

**PRIMENA DIGITALNIH ALATA U DIZAJNU SVETLEĆIH MODULARNIH
ELEMENTA EFEMERNIH STRUKTURA****APPLICATION OF DIGITAL TOOLS FOR MODULAR LIGHT ELEMENTS OF
EPHEMERAL STRUCTURES**

Aleksandar Krnjaić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

Oblast – ARHITEKTURA

Kratak sadržaj – U ovom radu objašnjen je proces dizajniranja modularnog sistema za definisanje enterijerskih prostora sa integrisanim osvetljenjem. Odrađena je analiza i dizajniranje individualne ćelije u sistemu, definisanje najboljeg oblika i dimenzije ćelije. Definisan je koncept menjanja svetlosti pomoću mikrokontrolera u kombinaciji sa senzorima i izvedeno integrisanje svetlosti u ćeliju. Rad je zaključen izradom prototipa ćelije i davanjem primera kreiranja forme pomoću ćelija.

Ključne reči: *Analiza, dizajn, modularni sistem, geometrijske ćelije, osvetljenje*

Abstract – *This paper explains the process of designing a modular system for defining interior spaces with integrated lighting. The analysis and design of the individual cell in the system was done, defining the best shape and dimensions of the cell. The concept of changing the brightness and colour of the lights was defined using a microcontroller in combination with sensors and the integration of light into the cell was performed. The work is concluded by creating a cell prototype and giving an example of creating a form using cells.*

Keywords: *Analysis, design, modular systems, geometric cell, lighting*

1. UVOD

Arhitekta se tokom projektovanja primarno bave oblikovanjem, definisanjem i uređenjem određenog prostora. U enterijeru, najmanjoj navedenoj razmeri, definisanje prostora najviše dolazi do izražaja jer ga je najlakše sagledati. Način na koji arhitekta uspe da organizuje određeni prostor ima direktan uticaj na korisnike kako u funkcionalnom tako i u psihološkom smislu [1]. Dizajniranje enterijera može se podeliti na dizajniranje privatnih i javnih prostora. Enterijeri javnih objekata moraju zadovoljiti potrebe velikog broja korisnika. Pored većeg broja korisnika sa različitim potrebama, javni objekti imaju i različite namene koje utiču na organizaciju prostora, a mogu zahtevati povremenu ili redovnu izmenu prostora. Tada je arhitekta neophodno da imaju na raspolaganju modularne i fleksibilne elemente koje mogu upotrebiti u organizaciji prostora kako bi se oni mogli pomeriti, izmeniti i ponovo sklopiti u drugačijem obliku i time prilagoditi prostor spram potreba naredne zahtevane konfiguracije [2].

NAPOMENA:

Ovaj rad proistekao je iz master rada čiji mentor je bio dr Marko Jovanović, docent.

1.1. Predmet istraživanja

Modularni i konfigurativni sistemi su relativno neistražena oblast u arhitekturi i primenjuju se u obliku paviljona i instalacija ili pregrada u enterijeru. Paviljoni se rade kao efemerne strukture koje se prave i postavljaju za potrebe nekog sajma ili izložbe, uglavnom nisu funkcionalne već samo estetične i prezentacione. Drugi primer su sistemi koji su primarno funkcionalni i služe samo radi pregrađivanja nekog prostora. Gledajući iz ugla izložbenih i performativnih prostora i njihovih potreba, modularni sistemi imaju potencijal da reše problem potrebe za izmenjivim prostorima pružajući sistem gde je moguće reorganizovati prostor po potrebi korisnika. Upotrebom modularnih elemenata potrebno je samo odraditi rekonfiguraciju elementa u drugi oblik umesto pravljenja novog prostora što štedi vreme i novac.

Veoma bitan faktor u organizaciji prostora jeste osvetljenje. Kako bi se naglasili određeni bitni delovi ili kreirala određena atmosfera potrebno je da organizatori prostora imaju potpunu kontrolu nad osvetljenjem [3]. Trenutno, rasveta se izvodi naknadnim dodavanjem elemenata na već postojeću strukturu ili zidove i plafone umesto da budu sastavni deo elemenata koji definišu prostor.

