Dr Vasilije Mišković,
potpukovnik, dipl. inž.
Dr Petar Stanojević,
kapetan I klase, dipl. inž.
Vojnotehnička akademija VJ,
Beograd

ANALIZA NEKIH KARAKTERISTIKA FUNKCIONISANJA VIŠEEŠELONSKOG SISTEMA ZALIHA POPRAVLJIVIH SKLOPOVA

UDC: 62-7.001.575

Rezime:

U ovom radu autori se bave nekim problemima upravljanja zalihama popravljivih sklopova-delova. Efektivnost je osnovni kriterijum pri projektovanju sistema snabdevanja rezervnim delovima. Složenost posmatranog sistema i procesa u njemu uslovili su korišćenje metoda modelovanja i simulacije kao istraživačkih alata u ovom slučaju. Ovaj pristup zasniva se na posmatranju relevantnih karakteristika sistema snabdevanja i njihovih promena, uslovljenih različitim intenzitetima potražnje i pravcima materijalnih tokova. Najvažnija karakteristika — koeficijent zadovoljenja potražnje odabrana je radi prezentacije osnovnih rezultata. U radu isti status imaju novi i popravljivi sklopovi.

Ključne reči: zalihe, model, simulacija, koeficijent popunjenosti skladišta, intenzitet potražnje.

ANALISE SOME FUNCTIONING CHARACTERISTICS OF A MULTIETCHEON INVENTORY SYSTEM

Summary:

This article deals with problems in inventory systems of maintainable parts. The way of projecting on inventory system by effectiveness has been provided. The aspects of system complexity led as to use system modelling and consequently the simulation method. This approach provides the recognition of inventory system characteristics, the changes in the system influenced by the different requirement intensity and material flows. The most important characteristic — the predicted number of assembly replacements per real requirements number without delay, has been chosen for a detailed results presentation. Material flow conveys between echelon levels show tendency to keep the same values of the system characteristics in some determined limits without the replenishment quantity growth. In the study new and maintainable parts have the same status.

Key words: inventory, model, simulation, predicted number of assembly replacements, real requirements number without delay.

Uvod

Karakteristike funkcionisanja višeešelonskog sistema zaliha popravljivih sklopova (u daljem tekstu sistema) predstavljaju pokazatelje uspešnosti funkcionisanja sistema. Poznavanje ovih karakteristika ima značaj i za potrošača i za upravne organe u sistemu.

Za potrošača koji se pojavljuje u sistemu, radi zadovoljenja svojih potreba, značajno je da unapred zna šta ga očekuje, koja je verovatnoća da će rezervni deo dobiti odmah, a ako mora da čeka — koliko je vreme čekanja, kolika je verovatnoća da neće čekati duže od nekog relevantnog vremena, itd. Za upravne organe u sistemu po-

znavanje karakteristika funkcionisanja je značajno da bi mogli oceniti da li sistem funkcioniše na zadovoljavajući način i u kojoj meri. Na osnovu promena karakteristika funkcionisanja sistema upravni organi mogu donositi odluke, da li u sistemu treba vršiti korekcije ili, u krajnjem, da li je neophodno projektovati i uspostaviti novi sistem snabdevanja. Poznavanje promena karakteristika funkcionisanja sistema, u zavisnosti od promena uslova funkcionisanja, omogućava upravnim organima da preduzimaju upravljačke akcije pre nego što stvarno dođe do promena karakteristika funkcionisanja sistema. Od svih uslova u kojima funkcioniše sistem, najčešće su od presudnog uticaja poremećaji mogućnosti popune (nabavke rezervnih delova) i poremećaji potražnje.

U uslovima promene intenziteta potražnje nekog artikla, upravljanje zalihama u višeešelonskim sistemima predstavlja veoma složen problem, bilo da se radi o operativnom upravljanju u sistemu, o projektovanju sistema ili korekcijama i racionalizaciji u sistemu. Kako je veoma teško analitički obuhvatiti sve uticajne faktore koji deluju u sistemu i izvan njega, za rešavanje ove vrste problema može se koristiti simulacija, odnosno simulacija u kombinaciji sa drugim metodama, najčešće statističkim metodama i metodama operacionih istraživanja. Metoda modelovanja i simulacije primenjuje se za analizu uticaja pojedinih parametara u sistemu, otkrivanje uzroka ponašanja sistema različitog u odnosu na očekivano, eliminaciju rešenja koja ne zadovoljavaju ograničenja još u fazi projektovanja, određivanje vrednosti kriterijumskih funkcija za ocenu funkcionisanja sistema i postoptimalnu analizu.

