



PRIMENA VIŠEKRITERIJUMSKE OPTIMIZACIJE ZA IZBOR OPTIMALNOG
NAČINA ZIDANJA ZIDOVA

APPLICATION MULTIPRITERIAL OPTIMIZATION FOR THE SELECTION OF
OPTIMAL WAY MOVING WALLS

Dorđe Živanović, Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj

U ovom tekstu prikazana je primena višekriterijumske optimizacije za izbor optimalnog načina zidanaj zidova. Kao ulazni podaci za izradu ovog rada, korišćena je postojeća projektno-tehnička dokumentacija sa urađenim predmerom i predračunom radova. Izvršena je uporedna analiza tri vrste materijala za isponu: pune opeke, giter bloka i Ytong bloka.

Ključne reči: predmer i predračun, višekriterijumska optimizacija, opeka, zidanje, blok, ytong

Abstract: Shows the application of multi-criteria optimization for the selection of the optimal wall masonry. As input data for the development of this paper, the existing project-technical documentation with the work done and the calculation of works was used. A comparative analysis of three types of dispersion material was carried out: full bricks, block blocks and Ytong block.

Keywords: predecessor and prediction, multi-criterion optimization, brick, masonry, block, ytong

1. UVOD

Projektom tehnologije i organizacije građenja određuje se način građenja, redosled i vremenska ograničenja, kao i obaveze pojedinih učesnika u izvršenju posla. Prilikom izrade projekta TOG potrebno je za pojedine segmente procesa građenja izvršiti određene analize i optimizacije. Jedna od mogućih analiza i optimizacija je prikazana u ovom radu a odnosi se na izbor optimalnog načina zidanja zidova primenom metode Višekriterijumske optimizacije (VKO).

2. VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMATIZACIJA

Suština višekriterijumske optimizacije je da se svi faktori, koji utiču na donošenje odluke, pri izboru optimalnog rešenja, posmatraju kao kriterijumi čije vrednosti treba da budu optimalne. Ovom metodom se prvo određuju rešenja koja su optimalna po pojedinim kriterijumima, a zatim se određuju kompromisna rešenja koja se predlažu donosiocu odluke. Donošenje odluke podrazumeva usvajanje jednog konačnog rešenja, a pri tom je moguće i sve dobiti i nazadovoljenja pojedinih kriterijuma.

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji je mentor prof. dr Milan Trivunić, red. prof.

Višekriterijumska optimizacija svodi se na problem vektorskog maksimuma i definiše se u obliku

$$\text{Max } F(X) ; x \in X$$

gde su:

- $F(x)$ – vektorska kriterijumska funkcija, čije su komponente pojedinačne kriterijumske funkcije $f_i(x), i=1,2,\dots,n$.
- x - vektorska promenljiva (vektor odlučivanja)
- X – skup dopustivih rešenja (dopustivi skup)
- n – broj kriterijuma ili kriterijumskih funkcija
- **max** u izrazu podrazumeva da rešenje treba da minimizira/maksimizira sve kriterijumske funkcije $f_i(x), i=1,\dots,n$

Metode višekriterijumske optimizacije koje će se primeniti za rešavanje datog problema su, metoda kompromisnog programiranja i višekriterijumsko rangiranje alternativnih rešenja. Ove metode omogućavaju sužavanje skupa efikasnih rešenja uvođenjem dodatnih elemenata odlučivanja (referentna tačka i mera rastojanja).

Na osnovu sprovedene analize formiran je model optimizacije sa četiri kriterijumske funkcije. Sva četiri kriterijuma su zasnovana na osnovu tehnološkog i ekonomskog kriterijuma.

Kriterijumske funkcije su:

f_1 – troškovi radne snage; f_2 – troškovi materijala

f_3 – ukupni troškovi ; f_4 – utrošeno vreme

Kriterijumska funkcija f_1 definiše utrošak rada tokom procesa zidanja zida određenim zidnim elementom. Povoljniji je onaj element koji daje manje troškove rada, što podrazumeva minimizaciju kriterijumske funkcije.

