Mr Dušan Korolija,
major, dipl. inž.
Vojnotehnički institut VJ,
Beograd

MODEL KOREKTIVNOG ODRŽAVANJA ELEKTRONSKIH UREĐAJA U SISTEMU ODRŽAVANJA SA VIŠE NIVOVA

UDC: 621.38-7.001.573

Rezime:

U radu je prikazan analitički model korektivnog održavanja modularno građenih elektronskih uređaja u sistemu održavanja sa više nivoa. Prikazani model sadrži model nivoa opravke i model snabdevanja rezervnim delovima. Za kriterijume valjanosti korektivnog održavanja izabrani su vreme zastoja zbog korektivnog održavanja i ukupni troškovi korektivnog održavanja u životnom veku. Kao primer proračuna kriterijuma korektivnog održavanja korišćen je jedan hipotetički elektronski uređaj.

Ključne reči: korektivno održavanje, nivo opravke, zastoj zbog korektivnog održavanja, troškovi korektivnog održavanja, popravljivi rezervni delovi.

MODEL OF ELECTRONIC DEVICES CORRECTIVE MAINTENANCE IN MULTILEVEL MAINTENANCE SYSTEM

Summary:

The paper presents corrective maintenance analytic model for electronic module constructed devices in a multilevel maintenance system. The model includes the level-of-repair model and the spare part supply model. Corrective maintenance downtime and corrective maintenance cost in life cycle are selected for validity criterions of corrective maintenance. A hypothetical electronic device is used as an example for the calculation of corrective maintenance criteria.

Key words: corrective maintenance, level-of-repair, corrective maintenance downtime, corrective maintenance cost, repairable spare parts.

Uvod

Profesionalni elektronski uređaji održavaju se u sistemima održavanja sa više nivoa. Na nivoima održavanja izvode se preventivne i korektivne akcije održavanja. Da bi se mogle uspešno izvoditi neophodno je da uređaj bude pogodan za održavanje i da svaki nivo raspolaže obučanim kadrom, opremom, rezervnim delovima, softverom i tehničkom dokumentacijom.

Kako bi se postigla maksimalna operativna gotovost uređaja, uz istovremene minimalne troškove službe održavanja, nužno se nameće potreba optimizacije održavanja. Suština optimizacije održavanja je izbor najbolje od više ponuđenih varijanti [1]. Kod elektronskih uređaja, za izbor, značajne su varijante:

- pogodnosti održavanja,
- tehnologije održavanja uređaja,

— nivoa opravke uređaja i njegovih sastavnih delova — nadležnosti održavanja,

— početnih zaliha rezervnih delova.

Da bi se ocenile varijante održavanja neophodno je izabrati i definisati relevantne kriterijume za ocenu valjanosti varijanti i matematički ih operacionalizovati — izgraditi model održavanja.

Prvi matematički modeli na području održavanja tehničkih uređaja bili su modeli za određivanje asortimana i količina potrebnih rezervnih delova za održavanje, odnosno normiranja rezervnih delova, kako se ova delatnost uobičajeno naziva u vojnoj primeni. Ovi modeli razvijali su se pod pokroviteljstvom vojnih službi koje su se, uglavnom, bavile snabdevanjem, pa su modeli bili slabo povezani sa održavanjem. Na drugoj strani, službe za održavanje razvijale su modele za određivanje nivoa opravke uređaja i njegovih sastavnih delova i za donošenje odluke o tome da li sastavni deo treba popraviti ili odbaciti. Ovi modeli uvažavali su više parametara operativne okoline, opreme i kadra za održavanje, strukture sistema održavanja, itd. Međutim, dugo nisu uzimali u obzir rezultate koje su davali modeli za normiranje rezervnih delova. Poslednjih godina ima sve više pokušaja da se modeli za određivanje nivoa opravke i normiranja rezervnih delova povežu na adekvatan način, kako bi se objedinila optimizacija održavanja i snabdevanja rezervnim delovima.

Preventivno održavanje se, u principu, izvodi na ispravnim uređajima, nakon određenih vremenskih ili radnih resursa. Ako resurs istekne u toku misije uređaja nije neophodno, sa aspekta pouzdanosti uređaja, da se prekinе misija da bi se izvršilo preventivno održavanje. Ono se može izvesti nakon završetka misije uređaja, a ako se zna da će misija dugo trajati pre-

ventivno održavanje se može izvesti i pre njenog početka. Za razliku od preventivnog, potreba za korektivnim održavanjem javlja se u slučajnom trenutku, najčešće u toku trajanja misije, i ovo održavanje mora se sprovesti u kratkom vremenskom periodu, kako bi se misija uređaja mogla nastaviti. Zbog toga je problem izrade modela i optimizacije korektivnog održavanja kompleksniji od ovog problema kod preventivnog održavanja, a optimizacija korektivnog održavanja je važnija za operativnu gotovost uređaja od optimizacije preventivnog održavanja.