1.2. Stanje u oblasti

Pravljenje paviljona koji koriste modularne elemente zasniva se na pronalaženju geometrijskih oblika koji se mogu slagati u prostoru bez stvaranja praznina. Kocka je jedini pravilni poliedar koji može na ovaj način da se slaže [4]. Primer ovakvog paviljona jeste Serpentin paviljon projektnog biroa BIG (Slika 1 desno). Ovaj paviljon se zasniva na kockama poređanim u ortogonalnom rasporedu. Oblik paviljona se sastoji od dve zakrivljene površine koje se u vrhu spajaju u ravnu liniju koje su aproksimirane kockastim modulima. Zamisao kreatora paviljona je bila da celokupna struktura deluje kao da sija. Firma koja je radila osvetljenje paviljona, odlučila se za kombinaciju širokougaonih lampi iza klupa za sedenje i visoko postavljenih reflektora (Slika 1 levo).



Slika 1. *BIG Serpentin paviljon, levo - pozicija osvetljenja; desno – primer paviljona [5]*

Na ovaj način su uspjeli da postignu iluziju da paviljon sijaja, pošto se svetlost reflektovala od kocke ka spoljašnjosti. Sledeći primer eksperimentalnog paviljona sačinjenog od modula jeste Digital origami masterclass paviljon dizajniran od strane LAVA architects biroa u saradnji sa master studentima Sidnejskog Univerziteta za tehnologiju (Slika 2 levo). Ovaj paviljon koristi Weaire-Phelan ćelije za aproksimaciju forme. Weaire-Phelan strukture se sastoje od dva oblika koji u kombinaciji mogu da popune trodimenzionalni prostor bez ostavljanja praznina.

Prvi oblik je kubično deformisani petougaooni dodekaedar, drugi je 14-edar sa 12 petougaoonih i dva heksagonalna lica [6]. Weaire-Phelan ćelije su u modelu rasklopljene tako da se mogu seći na ravnom kartonu, zatim tako isečen karton je sklapan u oblik ćelije, a ćelije su lepljene jedne za druge.

Ovako kreiran paviljon od kartona može da izdrži da nosi sopstvenu težinu ali ne i dodatna opterećenja. Paviljon je osvetljen provođenjem LED traka kroz unutrašnjost paviljona, a ćelije koje čine paviljon su perforirane, što pomaže prodoru svetlosti koja je provučena kroz paviljon (Slika 2 desno).



Slika 2. *Digital origami masterclass paviljon- levo - izgled paviljona; desno – osvetljenje paviljona [7]*

1.3. Problemi

Problemi prethodnih primera se mogu svrstati u tri kategorije: 1. Krute veze modula; 2. Korišćenje modularnih elemenata u stalnim i neizmenjivim formama; 3. Naknadno dodavanje svetla.

Najveća prednost modula je mogućnost da funkcioniše kao osnova za izgradnju više različitih oblika istim elementom, što je nemoguće postići ako su oni vezani trajnim vezama.

U ustanovama kao što su kulturni centri, koji imaju potrebe da organizuju razne manifestacije koje uključuju izvođenje predstava, koncerte i izložbe, organizatori imaju potrebu za različitom organizacijom prostora, bina ili paviljona. Svi elementi za ova dešavanja mogu se napraviti od istih modularnih elemenata umesto od zasebnih elemenata koji se instaliraju za svako dešavanje i sklanjaju po završetku.

Montažno-demontažni aspekt modularnih sistema im omogućava da se rasklope i sklone sa strane ili prebace u oblik potreban za sledeće dešavanje i time zauzmu i vrate prostor po potrebi.

Kao što se može videti iz primera prezentovanih u prethodnom poglavlju, svetlost se naknadno dodaje na strukturu kako bi se ostvarila zamisao arhitekta. Na ovaj način dizajneri pokušavaju da se ukllope u postojeću strukturu, umesto da svetlo bude dizajnirano zajedno sa strukturom. Dodavanjem svetlosti u module omogućeno je da svetlost bude integralni deo dizajniranja prostora.

1.4. Cilj

Rešavanje prve i druge kategorije problema postojećih primera zahteva kreiranje montažno-demontažnog modularnog sistema kako bi se iskoristio potpuni potencijal modularnih elemenata i korisnicima pružila mogućnost izmene prostora po potrebi. Rešavanje treće kategorije podrazumeva kreiranje elementa modularnog sistema koji unutar sebe sadrži osvetljenje i obavlja funkciju dodavnih svetlosnih elemenata.

