

**OPTIMIZACIJA PROJEKTOVANJA OSNOVE OBJEKATA JAVNE NAMENE  
PRIMENOM DIGITALNIH ALATA****SPATIAL LAYOUT DESIGN OPTIMIZATION OF PUBLIC BUILDINGS USING  
DIGITAL TOOLS**Uroš Stanisavljević, Marko Jovanović, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad***Oblast – ARHITEKTURA I URBANIZAM**

**Kratki sadržaj** – Tema ovog istraživanja bavi se pronalaženjem optimalnog pristupa za generisanje osnova objekata javne namene primenom digitalnih alata.

**Ključne reči:** Funkcionalna šema, algoritam, generator

**Abstract** – The topic of this research is to find the optimal approach for generating the spatial plans of public buildings using digital tools.

**Keywords:** Spatial diagram, algorithm, generator

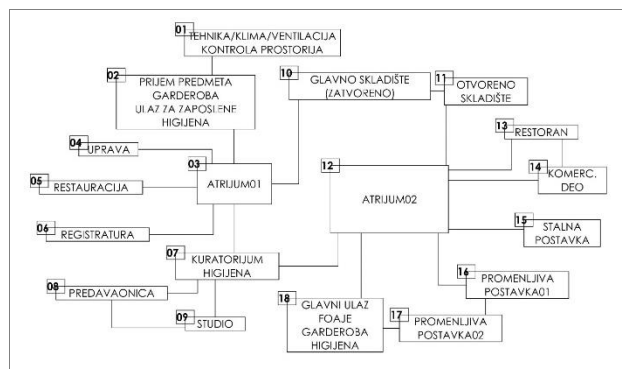
**1. UVOD**

Priroda je uvek bila neiscrpan izvor inspiracije u arhitekturi. Ta inspiracija se ispoljavala na različite načine, bilo kroz primenu elemenata iz prirode u izradi objekta, imitiranje prirode u svrhu pronalaženja forme objekta i poboljšanja njegovih performansi do korišćenja prirodnih procesa kao polazišta za unapređenje arhitektonskog projektovanja.

Prof. Dragana Konstantinović definiše proces arhitektonskog projektovanja kao složeni logički i kreativni ciklus koji predstavlja metodološki i kreativni okvir stvaranja arhitektonskog dela [1]. Uzimajući u obzir složenost ovog procesa i vreme koje iziskuje, potreba za automatizacijom nekih njegovih faza bila je očekivana.

**1.1. Predmet istraživanja**

U inženjerskim i društvenim naukama, pojam izgrađeno okruženje ili izgrađeni svet odnosi se na čovekovo okruženje koje pruža okvir za ljudske aktivnosti, od zgrada do gradova i šire. Da bi se obezbedilo sigurno i zdravo okruženje za život ljudi i da bi se gradili objekti i kompleksi koji funkcionalno i kontekstualno pripadaju datom okruženju, njihovoj izgradnji prethodi složen proces projektovanja. Sinteza, odnosno definisanje programa i koncepta predstavlja najsloženiju fazu projektovanja podložnu stalnoj promeni. U praksi se program često preciznije odnosi na to kako su elementi objekta, njegove zone i prostori unutar i oko njega organizovani. Radi što boljeg razumevanja programa i jednostavnijeg manipulisanja podacima ovi elementi se u praksi najčešće prikazuju programskim, odnosno funkcionalnim šemama (Slika 1).



Slika 1: Primer funkcionalne šeme muzeja savremene umetnosti, autorski projekat

Kako definisanje koncepta zahteva inovativnost i originalno rešenje, dolaženje do optimalne funkcionalne šeme i njena razrada iziskuje konstantno eksperimentisanje, izlaženje iz okvira očekivanog i produkovanje velikog broja različitih rešenja. Upravo ovo je bila polazna tačka arhitekata savremenog doba da razmatraju na koje sve načine se računar odnosno digitalni alati mogu koristiti za automatizaciju ove faze projektovanja.

Generativni dizajn može biti koristan kao jedan od pristupa u rešavanju ovakvog zadatka, imitiranjem evolutivnog pristupa dizajnu koji se može primetiti u prirodi. Dati pristup podrazumeva korišćenje programskog koda, algoritama sa određenim parametrima unutar dizajnerskog procesa. Kod generativnog pristupa, dizajner ne radi direktno na finalnom proizvodu (slici, grafici, modelu, itd.), već na sistemu koji će do njega dovesti. Najveća prednost ovog pristupa leži upravo u broju iteracija koje je moguće proizvesti u relativno kratkom roku, kao i lakoj obradi velike količine podataka.