Izbor kriterijuma za ocenu valjanosti korektivnog održavanja elektronskih uređaja

Osnovni kriterijumi valjanosti nekog sistema su efektivnost sistema i troškovi sistema. Kod sistema održavanja tehničkih uređaja jedan od pokazatelja efektivnosti sistema je operativna gotovost uređaja, koja se definiše kao odnos vremena kada je uređaj raspoloživ i ukupno posmatranog vremena, a govori o verovatnoći da uređaj može započeti sa izvršavanjem misije u momentu kada to zatreba:

$$A_o = \frac{MTBM}{MTBM + MDT} \quad (1)$$

gde je:

MTBM — srednje vreme između održavanja uređaja,

MDT — srednje vreme zastoja uređaja zbog održavanja.

Srednje vreme između održavanja uređaja predstavlja srednju vrednost perioda spremnosti uređaja za rad između dva održavanja. Kod elektronskih uređaja izračunava se kao:

$$MTBM = \frac{1}{\lambda_{ef} + f_p} \quad (2)$$

gde je:

λ_{ef} — efektivni intenzitet otkaza uređaja, [otkaza/h],

f_p — srednja frekvencija preventivnog održavanja [akcija prev. održavanja/h].

Srednje vreme zastoja elektronskog uređaja zbog održavanja dobija se pomoću izraza:

$$MDT = \frac{\lambda_{ef} MDT_c + f_p MDT_p}{\lambda_{ef} + f_p} \quad (3)$$

gde je:

MDT_c — srednje vreme zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja,

MDT_p — srednje vreme zastoja uređaja zbog preventivnog održavanja.

Srednje vreme zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja MDT_c zavisi od efikasnosti sistema održavanja u kome se uređaj održava, od svojstava samog uređaja (pogodnosti za održavanje) i od rešenosti održavanja uređaja (obučenost kadra, oprema, rezervni delovi, itd.). Kao takvo ovo vreme se može uzeti kao *osnovni kriterijum za ocenu valjanosti korektivnog*

održavanja uređaja, sa aspekta efektivnosti održavanja. Ovo vreme predstavlja usrednjeno vreme srednjih vremena zastoja zbog korektivnog održavanja uređaja na svim nivoima održavanja:

$$MDT_c = \sum_{n=1}^N MDT_{cn} q_n \quad (4)$$

gde je:

MDT_{cn} — srednje vreme zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja na n-tom nivou održavanja,

q_n — verovatnoća korektivnog održavanja uređaja na n-tom nivou održavanja,

N — broj nivoa održavanja.

Srednje vreme zastoja zbog korektivnog održavanja MDT_{cn} sadrži sve zastoje u radu ili u spremnosti uređaja za rad, koji su posledica potrebe izvršavanja određenih korektivnih operacija održavanja na sredstvu: od prijavljivanja i planiranja, preko transporta, održavanja i zastoja u toku održavanja, do predaje korisniku, kada je uređaj ponovo spreman za upotrebu. Na slici 1 raščlanjen je vremenski tok korektivnog održavanja,

Sl. 1 — Vremenski tok korektivnog održavanja

gde je:

- 1 — vreme prijavljivanja uređaja za popravku (T_{prn}),
- 2 — vreme transporta uređaja na održavanje (T_{trn}),
- 3 — vreme čekanja uređaja u radionici na održavanje ($T_{\check{c}odn}$),
- 4 — vreme zastoja uređaja zbog nedostatka rezervnih delova (T_{zrdn}),
- 5 — aktivno vreme korektivnog održavanja uređaja (T_{akon}),
- 6 — vreme čekanja uređaja u radionici na predaju ($T_{\check{c}prn}$),
- 7 — transport uređaja sa održavanja (T_{trn}).

Na osnovu slike 1 srednje vreme zastoja zbog korektivnog održavanja na n-tom nivou održavanja može se analitički izraziti:

$$MDT_{cn} = T_{prn} + 2T_{trn} + T_{\check{c}odn} + T_{zrdn} + T_{akon} + T_{\check{c}prn} \quad (5)$$

Vremena prijavljivanja, čekanja i transporta jesu vremena koja najviše zavise od organizacije sistema održavanja, pa se kao takva relativno lako mogu proceniti i izračunati.

