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

OPTIMIZACIJA KOREKTIVNOG ODRŽAVANJA ELEKTRONSKOG UREĐAJA NABAVLJENOG NA TRŽIŠTU

UDC: 621.38-7:658.7

Rezime:

U radu je razvijena metoda optimalnog definisanja korektivnog održavanja elektronskog uređaja, koji je kupljen na tržištu. Ova metoda zasniva se na generisanju logičnih varijanti nivoa opravke i, za svaku od njih, varijanti optimalnih početnih zaliha rezervnih delova. Na osnovu proračuna vrednosti kriterijuma korektivnog održavanja određuje se optimalna varijanta korektivnog održavanja. Postupak optimizacije korektivnog održavanja pokazan je na primeru jednog hipotetičkog elektronskog uređaja.

Ključne reči korektivno održavanje, varijante nadležnosti korektivnog održavanja, varijante početnih zaliha rezervnih delova, optimizacija, optimalna varijanta početnih zaliha rezervnih delova, optimalna varijanta nadležnosti održavanja.

CORRECTIVE MAINTENANCE OPTIMIZATION OF AN ELECTRONIC DEVICE, BOUGHT AT THE MARKET

Summary:

In this work a method for the optimal establishing of a corrective maintenance of an electronic device, bought at the market, is developed. The basis of this method is the generation of logical level-of-repair variants and, for each of them, the optimal initial spare parts variants. According to the corrective maintenance validity criteria calculation result, the optimal variant of corrective maintenance is established. The procedure of corrective maintenance optimization an example of one hypothetical electronic device is shown.

Key words: corrective maintenance, level-of-repair variants, initial spare parts variants, optimization, optimal initial spare parts variant, optimal level-of-repair variant.

Uvod

Korisnik elektronskog uređaja može zadovoljiti potrebu za novim uređajem na više načina: vlastitim razvojem i proizvodnjom, licencnom proizvodnjom ili nabavkom postojećih uređaja na domaćem ili inostranom tržištu. Sa aspekta integralnog tehničkog obezbeđenja najbolje rešenje je sopstveni razvoj. Naime, u toku sopstve-

nog razvoja, na osnovu poznatih uslova i načina eksploatacije, sistema održavanja korisnika, potrebnog nivoa operativne gotovosti, itd., u razvijani uređaj može se ugraditi optimalni nivo pouzdanosti i pogodnosti održavanja, razviti optimalna tehnologija održavanja i optimizirati koncept održavanja.

Bez obzira na ovu i još neke prednosti sopstvenog razvoja uređaja, ko-

risnik će se, opravdano ili neopravdano, odlučiti za nabavku uređaja na tržištu. Ovakav uređaj razvijen je za nekog drugog korisnika, pa su i pouzdanost, pogodnost održavanja, tehnologija održavanja i koncept održavanja projektovani za tog korisnika. Stoga se pred stručnjaka, koji definiše održavanje kupljenog uređaja, postavlja relativno težak zadatak — da izvrši optimizaciju održavanja takvog uređaja u korisnikovom sistemu održavanja, s ciljem da ukupni troškovi životnog veka uređaja budu minimalni, uz postizanje potrebnog zastoja uređaja zbog održavanja. Stručnjaci koji definišu održavanje često nemaju adekvatnu metodologiju i programsku podršku za ovu optimizaciju, pa se kopira održavanje kupljenog uređaja ili se održavanje definiše po uzoru na neko slično sredstvo [1]. Jasno je da ovakvo rešenje može biti daleko od optimalnog.

Zbog slučajne pojave otkaza, najčešće u toku trajanja misije uređaja, problem optimizacije korektivnog održavanja je teži od ovog problema kod preventivnog održavanja, a zbog potrebe da se otkaz otkloni u kratkom vremenskom periodu, kako bi se misija uređaja mogla nastaviti, optimizacija korektive je važnija za operativnu gotovost od optimizacije preventive. U ovom radu prikazana je jedna metoda optimizacije korektivnog održavanja kupljenog uređaja, za korisnikove uslove eksploatacije uređaja i korisnikov sistem održavanja. Podloga ove metode je matematički model korektivnog održavanja elektronskih uređaja [2], u kojem su objedinjeni procesi održavanja i snabdevanja rezervnim delovima.

