

NOVI MATEMATIČKI MODEL ZA SOFTVERSKO REŠENJE MODIFIKOVANOG TRANSPORTOG PROBLEMA

Vladimir Milićević, Nemanja Zdravković, Jovana Jović

Univerzitet Metropolitan, Tadeuša Košćuška 63, 11 158 Beograd, Srbija,
vladimir.milicevic@metropolitan.ac.rs

SAŽETAK

Savremena softverska rešenja se intenzivno nalaze u službi smanjenja troškova svakodnevnog poslovanja kompanija i organizacija iz različitih domena industrije i usluga. Lako je sagledati benefite upotrebe IKT (informaciono – komunikacionih tehnologija) na poslove automatizacije transakcija u bankama, osiguravajućim kompanijama, kao i drugim organizacijama koji direktno komuniciraju sa korisnicima proizvoda i usluga. Sa druge strane, kompanije koje nisu u direktnom fokusu, takođe, mogu da zahtevaju IKT podršku za niže troškove, kao i efikasnije i efektivnije rezultate vlastitog poslovanja.

U fokusu rada će biti kompanije koje se bave uslugama transporta na specifičan način. Svedoci smo trenutne ekspanzije niskogradnje na teritoriji Republike Srbije i cilj rada jeste davane osnova za razvoj softverskog rešenja kojim će se raspoređivanje resursa različitih transportnih kompanija (kamiona) obaviti na optimalan način uzimajući u obzir različite kriterijume za optimizaciju kao što su rastojanje od baze do ciljne lokacije, nosivost kamiona, količina materijala koji se transportuje).

Rad će priložiti rešenje navedenog problema u formi posebno prilagođenog i modifikovanog matematičkog modela kao specijalne verzije transportnog problema.

Ključne reči: model, softver, rešenje, operaciona istraživanja, transport.

UVOD

Glavna ideja rada projekta upravo se krije u primeni informaciono-komunikacionih tehnologija (ICT) sa ciljem da se smanje godišnji troškovi i poveća iskorišćenost radnih mašina i kamiona transportnih i građevinskih kompanija uz ravnomerno angažovanje navedenih resursa.

Postoje tri grupe korisnika koje mogu prepoznati svoj interes: prevoznici, građevinske kompanije i naručioci posla. Za naručioce posla (država ili lokalna samouprava) od posebnog značaja je smanjenje broja radnih sati, a samim tim i ukupne vrednosti projekta, usled efikasnijeg i efektivnijeg angažovanja izvršilaca posla. Što se tiče izvršilaca, cilj je da se njima omogući maksimizacija prihoda usled optimalnog angažovanja vlastitih resursa.

Sušтина projekta je u povezivanju kompanija koje pružaju usluge niskogradnje sa organima državne uprave, kao naručiocima posla, uz intenzivnu primenu IT tehnologija.

Povezivanje zainteresovanih grupa korisnika vršiće se posebno koncipiranim algoritmom koji ima za cilj smanjenje troškova transporta i angažovanja radnih mašina uzimajući u obzir raspoložive resurse i njihove udaljenosti.

PREGLED REŠENJA ZA OPTIMIZACIJU TROŠKOVA TRANSPORTA

Prilikom rešavanja problema pošlo se od sledećih zahteva:

- Definisati skup PC čiji elementi odgovaraju autoprevoznicima od kojih svaki poseduje izvestan broj kamiona / radnih mašina;
- Definisati skup PAR čiji elementi odgovaraju parcelama određene površine, na kojima je moguće rasporediti izvestan kamiona / radnih mašina iz skupa PC;

- U zavisnosti od vrste radova na parceli (tamponiranje, nasipanje, asfaltiranje...) odrediti koeficijent α koji odgovara kamiona / radnih mašina koje pokrivaju radove na 1km parcele;
- Odrediti algoritam raspoređivanja elemenata skupa PC po elementima skupa PAR pri čemu će troškovi transporta biti najmanji mogući.

Prva ideja koja se javila, prilikom traganja za željenim algoritmom (u daljem izlaganju – optimalni algoritam), jeste primena poznatih tehnika operacionih istraživanja. Ukoliko se uzme tovar koji bi nekim prevoznim sredstvom trebalo transportovati na lokacije definisane skupom PAR, primenom transportnog problema, iskazanog na standardni način ili kroz linearno programiranje, moglo bi se doći do traženog algoritma uparivanja elemenata skupa PC i PAR. U literaturi postoje brojne primene navedenih tehnika, poput radova autora: Otonkue, Edu, Esang, (2009), Khan, (2014), Ghazali, Amin Abd Majid, Shazwani, (2012), Reeb, Leavengood, (1992). itd, međutim, problem povećanja stepena iskorišćenosti distribucije kamiona / radnih mašina na ponuđene lokacije uz minimizaciju troškova transporta, do sad nije obrađivan na ovaj način.