Ukupni troškovi korektivnog održavanja mogu se uzeti kao osnovni kriterijum za ocenu valjanosti, sa aspekta ekonomičnosti njegovog izvođenja. Pod ovim troškovima podrazumevaju se:

— troškovi ulaganja u korektivno održavanje uređaja na početku eksploatacije,

— troškovi korektivnog održavanja u toku veka uređaja.

Troškovi ulaganja u korektivno održavanje na početku eksploatacije uređaja pojavljuju se i realizuju na početku veka uređaja. Cilj ovih ulaganja je stvaranje potrebnih uslova za izvođenje korektivnog održavanja uređaja.

Od ovih troškova, za ocenu i izbor varijanti korektivnog održavanja, bitni su:

— *troškovi opreme za korektivno održavanje*, koji su posledica potrebe opremanja nivoa održavanja sa specijalnom opremom za otklanjanje otkaza na sredstvu i njegovim sastavnim delovima. Vrsta opreme (alati, instrumenti, adapteri, interfejsi, itd.) zavisi od tehnologije korektivnog održavanja i raspodele korektivnih tehnoloških programa po nivoima održavanja;

— *troškovi obuke kadra za korektivno održavanje*, koji su posledica potrebe da se osposobi kadar, koji će raditi na otklanjanju otkaza uređaja i njegovih popravljivih sastavnih delova. Ovi troškovi su proporcionalni trajanju obuke i broju ljudi koje treba obučiti. Trajanje obuke zavisi od tehnologije korektivnih programa za čije izvođenje se kadar obučava, kao i predznanja polaznika. Broj ljudi zavisi od raspodele korektivnih tehnoloških programa po nivoima održavanja;

— *troškovi početnih zaliha rezervnih delova*, koji zavise od tehnologije korektivnog održavanja, od nadležnosti pojedinih nivoa za izvršavanje korektivnih tehnoloških programa održavanja i od zahtevanog zastoja uređaja zbog nedostatka rezervnih delova. Tehnologija održavanja definiše koji će se delovi zamenjivati u toku opravke, odnosno definiše asortiman rezervnih delova, a time utiče na troškove početnih zaliha rezervnih delova. Od nadležnosti nivoa za korektivno održavanje zavisi broj mesta na kojima će se nalaziti rezervni delovi, a od ovog broja i troškovi rezervnih delova. Ako se zahteva manji zastoj uređaja zbog nedostatka rezervnih delova potrebno je na svim nivoima imati veće količine rezervnih delova, a time su i troškovi zaliha rezervnih delova veći;

— *troškovi dokumentacije i softvera za održavanje*, koji se sastoje od troškova izrade i troškova distribucije

(štampanja, umnožavanja i slanja korisnicima). Troškovi izrade dokumentacije su isti za sve varijante izvođenja korektivnog održavanja, dok troškovi distribucije zavise od nadležnosti nivoa za korektivno održavanje.

Troškovi korektivnog održavanja u toku veka uređaja raspoređeni su po vremenu, pa ih je pogodno svesti na vremensku jedinicu (npr. godinu). Od ovih troškova, za ocenu i izbor varijanti korektivnog održavanja, bitni su sledeći:

— *troškovi radne snage za korektivno održavanje*, koji predstavljaju važnu stavku korektivnog održavanja. Zavise od utroška radnog vremena za otklanjanje otkaza, koje zavisi od tehnologije održavanja preko aktivnog vremena održavanja, ali i od nadležnosti korektivnog održavanja preko cena radnog sata, koje se u principu razlikuju po nivoima;

— *troškovi utrošenih rezervnih delova*, koji zavise od odluke: koji će se neispravni sastavni delovi uređaja opravljati, a koji će se odbacivati. U slučaju da se sve modularne celine uređaja opravljaju, odbacuju se samo neispravni elementi i ovi troškovi su minimalni. U slučaju odbacivanja modularnih celina, ovi troškovi rastu;

— *troškovi transporta uređaja i njegovih sastavnih delova pri korektivnom održavanju*, koji zavise od raspodele korektivnih tehnoloških programa po nivoima održavanja, a kod sastavnih delova i od količine početnih zaliha rezervnih delova. U slučaju izvođenja korektivnih tehnoloških programa na sredstvu na nižim nivoima održavanja troškovi transporta uređaja su manji, a sastavnih delova veći, i obrnuto, pri otklanjanju otkaza uređaja na višim nivoima održavanja troškovi uređaja su veći, a sastavnih delova manji.

