



STVARANJE NOVOG VIZUELNOG IDENTITETA NEBODERA PRIMENOM INTEGRISANOG PRISTUPA PROJEKTOVANJU KONSTRUKCIJE

CREATING A NEW VISUAL IDENTITY FOR SKYSCRAPERS USING THE INTEGRATED DESIGN APPROACH TO STRUCTURE DESIGN

Stefan Stojčić, *Fakultet tehničkih nauka, Novi Sad*

**Oblast: ARHITEKTURA**

**Kratka sadržaj** – Rad se bavi istraživanjem novog vizuelnog identiteta nebodera generisanjem i projektovanjem njegove konstrukcije intergracijom metoda i principa iz drugih naučnih oblasti, a ne samo arhitekture.

**Ključne reči:** Digitalni dizajn, neboder, konstrukcija, aerodinamičke performanse, topološka optimizacija

**Abstract** – Through this research a new visual identity of skyscrapers is being searched for by designing a new structural system in a way that integrates methods and principles from other scientific areas and not just architecture.

**Keywords:** Digital design, skyscraper, structure, aerodynamic performance, topology optimization

**1. UVOD**

Civilizacijska dostignuća 20. veka su omogućila brz i velik porast svetske populacije koji je bio praćen porastom urbanog stanovništva. Ako se tome pridodaju i projekcije rasta populacije i urbanog stanovništva u narednih nekoliko decenija, uviđa se potencijalni problem, a to je prenaseljenost gradova i nedovoljno izgrađenog prostora za život i rad ljudi. Urbanistička praksa vidi izgradnju nebodera kao jedno od dva moguća rešenja ovog problema.

Konstrukcijski sistemi koji su im omogućili da dostignu današnje visine se nisu značajnije menjali veoma dug period. I dalje im se pristupa tipološki, što znači da se u odnosu na planiranu visinu bira najpodesniji tip, iako to možda nije najracionalnije rešenje za date uslove.

To negativno može uticati na cenu projekta zbog većeg utroška materijala nego što je zaista potrebno, a potom i na životnu sredinu zbog energije koja je potrebna za njegovu proizvodnju.

Stagnacija u razvoju konstrukcije nebodera posledično je uticala i na eksterijer i vizuelni identitet nebodera koji je dospao u fazu jednoličnosti, ponavljanja i monotonije.

**1.2. Problem istraživanja**

Ustaljen vizuelni identitet nebodera kao problem ovog istraživanja nije naročito nov i mnoge generacije arhitekata pokušale su da daju svoj doprinos u njegovom rešavanju.

**NAPOMENA:**

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

Pomenuti problem je rezultat tehničkih i tehnoloških ograničenja konstrukcije sa jedne i kompleksnog i segmentisanog projektantskog procesa sa druge strane.

Kada je u pitanju konstrukcija, prema rečima Patrika Šumahera, zastupljeno je njeno tipološko sagledavanje gde se iz skupa postojećih konstrukcijskih sistema, na osnovu planirane visine objekta, bira najpodesniji tip [1]. Konstrukcija se posmatra kao jedinstven, uniformni sistem bez ikakve diferencijacije sa promenom visine objekta što se pokazalo kao iracionalan pristup.

Kako u osnovi ovog problema leži više uzroka, integrisani pristup kao princip sveobuhvatnog sagledavanja i rešavanja problema se nameće kao najefikasnije rešenje. Ono što se može uraditi jeste da se trenutna dostignuća iz oblasti tehnike izgradnje, savremenih materijala, konstrukcijskih sistema, digitalnih alata iskoriste kako bi se napravio pomak u odnosu na prethodni period.

**1.2. Predmet istraživanja**

Predmet ovog istraživanja jeste kreiranje procesa integrisanog pristupa dizajniranju konstrukcije nebodera u početnoj fazi projektovanja. Pristup je baziran na upotrebi parametarskih alata i analizi aerodinamičkih i statičkih performansi objekta za izabranu lokaciju.

Sa ciljem dobijanja sveobuhvatnog rešenja primenjuje se integrisani pristup koji podrazumeva povezivanje različitih oblasti kako bi se njihova inovativna rešenja primenila na izabrani problem.