**1.2. Stanje u oblasti**

2008. godine Kostas Terzidis je razvio AutoPLAN [2], računarski program koji generiše arhitektonske osnove koristeći granice lokacije, dimenzije i matricu susednosti prostorija kao svoje ulazne podatke. Napisan je u Processing (Processing) programu ( i koristi stohastički algoritam pretraživanja koji traži raspoloživi prostor za distribuciju prostorija uzimajući u obzir granicu lokacije i matricu susednosti. Terzidis je ovim programom pokušao da ukaže na potencijal računara i stohastičkih procesa kao alternativni pristup dizajnu.

2016. godine Džoul Sajmon (Joel Simon) koji je bio član laboratorije na Univerzitetu „Rokfeler“ u Njujorku, proučavajući biofiziku, razvio je metodologiju za eksperimentalni istraživački projekat koji naziva Involving

**NAPOMENA:**

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

florplans (Evolving Floorplans) [3]. Njegov algoritam, po uzoru na algoritam „Mravlja kolonija“, transformiše standardnu osnovu objekta javne namene da bi se smanjila dužina hodnika i vreme hodanja. To rezultira rasporedima u slobodnoj formi, bez pravih uglova.

U okviru Rajno programskog okruženja, nalazi se i digitalna alatka koja generiše osnove objekata javne namene, kao što je vidljivo u istraživačkom projektu Magnetizujući generator osnove (Magnetizing floor plan generator) [4]. Projekat je nastao 2019. godine kao digitalna alatka u okruženju Greshoper (Grasshopper), a autor je Egor Gavrilov i njegov tim. Kao polaznu tačku istraživanja Gavrilov navodi pretpostavku da je svaka prostorija u objektu nekako povezana sa ostalim. To znači da je cela komunikaciona struktura međusobno povezana i tako čini jezgro, iako u realnim uslovima nisu sve prostorije uvek uz glavni hodnik.

### 1.3. Problemi

Primena algoritama u arhitekturi do danas je u praksi većim delom bila kao alat za postizanje najboljih građevinskih performansi objekata. Performanse zgrada uključuju strukturne karakteristike, akustiku, osvetljenje, energetska efikasnost. Na primer, jedan od glavnih ciljeva strukturne optimizacije je smanjenje ukupne težine ili smanjenje troškova materijala. Ipak, kao alat za povećanje efikasnosti rane faze projektovanja se i dalje ne koriste u praksi i još uvek se u fazi istraživanja.

Samim tim ne postoji ustaljena metoda, a istraživački projekti su bazirani na eksperimentisanju i „pokušaj i greška“ („trial and error“) pristupu rešavanja problema. Glavni problemi koji se uočavaju su iracionalnost iskorišćenosti prostora, odnosno troškovi izgradnje objekta (odsustvo rastera stubova, veći utrošak materijala, složenije rešenje konstrukcije i nosivosti), ograničenja dimenzionisanja prostorija i njihovog povezivanja, filtriranje odnosno selekcija rezultata, kao i pristupačnost odnosno razumevanje funkcionisanja algoritma radi što lakše dalje primene.

### 1.4. Cilj

Cilj ovog rada okrenut je ispitivanju i pronalaženju optimalnog pristupa računarskog generisanja osnova javnih objekata u odnosu na njihovu složenost i potrebno vreme. Cilj je, dakle, pronalaženje alata za generisanje optimizovanih i funkcionalno jasnih rešenja osnova objekata javne namene kao i njihov automatski prikaz u trodimenzionalnom okruženju.

## 2. METODE

Pošto je cilj istraživanja pronalaženje optimalnog pristupa za računarsko generisanje osnove objekata javne namene, prvo će biti ispitani već postojeći pristupi, čiji će se rezultati vrednovati na osnovu određenih kriterijuma upotrebom istih ulaznih podataka, odnosno iste funkcionalne šeme radi sto lažeg upoređivanja.

