

Dr Vasilje Mišković,
pukovnik, dipl. inž.

Vladimir Bukvić,
major, dipl. inž.

Dr Petar Stanojević,
major, dipl. inž.

Vojna akademija – Odsek logistike,
Beograd

KVANTIFIKACIJA I OBLIK UTICAJA SNABDEVENOSTI REZERVNIM DELOVIMA NA ISPRAVNOST TEHNIČKIH SISTEMA

UDC: 62-7.001.26 : 519.874

Rezime:

U ovom radu obrađuje se problem određivanja uticaja snabdevenosti rezervnim delovima pojedinih nivoa snabdevanja u višenivojskom sistemu, na ispravnost tehničkih sredstava. U ovom slučaju smatra se da je i sistem održavanja višenivojski. Da bi se ovaj uticaj u nekoj meri mogao kvantifikovati, nužno je bilo konkretizovati sistem. Uticaj snabdevenosti rezervnim delovima na ispravnost tehničkih sredstava sagledava se u odnosu na strukturu sistema, informacioni sistem i pojedine nivoe. Rezultati su, zbog obimnosti, prikazani samo kao ilustracija.

Ključne reči: rezervni deo, višenivojski sistem, snabdevenost.

QUANTIFICATION AND THE SPARE PARTS SUPPLY INFLUENCE ON THE CORRECTNESS OF TECHNICAL SYSTEMS

Summary:

This paper analyses how spare parts supply at particular levels of supply in a multilevel system affects the correctness of technical systems. In this case, the system of maintenance is also considered to be multilevel. In order to quantify this influence to a certain extent, it was necessary to specify the system. The effects of spare parts supply on the correctness of technical systems are considered with respect to the system structure, the information system and the particular levels. The results, being very detailed, are given here only as illustrations.

Key words: spare part, multilevel system, supply.

Uvod

Na ispravnost tehničkih sistema veliki uticaj ima snabdevenost rezervnim delovima. S jedne strane, teži se da se zalihe rezervnih delova povećavaju zbog podizanja nivoa ispravnosti tehničkih sredstava, a s druge strane da se zalihe rezervnih delova smanje zbog smanjenja troškova. Ovaj problem se komplikuje u

višenivojskim sistemima održavanja, gde se zahvati održavanja raspodeljuju po nivoima, a u okviru jednog nivoa održavanje se distribuira u prostoru. Distribucija zahvata održavanja, po nivoima i u prostoru, nužno zahteva distribuciju i rezervnih delova po nivoima i u prostoru, s tim da distribucija rezervnih delova ne mora nužno da prati distribuciju zahvata održavanja.

Problem raspodele rezervnih delova po nivoima, po asortimanu i količini, najčešće se rešava po tehnološkim zahvatima održavanja koji se sprovode po pojedinim nivoima, intenzitetu potražnje pojedinih rezervnih delova, a u odnosu na kriterijum troškova. Razvojem i primenom raznih metoda i modela upravljanja zalihama teži se optimizaciji nivoa zaliha, uglavnom sa stanovišta troškova.

Međutim, u nekim sistemima kriterijum troškova nije dominantan, što ne znači da nije vrlo značajan, već je dominantniji kriterijum ispravnosti tehničkih sistema. To se posebno odnosi na vojne sisteme, kod kojih se intenzitet eksploatacije tehničkih sredstava znatno menja u vremenu, a samim tim i intenzitet otkaza (važi za sve sisteme kod kojih je trošak zastoja mnogo veći od troškova opravke). Intenzitet otkaza se u toku izvođenja borbenih dejstava višestruko povećava, a pooštava se i zahtev za brzim vraćanjem tehničkih sredstava u ispravno stanje i u jedinicu. U takvim sistemima postavlja se dominantan zahtev brzog vraćanja tehničkih sredstava u eksploataciju u periodu intenzivne eksploatacije, odnosno izvođenja borbenih dejstava. Značaj brzog vraćanja tehničkih sredstava u ispravno stanje i u jedinicu sastoji se u tome da jedinica u tom slučaju stalno raspolaže većim brojem ispravnih tehničkih sredstava koja može da upotrebi.

Različiti nivoi održavanja namenjeni su za vraćanje tehničkih sredstava sa različitom težinom otkaza ili oštećenja u eksploataciju. Obim i trajanje radova koji se izvršavaju na pojedinim nivoima zavise od različitih faktora, a samim tim i vreme vraćanja sredstava u eksploataciju (vreme od momenta nastanka otkaza do momenta vraćanja ispravnog tehničkog sredstva u je-

dinicu). Na vreme vraćanja tehničkog sredstva u eksploataciju utiče jedan od bitnih faktora – snabdevenost rezervnim delovima, koji je značajan kada se posmatra ceo sistem snabdevanja rezervnim delovima i sistem održavanja, ali i svaki nivo snabdevanja posebno, jer nije isti uticaj na svakom nivou (bar kada se posmatra vreme izvođenja borbenih dejstava).

Uticaj snabdevenosti rezervnim delovima kompletnog sistema i svakog nivoa posebno menja se (na makro planu) u zavisnosti od organizacione strukture i informacionog sistema. Promena zavisnosti može da se ogleda u promeni relativnog odnosa uticaja ili u promeni apsolutnog iznosa ispravnosti tehničkih sredstava. Poznavanje ovih uticaja omogućava da se takva zakonitost koristi, kako pri operativnom upravljanju sistemom snabdevanja rezervnim delovima, tako i pri projektovanju i reprojektovanju samog sistema snabdevanja rezervnim delovima, ali i sistema održavanja.

Predmet razmatranja

Procesi koji se odvijaju u višenivojskim sistemima održavanja i snabdevanja rezervnim delovima izuzetno su složeni, kao i međusobni uticaji elemenata sistema, nivoa, itd. Ti uticaji mogu biti posredni i neposredni. Do posrednog uticaja dolazi, na primer, kada viši nivo snabdevanja, popunom nižeg nivoa snabdevanja rezervnim delovima, posredno utiče na ispravnost tehničkih sredstava, a do neposrednog uticaja kada popunjenost (snabdevenost) određenog nivoa snabdevanja rezervnim delovima (bez obzira na to da li je ta popunjenost postignuta popunom sa višeg nivoa, nabavkom od pro-

izvođača, trgovinske mreže, itd.) utiče na ispravnost tehničkih sredstava.