Kriterijumska funkcija f_2 podrazumeva utrošak materijala tokom procesa zidanja. Određeni zidni element je povoljniji ukoliko su troškovi materijala za zidanje (opeka/blok i malter) najmanji. U postupku optimizacije to podrazumeva minimizaciju kriterijumske funkcije.

Kriterijumska funkcija f_3 podrazumeva ukupne troškove tokom zidanja koji obuhvataju utrošak materijala, troškove rada i troškove transporta zidnih elemenata. Najpovoljniji je onaj element čiji su ukupni troškovi najmanji, što podrazumeva minimizaciju kriterijumske funkcije.

Kriterijumska funkcija f_4 definiše ukupno vreme trajanja svih operacija u procesu zidanja. Najpovoljniji je onaj element čije je vreme izvršenja svih aktivnosti najkraće, što u procesu optimizacije znači minimizaciju kriterijumske funkcije.

3. VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMATIZACIJA U IZBORU ZIDNOG ELEMENTA

Prema definisanom modelu optimizacije potrebno je da konačno rešenje minimizira sve kriterijumske funkcije. Na osnovu toga problem višekriterijumske optimizacije (VKO) je definisan u obliku:

$$F(x) = \min(f_1, f_2, f_3, f_4)$$

Ulazni podaci dati su u tabeli 1. gde su:

- kriterijumske funkcije
 - f_1 – troškovi radne snage
 - f_2 – troškovi materijala
 - f_3 – ukupni troškovi
 - f_4 – vreme

alternative

- A1 – puna opeka; A2 – giter blok;
- A3 – ytong blok

Tabela 1

K/A	A1	A2	A3	f_i^+	f_i^-	D_i	Jedin
f_1	1786,	1214,	568,8	568,8	1786,	-1217	din/n
f_2	1442,	714,	1290,	714,	1442,	-728,	din/n
f_3	5325,	1826,	1875,	1826,	5325,	-3498,	din/n
f_4	4,06	1,24	0,66	0,66	4,06	-3,41	NČ/n

Gde su:

- f_i^+ - min f_i
- f_i^- - max f_i
- D_i - $f_i^+ - f_i^-$
- Prema unetim osnovnim podacima, formiramo redosled varijantnih rešenja za pojedinačne kriterijumske funkcije, koji je predstavljen u tabeli 2.

Tabela 2

A \ K	K	f_1	f_2	f_3	f_4
A1		3	3	3	3
A2		2	1	1	2
A3		1	2	2	1

Prema sprovedenoj analizi određena su optimalna rešenja po pojedinačnim kriterijumima. Za troškove rada i ukupno potrebno vreme za zidanje zida, najoptimalnije je koristiti ytong blok, a nakon njega, po utvrđenom redosledu, povoljni su giter blok i najnepovoljnija je opeka. Giter blok je najoptimalniji sa stanovišta utroška materijala, kao i ukupnih troškova.

4. KOMPROMISNO PROGRAMIRANJE

Da bi smo bliže odredili efikasno rešenje problema višekriterijumske optimizacije, koristi se metoda kompromisnog programiranja, koja predlaže rešenje u vidu usvajanja "idealne tačke", kao referentne tačke u prostoru kriterijumskih funkcija. Ako postoji idealno rešenje npr. x_i^* tj. f_i^* po i -tom kriterijumu tada je vektor kriterijumske funkcije $F_i^* = \max f_i(x)$ $i=1,2,3,4$.

Osnovna karakteristika kompromisnog programiranja je da se rešenje zadataka VKO određuje minimizacijom odstupanja od idealne tačke, na osnovu usvojene mere

rastojanja, uključujući sve kriterijume. Kao mera rastojanja od idealne tačke, koristi se metrika L_p , koja predstavlja rastojanje između idealne tačke F^* i tačke $F(x)$ u prostoru kriterijumskih funkcija.

$$L_p(F^*, F) = \sum (f_i^* - f_i(x))^{(1/p)}$$

$$1 < p < \infty$$

Funkcija $R(F(x), p)$ je dodatni kriterijum i naziva se funkcijom kompromisnog programiranja

$$R'(F(x), p) = \sum (f_i^* - f_i(x))^p$$

Izborom parametra p usvaja se strategija postizanja kompromisa u višekriterijumskoj optimizaciji.