Pozitivne i negativne strane će onda biti polazne tačke za odabir najpogodnijeg pristupa koji će se dalje prilagođavati. Način funkcionisanja tog pristupa, kao i problemi nastali tokom razvijanja algoritma biće detaljno opisani, dok će na kraju finalna verzija generatora biti ispitana na različitim primerima objekata javne namene radi što lakšeg uočavanja potencijalnih problema i predloga za njihovo rešavanje ukoliko je to moguće.

### 2.1. Primena postojećih pristupa i analiza rezultata

Radi što boljeg razumevanja, kvantifikovanja i upoređivanja dobijenih rezultata u daljem radu biće korišćena funkcionalna šema muzeja savremene umetnosti kao nerealizovan studentski projekat autora ovog rada. Održanje funkcionalnosti prostora biće jedan od važnijih kriterijuma prilikom vrednovanja postojećih pristupa. Digitalni alati za optimizaciju osnova javnih objekata koji će biti primenjeni su: 1. Alat zasnovan na „Mravlja kolonija“ algoritmu iz projekta Ivolving florplans; 2. Magnetizujući generator osnove; 3. Generator osnove baziran na principu rada algoritma iz projekta AutoPLAN.

#### 2.1.1. Alat zasnovan na „Mravlja kolonija“ algoritmu

Kod je pisan u programskom jeziku Pajton (Python) i što se tiče pristupačnosti za korisnike koji nemaju neko veće predznanje dosta je složen jer zahteva poznavanje rada na konzoli, pokretanje Pajton okruženja i instalaciju pratećih paketa. Neki od glavnih ulaznih podataka koje algoritam koristi za generisanje osnove su nazivi prostorija i njihove površine.

Takođe može se definisati i povezanost prostorija, ali samo po dve prostorije, tako da ukoliko postoji želja da se ubace 3 prostorije međusobno direktno povezane bez hodnika između njih, postojale bi 3 linije koda koje to definišu što nije praktično i iziskuje vreme u zavisnosti od broja prostorija koje je potrebno povezati.

#### 2.1.2. Magnetizujući generator osnove

„Magnetizujući generator osnove“ je digitalni alat baziran na vizuelnom programiranju i veoma je jednostavan za korišćenje što ga čini pristupačnim za korisnike. Kao kod prethodnog primera ulazni podaci su prostorije i njihove površine s tim što se kod ovog alata lakše definiše odnos između prostorija i ne postoji ograničenje koliko prostorija može biti direktno povezano. Takođe, određene prostorije se mogu definisati kao hodnici i jedna prostorija kao ulaz. Ulazne podatke čini i tačka kojom se može pozicionirati ulaz kao i kriva odnosno pravougaonik koji predstavlja granicu lokacije. U zavisnosti od pozicije tačke ulaza i dimenzija granica lokacije može da se desi da alat ne uspe da postavi sve prostorije unutar okvira nakon čega ih uokviri crvenom bojom.

#### 2.1.3. Generator baziran na principu rada algoritma iz projekta AutoPLAN

Kod je pisan u programskom jeziku Pajton skript (Python script) u okviru softvera Rajno (Rhino) i zasnovan je na stohastičkim principima koje je razvio Kostas Terzidis u svom projektu AutoPLAN. Generator koristi stohastički algoritam pretraživanja koji traži slobodan prostor za distribuciju prostorija definisanih funkcionalnom šemom uzimajući u obzir ograničenja kao što su granica lokacije i matrica povezanosti prostorija.

U ovom slučaju pojam nasumičnost se ne koristi kao haotični neorganizujući princip kojim se često smatra, već pre kao mehanizam za uređivanje. Da bi se razjasnila veza sa redom može se reći da nasumičnost u ovom slučaju predstavlja iscrpnu pretragu svih mogućih kombinacija i stoga se može posmatrati kao neočekivano uzorkovanje (sampling) koje se dalje filtrira po određenim kriterijumima definisanim projektnim zadatkom.

#### 2.1.4. Analiza rezultata

Ono što se može uočiti kod prva dva pristupa je da su u prvi plan stavljene komunikacione zone objekata i njihovo dimenzionisanje u odnosu na što kraće vreme kretanja kroz objekat. Takođe, ne postoji mogućnost sagledavanja rešenja u trodimenzionalnom okruženju i oba pristupa zahtevaju predznanje korišćenja odgovarajućih softvera da bi se primenili. Optimizovane osnove korišćenjem algoritma iz projekta Involving florplens se teško mogu primeniti u praksi, jer bi troškovi izgradnje bili iracionalni, takođe javlja se i problem snalaženja u samom prostoru.

