

**ANALIZA I IZBOR FASADNOG SISTEMA ZA ARHEOLOŠKI CENTAR U MAINZU****ANALYSIS AND SELECTION OF THE FACADE SYSTEM FOR THE  
ARCHAEOLOGICAL CENTER IN MAINZ**Slobodan Milošević, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – GRAĐEVINARSTVO**

**Kratak sadržaj** – Tema rada jeste analiza i izbor fasadnog sistema za arheološki centar. Urađen je projekat za dva fasadna sistema sa detaljima i sa uporednom analizom, prema Evrokodu.

**Ključne reči:** *Fasade, detalji, staklo, aluminijum, profili*

**Abstract** – A Theme of the paper is the analysis and the selection of the facade system for the archeological center in Mainz, Germany. A project was made for two facade systems with details and the comparative analyzes, according to Eurocode.

**Keywords:** *Facade, detail, glass, aluminium, profile*

**1. UVOD**

Rad se sastoji iz dve celine: upoznavanje sa fasadama i fasadnim sistemima i dela projektovanja i analize odgovarajućeg fasadnog sistema.

Predmet ovog rada je izbor staklene fasade na objektu arheološkog centra u Mainzu u Nemačkoj.

Na osnovu izgleda fasade koju je definisao arhitekta, projektovana su za upoređenje dva sistema koja zadovoljavaju estetske zahteve arhitekta, ali i sve ostale zahteve zaštitne, funkcionalne i ekonomske prirode.

U ovom radu analizirana su dva fasadna sistema (prednosti i nedostaci u pogledu projektovanja, proizvodnje i montaže).

- VARIJANTA 1 : Kontinualna aluminijumska ostakljena fasada
- VARIJANTA 2 : Ostakljena aluminijumska portal fasada.

**2. VRSTE FASADA**

Razvojem građevinarstva i građevinskih konstrukcija razvijale su se i fasade koje su bile prateći element objekata. Nastali su mnogi sistemi koji su u praksi našli širu ili užu primenu.

Prema materijalnoj podeli fasade mogu biti od stakla, aluminijuma, metala, kamena, keramike, drveta, maltera sa premazima, kompozitnih panela-ploča.

Prema načinu montaže, odnosno položaju materijala prilikom montaže, vršimo podelu na: kontaktne fasade i zid zavese (montažne fasade).

**NAPOMENA:**

**Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio doc. dr Igor Peško.**

**2.1. Kontaktne fasade**

Nalaze široku primenu i to najviše kod manjih stambenih objekata. Pokazala se kao jeftina i jednostavna za primenu. Štiti objekat od spoljnih uticaja i obezbeđuje termičku izolaciju objekta. Termoizolacioni materijali koji se primenjuju za ove fasade: kamena vuna, neopor (poboljšani stiropor), ekstrudirani polistiren – XPS (stirodur), ekspanzirani polistiren – EPS (stirpor). Termoizolacione ploče od drveta, trske, konoplje i plute.

**2.2. Ventilisane fasade**

Ova vrsta oblaganja je danas najzastupljenija, najviše na poslovnim ali i industrijskim i stambenim objektima. Razlog je što postoji veliki spektar materijala različitih oblika i boja sa kojima se postiže željeni dizajn. Predstavljaju dobru izolaciju za objekte jer poseduju dodatni sloj vazduha koji poboljšava termoizolaciju tokom leta, takođe pospešuje i zvučnu izolaciju. Zid zavesa je uobičajen naziv za ovakve fasade koje su sačinjene od lakih elemenata okačenih na neku podkonstrukciju.

**2.3. Metalne fasade**

Ove fasade nalaze široku primenu u industrijskoj gradnji, dok u stambenoj i poslovnoj nešto ređe. Pod metalnim fasadama podrazumevamo fasade koje su izrađene od metalnih panela. Metalni paneli se izrađuju od više vrsta metala. Panel se sastoji od dva lima između kojih se nalazi termoizolacija. Fiksiraju se na podkonstrukciju koja se nalazi na određenom rasponu, u izuzetnom slučaju i do 10m. Ovi paneli se jednostavno montiraju i za kratko vreme dobijamo zid koji može da zadovolji željene zvučne i termoizolacione karakteristike.

