

ANALIZA EFIKASNOSTI MOGUĆIH MODELA OPSLUŽIVANJA NA PUMPNIM STANICAMA PRIMENOM TEORIJE MASOVNOG OPSLUŽIVANJA

Ilić M. *Slaviša*, Vojska Srbije,
Komanda za obuku, Odeljenje za logistiku, Beograd,
Andrejić D. *Marko*, Univerzitet odbrane, Vojna akademija,
Katedra logistike, Beograd

OBLAST: matematika (operaciona istraživanja)

Rezime:

U radu je izvršena analiza efikasnosti mogućih modela opsluživanja na pumpnim stanicama, primenom matematičkog modela teorije masovnog opsluživanja. Na osnovu stvarnih prikupljenih podataka i statističke analize očekivanog intenziteta dolazaka i opsluživanja vozila na pumpnim stanicama, izvršeno je matematičko modelovanje realnih procesa opsluživanja i kvantifikovanje određenih parametara, u smislu sagledavanja slabosti postojećih modela i prednosti mogućih automatizovanih modela opsluživanja.

Key words: optimizacija, teorija masovnog opsluživanja, pumpna stanica, racionalizacija, automatizacija.

Uvod

Razvoj nauke, tehnike, ekonomije i vojnih nauka uslovljava projektovanje složenih sistema i primenu automatizacije u svim oblastima ljudske delatnosti. Život u savremenom industrijskom društvu praćen je stalnim rastom industrijske proizvodnje, stanovništva i potrošnje i podrazumeva svakodnevno čekanje u redu da bi se obavila neka aktivnost ili primila usluga, što je dovelo do formiranja teorije masovnog opsluživanja.

Jedan od aktuelnih logističkih problema u Vojski Srbije, gde je moguća primena matematičkog modelovanja teorije masovnog opsluživanja, jeste optimizacija postojećeg sistema opsluživanja vojnih motornih vozila i drugih potrošača sa pogonskim gorivom (u daljem tekstu: gorivo) na pumpnim stanicama (u daljem tekstu: PSt).

Optimizacija ovog sistema masovnog opsluživanja (gorivom na PSt), sa aspekta njegove efektivnosti i ekonomičnosti, a uz upotrebu savremenih tehnika, metoda, softvera i opreme [1], trebalo bi da se odvija po sledećem:

- efikasnije opsluživanje vojnih m/v i dobijanje pouzdanih podataka o parametrima stanja i izdavanja goriva;
- smanjenje broja aktivnih PSt u kasarnama za redovnu popunu vojnih m/v i čuvanje mirnodopskih zaliha goriva, a time i troškova vezanih za njihov rad i tehničko održavanje opreme na PSt;
- smanjenje broja angažovanih lica na manipulaciji, opsluživanju i održavanju pogonske opreme;
- smanjenje potrošnje goriva prouzrokovanih transportnim, manipulativnim i evaporativnim gubicima;
- distributeri bolje popunjavaju mirnodopske zalihe goriva, po nižoj nabavnoj ceni i nižim ukupnim troškovima;
- centralizovano i automatizovano praćenje stanja i izdavanja goriva po jedinicama, potrošačima i lokacijama, uz primenu kvalitetnog informacionog sistema [2] računarskih sistema za upravljanje i nadzor.

Osnovni pojmovi teorije masovnog opsluživanja

Teorija masovnog opsluživanja je deo teorije verovatnoće koja koristi njene modele i matematički aparat, radi rešavanja mnogih praktičnih zadataka gde se opslužuje veliki broj klijenata. Bavi se analizom pojava, sa zadatkom da omogući projektovanje sistema i upravljanje istim, na način koji daje najbolje efekte sa stanovišta kriterijuma optimizacije [3].

Značaj teorije masovnog opsluživanja leži u mogućnosti da se izvrši matematičko modelovanje realnih procesa opsluživanja i kvantifikovanje određenih parametara procesa, kao što su: brzina opsluživanja, vreme čekanja u redu na opsluživanje, dužina reda, broj mesta na kojima se opslužuje, vreme opsluživanja... Takvi modeli omogućavaju analizu procesa opsluživanja i rešavanje organizacionih pitanja opsluživanja, u smislu poboljšanja navedenih parametara bitnih za rad sistema koji vrši opsluživanje i optimizaciju rada sistema. Primena ovih modela na rešavanje problema u praksi donosi veliku korist društvu: pozitivni ekonomski efekti, povećanje pouzdanosti izvršenja zadataka i organizacije opsluživanja, predviđanje ponašanja sistema u različitim situacijama ...

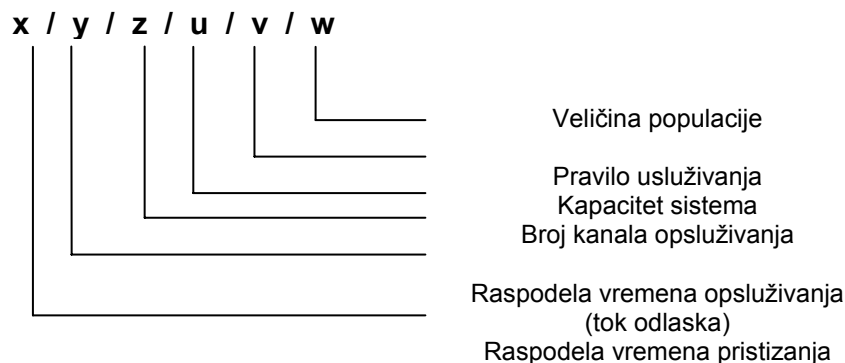
Sistem masovnog opsluživanja ili *Sistem sa redovima čekanja* obuhvata ulazni potok korisnika (klijenata) i kanale opsluživanja. Pod analizom sistema masovnog opsluživanja podrazumeva se analiza ulaznog potoka ko-

risnika, vremena čekanja korisnika u redu, vremena opsluživanja i izlaznog potoka korisnika. Većina sistema masovnog opsluživanja može se predstaviti šemom koja je prikazana na slici 1. Najčešće u sistem opsluživanja pristupa po jedan korisnik. U takvim slučajevima potok klijenata je *ordinaran*. Ako u sistem pristupa više korisnika odjednom, potok je *neordinaran*.

Osnovni tipovi sistema masovnog opsluživanja, a u zavisnosti od ponašanja korisnika pri nailasku na zauzete kanale opsluživanja, jesu:

- sistemi sa čekanjem korisnika u redu,
- sistemi sa otkazima korisnika od opsluživanja i
- kombinovani sistemi.

Raznovrsnost sistema masovnog opsluživanja zahteva efikasan način klasifikacije i obeležavanja sistema. U najčešćoj upotrebi je Kendall-Lijeva notacija (D. G. Kendall – A. M. Lee). Označavanje sistema masovnog opsluživanja u ovoj notaciji sastoji se od šest obeležja (znakova). Prva tri znaka uveo je Kendal 1953, a sledeća tri Li 1966. godine) [4].



Slika 1 – Označavanje sistema masovnog opsluživanja po Kendall-Lee notaciji
 Figure 1 – Large-scale queuing system representation by the Kendall-Lee notation

Znak *x* definiše tip raspodele vremena pristizanja korisnika u sistem za opsluživanje, a oznaka *y* tip raspodele dužine vremena (trajanja) opsluživanja korisnika u sistemu za opsluživanje. Za ova dva znaka u upotrebi su sledeće oznake:

- *M* – Puasonov tok ili eksponencijalna raspodela;
- *Ek* – Erlangov tok ili gama raspodela;
- *D* – deterministički tok;
- *G* – opšti (bilo koji) tok.

