Mr Dušan Korolija,
major, dipl. inž.
VP 6684 Zrenjanin

TROŠKOVI TRANSPORTA REZERVNIH DELOVA ZA ODRŽAVANJE MODULARNO GRAĐENIH ELEKTRONSKIH UREĐAJA

UDC: 519.863:621.38.04-7.004.54

Rezime:

Savremeni elektronski uređaji su modularno građeni i njihova tehnologija održavanja zasniva se na zameni popravljivih modularnih celina. U radu je prikazan model troškova transporta ovih celina u sistemu održavanja sa dva nivoa. Analizirani su troškovi transporta u funkciji od pojedinih parametara. Na kraju rada, uključujući troškove transporta, razmatran je problem optimizacije zaliha modularnih celina.

Ključne reči: troškovi transporta, popravljiva modularna celina, redovni transport, vanredni transport, optimizacija.

TRANSPORTATION COSTS OF SPARE PARTS FOR MAINTENANCE OF MODULE CONSTRUCTED DEVICES

Summary:

Modern electronic equipments are module constructed and theirs maintenance technology is based on repairable module units replacement. This work deals with a transportation costs model for these units, in a two level maintenance system. Transportation costs in function of some parameters are analysed. At the end of the work spare units stock optimisation, including transportation costs, is considered.

Key words: transportation costs, repairable module unit, normal transportation, special transportation, optimisation.

Uvod

Savremeni modularno građeni elektronski uređaji minimalno se transportuju pri korektivnom održavanju. Takvi uređaji se popravljaju zamenom neispravnih modularnih celina sa ispravnim rezervnim celinama na mestu korišćenja uređaja ili u radionici koja nije mnogo udaljena od tog mesta (radionica LR). Zbog toga su troškovi transporta ovih uređaja pri održavanju relativno mali. Nekretanje elektronskog uređaja izaziva potrebu povećanog kretanja neispravnih i popravljenih modularnih celina. Neispravne modularne celine transportuju

se od mesta ili radionice gde se zamenjuju do radionice u kojoj se popravljaju. Popravljene modularne celine transportuju se do kompleta iz kojeg su utrošene ili do radionice u kojoj se zamenjuju. Stoga, troškovi transporta modularnih celina mogu znatno uticati na ukupne troškove održavanja uređaja.

Svi razvijeni modeli snabdevanja rezervnim delovima, kod nas, ne uzimaju u obzir troškove transporta rezervnih delova već samo troškove početnih zaliha rezervnih delova. Kako troškovi transporta modularnih celina jednog elektronskog uređaja mogu dostići znatnu vrednost, njihovo izostav-

ljanje u modelima i programima za proračun optimalnih količina rezervnih delova predstavlja nedostatak tih modela i programa. Asortiman i količine rezervnih delova, dobijeni pomoću njih, zbog toga ne moraju biti u tom slučaju optimalni.

Matematički model troškova transporta popravljivih modularnih celina u sistemu održavanja sa dva nivoa

U [2] je dat koncept održavanja i snabdevanja rezervnim delovima modularno građenih elektronskih uređaja u sistemu održavanja sa četiri nivoa. Na slici 1 prikazan je, po tom konceptu, tok popravljivih modularnih celina, koje se menjaju na I-tom nivou održavanja, a popravljaju na neposredno višem K-tom nivou održavanja.

Sl. 1 — Tok popravljivih modularnih celina

U radionici I-tog nivoa održavanja elektronski uređaj popravlja se zamenom popravljive više ili niže modularne celine. Pored popravke celog uređaja, u radionici je moguća i popravka više modularne celine uređaja zamenom popravljive niže modularne celine. Potrebne celine se, kao rezervni delovi, nalaze u grupnom kompletu-I (GK-I) i u grupnom kompletu-K (GK-K). Pri popravci uređaja ili više modularne celine na I-tom nivou, potrebna celina se uzima iz GK-I. Ako celine nema u GK-I, obavlja se vanredna po-

puna tog kompleta celinom iz GK-K. Ako celine nema ni u GK-K, neispravna celina se šalje u radionicu na K-tom nivou održavanja, gde se popravlja, a zatim vraća na I-ti nivo. U slučaju postojanja celine u kompletima, neispravna celina se redovno šalje u radionicu na K-tom nivou, a odatle se, kada se popravi, redovno vraća u komplet rezervnih delova iz kojeg je uzeta.

