

Dr Boban Đorović,
major, dipl. inž.
Srdan Ljubojević,
poručnik, dipl. inž.
Srdan Đimić,
poručnik, dipl. inž.
Vojna akademija – Odsek logistike,
Beograd

OPTIMIZACIJA REALIZACIJE TRANSPORTNIH PROCESA PRIMENOM RUTING-MODELA

UDC: 355.69 : 519.863

Rezime:

U radu je prikazan pristup optimizaciji realizacije transportnih procesa primenom rutining-modela. Za rešavanje problema optimizacije transporta izložen je algoritam ušteda i njegova modifikovana varijanta, koja uzima u obzir i fiksne troškove transportnih sredstava.

Ključne reči: transportni procesi, troškovi transporta, optimizacija, algoritam, rutining model.

OPTIMIZING TRANSPORTATION PROCESSES USING THE ROUTE MODEL

Summary:

This paper shows an approach to optimizing transportation processes by using the route model. For solving a problem of transportation proces optimization we present a savings algorithm and its modifications, with a special emphasis on fixed costs of transportation means.

Key words: transportation proceses, transportation costs, optimization, algorithm, route model.

Uvod

Transport je logistička funkcija koja omogućava zadovoljenje raznovrsnih zahteva ostalih logističkih funkcija. Značaj transporta, kao integrativne funkcije u sistemu logističke podrške, apostrofirana je i njegovim izdvajanjem u posebnu funkciju sistema. S obzirom na to da transport, kao funkcija, obezbeđuje prevoz ljudstva i materijalnih sredstava radi ispunjenja zahteva i obaveza odgovarajućih elemenata sistema logističke podrške, to i njegovo učešće, sa aspekta logističkih troškova sistema, nije zanemarljivo. U pristupu analizi i značaju transporta u logističkoj podršci, sa bilo kog aspekta i

nivoa, neophodno je sagledati neke od njegovih bitnih elemenata: transportnu mrežu, prevozne kapacitete, transportne troškove i dr.

U upravljanju transportom, kao logističkom funkcijom, potrebno je permanentno rešavati niz kompleksnih problema, među kojima su primarni optimalni izbor vida transporta i optimizacija korišćenja transportnih sredstava. U okviru grupe problema vezanih za optimizaciju korišćenja transportnih sredstava dominantni su problemi izbora optimalnih ruta kretanja transportnih sredstava, optimizacije iskorišćenja kapaciteta transportnih sredstava i minimizacije transportnih troškova [1].

Optimizacija transporta u logističkoj podršci

Optimizacija sistema transporta se, sa aspekta logističkog pristupa upravljanju transportom, prvenstveno ostvaruje optimizacijom transportnih tokova roba i korišćenja transportnih sredstava.

Kada je u pitanju upotreba transportnih sredstava, proces optimizacije svodi se na rešavanje problema koji su zasnovani na osnovnim karakteristikama rutin-problema, tj. problema određivanja optimalne rute (putanje kretanja) transportnih sredstava koja vrše uslugu na transportnoj mreži, u smislu minimizacije pređenog puta, vremena putovanja ili troškova usluge (transporta).

U teoriji i praksi prisutan je veliki broj modela za rešavanje problema ovakve i slične prirode. Prepoznatljiva su dva osnovna pristupa rutingu transportnih sredstava: „ruting-zoniranje“ i „zoniranje-ruting“ [2].

Pristup „ruting-zoniranje“ podrazumeva formiranje jedinstvene rute za celu mrežu i njenu naknadnu podelu na zone, dok se u pristupu „zoniranje-ruting“ najpre transportna mreža izdela na zone, pa se u svakoj zoni posebno projektuju rute transportnih sredstava.

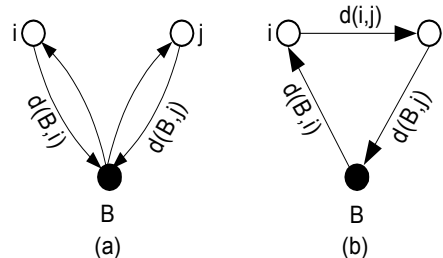
Rute se, u skladu sa raspoloživim vremenom, projektuju upotrebom heurističkih ili egzaktnih algoritama (modela). Heurističkim algoritmima se, relativno brzo, dolazi do „dovoljno dobrih“ (prihvatljivih) rešenja, dok egzaktni modeli daju optimalno rešenje, ali zahtevaju i veće vremenske resurse. To je posebno indikativno u transportnim mrežama sa velikim brojem čvorova (lokacije u kojima se javlja potražnja za uslugom).

