



UNIVERZITET U NOVOM SADU  
FAKULTET TEHNIČKIH NAUKA  
Departman za arhitekturu i urbanizam

---



Marko Lazić

**Model za arhitektonsku analizu objekata zasnovan na BIM tehnologiji i upotrebi  
virtuelne realnosti**

doktorska disertacija

**mentor: Prof. dr Predrag Šidanin**

Novi Sad, 2016.



УНИВЕРЗИТЕТ У НОВОМ САДУ • ФАКУЛТЕТ ТЕХНИЧКИХ НАУКА  
21000 НОВИ САД, Трг Доситеја Обрадовића 6

## КЉУЧНА ДОКУМЕНТАЦИЈСКА ИНФОРМАЦИЈА

Редни број, <b>РБР:</b>	
Идентификациони број, <b>ИБР:</b>	
Тип документације, <b>ТД:</b>	Монографска публикација
Тип записа, <b>ТЗ:</b>	Текстуални штампани материјал материјал
Врста рада, <b>ВР:</b>	Докторска дисертација
Аутор, <b>АУ:</b>	Марко Лазић
Ментор, <b>МН:</b>	Проф. др Предраг Шиђанин
Наслов рада, <b>НР:</b>	Модел за архитектонску анализу објеката заснован на BIM технологији и употреби виртуелне реалности
Језик публикације, <b>ЈП:</b>	Српски
Језик извода, <b>ЈИ:</b>	Српски/Енглески
Земља публиковања, <b>ЗП:</b>	Република Србија
Уже географско подручје, <b>УГП:</b>	АП Војводина, Нови Сад
Година, <b>ГО:</b>	2016
Издавач, <b>ИЗ:</b>	Ауторски репринт
Место и адреса, <b>МА:</b>	ФТН, Трг Доситеја Обрадовића 6, 21000 Нови Сад
Физички опис рада, <b>ФО:</b> (поглавља/страна/ цитата/табела/слика/графика/прилога)	8/113/181/2/61/0/0
Научна област, <b>НО:</b>	Архитектура
Научна дисциплина, <b>НД:</b>	Архитектонско пројектовање
Предметна одредница/Кључне речи, <b>ПО:</b>	Архитектонско пројектовање, идејно архитектонско решење, BIM технологија, виртуелна реалност, симулација у архитектури, интероперабилност, мета-модел
<b>УДК</b>	
Чува се, <b>ЧУ:</b>	Библиотека Факултета техничких наука у Новом Саду
Важна напомена, <b>ВН:</b>	
Извод, <b>ИЗ:</b>	Анализа архитектонских објеката у погледу испитивања перформанси актуелна је област истраживања у домену архитектуре и урбанизма. У контексту BIM технологије и технологије виртуелне реалности формиран је модел који предвиђа њихову употребу у циљу побољшања процеса доношења одлука у архитектонском пројектовању. Моделом је предвиђена аутоматизација анализа које се могу спровести на идејном архитектонском пројекту уз помоћ података који се могу добити коришћењем BIM технологије. У оквиру концептуалног модела заснованог на методу централног модела предвиђене су вишестурке анализе од које се могу класификовати у једну од три групе: Анализа објекта са испитивањем свих или већег броја .ифц класа, анализа појединих .ифц класа и анализа спољашњих габарита објекта. Према под-моделима представљена је анализа цене коштања објекта, анализа енергетске ефикасности и анализа годишње осветљености објекта.
Датум прихватања теме, <b>ДП:</b>	12. 07. 2016.
Датум одбране, <b>ДО:</b>	
Чланови комисије, <b>КО:</b>	Председник: Др Бојан Тепавчевић, ванредни професор
	Члан: Др Јелена Атанацковић-Јеличић, ванредни професор
	Члан: Др Игор Дејановић, доцент
	Члан: Др Ратко Обрадовић, редовни професор
	Члан: Др Душан Старчевић, редовни професор
	Члан, ментор: Др Предраг Шиђанин, редовни професор
	Потпис ментора



## KEY WORDS DOCUMENTATION

Accession number, <b>ANO</b> :	
Identification number, <b>INO</b> :	
Document type, <b>DT</b> :	Monographic publication
Type of record, <b>TR</b> :	Textual printed document
Contents code, <b>CC</b> :	PhD Thesis
Author, <b>AU</b> :	Marko Lazić
Mentor, <b>MN</b> :	Prof. dr. Predrag Šiđanin
Title, <b>TI</b> :	Architectural analysis model based on BIM technology and virtual reality
Language of text, <b>LT</b> :	Serbian
Language of abstract, <b>LA</b> :	Serbian/English
Country of publication, <b>CP</b> :	Republic of Serbia
Locality of publication, <b>LP</b> :	AP Vojvodina, Novi Sad
Publication year, <b>PY</b> :	2016
Publisher, <b>PB</b> :	Author's reprint
Publication place, <b>PP</b> :	Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, Novi Sad
Physical description, <b>PD</b> : (chapters/pages/ref./tables/pictures/graphs/appendixes)	8/113/180/2/61/0/0
Scientific field, <b>SF</b> :	Architecture
Scientific discipline, <b>SD</b> :	Architecture
Subject/Key words, <b>S/KW</b> :	Architectural planning, early design stage, BIM technology, virtual reality, simulation in architecture, interoperability, meta-model
<b>UC</b>	
Holding data, <b>HD</b> :	Library of Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovica 6, Novi Sad
Note, <b>N</b> :	
Abstract, <b>AB</b> :	Performance based analysis of architectural structures has become an important area of research in the field of architecture and urban planning. The conceptual model is presented in context of BIM and virtual reality technology usage for decision making processes in architecture. The model defines automation of several analysis that can be performed in early design stage of architectural project using data collected from BIM technology software. Multiple analysis are defined in central model framework and classified into three groups: Analysis of the object with the examination of all or a large number of .ifc class, analysis of individual .ifc class and analysis of the external properties of structures. According to these sub-models, analysis of the cost estimate, analysis of energy efficiency and analysis of daylight illumination are presented in dissertation.
Accepted by the Scientific Board on, <b>ASB</b> :	12. 07. 2016.
Defended on, <b>DE</b> :	
Defended Board, <b>DB</b> :	
President:	Bojan Tepavčević, PhD, associate professor
Member:	Jelena Atanacković-Jeličić, PhD, associate professor
Member:	Igor Dejanović, PhD, assistant professor
Member:	Ratko Obradović, PhD, full professor
Member:	Dušan Starčević, PhD, full professor
Member, Mentor:	Predrag Šiđanin, PhD, full professor
	Menthor's sign

## Sadržaj

<b>SAŽETAK</b> .....	<b>6</b>
<b>RÉSUMÉ</b> .....	<b>6</b>
<b>Struktura doktorske disertacije</b> .....	<b>7</b>
<b>1 Uvodna razmatranja</b> .....	<b>1</b>
1.1 Predmet i problem istraživanja .....	2
1.2 Cilj istraživanja .....	3
1.3 Primjenjene naučne metode.....	3
1.4 Potreba za istraživanjem .....	5
1.5 Očekivani rezultati istraživanja .....	6
1.6 Pregled postojećih istraživanja u oblasti teze .....	7
<b>2 BIM tehnologija</b> .....	<b>12</b>
2.1 BIM tehnologija i njen razvoj.....	12
2.2 Aktuelno stanje i pregled stavova o BIM tehnologiji.....	16
2.3 Višedimenzionalni pristup BIM tehnologije .....	20
<b>3 Konceptualni model za analize objekata zasnovan na BIM tehnologiji</b> .....	<b>23</b>
3.1 Definisanje modela i njegova struktura .....	24
3.2 Tehnički uslovi za primenu modela.....	29
3.3 Konceptualni model i njegovi atributi .....	30
3.3.1 Analiza objekta sa ispitivanjem svih ili većeg broja .ifc klasa .....	31
3.3.2 Analiza pojedinih .ifc klasa .....	38
3.3.3 Analiza spoljašnjih gabarita objekta .....	45
3.4 Interoperabilnost alata.....	55
<b>4 Virtuelna realnost i njena primena na analizama arhitektonskih objekata</b> .....	<b>58</b>
4.1 Teorijske osnove .....	58
4.2 Primena u arhitekturi .....	61

4.3	Model za implementaciju virtuelne realnosti u analizi arhitektonskih objekata ..	63
<b>5</b>	<b>Demonstracija/testiranje mogućnosti novog modela na primeru .....</b>	<b>68</b>
5.1	Principi odabira analiziranog primera.....	68
5.2	Postupak analize .....	70
5.2.1	Analiza cene koštanja projekta.....	71
5.2.2	Analiza energetske efikasnosti objekta .....	77
5.2.3	Analiza zdravih uslova stanovanja u vidu dnevne osvetljenosti prostorija....	81
5.3	Prikaz rezultata u virtuelnoj realnosti i diskusija rezultata .....	84
<b>6</b>	<b>Zaključak i pravci daljih istraživanja .....</b>	<b>88</b>
6.1	Ograničenja u istraživanju .....	89
6.2	Pravci daljih istraživanja .....	90
<b>7</b>	<b>Literatura.....</b>	<b>92</b>
<b>8</b>	<b>Izvori ilustracija .....</b>	<b>109</b>

## **SAŽETAK**

Analiza arhitektonskih objekata u pogledu ispitivanja performansi aktuelna je oblast istraživanja u domenu arhitekture i urbanizma. Kroz analizu širokog skupa publikacija izvršen je uvid u osnovne karakteristike konstitutivnih elemenata projekata sa posebnim osvrtom na svojstva koja mogu biti obuhvaćena analizama u odnosu na primenu BIM tehnologije. BIM tehnologija i tehnologija virtuelne realnosti predstavljaju sisteme koji u poslednjoj deceniji bivaju prepoznati kao tehnologije koje u budućnosti očekuju široku primenu i rapidan razvoj. U kontekstu ovih tehnologija formiran je model koji predviđa njihovu upotrebu u cilju poboljšanja procesa donošenja odluka u arhitektonskom projektovanju. Modelom je predviđena automatizacija analiza koje se mogu sprovesti na idejnom arhitektonskom projektu uz pomoć podataka koji se mogu dobiti korišćenjem BIM tehnologije. Vizualizacija analize predviđa upotrebu tehnologije virtuelne realnosti preko koje se povećava imersija i doprinosi se lakšem donošenju odluka.

U okviru konceptualnog modela zasnovanog na metodu centralnog modela predviđene su višesturke analize od koje se mogu klasifikovati u jednu od tri grupe: analiza objekta sa ispitivanjem svih ili većeg broja klasa, analiza pojedinih klasa i analiza spoljašnjih gabarita objekta. Za svaku od tri tipa analiza urađen je jedan pod-model kojim se definišu i opisuju osobine tipa modela. Prema pod-modelima predstavljena je analiza cene koštanja objekta, analiza energetske efikasnosti i analiza godišnje osvetljenosti objekta. Kreirani su algoritmi za sprovođenje ovih analiza, a oni su ispitani na odabranom primeru 3D modela objekta višeporodičnog stanovanja, u cilju ilustrovanja procesa analize i prikaza dobijenih rezultata.

## **RÉSUMÉ**

Performance based analysis of architectural structures has become an important area of research in the field of architecture and urban planning. Through the analysis of a wide variety of available publications, the thesis gives the insight to the main characteristics of constitutive elements of architectural project in early design stage that can be tested through BIM technology usage. BIM technology and technology of virtual reality are systems that are recognized as constantly developing and perspective areas of research in last decade. The conceptual model is presented in context of BIM and virtual reality technology usage for decision making processes in architecture. The model defines automation of several analysis

that can be performed in early design stage of architectural project using data collected from BIM technology software. Visualization of analysis is important aspect in this research and virtual reality technology is used in context of enhancing immersion and can contribute in decision making process.

Multiple analysis are defined in central model framework and classified into three groups: Analysis of the object with the examination of all or a large number of .ifc class, analysis of individual .ifc class and analysis of the external properties of structures. For all three types of analyzes, one sub-model, which defines and describes the features of the model type is created. According to these sub-models, analysis of the cost estimate, analysis of energy efficiency and analysis of daylight illumination are presented in dissertation. The algorithm for these analysis is created and tested on a 3D modelo of a residential building, illustrating the proces and the results of this reasearch.

### **Struktura doktorske disertacije**

Disertacija je organizovana u osam poglavlja u okviru kojih su prikazani uvodni deo, BIM tehnologija i njena primena, multidimenzionalni pristup modelovanju forme i prostora, virtuelna realnost i njena primena u tezi, demonstracija i testiranje mogućnosti modela na primeru, završne napomene, literatura i izvori ilustracija.

Prvo poglavlje: sadrži predmet, problem i cilj istraživanja doktorske disrtacije sa objašnjenom potrebom za istraživanjem. U ovom poglavlju istaknuta je i predstavljena osnovna literatura na osnovu koje je formirana teza.

Drugo poglavlje: sadrži pregled BIM tehnologije kao važne tehnologije u pogledu arhitektonskog projektovanja. Dat je pregled razvoja tehnologije, stanje njene prihvaćenosti i mogućnost razvoja u kontekstu njenog nadograđivanja, koji je jedan od važnih aspekata disertacije.

Treće poglavlje: u ovom poglavlju definisan je, struktuiran i konkretizovan konceptualni model za analizu arhitektonskih idejnih rešenja objekata zasnovan na BIM tehnologiji. Model je konkretizovan prikazom pod-modela i njihovom razradom u vidu prikaza algoritama koji omogućuju realizovanje simulacija i analiza predviđenih ovom disertacijom.

Četvrto poglavlje: sadrži pregled tehnologije virtualne realnosti i njen domen korišćenja u nauci i specifično u arhitektonskim istraživanjima. Prikazan je model rada sa virtualnom realnosti u domenu vizualizacije tezom predviđenog modela.

Peto poglavlje: sadrži prikaz primenjenog modela u vidu eksperimentalne primene. Testiran je objekat višeporodičnog stanovanja u vidu analiza procene cene koštanja objekta, godišnje potrošnje energije za grejanje i hlađenje objekta i analize osunčanosti objekta.

Šesto poglavlje: sadrži zaključna razmatranja, rezultate i ograničenja, kao i pravce daljih istraživanja.

Sedmo poglavlje: sadrži prikaz literature i referenci korišćenih u istraživanju.

Osmo poglavlje: sadrži popis tabela i ilustracija prikazanih u tezi.



## **1 Uvodna razmatranja**

Procesi razvoja i izrade arhitektonskih projekata su se promenili u proteklih nekoliko decenija. Na ovu situaciju je u velikoj meri uticala upotreba različitih softverskih rešenja u procese koji su ranije zahtevali manuelni rad što je značajno uticalo i na samu profesiju arhitekture (Jaradat i drugi, 2013). Od osamdesetih godina 20. veka komercijalno postaju dostupni programi za crtanje projekata na računaru, a koji se od tada na godišnjem nivou poboljšavaju i prilagođavaju radu. U velikom broju profesija ova promena je takođe prisutna i slični opšti i specijalizovani programi počeli su da se koriste, pre svega u inženjerskim profesijama. U građevinskoj industriji u poslednjim godinama ostvaren je veliki napredak u pogledu primene informacionih tehnologija, ali set alata koji predstavlja pravu pomoć u donošenju odluka prilikom izrade arhitektonskih rešenja je još uvek nije dovoljno razvijen za krajnje korisnike.

Postoji veći broj aspekata koji su važni za opšte kvalitete projekta, a koji zavise od dobre interakcije između profesionalaca uključenih u projekat. Neki od njih su ekonomski, sociološki, tehničko-performativni, ali je čest slučaj da bivaju uključeni u optimizaciju tek nakon izrade većeg dela projekta. Uobičajno je da arhitekta ne razvijaju projekte do kraja sami i potrebne su provere od strane profesionalaca iz drugih oblasti da bi objekat bio realizovan. Prilikom revizije od strane arhitekta često je potrebno u većoj meri menjati projekat. Iz tog razloga dolazi do još više problema u dizajnu prostora koje je potrebno naknadno rešiti. Rešavanjem problema u

dizajnu, moguće je rešiti veći broj problema koje je potrebno uzeti u obzir i u drugim aspektima projekta.

Ukoliko bi model bilo moguće proveriti na jednostavan i praktičan način, u različitim fazama rada na njemu, bilo bi moguće ispitati i ispraviti veliki broj grešaka koje utiču na performanse objekta pre nego što dođe do faze kada se uključi veći broj stručnjaka iz različitih oblasti koji učestvuju u projektu.

## 1.1 Predmet i problem istraživanja

Predmet istraživanja su arhitektonske analize objekata (poput analiza cena koštanja projekta, proračuna energetske efikasnosti i analiza zdravih uslova stanovanja) koje je moguće izvesti, preko sistema koji je autonoman ili poluautonoman, ograničene na fazu projektovanja kada se izrađuje idejni arhitektonski projekat. Arhitektonski objekti koji se izrađuju primenom BIM<sup>1</sup> tehnologije često sadrže veliki broj informacija koji mogu doprineti kvalitetnijim analizama arhitektonskih objekata. Mogućnosti primene ove tehnologije u istraživanjima se pominje i kao promena paradigme u građevinskoj industriji (Shelden, 2009; Younas, 2010; Watson, 2011). Pravi potencijal BIM-a, u trenutku pisanja teze, nije iskorišćen u pogledu analiza koje se mogu izvršiti u fazi izrade idejnog arhitektonskog projekta.