Prilikom analize uočeno je da se optimalni rezultati postižu kada se angažuju resursi različitih transportnih kompanija po više radnih parcela, odnosno na više potencijalnih poslova. Međutim, usled nerazumevanja, brojni pružaoci transportnih usluga nisu raspoloženi da vlastite resurse distribuiraju na većem broju lokacija, a to predstavlja dodatno ograničenje za predloženi problem raspodele kamiona / radnih mašina po parcelama na kojima se izvode radovi. U tom svetlu, rešavanju problema je neophodno pristupiti na drugi način:

Uvažiti dopunske zahteve transportnih kompanija;

Ispoštovati postavljene zahteve uz minimalna odstupanja;

Optimalno rešenje biće zamenjeno dovoljno dobrim rešenjem (u daljem izlaganju – alternativni algoritam).

To znači da rešavanju konkretnog transportnog problema treba prići na drugačiji, heuristički, način. Ovaj predlog pristupa rešavanju transportnog problema moguće je naći u radovima autora: Laporte, (1992), Nanda Kumar, Panneerselvam, (2012), You, Hsieh, Chen, Lee, (2013), Tarantilis, Spinellis, Gendreau, (2005). i dr.

Posebno, prilikom kreiranja algoritma razmišljano je programerskom logikom te je kao konačno rešenje predložen algoritam koncipiran na način blizak softverskoj implementaciji.

RAZVOJ OPTIMALNOG ALGORITMA RASPOREĐIVANJA RESURSA

Dati su skupovi sa lokacijama autoprevoznika $PC = \{X_1, X_2, \dots, X_n\}$ i parcela na kojima se izvode radovi $PAR = \{P_1, P_2, \dots, P_m\}$, predstavljeni nosivošću kamiona koje poseduju prevoznici i površinama na parcelama na kojima se izvode radovi, respektivno.

Celobrojnom promenljivom x_{ij} određena je ukupna nosivost kamiona prevoznika X_i raspoređenih na parceli P_j .

Koeficijentom α određena je nosivost koju je moguće rasporediti na jednom km^3 dela parcele na kojoj se radovi izvode, u zavisnosti od tipa angažovanja: nasipanje, tamponiranje, odvoženje zemlje ili asfaltiranje.

Promenljivom d_{ij} određeno je rastojanje lokacije autoprevoznika X_i do parcele P_j , određeno pomoću Google mapa ili poznatim matematičkim izračunavanjem.

Nakon uvođenja promenljivih moguće je definisati ciljnu funkciju kojom se minimizuju troškovi transporta:

$$\min \{ x_{11}d_{11} + x_{12}d_{12} + \dots + x_{1m}d_{1m} + x_{21}d_{21} + x_{22}d_{22} + \dots + x_{2m}d_{2m} + \dots + x_{n1}d_{n1} + x_{n2}d_{n2} + \dots + x_{nm}d_{nm} \}$$

Sledeći korak jeste uvođenje sistema jednačina kojima će biti opisana ograničenja identifikovana tokom analize.

$$\begin{cases} x_{11} + x_{21} + \dots + x_{n1} \leq \alpha P_1 \\ x_{12} + x_{22} + \dots + x_{n2} \leq \alpha P_2 \\ \dots \\ x_{1m} + x_{2m} + \dots + x_{nm} \leq \alpha P_m \\ \begin{cases} x_{11} + x_{12} + \dots + x_{1n} = X_1 \\ x_{21} + x_{22} + \dots + x_{2n} = X_2 \\ \dots \\ x_{n1} + x_{n2} + \dots + x_{nm} = X_n \end{cases} \end{cases}$$

Neophodno je uvesti i dopunsko ograničenje, sa ciljem dobijanja korektnih rezultata primenom navedenog modela:

$$\sum_{i=1}^n X_i = \alpha \sum_{j=1}^m P_j$$

Ukoliko poslednji uslov nije ispunjen tj. ukupna nosivost koju je moguće rasporediti po parcelama iz skupa PAR je veća od ukupne nosivosti kojima raspolažu autoprevoznici iz skupa PC, neophodno je uvesti fiktivnog autoprevoznika kojim će ova razlika biti otklonjena. Na ovaj način uveden je matematički model kojim se minimizuju troškovi raspoređivanja kamiona / radnih mašina po parcelama na kojima se radovi izvode uvažavajući gore definisane zahteve.