Clarke-Wrightov algoritam ušteda

U nizu modela kojima se rešavaju rutin-problemi posebno je interesantan, s obzirom na specifičnost vojnog transporta, tzv. Clarke-Wrightov algoritam „ušteda“.

Osnovna ideja Clarke-Wrightovog algoritma zasnovana je na uštedi u pređenom putu, vremenu putovanja, utrošku goriva, ukupnim transportnim troškovima, koja se ostvaruje pri opsluživanju čvorova transportne mreže različitim putanjama transportnih sredstava. Ako je B (baza) čvor iz kojeg transportno sredstvo polazi i u koji se vraća na kraju opsluživanja, onda bilo koji par čvorova (i,j) to transportno sredstvo može da opsluži na dva načina: da krene iz baze, opsluži čvor i, vrati se u bazu, opsluži čvor j i ponovo se vrati u bazu (slika 1a), ili da krene iz baze, opsluži čvor i, opsluži čvor j i vrati se u bazu (slika 1b).

Veličina $d(i,j)$ predstavlja najkraći put između čvorova i i j ili najmanje vreme transporta od čvora i do čvora j ili najmanju količinu goriva utrošenu na putu od čvora i do čvora j, itd., zavisno od suštine konkretnog problema. U opštem slučaju $d(i,j) \neq d(j,i)$, tako da utrošak goriva na putu od čvora i do čvora j, kada je u pitanju uspon, nije isti kao utrošak goriva pri povratku, na spustu, itd.



Sl. 1 – Izračunavanje „ušteda“

Ako se veličina $d(i,j)$ posmatra kao ukupni trošak od čvora i do čvora j , tada, za slučaj sa slike 1a, ukupni transportni troškovi iznose:

$$T(i,j) = d(B,i) + d(i,B) + d(B,j) + d(j,B) \quad (1)$$

a za slučaj sa slike 1b:

$$T(i,j) = d(B,i) + d(i,j) + d(j,B) \quad (2)$$

Ukupni transportni troškovi su u drugom slučaju manji za veličinu:

$$T'(i,j) = d(i,B) + d(B,j) - d(i,j) \quad (3)$$

Zaključak je da, što je ušteda $T'(i,j)$ veća, to je ekonomičnije čvorove i i j spojiti u jednu rutu. Pri tome je ograničavajući faktor kapacitet transportnog sredstva. Naime, da bi se čvorovi i i j spojili u jednu rutu, kapacitet transportnog sredstva mora biti veći od ukupnih zahteva za opslugu, koji se javljaju u ova dva čvora.

Clarke-Wrightov algoritam „ušteda“ za projektovanje ruta transportnih sredstava sastoji se od sledećih algoritamskih koraka [2]:

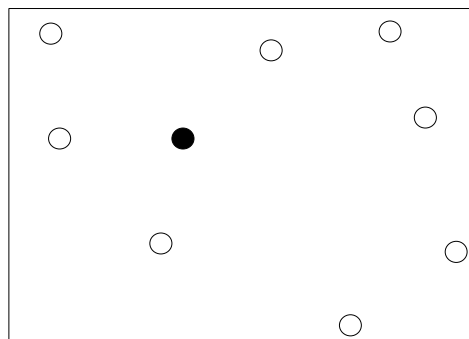
Korak 1: izračunati uštede $T(i,j) = d(B,i) + d(B,j) - d(i,j)$, za svaki par (i,j) čvorova koji treba opslužiti.

Korak 2: izvršiti rangiranje svih ušteda i poredati ih po veličini. Napraviti listu ušteda koja započinje najvećom uštedom.

Korak 3: pri razmatranju uštede $T(i,j)$ odgovarajuću granu (i,j) uključiti u delimičnu rutu ako se pri tome ne krše operativna ograničenja i:

a) ukoliko ni čvor i ni čvor j nisu bili uključeni ni u jednu delimičnu rutu;

b) ukoliko je jedan od čvorova i ili j već uključen u neku postojeću delimičnu rutu, i ako taj čvor nije unutrašnji čvor u rutu;



Sl. 2 – Čvorovi koje treba opslužiti

c) ukoliko su oba čvora i i j uključena u dve različite delimične rute i nijedan od tih čvorova nije unutrašnji u tim rutama, pa je moguće spojiti delimične rute u jednu.

Korak 4: kada je lista ušteda potrošena do kraja treba završiti algoritmom.

Primena algoritma „ušteda“ prikazana je na primeru transportne mreže sa slike 2.

Troškovi transporta, u novčanim jedinicama, između svih parova čvorova u datoj transportnoj mreži prikazani su u tabeli 1.

