Izbor optimalne građevinske mehanizacije za izvođenje zemljanih radova

Vladimir Mandić^{1*}, Saša Marinković¹, Jovana Bojković¹

¹Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu Univerzitet u Kragujevcu, Kraljevo (Srbija)

Na primeru izgradnje jedne pristupne saobraćajnice prikazan je izbor optimalne varijante građevinske mehanizacije za izvođenje zemljanih radova. Izbor između mogućih varijanti je izvršen metodom višekriterijumske optimizacije Promethee. Vrednovanje varijanti je izvršeno preko više kriterijuma (broj mašina, cena, vreme, rezerva mašina, praktični učinak, broj radnika, cena efektivnog radnog sata.), pri čemu je razmatran uticaj svakog kriterijuma na konačno rangiranje alternativa. Upoređivanjem dva scenarija (sa različitim relativnim težinama kriterijuma) u modelu višekriterijumske optimizacije određeno je optimalno rešenje. U radu su izneti zaključci o uticaju pojedinih kriterijuma na konačno rangiranje alternativa.

Keywords: Višekriterijumska optimizacija, Promethee, građevinska mehanizacija

1. UVOD

U ovom radu pažnja je usmerena na rešavanje višekriterijumskog problema koji pre svega zahteva definisanje sistema kriterijuma, a zatim definisanje njihovog relativnog značaja pre konačnog rangiranja. Proces izbora optimalne koncepcije nekog sistema je multidisciplinarni i zahteva sveobuhvatan proces [1]. Određivanje optimalnog rešenja predstavlja problem odlučivanja prilikom izbora jedne od mogućih alternativa vrednovanih preko definisanih kriterijuma. Za donošenje dobrih odluka nisu dovoljne samo pouzdane podloge već i odgovarajuća naučno zasnovana metodološka podrška [2,7].

Uzimanjem u obzir velikog broja uticaja preko više kriterijuma vrednovanja alternativa dolazi se do izbora najbolje, odnosno optimalne alternative [3,8]. Optimalno rešenje predstavlja alternativu koja daje maksimalne vrednosti kriterijumskih funkcija po svim kriterijumima uz zadovoljenje svih zadatih ograničenja [4,6].

2. METODE I MATERIJALI

Optimalno rešenje razmatranog problema određeno je pomoću metode višekriterijumske analize pod nazivom PROMETHEE. Metod PROMETHEE (eng. Preference Ranking Organization METHods of Enrichment Evaluation) rešava problem višekriterijumskog rangiranja mogućih alternativa pomoću predefinisanih kriterijumskih funkcija vrednovanja [9, 10].

Na osnovu određenih alternativa i definisanih kriterijumskih funkcija za svaki kriterijum, metodom PROMETHEE, se određuje funkcija preferencije za svaki par alternativa. Uključivanjem težinskog koeficijenta u ovaj model omogućuje se dodeljivanje značaja (ili težine) nekom kriterijumu vrednovanja u odnosu na neki drugi. Ovo je veoma bitna osobina ove metode jer omogućuje da se analiziraju iste alternative pomoću istih kriterijuma ali

pri različitim značajima (težinama) tih kriterijuma [11]. Na osnovu određenih vrednosti indeksa preferencije za svaki par alternativa, metodom PROMETHEE se određuju vrednosti pozitivnog (izlaznog) i negativnog (ulaznog) toka indeksa preferencije za svaku alternativu. Pomoću pozitivnog i negativnog toka indeksa preferencije za svaku alternativu, moguće je izvršiti delimično rangiranje alternativa, odnosno moguće je odrediti koje alternative su međusobno uporedive, a koje ne [13,14]. Metodom PROMETHEE moguće je izvršiti i konačno rangiranje razmatranih alternativa pomoću funkcije „čistog” ili neto toka indeksa preferencije [12]. Na ovaj način donosiocu odluke je ponuđeno optimalno rešenje prema parametrima unetim u model višekriterijumske analize [5,6].

Materijal za sve analize u ovom radu je preuzet iz stručnog rada (Božović Ž., 2016) [15] i projektne dokumentacije (Saobraćajni institut CIP, 2010).

3. MODEL VIŠEKITERIJUMSKE OPTIMIZACIJE

Modelom višekriterijumske optimizacije potrebno je odrediti optimalni varijantu građevinske mehanizacije za izgradnju završnih slojeva kolovozne konstrukcije na objektu saobraćajnice „Severna tangenta – LOT 5”. PROMETHEE metodom višekriterijumske optimizacije potrebno je odrediti optimalnu varijantu mehanizacije za izvođenje građevinskih radova na opisanoj trasi puta. Modelom je vršen izbor između tri raspoložive varijante građevinske mehanizacije za ove radove.

