

**VIŠEKRITERIJUMSKA ANALIZA ZA OPTIMALAN IZBOR FASADNE OBLOGE
SPORTSKE HALE****MULTICRITERIA ANALYSIS FOR OPTIMAL SELECTION OF SPORTS HALL
FACADE COVERING**

Dražen Gavrić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – GRAĐEVINARSTVO

Kratak sadržaj – Predmet ovog rada jeste analiza najoptimalnijeg izbora fasadne obloge za sportsku halu u kompleksu Univerziteta „Edukons“. Cilj analiziranja je da se kroz određene kriterijume dobije uvid u prednosti i nedostatke potencijalnog tipa fasadne obloge koji će se izvoditi na objektu, kako bi konačan izbor bio racionalan i pouzdan. Adekvatnom metodom višekriterijumske optimizacije izabrano je najpovoljnije rešenje. Detaljno su opisana tri varijantna rešenja, definisani su relevantni pokazatelji i formirane četiri kriterijumske funkcije. U radu će biti korišćene metode kompromisnog programiranja i kompromisnog rangiranja, sa istim i sa različitim težinskim koeficijentima. Nakon primene ovih metoda pristupamo analizi dobijenih rezultata i dolazimo do odgovora na postavljena pitanja. Iz toga, u poslednjem poglavlju izvešćemo zaključak o najoptimalnijoj varijanti fasadne obloge u pogledu kvaliteta i troškova.

Ključne reči: *Fasadna obloga, izbor optimalnog načina izvođenja*

Abstract – The subject of this paper is the analysis of the most optimal choice of facade cladding for the sports hall in the complex of the University "Educons". The aim of the analysis is to gain insight through certain criteria into the advantages and disadvantages of the potential type of facade cladding that will be performed on the building, so that the final choice would be rational and reliable. The most favorable solution was chosen by an adequate method of multicriteria optimization. Three variant solutions are described in detail, relevant indicators are defined and four criterion functions are formed. The paper will use the methods of compromise programming and compromise ranking, with the same and with different weighting coefficients. After applying these methods, we approach the analysis of the obtained results and come to the answers to the questions asked. From that, in the last chapter, we will report the conclusion about the most optimal variant of the facade cladding in terms of quality and cost.

Keywords: *Facade cladding, selection of the optimal method of execution*

NAPOMENA:

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

1. UVOD

Pre samog početka građenja potrebno je proučiti metode rada i tehnologije, obezbediti sve potrebne resurse za rad, organizovati i isplanirati radno mesto, odnosno mesto izgradnje. Osnovni cilj izgradnje jeste postići optimalni odnos između kvaliteta i troškova odnosno racionalno izvesti projekat do kraja. Mogućnosti za racionalizaciju progresivno padaju od početnih prema završnim fazama. Loša organizacija dovodi do drastičnog povećanja, kako troškova, tako i vremena izgradnje, sa velikom verovatnoćom smanjenja kvaliteta. Efikasna realizacija izgradnje podrazumeva detaljnu analizu projekta pre početka samog izvođenja. Prilikom analize projekta potrebno je usvojiti odgovarajuću tehnologiju građenja i celokupnu organizaciju građenja. Prethodno navedene aktivnosti analize projekta, usvajanje tehnologije i organizacije građenja su preduslovi za uspešnu realizaciju projekta i oni se razlikuju u zavisnosti od vrste objekta i različitih građevinskih uslova.

2. FASADE SPORTSKIH HALA

Koncept sportske hale, podrazumeva dve glavne celine: sportski teren (igralište) i aneks. Ovi delovi mogu biti u tri osnovna međusobna položaja:

- potuno separadni, samo sa funkcionalnom vezom;
- spojeni po jednoj ravni, ali vizuelno i funkcionalno integrisani;
- potpuno integrisani u istom volumenu;

Sam aneks, je deo gde su smeštene sve one funkcije koje obuhvataju aktivnosti korisnika pre i posle bavljenja sportom, kao i prateće tehničke prostorije. Sportske hale su obično raspona od 16-30m, dužine od 30-60m i visine 7-12m.