U ovom radu razmatra se samo neposredni uticaj, odnosno uticaj potpunosti (snabdevenosti) određenog nivoa snabdevanja rezervnim delovima na ispravnost tehničkih sredstava. Taj uticaj se menja u zavisnosti od organizacione strukture samog sistema i kvaliteta informacionog sistema, kao osnovnih relevantnih faktora. Pod kvalitetom informacionog sistema podrazumeva se mogućnost zaturanja i gubljenja informacija.

Predmet razmatranja ovog rada je upravo analiza¹ uticaja snabdevenosti rezervnim delovima na ispravnost tehničkih sredstava, u odnosu na nivo snabdevanja, kvalitet informacionog sistema i organizacionu strukturu sistema. Analiza ovog uticaja i određivanje zavisnosti veoma su kompleksni. Ova analiza obuhvata i određivanje zavisnosti ispravnosti tehničkih sredstava od snabdevenosti rezervnim delovima pri uticaju različitih faktora od snabdevenosti celokupnog sistema snabdevanja rezervnim delovima, učešće snabdevenosti pojedinih nivoa u celokupnom uticaju, posmatranje neposrednog i posrednog uticaja, itd. Pored toga, veoma je značajno koji se period posmatra – da li period izvođenja borbenih dejstava, period pre njihovog početka ili period nakon njih, da li se radi o ratu, kriznoj situaciji ili miru, itd. Preciznije rečeno, predmet ovog rada je prikaz *načina* kako da se dobije uticaj snabde-

venosti rezervnim delovima na ispravnost tehničkih sredstava u periodu izvođenja borbenih dejstava, a prikaz rezultata je ilustrativan. To znači da opisani postupak može da se primeni za period izvođenja borbenih dejstava, period pre početka borbenih dejstava, period nakon borbenih dejstava, za stanje rata, krizne situacije ili stanje mira, a primer koji je prikazan odnosi se na period izvođenja borbenih dejstava.

Relevantni faktori

Faktori koji utiču na opisanu problematiku su mnogobrojni, a samim tim i sa različitim oblikom i mehanizmom uticaja i različitom značajnošću uticaja na zavisnost ispravnosti tehničkih sredstava od snabdevenosti rezervnim delovima u borbenim dejstvima. U ovom radu prikazani su neki od tih faktora, a za prikaz analize u obzir su uzeta samo dva faktora – organizaciona struktura i informacioni sistem.

Veliki sistemi su, svaki na svoj način, specifični po svojoj osnovnoj ili osnovnim delatnostima, ali i po okruženju u kojem se nalaze. Međutim, moguće je preko relevantnih faktora i pokazatelja uspešnosti, ali i zajedničkih karakteristika velikih sistema, izdvojiti i sagledati neke zakonitosti u funkcionisanju velikih sistema. U ovom radu govori se o velikim sistemima uopšte, ali se prvenstveno sagledavaju vojni sistemi.

Faktori koji utiču na sistem održavanja (Sod) razmatraju se preko uspostavljanja i analize zavisnosti sa određenim pokazateljima uspešnosti funkcionisanja SOd. Određivanje zavisnosti pokazatelja uspešnosti funkcionisanja (ispravnost tehničkih sredstava) od razmatranih relevant-

¹ U radu ovakvog tipa ne može biti predstavljena kompletna analiza, odnosno ne mogu se predstaviti uticaji sagledani sa svih aspekata. Analiza obuhvata kvalitativne odnose, ali i kvantifikaciju, što traži mnogo više prostora. Radi toga predstavljene su samo neki uticaji, odnosno zavisnosti, koji su analizirani na najopštijem nivou. U ovom radu više je predstavljena metodologija, odnosno način kako utvrditi zavisnost, nego konačni rezultati koji se mogu dobiti na taj način kompletnom analizom.

nih faktora treba da omogući sagledavanje oblika promene pokazatelja uspešnosti funkcionisanja u širokom rasponu ulaznih veličina tih faktora, kako bi se mogle utvrditi određene opšte tendencije.

Određivanje uticaja promene relevantnih ulaznih veličina na izlazne rezultate funkcionisanja, odnosno na pokazatelje uspešnosti razmatranog sistema, ima teorijski i praktični značaj. Teorijski značaj ogleda se u kvantifikaciji uticaja pojedinih faktora – promenljivih, utvrđivanju njihove značajnosti, pravca delovanja i oblika i karakteristika međuzavisnosti sa pokazateljima uspešnosti. Praktični značaj ogleda se u poznavanju spektra postojećih rešenja, radi eventualne primene na sopstveni sistem.

Efekti relevantnih faktora treba da budu određeni na osnovu unapred zadatog sistema kriterijuma koji određuju maksimalno mogući opšti model ocenjivanja, kako bi se postigla što veća opštost. Na taj način postiže se i invarijantnost opšteg skupa pokazatelja, što ukazuje na to da SOd, i pored razlika, mogu koristiti, u osnovi, iste opšte pokazatelje uspešnosti funkcionisanja – ostvarivanja postavljenog cilja, koji bi se mogli svesti na:

- raspoloživost (uključuje pouzdanost, pogodnost održavanja, logističku i administrativno-organizacionu problematiku);

- pokazatelje realizacije akcija održavanja (uključujući i realizaciju izraženu u norma-časovima);

- troškove.

Sistem održavanja predstavlja kompleks brojnih funkcija, procesa i delatnosti, a njegovo funkcionisanje zavisi od stanja i uticaja različitih faktora, kako iz samog sistema, tako i iz okruženja. Raz-

ličiti faktori iz okruženja, sredine u kojoj se izvodi održavanje i SOd, ispoljavaju veći ili manji uticaj na sve mere i aktivnosti koje se preduzimaju u SOd u faza organizovanja, planiranja i realizacije. SOd i njegovo funkcionisanje zavisi od uvažavanja ovih uticaja, jer je potrebno naći adekvatna rešenja za date ili nametnute uslove.

Tehnička sredstva verovatno su najznačajniji faktor, jer su ona objekat održavanja. U jednom istom sistemu pojavljuju se različita tehnička sredstva po vrstama, tehnološkom nivou proizvodnje, starosti, tehničkom stanju, itd. Savremena sredstva sa već ugrađenim dijagnostičkim uređajima za praćenje stanja, pa čak i za neka samopodešavanja i slično, zahtevaju sasvim drugi pristup održavanju od tehničkih sredstava starijih generacija. Međutim, sva tehnička sredstva moraju se održavati² uz odgovarajuće troškove, što nužno unosi višedimenzionalnost i u tehnologiju i organizaciju održavanja.