U narednoj tabeli su prikazane moguće varijante građevinske mehanizacije:

Tabela 1: Moguće varijante građevinske mehanizacije za izvođenje zemljanih radova na izgradnji puta

Var.	Građevinska mehanizacija	Br.
V1	1. Asfaltna baza MARINI 200t	1
	2. Kamion kiper Man DFK	16
	3. Finišer VOLVO ABG 5820	1
	4. Vibro valjak DYNAPAC CC122	2
	5. Vibro valjak BOMAG 190 AD-4 HF	1
	6. Vibro valjak BOMAG BW 284 AD	1
V2	1. Asfaltna baza MARINI 200t	1
	2. Kamion kiper Man DFK	16
	3. Finišer VOGELE SUPER 1800	1
	4. Finišer VOGELE SUPER 2100	1
	5. Vibro valjak DYNAPAC CC122	2
	6. Vibro valjak BOMAG 190 AD-4 HF	1
	7. Vibro valjak BOMAG BW 284 AD	1
V3	1. Asfaltna baza MARINI 200t	1
	2. Kamion kiper Man DFK	5
	3. Bager Takeuchi TB145	1
	4. Finišer VOGELE SUPER 800-3i	1
	5. Vibro valjak BOMAG BW 900-50	3

Vrednovanje mogućih varijantnih rešenja izvršeno je formiranjem modela višekriterijumske optimizacije prema metodi PROMETHEE. Prema raspoloživim podacima formirano je sedam kriterijuma za vrednovanje

varijantnih rešenja. U narednoj tabeli su prikazani usvojeni kriterijumi vrednovanja varijantnih rešenja sa vrednostima kriterijuma za svaki parametar, da li se kriterijum maksimizira ili minimizira i jedinice u kojima su izražene vrednosti parametara za svaki kriterijum.

Kriterijum C1. Broj mašina je određen prebrojavanjem ukupnog broja angažovanih mašina po varijantnim rešenjima. Kriterijum C2. Broj radnika je određen na osnovu potrebnog broja ljudi za upravljanje i opsluživanje izabrane mehanizacije.

Kriterijum C3. Praktični učinak je određen kao minimalni praktični učinak pojedine vrste mašina za svaku varijantu izbora mehanizacije. Dok je kriterijum C4. Cena efektivnog radnog časa određen za svako varijantno rešenje kao suma troškova podeljena sa praktičnim učinkom.

Kriterijum C5. Rezerva mašina je određen kao količnik maksimalnog i minimalnog praktičnog učinka, koji pokazuje koliko bi teorijski mogla da se poveća efikasnost, odnosno kolika je razarva u mehanizaciji. Kriterijumom C6. Vreme završetka radova je vrednovano potrebno vreme za završetak zadatog projekta. Kriterijumom C7. Ukupna cena je vrednovana ukupna cena koštanja izvođenja razmatrane trase puta.

Tabela 2: Ulazni podaci za višekriterijumsku optimizaciju

Vrednovanje varijanti			Varijante		
Kriterijumi	Jedinice	max/min	V1	V2	V3
C1. Broj mašina	broj	max	22	23	11
C2. Broj radnika	broj	min	29	32	19
C3. Praktični učinak	m ³ /h	max	54.19	55.20	25.20
C4. Cena efektivnog radnog časa	eur/h	min	2669.83	2814.29	2379.87
C5. Rezerva mašina	/	max	9.810	10.130	4.865
C6. Vreme završetka radova	dani	min	527	509	568
C7. Ukupna cena	mil.eur	min	16.884	17.189	16.221

Na sledećoj slici prikazan je model višekriterijumske analize formiran u softveru Visual Promethe 1.4.

Na ovako formiranom modelu višekriterijumske optimizacije za svako od tri varijantna rešenja razmatrano je koji kriterijumi utiču na prednosti pozitivnog (izlaznog) toka funkcije preferencije, a koji kriterijumi utiču na vrednosti negativnog (ulaznog) toka funkcije preferencije.

Na slici broj 2 je prikazan dijagram uticaja pojedinih kriterijuma na vrednosti toka funkcije preferencije za sva tri varijantna rešenja.

Na slici broj 2 sa gornje strane ose 0-0 su navedeni nazivi kriterijuma koji formiraju vrednost pozitivnog (izlaznog) toka funkcije preferencije, a sa donje strane ose 0-0 su nabrojani nazivi kriterijuma koji daju vrednosti negativnog (ulaznog) toka funkcije preferencije za sva tri varijantna rešenja.

