



OPTIMIZACIJA IZBORA I ALOKACIJA GRAĐEVINSKE MEHANIZACIJE ZA ZEMLJANE RADOVE NA GRAĐEVINSKIM PROJEKTIMA

SELECTION OPTIMIZATION AND ALLOCATION OF EARTHMOVING EQUIPMENT ON CONSTRUCTION PROJECTS

MARKO DRAGOJEVIĆ¹, ABEL DURAN², NATAŠA PRAŠČEVIĆ³

¹ Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, markomionica@gmail.com, ²aduran@grf.bg.ac.rs, ³natasa@grf.bg.ac.rs

Rezime: Cilj ovog istraživanja je izbor i alokacija mehanizacije na građevinskim projektima. Sa ovim problemom često se susreću građevinske firme u praksi kada konkurišu za velike građevinske projekte. Optimizacija izbora i alokacija građevinskih mašina se postiže jasnim definisanjem funkcije cilja i odgovarajućih uslova ograničenja uz zadovoljenje preferencija donosioca odluke, u ovom slučaju investitora. Kako je osnovni cilj izbor građevinske mehanizacije koja će osigurati da će se razmatrani projekti izvesti u zahtevanom roku, a uz istovremeno zadovoljenje tehničko-tehnoloških zahteva i planiranog budžeta, za pronalazak optimalnog rešenja ovog problema primenjeno je fuzzy linearno programiranje u slučaju rasplinitosti same kriterijumske funkcije i koeficijenata uz ograničenja. Uzimanjem u obzir pet različitih projekata sa različitim količinama zemljanih radova kao i predloženi okvirni budžet postavljeni problem je rešen tako što su izabrana četiri bagera, dva utovarivača, osam kamiona kiperera, dva dozera i jedan skreper. Sa ovako definisanim kombinacijom ostvareni budžet iznosi dva miliona i trista-četrdeset hiljada evra, a stepen zadovoljenja zahteva je 0,7.

Gljučne reči: građevinska mehanizacija, izbor, alokacija, linearno programiranje, fuzzy broj.

Abstract: The aim of this research is selection and allocation of earthmoving equipment on construction projects. Construction companies often encounter this problem in practice when they bid for the large construction projects. Selection optimization and allocation of construction equipment is achieved by clearly defining the target function and all relevant conditions of restrictions, together with ensuring that interests of the decision-maker, in this case Employer, preferences are met. Bearing in mind that main objective during the process of selection of construction equipment is to ensure timely completion of all projects considered, while at the same time technical-technological requirements and planned budget are satisfied, in order to find an optimal solution to the aforementioned problem, fuzzy linear programming was applied in the case of the fuzzy criterion function itself and the coefficients with restrictions. Taking into account five different construction projects, all with different quantities of earthworks, as well as the proposed general budget, the problem was solved by selecting four excavators, two loaders, eight dump trucks, two bulldozers and one scraper. With aforementioned choice, the achieved budget amounts to two million and three hundred-forty thousand euros, with the level of satisfaction of the request is 0.7.

Keywords: construction equipment, selection, allocation, linear programming, fuzzy number.

1. UVOD

Izbor i alokacija građevinske mehanizacije na građevinskim projektima predstavlja jedan veoma kompleksan zadatak i izazov za građevinske inženjere. Prilikom ovog procesa neophodno je sagledati čitav niz zahteva i uslova ograničavajućih faktora, kao i jasno definisati cilj i rešenje učiniti ekonomičnim, produktivnim, efektivnim, efikasnim i sl.[6]

Izbor i alokacija mehanizacije koja je prikazana i dokazana u okviru ovog rada na konkretnom primeru iz prakse podrazumeva rešavanje problema nabavke optimalnog broja i vrste građevinskih mašina za više različitih građevinskih projekata, pri čemu je okvirno definisan raspoloživi budžet za realizaciju ovog zadatka. Građevinske firme se svakodnevno susreću sa ovakvim i sličnim problemima prilikom konkurisanja

za nove poslove, posebno kada se isti realizuju u inostranstvu i podrazumevaju realizaciju većeg broja projekata na datom tržištu. Kako se ukupna vrednost ponude jedne građevinske firme u slučaju obimnih zemljanih radova u velikoj meri zasniva na troškovima mehanizacije kvalitetno rešenje nabavke građevinskih mašina jeste jedan od preduslova za uspešno dobijanje posla i ostvarivanje profita.

