

**KINETIČKA FASADA BAZIRANA NA TROUGAONIM FASADNIM PANELIMA****KINETIC FACADE BASED ON TRIANGULAR FACADE PANELS**Ognjen Jokić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast: ARHITEKTURA**

**Kratak sadržaj** – Na fasadnom platnu koje je obrađeno u ovom radu, primenjen je konstruktivni sistem koji omogućava različite varijacije u dizajnu koji mogu zadovoljiti makro i mikro uslove lokacije, različite korisničke potrebe, različite dizajnerske želje, serijsku ili individualnu proizvodnju pojedinačnog panela i aplikaciju različito materijalizovanih opni na primarnu aluminijsku konstrukciju.

**Ključne reči:** Kinetička fasada, dinamična fasada, dizajn, fasada, digitalna proizvodnja, produkt dizajn

**Abstract** – On the façade canvas which is discussed in this paper, was elected structural system that allows different variations in design which can meet the macro and micro location conditions, different user needs, different design wishes, serial, or individualized production of individual panels and application differently materialized membrane to primary aluminum construction.

**Keywords:** Kinetic facade, dynamic facade, design, facade, digital production, product design

**1. UVOD****1.1. Motivacija**

Arhitektura je niz detalja. Od ideje do realizacije postoji mnogo međukoraka koji se najčešće stiču iskustvom.

Od mnogobrojnih arhitektonskih elemenata jednog objekta, fasadno platno je odabrano kao predmet ovog rada jer sa jedne strane ima sve karakteristike dizajnerskog proizvoda u kome je proces dizajna zatvoren krug, a sa druge strane jer je usko vezano za određene materijale. Fasadno platno istovremeno mora da zadovolji funkciju zaštite objekta, njenu estetiku i omogućiti dodatne funkcionalnosti.

Na fasadnom platnu koje je obrađeno u ovom radu, izabran je konstruktivni sistem koji omogućava različite varijacije u dizajnu koji mogu zadovoljiti makro i mikro uslove lokacije, različite korisničke potrebe, različite dizajnerske želje, serijsku ili individualnu proizvodnju pojedinačnog panela i aplikaciju različito materijalizovanih opni na primarnu aluminijsku konstrukciju.

**1.2. Oblast i tema istraživanja**

Tradicionalno građene zgrade najčešće imaju statične fasade i zbog toga ne mogu da prate ekološke standarde koji se stalno mijenjaju i unapređuju.

**NAPOMENA:**

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Bojan Tepavčević.

Pomoću dinamičnih fasada, zgrade imaju mogućnost da reaguju na vanjske uslove sa poboljšanom energetskom efikasnošću [1]. Fasade koje reaguju na vanjske uticaje, smatraju se primarnom opnom zgrade. Dinamične fasade se vremenom poboljšavaju kako bi aktivno odgovarale na promjenu ekoloških standarda.

Pojam dinamična, je u arhitekturi opisan kao mogućnost da se vještački ili prirodni sistemi prilagode različitim uslovima okruženja. Takođe, ovaj termin se koristi za opisivanje interakcije između spoljnih uslova sredine i fasadnog sistema. Spoljni uslovi sredine obuhvataju niz različitih elemenata kao što su dnevna svjetlost, vjetar i toplota [2].

Implementacija kinetike u fasadu kako bi modulirali dnevnu svjetlost, zasjenjenje i / ili ventilaciju doveli su klimatski dizajn na novi nivo. Zgrade kao takve nisu samo interaktivne, već služe određenim funkcijama kako bi poboljšale udobnost korisnika uz smanjenu potrošnju energije.

Dinamična priroda takvih fasada zahteva da proces dizajna bude iterativan, procjenjujući brojne dizajnerske i funkcionalne parametre kako bi se došlo do optimizovanih rešenja.

Tema ovog rada su kinetički modularni fasadni paneli, a cilj rada je prikazati proces nastanka fasadnog panela od ideje do realizacije. Osnovna ideja u dizajnu bila je da se optimizacijom geometrije i korištenjem jednostavnijih tehničkih rješenja dobije proizvod koji je moguće proizvesti i implementirati.

**1.3. Novi prijedlog fasadnog panela**

Prijedlog nove modularne jedinice fasadnog panela, pored uobičajenih karakteristika treba dodatno da:

- omogućiti standardizovane dijelove za izradu konstrukcije
  - obezbijedi modularnost pri čemu način izrade i veze konstrukcije ostaju isti i čime se optimizuje proces proizvodnje
  - treba da sa što manje unikatnih dijelova panela ponudi što veći broj kombinacija materijala i geometrije kako bi se postigao određen estetski standard
  - poveća funkcionalnost u smislu kontrolisanog osvjetljenja, boljih vizura i smanjene potrošnje energije
- Prijedlogu fasadne jedinice prethodila je analiza postojećih slučajeva dinamičkih fasadnih panela. Cilj analize je da se uoče prednosti i mane ovakvih sistema. Nakon analize predloženo je idejno rešenje.