Kriterijumi za postizanje ovakvog modularnog sistema podrazumevaju: 1. Preciznost modula u aproksimaciji kompleksnih oblika; 2. Ekonomičnost u izradi modula; 3. Ekonomičnost u izradi forme; 4. Mogućnost korišćenja modula kao osvetljenja i mogućnost promene osvetljenja. Ovo istraživanje će potkrepiti potvrdu koncepta da li je moguće napraviti ovakav modul i instalirati svetlost koju će korisnici moći da kontrolišu.

2. METODE ISTRAŽIVANJA

Kako bi se na najbolji način zadovoljio cilj i ispunili dati kriterijumi prvo je potrebno ustanoviti kojim tipom modula najbolje aproksimira zadati oblik. Zatim, potrebno je pronaći tip modula sa najekonomičnijim i najefikasnijim načinom fabrikovanja i kombinovati podatke kako bi se dobio traženi tip modula. Izabranom tipu modula potrebno je odrediti najbolju veličinu za oblik koji aproksimira. Potrebno je dizajnirati osvetljenje ćelija, koncept menjanja osvetljenja i odabrati komponente pomoću kojih će koncept biti izvršen.

Kako bi se neki prostor popunio modulima prvenstveno je potrebno odrediti modul koji može da popuni trodimenzionalni prostor bez ostavljanja praznina, odnosno odrediti poliedar koji popunjava prostor [8]. Pored već navedene kocke i Weaire-Phelan poliedara prostor je moguće popuniti zaklinjenim oktaedrom [9] i rombičnim dodekaedrom [10]. Svaki od ranije navedenih poliedara ispunjava uslov da ga je moguće teselovati u trodimenzionalnom prostoru što ga čini validnim kandidatom za generisanje modularnog sistema.

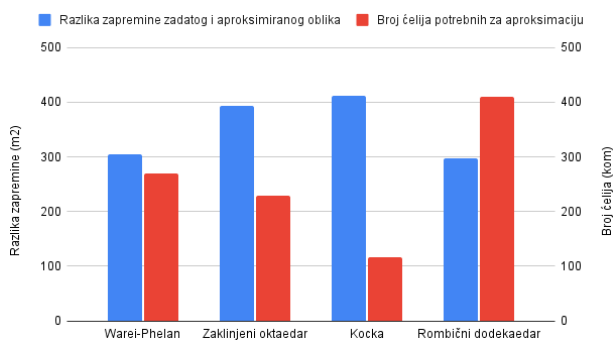
Kako bi se ispunili zadati kriterijumi potrebno je dodatno ispitati svojstva ovih poliedara i odrediti koji od njih najbolje ispunjava svaki kriterijum. Određivanje ove stavke kao i ostalih kriterijuma podeljeni su u segmente istraživanja: dizajn ćelije, dizajn forme, dizajn osvetljenja, fabrikacija prototipa

2.1. Dizajn ćelije

Dizajniranje ćelije koja ispunjava zadate kriterijume prvenstveno je uslovljeno odabirom oblika jednog od prethodno navedenih poliedara koji najbolje aproksimira određeni zadati oblik. Kada se neka forma aproksimira potrebno je da ona bude skroz pokrivena ćelijama koje vrše aproksimaciju. Pošto ćelije nisu identičnog oblika, kao segment forme koji aproksimiraju, generiše se ostatak oko zadate forme. Merenjem ostatka može se utvrditi koja vrsta ćelije najbliže aproksimira zadatu formu. Razlika između zadate i aproksimirane forme se može dobiti merenjem razlike zapremine početnog oblika i aproksimirane forme dobijene pomoću poliedara. Što je manja razlika zapremina to je aproksimacija forme bolja i poliedri su bliži zadatoj formi. Manjim dimenzijama poliedra mogu se dobiti bolji rezultati aproksimacije, zato je svaki tip

testiran kao poliedar upisan u sferu prečnika 20cm. Test je rađen na sferi prečnika 100cm kako bi se videlo kako različiti poliedri aproksimiraju oblik koji je dvostruko zakrivljen. Pored mogućnosti da precizno aproksimira formu, potrebno je da zadati oblik ćelija koristi što manji broj ćelija kako bi izvršio aproksimaciju. Veći broj ćelija će bolje aproksimirati oblik ali potrebno je odabrati poliedar koji sa najmanje ćelija može najbolje aproksimirati zadati oblik.