RAZVOJ ALTERNATIVNOG ALGORITMA RASPOREĐIVANJA RESURSA

U daljoj analizi, a na osnovu podataka dobijenih u direktnoj komunikaciji sa autoprevoznicima, dobijeno je novo ograničenje: Većina prevoznika nije raspoložena da distribuira svoje kamione / radne mašine na više različitih parcela.

U tom svetlu, rešavanju problema je neophodno pristupiti na drugi način:

- Uvažiti dopunske zahteve prevoznika;
- Ispoštovati postavljene zahteve uz minimalna odstupanja;
- Optimalno rešenje biće zamenjeno dovoljno dobrim rešenjem.

To znači da rešavanju konkretnog transportnog problema treba prići na drugačiji, heuristički, način. Ovaj predlog pristupa rešavanju transportnog problema moguće je naći u radovima autora: Laporte , Nanda Kumar i Panneerselvam , You, Hsieh, Chen i Lee , Tarantilis, Spinellis i Gendreau i dr.

Posebno, prilikom kreiranja algoritma razmišljano je programerskom logikom te je kao konačno rešenje predložen sledeći algoritam, označen kao Algoritam 2 – alternativni algoritam:

I. Kreirati klasu Prevoznici sa sledećim poljima:

- int broj_masina;
- int lok_x;
- int lok_y;
- int id;
- boolean slobodan;

II. Kreirati klasu Parcele sa sledećim poljima:

- int nosivost_po_parceli; // kultura (broj_masina/Ha)*povrsina_parcele
- int lok_par_x;
- int lok_par_y;
- int id_par;

III. Kreirati glavnu klasu Uparivanje:

- Kreirati listu objekata klase Prevoznici: pc[i]i=1,n ;

- Sortirati listu $pc[i]_{i=1,n}$ u opadajući poredak prema broju vozila;
- Kreirati listu objekata klase Parcele: $par[i]_{i=1,m}$;
- Sortirati listu $par[i]_{i=1,m}$ u rastući poredak prema ukupnoj nosivosti koju parcela može da primi;
- Definisati logičku varijablu *uparen* sa inicijalnom vrednošću false;
- Svakom članu niza prevoznika podesiti osobinu slobodan na true;

IV. U okviru klase Uparivanje pokrenuti iteraciju po $i = 1, n$, gde je i skup indeksa $pc[i]_{i=1,n}$ *uparen* = false;

U svakoj iteraciji naći rastojanja između tekućeg pčelara i svih parcela određenih nizom $par[i]_{i=1,m}$ primenom Google mapa ili poznatim matematičkim izračunavanjem.

- Kreirati nov niz $dist[j]_{j=1,m}$, sortiran u rastući poredak;
- Krećući se ugnježenom petljom po j , gde je j brojač za niz distanci $dist[j]_{j=1,m}$ između prevoznika i parcela, pronaći lokaciju sa najkraćim rastojanjem za koju je ispunjen sledeći uslov: $pc[i].broj_masina \leq par[j].nosivost_po_parceli$;

Ako je pronađena parcela i status tekućeg prevoznika slobodan = true:

- *uparen* = true;
- slobodan = false;
- zapamtiti ishod uparivanja (*id*, *id_par*);
- dostupan broj vozila na uparenoj parceli umanjiti za zauzeti broj vozila sve dok vrednost *nosivost_po_parceli* ne bude manja ili jednaka od ukupne nosivosti najmanjeg prevoznika iz niza (u tom slučaju isključiti parcelu iz dalje pretrage);
- Sortirati niz $par[i]_{i=1,m}$ u rastući poredak prema broju košnica koje parcela može da primi;
- Ako nije pronađena odgovarajuća parcela za pčelara koji odgovara tekućoj iteraciji;
- broj njegovih košnica raspodeliti na dva novoformirana pčelara;
- novoformirani pčelarima se dodeljuju prvi i drugi indeks niza, a ostali se pomeraju za jedno mesto u nizu;
- vratiti se na korak e) i
- Postupak ponoviti za $n+1$ član niza $pc[i]$;
- Uparivanje ponavljati sve dok postoji neuparen član niza $pc[i]$;

V. Izlistati sve rezultate uparivanja: $(pc[i], par[j])_{i=1,n, j=1,m}$

ODREĐIVANJE RASTOJANJA IZMEĐU PREVOZNIKA I PARCELA

Prilikom određivanja skupa rastojanja pčelara do parcela pošlo se od dva pristupa:

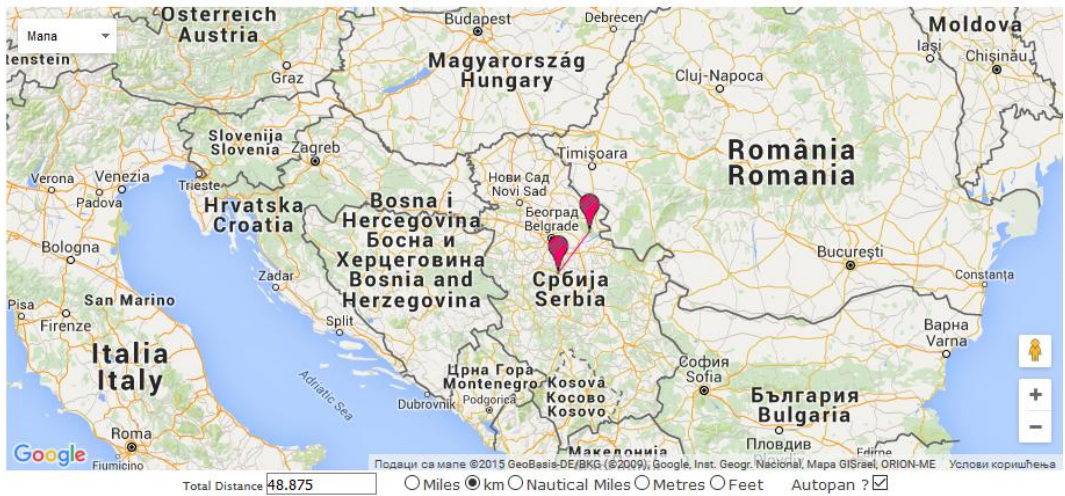
Matematičko izračunavanje rastojanja vazдушnom linijom po poznatom obrascu za izračunavanje rastojanja između dve tačke u ravni:

$$d = \sqrt{(x_1^2 - x_2^2) + (y_1^2 - y_2^2)}$$

gde su koordinatama (x_1, y_1) i (x_2, y_2) određeni položaji prevoznika i parcele respektivno.

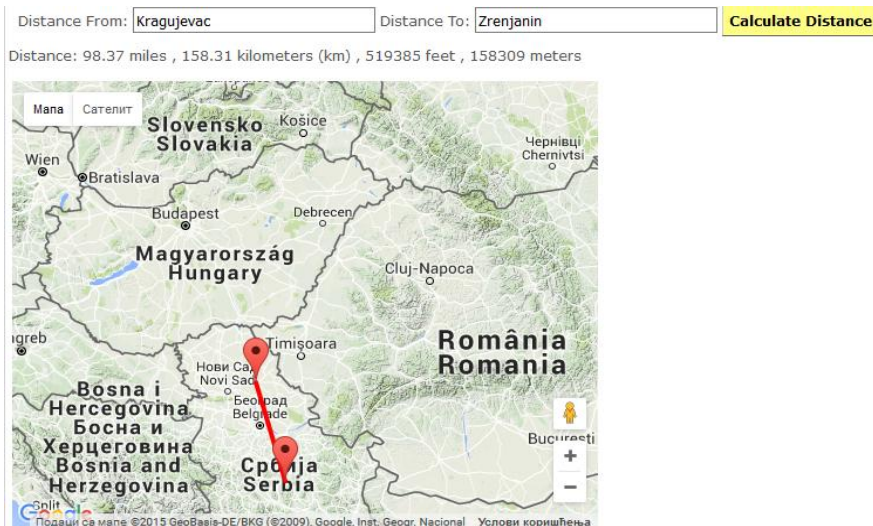
Primena algoritama i alata koji su prisutni na Internetu i relativno lako se koriste:

Google map distance calculator kojim se na samoj mapi, mišem, obeleže početna tačka i odredište, a aplikacija kao rezultat vrati rastojanje vazдушnom linijom između navedenih tačaka (Slika 1);