Spoljni vidljivi delovi zgrada ili hala nazivaju se fasadama. Fasada zatvara unutrašnji prostor prema spoljašnjem i definiše izgled objekta. Prima i prenosi na noseću konstrukciju spoljašnje uticaje, naročito dejstvo vetra. Pored toga, neophodno da bude nepropusna za vodu, prašinu, insekte, požar, toplotu i hladnoću, zvuke. Jedan od osnovnih zadataka fasade jeste dobro rešenje toplotne izolacije. Visoki troškovi grejanja, globalno zagrevanje i zaštita čovekove okoline, nametnuli su donošenje strogih zakona i propisa za različite sisteme toplotne izolacije. Fasadu ocenjujemo na osnovu: vrste izolacije, kvaliteta materijala u kome je izvedena, načina

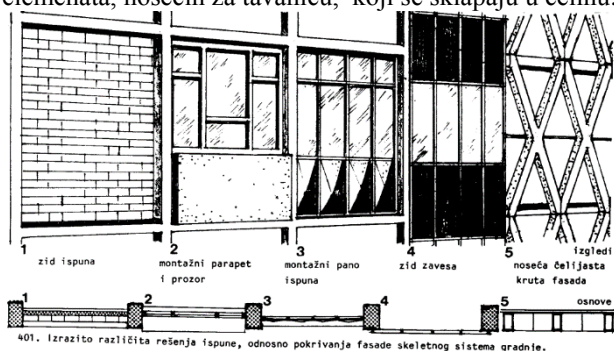
postavljanja itd. Izbor fasade diriguju raspoloživa materijalna sredstva, tip objekta i estetski zahtevi.

Svedoci smo realizacije većeg broja modernih fasadnih konstrukcija, koje predstavljaju izuzetna ostvarenja i prema svetskim standardima. Danas se koriste različite vrste fasada, a osnovna podela je prema tipu sistema same fasade, koji može da bude izrađen od teških ili lakih elemenata obloge. U osnovne podele fasada spada i ona prema materijalu od kog je napravljena, pa tako razlikujemo: stiropor fasade, drvene, staklene, metalne (od aluminijumskih i čeličnih ploča i sendvič panela), i fasade od teških elemenata obloge – kamena, opeke i keramičkih ploča. Fasade od stakla, aluminijuma, nerđajućeg čelika, kamena i granitne keramike, već imaju dugu tradiciju, i danas predstavljaju standardna rešenja, kako u svetu, tako i kod nas.

Konstruktivni sistem sportskih hala je uglavnom skeletni ili kombinacija masivnog i skeletnog sistema. Kod masivnog konstruktivnog sistema odmah je formirana spoljna fasada pošto je prostor pregrađen i definisan. Skeletni konstruktivni sistem kod hala, formiran od stubova, greda i zatega, ostavlja otvoren i nedefinisan prostor jer su razmaci između stubova prazni i tek se dopunskom konstrukcijom pregrađuju i definiše se fasada.

To može biti izvršeno u ogromnom broju raznih varijanti, ali načelno postoji nekoliko principa i to su:

- Ispune, zidane od opeke i blokova
- Zidani ili montažni parapeti i preko njih prozori, od stuba do stuba
- Montažni panovi (zastakljeni ili kombinovani) ugrađeni u međuprostore stubova ili posredstvom sekundarne noseće konstrukcije
- Viseće fasade-membrane koje se postavljaju spolja preko konstrukcije
- Samonoseće fasade, ali ne kao puni zidovi, već strukture, mreže armiranobetonskih ili čeličnih sklopova elemenata, nosećih za tavanicu, koji se sklapaju u celinu.



Slika 2.1. – Vrste fasadnih obloga [2]

3. VIŠEKRITERIJUMSKA OPTIMIZACIJA ZA IZBOR OPTIMALNE FASADE

Optimizacija je postupak koji određuje najbolje rešenje određenog, matematički definisanog, problema. Teorija optimizacije podrazumeva kvantitativno proučavanje optimuma i metoda za određivanje optimuma. Zadatak optimizacije je da izvrši izbor najbolje varijante iz niza mogućih ili povoljnih varijanti na osnovu definisanog

kriterijuma. Najbolja varijanta, tada predstavlja optimalno rešenje optimizacionog zadatka. Optimalno rešenje je kompromis između želja (kriterijuma) i mogućnosti (ograničenja). Kriterijum se izražava kriterijumskom funkcijom, koja za najbolju varijantu (rešenje), treba da dostigne globalni ekstrem s obzirom na ograničenja, koja uslovljavaju mogućnost postizanja cilja optimizacije.