Kombinovanjem podataka razlike zapremine i podataka broja potrebnih ćelija da bi se aproksimirala četvrtina sfere dobija se odgovor na pitanje koji poliedar ima optimalna svojstva maksimalne popunjenosti oblika i minimalnog broja ćelija zapopunjavanje oblika. Prikaz poređenja podataka vizualizovan je na grafikonu na slici 3.



Slika 3. Grafikon poređenja razlike zapremine zadatog i aproksimiranog oblika i broja ćelija potrebnih za aproksimaciju različitih poliedara

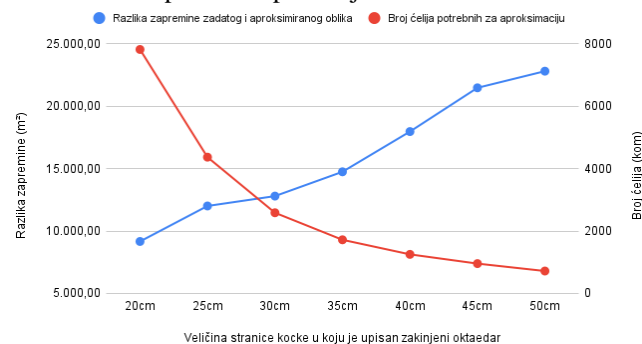
Prema podacima iz grafikona na slici 4. Weaire-Phelan ćelije imaju najbolji odnos podataka pa zatim zaklinjeni oktaedar pa rombični dodekaedar pa kocka. Pored sposobnosti nekog poliedra da aproksimira zadati oblik, potrebno je ispitati i mogućnost fabrikacije svakog poliedra kako bi se utvrdio oblik ćelije koji se najefikasnije fabrikuje. Za način pravljenja ćelije odabrano je kreiranje rigidnog okvira duž ivica ćelije koji se kasnije ispunjava difuznim materijalom. Okvir ivica će se praviti izlivanjem modula pa je potrebno pronaći oblik čije stranice se mogu napraviti od jednog modula. Weaire-Phelan poliedri zahtevaju dve ćelije što je najgora varijanta. Ostali poliedri zahtevaju samo jednu ćeliju ali samo kocka i zaklinjeni oktaedar se mogu praviti od jednog modula pošto imaju istovalentne vertekse. Kombinujući podatke blizine aproksimacije oblika i efikasnosti fabrikacije dolazi se do zaključka da je zaklinjeni oktaedar najbolji osnov za pravljenje ćelije.

2.2. Dizajn forme

Pored oblika ćelije koji je ispitivan u prethodnom poglavlju, bitan faktor za kreiranje forme pomoću modularnih elemenata jeste i veličina ćelije. Ćelije manje veličine će bolje aproksimirati oblik i kod zakrivljenih formi dati bližu reprezentaciju krive ali zahtevaju veliki broj ćelija, dok velike ćelije imaju grublju aproksimaciju ali ih je potrebno mnogo manje.

Kako bi se ispitala najbolja veličina ćelije zaklinjenog oktaedra poređenje razlike zapremine zadate i aproksimirane forme u kombinaciji sa brojem ćelija su rađeni za ćelije veličine poliedra upisanog u sferu prečnika od 20 do 50cm. U preseku dve krive, na grafikonu na slici 4, dobija se optimalna veličina ćelije što

je u ovom slučaju 30cm. Ova dimenzija ćelije je najbolja za datu situaciju i formu, za druge tipove oblika i veličina potrebno je uraditi proveru veličine ćelije po dobijanju karakteristika prostora i potencijalnih formi.