Prognoziranje upravljačkih akcija, u zavisnosti od promene uslova funkcionisanja sistema, svakako zavisi od promene svih karakteristika sistema. U ovom radu razmatraju se popravljivi sklopovi čija je regeneracija (u naj-

većem broju slučajeva) rentabilna. Razmatranje ugradnje regenerisanih sklopova je interesantno iz više razloga, a pre svega zbog cene regeneracije sklopa koja je u većini slučajeva niža od cene novog sklopa. Pored toga, ovakvom organizacijom omogućava se da u nižim nivoima sistema održavanja kvalifikaciona struktura izvršilaca bude niža jer se obavlja samo prosta zamenjena sklopova. Na taj način postiže se da se vreme u otkazu sredstava smanjuje. Izvršioci sa višom kvalifikacijom koncentrišu se na mestu regeneracije sklopova, čime se njihov broj smanjuje. Smanjuje se i količina rezervnih delova za opravku sklopova koji se moraju držati u sistemu, a i zavisnost sistema snabdevanja rezervnim delovima od sistema održavanja i tržišta.

U ovom radu biće prikazana, ilustracije radi, mogućnost analize uticaja intenziteta potražnje i nivoa zaliha u centralnom skladištu na koeficijent popunjenosti skladišta. Iz ovakve analize moguće je definisati upravljačke akcije, prema promenama ove karakteristike sistema u zavisnosti od visine zaliha u centralnom skladištu i u zavisnosti od intenziteta potražnje posmatranog sklopa.

Neke karakteristike i uslovi funkcionisanja sistema

Ako se kao cilj postojanja i funkcionisanja sistema koji ima svoju strukturu i procese i funkcioniše po nekom modelu postavi zadovoljenje potražnje koja se javlja, onda se kao osnovne karakteristike funkcionisanja sistema mogu javiti: koeficijent popunjenosti skladišta, broj zahteva i vreme čekanja u redu čekanja, troškovi u sistemu i reagovanje sistema na poremećaje.

Koeficijent popunjenosti skladišta predstavlja odnos broja tražnji koji se zadovoljava bez čekanja prema ukupnom broju tražnji. Ova karakteris-

tika je po svom značenju verovatnoća zadovoljenja zahteva bez čekanja.

Broj zahteva u redu čekanja može se opisati srednjim brojem zahteva u redu čekanja i verovatnoćom da broj zahteva u redu ne bude veći od nekog, za sistem ili potrošača, relevantnog broja. Srednji broj zahteva u redu čekanja jeste odnos ukupnog broja tražnji koji je u redu čekanja određeno vreme i ukupnog vremena čekanja. Ova karakteristika pokazuje, ako se čeka na rezervni deo, koliko tih zahteva čeka, odnosno koliki je očekivani broj sredstava, koja su oslonjena na održavanje u datom sistemu, u otkazu istovremeno. Takođe, pokazuje verovatnoću da istovremeno broj sredstava u otkazu ne bude veći od nekog unapred datog broja.

Vreme čekanja u redu može se opisati srednjim vremenom čekanja i verovatnoćom da zahtev ne čeka duže od nekog relevantnog vremena. Srednje vreme čekanja predstavlja odnos ukupnog vremena čekanja i broja tražnji koje se nalaze u redu. Uvek je značajno unapred znati koliko vremena će se sredstvo zadržati na održavanju ili od kog vremena se neće zadržavati duže na održavanju. U ukupnom vremenu održavanja sredstva, vreme čekanja na rezervne delove ili sklopove veoma je značajno.

Troškovi koji nastaju u sistemu mogu se razmatrati na različite načine, a jedan od mogućih jeste sledeća struktura troškova:

- troškovi nabavke,
- troškovi skladištenja,
- troškovi transporta,
- troškovi deficita,
- troškovi prikupljanja i obrade informacija.

U ukupnim troškovima održavanja, troškovi obezbeđenja rezervnim delovima ili sklopovima često predstavljaju najveću stavku.

Reagovanje sistema na poremećaje predstavlja sposobnost sistema da reaguje na poremećaj samoregulacijom. Što je sistem sposobniji da reaguje na

ovaj način, to je broj neophodnih upravljačkih akcija manji.