Postoji veći broj različitih istraživanja i softverskih rešenja koji zadovoljavaju potrebe analiza arhitektonskih objekata, a koji su elaborirani u ovoj disertaciji u daljem delu, a u njima uočeni sledeći nedostaci:

- softvere koji mogu da sprovedu analizu objekta često je potrebno podešavati prema uslovima kada je objekat u potpunosti završen, a sve komponente objekta u potpunosti dimenzionisane i procenjene. Proces automatizacije na njima potrebno je da se znatno unapredi.
- istraživanja u ovoj oblasti su tek u povoju i postoji mali broj modela koji u sebi sadrže više različitih arhitektonskih analiza objekta.

---

<sup>1</sup> BIM (eng.) - *Building Information Model*, odnosno Informacioni model objekta

- veliki broj parametara koje je moguće koristiti za detaljne analize projekata, izrađenog uz pomoć BIM tehnologije, nije uključen u sistem za dobijanje rezultata analize.
- vizualizacija različitih analiza najčešće je prikazana u vidu tabela, grafika ili 3D prikaza završnog rešenja. Primena VR tehnologije nije dovoljno istražena i primenjena u ovoj oblasti.

Istraživanje i obrada kriterijuma za formiranje konceptualnog modela za analizu arhitektonskih objekata u fazi idejnog rešenja zasnovanog na BIM tehnologiji osnovni je predmet istraživanja.

## 1.2 Cilj istraživanja

Izrada opštog konceptualnog modela i definisanje seta softvera i posebnih algoritma koji odgovaraju na potrebu arhitektonske analize objekta, zasnovane na podacima dobijenim uz primenu BIM tehnologije, koji je moguće primeniti na tehnologiji virtualne realnosti je glavni cilj istraživanja. Takođe, važno je da rezultati ove teze mogu poslužiti kao osnov za buduće projektovanje i realizaciju programskog proizvoda (softvera) za podršku u procesu arhitektonskog projektovanja. Stvaranje mogućnosti povezivanja sa drugim alatima za podršku pojedinačnim dimenzijama, doprinosi integrisanju postojećih i budućih korisnih rešenja u sastav softverskog proizvoda, posebno je obrađeno u ovom radu. Predloženi model je prikazan u tezi, a njegova provera izvršena je na primerima objekata izrađenih u softveru BIM tehnologije.

## 1.3 Primenjene naučne metode

Složenost teze podrazumeva interdisciplinarni pristup koji uključuje različite metode.

- *Metoda modelovanja* predstavlja glavni primenjeni naučni metod. Kompleksnost sistema za arhitektonsku analizu zahteva izolovanje parametara neophodnih za ostvarivanje zadatih ciljeva ove teze. Parametri su klasterovani u zavisnosti od njihove dostupnosti u BIM arhitektonskim projektima i njihovoj upotrebnoj vrednosti. Modelom se definišu i osnovni odnosi između njih, kao i mogućnost za njihovo proširivanje.

- Metode analize i sinteze su u radu korišćene na većem broju softverskih rešenja sposobnih za izvršavanje nezavisnih analiza, kao i softver za izradu algoritma, koji se bazira na primeni alata za izradu trodimenzionalnog prikaza u zavisnosti od zadatih kriterijuma u istraživanju.

Softverski paketi i alati primenjeni u istraživanju su:

1. *Graphisoft ArchiCAD*<sup>2</sup> - softver BIM tehnologije dostupan za istraživanje
2. *Rhinoceros 3D*<sup>3</sup> - softver za izradu računarskih 3D modela koji sadrži veliki broj dodatnih softverskih alata za različite analize. Programski set alata koji se dodaju osnovnom programu:
  - a) *Grasshopper*<sup>4</sup> - dodatak za vizuelno programiranje u kojem se formirao najveći broj algoritama.
  - b) *VisualARQ*<sup>5</sup> - dodatak za čitanje .ifc fajlova i izradu projekata BIM tehnologije u *Rhinoceros 3D* softveru.
  - c) *DIVA*<sup>6</sup> - dodatak za analizu osunčanosti koji analize sprovodi uz pomoć otvorenog softvera *Radiance*<sup>7</sup>.
  - d) *Archsim*<sup>8</sup> - dodatak za analizu energetske efikasnosti objekata koji analize sprovodi preko dodatka *DIVA*, a uz pomoć otvorenog softvera *Energy Plus*<sup>9</sup>.
3. *Microsoft Excel*<sup>10</sup> - programsko rešenje za dodatnu obradu rezultata i njihovo predstavljanje u obliku grafika i tabela.
4. *Unity 3D*<sup>11</sup> - softver za 3D vizualizaciju koji podržava rad sa sistemom virtualne realnosti.

---

<sup>2</sup> *Graphisoft Archicad* version 19 (<https://www.graphisoft.com/archicad>, pristupljeno 03.05.2016.)

<sup>3</sup> *Robert McNeel i Associates Rhinoceros 3D* version 5SR12 (<https://www.rhino3d.com>, pristupljeno 03.05.2016.)

<sup>4</sup> *Grasshopper* version 0.9.0076 (<http://www.grasshopper3d.com/>, pristupljeno 03.05.2016.)

<sup>5</sup> *VisualARQ* version 1.9 (<http://www.visualarq.com/>, pristupljeno 03.05.2016.)

<sup>6</sup> *DIVA* version 4 (<http://diva4rhino.com/>, pristupljeno 03.05.2016.)

<sup>7</sup> *Radiance* version 5.0.a.11 (<https://www.radiance-online.org/>, pristupljeno 03.05.2016.)

<sup>8</sup> *Archsim* version 1.4.0.1 (<http://www.archsim.com/>, pristupljeno 03.05.2016.)

<sup>9</sup> *Energy Plus* version 8.4.0 (<https://energyplus.net/>, pristupljeno 03.05.2016.)

<sup>10</sup> *Microsoft Excel* version 2007 (<https://office.live.com/start/Excel.aspx>, pristupljeno 03.05.2016.)

Važan aspekt istraživanja bio je rešavanje problema interoperabilnosti različitih softverskih rešenja. Rezultati dobijeni u različitim programima se prosleđuju u alate i softvere poput *Grasshopper-a* i *Microsoft Excel-a*, gde se sprovode numeričke analize i simulacije koje se ilustruju kroz promenu boja geometrije koja se dalje prosleđuje alatima za vizualizaciju, odnosno *Unity 3D*.

- *Metoda komparativne analize* primenjena je u vidu eksperimentalnog dela istraživanja, gde je prikazan rezultat koji je moguće postići primenom predloženog modela. U poređnom analizom u vidu 3D vizualizacije, grafika i tabela moguće je podržati uporednu analizu različitih arhitektonskih projekata u cilju odabira optimalnijeg rešenja sa aspekta više parametara.

Problemski deo istraživanja zasnovan je na modelovanju i podrazumeva primenu modela na veći broj simulacija. Verifikacija rezultata obavljena je na tipskom stambenom objektu, gde je izvršeno ispitivanje predloženih metoda.

#### **1.4 Potreba za istraživanjem**

BIM tehnologija je u konstantnom porastu korišćenja i razvoju prema potrebama građevinske industrije (Pike Research, 2012; Bernstein i drugi, 2014). Uprkos tome, korist za krajnje korisnike nije u potpunosti vidljiva, jer nisu iskorišćene sve prednosti koje ona donosi. Uvođenje više dimenzija u BIM tehnologiji je strategija koja je se spominje u velikom broju istraživanja i unapređivanja ove tehnologije (Koo and Fischer, 2000; Russell i dr., 2009; Hallberg, 2011; Muzvimwe, 2011; Forgues i dr., 2012; Ding i drugi, 2012). Pravci u kojima se istraživanja vrše uglavnom se oslanjaju na gotov projekat sa već određenim i proračunatim arhitektonskim i građevinskim projektom i projektom instalacija. Pristup u kojem se analizira projekat u fazi idejnog arhitektonskog projekta, odnosno u ranoj fazi razvoja arhitektonsko-građevinskog projekta istraživan je tek u poslednjih nekoliko godina sa značajnijim rezultatima (Lee i drugi, 2012; Sanguinetti i drugi, 2012; Negndahl, 2015).

U procesu izrade idejnog arhitektonskog rešenja uključen je relativno mali broj učesnika u odnosu na kasnije procese izrade kompletne dokumentacije za izgradnju objekta. U ovoj fazi donosi se najviše odluka koje se tiču ukupnog izgleda objekta, odnosno geometrije objekta,

---

<sup>11</sup> *Unity 3D* version 5.3.4 (<https://unity3d.com/>, pristupljeno 03.05.2016.)

njegove dispozicije u odnosu na okolinu, kao i rešavanja bitnih odluka poput odabira konstruktivnog sistema i namene prostorija. O ovoj fazi izrade arhitektonskog projekta i uticaja na dalje razrade istog postoje istraživanja koja govore u korist hipotezi da je idejno rešenje, odnosno u nekim slučajevima se naziva rana faza projektovanja, veoma važna (Givoni, 1998; Hayter i drugi, 2001; Attia i drugi, 2012; Soebarto i drugi, 2015). U daljim razradama, uglavnom se rešenje koriguje do mere koja je potrebna da bi se objekat realizovao prema propisima i standardima. Pomoć u donošenju odluka u ranoj fazi, odnosno prilikom izrade idejnog rešenja je iz tog razloga veoma važna.

U više istraživanja je ispitano da je korišćenje automatskih ispitivanja performansi, odnosno sprovođenja analiza na virtuelnom projektu nije u potpunosti prihvaćeno od strane arhitekata, a da je bitno da se to promeni (Horvat i Dubois, 2012; Kanters i drugi, 2014; Lin i Gerber, 2014). Ši i Jang (Shi i Yang, 2013) ističu da je tradicionalan pristup metodologiji arhitektonskog projektovanja usmeren samo prema prostoru i formi, a da performativni dizajn ima holistički pristup prema različitim oblastima, te da se funkcija i estetika ne zanemaruju. Potreba za modelom koji bi zadovoljio ove kriterijume je evidentna potrebna u arhitektonskoj struci.

U pogledu vizualizacije, u poslednjih 20 godina izvršene su velike promene u pogledu korišćenja kompjuterske grafike u arhitekturi. Arhitektura, je pre svega vizuelna profesija i profesionalci koji izrađuju arhitektonske planove na studijama se obučavaju za vizuelno čitanje i prepoznavanje različitih arhitektonskih problema. Rezultati zadati graficima i tabelama su sekundarnog karaktera za brzu detekciju problema. Uključenost arhitekta u virtuelni svet i postizanja imersije kako bi se sagledali svi problemi projekta pre ulaska u realizaciju nisu u dovoljnoj meri istraženi i primenjeni u praksi. Virtuelna realnost ima veliku ulogu u pogledu građenja sopstvenih iskustava. Ova uloga VR tehnologije je korišćena u tezi kao važna činjenica unapređenju iskustva na način koji bi bio drugačiji u odnosu na tradicionalne tipove vizualizacije.

## **1.5 Očekivani rezultati istraživanja**

Rezultati istraživanja obuhvataju:

- izrada konceptualnog modela,

- specifikacija funkcionalnih karakteristika programskog alata za integraciju definisanog modela ,
- polazni skup podataka o osobinama odabranih parametara za simulaciju,
- izolovanje relevantnog skupa parametara koji utiču na proces projektovanja i
- utvrđivanje veze između elemenata arhitektonskog projekta i gorepomenutih parametara.

Kao rezultat istraživanja očekuje se razvoj konceptualnog modela koji će prikazivati model za analizu sa odabranim parametrima za simulaciju i predstaviti ih jasno uz aspekt imersije koju pruža tehnologija virtualne realnosti. Pored izrade modela za podršku u analizi gotovih projekata, predviđena je i izrada modela koji će uz oslonac na tehnologiju i mogućnosti virtualne stvarnosti obezbediti prikaz analiziranih parametara u realnom vremenu u cilju boljeg razumevanja rezultata analize. Jedan od rezultata biće prikaz rada modela primenjenog na projekat stambene arhitekture.

## 1.6 Pregled postojećih istraživanja u oblasti teze

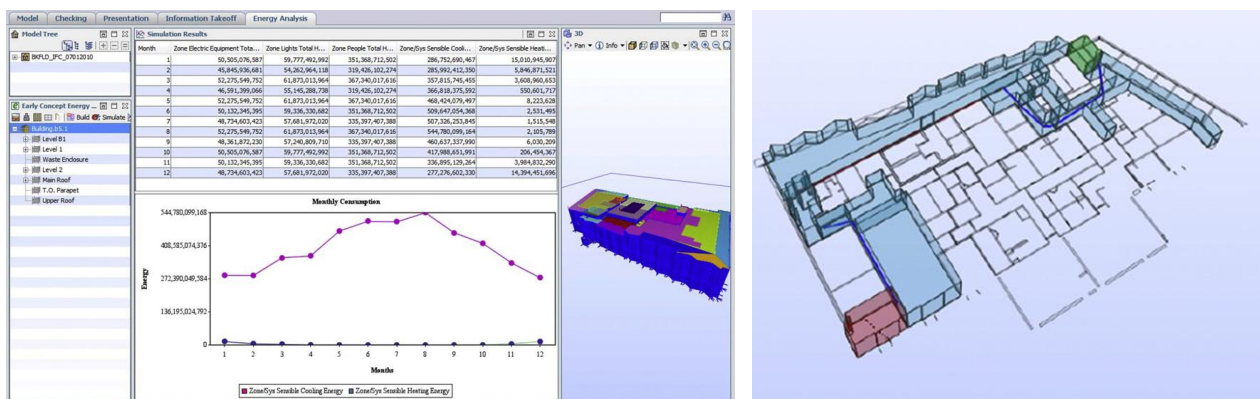
Literatura koja se bavi analizama i simulacijama zasnovanih na upotrebi BIM tehnologije sadrži radove koji se bave direktnom implementacijom ili izradom modela implementacije za potpunu ili delimičnu automatizaciju procesa. Postoji niz istraživanja gde se definišu aspekti u pogledu interoperabilnosti modela (Lockey i Augenbroe, 1999; Augenbroe i Park, 2005; Borrmann i drugi, 2006) kao i u području razvoja i definisanja standarda (Foliente i drugi, 1998; Bazjanac i Kiviniemi, 2007) kako bi se unapredili procesi razmene podataka za različite analize zasnovane na istom BIM modelu. Vršene su analize i istraživanja u pogledu automatskog proveravanja da li objekat odgovara zadatim pravilima poput građevinskih propisa (Dai i Oakes, 1997; Han i drugi, 1998; Ding i drugi, 2006; Dimayadi i Amor, 2013), u čemu je slične procese moguće sprovoditi u softveru *Solibri*<sup>12</sup>. Druga istraživanja fokusirana su na različite tipove analiza poput analize cirkulisanja ljudi u specifičnim objektima po striktno definisanim pravilima (Lee, 2010) i razvoj računarskog jezika za ovu vrstu analiza (Lee, 2011), zatim analize fizičke sigurnosti (Porter i drugi, 2014), analizi energetske performansi zgrada (Schlueter i Thesseling, 2009) i dr.

---

<sup>12</sup> *Nemetschek Solibri Model Checker* (<https://www.solibri.com/>, pristupljeno 03.05.2016.)

Teorijska istraživanja u kojima se definiše centralni model za analizu elaborirana je u (Bazjanac, 2008; Bazjanac i drugi, 2014; Negendahl, 2015), ali u njima je obrađen samo okvir za implementaciju specifičnih analiza prema pravilima korišćenja BIM izrađenih arhitektonskih objekata i njihovog daljeg ispitivanja. Kada se gradi okvir za višeparametarsku analizu često je potrebno obraditi veći broj različitih podataka nego što je po osnovnom pravilu predviđeno, što je elaborirano u objavljenim radovima nekih istraživača (Augenbroe i drugi, 2004; Sanguinetti i drugi, 2011). Ovo za posledicu ima da su istraživanja ove teme u pogledu eksperimentalnih primera više orjentisana ka rešavanju realnih problema nego što je to slučaj sa teorijskim pristupom. Ovakav pristup primenjen je i u disertaciji, što je objašnjeno u kasnijim poglavljima.

U ovoj tezi naglasak je dat na istraživanja koja su formirana oko ideje šireg koncepta potpune i delimične automatizacije sa jasnim rezultatima koji se izvode ili se mogu izvoditi iz BIM modela u fazi izrade idejnog rešenja arhitektonskog projekta. U pogledu korišćenja više analiza na jednom modelu najznačajniji rezultati su ostvareni u istraživanju Sanguinetti i drugih (2011) gde je analiziran objekat sudske zgrade u pogledu više analiza koje se zasnivaju na analizama eminentnog stručnjaka u pogledu implementacije BIM tehnologije Čaka Istmana i njegovih kolega (Eastman, 1999; Eastman i drugi, 2009; Lee, 2010, Lee, 2011, Lee i drugi, 2012) gde su sprovedene 3 nezavisne analize na osnovu sadržaja istog BIM fajla. Na slici 1 prikazane su dve analize sa rezultatima energetske efikasnosti objekta i provere cirkulisanja ljudi u prostorijama objekta.