Metoda optimizacije korektivnog održavanja kupljenog uređaja

Kod kupljenog uređaja karakteristični su parametri, koji su definisani i »ugrađeni« u uređaj u toku njego-

vog razvoja, a koji su na određeni način povezani sa njegovim korektivnim održavanjem. To su:

- modularna konstrukcija uređaja,
- pouzdanost uređaja,
- pogodnost održavanja uređaja i njegovih sastavnih delova,
- koncept korektivnog održavanja uređaja i njegovih sastavnih delova.

Iako ovi parametri najčešće nisu optimalni za korisnika, njegovi stručnjaci za održavanje uglavnom nemaju mogućnosti da ih prilagode uslovima eksploatacije i održavanja. Navedeni parametri mogu se koristiti kao ulazni za moguće optimizacije korektivnog održavanja kupljenog uređaja. Uz uređaj kupac dobija i dokumentaciju za korektivno održavanje, u kojoj je definisana oprema za održavanje i potrebna stručnost ljudstva. Tako se prostor za optimizaciju korektivnog održavanja kupljenog uređaja sužava na rešavanje sledeća dva važna pitanja: na kojim nivoima održavanja opravljati uređaj i njegove sastavne delove i koje i koliko rezervnih delova držati na nivoima održavanja?

Rešavanjem prvog pitanja definiše se nadležnost svakog nivoa održavanja pri korektivnom održavanju uređaja, a rešavanjem drugog definiše se početne zalihe rezervnih delova po nivoima održavanja. Ova dva pitanja su tesno povezana, i njihovo parcijalno rešavanje ne bi dalo optimalne rezultate [2]. Ideja za njihovo optimalno rešavanje jeste formiranje više logičnih varijanti nadležnosti korektivnog održavanja i za svaku od ovih varijanti određivanje skupa optimalnih varijanti početnih zaliha rezervnih delova, i to optimalnih sa aspekta snabdevanja rezervnim delovima. Iz ovog skupa potrebno je izabrati varijantu koja je optimalna sa aspekta korektivnog održavanja uređaja. Na kra-

ju, upoređivanjem varijanti nadležnosti održavanja bira se najbolja. Na slici 1 prikazan je postupak optimizacije korektivnog održavanja kupljenog elektronskog uređaja.

— KO-1 : popravak uređaja jednostavnom zamenom pribora ili samostalnog dela;

— KO-2 : popravak uređaja zamenom viših modularnih celina (VMC)

Sl. 1 — Postupak optimizacije korektivnog održavanja kupljenog elektronskog uređaja

Formiranje korektivnih programa održavanja

Korektivni programi održavanja formiraju se grupisanjem operacija korektivnog održavanja prema dubini zahvata [1]. Za rešavanje ovog zadatka stručnjaku za održavanje stoji na raspolaganju tehnologija održavanja uređaja, koja je propisana u tehničkoj dokumentaciji za održavanje kupljenog uređaja, i maksimalni skup korektivnih programa održavanja.

U tehničkoj dokumentaciji za održavanje, dobijenoj od prodavca uređaja, potrebno je identifikovati operacije korektivnog održavanja po dubini zahvata i formirati skup korektivnih programa održavanja, pomoću kojih se može otkloniti svaki otkaz na uređaju i njegovim popravljivim sastavnim delovima. Najčešće je to u dokumentaciji i urađeno, samo što operacije iste dubine zahvata nisu grupisane u korektivne programe već su pridružene određenom nivou održavanja.

Maksimalni skup korektivnih programa za korektivno održavanje elektronskog uređaja je:

i/ili nižih modularnih celina (NMC) bez podešavanja;

— KO-3 : popravak uređaja zamenom VMC i/ili NMC sa podešavanjem;

— KO-4 : popravak pribora;

— KO-5 : popravak VMC zamenom NMC i/ili samostalnog elementa bez podešavanja;

— KO-6 : popravak VMC zamenom NMC i/ili samostalnog elementa sa podešavanjem;

— KO-7 : popravak NMC zamenom ili regeneracijom elementa bez podešavanja;

— KO-8 : popravak NMC zamenom ili regeneracijom elementa sa podešavanjem;

— KO-9 : popravak uređaja zamenom VMC, NMC i zamenom i/ili regeneracijom elementa sa podešavanjem (najsloženije opravke).

Ovaj skup korektivnih programa održavanja dobijen je manjom korekcijom maksimalnog skupa korektivnih programa definisanog u [1], radi njegovog prilagođavanja tehnologiji održavanja elektronskih uređaja.