Na promene uslova funkcionisanja, sistem snabdevanja reaguje promenom vrednosti svojih karakteristika na određeni način. Na promenu vrednosti karakteristika funkcionisanja sistema (u negativnom smislu) upravni organi moraju reagovati nekom upravljačkom akcijom, kako bi vrednosti karakteristika zadržali u okviru dopuštenih vrednosti. Najveći uticaj na promenu vrednosti karakteristika funkcionisanja sistema snabdevanja imaju poremećaji u mogućnosti popune i poremećaji intenziteta potražnje. Poremećaj mogućnosti popune po svom trajanju može imati impulsni karakter ili može biti trajni poremećaj. Po svom trajanju poremećaj intenziteta potražnje može, takođe, biti impulsni ili trajnog karaktera, a po prostornom određenju parcijalni ili globalni.

Poznavanje uticaja promena uslova u kojima sistem funkcioniše na karakteristike funkcionisanja sistema omogućava upravnim organima da svojim upravljačkim akcijama preduprede negativno delovanje na karakteristike sistema. Zato je takav uticaj i takvu zavisnost neophodno poznavati.

Primer mogućeg načina određivanja zavisnosti karakteristika funkcionisanja sistema od uslova funkcionisanja prikazan je u ovom radu na hipotetičkom višeešelonskom sistemu zaliha popravljivih sklopova. U konkretnom slučaju radi se o zavisnosti koeфицијента popunjenosti skladišta od intenziteta potražnje na perifernim skladištima i nivoa zaliha u centralnom skladištu. Na osnovu poznavanja takve zavisnosti određene su upravljačke akcije, konkretno, usmeravanje toka popravljenih sklopova u sistemu.

Opis modela višeešelonskog sistema zaliha popravljivih sklopova

Sistem snabdevanja rezervnim delovima podržava sistem održavanja,

koji se pojavljuje kao korisnik, odnosno potrošač prema sistemu snabdevanja rezervnim delovima. Ova dva sistema mogu se posmatrati kao jedinstveni sistem, pogotovo ako se radi o zatvorenom sistemu. Na primer, ako se radi o sistemu održavanja transportnih sredstava u transportnoj firmi koja ima razvijen sistem održavanja, ako se radi o sistemu održavanja mašina i uređaja u fabričkim postrojenjima ili o sistemu održavanja tehničkih materijalnih sredstava u vojnim sistemima.

U ovom radu razmatra se snabdevanje sklopovima koji su popravljivi, a krajnji korisnik ne odlučuje o tome da li će na sredstvo biti ugrađen novi ili regenerisani sklop. U slučaju otvorenog sistema krajnji korisnik uvek odlučuje o tome kakav će sklop (novi ili regenerisani) biti ugrađen na njegovo sredstvo. Zato se u ovom slučaju može uzeti da regenerisani i novi sklopovi, kada je u pitanju ugradnja, imaju isti status.

Model se sastoji od jednog centralnog, četiri periferna skladišta u kojima se drže popravljivi sklopovi određenog tipa i radionice u kojoj se regenerišu sklopovi. Periferna skladišta su oslonjena na centralno skladište koje se oslanja na neiscrpan izvor snabdevanja. Zahtevi neposrednih potrošača dolaze samo na periferna skladišta. Tražnje za delovima na perifernim skladištima predstavljaju Poasonov proces. Ne postoje horizontalne veze među perifernim skladištima, odnosno jedno periferno skladište ne može se popunjavati iz drugog perifernog skladišta. Periferna skladišta upućuju neispravne sklopove radionici na regeneraciju ili ih rashoduju ako je opravka nerentabilna. Regenerisani sklop se vraća u sistem. Od neiscrpnog izvora snabdevanja centralno skladište nabavlja samo onoliko sklopova koliko ih je rashodovano. Svaka narudžba centralnog skladišta prema neiscrpnom izvoru realizuje se u potpunosti. Vremena realizacije zahteva i vreme regeneracije je slučajno i pokorava se nor-

malnoj raspodeli. U slučaju da je nivo zaliha na perifernom ili centralnom skladištu na nuli, evidentira se pristigla narudžba i stavlja se u red. Pražnjenje reda obavlja se po principu »prvi došao — prvi opslužen«.

Sl. 1 — Model višeešelonskog sistema zaliha popravljivih sklopova

Na modelu su vršeni eksperimenti u uslovima globalnog i perifernog povećanja intenziteta potražnje (intenzitet potražnje raste samo na jednom skladištu). Povećanje intenziteta potražnje, u oba slučaja, pri perifernom i pri globalnom povećanju, trajno je, dok nivo zaliha u centralnom skladištu i intenzitet potražnje na perifernim skladištima varira.

Razmatrano je nekoliko varijanti.

