Mr Zdravko Radišić,
kapetan I klase, dipl. inž.

Darko Pintarić,
pitomac, vodnik I klase

Vilibald Polšak
pitomac, vodnik I klase

Model rotacije, vozila na putnoj mreži pri realizaciji transportnih zadataka

Uvod

U vojnostručnoj praksi, pri izvršavanju svakodnevnih saobraćajno-transportnih zadataka, često se javlja problem iznalaženja najpovoljnijih ruta kojima transportna sredstva treba da se kreću. Naime, često postoji potreba da transportna sredstva (teretna motorna vozila, autobusi, i dr.) krenu sa jednog mesta (baze), »obiđu« određeni broj čvorova na mreži, u njima ukrcaju — iskrcaju teret ili putnike i vrate se u bazu. U teoriji transportnih mreža ovakav tip problema se svodi na problem rotacije transportnih sredstava na mreži. Adekvatna rotacija transportnih sredstava bitno doprinosi smanjenju troškova transporta i podizanju nivoa kvaliteta izvršene usluge.

U praksi se najčešće rešavaju problemi rotacije više transportnih sredstava u slučaju postojanja jedne ili više baza. U ovom radu prezentiran je model rotacije više transportnih sredstava u slučaju postojanja jedne baze.

Postavka problema

Neka je data ulično-putna mreža u kojoj pri realizaciji složenog transportnog zadatka transportna sredstva moraju posetiti N čvorova. Svaki čvor potražuje V_i količinu određenih dobara (robe) ili, u drugom slučaju, neka u sva-

kom od N čvorova postoji zahtev za prevoženjem (odvoženjem ili dovoženjem) V_i putnika ($i=1, 2, \dots, N$). Ukoliko je kapacitet saobraćajnog sredstva K veći od bilo koje količine dobara ili putnika u pojedinim čvorovima ($V_i \leq K$), jasno je da jedno transportno sredstvo može da opsluži veći broj čvorova.

Označimo sa B bazu iz koje polaze i vraćaju se transportna sredstva i sa $C_1, C_2, \dots, C_N$ čvorove koje treba posetiti. Sa d_{ij} označimo vreme, rastojanje ili cenu koštanja kretanja između čvorova C_i i C_j . Bitno je naglasiti da d_{ij} može biti različito od d_{ji} . Vreme opsluživanja u čvoru C_i označimo sa t_i .

Problem koji treba rešiti sastoji se u utvrđivanju skupa ruta kojima treba da se kreću transportna sredstva, tako da ukupno »rastojanje« L koje pređu sva transportna sredstva bude minimalno:

$$t_B + \sum_{r=1}^P \left[d(i_{r-1}, i_r) + t_{i_r} \right] = L_{\min}$$

gde je:

t_B — vreme potrebno za pripremu transportnih sredstava u voznom parku (bazi), i

P — permutacija čvorova koje treba posetiti, a za koje je ukupno »rastojanje« minimalno.

Pošto je suma vremena potrebnih za opsluživanje u pojedinim čvorovima konstantna veličina:

$$t_B + \sum_{r=1}^p t_{ir} = \text{const.}$$

postavljeni problem se može definisati kao pronalaženje permutacije $P=(B, i_1, i_2, \dots, i_N, B)$ elemenata $1, 2, \dots, N$ za koju:

$$\sum_{r=1}^p d(i_{r-1}, i_r) = L_{\min}$$

Model rešenja problema u slučaju postojanja jedne baze

Jedan od prihvatljivih algoritama za rešenje naznačenog problema jeste Clark-Wrightov algoritam »ušteda«, [1]. Za početno razmatranje algoritma uočimo bazu B i dva čvora koja treba opslužiti. Neka na početku svaki čvor opslužuje po jedno transportno sredstvo (sl. 1).

Sl. 1 Prikaz opsluživanja pojedinačnih čvorova jednim saobraćajnim sredstvom

Sl. 2 Prikaz opsluživanja svih čvorova jednim saobraćajnim sredstvom

U ovom slučaju, ukupno pređeni put oba transportna sredstva iznosi:

$$L_1 = 2 d(B, 1) + 2 d(B, 2)$$

ili

$$L_1 = 2 \sum_{i=1}^2 d(B, i)$$

gde je:

— $d(B, i)$ rastojanje između baze B i čvora i .

Ukoliko se sada jednim transportnim sredstvom opslužuju oba čvora, imamo situaciju kao na slici 2.