Model za ocenu valjanosti korektivnog održavanja

Verovatnoća korektivnog održavanja elektronskog uređaja na n-tom nivou održavanja dobija se pomoću izraza:

$$q_n = \frac{K_n \sum_{j=1}^N \Lambda_j}{\sum_{n=1}^N K_n \sum_{j=1}^N \Lambda_j} \quad (6)$$

gde je:

N — broj nivoa održavanja,

K_n — ukupan broj vrsta sastavnih delova uređaja, koji se na sredstvu menjaju na n-tom nivou održavanja,

Λ_j — ukupan intenzitet otkaza j-tog dela, dobija se pomoću izraza:

$$\Lambda_j = K_e(j) \lambda_1(j) + [1 - K_e(j) \lambda_2(j)] \quad (7)$$

gde je:

$K_e(j)$ — koeficijent eksploatacije j-tog sklopa/dela,

$\lambda_1(j)$ — intenzitet otkaza j-tog dela pod radnim opterećenjem,

$\lambda_2(j)$ — intenzitet otkaza j-tog dela kada je deo rasterećen.

Aktivno vreme korektivnog održavanja uređaja na n-tom nivou održavanja je dato izrazom:

$$T_{akon} = \frac{K_n \sum_{j=1}^N \Lambda_j t_{aoj}}{\sum_{j=1}^N \Lambda_j} \quad (8)$$

gde je:

t_{aoj} — aktivno vreme opravke uređaja zamenom j-tog dela.

Izraz za aktivno vreme korektivnog održavanja popravljivog sastavnog dela na n-tom nivou održavanja analogan je izrazu (8).

Vreme zastoja uređaja zbog nedostatka rezervnih delova na n -tom nivou održavanja zavisi od mnogo parametara sistema snabdevanja i sistema održavanja. U opštem slučaju ovo vreme je:

$$T_{zrdn} = \sum_{j=1}^{K_n} q_j \sum_{i=1}^{D_n} t_{ji} R_{ji} \quad (9)$$

gde je:

q_j — verovatnoća opravke uređaja na n -tom nivou zamenom j -tog sastavnog dela,

t_{ji} — srednje vreme obnavljanja j -tog sastavnog dela u i -tom kompletu rezervnih delova,

R_{ji} — verovatnoća obnavljanja j -tog sastavnog dela u i -tom kompletu rezervnih delova,

D_n — broj nivoa snabdevanja rezervnim delovima n -tog nivoa održavanja.

Izraz za vreme zastoja popravljivog sastavnog dela zbog nedostatka rezervnih delova analogan je izrazu (9).

Kompletni matematički izrazi za dobijanje vremena zastoja elektronskog uređaja zbog nedostatka rezervnih delova dati su u [2] — sistem održavanja sa četiri nivoa, i u [3] — sistem održavanja sa dva nivoa.

Troškovi opreme za korektivno održavanje iznose:

$$C_{op} = \sum_{n=1}^N X_n \sum_{i \in n} C_{opi} \quad (10)$$

gde je:

$i \in n$ — korektivni programi održavanja koji se izvode na n -tom nivou održavanja,

C_{opi} — cena specijalne opreme za izvođenje i -tog korektivnog tehnološkog programa,

X_n — broj radionica (mesta za održavanje) na n -tom nivou održavanja.

Troškovi obuke kadra za korektivno održavanje:

$$C_{ob} = \sum_{n=1}^N K_{sln} \sum_{i \in n} C_{obi} T_{obin} \quad (11)$$

gde je:

K_{sln} — broj slušalaca na n -tom nivou,

C_{obi} — cena dnevne obuke po slušaocu za i -ti korektivni tehnološki program,

T_{obin} — trajanje obuke za i -ti korektivni tehnološki program ako se izvodi na n -tom nivou održavanja.

Troškovi početnih zaliha rezervnih delova:

$$C_{zrd} = \sum_{n=1}^N X_n \sum_{j=1}^{K_n + K_{ns}} C_{rdj} Y_{jn} \quad (12)$$

gde je:

K_{ns} — ukupan broj vrsta delova koji pripadaju popravljivim sastavnim delovima uređaja, koji se menjaju na n -tom nivou održavanja,

C_{rdj} — cena j -tog rezervnog dela,

Y_{jn} — broj j -tih rezervnih delova u kompletu na n -tom nivou održavanja.