Znak *z* označava broj kanala opsluživanja u sistemu i on je ceo broj. Znak *u* obeležava kapacitet sistema usluživanja, odnosno ukupan broj korisnika koji mogu stati u sistem. Kapacitet sistema predstavlja zbir korisnika koji čekaju opsluživanje i korisnika koji se opslužuju.

Pravilo (disciplina) usluživanja obeležava se znakom v i određuje redosled opsluživanja korisnika koji ulaze u sistem. U upotrebi su sledeće oznake:

- *SIRO (Stochastic In Random Out)* – slučajan izbor korisnika iz reda;
- *FIFO (First In First Out)* – redosled opsluživanja određen je redosledom pristizanja, po pravilu „prvi prispeli – prvi opslužen“;
- *LIFO (Last In First Out)* – najpre se uslužuju korisnici koji su poslednji prispeli u red, po pravilu „poslednji prispeo – prvi opslužen“;
- *PRI (Prioritu)* – redosled usluživanja određen na osnovu prioriteta.

Poslednja oznaka w obeležava veličinu populacije korisnika i predstavlja ceo broj. Ako vreme između dva dolaska korisnika ne zavisi od toga koliko se klijenata već nalazi u sistemu (čeka u redu i na opsluživanju), onda se usvaja stav da je veličina izvorne populacije korisnika neograničena. Često se pri označavanju sistema masovnog opsluživanja izostavljaju poslednje tri oznake (y , v , w) ili neke od njih. U tim slučajevima smatra se (respektivno): da je kapacitet sistema neograničen, da je disciplina opsluživanja tipa *FIFO* i da je izvorna populacija neograničena.

Uz svu raznolikost objekata, zahteva za opsluživanjem i načina zadovoljavanja zahteva za opsluživanjem, postoje određeni pojmovi i karakteristike koje su zajedničke za sve vrste ili pojedine grupe sistema masovnog opsluživanja. Pre nego što pristupimo njihovom razmatranju, definišaćemo osnovne pojmove i oznake koje se koriste u matematičkom modeliranju. Matematički modeli kojima se analiziraju pojave i procesi u sistemu masovnog opsluživanja [4], koriste sledeće pojmove i oznake:

n – stanje sistema, broj klijenata na usluživanju i u redu čekanja;

$N(t)$ – broj klijenata u sistemu usluživanja u trenutku $t, t \geq 0$;

$P_n(t)$ – verovatnoća da se tačno n klijenata nalazi u sistemu usluživanja u trenutku t pod uslovom da je poznat njihov broj u trenutku $t = 0$;

P_n – verovatnoća da se u ustaljenom režimu u sistemu nalazi n korisnika;

λ – intenzitet dolaska (očekivan broj dolazaka u jedinici vremena);

μ – intenzitet usluživanja (očekivan broj korisnika kojima se završava usluga u jedinici vremena);

s – broj kanala usluživanja (broj mesta usluživanja, broj servera...)

λ_n – intenzitet toka dolazaka novih korisnika kada se u sistemu već nalazi n korisnika (očekivan broj dolazaka u jedinici vremena);

μ_n – intenzitet usluživanja kada se u sistemu već nalazi n korisnika (očekivan broj korisnika kojima se završava usluga u jedinici vremena); ovaj parametar predstavlja kombinovani (srednji) intenzitet usluživanja kojim zauzeti kanali završavaju usluge korisnicima.

L_q – očekivan broj klijenata u sistemu, očekivana dužina reda;

W – vreme koje korisnik provede u sistemu (slučajna veličina, uključuje vreme čekanja u redu i vreme opsluživanja);

$W = E(w)$ – matematički očekivano vreme zadržavanja korisnika u sistemu.

w_q – vreme čekanja u redu za jednog korisnika (ne uzima u obzir vreme usluživanja);

$P\{A\}$ – verovatnoća događaja A i

$P\{A/B\}$ – verovatnoća događaja A pod uslovom da se desio događaj B .

U realnim slučajevima, proces pristupanja korisnika je retko stacionaran. Proces je moguće posmatrati u dovoljno malim intervalima u kojima je on stacionaran. U tom slučaju, za svaki odsečak izračunavamo srednji intenzitet potoka λ koji se može razlikovati za pojedine odsečke, dok se sama priroda procesa ne menja.

Najčešći potoci događaja koji se efikasno koriste (pretpostavljaju) za rešavanje praktičnih zadataka TMO su **Prosti stacionarni Puasonovi potoci** događaja, jer poseduju sledeće osobine:

- ordinarnost,
- odsustvo posledica (pojava jednog događaja ne povlači za sobom pojavu drugih, nezavisni događaji) i
- stacionarnost.

Kada je intenzitet dolaska λ konstantan ili kada se može izračunati srednji intenzitet dolaska λ_{sr} , primenjuje se formula koja povezuje očekivan broj klijenata sistemu (u redu i na opsluživanju) L , intenzitet otkaza λ i očekivano zadržavanje korisnika u sistemu (u redu i na opsluživanju) W . U teoriji se ova formula naziva **Litlova formula** (J. D. C. Little dokazao 1961) i ima sledeći oblik:

$$L = \lambda \cdot W \quad (1)$$

Očekivani broj klijenata u sistemu (L) jednak je proizvodu intenziteta dolazaka (λ) i matematički očekivanog zadržavanja klijenata u sistemu ($W = E(w)$).

Analogno ovoj formuli, može se izvesti formula za očekivan broj korisnika u redu (L_q), odnosno, za dužinu reda i očekivano vreme zadržavanja u redu (W_q):

$$L_q = \lambda W_q \quad (2)$$

Pretpostavimo li da je intenzitet usluživanja (μ) konstantan, odnosno da je matematičko očekivanje vremena usluživanja konstanta, onda se očekivano ukupno vreme zadržavanja korisnika u sistemu može izračunati formulom:

$$W = W_q + \frac{1}{\mu} \quad (3)$$

Ove formule daju matematičku vezu četiri značajne veličine TMO:

- broj korisnika u sistemu,
- očekivano zadržavanje korisnika u sistemu,
- broj korisnika u redu i
- očekivano zadržavanje korisnika u redu.

Primena teorije masovnog opsluživanja za vrednovanje i optimizaciju modela

Rešavanje aktuelnog problema u praksi primenom logičnog matematičkog modela operacionih istraživanja, prikazaće se modelovanjem realnih sistema masovnog opsluživanja (u daljem tekstu: SMO) sa gorivom na PSt, po sledećem:

- model broj 1.: postojeći model SMO gorivom na PSt kasarne „General Pavle Jurišić Šturm“ Požarevac;
- model broj 2.: postojeći model SMO gorivom na PSt kasarne „Pantelejš“ Niš;
- model broj 3.: postojeći model SMO gorivom na PSt „Jugopetrol“ broj 5. u Požarevcu, za civilna m/v;
- model broj 4.: mogući model SMO gorivom na automatizovanoj civilnoj PSt, na kojoj se vrši opsluživanje civilnih i vojnih m/v.