Osnovna pitanja na koja treba odgovoriti su:

- Koju vrstu radova odnosno aktivnosti treba izvršiti?
- Koji je obim tih radova i koji je zahtevani vremenski rok?
- Koje vrste mašina to mogu uraditi?
- Koje mašine i kolikog kapaciteta treba angažovati?

Jasnim davanjem odgovora na prethodno navedena pitanja možemo biti sigurni da će se zadovoljiti unapred definisani parametri koji su u skladu sa zahtevima i potrebama investitora. Sa ovim problemom često se susrećemo u praksi. Po prirodi svaki građevinski projekat je unikatan i jedan ovakav problem nije moguće ručno rešiti. Iz tog razloga pribegava se automatizaciji ovog procesa, a efikasno rešenje se postiže primenom odgovarajuće metode, u ovom slučaju fuzzy linearnog programiranja.

Kako je čest problem inženjerima u praksi sa naučnog stanovišta objasniti značaj i praktičnu primenu jednog ovakvog modela, fuzzy linearno programiranje se nameće kao veoma logičan, a opet dovoljno tačan izbor, jer funkcija cilja i uslovi ograničenja predstavljaju pojmove koje lako mogu razumeti i oni koji nemaju dovoljno predznanja iz oblasti metoda optimizacije. Kompleksniji model bi definitivno naišao na otpor inženjera u praksi, posebno u slučaju kada model treba prilagoditi novom konkretnom problemu, a što nije slučaj sa metodom fuzzy linearnog programiranja.

2. POSTAVKA ZADATKA, ANALIZA KARAKTERISTIKA PROJEKATA I DEFINISANJE FUNKCIJE CILJA I USLOVA OGRANIČENJA

Građevinska firma je angažovana na realizaciji pet različitih tipova projekata. Jedan od posebnih zahteva i uslova koje je investitor postavio jeste i nabavka građevinske mehanizacije za zemljane radove. U okviru ovih radova predviđene su aktivnosti na iskopu, utovaru, transportu („u proseku 10 km“) i istovaru materijala na deponiju. Radovi na projektima se ne moraju izvoditi istovremeno. Za ovaj deo troškova predložen je okvirni iznos (BUDGET) od 2,2 do 2,4 miliona evra. Zadatak inženjera je da napravi plan nabavke mehanizacije u zavisnosti od raspoloživih sredstava i uslova ograničenja koji su nametnuti konkretnim uslovima na projektu. U nastavku je dat tabelarni prikaz podataka o projektima, vrstama i količinama radova koje je potrebno izvesti.

Tabela 1: Podaci o projektima

Oznaka projekta		P1	P2	P3	P4	P5	max Up,potr.	
Vrsta objekta		stambeni	poslovni	parking	podzemna	put - usek		
Dužina (a) [m ¹]		30	100	200	50	1000		
Širina (b) [m ¹]		30	70	100	40	10		
Površina (P) [m ²]		900	7000	20000	2000	10000		
Dubina iskopa (D) [m ¹]		5	10	1	20	2		
Zapremina (V) [m ³]		4500	70000	20000	40000	20000		
Trajanje radova (t) [dan]		20	150	30	100	60		
Dnevni rad (h) [h]		6	6	10	8	10		
Potreban učinak (Up,potr.)		37,5	77,8	66,7	50,0	33,3		
MAŠINE	1.	Bager	●	/	/	●	/	50,0
	2.	Utovarivač	/	●	●	/	●	77,8
	3.	Kiper	●	●	●	●	●	77,8
	4.	Dozer	/	●	/	/	●	77,8
	5.	Skreper	/	/	●	/	/	66,7