Identifikovanim grupama korektivnih operacija održavanja, sa istom

dubinom zahvata, potrebno je pridružiti nazive (KO-1 do KO-9). Uređaj ne mora imati sve navedene programe iz navedenog skupa, što najviše zavisi od njegove konstrukcije i potrebe za podešavanjem nakon zamene sastavnih delova.

Formiranje logičnih varijanti nadležnosti korektivnog održavanja

Generisani korektivni programi održavanja mogu se na različite načine raspodeliti po nivoima održavanja. Svaki ovakav način predstavlja varijantu nadležnosti korektivnog održavanja uređaja i njegovih sastavnih delova. Broj ovih varijanti S teoretski iznosi:

$$S = Z^N \quad (1)$$

gde je:

Z — broj definisanih korektivnih programa održavanja,

N — broj nivoa održavanja.

Za analizu i izbor najbolje varijante ovaj broj varijanti je prevelik, pa ih je potrebno svesti na razuman

broj. Neke od varijanti su nelogične, te se mogu eliminisati. Tako, na primer, nisu logične one varijante u kojima se niži programi izvode na višim nivoima održavanja, a viši programi na nižim nivoima održavanja. Određeni broj varijanti eliminisao ograničenja, kao što su: realne mogućnosti korisnikovog sistema održavanja, raspoloživa novčana sredstva za ulaganje u korektivno održavanje na početku eksploatacije uređaja, itd. U tabeli 1 prikazan je primer jedne logične varijante nadležnosti korektivnog održavanja uređaja i njegovih sastavnih delova u sistemu održavanja sa četiri nivoa. Ovaj uređaj je urađen tako da pri zameni sastavnih delova, na njemu i njegovim sastavnim delovima, nije potrebno podešavanje. Zbog toga u njegovoj tehnologiji održavanja nema korektivnih programa KO-3, KO-6 i KO-8.

Određivanje ulaznih parametara optimizacije korektivnog održavanja

Da bi se ocenile varijante nadležnosti korektivnog održavanja i varijante početnih zaliha rezervnih delova, neophodno je proračunati vrednosti

Tabela 1

Varijanta nadležnosti korektivnog održavanja elektronskog uređaja i njegovih sastavnih delova

Nivo	KO-1	KO-2	KO-3	KO-4	KO-5	KO-6	KO-7	KO-8	KO-9
I	*	*							
II				*					
III					*				
IV							*		*

kriterijuma valjanosti, za svaku varijantu. Kao ulazni podaci računarskog programa za proračun ovih kriterijuma pojavljuju se: logistički, tehnički i ekonomski parametri.

Logistički parametri su:

- broj uređaja oslonjenih na radionice korektivnog održavanja;
- broj radionica korektivnog održavanja po nivoima održavanja;
- vremena prijavljivanja uređaja za opravku;
- vremena transporta uređaja na opravku;
- vremena čekanja uređaja u radionicama na opravku;
- vremena čekanja uređaja u radionicama na predaju;
- vremena redovnog transporta modularnih celina;
- vremena vanrednog transporta modularnih celina;
- koeficijenti eksploatacije uređaja i njegovih sastavnih delova;
- broj slušalaca za obuku u održavanju po nivoima održavanja;
- trajanje obuke po korektivnim programima održavanja;
- period eksploatacije uređaja.

Većina logističkih parametara vezana je za sistem održavanja, pa se relativno lako određuju. Parametri koji se odnose na broj slušalaca za obuku i trajanje obuke mogu se dobiti od planera obuke, a period eksploatacije uređaja od korisnika.

Tehnički parametri su:

- intenziteti otkaza uređaja i njegovih sastavnih delova;
- vremena opravke uređaja;
- vremena opravke VMC;
- vremena opravke NMC.

Ovi parametri mogu se dobiti od prodavca uređaja, pa ih je potrebno zahtevati pri sklapanju ugovora o kupovini uređaja.

Ekonomski parametri su:

- cene sastavnih delova uređaja;
- cene transporta uređaja na nivo održavanja;
- cene redovnog transporta modularnih celina;
- cene vanrednog transporta modularnih celina;
- cene specijalne opreme po korektivnim programima održavanja;
- cena izrade dokumentacije za korektivno održavanje;
- cene distribucije kompleta dokumentacije po korektivnim programima održavanja;
- dnevni troškovi obuke po slušaocu, po korektivnim programima održavanja;
- cene radnog sata po nivoima održavanja.