Prilikom analize prikazanih SMO, polazi se od pretpostavki da su osnovni parametri (broj pristiglih vozila u jedinici vremena i vreme trajanja između dolazaka dva vozila) pod velikim uticajem faktora slučajnosti, pa možemo da izvršimo određena pojednostavljenja i modeliranje kako bi prikazani problemi bili rešivi matematičkim aparatom teorije masovnog opsluživanja [3, 4].

Opsluživanje vozila na PSt u kasarni „General Pavle Jurišić Šturm“ Požarevac

Statističkom analizom očekivanog intenziteta dolazaka vozila na PSt i opsluživanja vojnih m/v (u praksi se koristi termin izdavanje goriva ili tankiranje vozila – potrošača gorivom) u periodu od 1. januara 2006. do 30. juna 2006, a na osnovu stvarnih statističkih podataka dobijenih iz LIP GiM, koji su prikazani u tabeli br. 1, uz zanemarivanja tankiranja vozila koja su bila u januaru (kao netipično, zbog praznika), dobijeno je da prosečno u toku meseca dolaze 173 m/v na PSt radi popune sa pogonskim sredstvima. Prosečni godišnji utrošak goriva na PSt je 80.000 l dizel-goriva D-2 i 15.000 l motornog benzina MB-95 [5].

Podaci o intenzitetu dolazaka vozila na PSt za tankiranje
Intensity of vehicle arrivals at gas stations

Tabela 1
Table 1

R. b.	Vrsta PgMS	Intenzitet dolazaka vozila-tankiranja na PSt za period od 01. 01. do 30. 06. 2006. god.					
		Januar	Februar	Mart	April	Maj	Jun
1.	Dizel D2	48	90	85	78	101	73
2.	Benzin MB86	10	26	14	17	23	27
3.	Benzin MB95	27	30	46	31	42	41
4.	Maziva	6	26	24	28	34	27
UKUPNO		91	172	169	156	200	168

Ako prosečno u mesecu ima 21 radni dan, znači da se prosečno dnevno na PSt tankira 8,24 m/v. Pošto su retka tankiranja neradnim danom i popodne (samo po odobrenju dežurnog oficira kasarne, tankira dežurni vojnik manipulant), ona se zanemaruju, uzeto je da pumpna stanica radi dnevno 7 sati (smotra od 07.30 do 08.00 časova i pauza za doručak od 10.00 do 10.30 časova), tako da je dobijeno da je na PSt očekivani intenzitet dolazaka vozila od 1,18 vozila na sat ($\lambda = 1,18$ voz/sat). Srednje vreme opsluživanja jednog vozila (izdavanje goriva i ažuriranje propisane dokumentacije) na PSt je 4 minuta ($T_{sr} = 4$ min). Na PSt, na izdavanju goriva rade jedan manipulant (vojnik po ugovoru, VPU) i podoficir koji je rukovalac goriva. U praksi se realizuje jednokanalno opsluživanje ($s = 1$) a red za čekanje m/v nije ograničen ($m = \infty$). Možemo smatrati da ima beskonačno mnogo mesta u redu. Stacionarni režim rada postoji, jer je $\rho < 1$.

ZADATAK:

Na osnovu poznatih podataka o modelu br. 1. kao SMO, potrebno je analizirati SMO i naći njegove osnovne karakteristike, naći iskoristivost PSt (opreme i poslužioca koji rade) i predložiti načine moguće optimizacije, tj. poboljšanja iskoristivosti kapaciteta PSt (manipulanata i pogonske opreme).

REŠENJE:

Ovaj model, označen prema Kendalu $M(\lambda)/M(\mu)/1/\infty$, može se razmatrati kao čist SMO sa čekanjem sa jednim kanalom, gde broj mesta u redu i vreme čekanja u redu nisu ograničeni. Može se razmatrati kao prost Pausonov potok sa stacionarnim (ustaljenim) režimom rada, dolasci vozila na opsluživanje su slučajni tako da važi Eksponencijalna raspodela i prihvaćene matematičke relacije za određivanje osnovnih parametara SMO. Pravilo prihvatanja korisnika iz reda u kanal opsluživanja je „prvi prispeli – prvi opslužen“.

Polazni podaci su:

$s = 1$ – jednokanalni SMO sa čekanjem;

$\lambda_{sr} = 8,24$ vozila/dan = 1,18 vozila/sat – intenzitet toka dolazaka vozila;

$T_{sr} = 4$ minuta – srednje vreme opsluživanja jednog vozila;

$m \rightarrow \infty$ – neograničena dužina reda čekanja;

Na osnovu polaznih podataka SMO, prema formulama iz tabele literature [1], pretpostavljajući stacionarni režim rada, dobijaju se karakteristike sistema date u nastavku.

1. Intenzitet opsluživanja vozila (μ)

$$\mu = \frac{1}{T_{sr}} = \frac{60}{4} = 15 \text{ voz/sat} \quad (4)$$

2. Parametar – faktor opsluživanja (ρ)

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{1,18}{15} = 0,07867 \quad (5)$$

3. Verovatnoće opsluživanja (p)

U slučaju $m \rightarrow \infty$, ($\rho < 1$) verovatnoće opsluživanja imaju sledeće vrednosti:

$$p_{ops} \rightarrow 1, \text{ onda je } p_{otk} = 0, \quad (6)$$

$$p_0 = \frac{1-\rho}{1-\rho^{m+2}} \rightarrow 1-\rho \quad (7)$$

$$p_0 = 1 - 0,07867 = 0,92133 \approx 92,13\%;$$

$$p_n = \rho^n (1 - \rho), \quad n=0, 1, 2, \dots, m+1. \text{ – verovatnoće različitih } n\text{-stanja.} \quad (8)$$

$p_1 = \rho^1(1 - \rho) = 0,07867 \times 0,92133 = 0,07248 = 7,25\%$ – verovatnoća da će biti jedno vozilo na opsluživanju na PSt,

$p_2 = \rho^2(1 - \rho) = 0,07867^2 \times 0,92133 = 0,0057 = 0,57\%$ – verovatnoća da će biti dva vozila na opsluživanju na PSt,

$p_3 = 0,000448582 = 0,045\%$ – verovatnoća da će biti tri vozila na opsluživanju na PSt,

$p_4 = 0,00353\%$ – verovatnoća da će četiri vozila biti na opsluživanju na PSt.

4. Verovatnoća otkaza (neopsluživanja)

$p_{otkaza} = 0$ – verovatnoća otkaza m/v u toku radnog vremena, uz pretpostavku da je manipulant uvek na PSt.

$p_{opsluziv} = 1 - p_{otkaza} = 1 = 100\%$ – verovatnoća opsluživanja predstavlja relativnu propusnu moć SMO, podatak koji nam pokazuje kolika je verovatnoća usluživanja svih pristiglih vm/v na PSt.