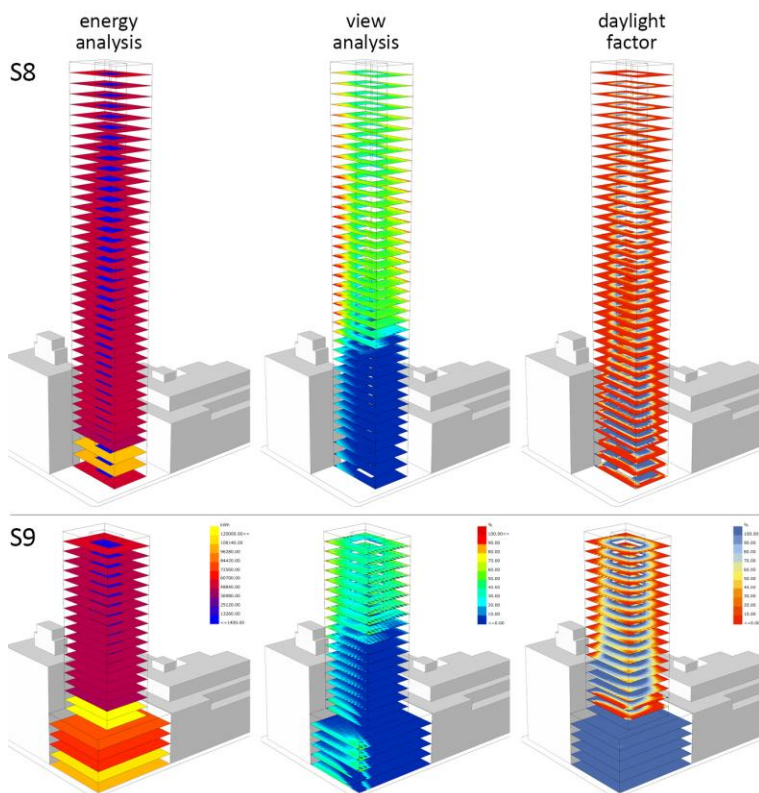
Slika 1. Primer vizualizacije konačnih rezultata ispitivanja kroz grafik, tabelu i 3D prikaz energetske analize objekta (levo) i analize cirkulacije ljudi (desno).

Često su istraživanja zasnovana na softverskim rešenjima gde su rezultati dati u vidu grafika ili tabele, a pri čemu nije moguće vizuelno sagledati gde se problem zaista nalazi, što je od izuzetnog značaja za fazu projektovanja idejnog rešenja. To je slučaj sa analizama (Shi i



Yang, 2013; Ritter i drugi, 2015). Takođe u nekim istraživanjima nedostaju i mogućnosti izlaza 3D rezultata analize prema drugim programima i moguće je samo videti rezultate u softveru za analizu (Sanguinetti i drugi, 2011). U ovom radu važnu ulogu u sagledavanju rezultata analize ima vizualizacija, a rezultati zadati graficima i tabelama su sekundarnog karaktera.

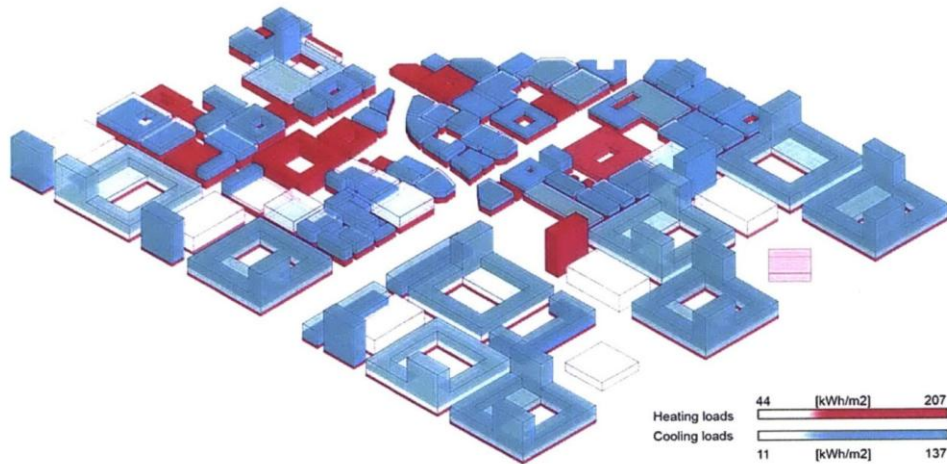
Neki od autora koji su se bavili različitim tipovima automatizovanih simulacija i analiza u arhitektonskom i urbanističkom projektovanju dali su doprinos u formiranju modela rada sa geometrijom objekata u vidu jasnog sagledavanja rezultata analiza. Na slici 2 prikazano je istraživanje (Orfanos i drugi, 2015) u kojem su sprovedene 3 nezavisne analize na istom objektu (analiza pogleda, energetske efikasnosti i dnevnog faktora osvetljenosti), a rezultati su prezentovani jasno i sa mogućnošću uočavanja problema u određenim delovima arhitektonskog objekta.



Slika 2. Itegrisana analiza perforansi za održivu arhitekturu i urbanističku infrastrukturu u vidu energetske analize (levo), analize pogleda (sredina) i analize dnevnog faktora osvetljenosti (desno).

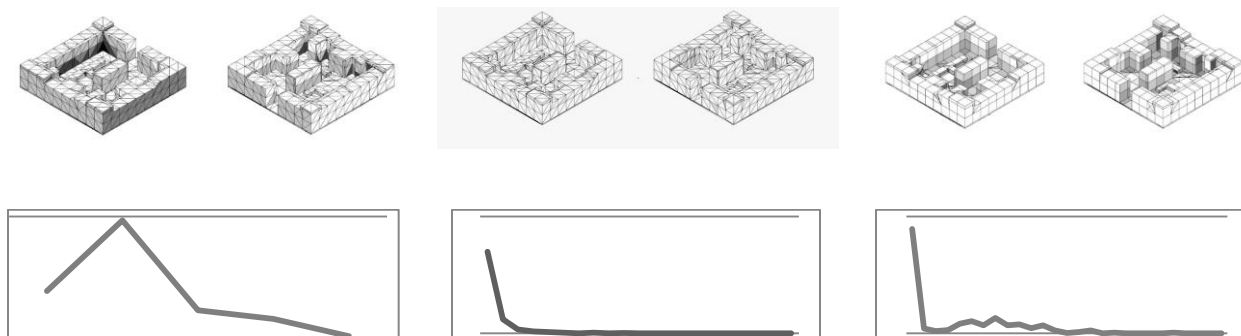
Značajan pravac predstavlja analiza automatizacije energetske efikasnosti objekta sprovedene na urbanoj celini gde su rezultati jasno vidljivi i moguće je ispitati detaljnije područja u kojima se mogu praviti urbanističke ili arhitektonsko-građevinske izmene. Na slici 3 prikazan je

primer ovog istraživanja (Dogan, 2015) gde su slikovito prikazane ekstremne vrednosti pri čemu je relativno lako uočiti objekte kojima je potrebno posvetiti više pažnje.



Slika 3. Energetska analiza tačaka najviših zagrevanja i hlađenja urbanog područja na godišnjem nivou.

U ispitivanjima forme urbanih blokova (Perišić, 2016b) ponuđen je sistem u kojem se kroz vizualizaciju, grafik i tabelarni prikaz mogu sagledati kompleksne analize svedene na lako čitljive rezultate pogodne za uporedne analize više urbanih blokova i direktnog čitanja komparativnih prednosti u njima. Na slici 4 prikazan je primer višeporodičnog stambenog bloka guste izgrađenosti sa pripadajućim rezultatima i u vidu grafika.



Slika 4. Višestruka analiza urbanog bloka preko metode izvođenja simulacija na spoljašnjem omotaču i grafik rezultata svih analiza. Levo je prikazana analiza prosečne godišnje osunčanosti, u sredini prosečne godišnje provetrenosti, a desno analiza uslova privatnosti.

Aspektu vizualizacije u pomenutim istraživanjima u ovom poglavlju često se ne poklanja dovoljno pažnje, a tipovi prikaza rezultata zavise od programa u kojem je istraživanje izvršeno i

tipu projekcije koji je odabran. Ovakav pristup često za posledicu ima da se neki delovi analiza teško mogu uočiti. U nekim istraživanjima se pominje virtualna realnost kao napredna mogućnost sagledavanja rezultata istraživanja (Ciribini i drugi, 2015; Hilfert i König, 2016), ali su u tom pogledu istraživanja u početnoj fazi razvoja.

U pogledu virtualne realnosti, najveći broj istraživanja je u polju psihologije i medicine gde je primećeno da ona ima uticaj na čovekovu percepciju u određenim poljima poput realnih situacija (Maltby i drugi, 2002; Rus-Calafell i drugi, 2012; Levi i drugi, 2015). U istraživanjima u polju arhitekture postoje istraživanja koja se bave implementacijom tehnologije virtualne realnosti poput (Wang, 2007; Koutsabasis i drugi., 2012; Portman i drugi, 2015), ali je potrebno više istraživanja u pogledu uticaja ove tehnologije na arhitektonski stvaralački proces, pošto je veza između simulacije stvarnosti VR tehnologijom i ljudskog iskustva i percepcije ustanovljena u eksperimentima sprovedenim u medicini i psihologiji.

Postoje istraživanja koja se bave implementacijom arhitektonskih i građevinskih analiza u sistem augmentovane (proširene) realnosti (Jiao i drugi, 2013; Kwon i drugi, 2014; Wang i drugi, 2014). U radu se augmentovana realnost ne posmatra kao deo virtualne realnosti, pošto ona podrazumeva realan kontekst, odnosno implementaciju radnog okruženja onoga koji je koristi. U slučaju izrade idejnog projekta, proces se najčešće ne dešava na lokaciji gde se objekat gradi, već u zatvorenoj prostoriji. Iz tog razloga se celokupno okruženje mora izraditi i simulirati, što je domen virtualne realnosti.

## **2 BIM tehnologija**

BIM tehnologija namenjena je isključivo građevinskoj industriji i zbog toga je razvijana prema njenim potrebama. Često se na BIM gleda kao na skup alata, ali je on pre svega dinamična tehnologija koja je još uvek u razvoju i nije dostigla svoj pravi potencijal. Eastman i drugi (2011) definišu BIM kao “tehnologiju modelovanja i sa njom povezan skup procesa u cilju produkcije, komunikacije i analize građevinskih modela”, gde se BIM posmatra iz aspekta dopune profesije, pre nego kao skup dostupnih alata. Karakteristike koje se takođe pojavljuju u literaturi ovu tehnologiju opisuju kao katalizator promena u građevinskoj industriji (Bernstein, 2005) i činiocem koji će povećati efikasnost (Hampson i Brandon, 2004). Upotrebljava se u vidu podrške kreiranja projekta, izrade konstrukcije i održavanja građenih objekata (Azhar i dr., 2008; Eastman i drugi, 2011; Barlish i Sullivan, 2012). Pored ovih prednosti zabeležene su i prednosti njene primene u građevinskoj industriji poput detekcije kolizije građevinskih elemenata, proceni koštanja objekata, planiranje gradilišta, bolja kolaboracija između profesija i napredna vizualizacija (Gu i London, 2010; Yan i drugi, 2011; Boktor i drugi, 2014). U daljem tekstu teze posebna pažnja je posvećena aspektima koji izdvajaju BIM tehnologiju od ostalih tehnologija koje se koriste ili su upotrebljavane u arhitektonsko-građevinskoj industriji.

### **2.1 BIM tehnologija i njen razvoj**

Za pojavu ove tehnologije odgovoran je napredak u računarskoj industriji. Specifičnosti koje su povezane sa građevinskom industrijom su da se arhitektonski i građevinski projekti

izrađuju prema potrebama individualnih objekata, što nije slučaj sa automobilskom industrijom, avioindustrijom i sličnim industrijama gde se ispituje jedan prototip od strane cele kompanije koji se nakon toga masovno izrađuje. Uprkos pojavi specijalizovanih CAD<sup>13</sup> alata za potrebe pomenutih industrija koji nisu bili komercijalni još 1960-ih<sup>14</sup>, BIM tehnologija, kao posledica napretka u CAD tehnologiji, nastaje prevashodno kao posledica masovne komercijalne raspoloživosti personalnih računara 80-tih godina prošlog veka.

Prvi uspešni pokušaji da se kreira baza podataka u građevinskoj industriji bio je projekat *Building Description System* kreiran od strane Čarlsa Istmana 1975. godine. Odlike programa bile su mogućnosti da se individualni elementi mogu dodavati u model koji se moga posmatrati preko grafičkog korisničkog interfejsa (Latiffi i drugi, 2014). Cilj projekta je bio da se smanje troškovi projekata za više od 50% kroz efektivniji pristup crtanju i kroz različite analize koje se mogu izvoditi na ovaj način. Korist od ovog sistema je da se definišu, modifikuju i uredi veliki broj elemenata kao i da se ispita detekcija kolizije objekata (Eastman i drugi, 1975). Program nije bio korišćen u praktičnom radu i dve godine kasnije isti autor izrađuje projekat *GLIDE (Graphical Language for Interactive Design)* sa sličnim karakteristikama, ali sa poboljšanjima u pogledu preciznosti 2D crteža, mogućnosti za jednostavnu proveru cena koštanja objekata i pojednostavljenu evaluaciju konstruktivnih elemenata (Eastman i Henrion, 1977). Na slici 5 prikazan je primer spiralnog stepeništa izrđenog za potrebe ovog programa. Oba sistema nisu značajnije uticali na tržište i bili su korišćeni prvenstveno u akademskim krugovima.

---

<sup>13</sup> CAD - *Computer Aided Design* (eng.) - Dizajn potpomognut od strane računara.

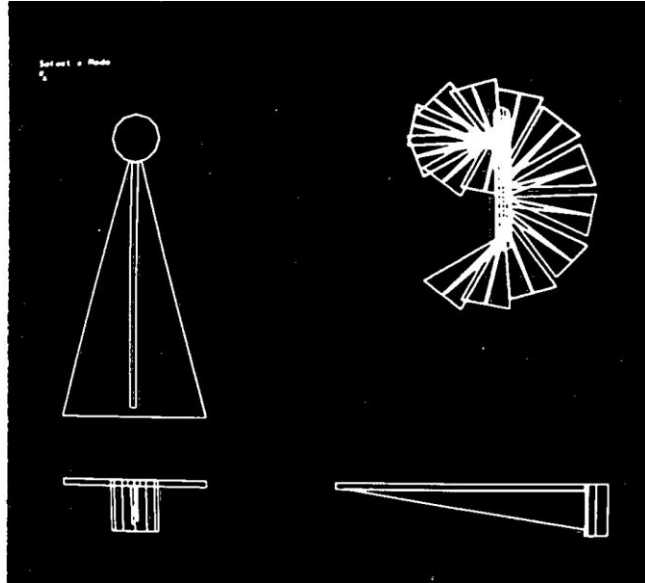
<sup>14</sup> DAC-1 sistem je razvijen 1963. godine od strane kompanija *General Motors* i *IBM* kao jedan od prvih CAD sistema.

```

POLY PROCEDURE spiral.step(POLY centre;
    REAL riser,radius,r,angle,th)=
    BEGIN
    POLY support =
        triangle(radius*0.95,-riser*0.8,th);
    POLY collar = column(12,riser,r);
    POLY plate = wedge(radius,th,angle);
    ! return the result of shape operations;
    CUT centre FROM COMBINE collar WITH
        COMBINE support WITH plate
    END;

To make spiral staircase, (dimensions in inches)
SET PROCEDURE spiral.stair(ht,radius,angle)=
    BSET; INTEGER numsteps; REAL riser;
    numsteps = ht/8.0;
    riser = ht/numsteps;
    POLY centre = column(12,ht+32.0,5.0);
    POLY step = spiral.step(centre,
        riser,radius,3.0,angle,0.625);
    FOR i TO numsteps
        DO COPY step=10,riser*i \0,angle;i
    ESET;

SET stair1 = spiral.stair(100.0,46.0,30.0);
    
```



Slika 5. Spiralno stepenište sa softverskim kodom u GLIDE projektu Čarlsa Istmana

Sledeći sistemi su uticali na razvoja BIM tehnologije, krajem 70-ih i početkom 80-ih godina 20. veka: *GDS*, *EdCAAD*, *Cedar*, *RUCAPS*, *Sonata* i *Reflex*. Oni su bili testirani na praktičnim projektima (Dobelis, 2013).

Termin BIM prvi put se pojavio u istraživačkim radovima 1986. godine (Ruffle, 1985; Aish, 1986), a prvi komercijalni BIM program pojavio se 1987. godine razvijen od strane Gabor Bojara za *Apple Lisa* operativni sistem pod nazivom *ArchiCAD*. Glavna prednost programa je bila mogućnost izrade i 2D i 3D geometrije arhitektonskog objekta, kao i mogućnost skladištenja informacija za elemente objekta.

Uprkos ranom razvoju ove tehnologije za personalne računare, ona u industriji biva prepoznata kao veoma važna i kao takva prihvaćena tek u poslednjim godinama 20. i prvim godinama 21. veka. U godini 2000. pojavljuje se najveći konkurent prethodno pomenutom softveru koji se naziva *Revit*, a koji su kreirali Irvin Jungreis i Leonid Rais nakon rada na softveru *Pro/ENGINEER*.