U ovom slučaju oblasti koje se integrišu sa poljem arhitekture su mehanika fluida i statika. Kako se ovo povezivanje vrši primenom digitalnih alata, preciznije vizuelnim programiranjem, kao rezultat se dobija veliki broj mogućih rešenja koja u većoj ili manjoj meri zadovoljavaju zahtevane parametre zadate na početku procesa projektovanja.

**1.3. Cilj istraživanja**

Kako je problem ovog istraživanja vizuelni identitet nebodera savremenog doba, odnosno nedostatak i stagnacija istog, kao primarni cilj se postavlja rezultat u obliku 3D modela koji odgovara na ovaj problem. Finalno rešenje bi trebalo da bude interesantnog dizajna, nesvakidašnje forme, a ne prosta vertikalna ekstruzija tipske osnove.

Varijacije u formi mogu biti odgovor na projektantski zadatak ili specifične uslove lokacije, na primer pozicija okolnih objekata, insolacija, vizure, dominantni pravac vetra itd.

Ovako dobijeno rešenje treba da se udalji od ustaljene prakse projektovanja standardnih „kockastih“ nebodera i ponudi pravac za razvoj nove estetike i morfologije nebodera.

## 2. OSNOVNA IDEJA I ALGORITAM

Na već opisan problem ovog istraživanja inovativni digitalni alati su se pojavili kao moguće rešenje za istraživanje novih formi, kako celog objekta tako i njegove prateće konstrukcije. Parametarski pristup koji je korišćen u ovom istraživanju je omogućen softverom Rhinoceros 3D i njegovim dodatkom Grasshopper, koji nudi mogućnosti vizuelnog programiranja i time proširuje polje delovanja arhitekta.

Početni 3D model je definisan parametrima koje određuje arhitekta sa namerom da kontroliše karakteristike modela značajne za projekat. Njihovom promenom se generišu varijacije koje se simulacijom uticaja vetra u dodatku Eddy3D vrednuju u odnosu na unapred postavljene kriterijume.

Za formu koja zadovolji kriterijume se upotrebom dodatka za topološku optimizaciju tOpos generiše 3D model koji predstavlja konstrukciju nebodera. Uticaj različitih sila i različita ograničenja koja treba zadovoljiti mogu da posluže za generisanje nestandardnih formi konstrukcije nebodera.

Kako su sile koje deluju na konstrukciju stalno različite i specifične za svaki projekat, obezbeđeno je generisanje rešenja koja su različita od prethodnih.

Struktura algoritma razvijenog u Grasshopper-u prati princip rada topološke optimizacije, pa tako prvi deo obuhvata definisanje forme nebodera, u drugom delu se određuju sile koje deluju na objekat i na kraju se sprovodi sama topološka optimizacija.

### 2.1. Lokacija

Lokacija je za pristup i rešavanje postavljenog problema ovog istraživanja jako značajna, jer je svaka definisana specifičnim klimatskim, geografskim, građevinskim i drugim uslovima. Za mesto ovog projekta je izabran Čikago, koji uprkos tome što je poznat kao vetrovit grad, nema previše jake vetrove i prosečna godišnja brzina vetra iznosi 17,7 km/h [2].

Brzina i pravac vetra su karakteristike koje su analizirane kako bi se definisali granični uslovi potrebni za sprovođenje CFD analiza. Brzina vetra koja se koristi prilikom proračuna opterećenja objekta je definisana građevinskom regulativom grada Čikaga i za objekte kategorije kojoj bi pripadao objekat ovog tipa iznosi približno 183km/h [3]. Za pravac vetra u simulacijama je izabran zapad, jer je prema dostupnim podacima upravo odatle zabeležena najveća brzina vetra do sada.

### 2.2. Oblik nebodera

#### 2.2.1. Definisane početne forme

Dimenzije unutrašnjeg betonskog jezgra su 12h12m, te se uz dodatnih 10 m sa svake strane dolazi do ukupne dužine osnove od 32 m. Ukupan broj spratova je 58, dok visina nebodera iznosi 249 m.