5. Apsolutna propusna sposobnost sistema (A) je

$$A = \lambda \cdot p_{opsluz} = 1,18 \text{ voz/sat} \times 1 = 1,18 \text{ voz/sat} \quad (9)$$

6. Očekivani broj vozila u redu (L_q)

$$L_q = \frac{\rho^2}{1 - \rho} = \frac{0,07867^2}{1 - 0,07867} = \frac{0,00619}{0,92133} = 0,00672 \text{ vozila} \quad (10)$$

7. Očekivani broj vozila u SMO (L)

$$L = \frac{\rho}{1 - \rho} = \frac{0,07867}{0,92133} = 0,08539 \text{ vozila} \quad (11)$$

8. Očekivano vreme čekanja u redu (W_q)

$$W_q = \frac{\rho}{\mu - \lambda} = \frac{0,07867}{15 - 1,18} = 0,005692 \text{ sati} = 0,34 \text{ minuta} = 20,5 \text{ sekunde} \quad (12)$$

9. Očekivano vreme zadržavanja vozila u sistemu SMO (W)

$$W = \frac{1}{\mu - \lambda} = \frac{1}{15 - 1,18} = 0,07236 \text{ sata} = 4,34 \text{ minuta} \quad (13)$$

Ako proverimo preko Litlove formule isto dobijamo

$$W = \frac{L}{\lambda} = \frac{0,08539}{1,18} = 0,07236 \text{ sata} = 4,34 \text{ minuta} \quad (14)$$

10. Verovatnoća nezauzetosti Pumpne stanice (p_0)

Verovatnoća nezauzetosti kanala – PSt jednaka je verovatnoći neopsluživanja (nema vozila na PSt)

$p_0 = 0,92133 \approx 92,13\%$ – što predstavlja potpunu neiskorišćenost kapaciteta PSt (opreme i ljudstva);

11. Očekivani broj zauzetih kanala PSt (s_z)

$$s_z = L_{opsl} = \rho \cdot p_{opsl} = 0,07867 \times 1 = \rho = 0,07867 \quad (15)$$

12. Verovatnoća zauzetosti kanala, iskorišćenosti PSt (opreme i ljudstva),

$$p_{zk} = \frac{s_z}{s} = \frac{L_{opsl}}{s} = \frac{0,07867}{1} = 0,07867 = 7,87\% \quad (16)$$

Dobijeni procenat iskorišćenja – zauzetosti PSt sa opsluživanjem vozila, u vrednosti od 7,87%, izuzetno je nizak, nezadovoljavajući. Ako uzmemo u obzir da u praksi na ovoj PSt rade i mogu da se angažuju i dva poslužioaca (rukovaoc podoficir i VPU manipulant), tj. dva kanala za opsluživanje uz isti dolazni potok vozila ($\lambda = 1,18$ voz/sat), dobili bismo još niži, lošiji rezultat iskorišćenja ljudstva – poslužioaca i pumpnih automata na PSt od 1,97 %.

Na osnovu dobijene vrednosti od 7,87 % (daleko niža od 50 %) iskorišćenosti kapaciteta na PSt i nemalih ukupnih troškova za plate angažovanog osoblja (rukovaoca i manipulanta) na prijemu i izdavanju p/s na PSt kao i troškova tehničkog održavanja i baždarenja pumpnih automata i druge opreme na PSt, zaključujemo da je ekonomska opravdanost SMO na postojećem opisanom modelu PSt izuzetno niska, nezadovoljavajuća i da je dalji opstanak i primena ovakvog modela neracionalna.

Optimizacija ovog modela opsluživanja vojnih m/v sa gorivom, odnosno moguća rešenja ovog problema, bila bi sledeća:

- 1) da PSt ne radi osam sati dnevno, tj. puno radno vreme, već da se odredi samo sat dnevno (npr. od 08.00 do 09.00 časova) za realizaciju tankiranja, a da taj posao radi jedno lice, npr. rukovaoc r/d, kao dodatnu dužnost uz svoj redovni posao;
- 2) zbog neracionalnosti i neekonomičnosti ne koristiti PSt u kasarni za popunu potrošača gorivom (*koristiti samo kao smeštajni prostor za čuvanje goriva u trupnim ratnim rezervama*), već njihovu popunu vršiti na određenoj civilnoj „Jugopetrolovoj“ PSt u gradu, s obzirom na to da i ovako kupujemo – snabdevamo se sa gorivom koje nam prodaje i distribuiraju „Jugopetrol“ (obradićemo kao poseban SMO, model br. 4).

Opsluživanje vozila na PSt u kasarni „Pantelej“ Niš

Statističkom analizom očekivanog intenziteta dolazaka vozila na PSt i opsluživanja vojnih m/v u periodu od 1. januara 2008. do 30. maja 2008, a na osnovu stvarnih podataka dobijenih iz LIP GiM, dobijeno je da prosečno u toku meseca dolaze 474 m/v na PSt kasarne „Pantelej“ (prolazna PSt u garnizonu) radi popune sa pogonskim sredstvima. Godišnji utrošak goriva na PSt je 300.000 L dizel-goriva D-2 i 50.000 L motornog benzina MB-95.

Ako prosečno u mesecu ima 21 radni dan, znači da se prosečno dnevno na PSt tankira 22,57 m/v. S obzirom na to da je PSt prolazna za garnizon Niš, tankira se u dve smene (radno vreme PSt: od 07.00 do 11.00 časova i od 15.00 do 19.00 časova), pumpna stanica radi dnevno osam sati, tako da je dobijeno da je na PSt očekivani intenzitet dolazaka vozila od 2,82 vozila na sat ($\lambda = 2,82$ voz/sat). Srednje vreme opsluživanja jednog vozila (izdavanje goriva i ažuriranje propisane dokumentacije) na PSt je 4 minuta ($T_{sr} = 4$ min). Na PSt, na izdavanju goriva radi u obe smene po jedan manipulanta (ukupno dva vojnika po ugovoru, VPU) i podoficir koji je rukovalac goriva. U praksi se realizuje jednokanalno opsluživanje ($s = 1$), a red za čekanje m/v nije ograničen ($m = \infty$). Možemo smatrati da ima beskonačno mnogo mesta u redu. Stacionarni režim ra-
da postoji, jer je $\rho < 1$.

ZADATAK:

Na osnovu poznatih podataka o modelu br. 2. kao SMO, potrebno je analizirati ovaj SMO i naći njegove osnovne karakteristike, naći iskoristivost PSt (opreme i poslužilaca koji rade) i predložiti načine moguće optimizacije, tj. poboljšanja iskoristivosti kapaciteta PSt (manipulanata i pogonske opreme).

REŠENJE:

Ovaj model, označen prema Kendalu $M(\lambda)/M(\mu)/1/\infty$ kao i prethodni model, može se razmatrati kao SMO sa čekanjem sa jednim kanalom, gde broj mesta u redu i vreme čekanja u redu nisu ograničeni. Može se razmatrati kao prost Pausonov potok sa stacionarnim (ustaljenim) režimom rada, dolasci vozila na opsluživanje su slučajni tako da važi Eksponencijalna raspodela i prihvaćene matematičke relacije za određivanje

osnovnih parametara SMO. Pravilo prihvatanja korisnika iz reda u kanal opsluživanja je „prvi prispeli – prvi opslužen“.

Polazni podaci su:

$s = 1$ – jednocanalni SMO sa čekanjem;

$\lambda_{sr} = 2,82$ voz/sat – intenzitet toka dolazaka vozila;

$T_{sr} = 4$ minuta – srednje vreme opsluživanja jednog vozila;

$m \rightarrow \infty$ – neograničena dužina reda čekanja;

Na osnovu polaznih podataka SMO, prema formulama iz tabele literature [1], pretpostavljajući stacionarni režim rada, dobijaju se karakteristike sistema, analogno matematičkom modelu datom za prethodni model SMO, tako da proračun nije prikazan u nastavku, već su rezultati za model 2. prikazani u tabeli 2.