Tabela 1
Troškovi transporta između parova čvorova

	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	-	40	30	58	32	52	28	67	55
2	40	-	43	81	29	87	63	106	94
3	30	43	-	37	53	46	57	70	70
4	58	81	37	-	88	27	77	57	67
5	32	29	53	88	-	84	40	96	80
6	52	87	46	27	84	-	62	30	43
7	28	63	57	77	40	62	-	62	40
8	67	106	70	57	96	30	62	-	25
9	55	94	70	67	80	43	40	25	-

Zahtevi za opslugom, koji se javljaju u čvorovima, prikazani su u tabeli 2.

Tabela 2
Zahtevi za opslugom po čvorovima

Čvor i	2	3	4	5	6	7	8	9
Potražnja u čvorovima	4	7	3	2	6	3	2	3

Opsluga (transport) vrši se sredstvom kapaciteta $V = 12$ jedinica tereta. Prema Clarke-Wrightovom algoritmu u prvom koraku treba izračunati uštede za svaki par čvorova koji treba opslužiti. Na primer, za par čvorova (2,3) to bi bilo: $T(2,3) = d(1,2) + d(1,3) - d(2,3) = 40 + 30 - 43 = 27$

Po istoj metodologiji određuju se uštede za svaki par čvorova (i,j), a u drugom koraku obavlja se rangiranje ušteda po veličini (tabela 3).

Tabela 3

Vrednosti ušteda

Grana (i,j)	Ušteda s(i,j)	Grana (i,j)	Ušteda s(i,j)	Grana (i,j)	Ušteda s(i,j)
(8,9)	97	(7,8)	33	(2,6)	5
(6,8)	89	(3,8)	27	(2,7)	5
(4,6)	83	(2,3)	27	(5,8)	3
(4,8)	68	(5,7)	20	(4,5)	2
(6,9)	64	(6,7)	18	(3,7)	1
(3,4)	51	(2,4)	17	(2,8)	1
(4,9)	46	(3,9)	15	(2,9)	1
(7,9)	43	(4,7)	9	(5,6)	0
(2,5)	43	(3,5)	9		
(3,6)	36	(5,9)	7		

U trećem koraku vrši se projektovanje rute, pri čemu najveću uštedu ima grana (8,9). Zahtevi za opslugom koji se javljaju u čvorovima 8 i 9 su $V_8 + V_9 = 2 + 3 = 5 < 12 = V$. Kako jedno transportno sredstvo može svojim kapacitetom da opsluži oba čvora, formira se prva delimična ruta 1-8-9-1. Sledeća po vrednosti je ušteda na grani (6,8). Kako je čvor 8 spoljašnji čvor u postojećoj delimičnoj ruti (susedni čvor bazi – čvoru 1), moguće je čvor 6 uključiti u rutu upravo preko čvora 8, a i kapacitet transportnog sredstva može da zadovolji ukupnu potražnju za opslugom na tako formiranoj ruti (ruta 1-6-8-9-1, potražnja: $V_6 + V_8 + V_9 = 6 + 2 + 3 = 11 < 12 = V$). Naredna ušteda u

nizu je na grani (4,6). U ovom slučaju nije moguće proširenje postojeće delimične rute 1-6-8-9-1 čvorom 4, preko čvora 6, jer bi ukupna potražnja za opslugom na tako proširenoj ruti bila veća od kapaciteta transportnog sredstva ($V_4 + V_6 + V_8 + V_9 = 3 + 6 + 2 + 3 = 14 > 12 = V$). Kada je u pitanju ušteda na grani (4,8), proširenje rute čvorom 4 nije moguće jer čvor 8 nije spoljašnji čvor u delimičnoj ruti 1-6-8-9-1. Ušteda na grani (6,9) ne razmatra se, jer su oba čvora već uključena u postojeću delimičnu rutu. Međutim, kada se posmatra grana (3,4) ni čvor 3 ni čvor 4 nisu uključeni u postojeću delimičnu rutu, pa se formira nova delimična ruta 1-3-4-1. Kako je ukupna potražnja na ovoj ruti $V_3 + V_4 = 7 + 3 = 10$ manja od kapaciteta transportnog sredstva ($V = 12$), formiranje rute je moguće. Zatim sledi ušteda na grani (4,9). Spajanje dve postojeće delimične rute u jednu, preko čvorova 4 i 9, nije moguće, jer bi se time uveliko premašili kapaciteti transportnih sredstava ($V_3 + V_4 + V_6 + V_8 + V_9 = 21 > 12 = V$). Zbog toga nije moguće ni proširenje delimične rute 1-6-8-9-1 čvorom 7, preko čvora 9. Ušteda na grani (2,5) ostvarljiva je, jer ni čvor 2 ni čvor 5 nisu uključeni ni u jednu postojeću delimičnu rutu, pa je moguće formirati novu delimičnu rutu 1-2-5-1, a i kapacitet transportnog sredstva je dovoljan da zadovolji zahteve za opslugom na ovoj ruti ($V_2 + V_5 = 4 + 2 = 6 < 12 = V$). Uštede na granama (3,6), (7,8), (3,8) i (2,3) nisu ostvarljive. Na granama (3,6) i (2,3) kapacitet transportnog sredstva je manji od potražnje za opslugom na rutama nastalim spajanjem ruta 1-3-4-1 i 1-6-8-9-1 (preko čvorova 3 i 6), i ruta 1-3-4-1 i 1-2-5-1 (preko čvorova 2 i 3). Na granama