Organizacione celine, kao elementi strukture šireg sistema kome pripada i sistem održavanja, i čija tehnička sredstva treba da se održavaju, uglavnom su tehnološki zaokružene celine u okviru osnovne delatnosti šireg sistema. Održavanje u organizacionim celinama podrazumeva da se obezbedi da tehnološki zaokruženi procesi mogu nesmetano da se odvijaju. Međutim, zbog raznorodnosti tehničkih sredstava i često razuđenog prostornog raspo-

² Realni sistemi su daleko od idealnih, teoretski zamišljenih, ali se moraju održavati odmah. Mnogo je bolje ako na osnovu „snimanja stvarnog stanja orijentisanog ka efikasnosti pokušavamo da pronademo koliko su delotvorne momentalne metode održavanja i kako bismo njihovim promenama snizili troškove“, – Grothus H. jedan od najvećih teoretičara i praktičara iz oblasti inženjerstva održavanja [4].

reda, održavanje u ovakvim celinama može da bude složen problem.³

Faktori koji proizilaze iz sistema održavanja su: usavršavanje – razvoj SOd, koncepcija, tehnologija, organizacija, ljudski faktor i informacioni sistem.

Usavršavanje – razvoj SOd neophodno je za njihov opstanak, jer u protivnom poprimaju karakteristike zatvorenih sistema u kojima raste entropija, pa sistem kreće ka dezorganizaciji i stanju haosa. Dinamiku i osnovne pravce usavršavanja – razvoja diktiraju, pre svega, mera uspešnosti SOd u odnosu na postavljene kriterijume, a zatim i SOd koji se nalaze na višem nivou unutrašnje organizovanosti i tehničko-tehnološkog nivoa, poremećaji u traženju usluga i izmenjeni zahtevi kupaca – korisnika usluga. Usavršavanje i razvoj SOd može biti u oblastima koncepcije – strategije, tehnologije, organizacije i organizacijske kulture (načina ponašanja – attitud), u jednoj od njih ili u njihovoj kombinaciji.

Da bi se omogućilo stalno ocenjivanje i efikasno upravljanje organizacionim i tehničkim sistemima, a posebno preduzimanje aktivnosti koje treba da poboljšaju rad sistema, sa stanovišta postavljene funkcije kriterijuma ili drugih zahteva, nužno je da se sva zbivanja u funkcionisanju sistema permanentno prate i da se o svim relevantnim događajima i postupcima stalno prikupljaju odgovarajući podaci. Radi toga je neophodno da postoji efikasan informacioni sistem, a posebno se teži automatizaciji informacionog sistema.

Informacija je osnov efikasnog odlučivanja, komandovanja i upravljanja

odnosno sve ono što deluje kroz ulaz u jedan organizacioni sistem ili njegov deo. Pri tome se komandovanje i upravljanje sistemom može smatrati procesom pretvaranja informacija u odluke, a odluka u određene akcije.

Bez informacionog sistema danas nije moguće zamisliti jedan efikasan organizacioni sistem čije se funkcionisanje zasniva na upravljanju sa tri osnovne komponente (naravno, uz čoveka kao organizatora procesa): materijom, energijom i informacijama.

Svako funkcionisanje praćeno je poremećajima različitih vrsta koji, u najvećoj meri, utiču na stabilnost parametara procesa i često izvode upravljani sistem izvan granica dozvoljenih odstupanja. Poremećaji imaju ishodište u okolini sistema i u samom sistemu. Izlazak ulaznih, procesnih i izlaznih parametara sistema izvan granica dozvoljenih odstupanja postavljene funkcije cilja pod dejstvom poremećajnih veličina određuje potrebu upravljanja.

Informacioni sistem (IS) o radu i održavanju tehničkih sistema (TS) čini jedan od bitnih i možda najvažnijih elemenata ukupne logističke podrške. To jasno govori da se bez promišljene i ciljno projektovane informatičke podrške ne može upravljati TS, tako da se zadovolji postavljena funkcija cilja, a posebno se ne može obezbediti efektivno i kvalitetno održavanje.

U opštem slučaju, zadatak IS o radu i održavanju jeste da obezbedi:

– stalni uvid u stvarne performanse sistema koji se posmatra, u vidu informacija nužnih za upravljanje i planiranje procesa održavanja, uključujući i elemente logističke podrške;

³ Ostali faktori iz užeg okruženja predstavljeni su u drugim radovima autora ovog članka.

– ukazivanje na potrebe i moguće mere poboljšanja, odnosno na korektivne aktivnosti i podešavanja, kako za delove sistema koji se već nalaze u radu ili koji tek treba da se uključe u posmatrani sistem, tako i za sve komponente i delove sistema održavanja;

– identifikaciju oblika, uzroka i mogućih mehanizama nastajanja otkaza, kao i definisanje metoda koje će obezbediti bolje osnove za analizu otkaza i preduzimanje mera koje će smanjiti verovatnoću njihove pojave;

– informisanje proizvođača posmatranog sistema o njihovim stvarnim performansama, odnosno definisanje zahteva za razvoj novih sistema iste vrste, za sledeće porudžbine i nabavke;

– ukazivanje na pravce daljeg razvoja informacionog sistema, primenjenih metoda i organizacije baza podataka, kako bi se ostvarilo sigurnije predviđanje budućih događaja, odnosno bolje upravljanje i planiranje rada posmatranih TS.

Informacije o radu i održavanju tehničkih sistema imaju zadatak da omoguće poboljšavanje ili usavršavanje procesa rada, tj. procesa održavanja, i to tako da se ostvare izlazne performanse postavljene funkcije cilja sistema. Kvalitet ili ispravnost odluka o sprovođenju korekcija ili podešavanja očigledno zavise od kvaliteta raspoloživih podataka i informacija. Pored relevantnosti ili značajnosti, što čini važan atribut svake informacije, bitne komponente kvaliteta informacije predstavljaju i tačnost, potpunost i pravovremenost, a ponekad i neka dodatna i specifična svojstva kao što su: cena, dostupnost, poverljivost, itd. Da bi informacija bila visoko kvalitetna, svi podaci moraju biti tačni, potpuni i značajni, a moraju biti i

pravovremeni, odnosno raspoloživi u trenutku kada se donosi odluka. Ovi važni zahtevi moraju se obezbediti projektom i realizacijom IS. Pri tome se podrazumeva da je način ili metod obrade podataka usklađen sa potrebama, tako da dobijena informacija neposredno ili posredno obezbeđuje valjanost i ispravnost odluka koje se na toj osnovi donose.