Verovatnoća zauzetosti kanala, iskorišćenosti PSt (opreme i ljudstva),

$$p_{zk} = \frac{s_z}{s} = \frac{L_{opsl}}{s} = \frac{0,1881}{1} = 0,1881 = 18,81\% \quad (17)$$

Dobijeni procenat iskorišćenja – zauzetosti PSt sa opsluživanjem vozila u vrednosti od 18,81% je nizak, ali s obzirom na to da je 2,4 puta veći nego u modelu br. 1. i da se na PSt opslužuju borbena vozila (guseničari), predmetna PSt je perspektivna za dalju upotrebu. Troškovi tehničkog održavanja za ovaj model su načelno isti kao i za prethodni model, troškovi za plate su veći za jednog zaposlenog manipulantu.

Optimizacija ovog modela opsluživanja vojnih m/v gorivom, odnosno moguća rešenja ovog problema, bila bi sledeća:

- 1) modernizacija pumpne stanice (zamena starih pumpnih automata sa savremenim, uvođenje automatizacije izdavanja i praćenja stanja);
- 2) povećanje iskorišćenja kapaciteta PSt, oslanjanjem više jedinica (veći broj korisnika za opsluživanje).

Tabela 2
Modeli sistema masovnog opsluživanja (SMO) na pumpnim stanicama za popunu vozila gorivom
Table 2

Models of large-scale queuing systems for fuel filling at gas stations

Modeli SMO na pumpnim stanicama za popunu vozila gorivom

- 1) Model br. 1.: M/M/1/FIFO/∞. PSt u kasarni "G.P. Jurišić Šturm" Požarevac
 2) Model br. 2.: M/M/1/FIFO/∞. PSt u kasarni "Pantelej" Niš
 3) Model br. 3.: M/M/2/FIFO/5 PSt "Jugopetrol" Požarevac (za civilna vozila)
 4) Model br. 3: M/M/2/FIFO/5 PSt "Jugopetrol" Požarevac (za civilna i vojna motorna vozila, gde je izvršena automatizacija)

Poznati parametri SMO	model br. 1.	model br. 2.	model br. 3.	model br. 4.
Broj kanala, s	1	1	2	2
Intenzitet toka dolazaka vozila, λ (voz/sat)	1,18	2,82	22	23,25
Očekivano vreme opsluživanja jednog vozila, t_{sr} (min)	4	4	2,5	2,5
Dužina reda čekanja, m	бескон.	бескон.	5	5
Dobijeni parametri SMO	model br. 1.	model br. 2.	model br. 3.	model br. 4.
Intenzitet opsluživanja, μ (voz/sat)	15	15	24	24
Faktor opsluživanja 1 kanala, ρ	0,08	0,19	0,92	0,97
Faktor opsluživanja višekanalnog SMO, ρ			0,46	0,48
Očekivani broj zauzetih kanala, S_z	0,08	0,19	0,91	0,96
Verovatnoća neopsluživanja, P_0	0,92	0,81	0,37	0,35
Verovatnoća zauzetosti kanala, P_s	0,07	0,15	0,16	0,16
Očekivani broj vozila u redu, L_g	0,01	0,04	0,23	0,27
Očekivani broj vozila u SMO, L	0,09	0,23	1,14	1,23
Očekivano vreme čekanja u redu, W_q (min)	0,34	0,93	0,62	0,70
Očekivano vreme zadržavanja u SMO, W (min)	4,34	4,93	3,12	3,20
Očekivani procenat nezauzetosti PSt, (%)	92,13	81,20	37,24	34,88
Očekivani procenat iskorišćenosti PSt, (%)	7,87	18,80	45,69	48,23
Godišnji troškovi uštede VS (din)	0	0		1000000
RANG modela po optimalnosti za VS	III	II		I
Verovatnoća opsluživanja, ovisno od broja m/v u SMO, P_n	model br. 1.	model br. 2.	model br. 3.	model br. 4.
p_0	0,92	0,81	0,37	0,35
p_1	0,07	0,15	0,34	0,34
p_2	0,01	0,03	0,16	0,16
p_3	0,00	0,01	0,07	0,08
p_4	0,00	0,00	0,03	0,04
p_5			0,02	0,02
p_6			0,01	0,01
p_7			0,00	0,00
potkaza	0,00	0,00	0,00	0,00

Opsluživanje civilnih vozila na PSt „JUGOPETROL“ u Požarevcu

Na ispitivanj PSt kao modelu broj 3, na dva kanala za opsluživanje potrošača sa gorivom, rade dva poslužioaca ($s=2$) svakog dana u nedelji, u trajanju od 14 sati dnevno (od 06.00 do 20.00 časova), u dve smene. Na prilazu

Ilić, S. i dr., Analiza efikasnosti mogućih modela opsluživanja na pumpnim stanicama primenom teorije masovnog opsluživanja, pp. 93–115

pumpnim automatima PSt može da bude parkirano još pet vozila ($m=5$). Na osnovu praćenja i izjave poslužioaca, ustanovljeno je da prosečni očekivani dolazak vozila na PSt za popunu je 22 vozila/sat, a srednje vreme popune – opsluživanja jednog vozila gorivom je 2,5 minuta. Ako je parkirano pat vozila ispred PSt onda se šesto m/v ne može zaustaviti na parkiralištu PSt u red za čekanje popune, već dobija otkaz i mora produžiti vožnju neopsluženo.

ZADATAK:

Na osnovu poznatih podataka o modelu br. 3. kao SMO potrebno je analizirati ovaj SMO i naći njegove osnovne karakteristike, naći iskoristivost PSt (opreme i poslužioaca koji rade).

REŠENJE:

Ovaj model, označen prema Kendalu $M(\lambda)/M(\mu)/2/5$, može se razmatrati kao mešoviti SMO sa dva kanala, gde je broj mesta u redu sa čekanjem ograničen na pet, gde nailazi prost Pausonov potok korisnika sa stacionarnim (ustaljenim) režimom rada. Dolasci vozila na opsluživanje su slučajna promenljiva tako da važi Eksponencijalna raspodela i prihvaćene su matematičke relacije za određivanje osnovnih parametara SMO. Stacionarni režim rada postoji, jer je $\alpha < 1$. Pravilo prihvatanja korisnika iz reda u kanal opsluživanja je „prvi prispeli – prvi opslužen“.

Polazni podaci su:

$s = 2$ – višekanalni SMO sa čekanjem;

$\lambda = 22$ voz/sat – intenzitet toka dolazaka vozila;

$T_{sr} = 2,5$ min. – srednje vreme opsluživanja jednog vozila;

$m = 5$ – dužina reda čekanja;

Na osnovu polaznih podataka SMO, prema formulama iz tabele literature [3], dobijaju se karakteristike sistema date u nastavku.