Analizom kretanja modularnih celina mogu se uočiti sledeće vrste njihovog transporta:

— vanredni transport rezervne celine od GK-K do GK-I (u slučaju da potrebne rezervne celine nema u GK-I);

— redovni transport rezervne celine od GK-K do GK-I (u slučaju da potrebne rezervne celine ima u GK-I);

— vanredni transport neispravne celine od radionice na I-tom nivou do radionice na K-tom nivou održavanja (u slučaju da potrebne rezervne celine nema ni u GK-I ni u GK-K);

— redovni transport neispravne celine od radionice na I-tom nivou do radionice na K-tom nivou održavanja (u slučaju da potrebne rezervne celine ima u GK-I i/ili u GK-K).

U skladu sa nabrojanim vrstama transporta mogu se definisati i cene transporta j-te modularne celine.

Q_{pvj} — cena vanrednog transporta rezervne celine od GK-K do GK-I;

Q_{prj} — cena redovnog transporta rezervne celine od GK-K do GK-I,

Q_{tvj} — cena vanrednog transporta neispravne celine od radionice na I-tom nivou do radionice na K-tom nivou održavanja,

Q_{trj} — cena redovnog transporta neispravne celine od radionice na I-tom nivou do radionice na K-tom nivou održavanja,

U radionici na I-tom nivou održavanja javljaju se zahtevi za rezervnom celinom. Zavisno od popunjenosti gru-

pnih kompleta potrebnom celinom dolaziće do odgovarajućeg transporta. Ako se sa P_{Ij} označi verovatnoća otkaza GK-I, a sa P_{Kj} verovatnoća otkaza GK-K, u slučaju potrebe j-te modularne celine, mogu se napisati izrazi za verovatnoće izvođenja pojedinog transporta:

— verovatnoća vanrednog transporta rezervne celine od GK-K do GK-I:

$$P_{pvj} = P_{Ij} \quad (1)$$

— verovatnoća redovnog transporta rezervne celine od GK-K do GK-I:

$$P_{prj} = 1 - P_{ij} \quad (2)$$

— verovatnoća vanrednog transporta neispravne celine od radionice na I-tom nivou do radionice na K-tom nivou održavanja:

$$P_{tvj} = P_{Ij} P_{Kj} \quad (3)$$

— verovatnoća redovnog transporta neispravne celine od radionice na I-tom nivou do radionice na K-tom nivou održavanja:

$$P_{trj} = 1 - P_{Ij} P_{Kj} \quad (4)$$

U svakom od izraza od (1) do (4) pojavljuje se verovatnoća otkaza GK-I. Do izraza za ovu verovatnoću može se doći ako se uvedu događaji:

A_j — otkaz GK-I, B_j — otkaz GK-K.

Verovatnoće tih događaja su P_{Ij} i P_{Kj} . Događaj A_j može se dogoditi pri dva uslova:

a_j — neophodna celina nalazi se u GK-K, $\bar{a}_j$ — neophodna celina ne nalazi se u GK-K.

Na osnovu obrasca za totalnu verovatnoću dobije se da je verovatnoća otkaza GK-I:

$$P(A_j) = P(a_j)P(A_j/a_j) + P(\bar{a}_j)P(A_j/\bar{a}_j) \quad (5)$$

gde su: —

$P(a_j)$ i $P(\bar{a}_j)$ — verovatnoće navedenih uslova,

$P(A_j/a_j)$ i $P(A_j/\bar{a}_j)$ — uslovne verovatnoće otkaza GK-I pri datim uslovima (a_j i $\bar{a}_j$).