Na osnovu naučnih radova na temu aerodinamičnosti objekata različitih osnova može se zaključiti da je najpo-

voljnija kvadratna osnova sa zaobljenim uglovima. Kako bi se odredio radijus koji u dovoljnoj meri umanjuje dejstvo vetra, sprovedeno je 6 CFD analiza na zaobljenim kubusima različitih radijusa.

Rezultati analiza pokazali su da ukupan pritisak na fasadu objekta opada sa povećanjem radijusa, ali da bi se izbegao problem neefikasne i previše zaobljene osnove treba naći kompromis između ova dva parametra, pa je radijus od 4m izabran za konačan kao onaj koji u određenoj meri smanjuje uticaj vetra, a da se ne udaljava previše od početne kvadratne forme. Ovom optimizacijom je ukupan pritisak smanjen za približno 5,8% u odnosu na primer bez zaobljenih uglova.

Na kraju ovog dela algoritma je definisana početna forma nebodera, osnove 32x32m sa zaobljenim uglovima radijusa 4m i visine 249m i služi kao osnova za dalju optimizaciju (slika 1).

#### 2.2.2. Rotacija objekta i spratova

Nakon utvrđene početne forme u ovoj fazi se ispituje uticaj rotacije celog objekta oko centralne ose, kao i rotacije svakog sprata pojedinačno na aerodinamičke performanse.

Rotacija objekta je ograničena na četiri ugla: 0, 30, 45 i 60 stepeni, dok je ukupna rotacija spratova svedena na šest uglova: 0, 30, 45, 60, 90 i 120 stepeni.

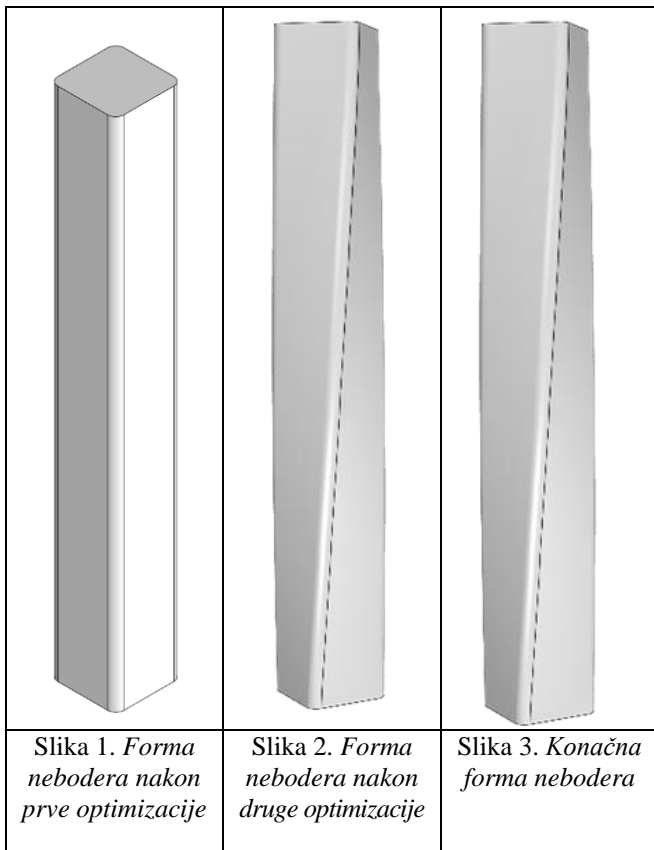
Kombinovanjem ovih parametara ispitano je 24 različitih slučajeva što, iako je dosta manje od broja mogućih kombinacija, pruža dovoljno informacija o uticaju rotacije objekta i spratova na dejstvo vetra. Iako kombinacija 30/45 ima veći ukupan pritisak u odnosu na primer 45/30, razlika je zanemariva, dok je sa druge strane torzija objekta veća što povoljno utiče na smanjenje dejstva vetra. Zbog najpovoljnijih parametara ovaj primer je izabran za dalju optimizaciju. U odnosu na primer bez ikakve rotacije, uticaj vetra na objekat je smanjen za 12,9 %, dok je u odnosu na početnu formu bez ikakve optimizacije ovo rešenje za 18 % bolje.