1. Intenzitet opsluživanja vozila (μ)

$$\mu = \frac{1}{T_{sr}} = \frac{60}{2,5} = 24 \text{ voz/sat} \quad (18)$$

2. Parametar – faktor opsluživanja po kanalu (ρ)

$$\rho = \frac{\lambda}{\mu} = \frac{22}{24} = 0,91667 \quad (19)$$

$$\alpha = \frac{\rho}{s} = \frac{0,91667}{2} = 0,4583 \text{ – faktor opsluživanja višekanalnog SMO} \quad (20)$$

3. Verovatnoće opsluživanja

Ako je m broj mesta u redu, onda u sistemu može biti od 0 do $s + m + 2$ stanja, zavisno od broja klijenata – vozila na PSt. Verovatnoća opsluživanja ovih događaja u ustaljenom – stacionarnom režimu rada određuju se sledećim relacijama.

$$p_0 = \frac{1}{\sum_{n=0}^s \frac{\rho^n}{n!} + \frac{\rho^s}{s!} \cdot \alpha \cdot \frac{1 - \alpha^m}{1 - \alpha}}, \text{ za } n=0, 1, \dots, s \text{ (} n \text{ je broj vozila na PSt)} \quad (21)$$

$$p_0 = \frac{1}{1 + 0,91667 + \frac{0,91667^2}{2} + \frac{0,91667^2}{2} \cdot 0,45833 \cdot \frac{1 - 0,45833^5}{1 - 0,45833}}$$

$$p_0 = \frac{1}{2,685} = 0,37242 = 37,24\% \text{ – verovatnoća neopsluživanja (ne-}$$

zauzetosti) na PSt, da neće biti nijednog m/v na PSt za tankiranje, neće biti čekanja u redu;

– verovatnoće za stanje X_1 (jedno vozilo na PSt) i X_2 (dva vozila na PSt), do stanja x_s ;

$$p_n = \frac{\rho^n}{n!} \cdot p_0, \text{ za } n=1, 2. \text{ (} s=2), \rho = \frac{\lambda}{\mu}. \quad (22)$$

$$p_1 = 0,91667 \cdot 0,37242 = 0,34139 = 34,14\%$$

$$p_s = p_2$$

$$p_2 = \frac{0,91667^2}{2!} \cdot 0,37242 = 0,15647 = 15,647\%$$

– verovatnoće za stanja od X_3 do X_{2+m} (od stanja x_{s+1} do x_{s+m} vozila, $m = 5$);

$$p_{s+r} = \alpha^r \cdot p_s = \alpha^r \cdot \frac{\rho^s}{s!} p_0, \quad r = 1, 2, \dots, m; \quad \alpha = \frac{\rho}{s} = \frac{\lambda}{s\mu} \quad (22)$$

$$p_3 = 0,4583 \cdot 0,15647 = 0,0717 = 7,17\%, p_4 = 0,03286 = 3,286\%,$$

$$p_5 = 0,01506 = 1,506\%,$$

$$p_6 = 0,0069 = 0,69\%, p_7 = 0,003163 = 0,32\%.$$

4. Verovatnoća otkaza

Verovatnoća otkaza m/v, pod uslovom da su dva m/v na tankiranju i da je svih pet mesta u redu za čekanje zauzeto, nema mesta za čekanje

$$P_{otk} = p_{s+m} = p_7 = 0,003136 = 0,32\%. \quad (23)$$

5. Verovatnoća opsluživanja

$$p_{opsluziv} = 1 - p_{otkaza} = 1 - 0,0032 = 0,9968 = 99,68 \% \quad (24)$$

Verovatnoća opsluživanja ($p_{opsluziv}$) predstavlja **relativnu propusnu moć SMO**, podatak koji nam pokazuje koliko bi vozila bilo usluženo u odnosu na broj vozila koja bi pristigla i želela uslugu.

U ovom primeru pod datim uslovima, znači od ukupnog broja vozila koja budu želela i došla na uslugu, biće uslužena skoro sva vozila – 99,68 %.

6. Apsolutna propusna sposobnost sistema (A) je

$$A = \lambda \cdot p_{opsl} = 22 \text{ voz/sat} \times 0,9968 = 21,93 \text{ voz/sat} \quad (25)$$

7. Očekivani broj vozila u redu (L_q)

$$L_q = p_s \cdot \alpha \cdot \frac{1 - \alpha^m [m(1 - \alpha) + 1]}{(1 - \alpha)^2}, \text{ za } \alpha \neq 1 \quad (26)$$

$$L_q = 0,15647 \cdot 0,45833 \cdot \frac{1 - 0,45833^5 \cdot [5 \cdot (1 - 0,45833) + 1]}{(1 - 0,45833)^2}$$

$$L_q = 0,071714895 \cdot \frac{0,924998}{0,293406} = 0,2261$$

9. Očekivani broj zauzetih kanala (s_z)

$$s_z = \rho \cdot p_{opsl} = 0,91667 \cdot 0,9968 = 0,9137 \text{ vozila} \quad (27)$$

10. Očekivani broj vozila u SMO na PSt (L)

$$L = s_z + L_q = 0,9137 + 0,2261 = 1,14 \text{ vozila} \quad (28)$$

11. Očekivano vreme čekanja na uslugu, koje vozilo provede u redu (W_q)

$$W_q = \frac{L_q}{\lambda} = \frac{0,2261}{22} = 0,010277 \text{ sati} = 0,6166 \text{ minuta} = 37 \text{ sekund} \quad (29)$$

12. Očekivano vreme zadržavanja vozila u sistemu SMO (W)

$$W = W_q + T_{sr} = 0,6166 \text{ min} + 2,5 \text{ min} = 3,1166 \text{ minuta} = 3 \text{ minuta i 7 sekundi} \quad (30)$$

Ako proverimo preko Litlove formule isto dobijamo

$$W = \frac{L}{\lambda} = \frac{1,14}{22} = 0,05182 \text{ sata} = 3,11 \text{ minuta} = 3 \text{ minuta i 7 sekundi} \quad (31)$$

13. Verovatnoća nezauzetosti Pumpne stanice

Verovatnoća nezauzetosti Pumpne stanice u odnosu na ukupno vreme rada jednaka je verovatnoći neopsluživanja (nema vozila na PSt)

$p_0 = 0,37242 \approx 37,24\%$ – što predstavlja slabu iskorišćenost kapaciteta PSt (opreme i ljudstva);

14. Očekivani broj zauzetosti PSt (s_z)

Očekivani broj zauzetosti kanala, tj. očekivani srednji broj vozila na PSt, izračunava se

$$s_z = L_{opsl} = \rho \cdot p_{opsl} = 0,91667 \times 0,9968 = 0,9137 \quad (32)$$

15. Verovatnoća zauzetosti kanala, iskorišćenosti PSt (K_z),

U odnosu na ukupno radno vreme PSt, verovatnoću zauzetosti kanala (PSt, opreme i poslužioca), tj. koeficijent zauzetosti kanala može da se dobije i na sledeći način

$$p_{zk} = \frac{s_z}{s} = \frac{L_{opsl}}{s} = \frac{0,9137}{2} = 0,45685 = 45,685\% = K_z \quad (33)$$

Dobijeni procenat iskorišćenja – zauzetosti PSt sa opsluživanjem vozila, u vrednosti od 46%, znatno je veći nego na vojnim PSt. Zaključujemo da je ekonomičnost i efektivnost SMO na postojećem opisanom modelu PSt mnogo bolja u odnosu na postojeće opisane modele br. 1 i br. 2, ali je i ona nezadovoljavajuća i ima mesta za racionalizaciju i poboljšanje, tj. dodatno angažovanja kapaciteta PSt, ljudi i opreme. Optimizacija ovog modela opsluživanja, poboljšanje iskorišćenja ljudstva – poslužilaca i pumpnih automata na PSt, može ići u dva pravca:

- 1) povećanje intenziteta dolaznog potoka vozila, angažovanjem istih i za popunu vojnih m/v ili pak za davanje i drugih usluga,
- 2) smanjenje broja kanala – poslužilaca u SMO.