U nove tehnologije svrstavaju se (šire posmatrano, a koje imaju primenu u SOd): sistemi za automatizovano skladištenje i pronalaženje materijala (AS/RS); sistemi za automatizovano vođenje vozila (AGVS); korišćenje računarskih mreža u komunikaciji i prenosu podataka unutar i izvan poslovnog sistema; računarima podržano projektovanje (CAD), tehnička priprema (CAE), upravljanje proizvodnim mašinama (CAD/CAM), nabavka, planiranje materijala (MRP) i resursa, integrisanje proizvodnje (CIM), nadziranje i prikupljanje podataka o procesima (SCADA); primena veštačke inteligencije i/ili ekspertnih sistema; sistem totalne kontrole kvaliteta (TQM); sistem „Just in time“. Cilj njihove primene je u ubrzavanju materijalnih i informacionih tokova, unapređenju kvaliteta i brzine odlučivanja i u povećanju pouzdanosti kvaliteta usluge. Rezultat njihove primene ogleda se u skraćanju zastoja zbog održavanja, smanjenju utroška različitih resursa (posebno kroz smanjenje zaliha r/d, transportne i druge opreme) i povećanju pouzdanosti TS.

U smislu trendova usavršavanja organizacije jasno je da će ključni element uspeha biti adekvatan mehanizam koordinacije, odnosno adekvatna organizaciona struktura, pravila i procedure, jer će ključni problemi biti posledice decentralizacije [5, 6, 7, 8].

Drugi element uspeha jeste usmerenost na korisnike usluga. Za SOd su posebno važni mehanizmi integracije sa osnovnom funkcijom sistema – korisnicima (radi poboljšanja u sferi planiranja, kvaliteta usluga održavanja⁴ i smanjenja neplanskih zastoja) i sa institucijama koje se bave razvojem, proizvodnjom, modifikacijama i nabavkom TS. Potrebno je pronaći i adekvatne mehanizme integracije sa spoljnim, specijalizovanim, uslužnim organizacijama održavanja, jer kao konstanta postoji opšta težnja ka prenošenju dela specifičnih poslova održavanja na spoljne saradnike [9].

Jedan od ključnih mehanizama prevazilaženja problema nastalih decentralizacijom i potrebom da se zadovolje specifični zahtevi okruženja, nalazi se u integraciji delova sistema prema procesima,⁵ naravno uz eliminaciju gubitaka u njima, i stvaranju adekvatne funkcionalne organizacione strukture (danas su to matična, projektna ili višelinijaska funkcionalna struktura). Ključni faktor bilo kakve integracije jeste adekvatan informacioni sistem. Sama primena savremene informacione tehnologije bez odgovarajuće reorganizacije neće omogućiti postizanje većih efekata na ukupnu uspešnost SOd, jer se time ne ostvaruju efekti na procesnu brzinu prenosa i obrade informacija [10]. To znači da će uspešnija biti ona organizaciona rešenja koja uz integraciju prema procesima omogućavaju povećavanje kvaliteta, pojednostavljenje i ubrzavanje materijalnih i informacionih

tokova u sistemu i između SOd i okoline. Takva rešenja posebno će uticati na izmenu informacionih tokova u SOd, koje će uticati na izmene tokova materijala, radne snage, novca i drugih. Posledice se ogledaju u skraćanju vremena zastoja zbog održavanja, većoj realizaciji radova održavanja i smanjenju veličine potrebnih resursa, odnosno smanjenju troškova.

Ovde su navedeni samo neki od relevantnih faktora, uz veoma kratak opis načina i mehanizama njihovog ukupnog uticaja. Međutim, pored načina i mehanizama ukupnog uticaja faktora, bitna je i kvantifikacija tih uticaja, jer, u krajnjem, od veličine uticaja zavisi da li će se oni uopšte uzimati u obzir. Ilustracije radi, u ovom slučaju ukratko je prikazan uticaj organizacione strukture i informacionog sistema na zavisnost ispravnosti tehničkih sredstava od snabdevenosti rezervnim delovima.

Način kvantifikacije zavisnosti ispravnosti tehničkih sredstava od snabdevenosti rezervnim delovima

Kvantifikovanje i određivanje oblika uticaja pojedinih faktora, kada su u pitanju borbena dejstva, uvek predstavlja problem. Razvoj ili izbor pristupa za kvantifikaciju i određivanje oblika uticaja pojedinih faktora zavisi od cilja i namene zbog čega se i radi kvantifikacija i određivanje oblika uticaja. Na primer, bitna razlika je u tome da li se radi o konkretnom slučaju ili se radi o utvrđivanju opštih oblika. U konkretnom slučaju postoji mnogo manje nepoznanica, pojedini faktori dobijaju svoje konkretne vrednosti, dok je u opštem slučaju, kada se praktično radi o utvrđivanju zakonitosti to znatno složenije. Razvoj ili izbor pristupa

⁴ Vezano za koncept TQM, uvođenje sistema kvaliteta prema standardima ISO 9000, 10000, 14000, standardima o pouzdanosti ljudskog faktora, itd.

⁵ Pod procesima se podrazumeva skup delatnosti od nastanka nekog zahteva–potrebe do njegovog punog zadovoljenja, uz orijentaciju prema korisniku i ukljanjanje svih „barijera“ funkcionisanja.

(odnosno načina, metodologije) u slučaju borbenih dejstava determinisan je ovim specifičnim oblikom funkcionisanja sistema. Ta specifičnost ogleda se u neponovljivosti, ali i u tome da kada su borbeno dejstva u pitanju pravog eksperimenta nema. Vežbama koje se organizuju postižu se uvežbavanja, provere i verifikacija određenih rešenja, ali one ipak predstavljaju samo jednu od mogućih realizacija. Snimanje podataka iz realnog sistema je značajno, ali prvenstveno na nivou tehnologije. Na nivou organizacije ipak se radi, u svakom konkretnom slučaju, o samo jednoj od mogućih realizacija.