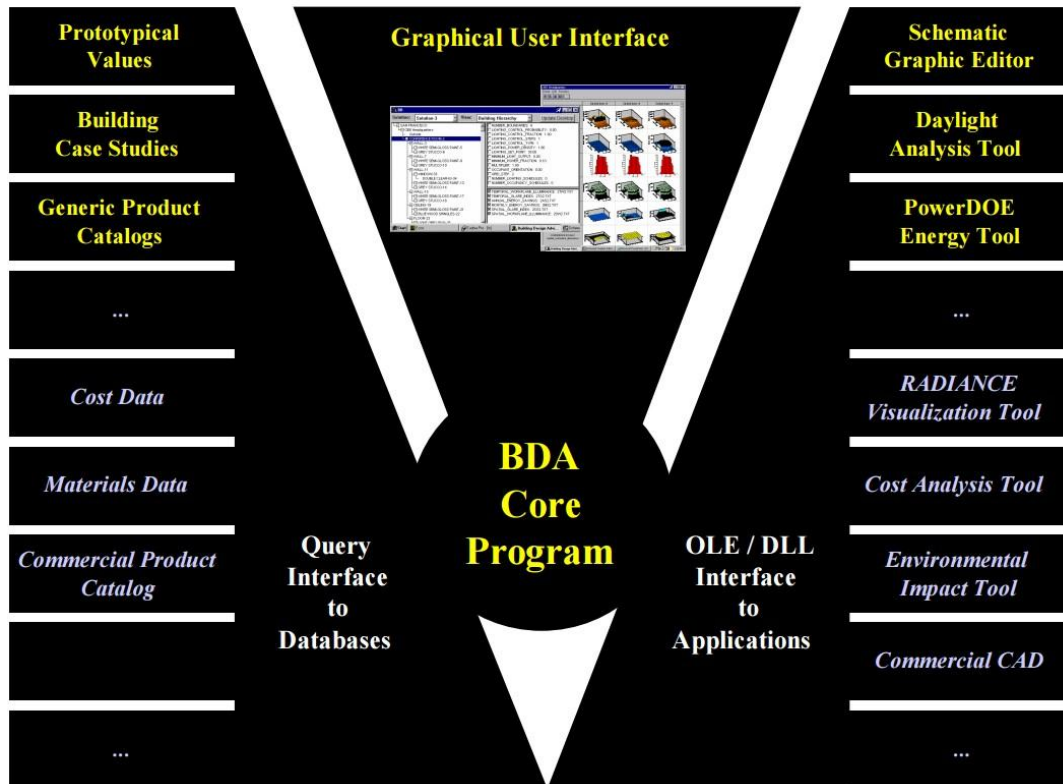
Autodesk vrši akviziciju i program naziva *Autodesk Revit*. Najveći konkurenti ovim softverima su kompanije koje su razvijale CAD softvere od sredine 80-ih godina 20. veka. *Bentley systems* je kompanija koja je bila poznata po CAD rešenjima, a koja od 2004. predstavlja produkt *Bentley Architecture* koji se od tada razvija i danas se naziva *Bentley AECOsims*. Još jedna velika kompanija koja je prvo razvila CAD softver koji je evoluirao u BIM

rešenje jeste *Nemetschek* sa softverom *Allplan*. Godine 1997. ovaj softver dobija komponentu pod nazivom O.P.E.N. (Object-oriented Product Model Engineering Network), a koja je praktično predstavljala BIM tehnologiju. BIM komponente takodje usvaja i CAD softverski paket *VectorWorks*, koji 2000. godine otkupljuje kompanija *Nemetschek*. Ova kompanija 2007. preuzima i *Graphisoft*, čime postaje vlasnik softvera *ArchiCAD*, koji predstavlja treći BIM softver u njihovom vlasništvu.

Pored navedenih značajan je i program *Digital Project* razvijen od kompanije *Ghery technologies*, zasnovan na CAD softveru *CATIA*, razvijen nakon završetka projekta Gugenhajmovog muzeja u Bilbao 1997. Ovaj softver takođe je otkupljen 2014. i sada je u vlasništvu kompanije *Trimble* poznata u arhitektonsko-građevinskoj industriji po preuzimanju softvera *Sketchup* i *Tekla*. *RhinoBIM* je takođe softver koji ima potencijal da postane jedan od vodećih softvera, ali je tek 2015. godine izašla prva zvanična verzija u kojoj nedostaju značajne funkcije drugih pomenutih softverskih rešenja.

Na osnovu predstavljenih podataka u pogledu komercijalnog razvoja BIM softvera, može se zaključiti da je početak ove tehnologije povezan sa 1980-im godinama, ali da je prihvaćena od strane više kompanija i time započet kompetitivni razvoj tek krajem 1990-ih. Konstanan napredak i poboljšanje karakteristika softvera može se videti na godišnjem nivou, a izvršena preuzimanja u poslednjih 10 godina pokazatelj su da je ova industrija u usponu.

U pogledu razvoja softvera sa mogućnostima višekriterijumskih analiza, uz alate za vizualizaciju, pionirski projekat je bio BDA (Building Design Advisor) koji je razvijen na Kalifornijskog univerziteta Berkli i uz učešće Kalifornijske Komisije za energiju. 1999. se pojavila stabilna verzija, koja je uglavnom korišćena od strane akademske javnosti (Davis, 1999). Iako BDA nije direktno BIM tehnologija, parametri su predviđali upotrebu iste da bi se objekti direktno modelovali i analizirali u istom softveru. Na slici 6 data je ambiciozna šema programa u kojem su predviđene analize dnevne osvetljenosti, energetske efikasnosti, cene koštanja i drugih analiza (Papamichael i drugi, 1996).



Slika 6. Šema analiza koje su predviđene BDA programom među kojima su dnevna osvetljenje, cena koštanja i analiza potrošene energije

## 2.2 Aktuelno stanje i pregled stavova o BIM tehnologiji

Mnogi istraživači potvrđuju veliki potencijal u polju razvoja BIM tehnologije. Tržište BIM-a karakterisano je kao perspektivno, sa rapidnom stopom evolucije (Pike Research, 2012) i predviđa da će godišnja vrednost BIM produkata i usluga porasti od 1.8 milijardi dolara u 2012. godini, na 6.5 milijardu u 2020. godini. Postoje istraživanja o tome kako će građevinski ekonomski sistem biti promenjen kroz implementaciju BIM-a. Neki od primera su veća kolaboracija između učesnika (Mao i drugi, 2007); imlementacija inteligentnih sistema (Lin i drugi, 2003), relativnih odnosa u sistemu do povećane interoperabilnosti koju donosi digitalna forma (Mihindu i Arayici, 2008) i vidna poboljšanja u pogledu tačnosti, interaktivnosti, produktivnosti, uštede novca i povećanja kvaliteta (London i drugi, 2008).

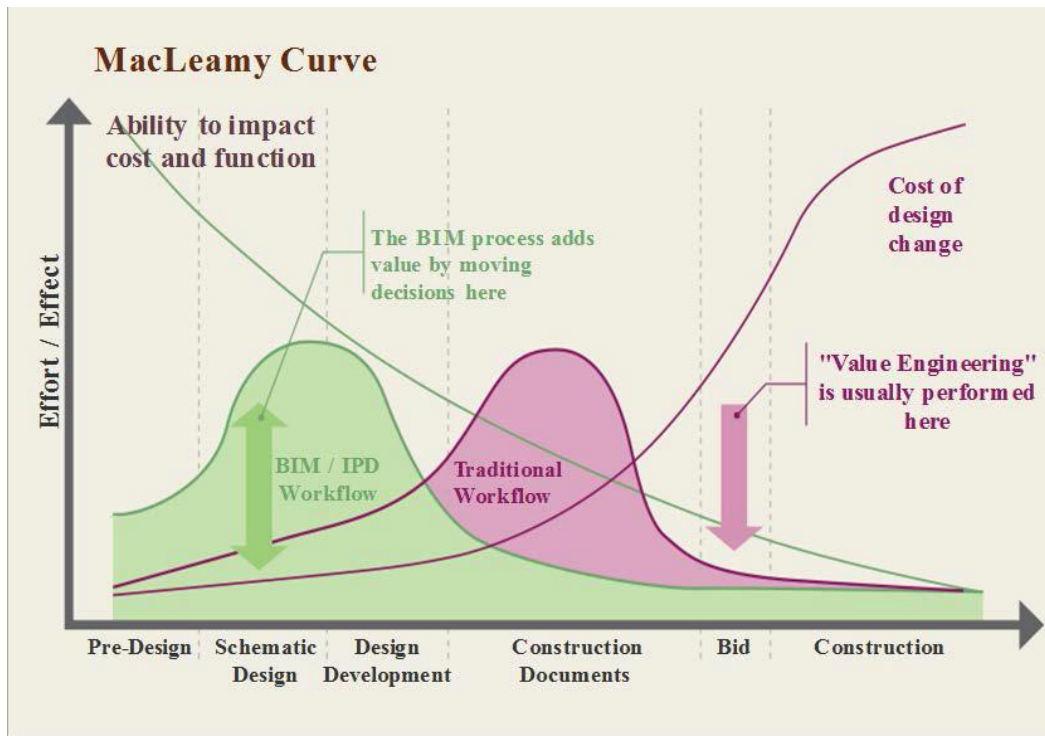


Neke od prednosti usvajanja BIM tehnologije su sledeće:

- a. Postoji veća kontrola nad ekonomskom stranom građenja objekata (London i drugi, 2008). Smanjuje se cena projekata (Giligan i Kunz, 2007; Azhar i drugi, 2008), procena cene koštanja je tačnija zahvaljujući tome što se smanjuje mogućnost greške (Giligan i Kunz, 2007), postoji mogućnost kontrolisanog životnog ciklusa objekta (Forbes i Ahmed, 2011). Takođe prema izveštaju (McGraw Hill Consturction, 2012) postoje visoki povraćaji profita investicije.
- b. Vreme je bitan faktor u građevinskoj industriji i BIM tehnologija donosi benefite i u pogledu njegove uštede. Detekcija kolizije može uštedeti vreme na taj način što će se plan moći ispitati pre izvođenja (Azhar i drugi, 2008; Zhang i Hu, 2011). Brzina izrade i modifikacije dokumentacije je veća (CRC Construction Innovation, 2007; Forbes i Ahmed, 2011).
- c. Kvalitet projekata se povećava korišćenjem BIM tehnologije (BIM Industry Working Group, 2011, Giligan i Kunz, 2007).
- d. Povećava se produktivnost radnika (Kaner i drugi, 2008; Forbes i Ahmed, 2011).

BIM tehnologija pruža mnoge prednosti u odnosu na tradicionalno crtanje ili u odnosu na izradu arhitektonskog projekta uz pomoć CAD tehnologije, ali je njegovo uvođenje u postojeći sistem u građevinskoj industriji problem iz više razloga.

Na slici 7 prikazana je Meklemijeva kriva na kojoj su komparativno prikazani procesi tradicionalnog crtanja (*Traditional Workflow* na slici) i proces rada sa BIM tehnologijom (*BIM/IPD Workfow* na slici) u odnosu na faze izrade projekta (x-osa) i radne energije utrošene (y-osa). Prema ovoj krivi, najviše napora prilikom rada sa BIM-om troši se u prvoj fazi, a dobit se vidi tek u kasnijim fazama. Za prihvatanje ove tehnologije potrebno je sagledati ceo proces rada na projektu, uključujući i podršku tokom celog životnog ciklusa da bi se prepoznale njene vrednosti.



Slika 7. Meklejmijeva kriva na kojoj se može videti da je za projektovanje objekata u BIM softveru potrebno više uloženoj truda u prvim fazama izrade projekta, a manje u daljim fazama.

Osnovni izazovi da bi se BIM tehnologija usvojila u građevinskom sektoru i kroz nju dobile dobiti koji su ranije pomenuti prema istraživanju Sackey (2014) su:

a. Tehnički uslovi

Tehničke karakteristike računara na kojima se radi sa BIM programom su zahtevnije u odnosu na tradicionalne CAD softvere.

Za nove korisnike ne postoji jasna razlika između softvera dostupnih na tržištu, takođe zbog veće cene koštanja ove tehnologije odlaže se njena implementacija u delovima industrije.

Zbog komercijalnih interesa, BIM aplikacijama nedostaje sposobnost da međusobno razmenjuju podatke bez određenih gubitaka, što je proces kojem se teži od strane *BuildingSMART* organizacije i većeg broja vladinih organizacija širom sveta.

b. Ljudski faktor

BIM tehnologija zahteva korisnike koji žele da uče i prilagođavaju se novoj tehnologiji.

Da bi se ova tehnologija uspešno implementirala potrebno je koristiti u svim aspektima izrade projekata uključujući arhitektonske i građevinske projekte, projekte instalacija i slično.

c. Strukturalni

Iz razloga što BIM tehnologija zahteva drugačiji pristup projektovanju na svim nivoima, potrebno je napustiti stare organizacione šeme koje su preferirane od strane većine učesnika u projektu. Cena koštanja uvođenja ove tehnologije u pogledu cene novih softverskih rešenja na svim nivoima, cena obuke radne snage i cena u vidu izgubljenog vremena prilikom prvog prilagođavanja na ovu tehnologiju u realnom projektu, su faktori koji takođe utiču na stepen primene ove tehnologije.

d. Zadaci

Ne postoji razumevanje među ljudima koji su nadležni za implementaciju u pojedinačnim građevinskim kompanijama o konkretnim dobitcima u industriji kroz primenu BIM tehnologije.

Potrebno je uložiti više energije u motivaciju potencijalnih korisnika za implementaciju BIM rešenja tako što se formiraju organizacije koje pružaju podršku kompanijama u procesu prelaska na novu tehnologiju.

Ovi problemi imlementacije trenutno imaju veliku ulogu u daljem razvoju tehnologije, ali su u većem broju slučajeva posledica činjenice da se radi o tehnologiji koja ima drugačiji pristup izradi projekata od prethodnih, kao i relativno kratkom vremenu od kada se pojavila kompetitivna konkurencija. Usvajanje BIM tehnologija je uprkos svim ovim izazovima sve više podstaknuto od strane vlada i vladinih institucija.

Sjedinjene Američke države su globalni lideri u usvajanju ove tehnologije (Wong et al, 2009). U 2007. godini Administracija za opšte servise (GSA), koja je odgovorna za sve

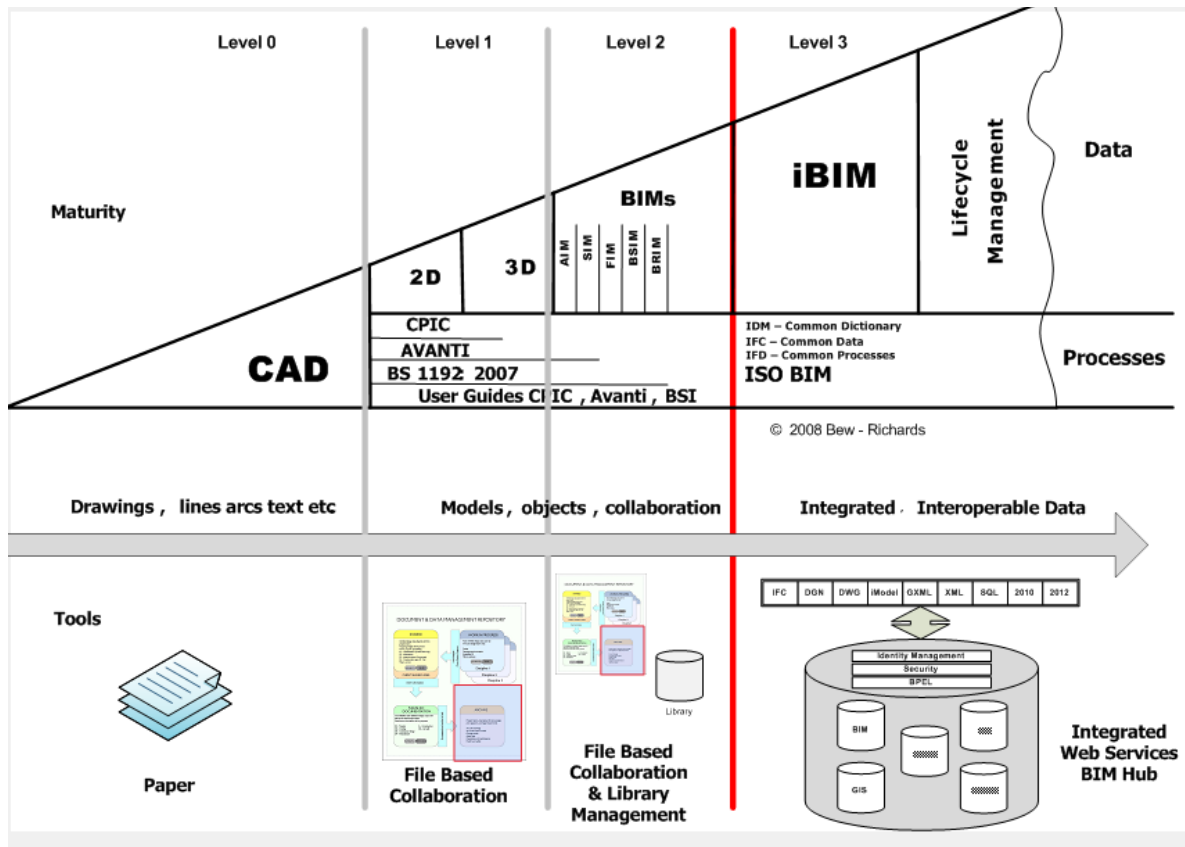
federalne projekte, uvela je BIM tehnologiju kao standard kojim se vrši validacija svih projekata (Khemlani, 2012). Ovo je dovelo do implementacije BIM tehnologije na oko 9000 objekata i imalo je veliki uticaj na druge zemlje.

Evropska Unija (*European Union Public Procurement Directive*) je 2014. godine preporučila svojim članicama upotrebu BIM-a. Zakoni doneseni u Holandiji, Danskoj, Finskoj i Norveškoj već podrazumevaju upotrebu BIM-a u određenim oblastima, a Ujedinjeno Kraljevstvo je donelo odluku da se ova tehnologija obavezno koristi na svim projektima javne namene od 2016. godine.