Verovatnoća otkaza GK-K je:

$$P(\bar{a}_j) = P(B_j) = P_{Kj} \quad (6)$$

i

$$P(a_j) = 1 - P(B_j) = 1 - P_{Kj} \quad (7)$$

Ako se uslovne verovatnoće označe:

$$P(A_j/a_j) = P_{IKj} \text{ i } P(A_j/\bar{a}_j) = P_{IRj} \quad (8)$$

verovatnoća otkaza GK-I može se napisati kao:

$$P_{Ij} = (1 - P_{Kj})P_{IKj} + P_{Kj}P_{IRj} \quad (9)$$

Opšti izraz za određivanje verovatnoća P_{IKj} , P_{IRj} i P_{Kj} je:

$$P_j = \frac{A_j N_j}{N_j \left(\sum_{z=0}^{\infty} A_j^z / z \right)} \quad (10)$$

$$A_j = t_j \lambda_{juk} \quad (11)$$

gde je:

N_j — broj j-tih rezervnih celina u kompletu,

t_j — srednje vreme obnavljanja utrošene celine iz kompleta,

λ_{juk} — ukupni intenzitet otkaza svih j-tih sastavnih celina elektronskog uređaja koje se obnavljaju u kompletu.

Broj zahteva za rezervnom celinom u radionici I-tog nivoa održavanja, za period eksploatacije uređaja T , može se dobiti pomoću izraza:

$$Y = \lambda_{Ijuk} T \quad (12)$$

Poznavanjem broja zahteva i verovatnoće i cene svake vrste transporta, moguće je odrediti ukupne troškove transporta j-te modularne celine, za jednu radionicu i komplet rezervnih delova na I-tom nivou, u periodu eksploatacije T po vrstama transporta:

— troškovi vanrednog transporta rezervne celine od GK-K do GK-I:

$$C_{pvj} = P_{Ij} Q_{pvj} Y \quad (13)$$

— troškovi redovnog transporta rezervne celine od GK-K do GK-I:

$$C_{prj} = (1 - P_{Ij}) Q_{prj} Y \quad (14)$$

— troškovi vanrednog transporta neispravne celine od radionice na I-tom nivou do radionice na K-tom nivou održavanja:

$$C_{tvj} = P_{Ij} P_{Kj} Q_{tvj} Y \quad (15)$$

— troškovi redovnog transporta neispravne celine od radionice na I-tom nivou do radionice na K-tom nivou održavanja:

$$C_{trj} = (1 - P_{Ir} P_{Kj}) Q_{trj} Y \quad (16)$$

Na osnovu izraza (13) do (16) ukupni troškovi transporta j-te modularne celine u radionici na I-tom nivou održavanja su:

$$C_{tranj} Y = P_{Ij} Q_{pvj} + (1 - P_{Ij}) Q_{prj} + P_{Ij} P_{Kj} Q_{tvj} + (1 - P_{Ij} P_{Kj}) Q_{trj} \quad (17)$$

Analiza troškova transporta modularnih celina

Troškovi transporta popravljivih modularnih celina zavise od mnoštva parametara sistema održavanja, sistema snabdevanja rezervnim delovima i od tehničkih parametara modularnih celina. Pomoću računarskog programa, realizovanog na osnovu modela troškova transporta modularnih celina, izvršena je analiza ovih troškova. Pri a-

nalizi su korišćene sledeće vrednosti parametara:

- broj uređaja koji se održavaju u radionici I-tog nivoa 100
- broj radionica na I-tom nivou 5
- srednje vreme vanrednog transporta rezervne celine od GK-K do GK-I 25 h
- srednje vreme redovnog transporta rezervne celine od GK-K do GK-I 100 h
- srednje vreme vanrednog transporta neispravne celine od radionice na I-tom nivou do radionice na K-tom nivou održavanja 25 h
- srednje vreme redovnog transporta neispravne celine od radionice na I-tom nivou do radionice na K-tom nivou održavanja 100 h
- cena vanrednog transporta rezervne celine od GK-K do GK-I 5 din
- cena redovnog transporta rezervne celine od GK-K do GK-I 0,5 din
- cena vanrednog transporta neispravne celine od radionice na I-tom nivou do radionice na K-tom nivou održavanja 5 din
- cena redovnog transporta neispravne celine od radionice na I-tom nivou do radionice na K-tom nivou održavanja 0,5 din
- vreme eksploatacije uređaja 10 god.
- intenzitet otkaza celine $350 \cdot 10^{-6}$ otkaza/h
- cena celine 1 000 din

ANALIZA ZAVISNOSTI TROŠKOVA TRANSPORTA CELINA

Period eksploatacije elektronskog uređaja (T)

Na osnovu izraza (12) i (17) vidi se da troškovi transporta modularne celine linearno rastu sa porastom perioda eksploatacije uređaja.