Scenario1	Num.Mash.	Numb.Peop.	Prac.Effect	Price EWH	Mach.Reserve	Time	Total Cost
Unit	Number	Number	m3/h	eur/h	/	Days	mil. e
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences							
Min/Max	max	min	max	min	max	min	min
Weight	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Preference Fn.	V-shape	V-shape	Linear	V-shape	Linear	V-shape	V-shape
Thresholds	percentage	percentage	percentage	percentage	absolute	absolute	percentage
- Q: Indifference	n/a	n/a	0,03	n/a	2,259	n/a	n/a
- P: Preference	13	13	0,25	0,25	5,769	0	0,25
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics							
Minimum	11	19	25,20	2379,87	4,865	509	16,221 mil. €
Maximum	23	32	55,20	2814,29	10,130	568	17,189 mil. €
Average	19	27	44,86	2621,33	8,268	535	16,765 mil. €
Standard Dev.	5	6	13,91	180,64	2,410	25	0,404 mil. €
Evaluations							
☒ V1	22	29	54,19	2669,83	9,810	527	16,884 mil. €
☒ V2	23	32	55,20	2814,29	10,130	509	17,189 mil. €
☒ V3	11	19	25,20	2379,87	4,865	568	16,221 mil. €

Slika 1: Model višekriterijumske optimizacije u softveru Visula Promethee 1.4.

Kao što se može videti sa prethodne slike za varijantno rešenja V1 vrednosti pozitivnog (izlaznog) toka funkcije preferencije daju kriterijumi: C3. Praktični učinak, C5. Rezerva mašina, C1. Broj mašina i C6. Vreme završetka radova, a vrednosti negativnog (ulaznog) toka funkcije preferencije za ovo varijantno rešenje daju kriterijumi: C2. Broj radnika, C7. Ukupna cena i C4. Cena efektivnog radnog časa.

Za varijantno rešenje V2 vrednosti pozitivnog (izlaznog) toka funkcije preferencije daju kriterijumi: C6. Vreme završetka radova, C3. Praktični učinak, C5. Rezerva mašina, C1. Broj mašina, a vrednosti negativnog

(ulaznog) toka funkcije preferencije za ovo varijantno rešenje daju kriterijumi: C2. Broj radnika, C7. Ukupna cena i C4. Cena efektivnog radnog časa.

Za varijantno rešenje V3 vrednosti pozitivnog (izlaznog) toka funkcije preferencije daju kriterijumi: C4. Cena efektivnog radnog časa, C3. Praktični učinak, C7. Ukupna cena, C2. Broj radnika, a vrednosti negativnog (ulaznog) toka funkcije preferencije za ovo varijantno rešenje daju kriterijumi: C1. Broj mašina, C5. Rezerva mašina, C3. Praktični učinak i C6. Vreme završetka radova.

Slika 2: Dijagram uticaja pojedinih kriterijuma na vrednosti toka funkcije preferencije

4. REZULTATI

Na osnovu analize osetljivosti modela na uticaj pojedinih kriterijuma, formirana su dva scenarija za proračun optimalnog rešenja:

Scenario S1 – svi kriterijumi imaju iste relativne težine

Prema ovom scenariju svi kriterijumi imaju jednak relativni značaj (težine) za izbor optimalnog rešenja. Na osnovu ovako postavljenog modela za scenario S1 dobijeni su rezultati su prikazani na slici 3.

Na gornjem delu slike 3 je prikazan dijagram poređenja varijantnih rešenja prema funkciji čistog ili „neto“ toka metode PROMETHEE II za scenario S1, dok je na donjem delu slike 3 prikazano da svi kriterijumi za scenario S1 imaju iste težinske koeficijente.

Slika 3: Scenario S1 rezultati

Slika 4: Scenario S2 rezultati

Scenario S2 – različite relativne težine kriterijuma

Ovim scenarijom se želi pokazati kakvo rešenje će se dobiti ako se nekom kriterijumima povećaju vrednosti relativnih težina. Na osnovu analize osetljivosti povećane su vrednosti relativnih težina za kriterijume: C4. Cena efektivnog radnog časa i C7. Ukupna cena.

Na osnovu ovako postavljenog modela za scenario S2 dobijeni su rezultati su prikazani na slici 4. Na gornjem delu slike 4 je prikazan dijagram poređenja varijantnih rešenja prema funkciji čistog ili „neto“ toka metode PROMETHEE II za scenario S2, dok je na donjem delu slike 4 prikazan raspored težinskih koeficijenata po kriterijumima, gde se vidi da kriterijumi, C4. cena efektivnog radnog časa i C7. Ukupna cena, učestvuju sa po 27%, dok ostali kriterijumi učestvuju sa po 9%, učešća u ukupnoj vrednosti sume težinskih kriterijuma.

Sa prethodnih slika se vidi da za scenario S1, prema kome svi kriterijumi imaju iste vrednosti relativnih težina, kao optimalno rešenje razmatranog problema dobija se varijanta V2 građevinske mehanizacije.

Za scenario S2, prema kome kriterijumi C4. Cena efektivnog radnog časa i C7. Ukupna cena imaju veće vrednosti relativnih težina u odnosu na ostale kriterijume vrednovanja, kao optimalno rešenje razmatranog problema dobija se varijanta V1 građevinske mehanizacije.