Za usvojeno $p=1$ gde je

$$R'(F(x), p) = \sum (f_i^* - f_i(x)) / D_i$$

dobićemo rešenje koje je naj bolje po svim kriterijumima posmatranim zajedno.

Tabela3:Rešenje VKO kompromisnim programiranjem pri $p=1$

Alternativna rešenja	A1	A2	A3
$f_i^* - f_i$	-1217,35 -728,23 1859,01 -3,42	-645,45 0 0 -0,59	0,00 -575,27 -49,12 0,00
$(f_i^* - f_i) / D_i$	1,00 1,00 1,00 1,00	0,53 0,00 0,00 0,17	0,00 0,57 0,08 0,00
$\sum (f_i^* - f_i) / D_i$	4,00	0,70	0,65
Redosled alternativnih rešenja	3	2	1

Za slučaj kad je usvojen parametar $p=1$, dobijamo rešenje gde ytong blok ima prednost nad ostalim elementima, sa malom razlikom u odnosu na giter blok.

Za usvojeno $p=2$ gde je

$$R'(F(x), p) = \sum ((f_i^* - f_i(x)) / D_i)^2$$

dobićemo rešenje koje je geometrijski najbliže idealnoj tački.

Tabela4:Rešenje VKO kompromisnim programiranjem pri $p=2$

Alternativna rešenja	A1	A2	A3
$((f_i^* - f_i) / D_i)^2$	1,00 1,00 1,00 1,00	0,27 0,00 0,00 0,04	0,00 0,32 0,01 0,00
$\sum ((f_i^* - f_i) / D_i)^2$	4,00	0,31	0,33
Redosled alternativnih rešenja	3	1	2

Povećanjem parametra p smanjujemo maksimalno pojedinačno odstupanje od idealne tačke. Tako je za slučaj kad je $p=2$, giter blokto rešenje koje se približava idealnoj tački.

Za usvojeno $p = \infty$ gde je

$$R_j = \max((f_i^+ - f_{ij}^-) / (f_i^+ - f_i^-))$$

prioritet je dat kriterijumu sa najvećim odstupanjima.

Tabela5:Rešenje VKO kompromisnim programiranjem pri $p = \infty$

Alternativna reše	A1	A2	A3
Max $(f_i^+ - f_{ij}^-) / (f_i^+ - f_i^-)$	1,00	0,53	0,57
Redosled alternativnih rešenja	3	1	2

Za slučaj $p = \infty$ kad su određene maksimalne vrednosti za pojedinačna rešenja, među alternativama prednost ima giter blok.

5. KOMPROMISNO RANGIRANJE ALTERNATIVNIH REŠENJA

Da bi odredili konačan redosled alternativnih rešenja primenjuje se metoda rangiranja. Alternativno rešenje može biti bilo koje rešenje datog sistema, pod uslovom da je svaka alternativa vrednovana po svim kriterijumima.

Na osnovu elemenata iz kompromisnog rangiranja, formirano je iterativno kompromisno rangiranje (IKOR), kao metoda za višekriterijumsko rangiranje alternativnih rešenja. Polazi se od "graničnih" formi Lp metrike, za $p=1$ i $p = \infty$

$$S_j = \sum ((f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)), \text{ (za } p = 1)$$

$$R_j = \max((f_i^* - f_{ij}) / (f_i^* - f_i^-)), \text{ (za } p = \infty)$$

Gde su:

$$\left\{ \begin{array}{l} f_i^* = \max f_{ij} \\ f_i^- = \min f_{ij} \end{array} \right\} i = 1, 2, 3, 4.$$