### **2.3 Višedimenzionalni pristup BIM tehnologije**

Osim osnovne koristi u vidu podrške u proizvodnom procesu upotrebe digitalnih, nasuprot manulanih alata, BIM tehnologija se u literaturi pominje i kao potencijalni činilac koji preuzima više različitih aspekata. Najčešći način je uvođenje novih dimenzija gde se ističe razlika između sagledavanja forme i drugih aspekata projekata. Često se model koji je kombinovan sa aspektom vremena u vidu simulacije sekvenci rasporeda izvođenja objekta naziva oznakom 4D (Koo and Fischer, 2000). Osim za izvođenje ovaj termin se primenjuje i na uključivanje održavanja za izvedene objekte (Russell i drugi, 2009; Daniel Hallberg, 2011). Oznaka 5D podrazumeva uvođenje cene koštanja objekata (Muzvimwe, 2011; Forgues i drugi, 2012). Pored ovih dimenzija moguće je uvođenje drugih varijabli poput zdravstvenih uslova, kontrole kvaliteta i ovakav pristup se naziva nD modelovanje (Ding i drugi, 2012), a ideja o ovakvom tipu modelovanja u građevinskoj industriji prisutana je još od 1970-ih godina (Eastman i drugi, 2011, Zhang, 2012).

Modelovanje u više dimenzija je predstavljeno slikom 8 (Richards, 2010), gde je prikazan proces prema kojem se uvode nivoi (level 0-3) u kojem se na najnižem nivou nalaze crteži urađeni u 2 dimenzije, najviši nivo je otvoren i podrazumeva integraciju velikog broja podataka. Od strane većeg broja istraživača prepoznate su vrednosti BIM tehnologije i predviđen je njen značajan razvoj u budućnosti. Značajan doprinos tome je usvajanje BIM standarda prilikom izvođenja projekata koji će biti primenjivani u narednih nekoliko godina u većem broju država.



Slika 8. BIM tehnologija i težnja da se uvode nove dimenzije u njenoj implementaciji

Podrška u boljoj kolaboraciji između različitih BIM programa je i međunarodni format za razmenu BIM projekata koji je nazvan .IFC (Industry Foundation Classes) neprofitne organizacije *International Alliance for Interoperability* formiranu od strane konzorcijuma više kompanija 1994. godine. Glavni zadatak ove organizacije koja je kasnije preimenovana u *BuildingSMART* bio je automatizovana razmena informacija između programa radi poboljšanja interoperabilnosti. Ovo je uradjeno pisanjem otvorenog standarda za BIM modele u STEP fizičkoj strukturi fajla i u mogućnosti da se koristi XML format radi lakše manipulacije sa svojstvima objekata u fajlu.

Primer strukture .ifc fajla je da se uobičajni građevinski elementi definišu kao nezavisne i poznate *klase*, poput klase vrata, klase zid, klase krov i slično. Svaka klasa ima objekte koje definiše preko posebnih geometrijskih i drugih karakteristika kako bi se geometrija i informacije koje su neophodne za rad mogle da se čitaju u nezavisnim programima. Neke od karakteristika koje se mogu uneti su cena koštanja elementa, pozicija kvake na vratima, boja rama prozora, vatrotpornost pojedinačnih elemenata konstrukcije i druge. Uz primenu ovog standarda i

njegovo poboljšavanje dodavanjem novih karakteristika koje se odnose na nove dimenzije u BIM modelima mogu se vršiti analize arhitektonskih projekata nezavisne od softvera pomoću kojeg je izrađen projekat i softvera koji služi za analizu parametara konkretnog projekta.

Ideja o nD BIM tehnologiji je težnja da se simuliraju uslovi u celokupnom životnom ciklusu objekta pre nego što se on i izgradi (Lee i drugi, 2005). Mogućnost za realizaciju ovakve ideje u današnjem vremenu još uvek je uslovljena činjenicom da se poboljšavaju pojedinačni aspekti BIM projekata i unaprede nezavisni pojedinačni modeli prema različitim učesnicima i prema fazama u kojima se arhitektonsko-građevinski projekat planira, kreira, modifikuje, realizuje, izgrađuje i održava. U ovom kontekstu značajnu ulogu ima i automatizacija procesa koji se ponavljaju na isti način u cilju optimizacije vremena u kojem se projekat izgrađuje.

U kontekstu BIM tehnologije i njene multidimenzionalne prirode u ovoj disertaciji formiran je model koji učesniku-arhitekti u fazi idejnog rešenja projekta nudi mogućnost sagledavanja više dimenzija projekta, u smislu analitičkog pregleda delova projekta, i formiranja okvira za implementaciju takve tehnologije preko standardizovanog formata za BIM projekte .ifc.

### **3 Konceptualni model za analize objekata zasnovan na BIM tehnologiji**

U prethodnom poglavlju analizirane su mogućnosti BIM tehnologije kao platforme za uvođenje novih dimenzija, pored osnovne 3 dimenzije koje su karakteristične za 3D modelovanje prostora u CAD tipu softvera. Ovaj tip tehnologije nudi mogućnost izvođenja različitih tipova analiza u arhitekturi zahvaljujući objektnom pristupu 3D modelovanju, a parametri za analizu i mogućnost obrade podataka predmet su ovog poglavlja.

Postoji veći broj problema koje arhitekti rešavaju u toku izrade idejnog rešenja projekta. Uspešnost rešavanja istih određuje da li će se objekat izgraditi sa jasnim primenjenim principima ili će se revidirati i ispravljati sa većim uticajem na arhitektonske principe namene i dimenzionisanja prostorija i promene forme objekta. U određenim slučajevima objekti koji se izvode ne sadrže sve neophodne parametre kojima se produžava njihov upotrební vek, iz tog razloga dešava se da je potrebno adaptirati objekat nakon što je njegova izgradnja završena. Ovo je najčešće vidljivo u vidu izvođenja termoizolacije na objektima nekoliko godina ili decenija nakon što su završeni. Takođe postoje i slučajevi naknadnog probijanja prozora na zidovima ukoliko je građevinskim propisima to dozvoljeno.

Tačan broj analiza koje se u arhitekturi mogu izvršiti u cilju postizanja optimalnih upotrebnih rezultata izgrađenog objekta nije definisan istraživanjem i cilj izrade modela je da se definiše otvoren model koji je u stanju da se proširi i formira prema budućim istraživanjima ove teme. Kao jedan od važnih principa je da se formiranje modela vrši u skladu sa BIM

tehnologijom i informacijama o objektu koje ona može pružiti, ali i sa dodatnim unosima koje korisnici određuju za parametre gde je to neophodno.

### 3.1 Definisanje modela i njegova struktura

Model je definisan prema kontekstu BIM tehnologije i mogućnosti njenog optimalnog korišćenja za izvođenje različitih simulacija i analiza. Većina analiza se može sprovoditi manuelnim pristupom a to ima za posledicu da je broj analiza koji se vrši na projektima mali. Proces delimične ili potpune automatizacije važan je faktor u formiranju strukture predloženog modela.

Model je formiran tako da se kroz pristup o prostoru kao sistemu dodaju atributi i spoljni činiooci koji definišu strukturu modela. Prilagođen je tako da se efektivno mogu iskoristiti aspekti sistema koji se dobija izradom arhitektonskih objekata u BIM tehnologiji. Domen ovog modela je izrada idejnih arhitektonskih objekata sa elementima domena koji su specifični za ovu fazu projektovanja.

Ciljevi koje model treba da zadovolji jesu:

- a. Otvorenost modela prema različitim tipovima analiza i prema konkretnim analizama koje je potrebno sprovesti.
- b. Podrška korišćenja velikog broja programskih proizvoda u vidu optimizacije interoperabilnosti.
- c. Minimalno uključivanje krajnjeg korisnika u procesu izrade okvira za analizu. Optimalan pristup je da korisnik iz osnovnog 3D modela može dobiti rezultat bez potrebe za posebnim unošenjem podataka za analizu.

Predviđeno je da se pristup modelovanju izvrši preko metoda centralnog modela (Negendahl, 2015) predstavljenog u sredini na slici 9. Koncept ovakvog metoda modelovanja predstavlja šemu koja je pre svega povezana sa *BuildingSMART* organizacijom koja je opisana u poglavlju 2.3 u kontekstu definisanja standarda za .ifc fajlove.

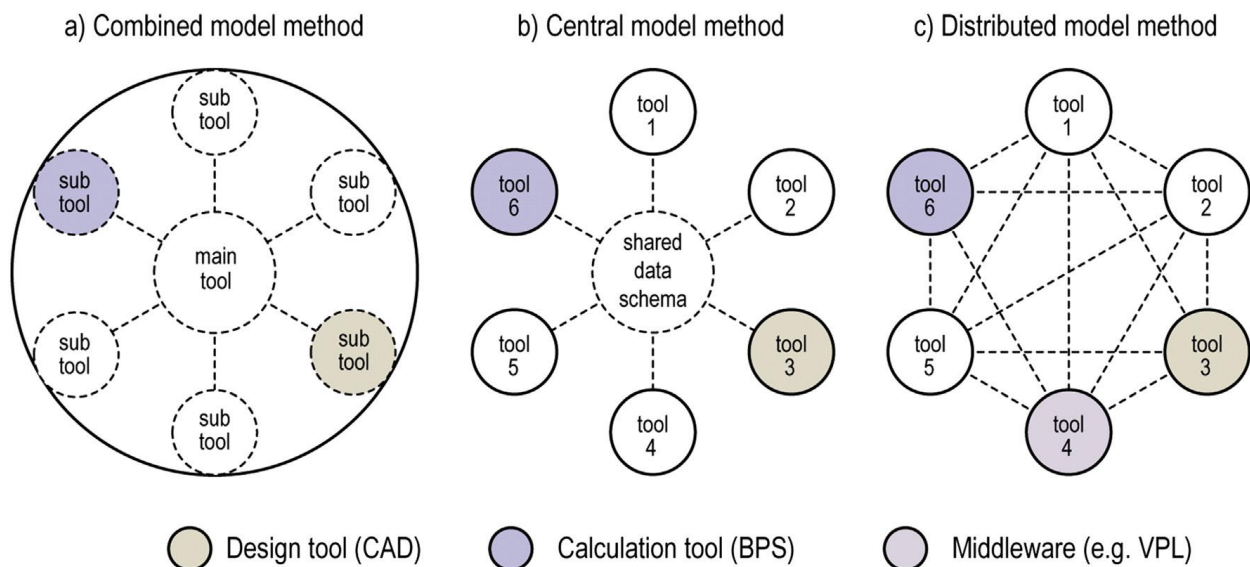
Razlika između tri šeme je da se za kombinovani metod (slika 9,a) u cilju sprovođenja različitih analiza, koristi interfejs softvera u kome se formira model. Ovakav pristup zahteva da se komercijalno raspoloživi softver proširi komponentama koje podržavaju željene analize. Pristup je prisutan za gotovo sve najpoznatije programe na tržištu, a pre svega programskih



paketa *Autodesk Revit* i *Bentley AECOsim*, ali je problem sa ovakvim pristupom otvorenost prema sprovođenju različitih analiza.

Distributivni model (slika 9,c) predstavlja značajan iskorak u pogledu analiza koje se mogu izvesti uz oslonac na različite alate. Njegova prednost je da se modelovanje i izmena geometrije i sprovođenje analiza mogu dešavati u nekoliko različitih kooperativnih softverskih rešenja. Ovaj pristup postaje sve popularniji, ali zahteva alate i standarde koji predviđaju podršku interoperabilnosti potencijalno heterogenih alata, kao i tehnološku disciplinu korisnika da u određenom redosledu sprovede pojedinačne analize kako bi izmenio projekat.

Centralni metod (slika 9,b) izabran je kao optimalan metod za tip analiza koji su predviđene ovom tezom. On nudi mogućnost definisanja preciznih pravila na osnovu kojih se obezbeđuje interoperabilnost osnovnog BIM projekta i alata koji sprovodi analizu. Ovo za posledicu ima da se više različitih analiza mogu sagledati u kratkom vremenskom intervalu, a ostavlja mogućnost isključivo manuelne promene dizajna u osnovnom programu za izradu geometrije.

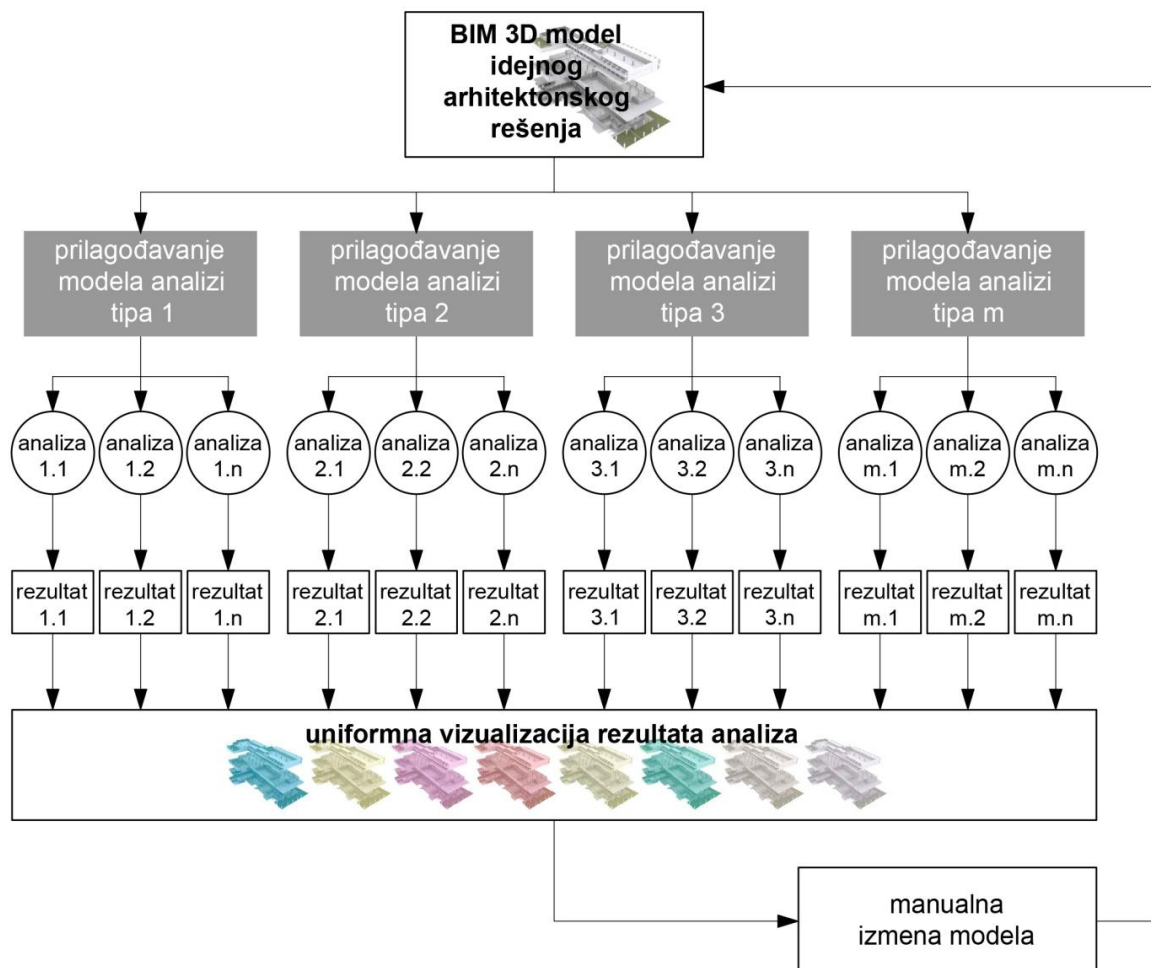


Slika 9. Razlike između 3 metode: a) kombinovani metod modela; b) centralni metod modela; c) distributivni metod modela

Metod centralnog modela pogodan je za fazu projekta kada se izrađuje idejno arhitektonsko rešenje iz pogleda na arhitektu, kao na profesionalca koji odluke donosi samostalno u odnosu na sve informacije koje su mu na raspolaganju. U radu sa velikim, kompleksnim objektima u kojima postoji niz procedura projektovanja rešenja koja su

repetitivnog karaktera, drugi metodi bi se verovatno pokazali kao bolji. Na primer, rešavanje pozicija svih sedišta na stadionu ili funkcije svih sporednih prostorija u velikom poslovnom ili industrijskom kompleksu može sprovoditi i automatske izmene koje su posledica optimizacije odabranog skupa atributa koji definišu performansu objekta bez učešća korisnika. U ovom radu se iz tog razloga izabrani metod posmatra kao optimalan za projekte manjeg i srednjeg obima u kojima učestvuju 1-3 inženjera arhitekture u procesu izrade idejnog rešenja objekta.

Na slici 10 prikazana je šema modela na kojoj je kao glavni ulazni parametar postavljen BIM 3D model idejnog arhitektonskog rešenja koji izrađuje korisnik. Model se upotrebom .ifc standarda distribuira u druge programske alate gde se prilagođava tipskim analizama u pogledu performansi objekta.