Postavlja se pitanje: „Koje rešenje treba usvojiti?”

5. DISKUSIJA REZULTATA

Iako metoda PROMETHEE II višekriterijumske optimizacije daje konačno rangiranje razmatranih alternativa na osnovu funkcije „neto” toka funkcije preferencije, potrebno je primeniti i metod PROMETHEE I višekriterijumske optimizacije, koja daje delimično rangiranje razmatranih alternativa i mogućnost za analizu međusobne uporedivosti alternativa.

Za scenario S1 grafički prikaz rezultata metode PROMETHEE I dat je na sledećoj slici.

Slika 5: Rezultati metode PROMETHEE I za scenario S1

Na slici 5 su na kosim osama nanete vrednosti pozitivnog i negativnog toka funkcije preferencije, a presečne tačke odgovaraju vrednosti neto toka funkcije preferencije.

Sa slike 5 se vidi da se vrednosti pozitivnog i negativnog toka za sva tri varijantna rešenja međusobno ne presecaju, iz čega se zaključuje da su sva tri varijantna rešenja međusobno uporediva.

Za scenario S2 grafički prikaz rezultata metode PROMETHEE I dat je na slici 6.

Sa slike 6 se vidi da se vrednosti pozitivnog i negativnog toka za sva tri varijantna rešenja međusobno presecaju, iz čega se zaključuje da su sva tri varijantna rešenja međusobno neuporediva.

Za razumevanje ovako dobijenih rezultata potrebno je vratiti se na analizu osetljivosti modela i sada za scenario S2 proveriti zašto je povećanje relativnih težina ova dva kriterijuma dovelo do toga da varijantna rešenja prema ovom scenariju postanu međusobno neuporediva.

Na slici 7 je prikazana promena vrednosti pozitivnog i negativnog toka funkcije preferencije za sva tri varijantna rešenja u odnosu na promenu relativne težine kriterijuma C4. Cena efektivnog radnog časa. Na slici 7 je obeležena vrednost relativne težine ovog kriterijuma od 27% za scenario S2.

Slika 6: Rezultati metode PROMETHEE I za scenario S2

Na slici 8 je prikazana promena vrednosti pozitivnog i negativnog toka funkcije preferencije za sva tri varijantna rešenja u odnosu na promenu relativne težine kriterijuma C7. Ukupna cena. Na slici 8 je obeležena vrednost relativne težine ovog kriterijuma od 27% za scenario S2.

Analizom osetljivosti su kriterijumi C4. Cena efektivnog radnog časa i C7. Ukupna cena određeni kao kriterijumi koji mogu povećati vrednost neto toka funkcije preferencije za varijantu V1 i smanjiti vrednost neto toka funkcije preferencije za varijantu V2.

Sa slike 7 i 8 se vidi da usvojene vrednosti težinskih koeficijenata za kriterijume C4. Cena efektivnog radnog časa i C7. Ukupna cena od 27% dovode do toga da varijantna rešenja postanu međusobno neuporediva.

Slika 7: Uticaj promene relativne težine na kriterijum C4.

Slika 8: Uticaj promene relativne težine na kriterijum C7

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu je analiziran uticaj na stabilnost višekriterijumskog modela povećanje vrednosti relativnih težina kriterijuma C4. Cena efektivnog radnog časa i C7. Ukupna cena, prema scenariju S2. Prikazano je da model za scenario S2 ne daje dobre rezultate jer je utvrđeno da su varijantna rešenja međusobno neuporediva. Za razmatrani problem optimalno rešenje predstavlja izbor građevinske mehanizacije V2 prema scenariju S1 sa jednakom vrednostima težinskih koeficijenata za sve kriterijume.

Najveći problem metoda višekriterijumske optimizacije se ogleda u velikoj količini subjektivnosti u odlučivanju, kako u fazi izbora varijanti i kriterijuma, tako i u fazi određivanja relativnih težina kriterijuma.

Povećanje relativnih težina kriterijuma u višekriterijumskoj analizi može dovesti do toga da varijantna rešenja postanu međusobno neuporediva, kao što je prikazano za scenario S2.

Kada se javi potreba za povećavanjem relativnih težina određenih koeficijenata potrebno je uraditi analizu osetljivosti modela na povećanje relativnih težina

kriterijuma, kao i primenu metoda Promethee I koji će pokazati da li su varijantna rešenja međusobno uporediva.