Slika 4. Grafikon poređenja razlike zapremine zadatog i aproksimiranog oblika i broja ćelija potrebnih za aproksimaciju forme pomoću zaklinjenog oktaedra različitih dimenzija

2.3. Dizajn osvetljenja

Kako bi struktura u potpunosti mogla da ispunjava zahteve performativnih prostora potrebno je da ćelije ispunjavaju i zahtev osvetljenja. Da bi se ćelije što bolje svetlele potrebno je izabrati materijal koji poseduje balans dobre difuzije svetlosti ali da ne prigušuje svetlost. Dva materijala su odabrana za poređenje kako bi se popunile stranice zaklinjenog oktaedra, PVC folija i paus papir. Ispitivanje je vršeno na test kockama 10x10x10cm čije su stranice napravljene od PVC folije i paus papira sa led diodom unutar kocke. Zaključeno je da paus papir ima mnogo bolja svojstva difuzije svetlosti i da bolje osvetljava okoliku.

Jedan od ciljeva pri dizajniranju jeste da korisnik može da menja svetlost sistema. Kako bi se ispunio cilj potrebno je definisati koncept menjanja svetlosti i odabrati sredstva pomoći kojih će promena biti izvršena. Najintuitivniji fizički način promene svetlosti ćelije jeste obrtanje same ćelije u prostoru. Korisnici kada uzmu master ćeliju u ruke, kako bi promenili boju svetlosti, prvo će je okrenuti kako bi je sagledali. Baš taj čin okretanja ćelije oko svoje ose predstavlja najintuitivniji proces pomoću koga bi trebalo menjati boje ćelije.

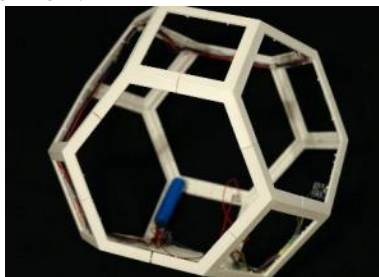
Kako bi se postigla promena boje inicirana obrtanjem ćelije oko svoje ose potrebno je koristiti senzore koji mogu da detektuju takvu promenu i procesor koji će obraditi te podatke i pretvoriti ih u signal za LED diode kako bi one promenile boju. Podatke pozicije u postoru generiše senzor sa žiroskopom i ascelerometrom koji ih šalje ESP mikrokontroleru preko koga se obrađuju podaci i pretvaraju u HSL spektar i šalju LED diodama. Interpretiranje podataka senzora u HSL sistemu znači da obrtanje oko z ose menja boju svetlosti, obrtanje oko y ose menja nijansu a obrtanje oko x ose menja svetlinu boje. Nakon što je utvrđeno koji dizajn ćelije je potrebno uraditi na ćeliji date veličine sa ubačenim osvetljenjem, potrebno je osvrnuti se i na fabrikaciju.

2.4. Fabrikacija prototipa

Nakon dobijenih optimalnih rezultata i teorijskih podataka bilo je potrebno potvrditi da li je moguće u stvarnosti napraviti takvu master ćeliju koja će menjati boje okretanjem u prostoru. Kombinujući do sada dobijene

podatke iz svakog poglavlja potrebno je napraviti ćeliju veličine zaklinjenog oktaedra upisanog u sferu prečnika 30cm, sa stranicama izrađenim od paus papira u koju je potrebno ugraditi elektroniku za osvetljenje.

Na slici 5 prikazan je fabrikovan okvir ćelije sa ugrađenom elektronikom.



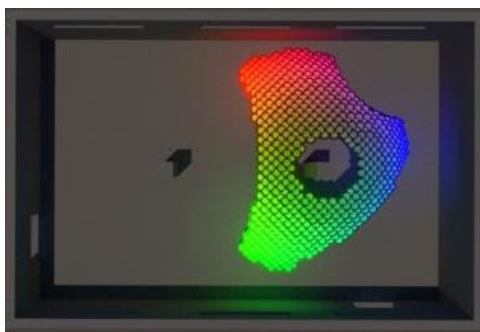
Slika 5. Prikaz sklopjenog rama i elektronike ćelije

3. REZULTAT ISTRAŽIVANJA

Nakon istraživanja svih aspekata potrebnih za kreiranje ćelije modularnog sistema dobija se rezultat u vidu prototipa master ćelije koja ispunjava sve zahtevane karakteristike. Kako bi se ćelija implementirala u nekom prostoru potrebno je odrediti zahteve tog prostora i na osnovu toga kreirati optimalnu ćeliju za potrebe takvog prostora.