Mnogi složeni sistemi zahtevaju analizu sa više različitih kriterijuma, što je izazvalo potrebu da se sa optimizacije po jednom kriterijumu pređe na optimizaciju po više kriterijuma. Na taj način, moguće je obuhvatiti sve ili pak glavne faktore koji deluju na posmatrani sistem.

U ovom radu je birano optimalno rešenje na osnovu četiri sintezna pokazatelja (pokazatelj cene materijala, pokazatelj cene radne snage, pokazatelj vremena izrade i koeficijent toplotne provodljivosti), koji su uvršteni u adekvatne kriterijumske funkcije (f_1 , f_2 , f_3 i f_4).

Metode višekriterijumske optimizacije koje su primenjene za dobijanje rešenja u ovom radu su:

- Metoda kompromisno programiranje
- Metoda višekriterijumsko kompromisno rangiranje alternativnih rešenja

Kompromisno rangiranje sa težinskim koeficijentima i strategije izbora optimalnog rešenja

Primenom višekriterijumske optimizacije kroz modele kompromisnog programiranja i kompromisnog rangiranja izvršena je analiza sa pet strategija odlučivanja. Prva strategija je da su svi kriterijumi jednako vrednovani, pa su samim tim isti težinski koeficijenti.

U drugoj strategiji prednost se daje ceni materijala. Na osnovu toga usvojeni težinski koeficijenti koji definišu odnos između kriterijumskih funkcija su:

- f_1 – troškovi materijala $\rightarrow w_1 = 0,4$
- f_2 – troškovi radne snage $\rightarrow w_1 = 0,2$
- f_3 – vreme izrade fasadne obloge $\rightarrow w_1 = 0,2$
- f_4 – koeficijent toplotne provodljivosti $\rightarrow w_1 = 0,2$

U trećoj strategiji prednost se daje ceni radne snage. Na osnovu toga usvojeni težinski koeficijenti koji definišu odnos između kriterijumskih funkcija su:

- f_1 – troškovi materijala $\rightarrow w_1 = 0,2$
- f_2 – troškovi radne snage $\rightarrow w_1 = 0,4$
- f_3 – vreme izrade fasadne obloge $\rightarrow w_1 = 0,2$
- f_4 – koeficijent toplotne provodljivosti $\rightarrow w_1 = 0,2$

U četvrtoj strategiji prednost se daje vremenu izrade. Na osnovu toga usvojeni težinski koeficijenti koji definišu odnos između kriterijumskih funkcija su:

- f_1 – troškovi materijala $\rightarrow w_1 = 0,2$
- f_2 – troškovi radne snage $\rightarrow w_1 = 0,2$
- f_3 – vreme izrade fasadne obloge $\rightarrow w_1 = 0,4$
- f_4 – koeficijent toplotne provodljivosti $\rightarrow w_1 = 0,2$

U petoj strategiji prednost se daje koeficijentu toplotne provodljivosti. Na osnovu toga usvojeni težinski koeficijenti koji definišu odnos između kriterijumskih funkcija su:

- f1 – troškovi materijala → w1 = 0,2
 f2 – troškovi radne snage → w1 = 0,2
 f3 – vreme izrade fasadne obloge → w1 = 0,2
 f4 – koeficijent toplotne provodljivosti → w1 = 0,4

4. ANALIZA OPTIMALNIH TIPOVA FASADNE OBLOGE

Za predmet istraživanja i analize fasadne obloge sportske hale uzeta su u obzir tri varijantna rešenja koja će se kroz računski deo u ovom poglavlju predstaviti i uporediti prema kriterijumu cene materijala, cene radne snage, vremena izrade i koeficijenta toplotne provodljivosti. Proračunom dobićemo tačne karakteristike svakog tipa fasadne obloge koje će u daljoj analizi pomoći da se odabere najoptimalniji tip.

4.1. FASADNA OBLOGA- Ytong blok d= 25cm, stiropor 10cm i dekorativni malter

Tehnološki proces izrade ove fasadne obloge podrazumeva zidanje zida Ytong blokom između nosećih armiranobetonskih stubova čime se zatvara hala i dobija svoj spoljašnji oblik. Na ravne zidove pomoću građevinskog lepka lepe se table stiropora i dodatno postavljaju se tiple u zid kao osiguranje. Potom se preko stiropora nanosi lepak u koji se utiskuje mrežica, zatim se nanosi novi sloj lepka kojim se ravna površina. Poslednji korak je nanošenje završnog sloja, podloge i dekorativnog maltera.