Ukupni pređeni put u slučaju kao na slici 2 iznosi:

$$L_2 = d(B, 1) + d(1, 2) + d(2, B)$$

Ušteda U u odnosu na prvi slučaj iznosi:

$$U = L_1 - L_2 = d(B, 1) + d(B, 2) - d(1, 2)$$

U opštem slučaju, ušteda između čvorova i i j iznosi:

$$U(i, j) = d(B, i) + d(B, j) - d(i, j)$$

Veličina $U(i, j)$ naziva se uštedom koja se dobije spajanjem čvorova i i j u jednu rutu. Što je veća ušteda, toliko je bolje spojiti čvorove i i j u jednu rutu. Bitno je naglasiti da se čvorovi i i j ne mogu spojiti u jednu rutu ukoliko se time krši neko od unapred zadatih ograničenja konkretnog problema (npr. kapacitet transportnog sredstva, maksimalno dozvoljeno vreme rada vozača, i sl.).

Clark-Wrightov algoritam »ušteda« sastoji se od sledećih koraka [1]:

a) odrediti matricu najkraćih rastojanja između svih parova čvorova na mreži;

b) odrediti uštede $U(i, j)$ za svaki par čvorova (i, j) koje treba opslužiti;

c) poredati po veličini sve uštede;

d) pri razmatranju uštede $U(i, j)$ odgovarajuću granu (i, j) uključiti u rutu ako se pri tome ne krši neko od datih ograničenja, i:

— ako čvor i , ni čvor j nisu bili uključeni u nijednu rutu;

— ako je jedan od čvorova i ili j već uključen u neku od postojećih ruta i ukoliko taj čvor nije unutrašnji čvor u ruti (čvor je unutrašnji ukoliko nije susedni bazi B);

— ako su oba čvora i i j uključeni u dve različite rute i nijedan od tih čvorova nije unutrašnji u tim rutama (oba

su spoljna) moguće je spojiti rute u jednu;

e) ukoliko lista ušteda nije potrošena do kraja potrebno je vratiti se na korak d) i poći od sledeće neutrošene uštede.

Imajući u vidu karakteristike algoritma, broj mogućih ograničenja i veličinu putne mreže, primena računara se nameće sama po sebi. Razvijen je softver ROTASS (ROTAcija Saobraćajnih

Primer primene modela rotacije transportnih sredstava u slučaju postojanja jedne baze

Za putnu mrežu kao na slici 4 pretpostavka je da se baza nalazi u čvoru 1. Vremena putovanja između čvorova data su u minutama.

Čvorovi koje treba opslužiti označeni su sa 2, 3, ..., 9.

Sl. 3 Globalni blok-dijagram programa ROTASS

Sredstava) na mikroračunaru APPLE IIe u jeziku Applesoft Basic. Globalni blok-dijagram ovog programa dat je na slici 3.

Kapacitet vozila koje vrši opsluživanje iznosi $K=12$ putnika. Broj putnika koje treba ukrcati i prevesti iz čvorova u bazu dat je u tabeli 1.

Tabela 1

Broj putnika koje treba prevesti

Čvor, 1	2	3	4	5	6	7	8	9
Broj putnika, V_i	4	7	3	2	6	3	2	3

Matrica najkraćih vremenskih rastojanja između svih parova čvorova i ušteda dati su u tabelama 2 i 3.

CIJENT ISKORIŠTENJA VOZILA NA RUTI 3 IZNOSI 0,916.

UKUPNO VREME IZVRŠENJA ZADATKA IZNOSI 268 MINUTA.

Treba napomenuti da Clark-Wrightov algoritam polazi od pretpostavke da postoji direktna povezanost svih čvorova u kojima se vrši opsluga. U stvarnosti to nije tako. Sa slike 4 se vidi da, na primer, postoji direktna veza između čvorova 1 i 8 u prvoj osnovnoj ruti. Sada je potrebno pronaći čvorove koji le-

Tabela 2

Matrica najkraćih vremenskih rastojanja

CVOR	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	*	35	25	53	56	74	98	103	123
2	35	*	35	88	21	84	63	120	98
3	25	35	*	78	56	49	98	85	98
4	53	88	78	*	109	86	117	50	82
5	56	21	56	109	*	105	42	109	77
6	74	84	49	86	105	*	68	36	49
7	98	63	98	117	42	68	*	67	35
8	103	120	85	50	109	36	67	*	32
9	123	98	98	82	77	49	35	32	*

Za pretpostavljenu putnu mrežu utvrđene su sledeće osnovne rute:

1. RUTA 1—8—9—7—5—1
2. RUTA 1—4—6—1
3. RUTA 1—2—3—1

VREME IZVRŠENJA ZADATKA NA RUTI 1 JE 268 MINUTA. KOEFICIJENT ISKORIŠTENJA VOZILA NA RUTI 1 IZNOSI 0,833.

VREME IZVRŠENJA ZADATKA NA RUTI 2 JE 213 MINUTA. KOEFICIJENT ISKORIŠTENJA VOZILA NA RUTI 2 IZNOSI 0,75.