Slika 10. Opšti model automatizovanog analiziranja idejnih arhitektonskih objekata, sa primenom BIM tehnologije

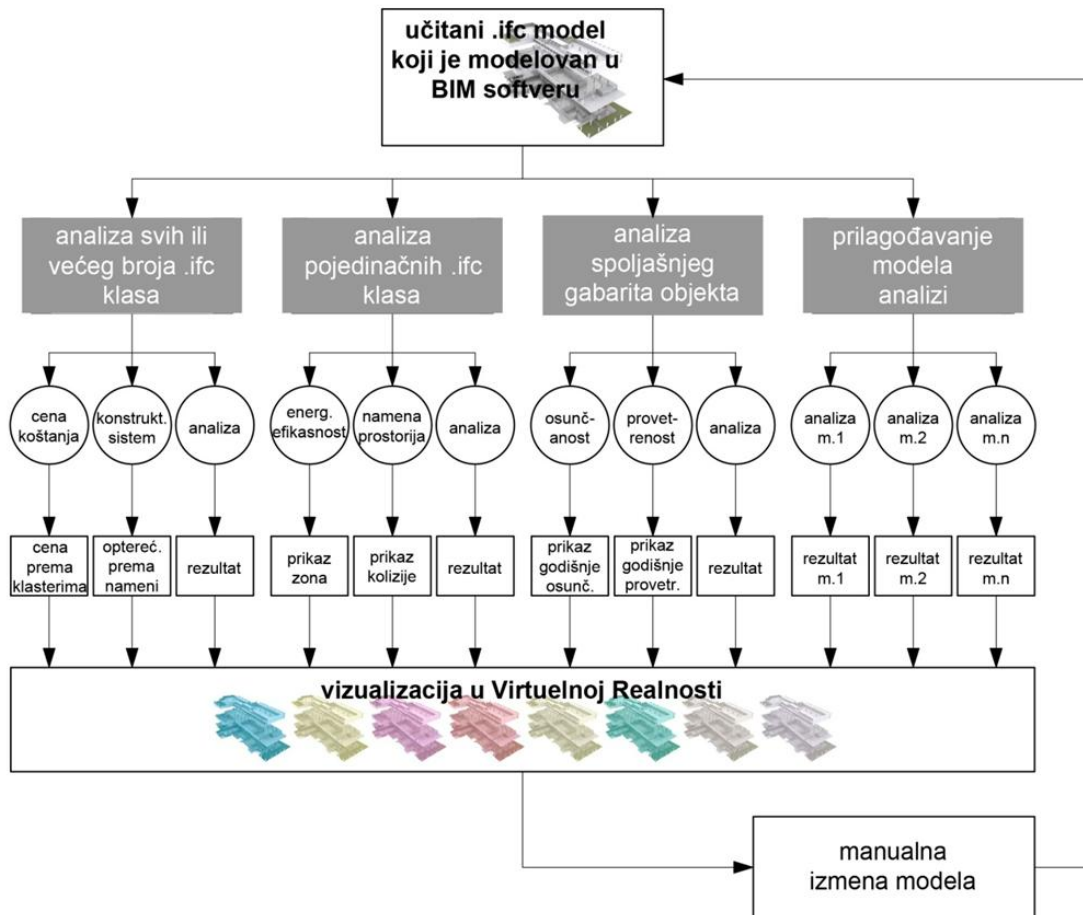
Naredni korak podrazumeva prilagođavanje elemenata BIM modela prema kontekstu, ali i mogućnost povezivanja sa bazama podataka i sa bibliotekama neophodnim da bi se analiza izvršila. Takođe moguće je u ovoj fazi postavljati i odgovarajuće unosne parametre u vidu upitnika kako bi se mogle sprovesti sve potrebne analize. Prilagođavanje modela tipskim analizama u ovoj disertaciji prikazano je preko 3 različita primera strukture, ali je prema šemi modela ostavljeno da se ovaj korak može prilagođavati prema potrebama analiza koje nisu obuhvaćene ovom tezom.

Nakon što je model prilagođen formi u kojoj je moguće sprovesti analize, analize se izvršavaju u kontekstu prilagođene forme. Broj analiza takođe može biti veći i prema modelu nije zatvoren, ali je u konkretizaciji modela prikazan princip na dve različite analize po svakoj prilagođenoj formi. Svaka od analiza može predstavljati nezavisan sistem, odnosno podmodel prema kojem se formiraju pravila i atributi.

Rezultati se za svaku od analiza posebno izvode u vidu numeričkih i grafičkih podataka u vidu tabela i grafika, a najvažniji aspekt u ovom radu je mogućnost prikazivanja 3D rezultata analiza kako bi se delovi objekta mogli posmatrati kontekstualno jedan u odnosu na drugi, pre nego kao sistem u kojem su svi delovi učesnici u zajedničkom rezultatu.

Uniformna vizualizacija rezultata podrazumeva jasnu predstavu i prikaz rezultata na 3D modelu u vidu boje, šrafure ili slično za svaku od analiza izvedenu na taj način da se pozicija objekta, kao i važnih elemenata ne promeni. Ovakav pristup je potreban da bi se svi modeli mogli uneti u jedinstven sistem za vizualizaciju koji isti objekat prikazuje kroz različite analize. Model se nakon svih analiza može korigovati u skladu sa dizajnerskim i upotrebnim zahtevima koje arhitekta želi da naglasi.

Od velikog broja analiza izdvojene su u procesu teoretskog (radovi iz poglavlja 1.6) i praktičnog istraživanja tri tipa koja odgovaraju odnosu između BIM izrađenog modela i karakterističnih analiza. Na sledećem dijagramu (slika 11) dat je primer konkretizacije modela, a nakon toga su elementi modela definisani i struktuirani. Šema modela na slici 11 predstavlja prvi korak u formulisanju analiza, a za svaku od konkretizacija dat je radni okvir u cilju ilustracije funkcionalnih karakteristika i prednosti ovakve strukture.



Slika 11. Model automatizovanog analiziranja idejnih arhitektonskih objekata, sa primenom BIM tehnologije i primene virtuelne realnosti sa konkretizacijom analiza

Iz razloga što se istraživački deo bavi sa projektima koji se izrađuju uz pomoć BIM tehnologije i zato što se želi formulirati model koji je otvorenog tipa u skladu sa svetskim standardima, BIM model se daje u formi .ifc fajla koji se može dobiti iz svih komercijalnih alata za izradu BIM projekata koji su pomenuti u ovom radu.

Tipovi analiza koji su predviđeni modelom su:

- a. Analiza objekta sa ispitivanjem svih ili većeg broja .ifc klasa
- b. Analiza pojedinih .ifc klasa
- c. Analiza spoljašnjih gabarita objekta

Pomenute analize ilustruju mogućnosti implementacije postojećih istraživanja u predloženi model, a detaljnija razrada data je za 3 od ovih 6 slučajeva analiza.

### 3.2 Tehnički uslovi za primenu modela

Da bi predloženi model mogao biti konkretno primenjen potrebni su odgovarajući tehnički uslovi. Model podrazumeva primenu postojećih softverskih rešenja, a pre svega BIM softvera koji je u mogućnosti da kreira standardizovani .ifc fajl u odnosu na geometrijske i informacione karakteristike 3D modela. U kasnijoj analizi odabran je softver *Graphisoft ArchiCAD* za ovaj deo istraživanja, kao jedan od vodećih softverskih paketa na tržištu koji se konstantno unapređuje.

Takođe, potrebni su i alati za analizu i manipulaciju sa informacijama iz .ifc fajla, kao i za njihovu dalju obradu. U primeni ovog dela rada mogu se koristiti programski jezici u kojima se često izrađuju 3D geometrijske analize poput *C#* ili *Java* jezika, ali su se za potrebe istraživanja koristili alati koji već imaju skripte za rad sa arhitektonskim analizama i mogućnosti za 3D prikaz i obradu informacija poput *Grasshopper* dodatka za *McNeel Rhinoceros 3D* softver. Za čitanje .ifc fajlova potreban je odgovarajući alat i u slučaju ovog istraživanja korišćen je dodatak *VisualARQ*. Ispitivanje geometrije po klasama i na osnovu osnovne geometrije na taj način je u potpunosti ostvareno.

Niz specifičnih alata potreban je da bi se sprovele predložene analize. Za većinu analiza potrebno je pripremiti model u vidu pisanja algoritma za filtriranje klasa u .ifc fajlu ili dobijanja informacija koje postoje za različite elemente projekta. Nakon ispitivanja u eksternom alatu, potrebno je rezultate obraditi u pogledu daljih ispitivanja i pripremiti ih za prezentaciju koja je predviđena predloženim modelom. U istraživanju korišćeni alati su *Radiance* i *Energy Plus*, a primenjeni su uz pomoć dodatka *ArchiSim* i *DIVA*. Određeni delovi proračuna urađeni su uz pomoć *Microsoft Excel* programa radi podrške obradama tabeliranih rezultata.

Važan aspekt tehničkih karakteristika aplikacija i alata koji mogu biti upotrebljeni za konkretizaciju modela jeste karakteristika da se rezultati mogu izvesti u drugi program u kojem je moguće sa njima manipulirati. Primeri ovakvog tipa programa je korišćenje *Autodesk 3ds Max* programa ukoliko je potrebno, koji ima mogućnost direktnog izvoza fajla u formate za čitanje 3D geometrije. Takođe, softver *Autodesk CFD Simulation* je kompatibilan iz razloga što se analizirani rezultati mogu izvesti u vidu tabele sa pozicijama tačaka u rezultatu. Primer nekompatibilnog programa je *Nemetschek Solibri Model Checker* korišćen u svrhu sličnih istraživanja (Eastman i drugi, 2009; Sanguinetti, 2011; Lee i drugi, 2012), a koji rezultate može izvoziti samo u vidu 2D perspektivnih slika.

U pogledu vizualizacije korišćen je softver *Unity 3D*, koji može predstaviti 3D prikaz u skladu sa potrebama interakcije i u skladu sa mogućnošću da se rezultat pregleda u simulaciji kretanja i virtualnoj realnosti. Uslovi za korišćenje ovog softvera su uvoz fajlova sa geometrijom i informacijom o boji preko formata *.fbx*, a pisanje skripti u njemu može se raditi uz oslonac na programske jezike *C#* ili *JavaScript*.

Za potrebe sprovođenja analiza potreban je računar sa visokim performativnim karakteristikama kako bi se rezultati dobili u što kraćem roku. Korišćeni softveri i alati imaju potrebu za visokim performansama za vizualizaciju i obradu 3D rezultata kako u pogledu procesorske snage (brzine i broja procesora), tako i u pogledu RAM memorije. Budući da je konačni cilj implementacije predloženog modela potpuna automatizacija procesa koji bi se sprovodio bez učešća korisnika, svaki napredak računarske tehnologije u budućnosti u pogledu prethodno pomenutih parametara doprinosiće povećanju brzine generisanja rezultata u slučaju većeg broja analiza.

Biblioteke i baze podataka koje su specifične za geografsku poziciju, pravna građevinska akta u kontekstu različitih država, namene prostorija i specifičnih odnosa između njih neki su od aspekata po kojima bi se moglo pristupiti njihovoj izradi. Ovakve baze bi se mogle formulisati nakon konkretnih razrada analiza, odnosno definisanja podmodela osnovnog predloženog modela.

### **3.3 Konceptualni model i njegovi atributi**

Razrada modela podrazumeva posvećivanje posebne pažnje specifičnim modelima. Zbog kompleksnosti arhitektonske profesije i velikog broja analiza koji mogu pomoći u donošenju odluka inženjerima arhitekture u idejnoj fazi projektovanja objekta odabrani su primeri za implementaciju 3 različita pod-modela u osnovni model. Cilj ovakvog pristupa je da se ilustruju mogućnosti daljeg razvoja i konkretizacije modela, kao i da se ispituju prednosti i mane ovakvog pristupa van teoretskog okvira istraživanja. U sledećem delu poglavlja 3 prezentovana su 3 pod-modela. Pojedinačna polja u okviru šeme modela na slici 11 su konkretizovana i razrađena.

### 3.3.1 Analiza objekta sa ispitivanjem svih ili većeg broja .ifc klasa

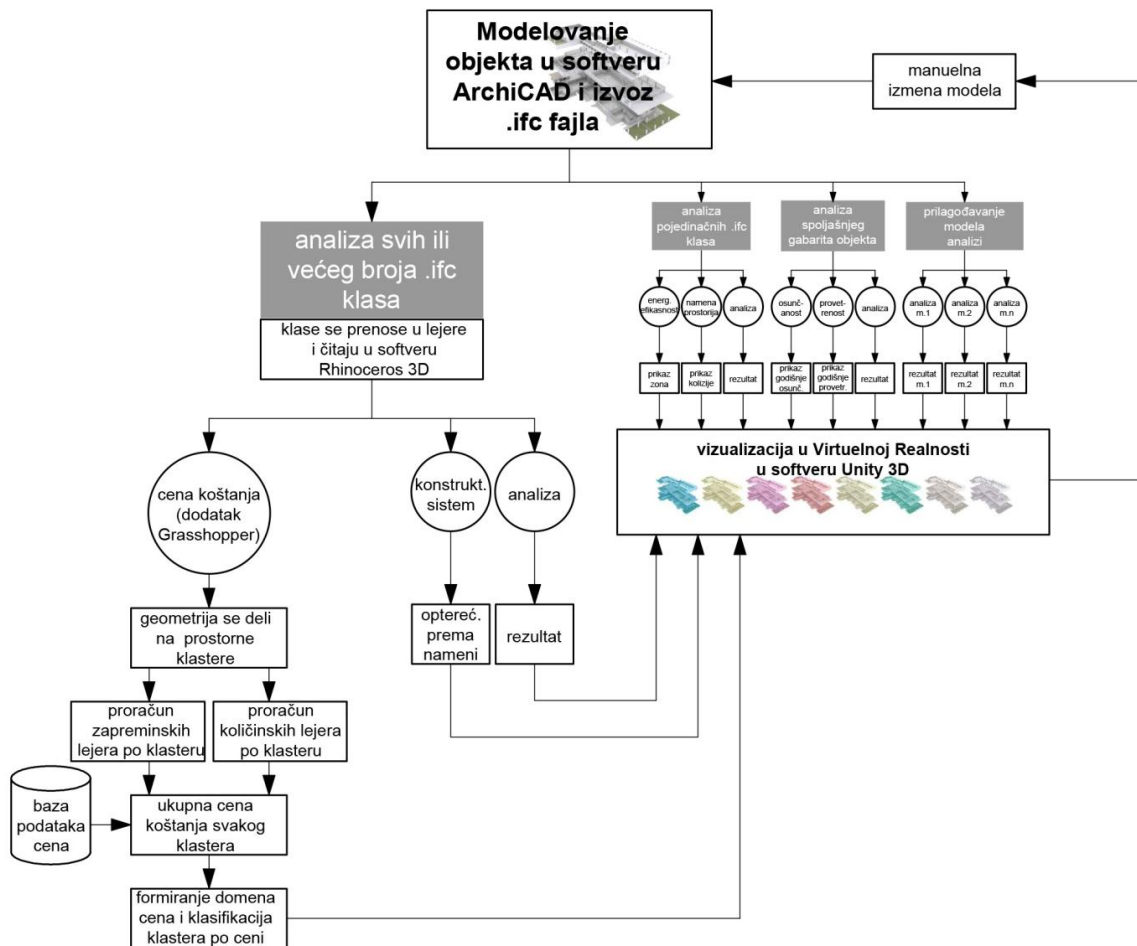
Analizom je predviđeno da se BIM projekat posmatra u celosti sa svim ili gotovo svim elementima neophodnim za analizu. U ovakvoj analizi važno je da se svi aspekti idejnog arhitektonskog projekta zadovolje, poput potpuno rešenog konstruktivnog sistema, odabira tipa prozora na objektu, ucrtanim svim gredama i slično. Formiranje i komunikacija sa bazom podataka uglavnom je neophodna, a veliki broj ulaznih parametara koje unosi korisnik u većem broju slučajeva nije potreban. Na geometriju .ifc fajla uglavnom nije potrebno izvršiti izmenu, a primeri za ovakav tip analize su: procena cene koštanja objekta, preliminarna analiza konstruktivnog sistema i analiza evakuacionog puta.

Analiza cene koštanja projekta - Pored toga što je procenu koštanja arhitektonskih objekata moguće automatizovati korišćenjem BIM tehnologije, prava implementacija još uvek nije opšte prihvaćena (Sattineni i Bradford, 2011). U ovom polju postoje istraživanja kroz metodologiju zadovoljenja cene koštanja (Ballard, 2004). Takođe, postoji veći broj softverskih paketa koji se bave ovim aspektom poput *CostX*, *ProContractor Estimating*, *B2W Estimate*, *Desteny Profiler*, *Vico Office Client* i drugih koji se nezavisno koriste u industriji i koji se frekventno razvijaju i unapređuju. Najveća mana ovih softverskih rešenja i njihovog korišćenja u modelu predstavlja činjenica da su ona uglavnom fokusirana na rad sa završnim projektom, gde se većina ili deo podataka poput cena unosi manuelno. Takođe, nije predviđena 3D vizualizacija koja može pružiti podatke za fazu projektovanje idejnog arhitektonskog rešenja. Razrada ovog segmenta predstavljena je u narednom delu rada.

Analiza konstruktivnog sistema - Primena odgovarajućeg konstruktivnog sistema i pravilno dimenzionisanje elemenata veoma je kompleksna oblast nauke kojom se bavi nezavisna profesija. U ovom pogledu nije ambicija da se sistem modeluje kao gotov i bez potrebe za daljim proračunom, već iz ugla gledanja arhitekta, da se ukaže na veće greške u konstruktivnom rešenju koje je arhitekta dao. U ovom pogledu postoje i publikovana istraživanja (Zachmann, 1998; Hardin, 2009; Azhar, 2011). Tačno dimenzionisanje elemenata konstrukcije i planove za izvođenje iste izrađuje građevinski inženjer, ali dispozicija stubova, kao i izbor materijala konstruktivnog sistema posao je inženjera arhitekture. Slučajni izostanak elementa ili minimalne dimenzije stubova i greda u odnosu na raspon konstrukcije i namenu prostorija moguće je proceduralno ispitati i prikazati greške u idejnoj fazi arhitektonskog projekta.