Troškovi dokumentacije i softvera za održavanje:

$$C_{dok} = C_{id} + \sum_{n=1}^N X_n \sum_{i \in n} C_{disi} \quad (13)$$

gde je:

C_{id} — cena izrade dokumentacije i softvera za korektivno održavanje,

C_{disi} — cena distribucije dokumentacije i softvera za i -ti korektivni program.

Troškovi radne snage za korektivno održavanje uređaja:

$$C_{rs} = \sum_{n=1}^N (z_n \sum_{j=1}^{K_n} \Lambda_j t_{aoj} + \sum_{j=1}^{K_{ns}} \Lambda_{js} t_{aojs} z_{njs}) X_n C_{rsn} T_{ek} \quad (14)$$

gde je:

- z_n — broj uređaja koji se popravljaju na n-tom nivou održavanja,
 Λ_{js} — ukupan intenzitet otkaza j-tog dela sastavnog dela uređaja dobija se pomoću izraza koji je analogan izrazu za Λ_j ,
 t_{aojs} — aktivno vreme opravke sastavnog dela uređaja zamenom j-tog dela,
 z_{njs} — broj popravljivih sastavnih delova uređaja koji se na n-tom nivou održavanja popravljaju zamenom j-tog dela,
 C_{rsn} — cena radnog sata na n-tom nivou,
 T_{ek} — trajanje eksploatacije uređaja.

Troškovi utrošenih rezervnih delova:

$$C_{urd} = \sum_{n=1}^N X_n T_{ek} \left(\sum_{j=1}^{K_n} c_{rdj} \Lambda_j + \sum_{j=1}^{K_{ns}} c_{rdj} \Lambda_{js} \right) \quad (15)$$

Troškovi transporta uređaja i njegovih sastavnih delova zbog održavanja:

$$C_{tr} = \sum_{n=1}^N q_n C_{trn} \Lambda_{sr} T_{ek} \quad (16)$$

gde je:

- C_{trn} — cena transporta uređaja na n-ti nivo održavanja,
 Λ_{sr} — ukupni intenzitet otkaza uređaja, koji se dobija pomoću izraza:

$$\Lambda_{sr} = \sum_{n=1}^N \sum_{j=1}^{K_n} \Lambda_j \quad (17)$$

Matematički izrazi za dobijanje troškova transporta popravljivih sastavnih delova elektronskog uređaja su relativno složeni, jer zavise od popunjenosti kompleta rezervnim delovima. U [5] je dat model troškova transporta popravljivih modularnih celina u sistemu održavanja sa dva nivoa.

Primer proračuna vrednosti kriterijuma korektivnog održavanja elektronskog uređaja

Pomoću datog matematičkog modela korektivnog održavanja realizovan je računarski program, koji je poslužio za proračun vrednosti kriterijuma jedne varijante korektivnog održavanja hipotetičkog elektronskog uređaja. Na slici 2 prikazana je blok-šema konstrukcije ovog uređaja.

Sl. 2 — Blok-šema konstrukcije hipotetičkog elektronskog uređaja

Kao što se vidi, uređaj se sastoji od tri više modularne celine (VMC), a svaka VMC od određenog broja nižih modularnih celina (NMC). Svaka NMC sastoji se od određenog broja elemenata. Tehnologija korektivnog održavanja ovog uređaja rešena je preko tri korektivna tehnološka programa:

- KO-4 popravak uređaja zamenom VMC bez podešavanja;
- KO-6 popravak VMC zamenom NMC bez podešavanja;

— KO-8 popravak NMC zamenom elemenata bez podešavanja.

Uređaj se održava u sistemu održavanja sa četiri nivoa. Korektivni programi su raspodeljeni po nivoima održavanja na sledeći način:

- KO-4 $\Rightarrow$ II nivo,
- KO-6 $\Rightarrow$ III nivo,
- KO-8 $\Rightarrow$ IV nivo.

Na I nivou održavanja (korisnik uređaja) ne izvodi se korektivno održavanje. Uređaj se nakon svakog otoka šalje u radionicu II nivoa održavanja, gde se popravljja zamenom neispravne VMC ispravnom. Nakon toga uređaj se vraća korisniku. VMC se popravljaju na III nivou održavanja zamenom NMC, a one na IV nivou održavanja zamenom elemenata.

Rezervne celine i elementi, za potrebe korektivnog održavanja, čuvaju se u grupnim kompletima rezervnih delova (GK), a ešelonirani su na sledeći način:

- II nivo $\Rightarrow$ GK-2 (VMC),
- III nivo $\Rightarrow$ GK-3 (VMC i NMC),
- IV nivo $\Rightarrow$ GK-4 (NMC i elementi).