Predložen je prostor 15x10m sa dva stuba postavljena na 5m od zidova i između sebe. Za ovaj prostor potrebno je generisati paviljon dimenzija 5,8x7,6x5,5m i krivudavo linijsko izložbeno postolje visine do 1.3m i debljine 0.5m. Primenom metoda dobijene su različite dimenzije ćelija 30cm za paviljon i 10cm za postolje.

Kako bi se obe strukture mogle najbolje moguće sastaviti primenom iste ćelije, ćelija upisana u sferu prečnika 20cm je odabrana. Na slikama 6 i 7 prikazan je izgled dobijenog paviljona i postolja sa primerom osvetljenja.



Slika 6. Render dobijene forme paviljona sa osvetljenjem



Slika 7. Render dobijene forme postolja sa osvetljenjem

4. ZAKLJUČAK

Kroz ovo istraživanje potvrđeno je da je moguće napraviti modularni sistem za organizaciju enterijera. Spram dobi-

jenih podataka iz testiranja različitih formi i dimenzija ćelija dobija se podatak da se forme se mogu grupisati prema nameni i veličini ćelije. Bine i paviljoni za koncerte i izložbene sadržaje veličina od oko 5 do 10m se najbolje aproksimiraju sa ćelijama upisanim u sferu prečnika 30cm, a instalacije i izložbeni rekviziti manji od 2m se bolje aproksimiraju ćelijama upisanim u sferu prečnika 10cm. Gledajući na fabrikaciju ćelije potvrđeno je da je moguće napraviti ćeliju koja se može koristiti kao modularni element za kreiranje formi.

Koncept kontrole svetlosti obrtanjem ćelije u prostoru pokazao se kao najintuitivniji pristup koji omogućava korisniku bez prethodnog znanja o paviljonu da kontroliše osvetljenje. Potvrđena je i mogućnost kontrole svetlosti pomoću senzora i mikroprocesora, izradom prototipa.

5. LITERATURA

- [1] Augustin, S., Frankel, N. and Coleman, C.; 2009. Place advantage: Applied psychology for interior architecture. John Wiley & Sons.
- [2] Lelieveld, C.M.J.L., Voorbij, A.I.M. and Poelman, W.A., 2007. Adaptable architecture. Building Stock Activation, pp.245-252.
- [3] Flynn, J.E., Spencer, T.J., Martyniuk, O. and Hendrick, C., 1973. Interim study of procedures for investigating the effect of light on impression and behavior. Journal of the Illuminating Engineering Society, 3(1), pp.87-94.
- [4] Gardner, M.; 1984. The Sixth Book of Mathematical Games from Scientific American. Chicago, IL: University of Chicago Press, p.183-184.
- [5] Patrick Lynch. "BIG's Serpentine Pavilion to be Moved to Permanent Home in Vancouver" 03 Apr 2017. ArchDaily. Pristupljeno: 28 Sep 2023. Dostupno na: https://images.adsttc.com/media/images/5756/e802/e58e/ce8b/5100/0001/large_jpg/big_pavilion_image_c_iwan_baan_2.jpg?1465313262
- [6] Weaire, D. and Phelan, R., 1994. A counter-example to Kelvin's conjecture on minimal surfaces. Philosophical Magazine Letters, 69(2), pp.107-110.
- [7] LAVA, DIGITAL ORIGAMI MASTERCLASS. Pristupljeno: 28 Sep 2023. Dostupno na: <https://www.l-a-v-a.net/assets/Uploads/resampled/croppedimage75510-DigitalOrigami300dpiAn-Barnes03-04-10.jpg>
- [8] Arthur, L.L., 1976. Space Structures, Their Harmony and Counterpoint, p. 127-132.
- [9] Cundy, H.M. and Rollett, A.P., 1961. Mathematical models. p. 100-104.
- [10] Steinhaus, H., 1999. Mathematical snapshots. Courier Corporation. p. 185-190

Kratka biografija:



Aleksandar Krnjaić rođen je u Zrenjaninu 1997. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Arhitektura – Digitalna fabrikacija i interaktivni sistemi odbranio je 2023.god. kontakt: aleksandar.krnjaic023@gmail.com