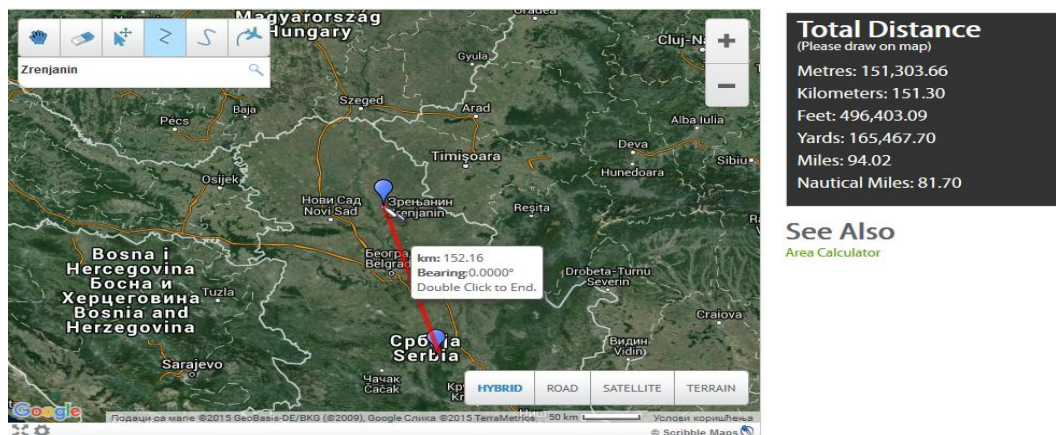
Slika 1. Google map distance kalkulator.
Figure 1. Google map distance calculator.

Kalkulator rastojanja koji se takođe oslanja na Google mape, a implementiran je na stranici http://www.mapdevelopers.com/distance_from_to.php gde se u posebne tekst boksove upisuju početna tačka i odredište, a kao rezultat se dobija rastojanje vazдушnom linijom između navedenih tačaka (Slika 2).



Slika 2. Kalkulator rastojanja mapdevelopers.
Figure 2. Mapdevelopers distance calculator.

Kalkulator rastojanja Scribble mapps, takođe se oslanja na Google mape i implementiran je na stranici <http://www.scribblemaps.com/tools/distance-calculator> (Slika 3). Korisnik na mapi obeleži tačke između kojih se računa rastojanje.



Slika 3. Kalkulator rastojanja Scribble mapps.
Figure 3. Scribble mapps distance calculator.

Alat SAS 9.2 sadrži nove funkcije (ZIPCITYDISTANCE, GEODIST) koje omogućavaju korisnicima određivanje geodezijskog rastojanja. Obe funkcije koriste Vinsentijevu formulu za računanje rastojanja. Pre primene alata SAS 9.2, rastojanja su računata obično primenom Harvesinove formule. Obe formule se oslanjaju na rastojanja koja su predstavljena pravim linijama. U ovom konkretnom slučaju, u velikoj meri to je sasvim dovoljno. Međutim, postoje i rastojanja koja ne predstavljaju prave linije, a to bi mogla biti rastojanja koja se prelaze vožnjom. Ovakva rastojanja mogu biti dobijena primenom Google Maps alata i ne predstavljaju posebna ograničenja. Međutim, ako postoji veliki broj lokacijskih parova, FILENAME izraz i metod pristupa URL-u unutar SAS 9.2 mogu se koristiti više puta za pristup Google Maps alatu za dobijanje razdaljine i vremena vožnje, svaki put kada se pristupi lokaciji. (Zdeb, 2010; Bekkerman, 2013; Wnag, 2012).

Za određivanje i kreiranje tabele rastojanja između autoprevoznika i parcela na kojima se izvode građevinski radovi, a za potrebe testiranja modela izabran je prvi pristup – matematičko izračunavanje rastojanja vazdušnom linijom po poznatom obrascu za izračunavanje rastojanja između dve tačke u ravni. Google je ograničio besplatno korišćenje mapa na 25.000 prikaza mesečno. To znači da sajt koji ima više od 800 prikaza dnevno neće moći da koristi Google mape besplatno već će morati da ih plaća, a to predstavlja ozbiljno ograničenje. Google Maps Premium licenca košta oko 10.000 USD godišnje.

TESTIRANJE MODELA, PRIKAZ REZULTATA I DISKUSIJA

U prvom koraku je testiran matematički model koji bi trebalo da da optimalno rešenje. Kao ulaz se koriste dve datoteke:

- Podaci o prevoznicima: lokacija, broj i ukupna nosivost kamiona;
- Podaci o parcelama: lokacija, tip građevinskih radova, potrebna nosivost kamiona za datu vrstu građevinskih radova.