**2.4. Kamene fasade**

Spadaju u obloge od teških elemenata prirodnog porekla. Prema načinu montaže dele se na kamene fasade koje se ugrađuju po mokrom postupku i ventilisane kamene fasade. U novije vreme su u ponudi i razne imitacije prirodnog kamena, takozvani veštački kamen.

**2.5. Drvene fasade**

Drvo je ekološki materijal koji nalazi sve češću primenu u modernoj izgradnji fasada. Sa njim se mogu postići lepi, za oko prijatni, efekti što ga čini poželjnim. Primenjuje se još i u kombinaciji sa drugim fasadama radi isticanja detalja fasade. U novije vreme je sve aktuelnija primena nezaštićenog drveta.

**2.6. Betonske fasade**

Uglavnom se koriste na industrijskim, malo ređe, na poslovnim i stambenim objektima. Paneli mogu biti

sendvič paneli sa termoizolacijom između ili samo betonom na spoljnoj strani. Moguće je zaštititi i obraditi beton na više načina: natur beton, beton u boji, farbani beton, obrada površine u kuliru ili u kamenu, foto beton i providni beton.

### 2.7. Staklene fasade

Može se reći da su staklene fasade trenutno na svom vrhuncu ili čak da se još uvek penju ka nepreglednom vrhu ostavljajući ostale materijale iza sebe. Kombinacijom različitih tehnoloških procesa možemo dobiti staklo koje može zadovoljiti sve kriterijume, koje može zahtevati objekat. Neki od kriterijuma koje treba zadovoljiti su: termoizolacija, transparentnost, refleksija, nosivost, protivpožarna otpornost, vodonepropusnost, akustična izolacija. Postoji nekoliko vrsta stakala koja možemo podeliti prema mehaničkim karakteristikama: ravno, kaljeno i polikaljeno, lamelirano, emajlirano i armirano staklo. Prema termičkim karakteristikama razlikujemo: toplotnoapsorbujuće, reflektujuće i niskoemisiono staklo.

U okviru staklenih fasada razlikujemo nekoliko vrsta sistema koji su našli primenu u praksi. Kontinualne fasade karakterišu vidni horizontalni i vertikalni noseći elementi koji nose staklo, prozor, vrata ili neki kompozitni panel. Kontinualne fasade se proizvode od aluminijuma, čelika, inoksa, kombinacija drveta i čelika, kombinacija aluminijumskih i PVC profila. Polustrukturalne fasade se ne razlikuje mnogo od sistema kontinualne fasade. Glavna razlika je što su nosači skriveni iza stakla dok se sa spoljne strane javlja aluminijumski držač stakla minimalne vidljivosti. Strukturalne fasade, glavna prednost ovog sistema je što nema vidnih prilfa sa spoljašnje strane, vide se samo staklene površine. Element fasade predstavljaju modularne jedinice koje su zastakljene u proizvodnji i kao takve se dopremaju na gradilište i montiraju se. Portalne fasade se sastoje iz vertikalnih i horizontalnih elemenata koji su kruto povezani i kao takvi se montiraju na objekat. Tačkasto oslonjene zid zavese je posebno atraktivana fasada i lepog je izgleda, češće je prisutan naziv Spider fasade. Karakteristika ovog sistema je u tome što se staklene ploče oslanjaju preko specijalnih oslonca na ivicama ploča. Postoje fasade kod kojih se staklene površine oslanjaju na druge staklene elemente, stubove i grede. Generalno ovakve fasade se retko izvode uglavnom zbog cene i kompleksnosti samog izvođenja.

## 3. OPTIMIZACIJA U IZBORU FASADE ARHEOLOŠKOG CENTRA

Projektovanje fasade je kompleksan proces. Izbor optimalnog (najboljeg mogućeg rešenja iz više povoljnih), zahteva istraživanje i primenu adekvatne metode. Veći broj kriterijuma koji pokazuju uticaj na izbor optimalnog tipa fasade, svrstava zadatak izbora fasadnog sistema, koji se razmatra u ovom radu, u problem višekriterijumske optimizacije.