Jedan od glavnih problema Magnetizujućeg generatora osnove jeste ograničenje u vidu samo jednog ulaza u objekat što je retka pojava kod objekata javne namene u praksi. Granice osnove nisu dovoljno dobro rešene i postoji mogućnost da se delovi objekta generišu van njih u zavisnosti od toga gde je pozicioniran ulaz. Što se tiče generatora baziranog na principu rada algoritma iz projekta AutoPLAN, najveći problem predstavlja nepreglednost generisanih osnova prilikom primene algoritma na velik broj prostorija, jer se prikazuju i neuspešna rešenja. Iako generisane osnove nisu uvek kompaktne, prostorije prikazane u Rajnu su zasebni elementi koji se naknadno mogu pomerati i raster biti korigovan.

Takođe, prednost ovog pristupa jeste bolja pristupačnost korisnicima zbog preglednosti koda, lakoće instalacije potrebnog softvera i mogućnosti menjanja i unapređenja određenih funkcija unutar koda.

#### 2.2. Genos - generator osnove objekata javne namene

Genos je individualan istraživački projekat generatora osnove objekata javne namene čiji se rad bazira na stohastičkim principima koje je razvio Kostas Terzidis. Radi što bolje pristupačnosti korisnicima, preglednosti koda i lakoće instalacije potrebnog softvera za pokretanje, nastavljen je rad u Rajnoserosu (Rhinoceros) zbog svoje mogućnosti automatizacije zadataka kroz pisanje skripti u Pajton (Phyton) programskom jeziku.

##### 2.2.1. Ulazni podaci

Kako se analizom postojećih pristupa uočila važnost definisanja tačnih dimenzija u kodu, radi očuvanja funkcionalnosti prostorne šeme, prostorije su definisane kao „prostorija = (l, w, lv, wv, h, t, „naziv““). Promenljive l i w predstavljaju dužinu (length) i širinu (width), lv i wv predstavljaju moguće variranje dužine i širine, h je visina (height) u trodimenzionalnom prostoru, dok je t redni broj prostorije. Takođe, ulazni podaci su i povezanost prostorija, tačnije matrica povezanosti kojom se definišu koje prostorije se međusobno dodiruju. Dimenzije lokacije, odnosno radne površine na koju je potrebno smestiti prostorije su takođe definisane. Poslednji ulazni podatak je broj pokušaja iscertavanja (n), odnosno broj kombinacija koje se generišu, koji je kasnije promenjen u broj tačnih rešenja (y) iz funkcionalnih razloga o kojima će biti reč u daljem tekstu.

##### 2.2.2. Princip rada algoritma

Kako bi se najbolje objasnio princip rada ovog algoritma potrebno je analizirati „petlju pokušaja“. U početnim verzijama izvršavala se onoliko puta koliko je bilo definisano u kodu (promenljiva n), što je za rezultat imalo iscertavanje svih kombinacija, bez obzira da li su uspešne

ili ne. Da bi se izbegle situacije u kojima generator za zadati broj kombinacija ne generiše nijedno uspešno rešenje, petlja je promenjena da se izvršava koliko puta je potrebno dok se ne dobije broj uspešnih rešenja određen novom promenljivom (y) definisanom u kodu.

#### 2.2.3. Razvoj algoritma i problemi

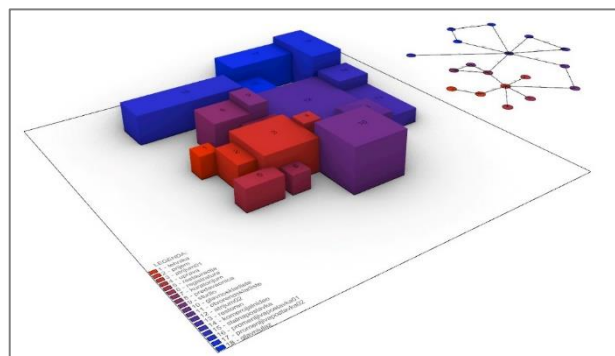
Problem je nastao kada je unet veći broj prostorija kao i realne dimenzije granice lokacije na koju ih treba smestiti algoritam je uglavnom generisao neuspešna rešenja. Prilikom poslednjeg testa algoritam je generisao 1000 kombinacija, od kojih je samo 5 bilo uspešno. Ovo je dovelo do nepreglednosti rezultata, njihovom otežanom filtriranju, kao i usporavanju rada softvera zbog velike količine podataka koje mora da prikazuje. Sledeći cilj je bio da algoritam prikazuje samo uspele pokušaje, i time se znatno poboljša proces rada i automatski otklone nepotrebna rešenja iz daljeg filtriranja.