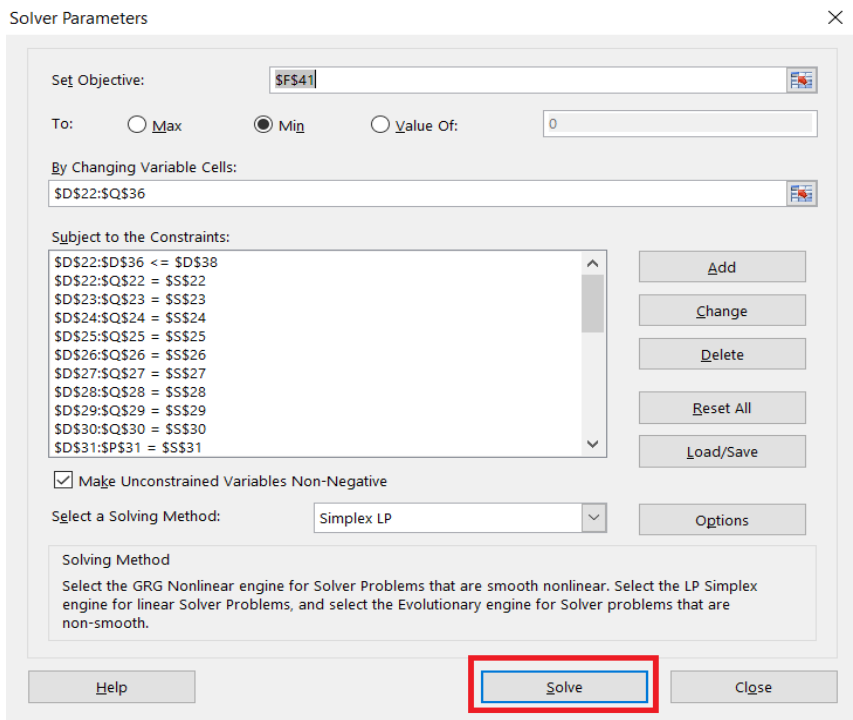
Budući da deo podataka predstavlja poslovnu tajnu, za koju ne postoji saglasnost za javno objavljivanje, veza između navedenih entiteta se ovde prikazuje u formi matrice njihovih međusobnih rastojanja (slika 4).

	Banatsko Višnjićevo	Elemir	Hetin	Jaša Tomić	Konak	Krajišnik	Sutjeska	Vojvoda Stepa	Radojevo	Aleksandrovo	Toba	Banatsko Veliko Selo	Rusko Selo	Iđoš
Barajevo	95.96	95.25	120.24	94.20	89.96	98.44	90.00	120.07	126.13	114.14	121.47	136.61	125.85	135.51
Bajkovic	166.75	173.33	198.68	161.65	157.98	168.06	160.15	190.51	195.33	185.86	194.35	209.15	198.68	211.88
Radoševo	207.26	200.62	231.59	206.26	201.98	210.02	201.59	230.97	237.39	224.61	231.12	246.09	235.40	241.48
Vajska	125.22	94.28	134.14	134.89	133.01	128.99	127.01	129.64	135.65	123.77	120.52	125.92	121.64	106.14
Culine	174.05	154.63	196.02	177.83	173.73	177.87	170.57	193.59	200.82	189.71	189.71	202.77	193.31	191.15
Lalinci	147.01	143.89	171.29	145.25	141.01	149.51	141.07	171.03	177.18	164.99	172.07	187.19	176.42	184.71
Bričevine	315.32	328.39	334.76	307.85	305.02	315.53	308.71	337.06	340.27	333.97	343.12	356.77	347.18	363.78
Mehovine	115.49	99.23	138.26	118.64	114.48	119.19	111.62	136.23	143.36	129.11	133.43	147.34	137.31	138.42
Gospodinci	55.07	24.67	68.33	64.35	62.29	59.01	56.34	64.47	71.42	57.60	57.47	68.17	60.16	54.69
Uljma	107.89	80.57	76.12	49.80	47.59	57.91	52.36	78.59	81.61	76.15	85.43	98.39	89.26	107.89
Vukušica	200.71	204.51	223.91	196.29	192.47	202.30	194.19	224.73	229.87	219.71	227.91	242.89	232.28	244.14
Halovo	212.92	233.87	227.62	203.60	201.88	211.92	206.90	230.90	232.39	232.39	229.64	250.49	242.39	262.11
Lapovo	145.28	155.41	166.94	139.22	135.82	146.17	138.62	168.47	172.78	164.36	173.18	187.63	177.43	192.23
Pojate	199.07	210.86	219.63	192.21	189.11	199.59	192.41	221.56	225.32	217.97	226.99	241.06	231.15	246.91
Fiktivni	257.43	257.85	281.18	253.88	249.90	259.37	251.08	281.62	287.15	276.17	283.94	299.05	288.32	298.38

Slika 4. Matrica rastojanja prevoznici – parcele.