(7,8) i (3,8) uštede nisu ostvarljive, jer čvor 8 nije spoljašnji čvor u ruti, pa nije moguće preko njega spojiti dve rute. Sledeća u nizu je ušteda na grani (5,7). Kako je čvor 5 spoljašnji čvor u postojećoj delimičnoj ruti 1-2-5-1, a i kapacitet transportnog sredstva je dovoljno veliki da zadovolji zahtev za opslugom koji bi se javio na ruti 1-2-5-7-1, opravdano je proširenje rute 1-2-5-1 čvorom 7, preko čvorova 5. Ušteda na grani (6,7) nije ostvarljiva, jer se postojeće delimične rute 1-6-8-9-1 i 1-2-5-7-1 ne mogu spojiti u jednu, zbog nedovoljnog kapaciteta transportnog sredstva za podmirivanje zahteva za opslugom na tako velikoj ruti. Isti je slučaj i sa uštedama na granama (2,4), (3,9) i (4,7). Kod ušteda na grani (3,5) nije moguće spojiti dve rute, jer čvor 5 nije spoljašnji čvor u „svojoj“ ruti. Ista je situacija i sa uštedom na grani (5,9). Za ostvarenje uštede na grani (2,6) ograničavajući faktor je neodgovarajući kapacitet transportnog sredstva ukupnim zahtevima za opslugom na ruti koja bi nastala spajanjem ruta 1-2-5-7-1 i 1-6-8-9-1. Ušteda na grani (2,7) ne razmatra se, jer su i čvor 2 i čvor 7 već uključeni u istu delimičnu rutu. Ušteda na grani (5,8) neostvarljiva je, jer se postojeće delimične rute ne mogu spojiti (čvor 8 nije spoljašnji čvor u ruti). Spajanje ruta 1-2-5-7-1 i 1-3-4-1, radi ostvarenja uštede na grani (4,5), takođe nije moguće zbog ograničenja u kapacitetu. Isti je slučaj i za uštedu na grani (3,7). Ušteda na grani (2,8) nije ostvarljiva, jer čvor 8 nije spoljašnji čvor u ruti, a ni ušteda na grani (2,9), jer bi spajanjem dve rute (preko čvorova 2 i 9) zahtevi za opslugom prevazišli kapacitet transportnog sredstva. Ušteda na grani (5,6) nije ostvarljiva, jer čvor 5 nije spoljašnji čvor rute.

Kako su uštede na svim granama razmotrene, konačne rute prikazane su na slici 3, i glase:

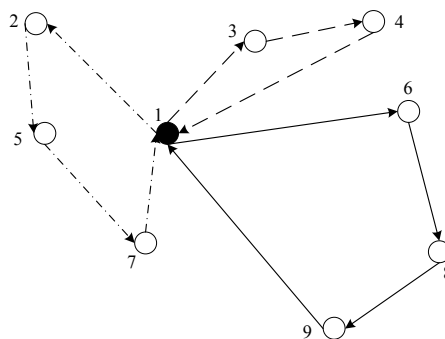
(I \equiv 1-6-8-9-1; II \equiv 1-2-5-7-1; III \equiv 1-3-4-1)

Ukupni troškovi transporta u ovoj varijanti opsluživanja iznose $T_{uk1} = 424$ novčane jedinice.

Ako se na istoj transportnoj mreži (slika 2), opsluga vrši transportnim sredstvom kapaciteta $V = 8$ jedinica tereta, nakon primene Clarke-Wrightovog algoritma za projektovanje ruta, dobijene rute bi glasile: (I \equiv 1-4-8-9-1; II \equiv 1-2-5-1; III \equiv 1-3-1; IV \equiv 1-6-1; V \equiv 1-7-1)

Ukupni troškovi transporta u ovoj varijanti opsluživanja iznose $T_{uk2} = 516$ novčanih jedinica.