Broj rezervnih celina u GK-I (N_j)

Na slici 2 prikazani su troškovi transporta j -tih modularnih celina u funkciji broja tih celina u GK-I, pri njihovom konstantnom broju u GK-K ($M_j = \text{const.}$).

Sl. 2 — Zavisnost troškova transporta modularnih celina od njihovog broja u GK-I

Može se uočiti da su troškovi transporta celina jako zavisni od broja celina u GK-I, i da približno linearno opadaju sa povećanjem njihovog broja. Kod neke vrednosti parametra N_j troškovi transporta postaju nezavisni od povećanja tog parametra, zbog toga što pri toj količini modularnih celina ne dolazi do otkaza GK-I, odnosno do vanrednog transporta modularnih celina. Tada se izvodi samo redovni transport celina, pa su troškovi transporta celina minimalni.

Broj rezervnih celina u GK-K (M_j)

Na slici 3 prikazani su troškovi transporta j -tih modularnih celina u

funkciji broja tih celina u GK-K, pri njihovom konstantnom broju u GK-I ($N_j = \text{const.}$).

Sl. 3 — Zavisnost troškova transporta modularnih celina od njihovog broja u GK-K

Troškovi transporta celina manje zavise od broja celina u GK-K nego od broja celina u GK-I, što je posebno izraženo pri većim vrednostima parametra N_j .

Cene vanrednog transporta rezervnih i neispravnih celina (Q_{pvj} i Q_{tvj})

Ove cene zavise od vremena trajanja vanrednog transporta tih celina. Pri dužem vremenu transporta (železnički prevoz) cena transporta je manja, i obrnuto, pri manjem vremenu transporta (avionski prevoz) cena transporta je veća. Iz izraza (13) i (15) vidi se da troškovi transporta modularnih celina linearno rastu sa povećanjem ovih cena.

Cene redovnog transporta neispravnih i rezervnih celina (Q_{prj} i Q_{trj})

Ove cene zavise od vremena trajanja redovnog transporta celina, na isti način kao i cene vanrednog transporta. Na slici 4 prikazani su troškovi transporta j -tih modularnih celina u

funkciji cene redovnog transporta neispravne celine (Q_{trj}).

Sl. 4 — Zavisnost troškova transporta modularnih celina od cene redovnog transporta neispravne celine

Optimizacija zaliha rezervnih celina

Cilj optimizacije zaliha rezervnih delova jeste postizanje maksimalne raspoloživosti elektronskog uređaja, uz istovremene minimalne troškove za rezervne delove. Iz prethodne analize se vidi da su troškovi transporta rezervnih celina veoma zavisni od nekih parametara sistema snabdevanja i održavanja uređaja. Stoga zanemarivanje ovih troškova u optimizaciji može dovesti do pogrešno određenog asortimana i količina rezervnih celina.

Na slici 5 prikazani su ukupni troškovi snabdevanja j -tim rezervnim celinama (C_{ukj}), kao suma troškova transporta (C_{tranj}) i troškova zaliha (C_{zalj}) tih celina, u funkciji njihovog broja u GK-I.

Povećanjem broja rezervnih celina u GK-I, do neke vrednosti, dolazi do smanjenja troškova snabdevanja rezervnim celinama. Od te vrednosti troškovi snabdevanja počinju da rastu, prateći troškove zaliha rezervnih celina. Očigledno je da ta vrednost (N_{jmin}), sa stanovišta troškova snabdevanja, predstavlja optimalan broj j -tih

rezervnih celina. Ovaj broj neće uvek biti rešenje proračuna optimalnih zaliha rezervnih celina za jedan elektronski uređaj, i to zbog sledećih razloga:

Sl. 5 — Ukupni troškovi snabdevanja modularnim celinama

— raspoloživa finansijska sredstva za kupovinu početnih zaliha rezervnih celina su nedovoljna za obezbeđivanje minimalnih troškova snabdevanja rezervnih celina;

— traži se veća raspoloživost elektronskog uređaja od raspoloživosti uređaja obezbeđene sa N_{jmin} .