Funkcija cilja predstavlja iznos budžeta (B) tj. vrednost raspoloživih finansijskih sredstava za nabavku građevinske mehanizacije. Obzirom da je ovo okvirna vrednost, prilikom rešavanja problema biće razmatrana kao „fuzzy“ broj: [1]

$$B = C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3 + C_4 X_4 + C_5 X_5 \quad (1)$$

B – Planirani budžet za kupovinu mehanizacije („fuzzy“ broj)

C_i – Tržišne vrednosti građevinskih mašina

X_i – Broj građevinskih mašina koje treba nabaviti

Uslovi ograničenja su postavljeni po svim projektima posebno i obuhvataju učinke mašina koje su neophodne za obavljanje neophodnih radnih operacija. Svako od ovih ograničenja predstavlja uslov da praktični učinak svake od mašina bude veći ili jednak od potrebnog učinka za odgovarajući projekat.

$$\text{Projekat 1} \quad U_p^{BAG.} \cdot X_1 \geq U_{p,1}^{potr.} ; U_p^{KIP.} \cdot X_3 \geq U_{p,1}^{potr.} \quad (2)$$

$$\text{Projekat 2} \quad U_p^{UTOV.} \cdot X_2 \geq U_{p,2}^{potr.} ; U_p^{KIP.} \cdot X_3 \geq U_{p,2}^{potr.} ; U_p^{DOZ.} \cdot X_4 \geq U_{p,2}^{potr.} \quad (3)$$

$$\text{Projekat 3} \quad U_p^{UTOV.} \cdot X_2 \geq U_{p,3}^{potr.} ; U_p^{KIP.} \cdot X_3 \geq U_{p,3}^{potr.} ; U_p^{SKR.} \cdot X_5 \geq U_{p,3}^{potr.} \quad (4)$$

$$\text{Projekat 4} \quad U_p^{BAG.} \cdot X_1 \geq U_{p,4}^{potr.} ; U_p^{KIP.} \cdot X_3 \geq U_{p,4}^{potr.} \quad (5)$$

$$\text{Projekat 5} \quad U_p^{UTOV.} \cdot X_2 \geq U_{p,5}^{potr.} ; U_p^{KIP.} \cdot X_3 \geq U_{p,5}^{potr.} ; U_p^{DOZ.} \cdot X_4 \geq U_{p,5}^{potr.} \quad (6)$$

3. ULAZNI PARAMETRI GRAĐEVINSKIH MAŠINA

U tabeli 2 prikazani su sledeći podaci o mašinama: vrsta mašine, proizvođač i oznaka mašine, kapacitet radnog organa, tržišna vrednost, snaga motora i proračunati praktični učinci.[2][5] Prilikom izbora mašina treba voditi računa i o drugim uslovima ograničenja, a pre svega o odnosu dimenzija mašine i veličine gradilišta, mogućnosti manevrisanja, opterećenja na tlo itd.

Tabela 2: Podaci o mašinama

R.Br.	Vrsta masine	Proizvođač i oznaka	Radni organ [m ³ , m ¹ ,...]	Tržišna vrednost [€]	Snaga motora [kW]	Praktični učinak [m ³ /h]
1	Bager	CAT M322D	0,86	220.000	129	37,70
2	Utovarivač	CAT 924HZ	1,5	80.000	96	49,37
3	Kamion Kiper	VOLVO FH 12	15,0	85.000	309	10,20
4	Dozer	CAT D3K	1,61	135.000	75	41,73
5	Skreper	CAT 613	8,4	350.000	112	72,96

4. FAZIFIKACIJA PARAMETARA I DEFINISANJE MATEMATIČKOG MODELA

Finansijska sredstva koja stoje na raspolaganju za nabavku mašina data su kao okvirni iznos, a koji se može predstaviti u obliku fuzzy trouglastog broja $B = (b_l, b_m, b_r)$. Kako u formulama za proračun praktičnih

učinaka mašina figurišu koeficijenti koji su procenjeni, prema tome i praktične učinke možemo predstaviti fuzzy trouglastim brojevima $U_p^X = (u_l^x, u_m^x, u_r^x)$.