Početna ideja je da se odredi geometrija i teselacija panela i da se utvrde mjesta na kojima će se dozvoliti kretanje, odnosno stepeni slobode kretanja pojedinih tačaka jednog

modula. Ovaj dio je rađen pomoću 3D modela u programu Rhinoceros 6, a ispitivanje modularnosti i kombinovanja ovih jedinica rađena je sa dodatkom ovog programa za parametarsko modelovanje Grasshopper.

Nakon toga je izrađen prvi testni model, od pleksiglasa koji je služio za provjeru ideje. Model je pokazao određene nedostatke, koji su popravljani u 3D modelu, nakon čega je omogućena razrada detalja veza u programu Solidworks. Rezultat ovog rada su detaljan 3D model u Solidworks-u, sa potpunom sastavnicom spreman za izradu prototipa i ponuđena tipologija korištenja ovih modela na primjeru fasade jednog objekta.

## 2. RAZVOJ GEOMETRIJE I TIPOLOGIJE KINETIČKOG FASADNOG PLATNA

### 2.1. Razvoj ideje o geometriji panela za zasjenjivanje

Primjeri prikazani na slikama 1, 2 i 3 predstavljaju osnovnih tipologija elemenata za zasjenjivanje.



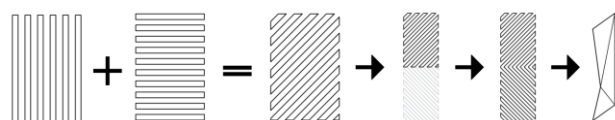
slika 1. primjer iz prakse [3]      slika 2. primjer iz prakse [4]      slika 3. primjer iz prakse [5]

Na slici 1 prikazan je tip sa vertikalnom podjelom, i ovakav tip brisoleja je odličan za zasjenjivanje kada na tom dijelu fasade preovladava istočno ili zapadno sunce. Na drugom primjeru (slika 2) je prikazan sistem zasjenjivanja gdje su brisoleji svojom većom dužinom postavljeni horizontalno.

Ovakav sistem je odličan pri sprečavanju prodora sunčevih zraka u objekat kada preovladava južno sunce. Na posljednjem primjeru slike 3 prikazan je sistem koji ima svojevrstnu optimizaciju položaja svakog od pojedinačnih elemenata fasade.

Ovaj sistem je učinkovit u svako doba dana, ali njegov nedostatak jeste da su paneli usitnjeni, da ih je teško montirati (svaki ima drugačiju orijentaciju u prostoru), i teško ih je održavati.

Prilikom razvoja ideje uzete su dobre odlike od svakog od ovih sistema i implementirane u jedan, praveći svojevrstnu fuziju vertikalnog i horizontalnog, sa mogućnošću optimizacije geometrije svakog panela pojedinačno bez većih izmjena. (skica 1)

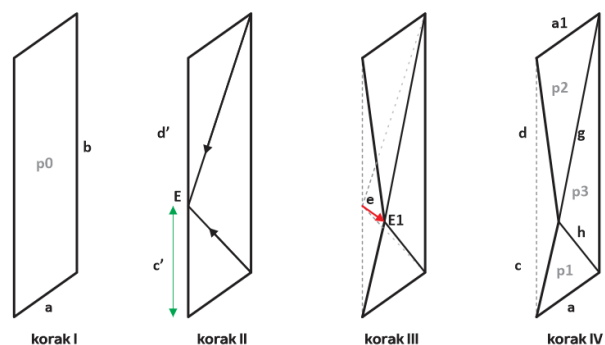


Skica 1. prikaz osnovne teselacije pravogaonika, osnovna geometrija kinetičkog fasadnog panela [2]

### 2.2. Geometrija panela

Geometrija novog predloženog rjesenja dobijena je iz četiri koraka prikazana na skici 2.

Pravougaoni oblik, svojom većom dimenzijom se pruža po vertikali (b). Izvršena je podjela na tri trougla, kako je prikazano u koraku II.