Deo ekonomskih parametara vezan je za sistem održavanja, te se kao takvi lako određuju. Elementi parametara mogu se dobiti od prodavca uređaja, planera obuke i izvršioca izrade dokumentacije.

Određivanje skupa optimalnih varijanti početnih zaliha rezervnih delova

Početne zalihe rezervnih delova, za jednu varijantu nadležnosti korektivnog održavanja, mogu se formirati na više načina. Od svih tih varijanti početnih zaliha rezervnih delova, za analizu i izbor najbolje, značajne su one koje su optimalne sa aspekta snabdevenosti rezervnim delovima. Za dobijanje skupa optimalnih varijanti početnih zaliha rezervnih delova, jedne varijante nadležnosti korektivnog održavanja, koriste se sledeći kriterijumi [3, 4]:

- vreme zastoja uređaja zbog nedostatka rezervnih delova,
- troškova početnih zaliha rezervnih delova.

Skup optimalnih varijanti početnih zaliha rezervnih delova može se dobiti metodom približnog dinamičkog programiranja. Suština ove metode je da se, počevši od praznih kompleta rezervnih delova, u komplete uvodi onaj rezervni deo za koji je odnos priraštaja novčanih sredstava za rezervne delove (ΔC) i priraštaja vremena zastoja zbog nedostatka rezervnih delova (Δt_z) minimalan:

$$D = \frac{\Delta C}{\Delta t_z} \quad (2)$$

Postupak se zaustavlja kada se postigne potrebna vrednost izabranog kriterijuma snabdevenosti rezervnim delovima.

Izbor optimalne varijante početnih zaliha rezervnih delova, sa aspekta korektivnog održavanja uređaja

Potreba za korektivnim održavanjem najčešće se javlja u toku traja-

nja misije uređaja, pa se ovo održavanje mora sprovesti, zavisno od upotrebe uređaja, u nekom zadatom vremenskom periodu MDT_{czad} (Mean Down Time), kako bi se misija uređaja mogla nastaviti. Cilj optimizacije korektivnog održavanja jeste postizanje vremena MDT_{czad} , uz što manja finansijska ulaganja u korektivno održavanje u toku životnog veka uređaja. Tako će i optimalna varijanta početnih zaliha rezervnih delova jedne varijante nadležnosti održavanja, sa aspekta korektivnog održavanja, biti ona koja obezbeđuje ovaj cilj. Za izbor ove varijante pogodna je analiza zavisnosti kriterijuma valjanosti korektivnog održavanja od troškova optimalnih početnih zaliha rezervnih delova i to:

— srednjeg vremena zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja MDT_c ,

— ukupnih troškova korektivnog održavanja (UTRKO) u životnom veku uređaja.

U [2] je dobijena ova zavisnost, a njen opšti oblik prikazan je na slici 2.

Sl. 2 — Opšti oblik zavisnosti kriterijuma korektivnog održavanja od troškova optimalnih početnih zaliha rezervnih delova

Može se zapaziti da kriterijumi korektivnog održavanja — ukupni troškovi korektivnog održavanja (UTRKO) i vreme zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja (MDT_c) dosta zavise od optimalnih varijanti početnih zaliha rezervnih delova, koje su na slici 2 izražene preko troškova tih zaliha C_{rd} . Povećanjem početnih zaliha rezervnih delova smanjuje se vreme zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja asimptotski do vrednosti MDT_{cmin} , koje predstavlja vreme zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja pri neograničenim količinama rezervnih delova. Povećanjem početnih zaliha rezervnih delova smanjuju se troškovi transporta sastavnih delova uređaja, u toku njegove eksploatacije, te funkcija ukupnih troškova UTRKO ne raste linear- no sa rastom početnih troškova rezervnih delova već ima oblik X ili Y. Oblik X je u slučaju manjeg, a oblik Y u slučaju većeg uticaja početnih zaliha rezervnih delova na troškove transporta modularnih celina.

Optimalna vrednost (varijanta) početnih zaliha rezervnih delova je ona za koju je postignuto zadato vreme zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja MDT_{czad} . Na slici je ta vrednost obeležena sa C_{rdop} .

U slučaju da funkcija UTRKO ima oblik Y i ako je MDT_{czad} takvo da je

$$C_{rdop}(Y) < C_{Yrdmin} \quad (3)$$

gde je:

C_{Yrdmin} — vrednost početnih zaliha rezervnih delova za koju funkcija UTRKO oblika Y ima minimum, razumno je uzeti da je

$$C_{rdop}(Y) = C_{Yrdmin} \quad (4)$$

kako bi se za manje ukupne troškove korektivnog održavanja dobilo manje vreme zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja.