Za sada se za rešavanje ovakvih problema najboljom pokazala metoda modelovanja i simulacije, koja omogućava kontrolisanje uslova i vrednosti relevantnih faktora, ali i potreban broj ponavljanja. Upravo zbog toga je, u ovom slučaju, metoda modelovanja i simulacije, uz primenu statističkih metoda i metode komparativne analize, izabrana za rešavanje ovog problema. Postupak rešavanja čine sledeći koraci:

1. Opis i analiza sistema održavanja.
2. Opis i analiza sistema snabdevanja rezervnim delovima.
3. Razvoj modela sistema održavanja i sistema snabdevanja rezervnim delovima.
4. Validizacija modela.
5. Gradnja procesnog modela (razvoj programa za računar).
6. Verifikacija modela.
7. Planiranje eksperimenata.
8. Izvođenje eksperimenata.
9. Statistička obrada podataka dobijenih eksperimentima.
10. Grafički prikaz zavisnosti.
11. Komparativna analiza.
12. Izvođenje zaključaka.
13. Primena.

U ovom radu su, ilustracije radi, prikazane samo neke od faza realizacije ovog načina dobijanja rezultata.

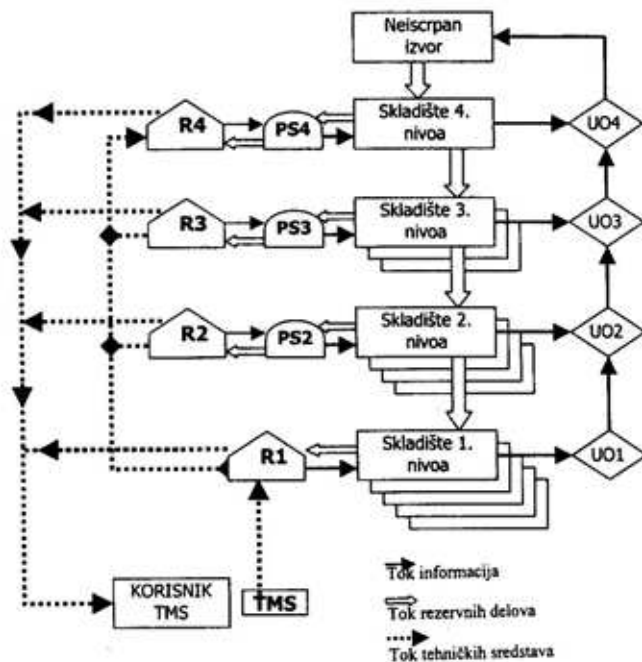
Opis modela

Radi kvantifikovanja uticaja snabdevenosti rezervnim delovima na ispravnost tehničkih sredstava razvijen je model sistema snabdevanja rezervnim delovima i sistema održavanja. Razmatran je četvoronivojski sistem održavanja i varijante četvoronivojskog i tronivojskog sistema snabdevanja rezervnim delovima. U tronivojskom sistemu rezerve trećeg i četvrtog nivoa se spajaju, a treći i četvrti nivo održavanja oslanjaju se na skladište četvrtog nivoa (prema slici 2). Model četvoronivojskog sistema snabdevanja rezervnim delovima prikazan je na slici 1 a model tronivojskog sistema snabdevanja rezervnim delovima na slici 2.

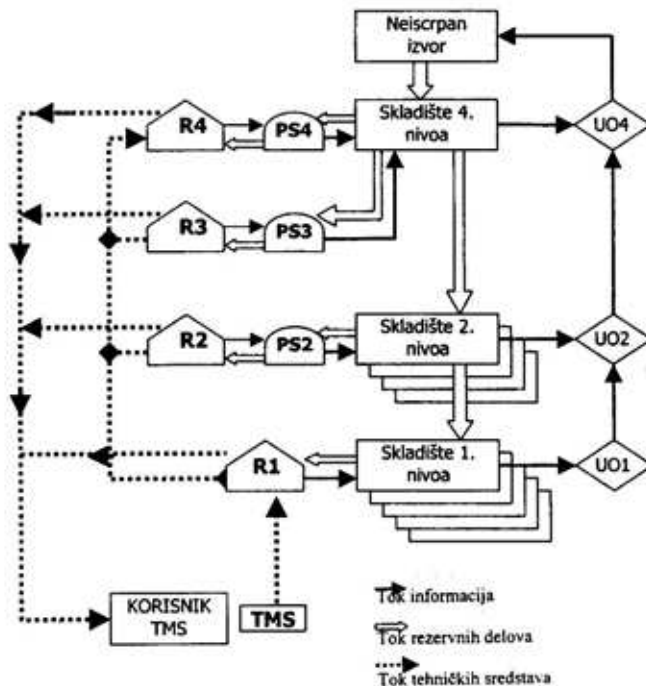
Model četvoronivojskog sistema snabdevanja rezervnim delovima i četvoronivojskog sistema održavanja sastoji se od 89 celina za održavanje i 78 skladišta rezervnih delova i ima isti broj upravnih organa distribuiranih po nivoima i u prostoru. Model tronivojskog sistema snabdevanja rezervnim delovima i četvoronivojskog sistema održavanja ima manji broj skladišta rezervnih delova, zbog spajanja trećeg i četvrtog nivoa. Za dobijanje kvantitativnih pokazatelja korišćena je metoda simulacije.