Za hipotetički elektronski uređaj, sastavljen od 6 viših modularnih celina (tabela 1), primenom metode približnog dinamičkog programiranja, izvršena je optimizacija zaliha rezervnih celina. Pri ovom postupku u komplete GK-I i GK-K uvođena je ona rezervna celina u onaj komplet rezervnih delova za koje je odnos priraštaja novčanih sredstava za zalihe rezervnih celina i smanjenja zastoja zbog nedostatka rezervnih celina minimalan:

$$D_{minj} = \frac{\Delta C_{zalj}}{\Delta t_j} \quad (18)$$

ali pod uslovom da uvođenje te rezervne celine smanjuje ukupne troškove snabdevanja tom rezervnom celinom (C_{ukj}). Proces optimizacije se završava kada se postignu minimalni ukupni troškovi snabdevanja svim modularnim celinama C_{ukmin} .

Tabela 1

Intenziteti otkaza i cene celina uređaja

Sastavni deo	Intenzitet otkaza ($\times 10^{-6}$)	Cena (dinara)
VMC-1	300	6000
VMC-2	350	4500
VMC-3	100	1500
VMC-4	250	1500
VMC-5	50	1000
VMC-6	500	3000

Na slici 6 prikazana je zavisnost ukupnih troškova snabdevanja svim rezervnim celinama C_{uk} od troškova zaliha rezervnih celina C_{zal} koja je dobijena u toku optimizacije zaliha rezervnih celina za održavanje ovog uređaja u trajanju od 10 godina.

Sl. 6 — Ukupni troškovi snabdevanja modularnim celinama u toku optimizacije

U tabeli 2 date su količine rezervnih celina u GK-I i GK-K, koje su dobijene kao rešenje optimizacije zaliha rezervnih celina.

Da model snabdevanja ne sadrži troškove transporta i da ovi troškovi nisu uzeti u obzir, pri optimizaciji za-

Tabela 2

Optimalne zalihe rezervnih celina

Rezervni deo	GK-I	GK-K
VMC-1	4	12
VMC-2	4	14
VMC-3	3	6
VMC-4	4	12
VMC-5	2	4
VMC-6	6	21

liha rezervnih celina, »optimalne zalihe« bile bi drugačije. Tada bi ukupni troškovi snabdevanja rezervnim celinama, u ukupnom veku ovog uređaja, bili veći.

Zaključak

U ovom radu prikazana je neophodnost uključivanja troškova transporta modularnih celina u matematičke modele snabdevanja i održavanja modularno građenih elektronskih uređaja, a i njihovog uključivanja u algoritme za optimizaciju zaliha rezervnih delova za održavanje elektronskih uređaja. Model troškova transporta rezervnih celina dat je samo za popravljive celine koje se održavaju na neposredno višem nivou. Na osnovu ovog modela moguće je razraditi i model troškova dotura nepopracljivih celina, a i troškova transporta popracljivih celina koje se popracljaju na više nivoa održavanja. Na taj način bi se matematička formalizacija procesa snabdevanja rezervnim delovima upotpunila delom koji se odnosi na troškove transporta, koji bi se mogli uključiti u optimizaciju zaliha rezervnih delova i održavanja elektronskog uređaja.

Radi poboljšanja pogodnosti održavanja mašinskih uređaja i sistema, kod njih se sve više koristi modularna

konstrukcija, pa je problematika razmatrana u ovom radu za njih aktuelna. Izrazi u matematičkom modelu troškova transporta popravljivih modularnih celina od (1) do (17) važe i za

modularno građeni mašinski uređaj, osim izraza (10, 11 i 12) koji se mogu primeniti samo za one mašinske modularne celine koje imaju konstantan intenzitet otkaza.

Literatura:

- [1] Blanchard, B.: **Logistics engineering and management**, Prentice Hall, New Jersey, Prentice Hall, 1986.
- [2] Korolija, D.: Model snabdevanja modularno građenih elektronskih uređaja rezervnim delovima, Magistarski rad, Zagreb, ETF, 1988.
- [3] Kuljbak, L. I.: Osnovi račeta obespećenija elektronnoj aparaturi zapasnam elementami, Sovetskoe radio, Moskva, 1970.
- [4] Korolija, D.: Model troškova transporta popravljivih modularnih celina elektronskog sredstva, Kupari, SYM-OP-IS '90, 1990.
- [5] Barković, M.: Modeliranje troškova održavanja tehničkih sistema, Kupari, SYM-OP-IS '90, 1990.