Višekriterijumska optimizacija je složen proces dolaženja do rešenja i odvija se u više faza i na više nivoa odlučivanja. U inženjerskoj praksi koristi se prilaz "diskretnih modela" (umesto izrade sveobuhvatnog matematičkog modela, projektuju se varijantna rešenja).

### 3.1. Fiziološki zahtevi fasade

#### A-1 - Toplotna zaštita

Prenosa toplote kod profila treba da zadovolji standarde DIN EN ISO 10077-2, kod stakala DIN EN 673, DIN EN 674, DIN EN 675. Mineralna vuna mora zadovoljavati kategoriju prozivpožarne otpornosti A1. Zahtevane vrednosti toplotnih koeficijenata za celu fasadu  $U_{cw}= 1,0$  W/(m<sup>2</sup>K), za fasadne stubove-grede  $U_f= 1,5$  W/(m<sup>2</sup>K), za staklo  $U_g= 0,70$  W/(m<sup>2</sup>K). Toplotni koeficijenti za prozore  $U_w=1,0$  W/(m<sup>2</sup>K), prozorski profili  $U_f= 1,3$  W/(m<sup>2</sup>K), za staklo  $U_g= 0,70$  W/(m<sup>2</sup>K). Ukupan prenos sunčeve energije kroz stakla je definisan na vrednost od 25%.

#### A-2 - Difuzije vodene pare

Do pojave difuzije vodene pare dolazi usled razlike parcijalnih pritisaka vodene pare sa različitih strana elemenata. Fasadni profili koji se koriste treba da ispunjavaju sledeće uslove DIN 4108.

#### A-3 - Akustička zaštita

Kako bi obezbedili udoban i komforan boravak neophodno je obezbediti i zvučnu zaštitu objekta. Zahtev investitora za predmetnu fasadu je  $RW,R=41$  dB /  $RW,P=43$  dB.

#### A-4 - Propuštanje vode i vazduha

Konstrukcija i prateći elementi se projektuju na način da spreče prodor vode unutar objekta. Norme koje treba da se zadovolje za vodonepropusnost EN 12155 klasa R7 i DIN 18055, za propuštanje vazduha EN 12153 A4. Za prozore vodonepropusnost je zahtevana prema DIN EN 12208 9A.

#### A-5 – Osvetljenje

Glavni razlog izrade staklene fasade jeste potreba za prirodnim svetlošću u objektu. Da bi se obezbedili od prekomernog sunčevog zračenja primenjuju se stakla sa specijalnim premazima.

### 3.2. Fizički zahtevi fasade

#### B-1 - Zaštita od požara

Zaštita od požara je od suštinske važnosti kako bi se obezbedila sigurnost ljudi u objektu i izvan objekta u slučaju ovog incidenta. Neki stučnjaci ovaj uslov stavljaju ispred svih uslova kao najbitniji. Fasade imaju zahtevanu funkciju da spreče prenos požara na susedne etaže i objekte, spreči prodor vatre iz spoljašnje sredine, kontroliše prolaz dima i gasova.

#### B-2 - Statička stabilnost

Da bi obezbedili sigurnost i pouzdanost konstrukcije neophodno je izvršiti statički proračun nosivih elemenata jedne fasade uključujući i nosivost stakla. Pored nosivosti profila zid zavese potrebno je proračunati nosivost kotvi, vijaka i ankera. Uloga kotvi je da primi opterećenje sa profila fasade i prenese ga na glavnu noseću konstrukciju. Opterećenja kojim je konstrukcija fasade izložena su: sopstvena težina, vetar, temperaturne promene, korisno opterećenje, sneg. Pored toga zahtev je da deformacije stuba ne smeju biti veće od  $L/200$  ili maksimalno 15mm.