Rešenje koje je iskorišćeno jeste da se svi „objekti“ u procesu crtanja jedne osnove čuvaju u „gridu“ („array“). Nakon toga ako u petlji nova prostorija uspe da se unese, svi elementi jedne kombinacije se unose u array „groupObjects“. U slučaju da nova prostorija nije uspešna da se unese u zadatim okvirima i da ne postoji dovoljan broj prostorija na kraju pokušaja, umesto da se podloga označi crnom bojom, grupa (pokušaj) se briše i prelazi se na sledeću kombinaciju.

U slučaju da su sve prostorije unete u crtež kreira se prazna grupa sa imenom „variation“ plus broj te varijacije i toj grupi se dodeljuju svi objekti tog pokušaja. Problem koji je nastao je stvaranje praznih prostora na mestima izbrisanih pokušaja.

Kako bi se pojednostavilo iscertavanje tačnih rešenja i potpuno uklonili svi prazni prostori koji su se stvarali kod je promenjen da umesto broja iteracija bude uslovljen brojem tačnih rešenja. Tako da će se sad pokušaji izvršavati dok algoritam ne nađe zahtevani broj tačnih osnova. Radi što bolje preglednosti i razumevanja funkcionalnosti dobijenih osnova, algoritam je unapređen da generiše i legendu u kojoj se nalaze nazivi prostorija i boje kojima su u osnovi obeležene.

Ulazne vrednosti prostorija su proširene visinom prostorije. Vrednost visine se koristi prilikom crtanja prostorije samo ukoliko algoritam uspe da je iscrta u osnovi. Površ se ekstruduje (extrude) vertikalno, praveći 3d objekat. Postojanje ovakvog automatizovanog generisanja 3D prikaza olakšava i ubrzava korisniku sagledavanje prostornih odnosa i uočavanje problema nastalih tokom formiranja funkcionalne šeme.



Slika 2: Trodimenzionalni prikaz rešenja

### 3. PRIMENA GENERATORA

Kako bi se prikupili što detaljniji podaci uzeti su primeri složenih funkcionalnih šema dva realizovana projekta srednje škole. U daljem tekstu će biti prikazani i objašnjeni rezultati testiranja kao i problemi koji su se pojavili tokom procesa pripreme podataka kao i generisanja samih osnova. Osvrt će biti i na uočavanju razlika između primera projektovanih osnova i novih generisanih osnova.

#### 3.1. Primena generatora - srednja škola Montessori

Osnova je pravouganog oblika, dok su prostorije kompaktno raspoređene oko centralne zone koja ima namenu zajedničkog prostora za učenike kao što se može videti na slici 3 levo (obeležena crvenim pravougaonikom).

Ulazni podaci za ovaj primer pripremljeni su tako što su komunikacione zone osnove podeljene na tri koridora, dok su matricom definisane povezanosti prostorija sa direktnom međusobnom vezom, što znači da zajednički zidovi bez vrata nisu uzeti u obzir. Radi što bolje procene rezultata generisana su različita rešenja od kojih je jedno prikazano na slici 3 desno.

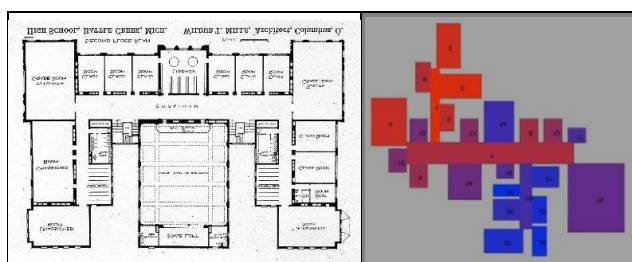


Slika 3: Osnova Montessori srednje škole u Hjustonu, Teksas (levo) [5] i generisana osnova (desno)

#### 3.2. Primena generatora - srednja škola Betl Krik

Za razliku od prvog primera, osnova ove škole je razvijena, simetrična, sa jasno definisanom komunikacionom zonom koju čine tri dugačka koridora.