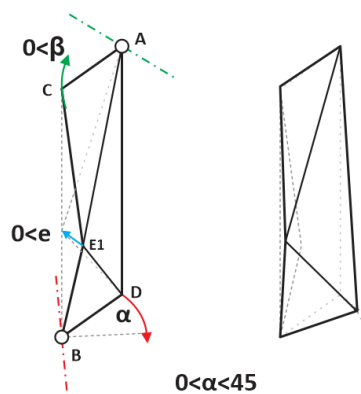


Skica 2. Prikaz osnovne teselacije pravogaonika, osnovna geometrija kinetičkog fasadnog panela

Mjesto sučeljavanja sva tri trougla (E), pomjereno je okomito u odnosu na početnu ravan (p0). Ta dužina može da bude od 1/5 pa do 1/3 širine panela ( $1/5 \cdot a < e < 1/3 \cdot a$ ). Tako se dobijaju tri ravni koje predstavljaju modul u osnovnom položaju (p1, p2, p3).

Različiti položaju ravni p1, p2, p3 se dobijaju pomjeranjem tačke D. Pri tome tačke A i B se ne pomjeraju translatorno, već vrše rotaciju oko svog centra. Tačke C i D rotiraju u određenoj ravni. Tačka E1 se translira u ravni od početnog položaja E do E1.

Kako bi ovo kretanje bilo omogućeno, p1 i p3 se rotiraju oko štapa h, dok se paneli p2 i p3 rotiraju oko štapa g. Uglovi  $\alpha$  i  $\beta$  predstavljaju otklon štapa a i a1 s tim što se ugao  $\beta$  nalazi u početnoj ravni p0, dok je ugao  $\alpha$  prostoru.



Skica 3. Fiksne i pomične tačke geometrije, ose rotacije, uglovi rotacije\_ otvoren i zatvoren panel

### 2.3. Tipologija

Idejno rješenje sa teselacijom pravogaonika na tri trougaona panela moguće je primjeniti na statične i na dinamične fasade. Ponuđena rješenja mogu se razvrstati u dva osnovna tipa: statični (S) i dinamični (D).

Statični podrazumijevaju da su paneli postavljeni u položaj u zavisnosti od prosječnih klimatskih karakteristika za određeno područje i nemaju mogućnost automatskog pomjeranja. Dinamični mogu da se pomjeraju automatski, i daju optimalne vrijednosti za bilo koje doba dana/godine ali zahtijevaju ugradnju elektromotora. Svaki od ovih osnovnih tipova mogu imati

podtipove u zavisnosti od teselacije panela, pa u tipu 1 se nalaze paneli iste teselacije dok u tipu 2 paneli različite teselacije. Dimenzije panela zavise od spratnih visina, pa se i u tipu 1 i tipu 2 u zavisnosti od konstrukcije objekta mogu naći paneli istih dimenzija za cijeli objekat ili različiti za pojedine dijelove objekta. Pored toga dinamični tip modula može imati jedan elektromotor koji pomjera grupu susjednih panela ili više elektromotora za svaki panel pojedinačno.

Odabir određenog tipa zavisiće od kriterijuma koji se odnose na:

- nivo kompleksnosti izrade
- cijenu izrade
- uštedu električne energije
- troškove održavanja
- potrošnju električne energije



Skica 4. *ilustrovani perspektivni prikaz tipa S1/D1 podtip A, S1/D1 podtip B, S2/D2 [2]*

Odabir tipa zavisi od potreba date lokacije objekta i drugih vanjskih faktora te se ne može reći da je jedan tip bolji od drugog, niti se može zbirno vrednovati, već se vrednovanje tipova vrši za svaki kriterijum pojedinačno.

### 3. RAZVOJ KONSTRUKCIJE, ODABIR MATERIJALA I VEZA UNUTAR NOSEĆE KONSTRUKCIJE

Predloženo rješenje panela podrazumijeva modularnu pravougaonu jedinicu sa podkonstrukcijom od standardnih pravougaonih aluminijskih cijevi. Zasjenu objeđuje trodjelna opna, čija teselacija omogućava kretanje koje nije isključivo u jednom pravcu što objeđuje optimalniju kontrolu svjetlosti i samim tim zagrijavanje objekta. Različita materijalizacija opni ovom panelu daje dodatnu funkcionalnost. Proizvodnju električne energije, djelimičnu kontrolu vjetra uz fasadu, vjetrenje fasade.