### 3.3. Ekonomski zahtevi

#### C-1 - Ekonomičnost konstrukcije

Prilikom projektovanja fasada treba težiti racionalnijim sistemima koji su već ušli u industrijsku prefabrikaciju. Što je veći stepen industrijalizacije proizvod je jeftiniji. U zavisnosti od želje investitora i ekonomskog faktora bira se sistem koji najviše odgovara. Ekonomičnost u eksploataciji podrazumeva niske troškove održavanja konstrukcije, znači da ima odgovarajuću trajnost.

### 3.2.4 VARIJANTA 1 - Kontinualna aluminijumska ostakljena fasada

Prvi korak je izbor proizvođača koji zadovoljava sve date kriterijume, usvojen je WICTEC 50HI sa poboljšanim termoizolacionim karakteristikama. Izgled fasade je definisan od strane arhitekta. Sistem je osmišljen tako da se sastoji od glavnih i sekundarnih stubova kao i glavnih i sekundarnih greda. Profili su izabrani prema preliminarnoj statici koju je izradio proizvođač. Ukupna dimenzija fasade je 20x10m sa bočnim delovima dužine 1.1m. Stubovi i grede su statičkog sistema prosta greda. Stub se sastoji iz dva dela oslonjen na tri mesta. Srednji oslonac je nepokretan dok prvi i poslednji oslonac omogućavaju vetrikalno dilatiranje konstrukcije usled temperaturnih uticaja. Oslanjanje stubova se vrši preko čelične konzole, toplo cinčane, koja je fiksirana u beton anker vijcima. Veza stub-konzola je ostvarena preko M vijka. Staklo se oslanja tačkasto, preko sistemskih oslonaca, na rastojanju od 150mm od kraja i početka grede.

### 3.2.5 VARIJANTA 2 – Ostakljena aluminijumska portal fasada

Ovakve fasade su povoljnije za montažu, jer se jednostavnije i brže montiraju. Dobija se čitav sklop koji se montira i u koji se postavljaju stakla, profili se kruto povezuju u jedan element. Dimenzije jednog elementa su ograničene maksimalnim dužinama profila i statičkom nosivošću, po širini se mogu pakovati portali uz ostavljanje odgovarajućeg razmaka radi dilatiranja elemenata. Postoji mogućnost ojačavanja profila sa čeličnim kutijama sa unutrašnje i spoljašnje strane. Izabran je proizvođač Schüco u sistemu AWS 90.SI+. Postoje tri vrste portala fasade u ovom slučaju: prvi element fiksni bez krila, drugi element ima vertikalnu u polju i krilo, treći element čini ugao fasade. Dimenzija jednog portala je 2494x4195mm. Svi profili su ojačani sa obe strane čeličnim kutijom 50x30x2mm, osim gornjeg i srednjeg profila koji su ojačani samo sa unutrašnje strane. Oslanjanje se vrši preko sistemskog elementa na čeličnu cev 30x30x3mm, povezano samourezujućim vijkom. Čelična cev se punktuono oslanja na čeličnu kotvu preko samourezujućih vijaka dok se čelična kotva za beton fiksira sa turbovijcima za beton. Gornja veza se ostvaruje preko čeličnog L profila koji se po istom principu fiksira za beton i aluminijumski profil i omogućava vertikalnu pomerljivost sistema usled temperaturnih uticaja.

## 4. KRITERIJUMI OPTIMIZACIJE

Analiza i vrednovanje varijantnih rešenja rađena je na osnovu četiri kriterijuma. Kriterijumi su raznorodni, kvantitativni i kvalitativni. Definisani kriterijumi optimizacije su:

### • TROŠKOVI ZA IZRADU FASADE

Tabela 1. Troškovi za izradu fasade

Varijanta 1, €	89,917.18
Ukupno po m <sup>2</sup> , €	408.03
Ukupno Varijanta 2, €	96,361.26
Ukupno po m <sup>2</sup> , €	437.27

### • POTREBNO VREME ZA IZRADU FASADE (izraženi u danima)

Vreme izrade fasade - VARIJANTA 1:

1. Montaža čeličnih kotvi stubova i greda 2 VK + 2 NK ukupno: 6 dana

2. Montaža staklenih i aluminijumskih panela 2 VK + 2 NK ukupno: 2 dana
3. Montaža spoljašnjih, unutrašnjih limova i hidroizolacije 2 VK + 2 NK ukupno: 6 dana
4. Montaža plafonskih aluminijumskih ploča sa podkonstrukcijom 2 VK + 2 NK ukupno: 4 dana

Za montažu Kontinualne fasade - VARIJANTA 1 neophodno je 18 dana.