Izbor optimalne varijante nadležnosti održavanja

Pomoću karakteristika zavisnosti kriterijuma korektivnog održavanja od početnih zaliha rezervnih delova (slika 2) odredi se vrednost kriterijuma korektivnog održavanja $UTRKO_{opt}$ i MDT_{copt} za optimalnu vrednost početnih zaliha rezervnih delova (C_{rdop}), i to za svaku varijantu nadležnosti korektivnog održavanja.

Ako je $MDT_{copt} \cong MDT_{czad}$ za sve varijante nadležnosti održavanja, najbolja varijanta je ona koja ima minimalne ukupne troškove korektivnog održavanja. U slučaju da je kod neke varijante $MDT_{copt} < MDT_{czad}$, izbor se komplikuje, jer se sada oba kriterijuma razlikuju po varijantama održavanja. Ali, ako se pođe od činjenice da je vreme MDT_{czad} tako izabrano da zadovoljava korisnika, a ne ugrožava misiju sredstva, kriterijum troškova UTRKO će pri upoređivanju biti na prvom mestu. Znači, uvek će se birati varijanta sa minimalnim $UTRKO_{opt}$. Jedino u slučaju da je kod dve varijante (1 i 2) $UTRKO_{opt1}$ neznatno veće od $UTRKO_{opt2}$, a MDT_{copt1} znatno manje od MDT_{copt2} , za optimalnu će se izabrati varijanta 1.

Primer optimizacije korektivnog održavanja kupljenog uređaja

Pomoću računarskog programa realizovanog na osnovu matematičkog modela korektivnog održavanja [2], i primenom razvijenog postupka optimizacije korektivnog održavanja kupljenog uređaja, izvršena je optimizacija korektivnog održavanja jednog hipotetičkog, modularno građenog uređaja, kupljenog na zapadnom tržištu. Ovaj uređaj korišćen je u [2], u primeru proračuna vrednosti kriterijuma korektivnog održavanja.

Formiranje korektivnih programa održavanja

Kupljeni uređaj razvijen je za korisnika koji ima sistem održavanja sa tri nivoa. Iz dokumentacije za održavanje uočeno je da su svakom nivou održavanja dodeljene srodne operacije korektivnog održavanja, i to na sledeći način:

— I nivo — korisnik (organizational) ; popravka uređaja zamenom blokova (LRU's),

— II nivo — srednji (intermediate) ; popravka blokova zamenom modula (SRU's),

— III nivo — zavod (depot) ; popravka modula zamenom elementa (parts).

Sastavni delovi uređaja su projektovani tako da pri njihovoj zameni nije potrebno nikakvo podešavanje.

Na osnovu ovih podataka i definicija korektivnih programa održavanja (KO-1 do KO-9), mogu se identifikovati sledeći korektivni programi održavanja:

— KO-3 : popravak uređaja zamenom VMC bez podešavanja,

— KO-5 : popravak VMC zamenom NMC bez podešavanja,

— KO-7 : popravak NMC zamenom elemenata bez podešavanja.

Formiranje logičnih varijanti nadležnosti održavanja

Kupac elektronskog uređaja ima sistem održavanja sa četiri nivoa. Korektivni programi KO-3, KO-5 i KO-7 mogu se na mnogo načina raspodeliti po ovim nivoima. Imajući u vidu malu dubinu zahvata kod korektivnog programa KO-3, jasno je da su logične varijante nadležnosti održavanja one u kojima se ovaj program izvodi na nižim nivoima održavanja (I ili II nivo). Za razliku od njega korektivni program KO-7 ima veliku dubinu zahvata, te je logično da se uvek izvodi na najvišem nivou održavanja (IV nivo). Ako se uzme u obzir i pravilo kupčevog sistema održavanja da se, zbog određenih razloga, na I i II nivou ne vrši popravka sastavnih delova uređaja, ostaju samo dve logične varijante nadležnosti korektivnog održavanja. Ove varijante prikazane su u tabeli 2.