#### 2.2.3. Skaliranje objekta

Sužavanje objekta ka vrhu je još jedna od tehnika za poboljšanje aerodinamičkih performansi, jer se tako smanjuje površina fasade koja je izložena dejstvu vetra. Loša strana ovog pristupa ogleda se u smanjenju izgrađene površine, posebno u višim delovima objekta koji su ekonomski isplativiji.

Iz tog razloga je skaliranje takvo da se niže etaže povećavaju, a više smanjuju, pri čemu razvijena izgrađena površina ostaje ista. Korišćeni su ukupni faktori skaliranja od 1, 0,9 i 0,8.

Na osnovu rezultata se može primetiti značajno smanjenje graničnih vrednosti pritiska sa povećanjem faktora skaliranja, pa je razlika između najboljeg i najlošijeg rezultata 50 %. Kada se sagledaju ti podaci, primer sa faktorom skaliranja 0,8 ima zanemarivo veći ukupan pritisak od primera bez skaliranja (+1,65 %), ali drastično manji maksimalan negativan i pozitivan pritisak (-48 %/-30 %) što ga izdvaja od ostalih primera, te preostaje kao opcija koja je pokazala najbolje aerodinamičke performanse (slika 3).



### 2.3. Određivanje opterećenja

Konstrukcija nebodera prema metodi topološke optimizacije predstavlja odgovor na opterećenja koja deluju na sistem, pa tako druga faza algoritma podrazumeva određivanje tih opterećenja. Opterećenja koja će biti određena i koja će poslužiti kao generator konstrukcije su stalno i korisno opterećenje i uticaj sile vetra.

#### Stalno opterećenje

Težina vertikalnih elemenata koji se generišu algoritmom će biti uzeta u obzir tokom procesa topološke optimizacije, dok je težina horizontalnih elemenata (ploča) izračunata na uobičajen način: njihova ukupna površina je dobijena iz 3D modela dok su za težinu po jedinici površine korišćeni podaci proizvođača.

#### Korisno opterećenje

Za određivanje korisnog opterećenja su iskorišćeni podaci sa početka algoritma gde je definisana namena svake etaže kao i podaci o opterećenju po kvadratnom metru iz građevinskih standarda.

#### Opterećenje usled dejstva vetra

Pritisak koji objekat trpi je već određen u poglavlju 2.2.3. kako bi se utvrdila forma koja najviše umanjuje dejstvo vetra (slika 4).

Deo koji je direktno izložen dejstvu vetra trpi pozitivan pritisak i prikazan je gradijentom od žute do crvene boje.

Maksimalan pozitivan pritisak se nalazi na vrhu objekta zbog najveće brzine vetra koji na svom putu ne nailazi ni na kakve prepreke. Prelaz od svetlo zelene do tamno plave boje prikazuje deo fasade koji je izložen negativnom pritisku i ima maksimalnu vrednost na ivicama stranica objekta na koje vetar direktno nailazi.

### 2.4. Topološka optimizacija

Prva faza topološke optimizacije obuhvata definisanje optimizacionog domena (3D modela), oslonaca i sila koje deluju na geometriju koja se optimizuje.

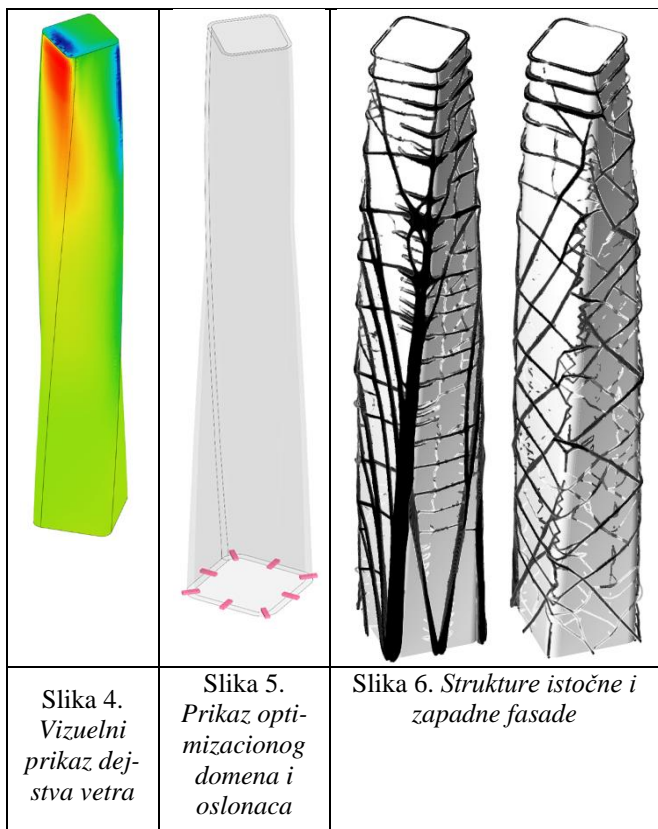
Optimizacioni domen je definisan kao opna objekta kojoj je zadata debljina čijom će redukcijom nastati egzoskelet koji ima ulogu da primi i prenese prethodno određena opterećenja (slika 5).