Tabela 3: Podaci o mašinama

„fuzzy“	B	$U_p^{BAG.}$	$U_p^{UTOV.}$	$U_p^{KIP.}$	$U_p^{DOZ.}$	$U_p^{SKR.}$
LEFT (80%) $b_l(u_l^*)$	2.200.000,00	30,16	39,50	8,16	33,38	58,37
MIDDLE (100%) $b_m(u_m^*)$	/	37,70	49,37	10,20	41,73	72,96
RIGHT (110%) $b_r(u_r^*)$	2.400.000,00	41,47	54,31	11,22	45,90	80,26
k_i	/	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8

Nakon sređivanja matematičkih izraza, a prema literaturi [1], dolazi se do sledećeg modela:

$$\max F = h \quad (7)$$

$$C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3 + C_4 X_4 + C_5 X_5 \geq b_l + h(b_r - b_l) \quad (8)$$

$$C_1 X_1 + C_2 X_2 + C_3 X_3 + C_4 X_4 + C_5 X_5 \leq b_r + h(b_r - b_l) \quad (9)$$

$$U_p^{BAG.} * X_1 \geq \max_{BAG.} (U_{p,i}^{potr.}) \quad (10)$$

$$U_p^{UTOV.} * X_2 \geq \max_{UTOV.} (U_{p,i}^{potr.}) \quad (11)$$

$$U_p^{KIP.} * X_3 \geq \max_{KIP.} (U_{p,i}^{potr.}) \quad (12)$$

$$U_p^{DOZ.} * X_4 \geq \max_{DOZ.} (U_{p,i}^{potr.}) \quad (13)$$

$$U_p^{SKR.} * X_5 \geq \max_{SKR.} (U_{p,i}^{potr.}) \quad (14)$$

Opšti izvedeni fazifikovani oblik za jednačine (10) do (14) glasi:

$$u_m^x X_i + (1 - k_i)(u_r^x X_i - u_m^x X_i) \geq \max_x (U_{p,i}^{potr.}) \quad (15)$$

4. REŠENJE I DISKUSIJA

Nivo zadovoljenja k_i u vezi sa učincima građevinskih mašina treba prethodno zadati, a stepen zadovoljenja investitorovog zahteva h treba maksimizovati.

Nakon ubacivanja odgovarajućih koeficijenata u izraze (7-9) i (15) dobijamo sledeće:

$$\max F = h \quad (16)$$

$$220.000 X_1 + 80.000 X_2 + 85.000 X_3 + 135.000 X_4 + 350.000 X_5 - 600.000 h \geq 2.200.000 \quad (17)$$

$$220.000 X_1 + 80.000 X_2 + 85.000 X_3 + 135.000 X_4 + 350.000 X_5 - 600.000 h \leq 2.400.000 \quad (18)$$

$$X_1 \geq 1,30 ; X_2 \geq 1,54 ; X_3 \geq 7,48 ; X_4 \geq 1,83 ; X_5 \geq 0,90 \quad (19)$$

Rešenje ovog problema dobijeno je definisanjem programa u okviru programskog jezika „MATLAB“ definisanjem parametara funkcije *intlinprog*: [3]

$$X_1 = 4 ; X_2 = 2 ; X_3 = 8 ; X_4 = 2 ; X_5 = 1 \quad (20)$$

$$\max F = h = 0,700 [-] \quad (21)$$

$$BUDGET = 2.340.000,00 [€] \quad (22)$$

Kao što se može videti iz budžeta koji je dobijen, isti zadovoljava unapred postavljene uslove ograničenja od strane investitora i time se može zaključiti da je razmatranje funkcije cilja kao fuzzy broja u potpunosti opravdano. U slučaju da je investitor fiksirao maksimalni iznos finansijskih sredstava koja inženjeru stoje na raspolaganju za nabavku građevinske mehanizacije onda bi bilo potrebno i funkciju cilja posmatrati na drugačiji način, odnosno metoda fuzzy broja koja je pogodna kada su u pitanju rasponi dozvoljenih vrednosti ne bi bila adekvatna.