Eksperimenti na modelu

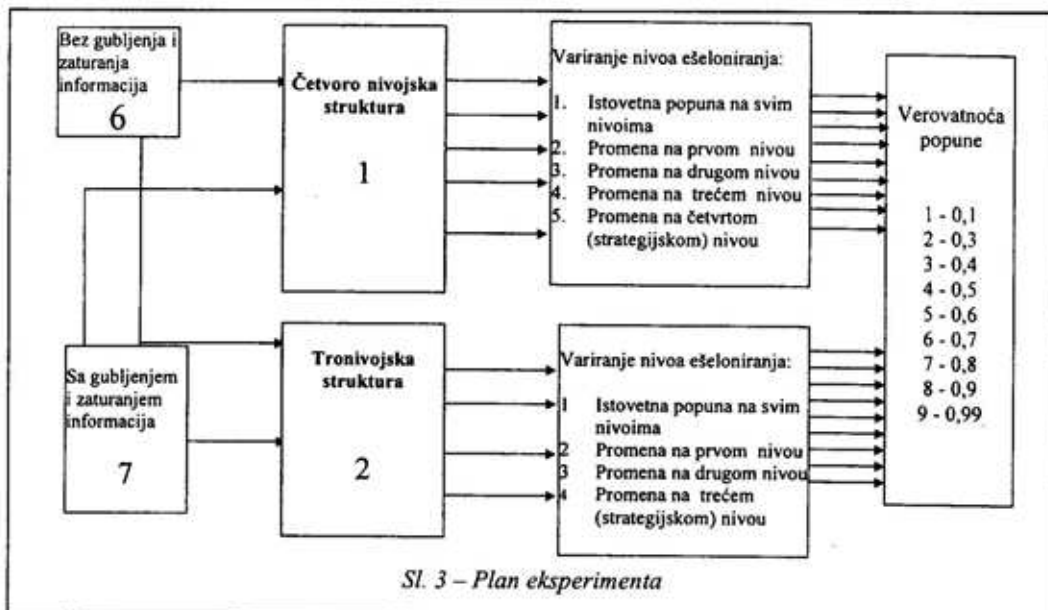
Eksperimenti na modelu organizovani su tako što je vršena simulacija za sve kombinacije varijanti:



Sl. 1 – Model četvoronivojskog sistema snabdevanja rezervnim delovima četvoronivojskog sistema održavanja:
 R1, 2, 3, 4 – kapaciteti za održavanje; PS – priručna skladišta;
 UO – upravni organi



Sl. 2 – Model tronivojskog sistema snabdevanja rezervnim delovima četvoronivojskog sistema održavanja:
 R1, 2, 3, 4 – kapaciteti za održavanje;
 PS – priručna skladišta;
 UO – upravni organi



a) Informacioni sistem (u trocifrenoj šifri⁶ na slikama u ANALIZI REZULTATA prvo mesto):

- bez zaturanja i gubljenja informacija (broj 6),
- sa zaturanjem i gubljenjem informacija (broj 7).

b) Organizaciona struktura (u trocifrenoj šifri na slikama u ANALIZI REZULTATA drugo mesto):

- četvoronivojska (broj 1),
- tronivojska (broj 2).

c) Nivoi ešeloniranja (u trocifrenoj šifri na slikama u ANALIZI REZULTATA treće mesto):

- svi nivoi odjednom (broj 1),
- svaki nivo posebno (za četvoronivojsku strukturu broj 2–5, za tronivojsku strukturu 2–4).

d) Variranje snabdevenosti sa verovatnoćama snabdevenosti 0,1; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9 i 0,99.

⁶ Svaka simulacija predstavlja jednu realizaciju u okviru eksperimenata. Da bi se mogle razlikovati pojedine realizacije, postavljen je šifarski sistem čiji je jedan deo ovde prikazan.

Eksperiment je organizovan tako što jedna realizacija eksperimenta predstavlja jednu simulaciju za ceo period izvođenja borbenih dejstava za jednu kombinaciju varijanti. Za nju je vršen potreban broj realizacija eksperimenta kako bi se dobio statistički značajan broj rezultata, a obradom rezultata dobijene su srednje vrednosti broja ispravnih tehničkih sredstava. Na primer, jedna varijanta je:

- informacioni sistem: bez zaturanja i gubljenja informacija (broj 6),
- organizaciona struktura: četvoronivojska (broj 1),
- nivoi ešeloniranja: drugi nivo snabdevanja (broj 3),
- snabdevenost drugog nivoa: verovatnoća snabdevenosti 0,4.

Šifra eksperimenta je 613-3

Za ovu kombinaciju ponavlja se potreban broj realizacija eksperimenta kako bi se dobio statistički značajan broj.

Za dobijanje zavisnosti ispravnosti tehničkih sredstava od snabdevenosti dru-

gog nivoa ponavlja se eksperiment 613 za vrednosti verovatnoće snabdevenosti 0,1 (613-1); 0,3 (613-2); 0,4 (613-3); 0,5 (613-4); 0,6 (613-5); 0,7 (613-6); 0,8 (613-7); 0,9 (613-8) i 0,99 (613-9). Ostale vrednosti se zadržavaju konstantnim.

Presek vremena u kojem je posmatrana ispravnost tehničkih sredstava je vreme prekida izvođenja borbenih dejstava. Posmatrani presek vremena odgovara samo ovom radu, a inače je u samom eksperimentu moguće praktično izabrati bilo koji, jedan ili više preseka vremena za posmatranje.

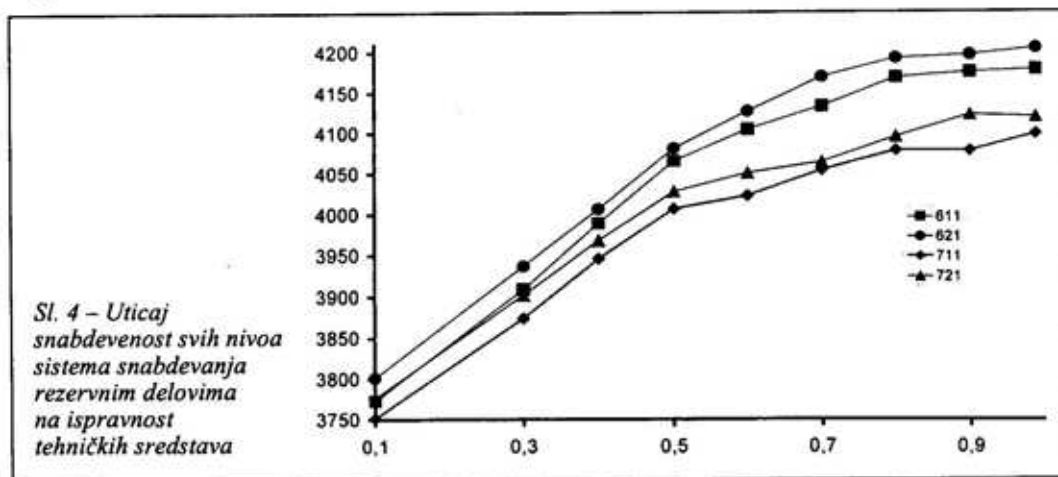
Analiza rezultata

Prikaz svih rezultata dobijenih eksperimentima nije moguć ni u znatno obimnijim radovima. Rezultati obuhvataju praćenje ispravnosti tehničkih sredstava u vremenu intenzivne eksploatacije i jedan period nakon značajnog smanjenja eksploatacije, po vrstama sredstava, grupama sredstava, celinama za održavanje, nivoima, za dva različita informaciona sistema i za dvadesetak različitih organizacionih struktura, za različita