Primer pod-modela: **Analiza cene koštanja**

Modelom je predviđna analiza procene koštanja projekta na osnovu modela pogodnog za komparativnu analizu različitih delova jednog arhitektonskog idejnog projekta. Na slici 12 prikazana je razrada ovog segmenta modela. Prema modelu geometrija se deli na prostorne klasterne, odnosno na prostorne celine koje zauzimaju istu zapreminu kvadratnog oblika, a koje dozvoljavaju da se objekat posmatra kao skup nezavisnih delova koji se razlikuju prema kriterijumu (u ovom slučaju cene koštanja). Delovi projekta koji pripadaju klasteru se proračunavaju za svaki element konstrukcije i u zavisnosti od elementa, on može biti proračunat kao zapreminski (npr. zid, ploča) ili kao količinski (npr. vrata, prozor). U zavisnosti od cene koštanja elemenata konstrukcije formira se cena klastera i upoređuju se delovi projekta.

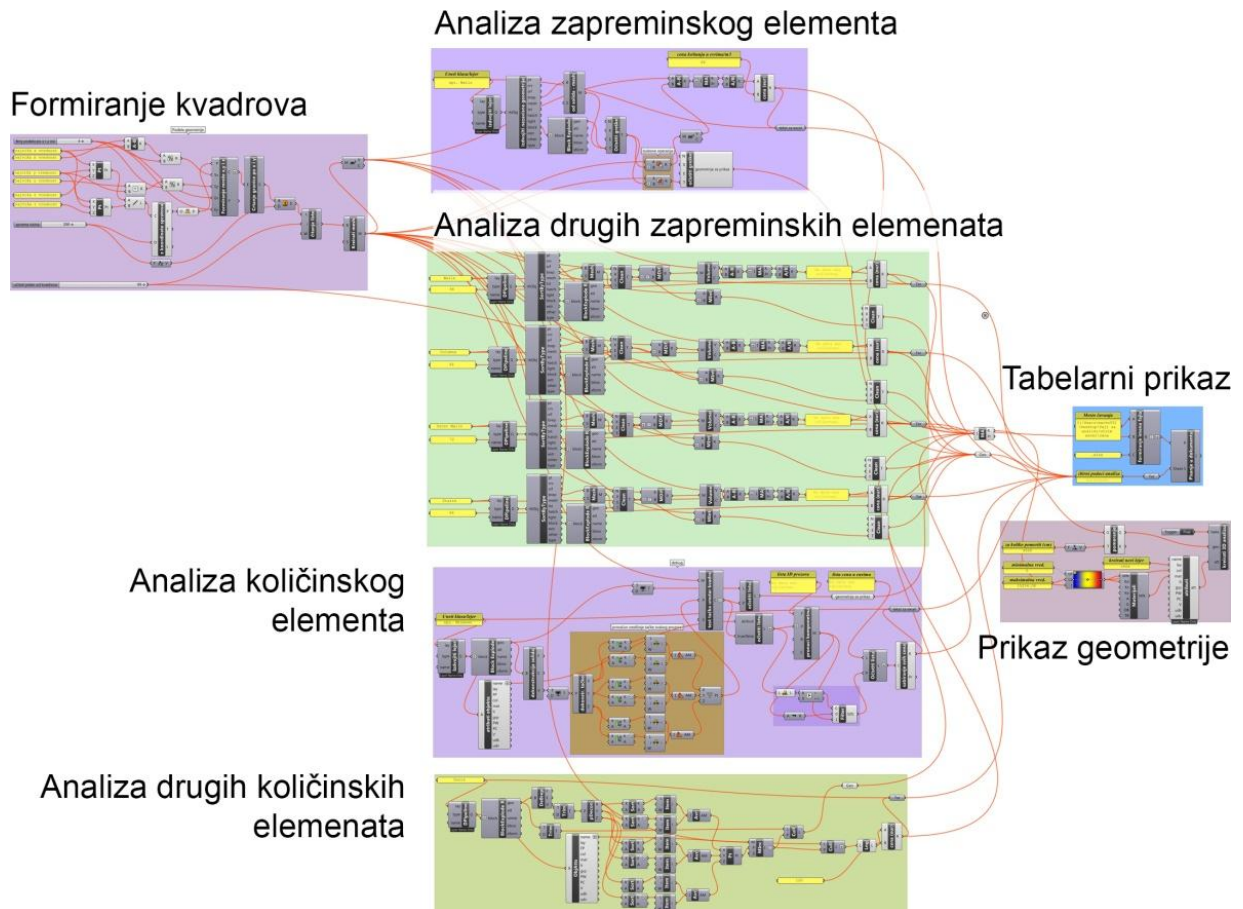


Slika 12. Model automatizovanog analiziranja idejnih arhitektonskih objekata, sa primenom BIM tehnologije i primene virtuelne realnosti sa rešenim pod-modelom analize cene koštanja objekta



Tradicionalan pristup procene cene koštanja objekta zahteva manuelan proces proračuna i u većini slučajeva tradicionalni programi nisu u mogućnosti da pruže informacije neophodne da bi se projekat u pogledu ekonomskih elemenata optimizovao. Uvid u dokumenta i tabele predmeta i predračuna objekta pruža informacije profesionalcima koji imaju iskustva sa njegovim tumačenjem, ali za potrebu donošenja odluka u izradi idejnog arhitektonskog projekta modelom se predviđa sistem koji je jasniji, ima veću mogućnost automatizacije i čitljivost. Prednost tradicionalnog pristupa rada sa programima koji vrše polu-automatizovane proračune iz .ifc fajla, poput softvera *CostX*, *Desteny Profiler* ili *Vico Office Client* jeste preciznost i tačnost proračuna, ali od korisnika podrazumeva sprovođenje nezavisne analize sa potpunim poznavanjem načina izrade proračuna i poznavanje samog programa.

Metod rada koji je izabran izrađen je preko nezavisnog algoritma uz pomoć softvera *Rhinceros 3D*, odnosno njegovog dodatka *Grasshopper* za vizuelno programiranje, uz podršku rada sa tabelama u programu *Microsoft Excel*. Prikaz algoritma za proračun dat je na slici 13.

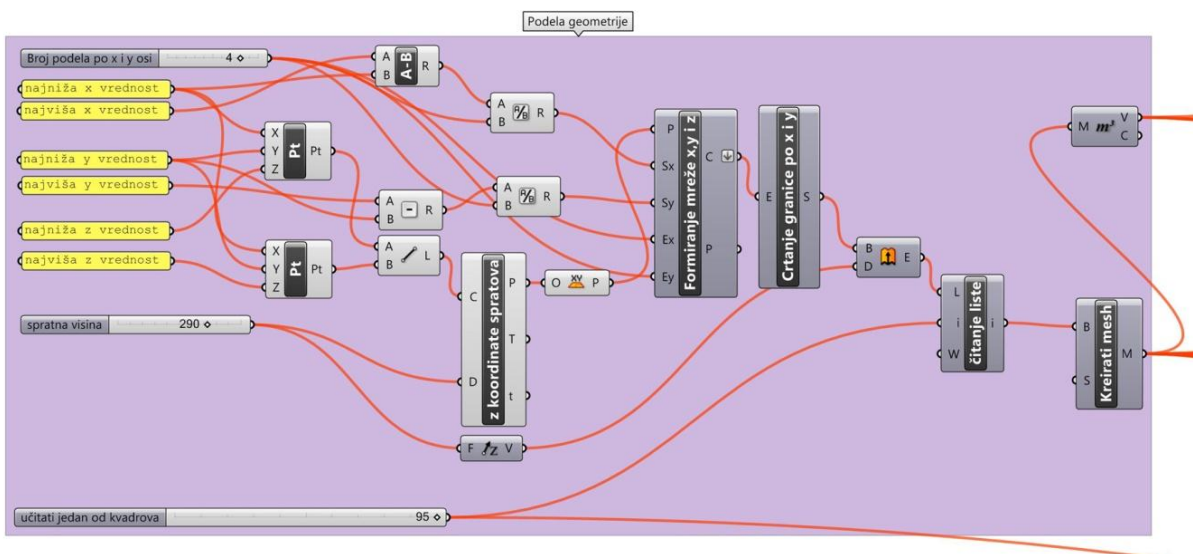


Slika 13. Prikaz algoritma izračunavanja cene koštanja idejnog projekta po klasterima

Prilikom uvođenja .ifc fajla u softver *Rhinceros 3D* potrebna je podrška u vidu dodatka *VisualARQ* koji klase .ifc fajla poput zidova, stubova, zona, prozora idr. prebacuje u lejere sa istim imenima. Prilikom rada sa dodatkom *Grasshopper* mogu se pročitati svi objekti iz odgovarajuće klase u skladu sa njihovim atributima u BIM programu.

Nakon importa izdvajaju se lejeri koji su predviđeni za različite tipove analiza. Lejeri koji pripadaju analizama koje se vrše ispitivanjem volumena objekta (zidovi, ploče, stubovi, grede...) i lejeri koji se analiziraju ispitivanjem broja objekata (prozori, vrata...). Različiti tipovi analiza biće sprovedeni za ove dve kategorije objekata.

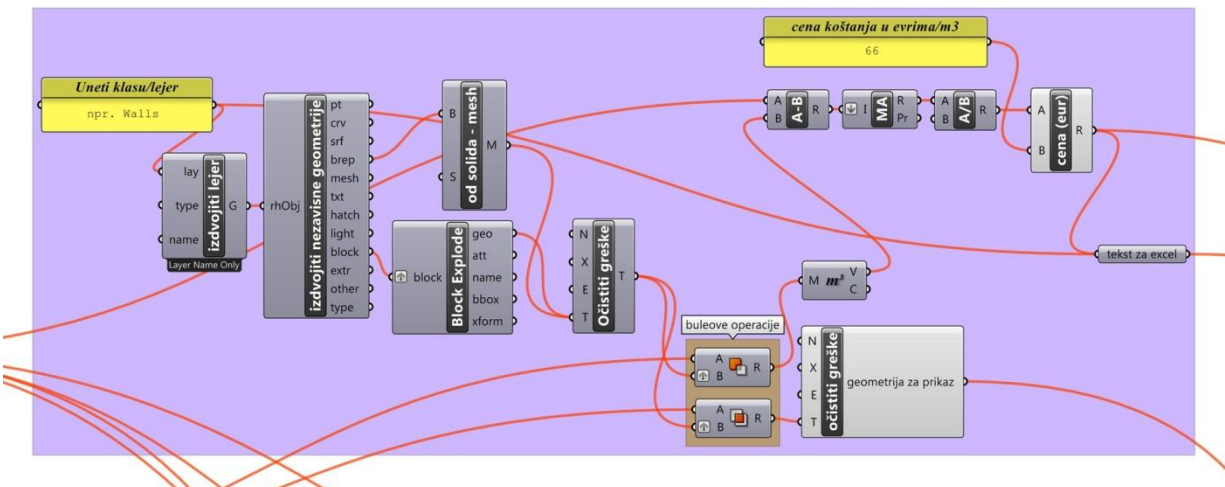
Celokupna geometrija objekta se deli prostornom ortogonalnom mrežom, odn. na kvadrove jednakih dimenzija koji se mogu definisati od strane korisnika. Ukupni volumen objekta postavlja se u kvadar, a potom se deli prema spratovima i na jednaki broj delova dužine i širine. Za svaki od kvadrova predviđena je zasebna analiza čiji se rezultati prenose u odgovarajuću tabelu radi dalje obrade. Na slici 14 prikazan je *Grasshopper* algoritam za formiranje klastera. Konkretna primer u kome se vidi egzekucija algoritma na realnom projektu data je u 5. poglavlju na slici 45.



Slika 14. Prikaz dela algoritma izračunavanja cene koštanja idejnog projekta po klasterima - **formiranje kvadrova**

Svi ulazni parametri mogu se formirati unutar konteksta koji je moguće generisati iz .ifc fajla. Pod parametrom *Učitati jedan od kvadrova* potrebno je postaviti da je broj kvadrova ukupan broj podela objekta po prethodno opisanom sistemu. Ovaj parametar je povezan sa svim analizama i njegovom promenom moguće je učitati ukupnu cenu koštanja po predloženom modelu za svaki kvadar nezavisno. Parametri *Kreirati mesh* i  $m^3$  predstavljaju parametre koji se koriste u analizi. *Kreirati mesh* predstavlja površinsku komponentu *mesh* jediničnog kvadra, a  $m^3$  njegovu zapreminu u  $cm^3$ .

Sledeći korak predstavlja analiza zapreminskog elementa gde je deo algoritma koji računa jedan od njih dat na slici 15. Osim izdvajanja jednog lejera za ovaj tip proračuna potrebno je i izdvojiti cenu koštanja ovakvog elementa po  $m^3$ . U radu je prikazan princip odabira cene koštanja u prikazu primera rada modela u poglavlju 5. U cilju precizne analize potrebno je formirati baze podataka koje cenu formiraju u odnosu na korišćene materijale i geografsku poziciju (što su informacije koje se mogu dobiti iz .ifc fajla). Izrada i dopuna baze podataka za ovu svrhu može biti predmet daljih istraživanja, a za pojedine delove proračuna projekta postoji više istraživanja (Charette i Marshall, 1999; Sanguineti, 2012; Kulasekara i drugi, 2013).

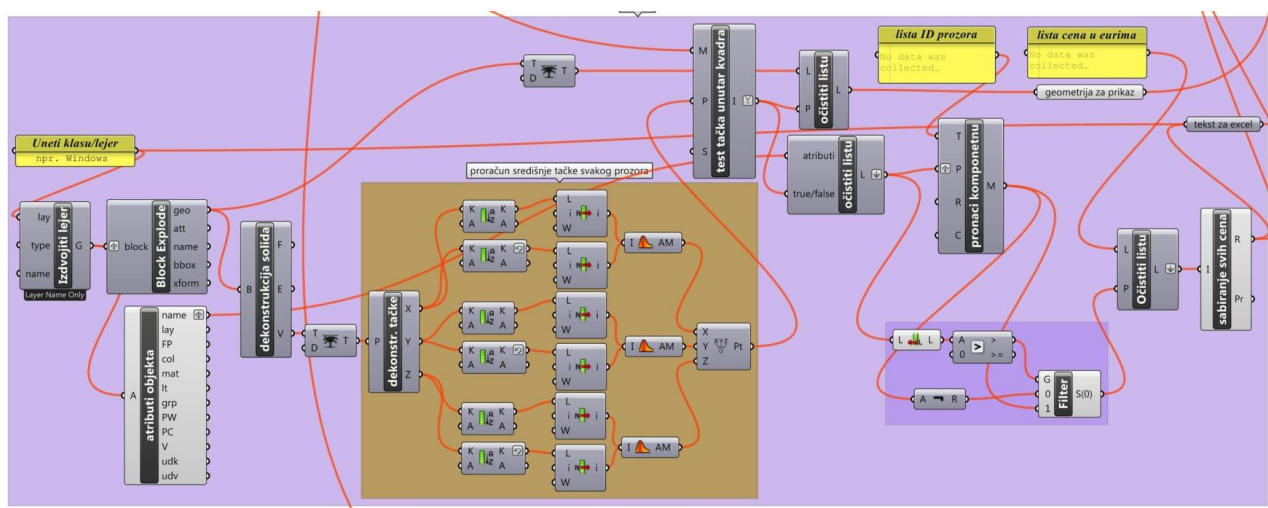


Slika 15. Prikaz dela algoritma izračunavanja cene koštanja idejnog projekta po klasterima - **analiza zapreminskog elementa**

Metod koji se koristiti radi sa *mesh* geometrijom i cilj metode je da se svi elementi klase koja je određena za analizu ispitaju u formi da li se presecaju sa jediničnim kvadrom koji se analizira. Za elemente za koje se utvrdi ovaj uslov kao tačan, računa se zapremina elementa koji se dobija buleovom operacijom - zajednički presečeni deo. Ovaj deo takođe se izvodi kao

nezavisna geometrija i postavlja u grupaciju koja se kasnije vizuelno obrađuje. Ukoliko uslov nije tačan, element ne pripada kvadru i ne izvršava se buleova operacija. Ukoliko element pripada više od jednog kvadra, onda se za svaki kvadar vrši nezavistan proračun za zapreminski deo koji se u njemu nalazi.

Paralelno sa analizama zapreminskog tipa klasa vrši se i analiza klasa koje imaju jediničnu cenu. Ovakva analiza za jednu klasu prikazana je na slici 16. Ulazni parametri u ovom sistemu dopunjavaju se bazom podataka za cenu koštanja svake jedinice. Za tip koji se često ponavlja poput unutrašnjih vrata moguće je zadati jediničnu cenu. Za tip prozora, kojih može biti više vrsta u projektu, može se sprovesti algoritam računanja u odnosu na materijal, staklenu površinu i broj podela. Upotrebu ovakvog sistema olakšava činjenica da svaki element ima jedinstveni .ifc ID, odnosno identifikaciju koja se lako može povezati sa cenom u bilo kom softveru.