Pri globalnom poremećaju potražnje, radionica u prvoj varijanti (varijanta A) vraća regenerisane sklopove perifernim skladištima, a zahtev za popunu centralnom skladištu upućuje se samo za rashodovane sklopove. U drugoj varijanti (varijanta B), radionica upućuje regenerisane sklopove u centralno skladište, a centralnom skladištu se upućuju zahtevi za popunu. U oba slučaja centralno skladište neiscrpnom izvoru upućuje narudžbu samo za rashodovane sklopove.

Pri perifernom poremećaju razmatraju se tri varijante. U prvoj varijanti (varijanta I) regenerisani sklopovi se vraćaju perifernim skladištima, a zahtev za popunu centralnom skladištu upućuje se samo za rashodovane sklopove. U drugoj varijanti (varijanta II), radionica upućuje regenerisane sklopove u centralno skladište, a njemu se upućuju svi zahtevi za popunu. Kod treće varijante (varijanta III), radionica vraća regenerisane sklopove perifernom skladištu na kojem se intenzitet tražnje povećava, a od ostalih perifernih skladišta sklopove upućuje centralnom skladištu. Periferno skladište kod kojeg intenzitet potražnje raste, zahtev za popunu upućuje centralnom skladištu samo za sklopove koji su rashodovani. Ostala periferna skladišta zahtev za popunu centralnom skladištu upućuju za sve sklopove. U sva tri slučaja, centralno skladište upućuje neiscrpnom izvoru narudžbu samo za rashodovane sklopove.

U svim slučajevima postavlja se kao zahtev da nivo zaliha ne bude veći od projektovanog nivoa zaliha u toku funkcionisanja sistema.

Analiza rezultata eksperimenata

Simulacija je vršena na modelu, a koeficijent popunjenosti posmatran je na perifernim skladištima. Variran je intenzitet potražnje i nivo zaliha u centralnom skladištu. Intenzitet potražnje je povećavan sa korakom od 7,5%, a nivo zaliha u centralnom skladištu od jedan do pet sklopova. Određena je zavisnost koeficijenta popunjenosti od intenziteta potražnje za svaki nivo zaliha u centralnom skladištu, a ostali parametri uzimani su kao konstante.

Dobijeni rezultati simulacije pokazuju da je, prema koeficijentu popunjenosti perifernih skladišta, uslovno rečeno, u normalnim uslovima funkcionisanja sistema, bolje usmeravati regenerisane sklopove iz radionice pre-

ma centralnom skladištu, a kada je projektovani nivo zaliha u centralnom skladištu nizak bolje je vraćati sklopove iz radionice perifernim skladištima.

Ilustracije radi, na slici 2 prikazani su rezultati simulacije za srednji nivo zaliha u centralnom skladištu i periferno povećanje intenziteta potražnje, a na slici 3 su rezultati simulacije za nizak nivo zaliha u centralnom skladištu pri globalnom povećanju intenziteta potražnje.

Sli. 2 — Zavisnost koeficijenta popunjenosti skladišta od perifernog povećanja intenziteta potražnje pri srednjem nivou zaliha u centralnom skladištu

Sli. 3 — Zavisnost koeficijenta popunjenosti skladišta od globalnog povećanja intenziteta potražnje pri niskom nivou zaliha u centralnom skladištu

Upravljačke akcije, koje treba preduzimati u sistemu, pri povećanju intenziteta potražnje, a za određeni nivo zaliha u centralnom skladištu, prema koeficijentu popunjenosti skladišta, na osnovu rezultata simulacije, prikazane su u tabeli.

U slučaju perifernog povećanja intenziteta potražnje nema bitne razlike među vrednostima koeficijenta popunjenosti skladišta u prvoj i trećoj varijanti, što je ilustrovano na slici 5. Na ovoj slici jasno se uočava, kao i na slici 2, da nema signifikantne razlike

Tabela

Potreban smer toka regenerisanih sklopova u zavisnosti od nivoa zaliha u centralnom skladištu i perifernog i globalnog intenziteta potražnje

Nivo zaliha u centralnom skladištu	Globalni porast			Periferni porast		
	Intenzitet potražnje					
	Mali	Srednji	Veliki	Mali	Srednji	Veliki
Visok	R—C	R—C	R—P	R—C	R—C	R—C
Srednji	R—C	Isto	R—P	R—C	R—C	R—C
Nizak	R—P	R—P	R—P	R—P	R—P	R—P

R—C — tok regenerisanih sklopova, iz radionice u centralno skladište,
R—P — tok regenerisanih sklopova, iz radionice u periferna skladišta.