Ovako primenjen Clarke-Wrightov algoritam ušteda odnosi se na projektovanje ruta transportnih sredstava homogenog voznog parka. S obzirom na to da se ovim algoritmom rute transportnih sredstava proširuju sve dok to dozvoljava kapacitet transportnog sredstva, to je, u slučaju primene na heterogen vozni park, najčešća upotreba transportnog sredstva



Sl. 3 – Rute dobijene primenom Clarke-Wrightovog algoritma „ušteda“

najvećeg kapaciteta. Međutim, na ovaj način ne razmatraju se fiksni troškovi transportnih sredstava. Pošto je vozni park vojne organizacije specifičan, kao i transportni zadaci koji se realizuju, za upravljanje vojnim transportom potrebno je i razmatranje fiksnih troškova. Shodno tome, adekvatnija je primena modifikovanog algoritma ušteda, kojim se projektuju rute u slučaju različitih tipova transportnih sredstava u voznom parku.

Modifikovani algoritam ušteda za projektovanje ruta u slučaju različitih tipova transportnih sredstava

Da bi se modifikovani algoritam ušteda mogao primeniti na transportnu mrežu sa slike 2, potrebno je, pored već postojećih pretpostavki, uvrstiti još dve:

1. da se transport ne vrši samo sa jednim tipom transportnog sredstva, već sa dva tipa kapaciteta $V_1 = 8$ i $V_2 = 12$ jedinica tereta.

2. da funkcija $F(x)$, koja predstavlja fiksne troškove (kupovine ili iznajmljiva-

nja) po kapacitetu najmanjeg transportnog sredstva koje je u stanju da opsluži potražnju x , izgleda kao na slici 4.

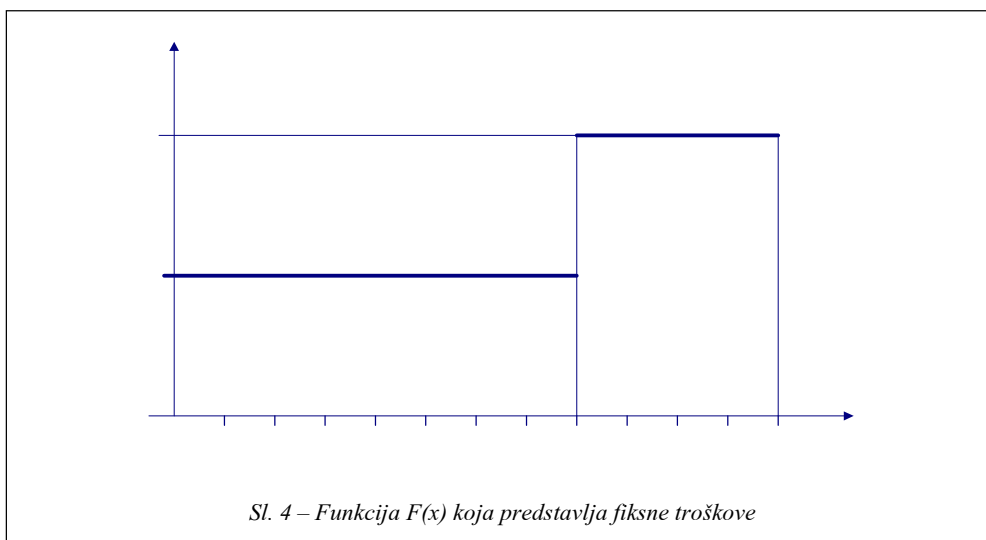
Ako se uvažava vrednosti fiksnih troškova onda veličine ušteda dobijenih primenom Clarke-Wrightovog algoritma neće imati istu vrednost, već će u opštem slučaju biti [2]:

$$\bar{T}(i, j) = T(i, j) + F(V_i) + F(V_j) - F(V_i + V_j) \quad (4)$$

Tako, na primer, za granu (8,9) vrednost „modifikovane“ uštede iznosi:

$$\begin{aligned} \bar{T}(8,9) &= T(8,9) + F(V_8) + \\ &+ F(V_9) - F(V_8 + V_9) = T(8,9) + \\ &+ F(2) + F(3) - F(2 + 3) = \\ &= 97 + 50 + 50 - 50 = 147 \end{aligned}$$

Opslugu na toj grani bi, s obzirom na zahteve na njoj ($V_8 + V_9 = 5$), vršilo transportno sredstvo tipa 1 ($V_1 = 8$), jer ono po kapacitetu zadovoljava, a ima i niže fiksne troškove od transportnog sredstva tipa 2. Analogno tome, izraču-



Sl. 4 – Funkcija $F(x)$ koja predstavlja fiksne troškove

nate su sve „modifikovane“ uštede $\bar{T}(i, j)$, za sve parove čvorova (i, j) koje treba opslužiti, i svakoj grani privremeno je dodeljeno transportno sredstvo odgovarajućeg tipa. Ove uštede, rangirane po veličini, i tip transportnog sredstva, privremeno dodeljen konkretnoj grani, prikazani su u tabeli 4.