Figure 4. Distance matrix carriers – parcels.

Formirane su jednačine modela, na osnovu cilja i ograničenja. Navedene jednačine su predate kao ulaz alatu MS Access LP Solver (Slika 5).



Slika 5. MS Access LP Solver.

Figure 5. MS Access LP Solver.

Klikom na dugme Solve model je obrađen, a rezultati obrade su prikazani sledećom slikom:

	Banatsko Višnjićevo	Elemir	Hetin	Jaša Tomić	Konak	Krajišnik	Sutjeska	Vojvoda Stepa Radojevo	Aleksandrovo	Toba	Banatsko Veliko Selo	Rusko Selo	Idoš		R
Barajevo	0	0	0	0	0	0	34	0	0	0	0	0	0		34
Bajkovic	0	0	345	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		345
Radoševo	54	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		54
Vajška	0	72	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		72
Cuiline	0	0	0	0	0	0	0	0	0	213	0	0	0		213
Lafinci	0	0	0	0	23	0	0	0	0	0	0	0	0		23
Bričevlje	0	0	0	0	0	0	0	0	0	76	0	0	0		76
Metkovine	0	0	0	0	0	0	128	0	0	0	0	0	0		128
Gospodinci	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	212	212
Uljma	0	0	0	0	0	76	0	0	0	0	0	0	0		76
Vukušica	0	0	0	0	45	0	0	0	0	0	0	0	0		45
Halovo	0	0	0	56	0	0	0	0	0	0	0	0	0		56
Lapovo	0	0	188	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		188
Pojste	0	0	0	0	0	0	0	0	0	218	0	0	0		218
Fiktivni	38	108	1267	80	24	4	38	180	320	413	480	60	360	52	3424
R	23	45	450	34	23	20	50	45	80	230	120	15	90	66	
Σ	92	180	1800	136	92	80	200	180	320	920	480	60	360	264	5164

SUM DISTANCE R1: 2260,11

Slika 6. Ukupna pređena kilometraža vozila po optimalnom algoritmu.
 Figure 6. Total mileage of the vehicle according to the optimal algorithm.

Optimalni rezultati dali su ukupno rastojanje (R1) u iznosu od 2260,1 km, po kojem su vozila raspoređena na odgovarajuće lokacije (u jednom smeru). Polja u matrici, sa slike 6, odgovaraju pomenutim varijablama x_{ij}.

Alternativni model je baziran na pristupu poznatom kao „pozitivna diskriminacija“. Uvažavanjem prvo najvećih prevoznika postiže se najmanji mogući negativni efekat na ukupne konačne rezultate. Propuštanjem identičnih ulaza kroz kreirani softver, uvažavajući dopunsko ograničenje da jedan prevoznik sve svoje resurse šalje na jednu lokaciju, dobijeni su sledeći rezultati.

Q Povezivanje

Sum Distance: 2359,27 km

Slika 7. Ukupna pređena kilometraža vozila po alternativnom algoritmu.
 Figure 7. Total vehicle mileage according to an alternative algorithm.

Prikazani rezultat je označen kao dovoljno dobro rešenje i daje ukupno rastojanje, sumu svih rastojanja koje su vozila prevoznika prešli u jednom smeru, u vrednosti od (R2) 2359,27 km. Optimalni rezultat daje ukupnu sumu rastojanja (R1) u iznosu od 2260,1 km. Alternativnim modelom je dobijena vrednost od (R2) 2359,27 km.

ΔR=R2-R1=99,16 km

ΔR/n=99,16/14=7,08 km

Slika 8. Razlika rezultata primene različitih algoritama.
 Figure 8. Difference in the results of applying different algorithms.

U prikazanom test slučaju, optimalno rešenje daje 99,16 km, kraći pređeni put u jednom smeru. U proseku, primenom prvog modela, prevoznici su prešli 7,08 km kraći put (pojedinačno) nego što je bio slučaj sa modelom koji je implementiran u prikazano softversko rešenje. Budući da se radi o malom odstupanju, implementirani model se zaista može smatrati dovoljno dobrim rešenjem za primenu u ovoj oblasti.

Posebno je značajno napomenuti da softversko rešenje veoma efikasno i efektivno procesira implementirani model.

