanja TTZ i u ranim fazama razvoja. Posebno je značajno da se pravilno zadaju karakteristike pogodnosti za održavanje u TTZ, preko vrednosti parametara koji se, obično, kvantitativno izražavaju raznim vremenima održavanja, o čemu u našim vojnim standardima nema dovoljno podataka.

Ugradnja pogodnosti za održavanje ostvaruje se kroz program pogodnosti za održavanje, čiji je sastavni deo i ispitivanje i ocena karakteristika pogodnosti za održavanje preko nekih od parametara, a na osnovu zahteva definisanih u TTZ. Ispitivanje se realizuje kroz program ispitivanja. Za ispitivanje kvantitativnih pokazatelja pogodnosti za održavanje primenjuju se statističke metode. U Vojski SCG ne postoje standardi u kojima se razmatra problematika i načini ispitivanja pogodnosti za održavanje.

U radu je vršeno ispitivanje pogodnosti za korektivno održavanje primopredajnika radio-uređaja RUT-1, i prikazan je kompletan postupak ispitivanja koji se može primeniti na bilo koji elektronski uređaj.

Najpre je grafički i analitički ispitivana funkcija raspodele vremena korektivnog održavanja, a zatim je vršeno ispitivanje primenom metoda: 1, 4, 5, 6 i 7 [1]. Postupkom ispitivanja procenjeno je da primopredajnik radio-uređaja, u celini, ispunjava postavljene zahteve pogodnosti za održavanje.

Pokazano je, takođe, da se isti eksperimenti (uzorci ispitivanja) mogu koristiti za primenu više metoda, odnosno da se ne mora za svaku metodu vršiti novo uzorkovanje i proveravanje. Na osnovu malog broja podataka, dostupnih iz eksploatacije ovog uređaja, vremena održavanja iz eksploatacije (vremena opravke iz radnih listi) znatno su veća od vremena dobijenih ispitivanjem. Obrazloženje se može tražiti u upisivanju u radnu listu i vremena logističkog čekanja, nedostataka r/d za zamenu, osposobljenosti ljudstva i dr. U svakom slučaju, posle razvoja i uvođenja sredstava u naoružanje treba nastaviti sa praćenjem podataka bitnih za pogodnost održavanja.

Literatura:

- [1] Petković, R.; Kokanović, M.; Čirović, M.: Organizacija održavanja TMS, CVTŠ KoV, Zagreb, 1988.
- [2] Kokanović, M.; Čirović, M.; Modrić, Z.: Logističko inženjerstvo, CVTŠ KoV, Zagreb, 1988.
- [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] Postavljanje i sprovođenje zahteva za pogodnost za održavanje u fazama razvoja TMS, Institut za nuklearne nauke „Boris Kidrič“, Beograd-Vinča, 1985.
- [5] Kanninghem, Koks, V.: Metodi obespećenija remontoprikladnosti (Prevod sa engleskog – Applied maintainability engineering, Sovjetskoje Radio, Moskva, 1978.
- [6] Radio-uređaj RTU-1 (opis, rukovanje, osnovno i tehničko održavanje i remont), TU SSNO, 1984.
- [7] Analiza i ocena pogodnosti za održavanje tehničkih sistema na primeru lakog terenskog automobila, VTI, Beograd, 1988.
- [8] Taktičko-tehnički zahtevi za razvoj tehničkih materijalnih sredstava, SNO 1096/85.
- [9] Čirović, M.: Analiza i proračun pouzdanosti elektronskih uređaja, Vojnotehnički glasnik 4/1985, Beograd.
- [10] Čosović, D.: Statističke metode ispitivanja pogodnosti za održavanje, Specijalistički rad, VTA, Beograd, 2001.
- [11] Čosović, D.: Statističke metode ispitivanja pogodnosti za održavanje, Vojnotehnički glasnik 4/2003, Beograd.
- [12] SNO 1096/92: Taktičko-tehnički zahtevi za sredstva ili sisteme NVO.