Tabela 4
Uštede i tipovi transportnih sredstava

Grana (i,j)	Ušteda $\bar{T}(i,j)$	Tip transportnog sredstva privremeno dodeljen grani 1 ($V_1 = 8$) 2 ($V_2 = 12$)	Grana (i,j)	Ušteda $\bar{T}(i,j)$	Tip transportnog sredstva privremeno dodeljen grani 1 ($V_1 = 8$) 2 ($V_2 = 12$)
(8,9)	147	1	(4,7)	59	1
(6,8)	139	1	(5,9)	57	1
(4,8)	118	1	(2,7)	55	1
(4,9)	96	1	(5,8)	53	1
(7,9)	93	1	(4,5)	52	1
(2,5)	93	1	(3,4)	51	2
(4,6)	83	2	(2,8)	51	1
(7,8)	83	1	(2,9)	51	1
(3,8)	77	2	(5,6)	50	1
(2,3)	77	2	(3,6)	36	2
(5,7)	70	1	(3,9)	15	2
(6,7)	68	2	(3,5)	9	2
(2,4)	67	1	(2,6)	5	2
(6,9)	64	2	(3,7)	1	2

Evidentno je da se nakon novog rangiranja redosled ušteda promenio.

Kako je najveća ušteda na grani (8,9), prva delimična ruta glasi 1-8-9-1. Ovu rutu moguće je proširiti jednim od preostalih čvorova (2,3,4,5,6 ili 7). Ako je u pitanju proširenje rute čvorom 2, preko čvora 8, onda je vrednost nove uštede:

$$\begin{aligned} \bar{T}(2,8) &= T(2,8) + F(V_8 + V_9) - \\ &- F(V_2 + V_8 + V_9) = 51 + F(4) + G(2+3) - \\ &- F(4+2+3) = 51 + 50 + 50 - 100 = 51 \end{aligned}$$

Ovako proširenoj ruti bi, s obzirom na zahteve za transportom koji bi se na njoj javili, bilo dodeljeno transportno sredstvo tipa 2. Kada se na identičan način izračunaju uštede i za ostale moguć-

nosti proširenja ove rute, preko čvora 8 i čvora 9, kao najekonomičnije će se ispostaviti proširenje rute uključivanjem čvora 4 preko čvora 8 (ova varijanta proširenja ima najveću vrednost uštede, a i ukupni zahtevi za transportom na takvoj ruti ne prevazilaze kapacitete raspoloživih transportnih sredstava). Pregled novonastalih ušteda za sve mogućnosti proširenja rute i tipova transportnih sredstava koja bi bila dodeljena „proširenim“ rutama, prikazan je u tabeli 5.

Tabela 5
Uštede i tipovi transportnih sredstava

Delimična ruta	Ušteda $\bar{T}(i,j)$	Tip transportnog sredstva privremeno dodeljen ruti
(1,2,8,9,1)	$\bar{T}(2,8) + 0 = 51$	2
(1,3,8,9,1)	$\bar{T}(3,8) + 0 = 77$	2
(1,4,8,9,1)	$\bar{T}(4,8) + 50 = 168$	1
(1,5,8,9,1)	$\bar{T}(5,8) + 50 = 103$	1
(1,6,8,9,1)	$\bar{T}(6,8) + 0 = 139$	2
(1,7,8,9,1)	$\bar{T}(7,8) + 50 = 133$	1
(1,8,9,2,1)	$\bar{T}(9,2) + 0 = 51$	2
(1,8,9,3,1)	$\bar{T}(9,3) + 0 = 15$	2
(1,8,9,4,1)	$\bar{T}(9,4) + 50 = 146$	1
(1,8,9,5,1)	$\bar{T}(9,5) + 50 = 107$	1
(1,8,9,6,1)	$\bar{T}(9,6) + 0 = 64$	2
(1,8,9,7,1)	$\bar{T}(9,7) + 50 = 143$	1

Nakon proširenja prvobitne delimične rute u rutu 1-4-8-9-1 potrebno je razmotriti mogućnosti daljeg proširenja, na isti način. I tom prilikom proširenje neće biti moguće ukoliko ukupni zahtevi za transportom ne budu u granicama kapaciteta raspoloživih tipova transportnih sredstava. Pregled mogućnosti daljeg proširenja prikazan je u tabeli 6, uz napomenu da su iz tabele izostavljena moguća proširenja koja prevazilaze ograničenja kapaciteta (npr. 1-3-4-8-9-1, jer su ukupni zahtevi $V = V_3 + V_4 + V_8 + V_9 = 15 > 12$).