ZAKLJUČCI

Tokom analize identifikovana su dva moguća pravca rešavanja problema rutiranja vozila autoprevoznika sa ciljem povećanja stepena iskorišćenosti njihov upotrebe u građevinskim radovima uz minimizaciju troškova transporta. U slučaju kada bi transport bio organizovan na način da su vozila nekog prevoznika raspoređena na više različitih lokacija, optimalno rešenje dobija se primenom Algoritma 1. Na taj način ostvaruju se najniži ukupni troškovi transporta do parcela.

Inače, kada je transport prepušten prevoznicima, koji još i nisu raspoloženi da distribuiraju vozila na više parcela, ne može se diskutovati o optimalnom već o dovoljno dobrom rešenju koje daje primena Algoritma 2. U tom slučaju polazi se od najvećih prevoznika, koji se upućuju na najbliže lokacije koje mogu da prime tovar koji odgovara nosivosti njihovih vozila. Proces se iterativno ponavlja sve dok ne bude uparen i najmanji prevoznik sa odgovarajućom parcelom.

LITERATURA

- Bekkerman, A. (2013). Going the Distance: Google Maps Capabilities in a Friendly SAS Environment. Retrieved May 13, 2021, from http://wuss.org/Proceedings13/100_Paper.pdf.
- Ghazali Z., Amin Abd Majid M., Shazwani M. (2012). Optimal Solution of Transportation Problem Using Linear Programming: A Case of a Malaysian Trading Company. *Journal of Applied Sciences*, 12, 2430-2435.
- Google map distance calculator. (12. May 2021). In *Google Map Developers*. http://www.mapdevelopers.com/distance_from_to.php.
- Khan M. A. (2014). Transportation Cost Optimization Using Linear Programming. In *Proceedings International Conference on Mechanical, Industrial and Energy Engineering*. Khulna, Bangladesh.
- Laporte G. (1992). The Vehicle Routing Problem: An overview of exact and approximate algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59, 345-358.
- Nanda Kumar S., Panneerselvam R. (2012). A Survey on the Vehicle Routing Problem and Its Variants. *Intelligent Information Management*, 4, 66-74.
- Otonkue A. D. O., Edu B. E., & Esang A. E. (2009, July 16). Linear Programming: A Practical Approach to Transportation Cost Problems. *SSRN Electronic Journal*. Retrieved May 12, 2021, from <https://ssrn.com/abstract=1434823>.
- Reeb J., & Leavengood S. (2002). Transportation Problem: A Special Case for Linear Programming Problems, *Operation Research, Oregon State University*, 1-35.
- Scribble mapps. (12. May 2021). Retrieved May 12, 2021, from <http://www.scribblemaps.com/tools/distance-calculator>.
- Tarantilis, C. D., Spinellis, D., & Gendreau, M. (2005). Guest Editors' Introduction: Advanced Heuristics in Transportation and Logistics. *IEEE Intelligent Systems*, 20(4), 16-18.
- You, P. S., Hsieh, Y. C., Chen, T. C., & Lee, Y. C. (2013). A Heuristic Approach for Assembly Scheduling and Transportation Problems with Parallel Machines. *I-Business*, 5(1B), 27.
- Zdeb, M. (2010). Driving distances and times using SAS® and Google Maps. In *Proceedings SAS Global Forum* (pp 1-8). Seattle, Washington.

NEW MATHEMATICAL MODEL FOR SOFTWARE SOLUTION OF MODIFIED TRANSPORTATION PROBLEM

Vladimir Milićević, Nemanja Zdravković, Jovana Jović

Metropolitan University Belgrade, Tadeuša Košćuška 63, 11 158 Belgrade, Serbia,
vladimir.milicevic@metropolitan.ac.rs

ABSTRACT

Modern software solutions are intensively used to reduce the costs of day-to-day operations of companies and organizations from various domains of industry and services. It is easy to see the benefits of using ICT (information - communication technology) on the transaction automation in banks, insurance companies, as well as other organizations that communicate directly with users of their products and services. On the other hand, companies that are not in direct focus may also require ICT support for lower costs, as well as, more efficient and effective results of their own business. The focus of the work will be on companies that deal with transportation services in a specific way. We are witnessing the current expansion of civil engineering in the territory of the Republic of Serbia and the aim is to provide a basis for developing a software solution that will allocate resources of different transportation companies (trucks) in an optimal way taking into account different optimization criteria: distance from base to target location, truck load capacity, amount of material transported) and etc. The paper will present a solution to this problem in the form of a specially adapted and modified mathematical model as a special version of the transport problem.

Keywords: model, software, solution, operational research, transportation.