Vreme izrade fasade - VARIJANTA 2:

1. Montaža čeličnih kotvi stubova i greda 2 VK + 2 NK ukupno: 3 dana
2. Montaža staklenih i aluminijumskih panela 2 VK + 2 NK ukupno: 1 dan
3. Montaža spoljašnjih, unutrašnjih limova i hidroizolacije 2 VK + 2 NK ukupno: 6 dana
4. Montaža plafonskih aluminijumskih ploča sa podkonstrukcijom 2 VK + 2 NK ukupno: 4 dana

Za montažu Portalne fasade –VARIJANTA 2 neophodno je 14 dana.

### • POKAZATELJ TOPLOTNE PROVODLJIVOSTI ZA FASADNI ZID ( W/m<sup>2</sup>K )

Karakteristika stakla:

Prolaz svetlosti prema DIN EN 410 - 47%

Prolaz toplotne energije DIN EN 410 - 25%

Toplotna provodljivost DIN EN 673 - 0.7 W/m<sup>2</sup>K

Toplotna provodljivost za Varijantu 1 iznosi 1.0 W/(m<sup>2</sup>K).

Toplotna provodljivost za Varijantu 2 iznosi 0.85 W/(m<sup>2</sup>K).

### • POKAZATELJ TEHNIČKO-FUNKCIONALNIH KARAKTERISTIKA

Pod tim karakteristikama podrazumevamo detaljnu analizu tehničkih karakteristika sistema od procesa proizvodnje do finalnog proizvoda, montirane fasade na objektu. Pokazatelj sadrži šest pojedinačnih karakteristika vezanih za postupak proizvodnje, šest pojedinačnih karakteristika vezanih za postupak montaže i jednu karakteristiku funkcionalnosti. Ocena fasada je rađena njihovim rangiranjem u odnosu na svaku pojedinačnu karakteristiku. Dobijamo sledeće vrednosti pokazatelja:

- Varijanta 1 – 1.46,
- Varijanta 2 – 1.54.

## 4.4 Rekapitulacija vrednosti svih kriterijuma za obe fasade

Tabela 2. Vrednosti kriterijuma

TIPOVI FASADE	Troškovi izrade	Vreme izrade	Koeficijent prolaza toplote	Pokazatelj tehničko-funkcionalnih karakteristika
	€/m <sup>2</sup>	dana	W/m <sup>2</sup> K	/
VARIJANTA 1 Kontinualna aluminijumska fasada	408,03	18	1.0	1.46
VARIJANTA 2 Ostakljena portalna aluminijumska fasada	437,27	14	0.85	1.54

## 5. METODA I IZBOR OPTIMALNOG REŠENJA FASADE

Na izbor optimalnog rešenja fasade utiče više kriterijuma, shodno tome neophodno je primeniti metodu višekriterijumske optimizacije. Metodom višekriterijumske optimizacije određuju se rešenja koja su optimalna po pojedinim kriterijumima, a zatim se određuju kompromisna rešenja.

Metode višekriterijumske optimizacije koje su primenjene u ovom radu su:

- Metoda - Kompromisno programiranje
- Metoda - Višekriterijumsko kompromisno rangiranje alternativnih rešenja

### 5.1 Kompromisno programiranje

Ova metoda određuje skup rešenja višekriterijumske optimizacije koristeći „idealne parametre” kao referentne u prostoru kriterijumskih funkcija. Rešenje koje je najbliže idealnom, na osnovu usvojene mere rastojanja naziva se kompromisnim rešenjem.