U uslovima globalnog porasta intenziteta potražnje ili niskom nivou zaliha u centralnom skladištu bolje je da tok regenerisanih sklopova ide iz radionice u periferna skladišta. U ostalim slučajevima, osim pri srednjim vrednostima, bolje je da tok ide iz radionice u centralno skladište. Pri srednjim vrednostima nivoa zaliha u centralnom skladištu i srednjem intenzitetu potražnje, koeficijent popunjenosti skladišta je u oba slučaja isti.

Gde je tačno granica kada je potrebno vršiti preusmeravanje toka određuje se u svakom konkretnom slučaju. Na slici 4 prikazana je zavisnost koeficijenta popunjenosti skladišta od intenziteta potražnje pri visokom nivou zaliha u centralnom skladištu. Pri intenzitetu potražnje, gde se grafovi seku, potrebno je preusmeravati tok regenerisanih sklopova, »od radionice u centralno skladište« u »od radionice u periferna skladišta«.

koeficijenta popunjenosti u prvoj i trećoj varijanti, pri svim nivoima zaliha u centralnom skladištu i pri svim

Sl. 4 — Zavisnost koeficijenta popunjenosti skladišta od globalnog povećanja intenziteta potražnje pri visokom nivou zaliha u centralnom skladištu

vrednostima intenziteta potražnje. Zato su razmatrane samo prva i druga varijanta.

Sl. 5 — Zavisnost koeficijenta popunjeno-
sti skladišta od perifernog povećanja inte-
nziteta potražnje pri visokom nivou zaliha
u centralnom skladištu

U slučaju perifernog povećanja intenziteta potražnje, iz tabele se vidi da usmerenost toka regenerisanih sklopova ne zavisi od intenziteta potražnje za tim sklopovima, nego samo od nivoa zaliha u centralnom skladištu.

Zaključak

Primena metode simulacije predstavlja nužnost u klasi problema koji se ne mogu opisati analitički bez velikih pojednostavljenja, tamo gde je potrebno sagledati dinamiku odvijanja procesa u sistemu ili gde postoji mogućnost promene uslova u kojima funkcioniše sistem i to u toku funkcionisanja sistema, metoda modelovanja i simulacije, praktično je jedini način da se dođe do rešenja. Simulacijom se do-

bijaju »sirovi« podaci koje je korišćenjem drugih metoda neophodno obraditi. Zato se može reći da simulacija svoju pravu vrednost pokazuje tek u kombinaciji sa drugim metodama.

Uticaj promene intenziteta potražnje i nivoa zaliha u skladištima, kako u centralnom, tako i u perifernim, na koeficijent popunjeno-
sti skladišta potrebno je razmatrati u više dimenzija. Intenzitet potražnje može da se menja impulsno, odnosno da u kratkom vremenskom periodu dođe do naglog povećanja ili smanjenja potražnje ili da promena bude trajna. Projektovani nivo zaliha u skladištima takođe može da bude različit. Analizu treba vršiti posmatranjem vremenske dimenzije.

Jasno je da za definisanje upravljačkih akcija nije dovoljno posmatrati samo jednu od karakteristika funkcionisanja sistema, ali ni sve karakteristike sistema nemaju isti značaj. Pored toga što značaj pojedinih karakteristika zavisi od cilja postojanja i funkcionisanja sistema, njihov se značaj menja i u zavisnosti od njihovog relativnog odnosa. Upravljačke akcije zato moraju biti rezultat kompromisa među karakteristikama sistema.

Ovako složene i kompleksne analize treba raditi u slučajevima kada se radi o veoma skupim sklopovima, o velikom broju sklopova ili o veoma značajnim sredstvima na koja se ti sklopovi ugrađuju. Pored toga, ovakve analize je potrebno raditi kad je u pitanju neizvesna popuna novim sklopovima. Presudnu ulogu u definisanju upravljačkih akcija, osim u nekim specijalnim slučajevima, imaju troškovi. Kompromis između troškova i ostalih karakteristika funkcionisanja sistema svodi se na održavanje ostalih karakteristika u dozvoljenim granicama, kako ne bi došlo do značajnijeg narušavanja sistema ili dugoročnih negativnih posledica.

Literatura:

[1] Lukić, D., Mišković, V.: Mogućnost primene simulacije pri rešavanju problema zaliha, VTG 5/88, str. 545—554.

[2] Saković, V. A.: Modeli upravljenja zapasami, Nauka i tehnika, Minsk, 1986.

[3] Vukadinović, S., Popović, J.: Metoda Monte-karlo, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1985.