Na osnovu izraza (6) do (17) vidi se da kriterijumi korektivnog održavanja zavise od mnoštva parametara sistema održavanja, sistema snabdevanja i od parametara samog uređaja i njegovih sastavnih delova. Svi ovi parametri mogu se svrstati u logističke, tehničke i ekonomske. U ovom primeru, kao ulazni podaci programa za proračun kriterijuma, korištene su sledeće vrednosti ovih parametara:

Logistički parametri:

— Broj radionica na III nivou održavanja	5
— Broj radionica na II nivou održavanja oslonjenih na radionicu III nivoa održavanja	8
— Broj uređaja oslonjenih na radionicu II nivoa održavanja	25
— Vreme prijavljivanja uređaja za opravku	1 h
— Vreme transporta uređaja na održavanje	1,2 h
— Vreme čekanja uređaja u radionici na održavanje	1 h
— Vreme čekanja uređaja u radionici na predaju	0,5 h
— Vreme redovnog transporta NMC od GK-4 do GK-3 i od radionice na III nivou do radionice na IV nivou	100 h
— Vreme vanrednog transporta NMC od GK-4 do GK-3 i od radionice na III nivou do radionice na IV nivou	24 h
— Vreme redovnog transporta VMC od GK-3 do GK-2 i od radionice na II nivou do radionice na III nivou	80 h
— Vreme vanrednog transporta VMC od GK-3 do GK-2 i od radionice na II nivou do radionice na III nivou	10 h
— Koeficijent eksploatacije uređaja i svih njegovih delova	0,2
— Broj slušalaca za obuku iz radionice II nivoa održavanja	1
— Broj slušalaca za obuku iz radionice III nivoa održavanja	2
— Broj slušalaca za obuku iz radionice IV nivoa održavanja	3
— Trajanje obuke za KO-4	2 dana

- Trajanje obuke za KO-6 5 dana
- Trajanje obuke za KO-8 10 dana
- Period eksploatacije uređaja 5 god.

Tehnički parametri:

- Broj VMC koje se na uređaju menjaju na II nivou održavanja 3
- Intenzitet otkaza uređaja $115 \cdot 10^{-6}$
- Intenzitet otkaza VMC i NMC dati su u tabeli 1.
- Vreme opravke uređaja zamenom VMC1 0,5 h
- VMC2 0,4 h
- VMC3 0,2 h
- Vremena opravke VMC zamenom njenih NMC data su u tabeli 1.
- Vremena opravke NMC data su u tabeli 1.

Tabela 1

Intenziteti otkaza, vremena opravke i cene delova uređaja

Sastavni deo	Intenzitet otkaza ($\times 10^{-6}$)	Vreme opravke VMC zamenom NMC (h)	Vreme opravke NMC (h)	Cena (dinara)
VMC-1	380	VMC-1	—	10 500,00
NMC-11	120	0,8	2,2	4 000,00
NMC-12	180	0,7	3,1	1 500,00
NMC-13	50	1,0	2,9	2 800,00
NMC-14	30	1,1	1,7	2 200,00
VMC-2	350	VMC-2	—	5 450,00
NMC-21	20	1,3	2,5	1 200,00
NMC-22	250	0,5	4,2	1 550,00
NMC-23	80	0,8	1,4	2 700,00
VMC-3	420	VMC-3	—	12 250,00
NMC-31	70	1,2	0,8	1 400,00
NMC-32	30	2,0	2,4	2 100,00
NMC-33	40	1,7	2,4	950,00
NMC-34	50	1,6	1,9	650,00
NMC-35	45	1,5	0,5	1 100,00
NMC-36	75	1,0	2,3	3 250,00
NMC-37	110	0,9	3,1	2 800,00

Ekonomski parametri:

— Cene sastavnih delova uređaja date su u tabeli 1.	
— Cena transporta uređaja na II nivo održavanja	30,00 din.
— Cena redovnog transporta NMC od GK-4 do GK-3 i od radionice na III nivou do radionice na IV nivou	1,00 din.
— Cena vanrednog transporta NMC od GK-4 do GK-3 i od radionice na III nivou do radionice na IV nivou	80,00 din.
— Cena redovnog transporta VMC od GK-3 do GK-2 i od radionice na II nivou do radionice na III nivou	0,50 din.
— Cena vanrednog transporta VMC od GK-3 do GK-2 i od radionice na II nivou do radionice na III nivou	50,00 din.
— Cena specijalne opreme za izvođenje KO-6	10 000,00 din.
— Cena specijalne opreme za izvođenje KO-8	200 000,00 din.
— Cena izrade kompletne dokumentacije za održavanje	200 000,00 din.
— Cena distribucije kompleta dokumentacije za KO-4	50,00 din.
— Cena distribucije kompleta dokumentacije za KO-6	100,00 din.
— Cena distribucije kompleta dokumentacije za KO-8	1000,00 din.
— Dnevni troškovi obuke po slušaocu za KO-4	300,00 din.
— Dnevni troškovi obuke po slušaocu za KO-6	300,00 din.
— Dnevni troškovi obuke po slušaocu za KO-8	400,00 din.
— Cena radnog sata na II nivou održavanja	50,00 din.
— Cena radnog sata na III nivou održavanja	80,00 din.
— Cena radnog sata na IV nivou održavanja	100,00 din.

Pored datih parametara veoma bitan parametar modela korektivnog održavanja elektronskog uređaja su i količine rezervnih VMC, NMC i elemenata u grupnim kompletima rezervnih delova. Ovaj parametar ovde nije dat, zbog toga što razvijeni računarski program startuje sa proračunom kriterijuma korektivnog održavanja sa potpuno praznim grupnim kompletima rezervnih delova. Program na početku vrši optimizaciju zaliha rezervnih delova, koja je objašnjena u [2] i [3]. Optimizacija se završava kada se postigne zadato vreme zastoja uređaja zbog nedostatka rezervnih delova.

U tabeli 2 data su proračunom dobijena vremena zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja, a u tabeli 3 troškovi korektivnog održavanja u životnom veku razmatranog elektronskog uređaja.

Tabela 2

Vremena zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja

Vreme zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja	7,1 h
— Vreme prijavljivanja uređaja za opravku	1,0 h
— Vreme transporta uređaja na održavanje	1,2 h
— Vreme čekanja uređaja u radionici na održavanje	1,0 h
— Vreme zastoja uređaja zbog nedostatka rezervnih delova	1,8 h
— Vreme opravke uređaja	0,4 h
— Vreme čekanja uređaja u radionici na predaju	0,5 h
— Vreme transporta uređaja sa održavanja	1,2 h

Tabela 3

*Troškovi korektivnog održavanja
u životnom veku uređaja*

Ukupni troškovi korektivnog održavanja uređaja	7 038 190,00 din.
1. Troškovi ulaganja u korektivno održavanje na početku eksploatacije	2 392 350,00 din.
— Troškovi specijalne opreme	250 000,00 din.
— Troškovi obuke kadra za korektivno održavanje	15 500,00 din.
— Troškovi dokumentacije za održavanje	203 500,00 din.
— Troškovi početnih zaliha rezervnih delova	1 923 350,00 din.
2. Troškovi korektivnog održavanja u toku životnog veka uređaja	4 645 840,00 din.
— Troškovi radne snage	3 628 220,00 din.
— Troškovi utrošenih rezervnih delova	211 660,00 din.
— Troškovi transporta rezervnih delova	201 520,00 din.
— Troškovi transporta uređaja na održavanje	604 440,00 din.

U tabeli 2 vidi se da vrednosti vremena zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja najviše doprinosi vreme zastoja uređaja zbog nedostatka rezervnih delova. Za manje troškove početnih zaliha rezervnih delova ovaj doprinos bi bio još veći. Vreme opravke uređaja minimalno utiče na vreme zastoja uređaja, jer je uređaj pogodan za održavanje i popravljja se za menom blokova. Vremena prijavljivanja, transporta i čekanja su određena organizacijom sistema održavanja.

U tabeli 3 se uočava da su, u ovom primeru, troškovi korektivnog o-

državanja u toku životnog veka uređaja veći od troškova ulaganja u korektivno održavanje. Razlika između ove dve vrste troškova održavanja bila bi još i veća da je duži period eksploatacije uređaja. Naime, svi troškovi korektivnog održavanja, u toku životnog veka uređaja, predstavljaju linearne funkcije vremena. Od ovih troškova najviši su troškovi radne snage, jer se za svaki otkaz uređaja, javljaju na svim nivoima na kojima se izvode korektivni programi održavanja. Troškovi transporta su visoki, jer korisnik uređaja ne izvodi korektivno održavanje, te se za svaki otkaz uređaj transportuje na II nivo održavanja. Troškovi utrošenih rezervnih delova su niski zbog toga što se u toku održavanja ne odbacuju skupe VMC i NMC, već samo jeftini elementi. Troškovi transporta rezervnih delova su niski, jer su za početne zalihe rezervnih delova utrošena znatna novčana sredstva, pa nema potrebe za vanrednim transportom rezervnih VMC i NMC.