Na istoj slici pri dnu prikazani su i delovi unutar optimizacionog domena koji predstavljaju oslonce u kojima će se osloniti generisana konstrukcija. Ima ih ukupno osam raspoređenih na jednakom rastojanju, u uglovima i na sredini svake stranice po jedan.

Poslednji korak predstavlja određivanje tačaka unutar optimizacionog domena u kojima se prenosi izračunato opterećenje. Na nižim etažama ih ima dvanaest, ravnomerno raspoređenih, uz uslov da se nakon određenog smanjenja dimenzija spratova, broj tačaka prenosa sila smanji na osam.

Sa ovako postavljenim početnim uslovima, druga faza obuhvata numerički proračun jednačina potrebnih za rešenje problema. Zbog nedovoljne razvijenosti softvera i nedostatka pratećeg materijala, većina ulaznih parametara je ostala nepromenjena, a preciznost rešenja je kontrolisana brojem elemenata unutar optimizacionog domena, brojem iteracija i smanjenjem dozvoljene razlike između dva uzastopna rešenja.

Na istočnoj strani objekta (slika 6 levo), koja nije izložena direktnom dejstvu vetra, uočljiva je vertikalna struktura iz koje se granaju kosi, relativno pravilni linijski elementi koji okružuju objekat. Poređenjem sa klasičnim konstrukcijskim sistemima, ovi elementi imaju ulogu zatega i suprotstavljaju se horizontalnim silama vetra ukružujući objekat.



Zapadna strana objekta (slika 6 dole) je značajno drugačija od istočne gde ne postoji jedan dominantan element. Primetna je diferencijacija generisane konstrukcije od baze ka vrhu, tako da iz ukrštenih kosih elemenata prelazi u dosta pravilniju mrežu relativno vertikalnih i horizontalnih elemenata.

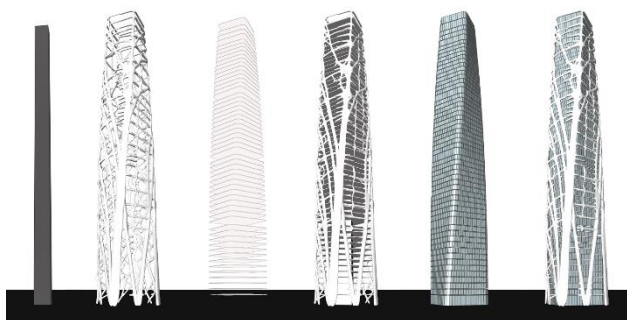
Generisano rešenje ipak ima mane. Iako u malom procentu, u određenom broju mesta prenosa sila nije ostalo materijala, što bi značilo da ti delovi nisu oslonjeni na konstrukciju. Postoje delovi konstrukcije koji su opterećeni na istezanje, što u slučaju planirane fabrikacije od betona, ne bi bilo moguće izvesti. Takođe, iako posmatrana u celini deluje kao da je sačinjena od relativno pravilnih elemenata, u manjoj meri su generisane i veoma nepravilne, organske forme. Pored nemogućeg izvođenja takvih formi uz današnji način izgradnje, upitna je i njihova opravdanost i tačnost.

### 3. REZULTAT

Generisani konstrukcijski sistem odgovara samo toj formi i datim lokacijskim uslovima koji su definisali sile koje deluju na objekat. U odnosu na početnu, neoptimizovanu formu, konačno rešenje smanjuje dejstvo vetra za 17,97%, a time i horizontalne sile koje objekat trpi.