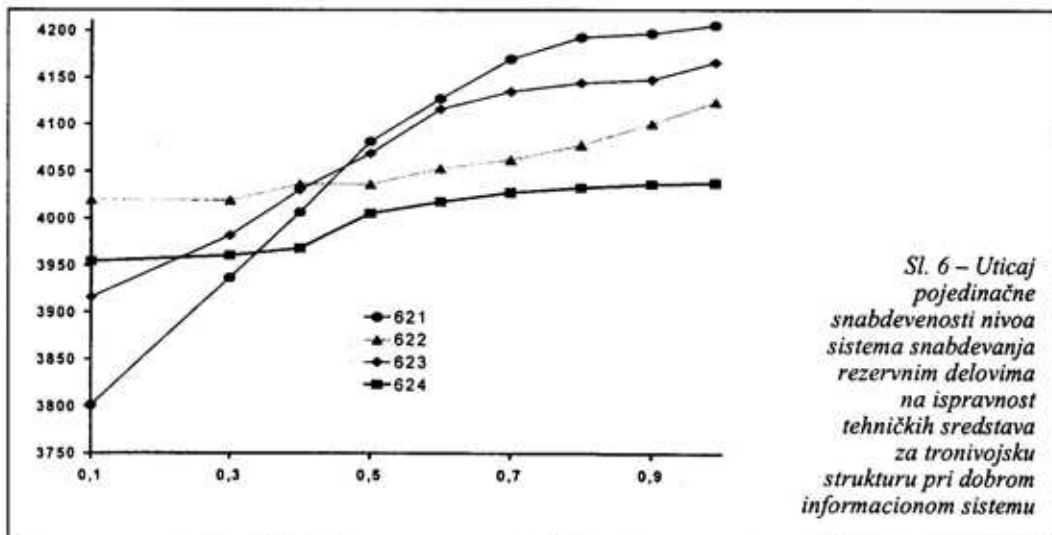
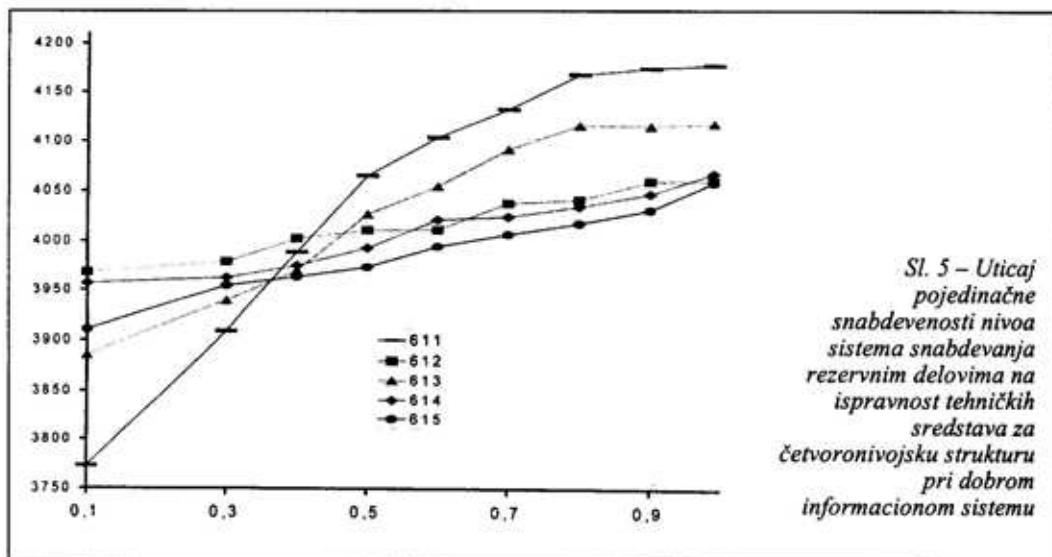
opterećenja sistema održavanja, u različitim presecima vremena u zavisnosti od namene analize. U ovom članku prikazani su rezultati samo kao ilustracija, a za prikazani model navedeno je samo nekoliko osnovnih zaključaka.

Na slikama su prikazani: uticaj istovetne popunjenosti svih nivoa snabdevanja na ispravnost tehničkih sredstava; uticaj pojedinačne snabdevenosti nivoa sistema za četvoronivojsku strukturu pri dobrom informacionom sistemu; uticaj pojedinačne snabdevenosti nivoa sistema za tronivojsku strukturu pri dobrom informacionom sistemu i uticaj snabdevenosti drugog nivoa sistema snabdevanja rezervnim delovima na ispravnost tehničkih sredstava. Osnovni zaključci su:

- kao najbolja pokazala se tronivojska struktura sa dobrim informacionim sistemom;
- tronivojska struktura se u obe varijante pokazuje boljom od četvoronivojske;
- veći uticaj ima informacioni sistem nego organizaciona struktura, mada se ova konstatacija mora shvatiti uslovno, jer tronivojska struktura omogućava bolji informacioni sistem;



Sl. 4 - Uticaj snabdevenost svih nivoa sistema snabdevanja rezervnim delovima na ispravnost tehničkih sredstava



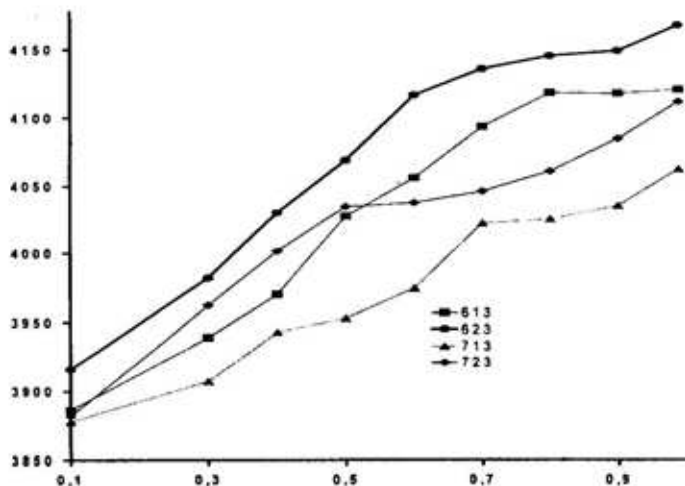
– uticaj organizacione strukture i informacionog sistema je manji pri niskoj snabdevenosti rezervnim delovima;

– pokazuje se da je informacioni sistem veoma značajan, mada se može očekivati da bi pravi značaj bio izražen kad bi se posmatrao posredan uticaj.