Nakon dobijenih vrednosti za mere S_j i R_j formira se novi zadatak rangiranja, na osnovu novih kriterijumskih funkcija S_j i R_j . Idealna alternativa ima sledeće vrednosti dobrote koje su date izrazima:

$$S^* = \min_j S_j \text{ i } R^* = \min_j R_j$$

Nove mere za raangiranje mogu biti:

$$Q_j = (S_j - S^*) / (S^- - S^*) + (R_j - R^*) / (R^- - R^*)$$

Prema čemu se dobija rang lista za kompromisno rangiranje u drugom prolazu.

Rangiranjem pomoću mere Q_j određuju se pozicije $q(a_j)$ na rang listi za alternative $a_j, j=1,2,3$.

Ovako formirana rang lista predstavlja kompromis između strategije maksimalne grupne korisnosti (bolji je onaj elemenat koji je dobar prema većini kriterijuma) i minimuma maksimalnog odstupanja od idealnih vrednosti (bolji zidni element ne sme biti mnogo loš prema nekom od kriterijuma f_i).

Metoda IKOR omogućava zadavanje i težinu strategija odlučivanja v_1 i v_2 . Usvojene težine strategije odlučivanja su v_1 (0.0; 0.3; 0.6; 0.9; 1); $v_2 = 1 - v_1$

Konačna rang lista se određuje pomoću mere Q_j^{def} .

$$Q_j^{def} = v_1(S_j - S^+) / (S^- - S^+) + v_2(R_j - R^+) / (R^- - R^+)$$

Pri tome su uslovi da:

- Ako je $v_1 > v_2$ tada se prednost daje zadovoljavanju većine kriterijuma, ne vodeći računa da jedan od kriterijuma može biti potpuno ne zadovoljen.

- Ako je $v_2 > v_1$ tada se ne dopušta da jedan od kriterijuma može biti potpuno nezadovoljen.

U ovom radu sprovede se i kompromisno rangiranje alternativni rešenja sa istim težinskim koeficijentima i kompromisno rangiranje alternativnih rešenja sa različitim težinskim koeficijentima.

6. KOMPROMISNO RANGIRANJE SA ISTIM TEŽINSKIM KOEFICIJENTIMA

U ovom delu rada sprovodi se višekriterijumsko rangiranje alternativa A1, A2 i A3 sa jednako značajnim kriterijumima. Kada je značajnost kriterijuma jednaka tada su težinski koeficijenti isti.

Tabela6: Kompromisno rangiranje sa istim težinskim koeficijentima

Alt rešenja	A1	A2	A3	S ⁺ /R	S/R	DS/D
S _j (p=1)	4,00	0,68	0,65	0,65	4,00	3,35
R _j (p=∞)	1,00	0,53	0,57	0,53	1,00	0,49
(S _j -S ⁺)/DS	1,00	0,01	0,00			
(R _j -R ⁺)/DR	1,00	0,00	3,58			
Q _j (v=0.0)	1,00	0,00	3,58			
Q _j (v=0.3)	1,00	0,00	2,51			
Q _j (v=0.6)	1,00	0,01	1,43			
Q _j (v=0.9)	1,00	0,01	0,36			
Q _j (v=1.0)	1,00	0,01	0,00			
Redosled alternativnih rešenja						
v=0.0	2	1	3			
v=0.3	2	1	3			
v=0.6	2	1	3			
v=0.9	3	1	2			
v=1.0	3	2	1			

7. KOMPROMISNO RANGIRANJE SA RAZLIČITIM TEŽINSKIM KOEFICIJENTIMA

Posmatra se višekriterijumsko rangiranje alternativa A1, A2 i A3 sa zadatim vrednostima kriterijumskih funkcija f_i .

Težinski koeficijent w koji se pridružuje k-tom kriterijumu označava njegovu relativnu važnost. Uvođenje težinskih koeficijenata znači da je omogućeno dati prioritet jednoj od kriterijumskih funkcija u odnosu na druge kriterijumske funkcije.