Uz aerodinamičke optimizacije objekat se udaljava od početne ortogonalne forme oštih ivica pritom zadržavajući funkcionalnost i iskoristivost prostora. Konstrukcija svojom nepravilnom formom dodatno umanjuje pravilnu geometriju objekta, svojim položajem postaje neraskidivi deo njegove estetike i kao celina predstavljaju novi vizuelni identitet tipologije.

Posmatrajući ceo objekat, mogu se uočiti horizontalni, vertikalni i kosi elementi, dok se lokalno ne razaznaju pojedinačno, već prelaze iz jednih u druge prateći tok sila ka osloncima. Pored egzoskeleta, koristeći digitalni model moguće je generisati ostale elemente nebodera: jezgro, međuspratne ploče i fasadu (slika 7).



Slika 7. Generisani elementi nebodera, redom: betonsko jezgro, egzoskelet, međuspratne ploče, ceo konstrukcijski sistem, zid zavesa, finalni 3D model

### 4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je istražen integrisan pristup oblikovanju nebodera i njegove konstrukcije sa ciljem stvaranja novog vizuelnog identiteta te tipologije.

S obzirom na kompleksnost same teme, rešenju se pristupilo povezivanjem oblasti bliskih arhitektonskom projektovanju – algoritamskog projektovanja i aerodinamike, ali i oblasti koja do danas nije našla značajniju primenu u procesu projektovanja – topološke optimizacije.

U skladu sa tim, primenjeni digitalni alati su stvorili prostor za istraživanje većeg broja mogućih rešenja i omogućili paralelno istraživanje i optimizovanje forme i performansi objekta. Dodatna prednost ovog pristupa je uvođenje specifičnih karakteristika okruženja u proces projektovanja što obezbeđuje jedinstveno rešenje prilagođeno lokaciji.

Početne CFD simulacije su sprovedene kako bi se optimizovala forma objekta, poboljšala njegova aerodinamičnost i smanjilo dejstvo vetra karakteristično za visoke objekte. Zatim je procesom topološke optimizacije definisan egzoskelet sposoban da primi i prenese prethodno utvrđena opterećenja. U rezultatu je izbegnuto tipološko generisanje konstrukcije, već do izražaja dolazi statička logika i jedinstvena organska forma u kojoj je nemoguće sagledati pojedinačne elemente. Relativno pravilna forma nebodera ne dolazi do izražaja, jer konstrukcija predstavlja dominantan element sagledavanja.

Tačnost, preciznost i izvodivost rezultata ovog rada je teško proceniti što zbog neodređenosti problema estetike, zbog kompleksnosti problema ili zbog trenutnih tehničko-tehnoloških ograničenja. Na konceptualnom nivou je potvrđena realističnost rešenja, definisan je pristup kojim se do njega dolazi, a takođe su i uočeni nedostaci trenutno dostupnih softvera.

Primena i dodatno unapređivanje ovakvog integrisanog pristupa na projektima manjih razmera može dovesti do većeg interesovanja za ovu oblast i obezbediti njen dalji razvoj.

### 5. LITERATURA

- [1] P. Schumacher, L. Zheng, "From Typology to Topology: Social, Spatial, and Structural", Architectural Journal, No. 590, London, November 2017.
- [2] <https://www.ncdc.noaa.gov/sites/default/files/attachments/wind1996.pdf> (pristupljeno u junu 2020.)
- [3] [https://www.chicago.gov/content/dam/city/depts/-bldgs/general/Self\\_Cert\\_Program/2019/16A-STRUCTURAL.pdf](https://www.chicago.gov/content/dam/city/depts/-bldgs/general/Self_Cert_Program/2019/16A-STRUCTURAL.pdf) (pristupljeno u julu 2020.)

#### Kratka biografija:



**Stefan Stojčić** rođen je u Zaječaru 1994. god. Master rad na Fakultetu tehničkih nauka iz oblasti Arhitektura – Digitalne tehnike, dizajn i produkcija u arhitekturi i urbanizmu odbranio je 2020. godine. kontakt: stojcic019@gmail.com