### 5.2 Višekriterijumsko kompromisno rangiranje alternativnih rešenja

Ova metoda se primenjuje kada je potrebno odrediti redosled alternativnih rešenja na osnovu datih kriterijuma  $f_1, f_2, \dots, f_n$ . Alternativno rešenje može biti bilo koje rešenje nekog sistema koje uvrstimo u neki skup rešenja za koje se traži rang lista. Jedini uslov koji treba da bude ispunjen je da je svaka alternativa vrednovana po svim kriterijumima iz datog skupa.

### 5.3 Obrada podataka

Da bi se donela odluka i izabralo optimalno rešenje fasade, formiran je model sa četiri kriterijumske funkcije:

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

gde su:

**f1** - troškovi izrade fasade (evra/m<sup>2</sup>)

**f2** - vreme za izradu fasade (dana)

**f3** - pokazatelj toplotne provodljivosti za fasadu (W/m<sup>2</sup>K)

**f4** - pokazatelj tehničko-funkcionalnih karakteristika fasade,

za dva varijantna rešenja:

Varijanta 1 - **A1** – Kontinualna aluminijumska ostakljena fasada

Varijanta 2 - **A2** – Ostakljena aluminijumska portal fasada

Tabela 3. *Ulazni podaci*

krit. fun/alter.	A1	A2	f <sub>i+</sub>	f <sub>i-</sub>	Di	n	J
f1	408.30	437.27	408.30	437.27	-28.97	4	2
f2	18.00	14.00	14.00	18.00	-4.00		
f3	1.00	0.85	0.85	1.00	-0.15		
f4	1.460	1.54	1.46	1.54	-0.08		

Tabela 4. *Pojedinačna rang lista*

krit. fun/alter.	A1	A2
f1	1	2
f2	2	1
f3	2	1
f4	1	2

## 5.3 Analiza dobijenih rezultata

Tabela 5. *Isti težinski koeficijenti*

	1	2
v=0,0	A1	A2*
v=0,3	A1	A2*
v=0,6	A1	A2*
v=0,9	A1	A2*
v=1,0	A1	A2*

Tabela 5.12. *Različiti težinski koeficijenti*

	1	2
v1=0,0	A1	A2
v1=0,3	A1	A2
v1=0,6	A1	A2
v1=0,9	A1	A2
v1=1,0	A1	A2

Kada se prioritet da troškovima, proračun pokazuje da je povoljnije (optimalno) rešenje, prvo varijantno rešenje:

**A1 - Kontinualna aluminijumska ostakljena fasada.**

## 6. LITERATURA

1. Eliášová Martina: „ADVANCED DESIGN OF GLASS STRUCTURES” Lecture L1\_ME Design of glass beams, Lecture L1\_ME Design of glass beams, 2011. godine
2. Jelenka Vitomir: „Konstrukcija Aluminijumskih Fasada”, Izdavač: AD ALPRO Vlasenica za izdavača: mr Vladan Nastić, 2006. godine
3. Vesna Trifunović-Dragišić: „Staklene Fasade u Savremenoj Arhitekturi”, MAGISTARSKI RAD
4. Dean Čizmar, Vlatka Rajčić: „Lagane Konstrukcije” Priručnik iz predmeta Lagane Konstrukcije, Zavod za konstrukcije, Građevinski Fakultet Sveučilište Zagreb, 2008. godine
5. Miroslav T. Bešević, Aniko Tešanović, Kovač Josip Striko: „PRORAČUN NOSEĆE ALUMINIJUMSKE KONSTRUKCIJE STAKLENE FASADE PREMA GRANIČNIM STANJIMA”, ZBORNİK RADOVA 19 (2010)
6. Danijela Z.Đurić Mijović: „ARHITEKTONSKO-KONSTRUKCIJSKI DIZAJN FASADNIH SISTEMA OD ČELIKA I ALUMINIJUMA”, DOKTORSKA DISERTACIJA

### Kratka biografija:



**Slobodan Milošević** rođen je u Loznici 1990. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Građevinarstvo, smer konstrukcije, odbranio je 2020. godine.