S obzirom na složenost forme osnove, dugačkih uskih koridora i velikog broja prostorija, generator nije uspeo da pronađe nijedno rešenje prilikom korišćenja fiksnih dimenzija prostorija. Iz ovog razloga kao ulazni podaci unete su promenljive dimenzije koridora i većih prostorija koje su potencijalno pravile problem u prethodnim iteracijama, nakon čega su generisana različita rešenja od kojih je jedno prikazano na slici 4 desno.



Slika 4: Osnova Betl Krik srednje škole u Mičigenu (levo) [5] i generisana osnova (desno)

#### 3.3. Analiza rezultata

S obzirom na to da algoritam generatora Genos funkcioniše na principu nasumičnosti, tako što iscertava jednu po

jednu prostoriju po redosledu broja povezanosti, kod primene na složenim osnovama sa velikim brojem prostorija i dugačkih koridora dolazi do pojave praznih prostora između prostorija, odnosno osnova postaje razučena, što nije dobar aspekt sa gledišta troškova planiranja i izgradnje. U tom slučaju se nakon generisanja većeg broja osnova i njihovog filtriranja po određenim kriterijumima, izabrana osnova može dalje korigovati pomeranjem prostorija tako da se održi ista funkcionalnost prostora, a sa ciljem uklanjanja neiskorišćenog prostora. Dodavanje ove funkcije algoritmu bi moglo da predstavlja sledeći korak unapređenja generatora kao i dodavanje novih kriterijuma po kojima bi se generisane osnove filtrirale. Neki od filtera koji bi se mogli primeniti su dispozicija ulazne prostorije, orijentacija određenih prostorija i minimalna zauzetost parcele.

### 4. ZAKLJUČAK

Kako su u prvi plan kod projekata Involving floorplans i Magnetizujući generator osnove stavljene komunikacione zone objekta i njihovo dimenzionisanje u odnosu na što kraće vreme evakuacije odnosno što kraće vreme kretanja kroz objekat, a tačne dimenzije prostorija i njihovi odnosi stavljeni u drugi plan, održanje same funkcionalnosti prostora je ugroženo, zbog čega je kao optimalan pristup za primenu i dalje razvijanje izabran algoritam iz projekta AutoPLAN. Integracija legende i trodimenzionalnog prikaza potpomogla je adekvatnoj vizualizaciji i analizi dobijenih rešenja. Takođe, tekstualno unošenje vrednosti u programski kod kao i postojanje objašnjenja za svaku promenljivu olakšalo je korišćenje algoritma. Optimizacijom koda, odnosno uklanjanjem nepotrebnih funkcija smanjeno je potrebno vreme za generisanje osnova, a funkcijom za brisanje neuspehlih osnova je poboljšana preglednost dobijenih rešenja i smanjeno opterećenje softvera da ih vizuelno prikaže. Na osnovu rezultata dobijenih primenom algoritma na složene osnove Montessori i Betl Krik srednje škole se može zaključiti da je generator najuspešnije primenljiv na programskim strukturama kvadratnih, odnosno pravougaonih formi, a postojanje dugih uskih koridora se mora optimizovati. Na kraju, može se reći da su rezultati ovog istraživačkog rada zadovoljavajući, a rešenja generisana na ovaj način predstavljaju, ako ne finalno rešenje, onda bar inspiraciju za dalje razvijanje koncepta jednog arhitektonskog dela.

### 5. LITERATURA

- [1] D. Konstantinović, "Beleške sa predavanja." Novi Sad, 2019.
- [2] K. Terzidis, "AutoPLAN," Cambridge, Massachusetts, 2008.
- [3] J. Simon, "Evolving Floorplans."
- [4] E. Gavrilov, "Revisiting Ideas," 2018.
- [5] "Pinterest." [www.pinterest.com](http://www.pinterest.com).

#### Kratka biografija:



Uroš Stanislavljević rođen je u Sremskoj Mitrovici 1994. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Arhitekture i urbanizma - Digitalne tehnike, dizajn i produkcija odbranio je 2021.god. kontakt: [urosstanislavljevic@gmail.com](mailto:urosstanislavljevic@gmail.com)