Oppluživanje civilnih i vojnih vozila na civilnoj PSt, na kojoj je automatizovano izdavanje i praćenje stanja goriva

Model broj 4. je pretpostavljena civilna, moderna, automatizovana PSt u Požarevcu, sa sledećim karakteristikama:

- dva kanala za opsluživanje potrošača i dva poslužioca ($s=2$);
- opslužuje se svakog dana u nedelji, u trajanju od 14 sati dnevno (od 06.00 do 20.00 časova);
- pretpostavlja se isti prosečni očekivani dolazak civilnih vozila na PSt, kao u modelu broj 3, 22 vozila/sat, i pretpostavlja se intenzitet dolazaka vojnih m/v za popunu na civilnu PSt od 1,25 vozila/sat u toku radnog vremena (od 07.00 do 15.00 časova);

- pretpostavlja se da je srednje vreme popune – opsluživanja jednog vozila sa gorivom i dalje 2,5 minuta;
- na prilazu pumpnim automatima PSt može da bude parkirane još pet vozila ($m=5$);
- ako je parkirano pet vozila ispred pumpe onda se šesto ne može zaustaviti na parkiralištu PSt u red za čekanje popune, već dobija otkaz i mora produžiti vožnju neopsluženo.

ZADATAK:

Na osnovu poznatih podataka o pretpostavljenom modelu br. 4. kao SMO, potrebno je analizirati ovaj SMO i naći njegove osnovne karakteristike, naći iskoristivost pumpne stanice (opreme i poslužilaca koji rade).

REŠENJE:

Ovaj model može se razmatrati kao i prethodni model, SMO sa dva kanala, gde je broj mesta u redu sa čekanjem ograničen na pet, gde nailazi prost Pausonov potok korisnika sa stacionarnim (ustaljenim) režimom rada. Dolasci vozila na opsluživanje su slučajna promenljiva tako da važi Eksponencijalna raspodela i prihvaćene su matematičke relacije za određivanje osnovnih parametara SMO. Stacionarni režim rada postoji, jer je $\alpha < 1$. Pravilo prihvatanja korisnika iz reda u kanal opsluživanja je „prvi prispeli – prvi opslužen“.

Polazni podaci su:

$s = 2$ – višekanalni SMO sa čekanjem;

$\lambda = 23,25$ voz/sat – intenzitet toka dolazaka vozila;

$T_{sr} = 2,5$ min. – srednje vreme opsluživanja jednog vozila;

$m = 5$ – dužina reda čekanja;

Na osnovu polaznih podataka SMO, čija bi Kendalova oznaka bila $M(\lambda)/M(\mu)/2/5$ i formula iz tabele literature [1], dobijaju se karakteristike sistema analogne prethodnom modelu br. 3, tako da proračun nije prikazan u nastavku, već su rezultati za model 4. prikazani u tabeli 2.

Verovatnoća zauzetosti, iskorišćenosti PSt (opreme i ljudstva), tj. koeficijent zauzetosti kanala (K_z), izračunava se

$$p_{zk} = \frac{s_z}{s} = \frac{L_{ops}}{s} = \frac{0,9625}{2} = 0,4813 = 48,13\% = K_z$$

Dobijeni procenat iskorišćenja – zauzetosti PSt sa opsluživanjem vozila, u vrednosti od 48%, veći je u odnosu na prethodni model br. 3. Može se zaključiti da je ekonomičnost i efektivnost SMO na postojećem opisanom modelu PSt bolja u odnosu na postojeća tri modela u praksi, posle automatizacije na PSt. Primenom konkretnog rešenja bila bi znatno poboljšano praćenje kvantitativnog stanja goriva i smanjila se mogućnost nastajanja ljudske greške, obmane i otuđenja.

Analiza modela opsluživanja na pumpnim stanicama primenom teorije masovnog opsluživanja

Analizom efikasnosti opisanih modela PSt, primenom metoda [7] operacionih istraživanja [1], a posebno saznanja teorije masovnog opsluživanja, može se doći do mnogih saznanja koja mogu biti od velike koristi za poboljšanje funkcionisanja realnih sistema, u našem slučaju, usluživanja vojnih m/v sa gorivom na PSt, a s ciljem projektovanja modela u kome je odnos između nivoa efikasnosti i troškova najprihvatljiviji. U tabeli 2. dat je prikaz rezultata automatizovanog proračuna parametara sva četiri analizirana modela SMO, na osnovu poznatih podataka. Uporedni pregled najbitnijih kvantitativnih parametara efikasnosti dat je u tabeli 3.

Tabela 3

Uporedni pregled parametara efikasnosti modela sistema masovnog opsluživanja (SMO) vojnih m/v na pumpnim stanicama

Table 3

Comparison of the parameters of the effectiveness of the described large-scale queuing system models for military vehicles at gas stations

Dobijeni parametri SMO	Model br. 1.	Model br. 2.	Model br. 3.	Model br. 4.
1	2	3	4	5
Očekivano vreme zadržavanja u SMO, W (min)	4,34	4,93	3,12	3,19
Očekivani procenat nezauzetosti PSt, p_0 (%)	92,13	81,19	37,24	34,88
Očekivani procenat iskorišćenosti PSt, p_{zk} (%)	7,87	18,81	45,69	48,13
Godišnji utrošak – izdavanje goriva na PSt	80.000 L D- ₂ 15.000 L MB	300.000 L D- ₂ 50.000 L MB	/	smanjenje potrošnje, izdavanjem samo do ugovorene – odobrene kvote goriva
RANG Modela:	III	II		I

Na osnovu parametara efikasnosti proučavanih modela SMO datih u tabeli 3 i već izloženog može se zaključiti sledeće [3]:

- model br. 1. ima izuzetno nizak procenat iskorišćenja – zauzetosti PSt od 7,87%, pa je dalji opstanak i primena ovakvog modela neracionalna;
- model br. 2. sa procentom iskorišćenja – zauzetosti PSt sa opsluživanjem vozila, u vrednosti od 18,81%, koji je 2,4 puta veći nego u modelu br. 1, a s obzirom na to da se na predmetnoj PSt opslužuju borbena vozila (guseničari), ista je perspektivna za dalju upotrebu;

- model broj 4. predstavljao bi optimalni model opsluživanja vojnih vozila na PSt, s obzirom na sledeće:
 - najveća efikasnost i iskorišćenosti kapaciteta PSt (48,3%);
 - ostvaruju se najveće uštede, zbog manjih troškova (za plate dva zaposlena, trošak za tehničko održavanje opreme, manji transportni troškovi i nema evaporativnog rastura goriva prilikom manipulacije, transporta i skladištenja);
 - tendencija oslonca na civilne kapacitete društva i smanjenje broja zaposlenih u VS.

Zaključak

U sadašnjim restriktivnim uslovima finansiranja i reforme VS, s ciljem pravovremenog obezbeđenja realnih potreba sa gorivom, njenog funkcionisanja i obavljanja namenskih zadataka, uz smanjenje ukupnih troškova, neophodno je uz primenu naučnih metoda projektovati optimalni model masovnog opsluživanja potrošača sa gorivom na PSt. Optimizacija postojećih modela masovnog opsluživanja na PSt, sa aspekta efikasnosti i ekonomičnosti, ogledala bi se u racionalizaciji i modernizaciji postojećih vojnih kapaciteta i većim oslanjanjem na razvijene nacionalne kapacitete.