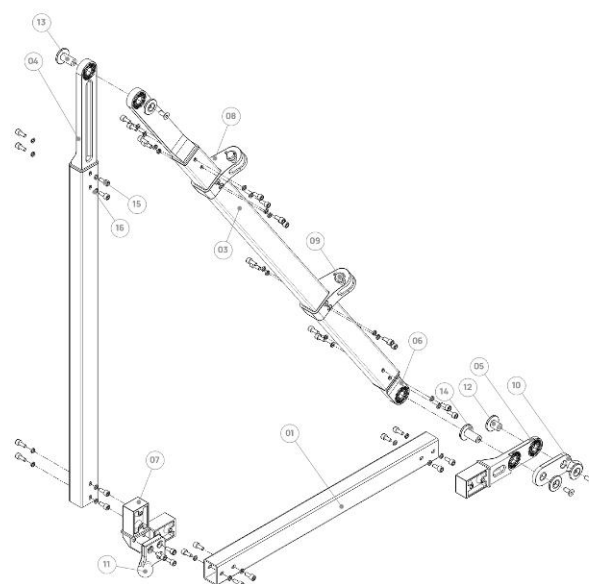
Mehaničke veze unutar fasadnog panela su podijeljene u tri grupe jer svojim svojstvima i funkcijom forimiraju po jednu odliku fasadnog panela.

Primarne veze su zamišljene da formiraju glavne konstrukcione dijelove fasadnog panela. Nihov dizajn im omogućava da se mogu koristiti i na panelima koji su po obliku i dimenziji drugačiji a u funkciji su da povežu aluminijske profile pod uglovima, većim od 15 a manjim od 90 stepeni. Veze su krute i formiraju trougaoni dio panela.

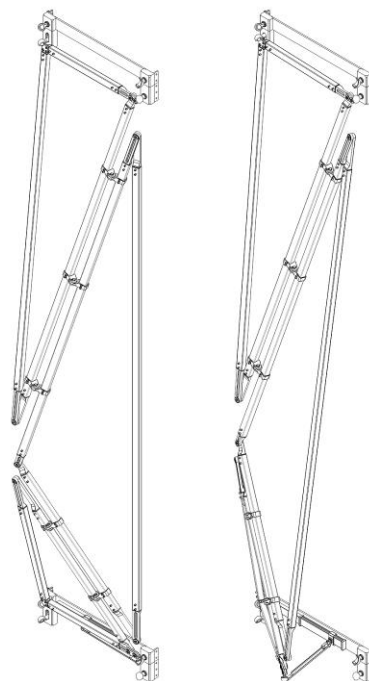
Sekundarne veze su zamišljene kao spojnice između trougaonih elemenata, koje dozvoljavaju da se trougaoni elementi rotiraju međusobno paralelne stranice. Spojeni ovim vezama tri trougaona panela formiraju fasadni panel.

Tercijalne veze su zamišljene kao sferni zglobovu u četiri vanjska ugla panela, koja povezuju fasadni panel za međuspratnu konstrukciju. Prednosti korištenja sfernog zgloba se ogleda u univerzalnosti veze koja omogućava

promjenu geometrije-dizajna fasadnog panela kao i korištenje iste veze kod statičnih i dinamičnih tipova fasadnih panela.



Skica 5. *detaljan izometrijski prikaz svih sastavnih dijelova jednog trougaonog panela*



Skica 6. *detaljan izometrijski prikaz noseće konstrukcije jednog fasadnog panela u zatvorenom i otvorenom položaju*

### 4. MATERIJALIZACIJA OPNE KINETIČKOG FASADNOG PLATNA

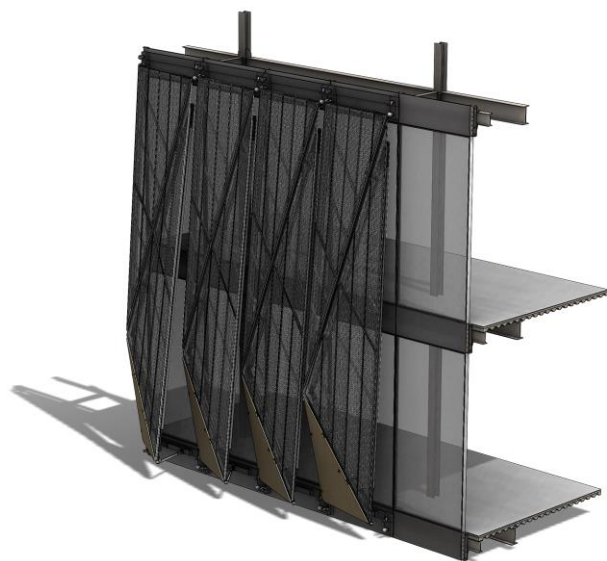
Odabir pravog tipa materijalizacije fasadnog panela, odnosno opne, predstavlja najbitniji faktor u smislu definisanja fasadnog panela kao korisnog i estetski privlačnog dijela jednog objekta. U zavisnosti od makro i mikro uslova date lokacije fasadne panele je moguće materijalizovati na više načina kao i opcije kombinacije

dvije ili više vrsta materijalizacije. Fasadni panel je zamišljen da je njegova primarna funkcija da propusti odnosno spriječi prodor svjetlosti u objekat te da služi kao dvostruka fasada u korist bolje termike samog objekta.