Vrednosti težinskih koeficijenata se u toku proračuna normalizuju. Sa dobijenim novim vrednostima težinskih koeficijenata, radi se ponovni prolaz kroz kompromisno rangiranje.

U ovom radu, problem je definisan izborom najoptimalnijeg zidnog elementa uslovljen minimalnim troškovima i kraćem periodu izvođenja radova. Ukoliko bi se javila potreba za što kraćim vremenom trajanja ukupnih operacija u procesu zidanja, bez obzira na troškove, tada bi prioritet među kriterijumskim funkcijama dobilo vreme.

Na osnovu toga postavljamo težinske koeficijente, koji definišu odnos između kriterijumskih funkcija.

Postavljamo uslov da faktor vreme ima 40% od ukupnog značaja za proces zidanja.

Težinski koeficijenti su:

- $-w_1=0,2$
- $-w_2=0,2$
- $-w_3=0,2$

- $-w_4=0,4$

Da bi smo smanjili subjektivni uticaj, pri donošenju odluke za vrednost težinskih koeficijenata, koristiće se metoda normalizovane mere entropije, koja je data izrazom:

$$e(f_i) = (1 / \ln J) * \sum (d_{ij} / S_i) \ln(d_{ij} / S_i) \quad \text{gde je } i=1,2,3,4 \text{ a } j=1,2,3$$

U navedenom izrazu za entropiju korišćene su sledeće veličine:

- d_{ij} – j -ta diskretna vrednost i -te funkcije odstupanja; $d_{ij}=(f_i^+ - f_{ij})/D_i$
- D_i – dužina opsega; $D_i=f_i^+ - f_i^-$
- f_{ij} – j -ta vrednost i -te kriterijumske funkcije
- S_i – suma vrednosti d_{ij} ; $S_i = \sum_j d_{ij}$
- E – ukupna entropija; $E = \sum e_i(f_i)$

Tabela 7: Proračun ukupne entropije E

S_i	$(d_{ij} / S_i) \ln(d_{ij} / S_i)$			$\sum (d_{ij} / S_i) \ln(d_{ij} / S_i)$	e_i
1,51	-0,273	-0,367	0,000	-0,640	-0,582
1,57	-0,287	0,00	-0,368	-0,655	-0,596
1,08	-0,071	0,00	-0,192	-0,263	-0,239
1,17	-0,134	-0,280	0,000	-0,414	-0,377
				$E =$	-1,794

U daljem toku analize uvodi se mera nepromenljivosti i -te kriterijumske funkcije b_i u odnosu na njenu idealnu vrednost, a kao težinski koeficijenti u funkciji, koriste se novi koeficijenti a_i .

$$b_i = (1 - e(f_i)) / (n - E)$$

$$a_i = (w * b_i) / \sum (w_i * b_i) \quad i=1,2,3,4$$

Ovako dobijeni koeficijenti a_i predstavljaju mere relativne značajnosti kriterijuma za date podatke, o sistemu koji se optimizira.

Tabela 8: Proračun novih težinskih koeficijenata

b_i	w_i	$w_i * b_i$	a_i	a_i^2
0,273	0,200	0,055	0,222	0,050
0,275	0,200	0,055	0,222	0,050
0,214	0,200	0,043	0,173	0,030
0,238	0,400	0,095	0,383	0,147
	$\sum w_i = 1,0$	$\sum w_i * b_i = 0,26$		

Tabela 9: Proračun redukovanih težinskih koeficijenata

a_i	$a_i^* ((f_i^+ - f_i^-) / D_i)$		
0,222	0,222	0,113	0,000
0,222	0,222	0,000	0,126
0,173	0,173	0,000	0,014
0,383	0,383	0,065	0,000
$\sum a_i^* ((f_i^+ - f_i^-) / D_i)$	1,000	0,178	0,140

Tabela 10: Proračun redukovanih težinskih koeficijenata

a_i	$a_i^* ((f_i^+ - f_i^-) / D_i)$		
0,222	0,222	0,113	0,000
0,222	0,222	0,000	0,126
0,173	0,173	0,000	0,014
0,383	0,383	0,065	0,000
$\sum a_i^* ((f_i^+ - f_i^-) / D_i)$	1,000	0,178	0,140

Sada će se redukovanim vrednostima težinskih koeficijenata ponoviti postupak kompromisnog rangiranja.