Kriterijumi:	FASADNA OBLOGA- Ytong blok d= 25cm, stiropor 10cm i dekorativni malter
troškovi materijala	4098,2 din/m ²
troškovi radne snage	913,24 din/m ²
vreme izrade fasadne obloge	1,961 Nč/m ²
koeficijent toplotne provodljivosti	0,193 (m ² K/W)

4.2 FASADNA OBLOGA- Giter blok d= 25cm, kamena vuna 10cm i dekorativni malter

Fasadna obloga ovog tipa je gotova ista kao i prethodna s tim da se ovde koriste drugi materijali. Tehnološki proces počinje od zidanja giter blokom, a potom se na gotov zid postavlja termoizolacija od kamene vune debljine 10cm, lepak, mrežica i dekorativni malter. Ovaj tip fasadne obloge je svakako veoma zastupljen u građevinarstvu danas, kako kod stambenih jedinica tako i kod hala i industrijskih objekata.

Kriterijumi:	FASADNA OBLOGA- Giter blok d= 25cm, kamena vuna 10cm i dekorativni malter
troškovi materijala	2840,98 din/m ²
troškovi radne snage	1153,6 din/m ²
vreme izrade fasadne obloge	2,517 Nč/m ²
koeficijent toplotne provodljivosti	0,261 (m ² K/W)

4.3 FASADNA OBLOGA- Profilisani sendvič lim d=10cm

Zidni panel sastoji se od dva čelična pocinkovana plastificirana lima i jedne od tri ispune: PUR (poliuretana), PIR (poliizocijanata) ili kamena vuna.

- Paneli sa PUR ispunom poseduju izuzetnu termoizolaciju i mogu se koristiti za razne namene.
 - Paneli sa PIR ispunom poseduju ateste na vatrootpornost i imaju izuzetnu termoizolaciju.
 - Paneli sa kamenom vunom su lošiji toplotni izolatori, ali je jedina ispunja koja ispunjava A1 negorivost.
- Najčešće se proizvode u standardu pokrivne širine 1000 mm. Podkonstrukcije za ugradnju zidnih panela mogu biti drvene, čelične ili betonske.

Kroz analizu ove fasadne obloge izabran je zidni sendvič panel sa ispunom od poliuretana debljine 100 mm, standarde širine 1000mm i dužina 4,5m i 5,5m.

Kriterijumi:	FASADNA OBLOGA- Profilisani sendvič lim d=10cm
troškovi materijala	2485,0 din/m ²
troškovi radne snage	149,25 din/m ²
vreme izrade fasadne obloge	0,165 Nč/m ²
koeficijent toplotne provodljivosti	0,266 (m ² K/W)

4.4. Izbor optimalnog rešenja fasadne obloge

U analizi su posmatrane tri varijante fasadne obloge: Prva varijanta fasadne obloge je *Ytong blok d= 25cm, stiropor 10cm i dekorativni malter*.

Druga varijanta fasadne obloge je *Giter blok d= 25cm, kamena vuna 10cm i dekorativni malter*.

Treća varijanta fasadne obloge *Profilisani sendvič lim d=10cm*.

Za posmatrane varijante fasadne obloge primenjene su sledeće strategije za dobijanje optimalnog rešenja:

1. Strategija – svi kriterijumi su jednako vrednovani
2. Strategija – prednost se daje ceni materijala
3. Strategija – prednost se daje ceni radne snage
4. Strategija – prednost se daje vremenu izrade
5. Strategija – prednost se daje koeficijentu toplotne provodljivosti

Tabela 4.4.11. Rekapitulacija alternativnih rešenja sa istim i različitim težinskim koeficijentima

Redosled alternativnih rešenja			
1. strategija			
	A1	A2	A3
Qj(v=0,0)	2	3	1
Qj(v=0,3)	2	3	1
Qj(v=0,6)	2	3	1
Qj(v=0,9)	2	3	1
Qj(v=1,0)	2	3	1