Tabela 6
Uštede i tipovi transportnih sredstava

Delimična ruta	Ušteda $\bar{T}(i,j)$	Tip transportnog sredstva privremeno dodeljen ruti
(1,2,4,8,9,1)	$\bar{T}(2,4) + 0 = 67$	2
(1,5,4,8,9,1)	$\bar{T}(5,4) + 0 = 52$	2
(1,7,4,8,9,1)	$\bar{T}(7,4) + 0 = 59$	2
(1,4,8,9,2,1)	$\bar{T}(9,2) + 0 = 51$	2
(1,4,8,9,5,1)	$\bar{T}(9,5) + 0 = 57$	2
(1,4,8,9,7,1)	$\bar{T}(9,7) + 0 = 93$	2

Najveću uštedu, prema tabeli 6, ima varijanta uključivanja čvora 7 u rutu, preko čvora 9. Kako je vrednost ukupnih zahteva na takvoj ruti u granicama kapaciteta transportnog sredstva tipa 2, novoprojektovana ruta glasi 1-4-8-9-7-1. Dalja proširenja ove rute nisu moguća, jer dodeljeno transportno sredstvo više nema resursa po kapacitetu. Čvorovi koji pripadaju projektovanoj ruti isključuju se iz daljeg razmatranja, a od preostalih se formira nova ruta, analogno izloženom postupku projektovanja prve rute. „Pročišćena“ tabela 3 (bez grana koje sadrže čvorove 4,7,8 i 9) poprima izgled tablele 7:

Tabela 7
Uštede i tipovi transportnih sredstava nakon formiranja prve rute

Grana (i,j)	Ušteda $\bar{T}(i,j)$	Tip transportnog sredstva privremeno dodeljen ruti
(2,5)	93	1
(2,3)	77	2
(5,6)	50	1
(3,6)	36	2
(3,5)	9	2
(2,6)	5	2

S obzirom na to da grani (2,5) pripada najveća vrednost uštede $\bar{T}(i,j)$, druga delimična ruta glasi 1-2-5-1. Moguća proširenja ove rute, odgovarajuće uštede i tip transportnog sredstva, privremeno dodeljen ruti, prikazani su u tabeli 8.

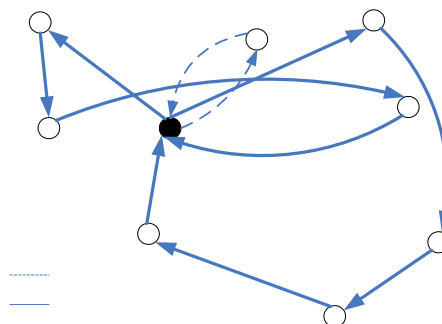
Tabela 8
Uštede i tipovi transportnih sredstava

Delimična ruta	Ušteda $\bar{T}(i,j)$	Tip transportnog sredstva privremeno dodeljen ruti
(1,6,2,5,1)	$\bar{T}(6,2) + 0 = 5$	2
(1,2,5,6,1)	$\bar{T}(5,6) + 0 = 50$	2

Proširenje rute 1-2-5-1 uključivanjem čvora 3, bilo preko čvora 2, bilo preko čvora 5, nije moguće zbog nedovoljnog kapaciteta transportnog sredstva u odnosu na ukupne zahteve za transportom na takvim rutama. Na osnovu tablele 8, proširenje se vrši uključivanjem čvora 6, preko čvora 5.

Novoformiranu rutu 1-2-5-6-1 opslužuje transportno sredstvo tipa 2, čiji je kapacitet jednak ukupnim zahtevima za opslugom na njoj. Kako je formirana i druga ruta (zbog kapaciteta nema više mogućnosti proširenja), a preostao je samo još jedan neopslužen čvor – čvor 3, njega će opslužiti transportno sredstvo tipa 1. Čvor 3 je moguće opslužiti i transportnim sredstvom tipa 2, ali su fiksni troškovi upotrebe transportnog sredstva tipa 1 manji. Treća ruta glasi 1-3-1.

Projektovane rute transportnih sredstava prikazane su na slici 5.



Sl. 5 – Projektovane rute u slučaju dva tipa transportnih sredstava dobijene primenom modifikovanog algoritma „ušteda“

Ukupni troškovi transporta u ovoj varijanti opsluživanja iznose $T_{uk3} = 723$ novčane jedinice (473 novčane jedinice za troškove kretanja i 250 novčanih jedinica za fiksne troškove, jer su za transport upotrebljena dva transportna sredstva tipa 2 i jedno transportno sredstvo tipa 1, a fiksni troškovi njihove upotrebe prikazani su na slici 4).