Tabela 2

Varijante nadležnosti korektivnog održavanja kupljenog uređaja

Nivo	KO-3	KO-5	KO-7
Varijanta A			
I	*		
II			
III		*	
IV			*
Varijanta B			
I			
II	*		
III		*	
IV			*

Određivanje ulaznih parametara optimizacije korektivnog održavanja

U [2] date su vrednosti logističkih, tehničkih i ekonomskih parametara za varijantu B korektivnog održavanja ovog uređaja. Deo ovih parametara dobijen je od proizvođača, deo je uzet iz sistema održavanja kupca, a manji deo je dobijen od planera obuke, izvršioca izrade dokumentacije i korisnika.

Za razliku od tehničkih parametara, koji su isti za varijante A i B, deo logističkih i ekonomskih parametara kod ove dve varijante se razlikuju, a kod varijante A uvode se dodatni parametri.

Logistički parametri

U varijanti A uređaj se popravlja na I nivou održavanja — kod korisnika, pa su vremena prijavljivanja uređaja za opravku, transporta uređaja na održavanje, čekanja uređaja u radionici na održavanje i čekanja uređaja u radionici na predaju jednaka nuli.

Dodatni logistički parametri varijante A su:

- vreme redovnog transporta VMC od GK-2 do individualnog kompleta (IK) uređaja 10 h
- vreme vanrednog transporta VMC od GK-2 do individualnog kompleta (IK) uređaja 1 h
- vreme redovnog transporta neispravne VMC od mesta upotrebe uređaja do radionice na III nivou održavanja 30 h
- vreme vanrednog transporta neispravne VMC od mesta upotrebe uređaja do radionice na III nivou održavanja 5 h

- broj slušalaca za obuku sa I nivoa održavanja (uređaj) 1

Ekonomski parametri

Kako kod varijante A nema transporta uređaja na održavanje, jer se uređaj popravlja na mestu njegovog korišćenja, ne postoji ekonomski parametar — cena transporta uređaja.

Dodatni ekonomski parametri za varijantu A su:

- cena redovnog transporta VMC od GK-2 do IK 1,00 din
- cena vanrednog transporta VMC od GK-2 do IK 10,00 din
- cena redovnog transporta neispravne VMC od mesta upotrebe uređaja do radionice na III nivou održavanja 1,00 din
- cena vanrednog transporta neispravne VMC od mesta upotrebe uređaja do radionice na III nivou održavanja 70,00 din

Kod obe varijante uzet je period eksploatacije uređaja od 10 godina, za razliku od primera u [2] kod kojeg period eksploatacije uređaja iznosi pet godina.

Određivanje skupa optimalnih varijanti početnih zaliha rezervnih delova

Za svaku varijantu nadležnosti održavanja, primenom metode približnog dinamičkog programiranja, određen je skup optimalnih varijanti početnih zaliha rezervnih delova sa aspekta snabdevenosti rezervnim delovima. U tabeli 3 prikazana je jedna takva, slučajno izabrana varijanta za varijantu nadležnosti održavanja A i jedna za varijantu nadležnosti B.

Jedna od optimalnih varijanti početnih zaliha rezervnih delova za varijante nadležnosti A i B

	Varijanta A				Varijanta B		
	Nivoi održavanja — kompleti R/D						
	I IK	II GK-2	III GK-3	IV GK-4	II GK-2	III GK-3	IV GK-4
VMC 1	0	1	2	—	0	3	—
VMC 2	0	1	2	—	1	3	—
VMC 3	0	0	2	—	0	4	—
NMC 11	—	—	2	4	—	2	4
NMC 12	—	—	3	7	—	3	6
NMC 13	—	—	1	2	—	1	2
NMC 14	—	—	1	2	—	1	2
NMC 21	—	—	1	2	—	1	2
NMC 22	—	—	3	8	—	3	8
NMC 23	—	—	1	3	—	1	3
NMC 31	—	—	2	3	—	2	3
NMC 32	—	—	1	2	—	1	2
NMC 33	—	—	1	3	—	1	3
NMC 34	—	—	2	3	—	2	3
NMC 35	—	—	2	3	—	1	3
NMC 36	—	—	1	3	—	1	3
NMC 37	—	—	2	4	—	2	4

U tabeli su prikazane optimalne varijante početnih zaliha rezervnih delova date preko proračunatih količina rezervnih celina, po nivoima održavanja (kompletima rezervnih delova).