Tabela 11: Kompromisno rangiranje sa različitim težinskim koeficijentima

Alt rešenja	A1	A2	A3	S*/R*	S*/R-	DS/DR
$S_j (p=1)$	1,00	0,178	0,140	0,140	1,000	0,860
$R_j (p=\infty)$	0,383	0,113	0,126	0,113	0,383	0,270
$(S_j - S^*)/DS$	1,00	0,044	0,00			
$(R_j - R^*)/DR$	1,00	0,00	0,048			
$Q_j (v=0,0)$	1,00	0,00	0,048			
$Q_j (v=0,3)$	1,00	0,013	0,034			
$Q_j (v=0,6)$	1,00	0,026	0,019			
$Q_j (v=0,9)$	1,00	0,040	0,005			
$Q_j (v=1,0)$	1,00	0,044	0,000			
Redosled alternativnih rešenja						
$v=0,0$	3	1	2			
$v=0,3$	3	1	2			
$v=0,6$	3	2	1			
$v=0,9$	3	2	1			
$v=1,0$	3	2	1			

Nakon dva prolaza kroz kompromisno rangiranje formiranih redosleda alternativnih rešenja moguće je napraviti rekapitulaciju dobijenih rešenja.

Za iste težinske koeficijente dobijena je rang lista:

Redosled	1	2	3
$v=0,0$	A2	A1	A3
$v=0,3$	A2	A1	A3
$v=0,6$	A2	A1	A3
$v=0,9$	A2	A3	A1
$v=1,0$	A3	A2	A1

Pri uvođenju težinskih koeficijenata lista prioriteta je promenjena:

Redosled	1	2	3
$v=0,0$	A2	A3	A1
$v=0,3$	A2	A3	A1
$v=0,6$	A3	A2	A1
$v=0,9$	A3	A2	A1
$v=1,0$	A3	A2	A1

Rezultati metode višekriterijumske optimizacije pokazali su da u slučaju istih težinskih koeficijenata najpovoljnije rešenje predstavlja izbor giter bloka, kao zidnog elementa koji zadovoljava strategiju odlučivanja koja prednost daje zadovoljavanju većine kriterijuma.

Uvođenjem težinskih koeficijenata i zadavanju prioriteta jednoj kriterijumskoj funkciji, kao najpovoljnije rešenje dobijamo ytong blok koji zadovoljava strategiju u kojoj se ne dopušta nezadovoljenje bilo kog kriterijuma.

Na osnovu sprovedene analize utvrđeno je da za potrebe bržeg i efikasnijeg realizovanja objekta, bez obzira na troškove, optimalni način izrade zidanih zidova postizemo korišćenjem varijante A3, tj. "ytong bloka".

Zbog zahteva za zadovoljavanjem svih kriterijuma potrebnih za uspešno realizovanje objekta, za ovaj objekat će se usvojiti giter blok kao povoljnije rešenje.

8. LITERATURA

- [1] Trivunić, M, Matijević, Z., „Tehnologija i organizacija građenja“, Fakultet Tehničkih Nauka, Novi Sad, 2004.
- [2] Pravilnik o zaštiti na radu pri izvođenju građevinskih radova
- [3] Normativi i standardi rada u građevinarstvu
- [4] Zakon o bezbednosti i zdravlju na radu Republike Srbije

Kratka biografija:



Đorđe Živanović rođen je u Šapcu 1985. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstva – Tehnologija i organizacija građenja odbranio je 2019. god.

kontakt: djordjezivanovic07@yahoo.com