Još jedan sličan problem sa kojim se inženjeri u praksi mogu susresti jeste da budžet nije uopšte predmet razmatranja, već je neophodno da inženjer na osnovu raspoložive mehanizacije koju firma već poseduje treba da izabere onu kombinaciju koja će na optimalan način zadovoljiti potrebe više građevinskih projekata. U slučaju takvog problema jedan od načina za njegovo rešavanje bila bi i primena linearnog programiranja.

5. ZAKLJUČAK

Uzimanjem u obzir pet različitih projekata sa različitim količinama zemljanih radova kao i predloženi okvirni budžet postavljeni problem je rešen tako što su izabrana četiri bagera, dva utovarivača, osam kamiona kipera, dva dozera i jedan skreper. Sa ovako definiisanom kombinacijom ostvareni budžet iznosi dva miliona i tristačetdeset hiljada evra, a stepen zadovoljenja zahteva je 0,7.

Jedan ovakav model sa sobom povlači niz slučajnih veličina koje treba unapred proceniti tako da se ostvarene vrednosti mogu značajno razlikovati. Preporuka je da se model permanentno popravljaju tako što se uvidom u realno stanje na terenu i merenjem vrednosti parametri modela mogu preciznije odrediti. Najosetljiviji među njima su oni koji utiču na ostvareni učinak mašine, a to su konkretni uslovi na terenu i u tlu i pouzdanost rada mašine.

Prednost jednog ovakvog rešenja jeste u tome što inženjerima u praksi daje mogućnost da probleme koje bi bilo nemoguće ručno rešiti automatizuju i reše iste u opštem obliku pri čemu se za svaki sledeći konkretan problem jednostavnom zamenom vrednosti ulaznih parametara dolazi do optimalnog rešenja i na taj način ostvaruju uštede i štite interesi svih učesnika na projektu.

Osnovno ograničenje jednog ovakvog modela jeste što ne razmatra slučaj kada se svi navedeni projekti realizuju paralelno, na međusobno bliskim lokacijama, odnosno mogućnost razmene i kombinacije mašina između navedenih projekata. Kako se i ovakav slučaj često dešava u praksi logičan put za nastavak

istraživanja i proširivanje modela jeste razmatranje slučaja paralelnog odvijanja više međusobno sličnih građevinskih projekata i mogućnost korišćenja jedne iste građevinske mašine na više projekata, po potrebi.

Takođe, jedan od mogućih pravaca za buduća istraživanja jeste i poređenje efikasnosti i tačnosti rešenja primenom ove metode i drugih metoda, kao i analiza i komentarisanje rezultata primene ovakvog pristupa od strane inženjera u praksi, kao i implementacija njihovih primedbi i sugestija i pronalaženje jednog univerzalnog modela koji bi doprineo ekonomičnijoj realizaciji projekata.

6. ZAHVALNICA

Autori se zahvaljuju Ministarstvu prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije na finansijskoj podršci kroz projekte III 47014 i TR - 36038.

LITERATURA

- [1] Dušan Teodorović, Shinya Kikuchi (1994). FUZZY skupovi i primene u saobraćaju. Saobraćajni fakultet Univerziteta u Beogradu. YUIISBN 86-80897-42-6
- [2] gramak.com/, preuzeto 18. maj 2019
- [3] Nikola Klem, Miloš Kovačević, Nataša Praščević, Đorđe Nedeljković (2010). Osnove programiranja u MATLAB-u. Građevinska knjiga. ISBN 978-86-395-0609-4
- [4] Slobodan Mirković (2005). Građevinska mehanizacija. Građevinska knjiga. ISBN 86-395-0434-2
- [5] <https://www.machineryzone.rs/>, preuzeto 23.05.2019.
- [6] Živojin Praščević (1992). Organizacija građenja. Zavod za udžbenike. ISBN 86-17-022-57-4