VREME IZVRŠENJA ZADATKA NA RUTI 3 JE 95 MINUTA, KOEFI-

že na najkraćem putu između čvorova 1 i 8. Postupak je potrebno ponoviti za svaki par čvorova (i, j) u osnovnim rutama, koji nisu direktno međusobno povezani. Postupak se sprovodi tako što se nađe podskup čvorova A koji su za jednu granu udaljeni od čvora j . U tom podskupu A pronalazi se onaj čvor a za koji važi:

$$d_{ia} + d_{aj} = d_{ij}$$

Kada se ostvari ovaj uslov, čvor a postaje preposlednji čvor na najkraćem putu od čvora i do čvora j . Postupak se ponavlja uz uslov da sada čvor a smatramo poslednjim čvorom na najkraćem putu. Postupak se završava ka-

Tabela 3

Matrica ušteda

I	J	USTEDA
8	9	194
7	9	186
6	9	148
6	8	141
7	8	134
5	7	112
4	8	106
6	7	104
5	9	102
4	9	94
2	7	70
2	5	70
2	9	60
5	8	50
3	9	50
3	6	50
3	8	43
4	6	41
4	7	34
5	6	25
3	7	25
3	5	25
2	6	25
2	3	25
2	8	18
2	4	-1
4	5	-1
3	4	-1

da čvor *a* postane jednak čvoru *i*, tj. kada se dođe do početnog mesta *i*. Osnovu za sprovođenje ovog postupka čini matrica najkraćih rastojanja.

Sl. 4 Prikaz pretpostavljene putne mreže

Clark-Wrightov algoritam ušteda dorađen je prema opisanom postupku.

U ovom primeru konačna lista ruta ima sledeći izgled:

1. RUTA 1—4—8—9—7—5—2—1
VOZILO PRIHVATA PUTNIKE U ČVOROVIMA 8, 9, 7, 5.
2. RUTA 1—4—8—6—3—1
VOZILO PRIHVATA PUTNIKE U ČVOROVIMA 4, 6.
3. RUTA 1—2—3—1
VOZILO PRIHVATA PUTNIKE U ČVOROVIMA 2, 3.

Ostali parametri ostaju nepromenjeni.

Prikaz konačne liste ruta i redosled opsluživanja čvorova dati su na slici 5.

Promenom ograničenja (npr. kapaciteta vozila) moguće je utvrditi skup novih rešenja za ostale nepromenjene uslove i usporediti ih sa prijašnjim rešenjima, te izabrati povoljnije. Na primer, povećanje kapaciteta vozila moguće je izvršiti ili izborom novog vozi-

la za prevoz ili korišćenjem više vozila za prevoz na jednoj ruti. U drugom slučaju u model se unosi vrednost kapaciteta vozila koji je jednak sumi kapaciteta pojedinačnih vozila.

Sl. 5 Prikaz utvrđenih ruta i redosleda opsluživanja čvorova

Zaključak

Predloženim modelom rotacije više vozila na putnoj mreži u slučaju postojanja jedinstvenog voznog parka mogu se rešiti brojni praktični transportni

problemi koji se u osnovi sastoje od problema »raspoređivanja« i »nizanja«. U vojnostručnoj praksi takvi su npr. različiti problemi snabdevanja, prevoza materijalno-tehničkih sredstava, ljudstva i sl., a koji se mogu svesti na problem raspoređivanja određenog broja transportnih sredstava na čvorove koje treba opslužiti, uz minimizaciju troškova, vremena ili pređenog puta.

Kao izlazne rezultate model daje broj transportnih sredstava koje treba angažovati, njihov raspored na pojedine čvorove, redosled opsluživanja čvorova (rute) i vremena izvršenja zadatka na svakoj ruti, a sve u zavisnosti od zadatah ograničenja i karakteristika putne mreže. Dobijeni rezultati omogućuju uspostavljanje efikasne organizacije izvršenja zadatka.

Promenom različitih ograničenja moguće je utvrditi skup rešenja za buduće uslove izvršenja konkretnih saobraćajno-transportnih zadataka. Nadalje, model omogućuje i višekriterijski pristup utvrđivanju skupa ruta više vozila. Isto tako, ovaj model predstavlja osnovu za rešavanje problema rotacije više transportnih sredstava na mreži u slučaju postojanja više auto-parkova (baza). Model se može primeniti za rešavanje sličnih problema u bilo kojoj grani ili vidu saobraćaja.

Literatura:

- [1] Teodorović D.: Transportne mreže, SITSVJ, Beograd, 1984. god. Višekriterijski pristup projektovanja ruta.
- [2] Teodorović D.: Saobraćajna sredstva, Tehničar 10/87., Beograd, 1987. god.

- [3] Petrović R.: Specijalne metode u optimizaciji sistema, NIP Tehnička knjiga, Beograd, 1977. god.