Na slikama 5 i 6 prikazan je uticaj pojedinačne snabdevenosti nivoa sistema snabdevanja rezervnim delovima na is-

pravnost tehničkih sredstava za trionivojsku i četvoronivojsku strukturu pri dobrom informacionom sistemu. Osnovni zaključak je da najveći uticaj ima drugi nivo i u jednom i u drugom slučaju, a to je i opšti zaključak, što se i očekivalo. Činjenica da ovaj nivo obuhvata relativno veliki obim radova, koji relativno kratko traju i odvijaju se na maloj udaljenosti ili na samom mestu nastanka otk-

Sl. 7 – Uticaj snabdevenosti drugog nivoa sistema snabdevanja rezervnim delovima na ispravnost tehničkih sredstava



za, unapred je ukazivalo na to da uticaj ovog nivoa uglavnom zavisi samo od raspoloživih resursa i rezervnih delova.

Zaključak

Zavisnost ispravnosti tehničkih sredstava od snabdevenosti rezervnim delovima kompletnog sistema i svakog nivoa posebno menja se (na makroplanu) u zavisnosti od uticaja različitih faktora. Promena zavisnosti može da se ogleda u promeni relativnog odnosa uticaja ili apsolutnog iznosa ispravnosti tehničkih sredstava. Poznavanje te zavisnosti omogućava da se takva zakonitost koristi pri operativnom upravljanju sistemom snabdevanja rezervnim delovima i pri projektovanju i reprojektovanju sistema snabdevanja rezervnim delovima i sistema održavanja.

Analiza uticaja i određivanje zavisnosti veoma su kompleksni, jer se odnose na zavisnost ispravnosti tehničkih sredstava od snabdevenosti rezervnim delovima pri uticaju različitih faktora od snabdevenosti celokupnog sistema snabdeva-

nja rezervnim delovima, analizu učešća snabdevenosti pojedinih nivoa u celokupnom uticaju, posmatranje neposrednog i posrednog uticaja, za sva tehnička sredstva, ali i za tehnička sredstva po vrstama. Različite vrste tehničkih sredstava imaju, u krajnjem, različite načine i različitu organizaciju održavanja. Značajno je, takođe, koji se period posmatra – da li period izvođenja borbenih dejstava, period početka borbenih dejstava, period nakon borbenih dejstava, da li se radi o ratu, kriznoj situaciji ili miru, itd. Zbog toga je značajno odrediti način da se zavisnosti i uticaji kvantifikuju.

Sagledavanje oblika i kvantifikovanje uticaja snabdevenosti nivoa snabdevanja rezervnim delovima na ispravnost tehničkih sredstava u višenivojskim sistemima od velikog je značaja i pri projektovanju sistema i pri operativnom upravljanju sistemom. Na primer, jasno je i iz analize da pri određivanju nivoa snabdevenosti drugi nivo mora imati veoma visoku popunu rezervnim delovima, a da pri operativnom upravljanju treba

voditi računa da tom nivou snabdevenost rezervnim delovima treba održavati na projektovanom nivou. Razlog je jednostavan – taj nivo ima najveći uticaj. Drugi nivo, što se tiče održavanja, obuhvata relativno obimne radove koji kratko traju, a odvijaju se na maloj udaljenosti od mesta nastanka otkaza ili na samom mestu nastanka otkaza. Uticaj ovog nivoa, uglavnom, zavisi samo od raspoloživih resursa i rezervnih delova. Sve to omogućava brzo vraćanje tehničkih sredstava u ispravno stanje i njihovo ponovno stavljanje jedinici na raspolaganje. Prvi nivo veoma brzo vraća tehnička sredstva u ispravno stanje, ali je veoma mali obim radova održavanja koji obavlja, dok treći i četvrti nivo imaju veoma obimne radove, ali oni dugo traju i velika su logistička vremena, pa je njihov uticaj znatno manji. Ipak, neophodno je još jednom naglasiti da se ovaj primer odnosi na njihov direktan uticaj i na period intenzivne eksploatacije, i da se analiza i zaključci odnose na direktan uticaj i samo na period izvođenja borbenih dejstava. Među

tim, bitno je istaći da se ovakav postupak može primeniti i za druge periode. Može se očekivati da se rezultati razlikuju u nekoj meri, ali analiza i izvođenje zaključaka se sprovode na isti način.

Literatura:

- [1] Vukadinović, S.: Elementi teorije verovatnoće i matematičke statistike, Privredni pregled, Beograd, 1981.
- [2] Vukadinović, S.; Popović, J.; Teodorović, D.: Zbirka rešenih zadataka iz matematičke statistike, Saobraćajni fakultet, Beograd, 1981.
- [3] Programski paket za simulaciju održavanja i snabdevanja rezervnim delovima, Katedra TOB, VTA VJ, Beograd, 2002.
- [4] Grothus, H.: Planiranje troškova održavanja, OMO, Beograd, 1977.
- [5] Evans, G. N.; Towill, D. R.; Naim, M. M.: Business process reengineering the supply chain, Production planning & control, vol. 6., No. 3, 1995, 227–237.
- [6] Hammer, M.; Champy, J.: Reengineering The Corporation: A Manifesto for Business Revolution, Nicholas Brealey publishing, London, 1993.
- [7] Burlat, P.; Campagne, J. P.; Neubert, G.: Modeling organizational structure: a new challenge for simulation, EURO-SIM '98, Simulation Congress, Helsinki, 1998.
- [8] Crostach, H. A.; Becker, M.; Sall, M.: Process Networks engineering: control-loopbased modeling of decentralized factories, EUROSIM '98, Simulation Congress, Helsinki, 1998.
- [9] Salvendy, G.: Handbook of Industrial Engineering, A. Wiley-Interscience Publication, 1982.
- [10] Evans, G. N.; Towill, D. R.; Naim, M. M.: Business process reengineering the supply chain, Production planning & control, vol. 6., No. 3, 1995, 227–237.