Ako se u ukupne troškove transporta u prethodne dve varijante opsluživanja (kada je na raspolaganju homogen vozni park) uvrste i fiksni troškovi, njihove vrednosti će biti:

varijanta 1 – samo transportna sredstva kapaciteta $V = 12$:

$T_{uk1} = 724$ novčane jedinice (424 novčane jedinice za troškove kretanja i 300 novčanih jedinica za fiksne troškove upotrebe tri transportna sredstva tipa 2);

varijanta 2 – samo transportna sredstva kapaciteta $V = 8$:

$T_{uk2} = 766$ novčanih jedinica (516 novčanih jedinica za troškove kretanja i 250 novčanih jedinica za fiksne troškove upotrebe pet transportnih sredstava tipa 1).

Upoređivanjem ovih vrednosti sa varijantom opsluživanja u kojoj učestvuju transportna sredstva oba tipa, očigledno je gde su troškovi najmanji: $723 < 724 < 766$ novčanih jedinica ($T_{uk3} < T_{uk1} < T_{uk2}$).

Zaključak

Primenom postojećih teorijskih modela, njihovim modifikovanjem i stvaranjem novih ostvaruju se značajni ekonomski efekti i poboljšava kvalitet tran-

sportnih usluga. Sem toga, primenom naučnih metoda iz oblasti teorije transportnih mreža postiže se: smanjenje broja ruta, manji broj angažovanih sredstava, smanjenje dužine ruta, smanjenje koeficijenta nultih vožnji, smanjenje potrošnje goriva, povećanje koeficijenta iskorišćenja puta, povećanje koeficijenta iskorišćenja rada ...

Aspekt ekonomičnosti u upravljanju vojnim transportom bio je neopravdano zanemaran. Primenom modifikovanog modela ušteda „otvaraju se vrata“ za ulazak fiksni troškova u proces projektovanja ruta. Time, ni u kom slučaju, nisu obuhvaćeni svi faktori koji utiču na ekonomičnost funkcionisanja vojnog transporta. Nisu sa gledane, pre svega, odgovarajuće pojave stohastičke prirode, koje se neminovno javljaju u procesu transporta.

U većini modela razvijenih za projektovanje ruta transportnih sredstava pretpostavlja se da su vremena putovanja, rastojanja i transportni troškovi između pojedinih parova čvorova u mreži konstantne veličine, koje su unapred poznate. S druge strane, neophodno je istaći da je sa vrednošću vremena putovanja između dva čvora u mreži povezana određena neizvesnost koja je uzrokovana uslovima pod kojima se odvija transport, načinom vožnje, meteorološkim uslovima, izborom pojedinih puteva (ulica), itd.

Modeli za projektovanje ruta transportnih sredstava u koje su ugrađene i neizvesnosti u pogledu troškova transporta, vremena izvršenja transporta i uopšte odvijanja transporta uglavnom su

zasnovani na upotrebi zakonitosti fuzzy-aritmetike. Ovakav pristup vodi detaljnijoj analizi faktora relevantnih za smanjenje ukupnih troškova transporta, a u konačnom i ka ekonomičnijoj i efikasnijoj realizaciji transporta.

U svakom slučaju, u optimizaciji realizacije transportnih procesa primena routing-modela u bilo kom obliku (standardnom, modifikovanom,...) neophodna je.

Literatura:

- [1] Božić, V.; Novaković, S.: Ekonomija saobraćaja sa elementima logistike, Ekonomski fakultet, Beograd, 2002 (str. 497–527).
- [2] Teodorović, D.: Transportne mreže, algoritamski pristup, Univerzitet u Beogradu, Beograd, 1996 (str. 169–175).
- [3] Đorović, B.; Dimić, S.: Model za rešavanje problema rutin-ga saobraćajnih sredstava u vojsci, SYM-OP-IS 2001, Zbornik radova, Beograd, 2001.
- [4] Đorović, B.; Ljubojević, S.: Primena modela transportnih mreža za organizaciju prevoza spoljnih saradnika na vojno-tehničkoj akademiji, SYM-OP-IS 2000, Zbornik radova, Beograd, 2000.
- [5] Đorović, B.; Ljubojević, S.; Dimić, S.: Primena modifikovanog modela „ušteta“ u rešavanju zadataka saobraćajne podrške vojske, SYM-OP-IS 2004, Zbornik radova, Fruška gora, 2004.