Otklanjanje uticaja subjektivnosti u procesu višekriterijumske optimizacije, formiranjem algoritama i analiza za određivanje vrednosti relativnih težina pojedinih kriterijuma vrednovanja, ostaje kao tema za buduća istraživanja

REFERENCE

- [1] G. Marković, "Model regionalne logistike transportnim sistemima", Doktorska disertacija, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu (2014.)
- [2] I. Hot, "Upravljanje izradom generalnih projekata u oblasti infrastrukture primenom višekriterijumske analiza", Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu Fakultet tehničkih nauka, (2014.)
- [3] S. Opricović, "Višekriterijumska optimizacija sistema u građevinarstvu", Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, (1998.)
- [4] G. Miodragović, R. Bulatović, S. Ivanović, M. Bošković, "Primena biološki inspirisanih algoritama za optimizaciju parametara obrade", IMK-14, Vol.21(3), (2015.)
- [5] Z. Bogićević, A. Pejčev, G. Marković, "Izbor opreme za rukovanje materijalom primenom integrisanog Fuzzy AHP i VIKOR metoda", IMK-14, Vol.21(3), (2015.)
- [6] V. Tomić, Z. Marinković, D. Marković, "Primena TOPSIS metode kod rešavanja lokacijskih problema, slučaj zapadna Srbija", IMK-14, Vol.20(3), (2014.)
- [7] M. Popović, R. Slavković, P. Perišić, "Procena vrednosti mehanizacije primenom komparativnog pristupa", IMK-14, Vol.20(3), (2014.)
- [8] V. Grković, R. Bulatović, "Modifikovani algoritam kolonije mrava za rešavanje inženjerskih optimizacionih problema", IMK-14, Vol.18(4), (2012.)
- [9] Brans, J.P., Mareschal, B., PROMETHEE: A new family of outranking methods in multicriteria analysis, Operational Research IFORS 84, (1984.)
- [10] Brans, J.P., Mareschal, B., PROMETHEE: A new family of outranking methods in multicriteria analysis, Operational Research IFORS 84, (1984.)
- [11] Brans, J. P.; Vincke, P. H. A preference ranking organization method: The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision Making. Management Science. 31, 6 (1985.)
- [12] Brans J.-P., Mareschal B., Chapter V: Promethee Methods, Book: Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys, Book Part III, pp 163-186, (2005.)
- [13] VPSolutions Ltd., Visual PROMETHEE 1.4 Manual URL: <http://www.prometheegaia.net/files/VPManual.pdf>
- [14] Ž.Božović, "Stručni rad", Inženjerska Komora Srbije, (2016.)

Multi-criteria Selection of Optimal Mechanization for Road Construction

Vladimir Mandić^{1*}, Saša Marinković¹, Jovana Bojković¹

¹Faculty of mechanical and civil engineering in Kraljevo, University of Kragujevac, Kraljevo (Serbia)

The selection of optimal solution for road construction mechanization has been presented on the case of access road construction. For selection between possible alternatives the Promethee method of multicriteria decision analysis has been used. The alternatives were evaluated through the several criteria (number of mashinery, total cost, time, mashinery reserve, practice effect, number of people, price of effective working hour) and the impact of each criteria on the final ranking of alternatives has been analyzed. The optimal solution was determined by comparing the two differend scenarios (with different relative weights for criterias) in the multicriteria decision analysis model. Conclusions on each criteria influence on final ranking were presented in this paper.

Keywords: Multicriteria decision analysis (MCDA), Promethee, relative weights

1. INTRODUCTION

In this paper, attention was given on solving the multicriteria problems wich primarily requires the definition of a system of criteria, and then defining relative importance of criteria before the final ranking. The selection process of the systems optimal concept is multidisciplinary and requires a comprehensive approach [1]. Determination of the optimal solution is a decision-making problem, when selection of one of the possible alternatives was evaluated through many different criteria. For good decision making, reliable basic data are not enough, adequate and a scientifically based methodological support are required [2,7].

Having in consideration the large number of influences through several criteria evaluation of alternatives, leads to the selection of the best or the optimal alternative [3,8]. The optimal solution is an alternative that provides maximum value of criterion function according to all criteria, while satisfying all given limitations [4,6].

2. METHODS AND MATERIALS

The optimal solution of the considered problem was determined using a multi-criteria analysis method called PROMETHEE. Method PROMETHEE (eng. Preference Ranging Organization Methods of Evaluation Enrichment) solves the problem of multiple criteria ranging of possible alternatives using the predefined functions of criteria evaluation [9, 10].

Based on the specified alternatives and defined criteria functions for each criterion, the method PROMETHEE, determines the preference function for each pair of alternatives. The inclusion of weight coefficient in this model allows the assignment of importance (or the relative weight) of certain evaluation

criteria in comparison to another criteria. This is a very important characteristic of this method because it allows to analyze the same alternatives using the same criteria but with different importance (relative weights) of these criteria [11]. Based on the determined values of the preference index for each pair of alternatives, the PROMETHEE method determines the value of positive (output) and negative (input) preference index flow for each alternative. Using the positive and negative preference index flow for each alternative, it is possible to make a partial ranking of alternatives, and it is possible to determine which alternatives are mutually comparable, and which are not [13,14]. With PROMETHEE method it is possible to do the final ranking of considered alternatives using the function of "pure" or the netto preference index flow [12]. The multi-criteria model is offering the optimal solution according to the parameters entered into the model of multi-criteria analysis to the decision maker[5,6].