Postignuti kriterijumi snabdevanja rezervnim delovima tih varijanti, za varijante nadležnosti održavanja A i B, jesu:

	A	B
— vreme zastoja uređaja zbog nedostatka rezervnih delova	6,0 h	8,3 h
— cena početnih zaliha rezervnih delova	1 238 000 din	1 013 000 din

Izbor optimalne varijante početnih zaliha rezervnih delova, sa aspekta korektivnog održavanja uređaja

Za svaku optimalnu varijantu početnih zaliha rezervnih delova, za obe varijante nadležnosti održavanja, određene su vrednosti kriterijuma korektivnog održavanja. Na slici 3 prikazana je grafička zavisnost ovih kriterijuma od cena optimalnih varijanti početnih zaliha rezervnih delova, za varijantu nadležnosti korektivnog održavanja A. Ista zavisnost, ali za varijantu nadležnosti korektivnog održavanja B, prikazana je na slici 4.

Ukupni troškovi korektivnog održavanja (UTRKO) na obe slike su prikazani kao suma troškova ulaganja u korektivno održavanje uređaja na početku njegove eksploatacije (PTRKO), i troškova korektivnog održavanja u toku životnog veka uređaja (TREKO).

Da bi se odredila optimalna varijanta početnih zaliha rezervnih delova svake varijante nadležnosti održavanja potrebno je poznavati dozvoljeno vreme zastoja uređaja zbog korektivnog održavanja. Razmotriće se tri različita slučaja vrednosti ovog vremena:

a) $MDT_{c_{zad}} = 20$ h

Kod varijante A ovo vreme postignuto je kod cene početnih zaliha rezervnih delova $C_{rd} = 310\,300$ dinara, za koju su ukupni troškovi korektivnog održavanja $UTRKO = 10\,810\,000$ dinara. Ovi troškovi opadaju sve do $C_{rdmin} = 818\,100$ din, koja predstavlja cenu optimalnih početnih zaliha rezervnih delova ove varijante — C_{rdoptA} .

Kod varijante B dozvoljeno vreme zastoja uređaja postignuto je kod $C_{rd} = 620\,350$ din, za koju su troškovi $UTRKO = 11\,469\,000$ din, koji opadaju do $C_{rdmin} = 952\,100$ din i koja pred-

Sl. 3 — Zavisnost kriterijuma korektivnog održavanja od cena optimalnih varijanti početnih zaliha rezervnih delova za varijantu A

Sl. 4 — Zavisnost kriterijuma korektivnog održavanja od cena optimalnih varijanti početnih zaliha rezervnih delova za varijantu B

stavlja cenu optimalnih početnih zaliha rezervnih delova ove varijante — C_{rdoptB} .

b) $MDT_{czad} = 10$ h

Kod varijante A dozvoljeno vreme zastoja uređaja postignuto je baš kod cene početnih zaliha rezervnih delova $C_{rdmin} = 818\,100$ dinara, pa ta cena predstavlja cenu optimalnih početnih zaliha rezervnih delova ove varijante C_{rdoptA} .

Kod varijante B dozvoljeno vreme zastoja uređaja postignuto je kod $C_{rd} = 1\,923\,300$ din, za koju su troškovi $UTRKO = 11\,684\,000$ dinara. Kako ovi troškovi rastu sa povećanjem cene početnih zaliha rezervnih delova dobija se da je $C_{rdoptB} = C_{rd} = 1\,923\,300$ dinara.

c) $MDT_{czad} = 3$ h

Kod varijante A dozvoljeno vreme zastoja uređaja postignuto je kod

$C_{rd} = 1\,729\,600$ din, za koju su troškovi $UTRKO = 10\,166\,000$ dinara. Kako ovi troškovi rastu sa povećanjem cene početnih zaliha rezervnih delova dobija se da je $C_{rdoptA} = C_{rd} = 1\,728\,100$ din.

Kod varijante nadležnosti održavanja B dozvoljeno vreme zastoja od 3 h ne može se postići povećavanjem zaliha rezervnih delova.

U tabeli 4 prikazane su dobijene optimalne varijante početnih zaliha rezervnih delova, izražene preko njihove cene C_{rdop} , za varijante nadležnosti održavanja A i B i za tri slučaja vrednosti MDT_{czad} .