Za razliku od troškova specijalne opreme, obuke kadra i dokumentacije, koji su praktično fiksni za izabrane varijante tehnologije održavanja i nadležnosti održavanja uređaja, troškovi početnih zaliha rezervnih delova mogu imati vrednost u širokom dijapazonu. Proces korektivnog održavanja će se nesmetano odvijati i kada su oni jednaki nuli. U tom slučaju troškovi transporta rezervnih delova biće veliki, kao i vreme zastoja uređaja zbog nedostatka rezervnih delova. Povećanjem troškova zaliha rezervnih delova doći će do pada troškova transporta rezervnih delova i vremena zastoja uređaja zbog njih. Na slici 3 prikazana je zavisnost kriterijuma održavanja — zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja (MDT_c) i ukupnih troškova korektivnog održavanja (UTRKO) od troškova početnih zaliha rezervnih delova. Ukupni troškovi korektivnog održavanja prikazani su kao suma troškova ulaganja u korektivno održavanje uređaja na početku eksplo-

Sl. 3 — Zavisnost kriterijuma korektivnog održavanja od početnih zaliha rezervnih delova

atacije (PTRKO) i troškova korektivnog održavanja u toku životnog veka uređaja (TREKO).

Na slici se vidi da za neku vrednost početnih zaliha rezervnih delova (479 350 din.) ukupni troškovi korektivnog održavanja imaju minimalnu vrednost (6 263 870 din.). Ako vrednost vremena zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja za ovu vrednost zaliha rezervnih delova (23,3 h) ne prelazi dozvoljenu vrednost, ova varijanta početnih zaliha rezervnih delova može se uzeti kao optimalno rešenje.

Zaključak

Kod savremenih, modularno građenih elektronskih uređaja procesi održavanja i snabdevanja rezervnim delovima su višestruko povezani, što se vidi i u ovom radu, u matematičkoj operacionalizaciji kriterijuma za ocenu valjanosti korektivnog održavanja, a i

u primeru proračuna ovih kriterijuma. Spajanje modela održavanja i snabdevanja elektronskih uređaja rezervnim delovima predstavlja značajan doprinos za naučnu i stručnu razvijenost područja održavanja ovih uređaja.

Pomoću modela datog u ovom članku moguće je oceniti valjanost svake varijante korektivnog održavanja elektronskog uređaja i, nakon toga, određenom metodom izabrati najbolju varijantu. Model se može koristiti u fazi razvoja uređaja, radi ugradnje optimalne pogodnosti korektivnog održavanja u uređaj, za rešavanje sledećih pitanja:

— da li pri održavanju uređaja treba primeniti agregatni princip opravke?

— da li u elektronski uređaj treba ugraditi samotestiranje, i do koje dubine?

— koje sastavne delove sredstva treba popravljati, a koje odbacivati posle otkaza?

Model se, takođe, može koristiti u fazi uvođenja uređaja u eksploataciju za rešavanje sledećih pitanja:

— na kojim nivoima održavanja treba popravljati elektronski uređaj, a na kojim nivoima njegove sastavne delove?

— koje rezervne delove, i koliko rezervnih delova, za održavanje elektronskog uređaja treba držati na nivoima održavanja?

Prikazani model može se primeniti i za mašinske uređaje i sisteme, osim u onom delu gde intenzitet otkaza ovih uređaja nije konstantan.

Literatura:

- [1] Barković, M.: Prilog optimizaciji višenivoiskog sistema održavanja elektronskih sredstava, doktorska disertacija, Zagreb, CVTŠ KoV JNA, 1989.
- [2] Korolija, D.: Model snabdevanja modularno građenih elektronskih uređaja rezervnim delovima, Magistarski rad, Zagreb, ETF, 1988.
- [3] Korolija, D.: Optimizacija rezervnih delova za održavanje modularno građenih elektronskih sredstava, Vojnotehnički glasnik 5/96, str. 517—524, 1996.
- [4] Korolija, D.: Troškovi transporta rezervnih delova za održavanje modularno građenih elektronskih uređaja. Vojnotehnički glasnik 1/97, str. 15—22, 1997.
- [5] Kline, M.: Linking LOR Models to Provisioning Models, 1985 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, New York, IEEE, 1985, 362—368.
- [6] Blanchard, B., Design and Manage to LIFE CYCLE COST, M/A Press, Portland Oregon, 1978.