Materials for all analysis in this paper were taken from experts work (Božović Ž.) [15] and project documentation (Saobraćajni institut CIP, 2010).

3. MDCA MODEL

Multicriteria optimization model has been used to determine the optimal variant of the road construction mehanization for building final pavement layers on the road building "Severna tangenta - LOT 5 ". The PROMETHEE multi-criteria optimization method has been used to determine the optimal variant of the road construction mehanization for construction works on the described road route. The created model was used to choose among three available variants of the road construction mehanization for road building.

The following table shows the possible variants of the road construction mehanization:

*Corresponding author: Dositejeva 19, 36000 Kraljevo,mandic.v@mfkv.kg.ac.rs

Table 1: Possible alternatives of road construction mechanization

Var.	Road construction mechanization	No.
V1	1. Asphalt base MARINI 200t	1
	2. Dumper truck Man DFK	16
	3. Asphalt paver VOLVO ABG 5820	1
	4. Vibro roller DYNAPAC CC122	2
	5. Vibro roller BOMAG 190 AD-4 HF	1
	6. Vibro roller BOMAG BW 284 AD	1
V2	1. Asphalt base MARINI 200t	1
	2. Dumper truck Man DFK	16
	3. Asphalt paver VOGELE SUPER 1800	1
	4. Asphalt paver VOGELE SUPER 2100	1
	5. Vibro roller DYNAPAC CC122	2
	6. Vibro roller BOMAG 190 AD-4 HF	1
	7. Vibro roller BOMAG BW 284 AD	1
V3	1. Asphalt base MARINI 200t	1
	2. Dumper truck Man DFK	5
	3. Bagger Takeuchi TB145	1
	4. Asphalt paver VOGELE SUPER 800-3i	1
	5. Vibro roller BOMAG BW 900-50	3

The evaluation of possible alternative solutions was performed by forming a multi-criteria optimization model according to Promethee method. According to available data seven criteria has been created for evaluating the

alternative solutions. In the Table 2 are shown the adopted criteria for evaluation of alternative solutions, with the values of criteria for each parameter, whether the criterion maximizes or minimizes and the measurement units for the values of the each criterion parameters.

Criterion "C1. Number of machines" was determined by counting the total number of engaged machines by variant solutions. Criterion "C2. Number of people" was determined as the counted number of people required for operating and servicing the selected machines.

Criterion "C3. Practicle effects of work" is defined as the minimum practical effect of certain types of machines for each variant of the machinery selection. While the criteria "C4. Price of effective working hours" was specified for each variant solutions as the sum of costs divided with practical effect.

Criterion "C5. Machinery reserve" was determined as the ratio of the maximum and minimum practical effect, and shows how much, in theory, the efficiency could be increased, or how big machinery reseve was. Criteria "C6. Time for finishing the project" evaluated the time required to complete a given project. Criterion "C7. Total cost" weighted overall cost of all works on building the specified road route.

Table 2: Input data for multiple criteria optimization

Valuation of variants			Variants		
Criteria	Units	max/min	V1	V2	V3
C1. Number of machines	number	max	22	23	11
C2. Number of people	number	min	29	32	19
C3. Practicle effect of work	m ³ /h	max	54.19	55.20	25.20
C4. Price of effective working hour	eur/h	min	2669.83	2814.29	2379.87
C5. Machinery reserve	/	max	9.810	10.130	4.865
C6. Time for finishing project	days	min	527	509	568
C7. Total cost	mil.euro	min	16.884	17.189	16.221

Figure 1 shows a model for multi-criteria analysis created in the Visual Promethee 1.4. software.

On this way formed multi-criteria optimization model, for each of the three alternative solutions it was considered which of the criteria may influence the values of the positive (output) preference index flow, and which of the criteria may influence the values of the negative (input) preference index flow.

Figure 2 shows a diagram of individual criteria impact on the value of preference index current for all three alternative solutions.

In Figure 2, on the upper side of the axis "0-0" are listed the names of the criteria that form the value of the positive (output) preference index flow, and on the lower side of the axis "0-0" are listed the names of the criteria which give the value of the negative (input) preference index flow for all three alternative solutions.