Izbor optimalne varijante nadležnosti održavanja

U tabeli 5 prikazane su vrednosti kriterijuma korektivnog održavanja $UTRKO_{opt}$ i MDT_{copt} za optimalne varijante početnih zaliha rezervnih delova

Optimalna varijanta početnih zaliha rezervnih delova za varijante nadležnosti A i B

MDT _{czad} (h)	C _{rdop} (dinara)	
	A	B
20	818100	952100
10	818100	1433300
3	1728100	—

Tabela 5

Vrednosti kriterijuma korektivnog održavanja za optimalne početne zalihe rezervnih delova

MDT _{czad} (h)	MDT _{copt} (h)		UTRKO _{opt} (dinara)	
	A	B	A	B
20	9,5	15,1	9944000	11388000
10	9,5	8,1	9944000	11684000
3	3,0	—	10166000	—

(C_{rdopt}), za obe varijante nadležnosti korektivnog održavanja A i B i za sva tri slučaja dozvoljenog vremena zastoja uređaja MDT_{czad}.

Iz tabele se vidi da su za MDT_{czad} = 20 h ukupni troškovi korektivnog održavanja varijante A manji za 1 444 000 dinara od varijante B. I vreme zastoja zbog korektivnog održavanja kod varijante A je manje od ovog vremena kod varijante B za 5,6 sati. Na osnovu toga može se zaključiti da je u ovom slučaju *optimalna varijanta A*.

Za MDT_{czad} = 10 h ukupni troškovi korektivnog održavanja varijante A manji su za 1 740 000 dinara. Za razliku od prethodnog slučaja vreme zastoja zbog korektivnog održavanja kod

varijante A veće je od ovog vremena kod varijante B za 1,4 sata. Kako su troškovi korektivnog održavanja znatno veći kod varijante B, i u ovom slučaju se dobije da je *optimalna varijanta A*.

Zadato vreme MDT_{czad} = 3 h se kod varijante B ne može postići povećanjem početnih zaliha rezervnih delova, te za izbor ostaje samo varijanta A. Stoga je i ovde *optimalna varijanta A*.

Zaključak

Optimalno definisanje održavanja je značajna aktivnost, od koje u bitnoj meri zavisi ekonomska efikasnost uređaja u toku njegovog celokupnog ži-

votnog veka. Ova aktivnost je posebno složena u hijerarhijskim sistemima održavanja sa više nivoa, kakvi su u vojsci, pošti, železnici, itd. U takvim sistemima postoji mnoštvo varijanti nadležnosti održavanja uređaja i varijanti početnih zaliha rezervnih delova, što je prikazano i u ovom radu. Zbog toga je značajno da donosioci odluka o održavanju uređaja u ovakvim sistemima poseduju kvalitetnu podršku za donošenje tih odluka. Ta podrška mora biti automatizovana na elektronskim računarima, radi brzog dobijanja rezultata.

Razvijena metoda optimizacije korektivnog održavanja elektronskog uređaja kupljenog na tržištu, sa mate-

matičkim modelom korektivnog održavanja elektronskih uređaja u sistemu održavanja sa više nivoa, datim u [2], predstavlja značajnu teoretsku podlogu za izradu profesionalnog programskog paketa, koji bi se koristio pri definisanju kompletnog procesa održavanja kupljenog elektronskog uređaja. Programski paket trebalo bi da bude korisnički orijentisan, kako bi ga analitičar održavanja lako prihvatio i koristio.

Sama metoda može se u potpunosti primeniti i za definisanje korektivnog održavanja mašinskog uređaja, s tim da se matematički model, dat u [2], može primeniti samo u onom delu gde je intenzitet otkaza, kod ovih uređaja, konstantan.

Literatura:

- [1] Barković, M.: Prilog optimizaciji višenivojskog sistema održavanja elektronskih sredstava, doktorska disertacija, Zagreb, CVTŠ KoV JNA, 1989.
- [2] Korolija, D.: Model korektivnog održavanja elektronskih uređaja u sistemu održavanja sa više nivoa, Vojnotehnički glasnik 6/97, str. 649—661, 1997.
- [3] Korolija, D.: Optimizacija rezervnih delova za održavanje modularno građenih elektronskih sredstava, Vojnotehnički glasnik 5/96, str. 517—524, 1996.
- [4] Model snabdevanja modularno građenih elektronskih uređaja rezervnim delovima, Magistarski rad, Zagreb, ETF, 1988.
- [5] Korolija, D.: Troškovi transporta rezervnih delova za održavanje modularno građenih elektronskih uređaja, Vojnotehnički glasnik 1/97, str. 15—22, 1997.
- [6] Kline, M.: Linking LOR Models to Provisioning Models, 1985 Proceedings Annual Reliability and Maintainability Symposium, New York, IEEE, 1985, 362—368.
- [7] Blanchard, B.: Design and Manage to LIFE CYCLE COST, M/A Press, Portland Oregon, 1978.