Osloncem na automatizovane civilne PSt (model broj 4), kao novim budućim konceptom popune vojnih m/v pogonskim gorivom, ostvarili bi se sledeći rezultati:

- pouzdano i efikasnije snabdevanje vojnih m/v sa gorivom na PSt;
- dobijanje tačnih i automatizovanih podataka o parametrima stanja goriva (nivo – zapremina, temperatura, nivo vode) i izdavanju goriva u određenom sektoru – lokaciji, po vozilu i vozaču;
- znatno smanjenje ukupnih troškova u sistemu snabdevanja gorivom u VS, po sledećem:
 - manji troškovi za plate angažovanog osoblja na PSt;
 - smanjenje nepotrebnih distribucija goriva do PSt (utrošak goriva za transport, amortizacija angažovanih vojnih m/v, dnevnice za angažovano ljudstvo);
 - smanjenje godišnje potrošnje goriva do 10% (efekat se ostvaruje zadatim kvotama i limitima točenja goriva, preko kojih automatizovani sistem ne dozvoljava točenje goriva);
 - manji troškovi za tehničko održavanja i baždarenja pogonske opreme vezanih za rad vojnih PSt;
 - manji evaporativni dozvoljeni gubici goriva (isparavanje) prouzrokovani transportnim, manipulativnim i skladišnim rasturom, te mogućim neopravdanim gubicima (ljudska greška, isticanje, otuđenje);

- postojeći smeštajni kapaciteti za gorivo na PSt u kasarnama koristili bi se za smeštaj i čuvanje trupnih RMR uz jedinicu;
- smanjenje potencijalnih opasnosti za životnu sredinu i odgovornosti vezanih za posjedovanje velikog broja PSt (bez upotrebnih dozvola);
- povraćaj novca prodajom viška tehničke opreme sa neiskorišćenih vojnih PSt civilnim strukturama ili izdavanje u zakup;
- neosporivo i efikasno praćenje izdavanja goriva, utroška i realizacije naplaćivanja;
- poboljšanje pozicije pregovaranja o ceni goriva sa „Jugopetrolom“, jer se troškovi distribucije i zadržavanja smanjuju i moguće su kompenzacije – izdati im smeštajni prostor i opremu na korišćenje.

Literatura

[1] Andrejić, M., „Metode i softver za podršku planiranju u logističkim organizacionim sistemima“, *Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier)*, Vol. 49, No. 1, pp 36–52, ISSN 0042–8469, UDC 623+355/359, Beograd, 2001.

[2] Andrejić, M., Milenkov, M, Sokolović, S., „Logistički informacioni sistem“, *Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier)*, Vol. 58, No. 1, pp 33–61, ISSN 0042–8469, UDC 623+355/359, Beograd 2010.

[3] Stojiljković, M., Vukadinović, S.: „Operaciona istraživanja“, Vojnoizdavački zavod, Beograd, 1984.

[4] Nikolić, I., Borović, S.: „Metode i softver za operaciona istraživanja“, CD ROM, FON, Beograd, 2001. g.;

[5] Ilić, S., „Praćenje kvantitativnog stanja mirnodopskih zaliha pogonskih sredstava na pumpnim stanicama“, magistarski rad, VA, Beograd, 2009.

[6] Nikolić, N., „Istraživanje modela i metoda masovnog opsluživanja za primenu u vojnim procesima“, doktorska disertacija, Vojna akademija, Beograd, 2005.

[7] Andrejić, M., Ljubojević, S., „Operaciona istraživanja u funkciji podrške odlučivanju u sistemu odbrane“, *Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier)*, Vol. 57, No. 3, pp 15–28, ISSN 0042–8469, UDC 623+355/359, Beograd 2009.

[8] Andrejić, M., Novaković, S., Majstorović, A., „Planiranje u vojnim organizacionim sistemima“, *Vojnotehnički glasnik (Military Technical Courier)*, Vol. 56, No. 1, pp 13–31, ISSN 0042–8469, UDC 623+355/359, Beograd 2008.

[9] Andrejić, M., „Uvod u logistiku“, udžbenik za osnovne akademske studije, SLJR – Vojna akademija, Beograd, 2010.

ANALYSIS OF EFFECTIVENESS OF POSSIBLE QUEUING MODELS
AT GAS STATIONS USING THE LARGE-SCALE QUEUING THEORY

FIELD: Mathematics (Operations Research)

Summary:

This paper analyzes the effectiveness of possible models for queuing at gas stations, using a mathematical model of the large-scale queuing theory. Based on actual data collected and the statistical analysis of the expected intensity of vehicle arrivals and queuing at gas stations, the mathematical modeling of the real process of queuing was carried out and certain parameters quantified, in terms of perception of the weaknesses of the existing models and the possible benefits of an automated queuing model.

Introduction

One of the current logistic problems in the Army of Serbia where the application of the mathematical modeling of the large-scale queuing theory is possible is the optimization of the existing inefficient and uneconomic systems supplying fuel to military vehicles and other consumers at gas stations.

The basic concepts of the large-scale queuing theory

The theory of large-scale queuing is a part of the probability theory. It uses its models and mathematical tools to solve many practical problems where a large number of clients are served. It deals with the analysis of phenomena with the task to facilitate system design and management, in a way that gives the best effect from the viewpoint of optimization criteria. The importance of the large-scale queuing theory lies in its ability to perform mathematical modeling of real processes of queuing and the quantification of specific process parameters such as service rate, time waiting in the queue to be served, queue length, number of service pools, service time, etc.

Application of the large-scale queuing theory for model evaluation and optimization

Solving a current problem in the practice by using a logical mathematical model of operations research will be shown through the modeling of real large-scale serving systems at gas stations. In the analysis of the presented massive queuing systems, we started from the presumption that the main parameters (the number of incoming vehicles per unit time and the inter-arrival times) are highly influenced by coincidence factors. Therefore, simplification and modeling were applied to facilitate solving the problems by the mathematical method of the large-scale queuing theory.

The analysis of queuing models at gas stations based on the large-scale queuing theory

The analysis of the effectiveness of the given gas station models and the operational research methods, the large-scale queuing theory in particular, can be highly beneficial in improving the functioning of real systems, fuel supply for military vehicles at gas stations in this case, aiming at designing the best cost-effective model. The paper gives a tabular overview of the most important parameters of the effectiveness of the described large-scale queuing system models for military vehicles at gas stations

Conclusion

Given the present restrictive terms of financing and reforming the Serbian Army in order to timely satisfy real needs for fuel supply within the overall Army's functioning while reducing overall costs at the same time, it is necessary to design an optimal model of a large-scale fuel consumer queuing at gas stations. The optimization of the existing models of large-scale queuing systems at gas stations, in terms of effectiveness and economy, would concern the rationalization and modernization of the existing military capacities and greater reliance on national capacities.

Key words: optimisation, large-scale queuing theory, gas station, rationalization, automation

Datum prijema članka: 03. 06. 2010.

Datum dostavljanja ispravki rukopisa: 10. 06. 2010.

Datum konačnog prihvatanja članka za objavljivanje: 11. 06. 2010.