Scenario1	Num.Mash.	Numb.Peop.	Prac.Effect	Price EWH	Mach.Reserve	Time	Total Cost
Unit	Number	Number	m3/h	eur/h	/	Days	mil. e
Cluster/Group	◆	◆	◆	◆	◆	◆	◆
Preferences							
Min/Max	max	min	max	min	max	min	min
Weight	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Preference Fn.	V-shape	V-shape	Linear	V-shape	Linear	V-shape	V-shape
Thresholds	percentage	percentage	percentage	percentage	absolute	absolute	percentage
- Q: Indifference	n/a	n/a	0,03	n/a	2,259	n/a	n/a
- P: Preference	13	13	0,25	0,25	5,769	0	0,25
- S: Gaussian	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a
Statistics							
Minimum	11	19	25,20	2379,87	4,865	509	16,221 mil. €
Maximum	23	32	55,20	2814,29	10,130	568	17,189 mil. €
Average	19	27	44,86	2621,33	8,268	535	16,765 mil. €
Standard Dev.	5	6	13,91	180,64	2,410	25	0,404 mil. €
Evaluations							
☒ V1	22	29	54,19	2669,83	9,810	527	16,884 mil. €
☒ V2	23	32	55,20	2814,29	10,130	509	17,189 mil. €
☒ V3	11	19	25,20	2379,87	4,865	568	16,221 mil. €

Figure 1: MCDA model in Visula Promethee 1.4. software

As shown on Figure 2, for a variant solution V1, positive (output) value of preference index flow provides criteria: "C3. Practicle effect of work", "C5. Machinery reserve", "C1. Number of machines" and "C6. Time for finishing project", and the negative (output) values of preference index flow for this variant solution provides criteria: "C2. Number of people", "C7. Total cost" and "C4. Price of effective working hour".

For a variant solution V2, positive (output) value of preference index flow provides criteria: "C6. Time for finishing project", "C3. Practicle effect of work", "C5. Machinery reserve" and "C1. Number of machines", while the negative (output) values of preference index

flow for this variant solution provides criteria: "C2. Number of people", "C7. Total cost" and "C4. Price of effective working hour".

For a variant solution V3, positive (output) value of preference index flow provides criteria: "C4. Price of effective working hour", "C3. Practicle effect of work", "C7. Total cost" and "C2. Number of people", while the negative (output) values of preference index flow for this variant solution provides criteria: "C1. Number of machines", "C5. Machinery reserve", "C3. Practicle effect of work" and "C6. Time for finishing project".

Figure 2: Criteria impact on preference function value

4. RESULTS

Based on the sensitivity analysis of criteria impact on the optimization model, two scenarios for the calculation of the optimal solution were formed:

Scenario S1 - all criteria have the same relative weights

According to this scenario all criteria have equal relative importance (weight) for the selection of optimal solution. Based on the model established this way, for the scenario S1 obtained results are shown in Figure 3.

The upper part of Figure 3 shows diagram of comparison alternative solutions with PROMETHEE II method for scenario S1, in terms of function of pure or net flow, while the lower part of Figure 3 shows that all the criteria for scenario S1 have the same coefficients of relative weights.

Figure 3: Scenario S1 results

Figure 4: Scenario S2 results

Scenario S2 – the different relative weights of the criteria

This scenario shows what solution will be obtained if the relative weight of some criterias increase the value. Based on the a sensitivity analysis, the relative weight values of these criterias were increased: "C4. Price of effective working hour" and "C7. Total cost".

Based on the model established this way, for the scenario S2 obtained results are shown in Figure 4. The upper part of the figure 4 shows the comparison diagram of alternative solutions according to function of pure or net flow for scenario S2 with PROMETHEE II method, while on the lower part of Figure 4 shows the distribution of the weight coefficients by the criteria, where can be seen that the criteria: „C4. Price of effective working hour" and „C7. Total cost", participates with 27% each, while the other criteria participate with 9% share in the total value of criteria weight sum.

From the the previous figure 3 can be seen that the scenario S1, according to which all the criteria have the same values of relative weights, obtained variant V2 as the optimal solution of the considered problem.

For the scenario S2, according to which criterias "C4. Price of effective working hour" and "C7. Total cost" have higher values of relative weight in comparison to other evaluation criterias, as the optimal solution of the considered problem obtained variant V1 of road construction machinery.

The question arises: "What solution should be adopted?"

5. DISCUSSION OF THE OBTAINED RESULTS

Although the multi-criteria optimization method Promethee II give the final ranking of considered alternatives based on the preference index function of the net flow, necessary is to apply the multi-criteria optimization method Promethee I, which gives a partial ranking of considered alternatives and opportunity for inter-comparability analysis of the alternatives.

For the scenario S1 graphical representation of the results of Promethee I method has been given in the figure 5.

Figure 5: Results of Promethee I method for scenario S1

Figure 5 shows on the angular axis specified values of positive and negative preference flow, and the intersection points correspond to the functions of net flow.

The figure 5 shows that the values of of a positive and a negative flow for all three alternative solutions are not mutually intersect, from which it may be concluded that all three alternative solutions are mutually comparable.

For the scenario S2, graphical representation of the results of Promethee I method are shown in Figure 6.

Figure 6 shows that the values of of a positive and a negative flow for all three alternative solutions intersects mutually, resulting in the conclusion that these alternative solutions are mutually incomparable.