S obzirom da se fasadni paneli kače na noseću konstrukciju objekta, te da se u određenom položaju svojom geometrijom poprimaju oblik i fizičke karakteristike jedra, bitno je da se prilikom samog odabira materijala obrati pažnja na njegovu zapreminsku težinu, njegovu poroznost, otpornost na fizičke udare vjetra kao i njegovu otpornost na temperaturne razlike i uticaj sunčevog zračenja kao i ostale fizičke uticaje.

Neki od mogućih materijala za upotrebu su:

Staklo/pleksiglas, paneli od sačastog polikarbonata, aluminijumski lim, impregnirani drveni paneli, fasadno tekstilno platno, te regenerativne foto-elektro-hemijske ćelije (po sistemu Michael Grätzel-a).



Skica 7. detaljan perspektivni prikaz fasadnih panela apliciranog na fasadu

## 5. ZAKLJUČAK

U radu je predstavljen proces stvaranja fasadnog panela čiji je cilj bio da uvođenjem kinematičkih svojstava doprinese većoj efikasnosti fasade na kojoj bi bio implementiran. Optimizacijom geometrije konstruisan je takav panel za koji nisu potrebna komplikovana tehnička rešenja, te kao takav ga je moguće izraditi u i manjim fabričkim pogonima koji su karakteristični za domaće tržište.

Predstavljena tipologija fasadnih panela prikazala je varijabilnost i različitost kombinacija primjene ovih panela na fasadama objekta uz minimalne promjene u samom modulu.

Dodatnu vrijednost ovom panelu daje mogućnost upotrebe različitih materijala za opnu koji pored uštede energije mogu i da proizvedu dodatnu električnu energiju.

Izvršena je komparativna analiza dinamiškog i statičkog sistema fasade. Dobijeni rezultati ukazuju da kinetički fasadni paneli imaju prednost i poboljšane performanse u odnosu na statične, ali je dalje potrebno izvršiti ispitivanja ovih performansi u kvantitativnom smislu.

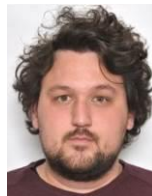
To podrazumjeva izradu prototipa na osnovu nacрта datih u ovom radu.

Dalja ispitivanja i razrada bi se odnosila na daljnju optimizaciju sistema. Ova optimizacija podrazumjeva analizu mogućnosti zamjene mehaničkih spojeva elastičnim, jer se time teži smanjenju troškova održavanja i cijene izrade.

## 6. LITERATURA

- [1] Premier, A. (October 2012). "Dynamic Facades and Smart Technologies for Building Envelope Requalification". Research Gate. Pristupljeno 03.08.2019. godine
- [2] K. Sharadin, "Kinetic Facades: Towards design for Environmental Performance". A Ph.D thesis. School of Architecture and Design. RMIT University, March 2014.
- [3] [https://cdn.stylepark.com/articles/2011/intelligent-living-facades/12\\_v327674\\_958\\_480\\_641-2.jpg](https://cdn.stylepark.com/articles/2011/intelligent-living-facades/12_v327674_958_480_641-2.jpg) Pristupljeno 03.09.2019. godine
- [4] <https://archinect.imgix.net/uploads/9n/9no4ocwn-5acnojm.jpg?fit=crop&auto=compress%2Cformat&w=615> Pristupljeno 03.09.2019. godine
- [5] [https://static.dezeen.com/uploads/2016/05/giles-miller-studio-installation-glass-tiles-scales-wayfinding-sculpture-clerkenwell-design-week-2016\\_dezeen\\_936\\_12.jpg](https://static.dezeen.com/uploads/2016/05/giles-miller-studio-installation-glass-tiles-scales-wayfinding-sculpture-clerkenwell-design-week-2016_dezeen_936_12.jpg) Pristupljeno 03.09.2019. god.

## Kratka biografija:



**Ognjen Jokić** rođen je u Bosanskoj Gradišci 1991. god. Osnovne studije iz oblasti Arhitekture završio je na Arhitektonsko građevinsko geodetskom fakultetu u Banja Luci. Master studije je pohađao na Fakultetu tehničkih nauka u Novom Sadu iz oblasti Arhitekture – Digitalne tehnike, dizajn i produkcija u arhitekturi. Master rad je odbranio je u oktobru 2019.god. kontakt: ognjen.jokic@gmail.com