Redosled alternativnih rešenja 2. strategija				Redosled alternativnih rešenja 3. strategija			
	A1	A2	A3		A1	A2	A3
$Q_j(v=0,0)$	3	1	2	$Q_j(v=0,0)$	2	3	1
$Q_j(v=0,3)$	3	2	1	$Q_j(v=0,3)$	2	3	1
$Q_j(v=0,6)$	3	2	1	$Q_j(v=0,6)$	2	3	1
$Q_j(v=0,9)$	3	2	1	$Q_j(v=0,9)$	2	3	1
$Q_j(v=1,0)$	3	2	1	$Q_j(v=1,0)$	2	3	1

Redosled alternativnih rešenja 4. strategija				Redosled alternativnih rešenja 5. strategija			
	A1	A2	A3		A1	A2	A3
$Q_j(v=0,0)$	2	3	1	$Q_j(v=0,0)$	1	3	2
$Q_j(v=0,3)$	2	3	1	$Q_j(v=0,3)$	1	3	2
$Q_j(v=0,6)$	2	3	1	$Q_j(v=0,6)$	1	3	2
$Q_j(v=0,9)$	2	3	1	$Q_j(v=0,9)$	2	3	1
$Q_j(v=1,0)$	2	3	1	$Q_j(v=1,0)$	2	3	1

5. ZAKLJUČAK

Za navedene načine izvođenja fasade urađeni su odgovarajući proračuni, prema važećim propisima i normativima i sračunate su vrednosti troškova materijala, troškova radne snage, vremena izrade fasade i koeficijenta toplotne provodljivosti. Formiran je model sa kriterijumskim funkcijama koje su dominantne u procesu donošenja odluke.

Primenom višekriterijumske optimizacije kroz modele kompromisnog programiranja i kompromisnog rangiranja izvršena je analiza sa pet strategija odlučivanja. Za analizirane primere fasadne obloge i usvojenu strategiju 1. svi kriterijumi jednako vrednovani, optimalno rešenje je A3- Profilisani sendvič lim $d=10\text{cm}$. Za analizirane primere fasadne obloge i usvojenu strategiju 2. prednost se daje ceni materijala, optimalno rešenje je A3- Profilisani sendvič lim $d=10\text{cm}$. Za analizirane primere fasadne obloge i usvojenu strategiju 3. prednost se daje ceni radne snage, optimalno rešenje je A3- Profilisani sendvič lim $d=10\text{cm}$. Za analizirane primere fasadne obloge i usvojenu strategiju 4. prednost se daje vremenu izrade, optimalno rešenje je A3- Profilisani sendvič lim $d=10\text{cm}$. Za analizirane primere fasadne obloge i usvojenu strategiju 5. prednost se daje koeficijentu toplotne provodljivosti, optimalno rešenje je A1- Ytong blok $d=25\text{cm}$, stiropor 10cm i dekorativni malter.

Na osnovu sprovedene analize utvrđeno je da za potrebe bržeg i efikasnijeg realizovanja objekta optimalna treća varijanta fasadne obloge od zidnih sendvič panela. Prednost ovog tipa fasadne obloge u odnosu na ostale analizirane jeste potrebno manje vremena za izradu, sendvič paneli sa svojim velikim površinama i relativno malom težinom omogućavaju brzu montažu i zatvaranje objekta. Osim toga, zbog brze montaže troškovi radne snage po m^2 mnogo su niži u odnosu na ostale vrste fasadne obloge. Stoga je fasadna obloga od sendvič panela najoptimalniji tip obloge kod ovakve vrste objekata.

6. LITERATURA

- [1] Trivunić M., Matijević Z. „Tehnologija i organizacija građenja“, praktikum, Univerzitet u Novom Sadu, FTN, 2004.
- [2] Buđevac D. „Metalne konstrukcije u zgradarstvu“, Građevinska knjiga-AD, Beograd 2003.
- [3] Dorđević D. „Izvođenje radova u visokogradnji“, Arhitektonski fakultet, Beograd 2005.
- [4] Normativi i standardi rada u građevinarstvu- visokogradnja, građevinski radovi-1, Građevinska knjiga, Beograd, 2008.
- [5] Normativi i standardi rada u građevinarstvu- visokogradnja, građevinski radovi-3, Građevinska knjiga, Beograd, 2008.
- [6] <https://www.google.rs> i <https://www.google.com>

Kratka biografija:



Dražen Gavrić rođen je u Novom Sadu 1988. godine. Osnovne akademske studije završava 2015. godine na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu. Master rad brani 2021. u okviru istog, prethodno pomenutog fakulteta, iz oblasti Građevinarstva.

Kontakt: gavric.drazen@gmail.com