For understanding the obtained results it is necessary to get back to the model stability analysis and to check why the increase of the relative weights for these two criteria results that alternative solutions becomes mutually incomparable for the scenario S2.

Figure 7 shows the changes in the values of positive and negative preference flow for all three alternative solutions in comparison with the change of the relative weight of criteria "C4. Price of effective working hour". On figure 7, the value of the relative weight of 27% is marked for the scenario S2.

Figure 6: Results of Promethee I method for scenario S2

Figure 8 shows the changes in the values of positive and negative preference flow for all three alternative solutions in comparison with the change of the relative weight of criteria "C7. Total cost". On figure 8, the value of the relative weight of 27% is marked for the scenario S2.

The sensitivity analysis of the criteria "C4. Price of effective working hour" and "C7. Total cost" sets these criterias as the criterias that can increase the value of the net preference flow for the variant V1 and reduce the value of the net preference flow for the variant V2.

Figures 7 and 8 shows that the adopted values of weight coefficients, of criteria: "C4. Price of effective working hour" and "C7. Total cost", of the 27% causes the that alternative solutions becomes mutually incomparable.

Figure 7: Impact of relative weight of C4. criteria

Figure 8: Impact of relative weight of C7. criteria

6. CONCLUSION

In this paper was analyzed what impact on the model's stability will have increase of criterias relative weight for: "C4. Price of effective working hour" and "C7. Total cost" criterias, according to the scenario S2. It has been shown that this model, for the scenario S2, does not provides good results, because the alternative solutions are mutually incomparable. For consider problem the optimal solution is the selection of road construction mechanization V2, according to the scenario S1, with equal weight coefficient values for all the criteria.

The biggest problem of multi-criteria optimization methods is a large quantity of subjective decisions, form the stage of the criteria and variant selection as well as in the stage of the relative weights of the criteria determination.

The increase in the relative weights of the criteria in multi-criteria analysis could result the mutually incomparable alternative solutions, as shown in the example scenario S2.

When there is a need for the increasing the relative weights of the certain criteria, it is necessary to perform a sensitivity analysis of relative weights increasing, and also the application of Promethee I method to show whether the alternative solutions are mutually comparable.

Removing the impact of subjective decisions in the multi-criteria optimization process, by forming a algorithms and analysis to determine the relative weights of the individual criteria, remains a topic for further research.

REFERENCES

- [1] G. Marković, "Model regionalne logistike transportnim sistemima", Doktorska disertacija, Univerzitet u Kragujevcu, Fakultet za mašinstvo i građevinarstvo u Kraljevu (2014.)
- [2] I. Hot, "Upravljanje izradom generalnih projekata u oblasti infrastrukture primenom višekriterijumske analiza", Doktorska disertacija, Univerzitet u Novom Sadu Fakultet tehničkih nauka, (2014.)
- [3] S. Opricović, "Višekriterijumska optimizacija sistema u građevinarstvu", Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, (1998.)
- [4] G. Miodragović, R. Bulatović, S. Ivanović, M. Bošković, "Primena biološki inspirisanih algoritama za optimizaciju parametara obrade", IMK-14, Vol.21(3), (2015.)
- [5] Z. Bogićević, A. Pejčev, G. Marković, "Izbor opreme za rukovanje materijalom primenom integrisanog Fuzzy AHP i VIKOR metoda", IMK-14, Vol.21(3), (2015.)
- [6] V. Tomić, Z. Marinković, D. Marković, "Primena TOPSIS metode kod rešavanja lokacijskih problema, slučaj zapadna Srbija", IMK-14, Vol.20(3), (2014.)
- [7] M. Popović, R. Slavković, P. Perišić, "Procena vrednosti mehanizacije primenom komparativnog pristupa", IMK-14, Vol.20(3), (2014.)
- [8] V. Grković, R. Bulatović, "Modifikovani algoritam kolonije mrava za rešavanje inženjerskih optimizacionih problema", IMK-14, Vol.18(4), (2012.)
- [9] Brans, J.P., Mareschal, B., PROMETHEE: A new family of outranking methods in multicriteria analysis, Operational Research IFORS 84, (1984.)
- [10] Brans, J.P., Mareschal, B., PROMETHEE: A new family of outranking methods in multicriteria analysis, Operational Research IFORS 84, (1984.)
- [11] Brans, J. P.; Vincke, P. H. A preference ranking organization method: The PROMETHEE Method for Multiple Criteria Decision Making. Management Science. 31, 6 (1985.)
- [12] Brans J.-P., Mareschal B., Chapter V: Promethee Methods, Book: Multiple Criteria Decision Analysis: State of the Art Surveys, Book Part III, pp 163-186, (2005.)
- [13] VPSolutions ltd., Visual PROMETHEE 1.4 Manual
URL: <http://www.prometheegaia.net/files/VPManual.pdf>
- [14] Ž.Božović, "Stručni rad", Inženjerska Komora Srbije, (2016.)