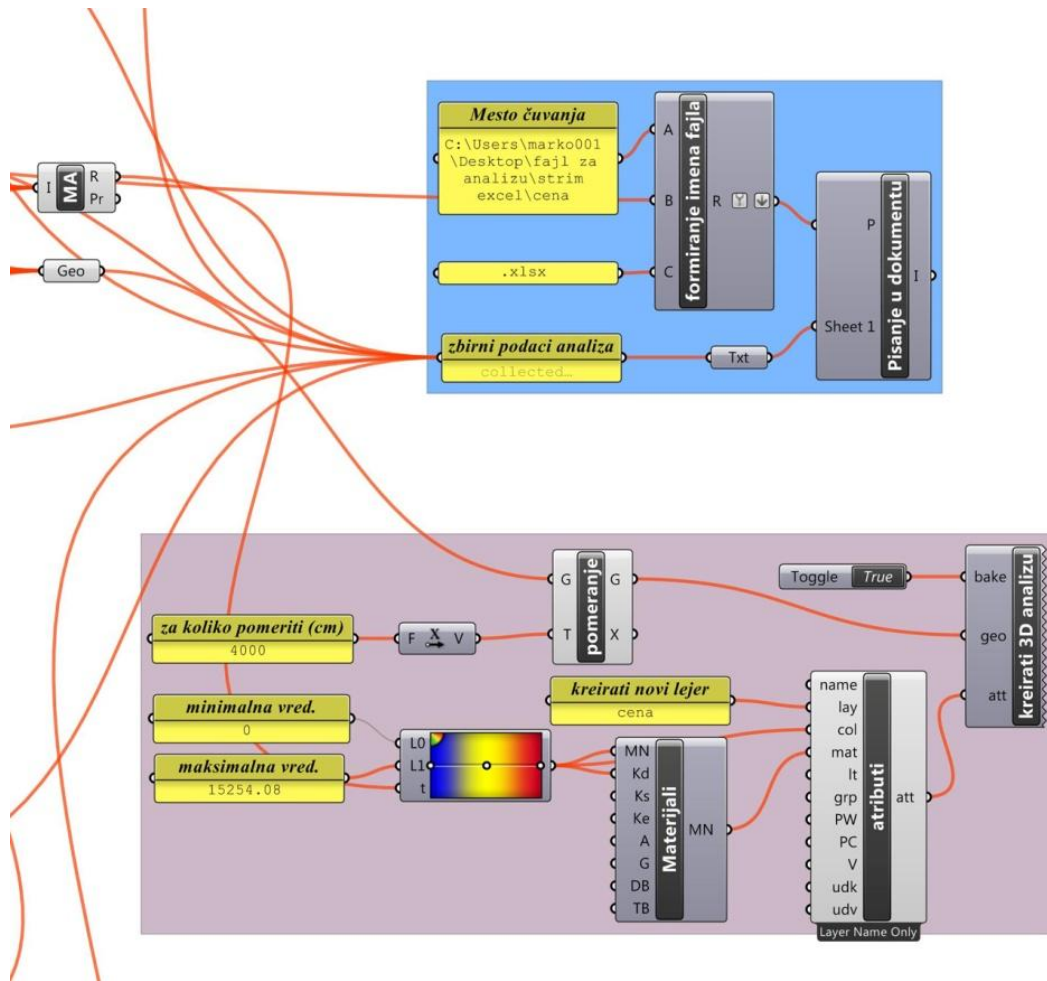


Slika 16. Prikaz dela algoritma izračunavanja cene koštanja idejnog projekta po klasterima - **analiza količinskog elementa**

Proračun se vrši pomoću geometrijske centralne tačke gde se jedinični element nalazi. Razlog za to je zato što se element može naći u dva klastera i delom pripadati svakoj strani. Kako bi se pojednostavio proračun uzeto je da ukoliko centralna geometrijska tačka pripada klasteru, onda ceo element pripada klasteru i za njega se računa cena koštanja. Ukoliko se element nađe na tački između dva klastera, element pripada klasteru koji se prvi procesirao u proračunu cene koštanja. Osim pripadnosti prostora, u proračunu se može videti učitavanje biblioteke i cene koštanja u dve liste (žute boje). Ovi podaci se kombinuju kako bi se dobila

prava cena koštanja ovih komponenti, a geometrija koja pripada trenutno analiziranom kvadru se priprema za dalju obradu rezultata. Prikazivanje prozora i vrata u konačnoj vizualizaciji može se i izostaviti radi lakšeg kretanja kroz objekat.

Analize za zapreminu i jedinične elemente se sprovode za svaku od klasa koja se analizira, a zbirni rezultati se izvode u vidu tabela i 3D prikaza po klasterima. Slika 17 prikazuje proces čuvanja ovih podataka. Konkretna primjer izvršenja algoritma moguće je videti u 5. poglavlju na slici 49. U pogledu tabelarnog prikaza, moguće je pogledati i uporediti cenu koštanja elemenata po svakom klasteru. U 3D prikazu sa bojama raspona od plave, zatim žute, do crvene prikazane su uporedne vrednosti klastera kako bi se mogli sagledati rezultati analize. Na taj način se jednostavno i jasno mogu locirati delovi projekta koji predstavljaju najveći ekonomski izdatak kako bi se moglo doneti racionalnije rešenje ukoliko je to neophodno. €



Slika 17. Prikaz dela algoritma izračunavanja cene koštanja idejnog projekta po klasterima - formiranje

### **tabele i 3D geometrije sa informacijama analize**

Metod prenosa sadržaja analize u tabelarni sistem u *Microsoft Excel*-u prikazan na slici 17, gde je dat podatak mesta čuvanja i ime fajla koji se generiše na osnovu broja kvadra koji se trenutno analizira i teksta koji sadrži sve podatke svih analiza. Na istoj slici dole prikazan je način formiranja 3D prikaza analize u vidu kreiranja materijala, pomeranja geometrije na poznatu udaljenost kako bi se rezultati mogli izdvojiti od originalnog fajla (za ovu distancu je kasnije geometrija i vraćena) i kreiranje novog lejera kako bi se rezultat lakše izvezao u drugi program. Čuvanje fajla je u .fbx formatu kako bi se mogao učitati u aplikaciji za zajedničku vizualizaciju svih analiza.

#### **3.3.2 Analiza pojedinih .ifc klasa**

Za pojedine simulacije i analize dovoljno je ispitati samo određene klase objekata. Svi ostali elementi mogu se zanemariti ili pružiti kontekst za ispitivanje jedne klase objekata. U ovom segmentu takođe je neophodno imati mogućnost unošenja biblioteke ili pristupiti bazi podataka kako bi se svi podaci mogli obraditi. U pogledu koršćenja .ifc fajla potrebno je postaviti filter za ispitivanje. Filter predstavlja definisan skup osobina objekta koje se posmatraju kada se vrši analiza. Primeri za ovakav tip je analiza energetske efikasnosti, analiza namene prostorija i ispitivanje specifičnih građevinskih propisa i pravila (blizina i orijentacija prozora susednim objektima, odnos površine poda i površine prozora i slično).

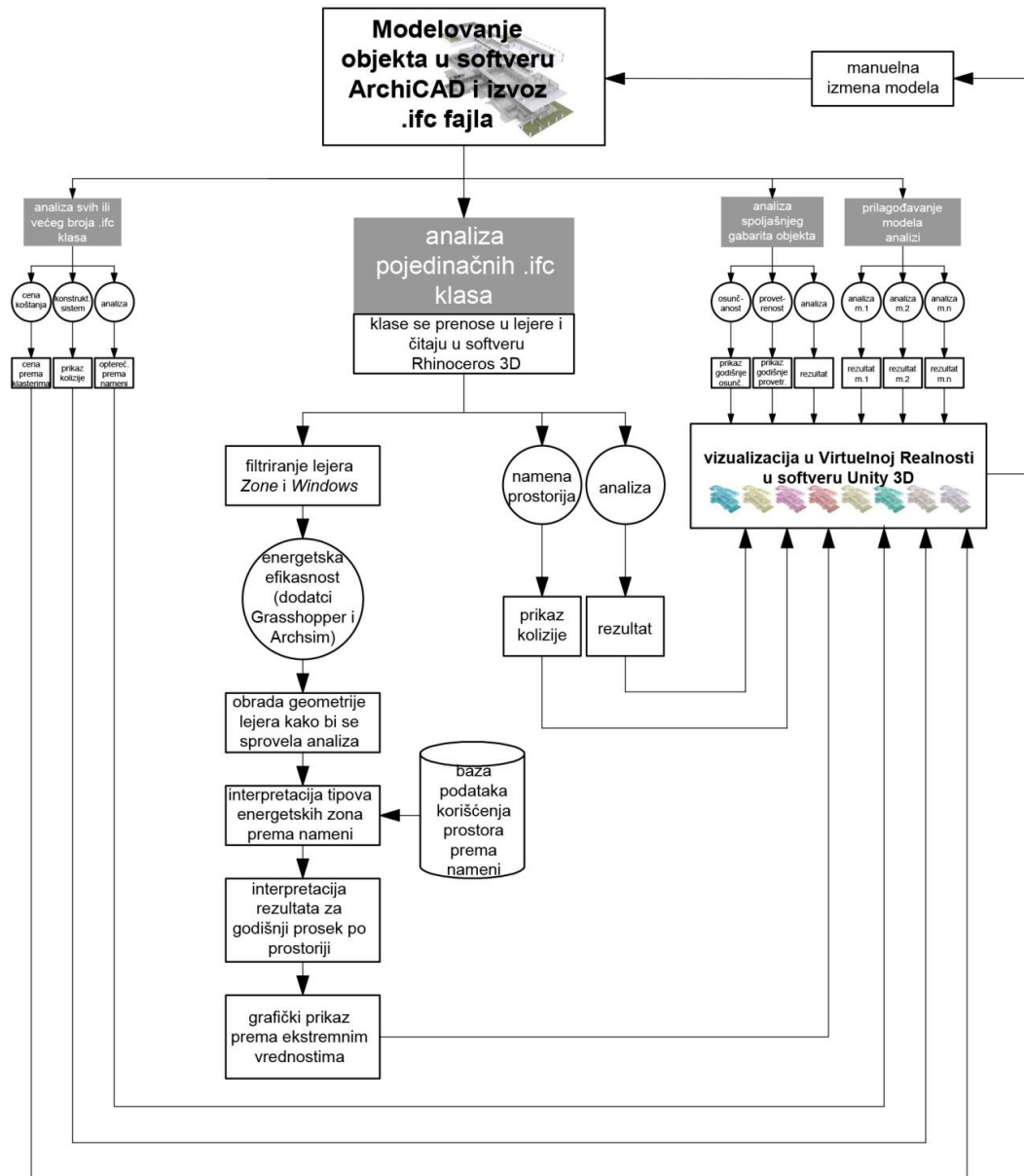
*Energetska efikasnost* - Ona je jedan od važnih aspekata modernog projektovanja, pre svega zbog tendencije da se na nivou država donose odluke da se svi novi objekti grade kao energetski efikasni (EPBD, Directive 2010/31/EU). Postoji veći broj softvera koji se bavi primenom energetske efikasnosti uz pomoć BIM tehnologije, a neki od njih su: *RetScreen 4*, *HOMER 2*, *PVsyst*, *T-Sol Pro*, *Geo-TSol basic*. Važan alat predstavljala EnergyPlus otvoreni softver koji je razvijen uz podršku Ministarstva za energetiku SAD-a i koji se unapređuje kao jedan od najpreciznijih alata za tu svrhu na tržištu. Primena automatizma u proceni energetske efikasnosti takođe je bila tema istraživanja (Bazjanac, 2008; Welle i drugi, 2011; Christodoulou i drugi, 2014). Pristup ovoj temi u istraživanju je iz pozicije da se na osnovu postavki zona (klasa

u BIM softverima) mogu formirati šeme korišćenja prostora i na taj način proceduralno ispitati karakteristike analiziranog BIM projekta.

*Analiza namene prostorija* - Ispitivanje pravilne namene i zadatih uslova prostorija tema je koja je važna za donošenje odluka u arhitektonskom projektovanju. U arhitektonskom istraživanju, primenom BIM tehnologije postoje istraživanja koja razvijaju ovu oblast primenom alata za "dizajn vođen pravilima" (*eng. rule-based designs*). Najpoznatiji istraživač ove oblasti je Čarls Istman, koji je takođe jedan od pionira realizacije BIM tehnologije (Eastman i drugi, 2009; Solihin, Eastman, 2015). Postoje i druga istraživanja koja razvijaju ovu temu (Lee i drugi, 2012; Malsane et al, 2015). U pogledu analiza primer ovakvog tipa je ispitivanje da li sve prostorije imaju odgovarajuću površinu prema nameni, da li je šema korišćenja korektna i slično.

#### Primer analize: **Godišnji proračun energetske efikasnosti objekta**

Modelom je predviđna analiza godišnje energetske efikasnosti objekta na osnovu modela pogodnog za komparativnu analizu različitih delova jednog arhitektonskog idejnog projekta. Na slici 18 prikazana je razrada ovog segmenta modela.



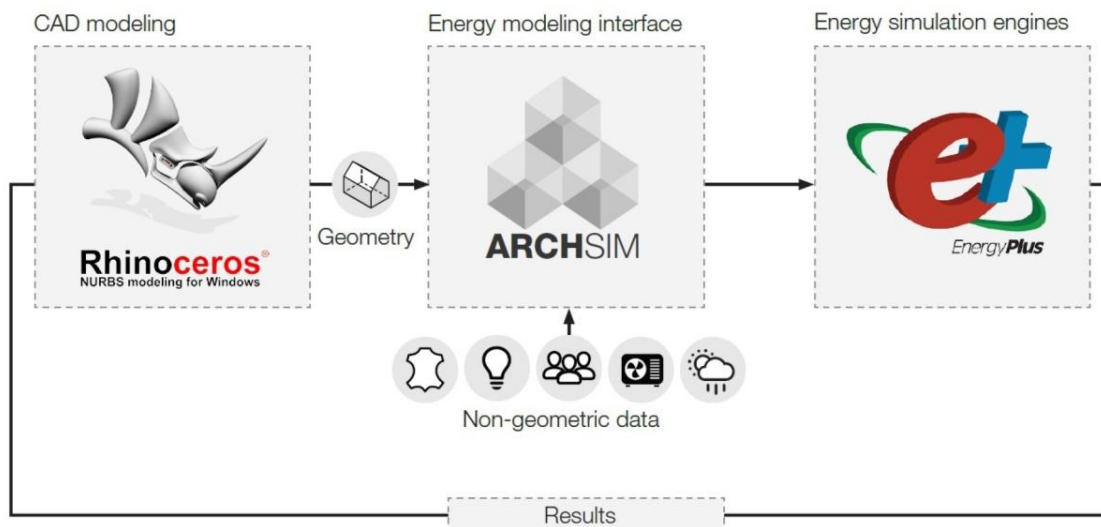
Slika 18. Model automatizovanog analiziranja idejnih arhitektonskih objekata, sa primenom BIM tehnologije i primene virtualne realnosti sa rešenim pod-modelom analize energetske efikasnosti objekta

Proračun energetske efikasnosti objekata u automatizovanom ili polu-automatizovanom vidu predmet je brojnih istraživanja sa različitim pristupima ovoj temi (Cristodoulou i drugi, 2014; Dogan, 2015; Buonomano, 2016). Više istraživanja je posvećeno različitim aspektima i poboljšanjima modela razmene toplote u zgradama (Underwood i Yik, 2008; Hensen i Lamberts, 2011). Dinamičke modele analiza nude mogućnost korišćenja modela kratkotrajnih efekata termalne mase (Clarke, 2000). Ovakav metod koristi alat *Energy Plus* koji je razvijen



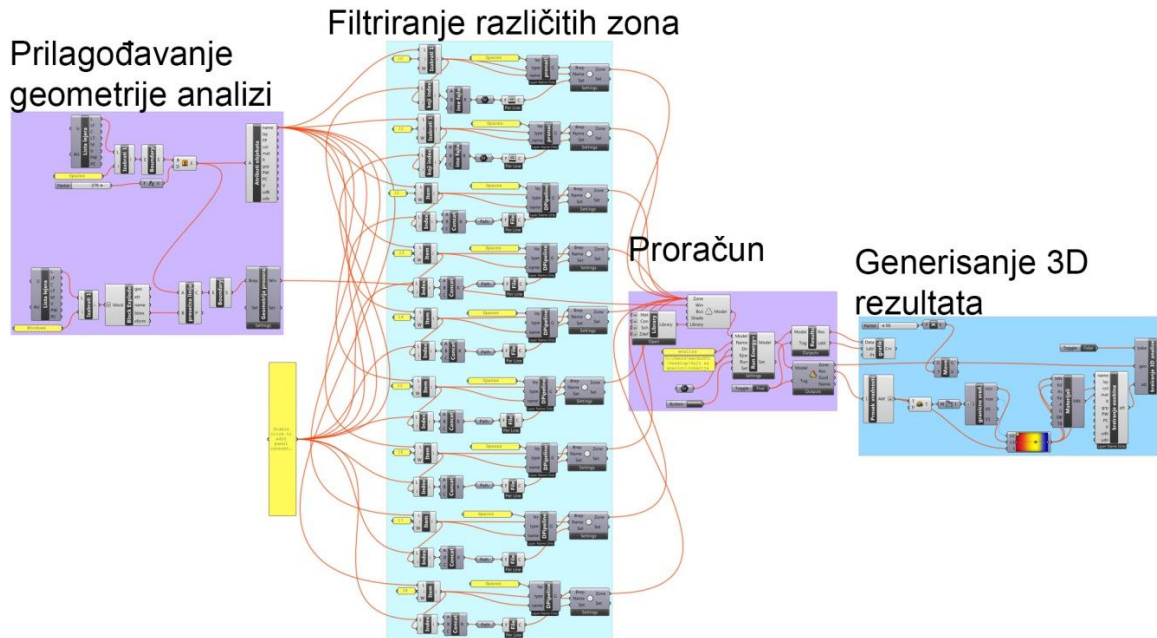
početkom 21. veka (Crawley i drugi, 2000; Crawley i drugi, 2001), čiji su rezultati praktično valorizovani (ANSI/ASHRAE, 2011).

Različiti softveri koriste ovaj alat u svrhu ispitivanja energetske efiakasnosti projekata zgrada, a ovom tezom je izabran dodatak *Rhinoceros 3D* softveru pod nazivom *Archsim* (Dogan, 2016) kako bi se izvršila analiza sa velikim stepenom automatizacije. Šema interoperabilnosti ovog programa data je na slici 19. Na šemi se vidi da je ovaj program orjentisan inicijalno ka CAD modelima, kao i da se unose podaci koji nisu geometrijskog tipa.



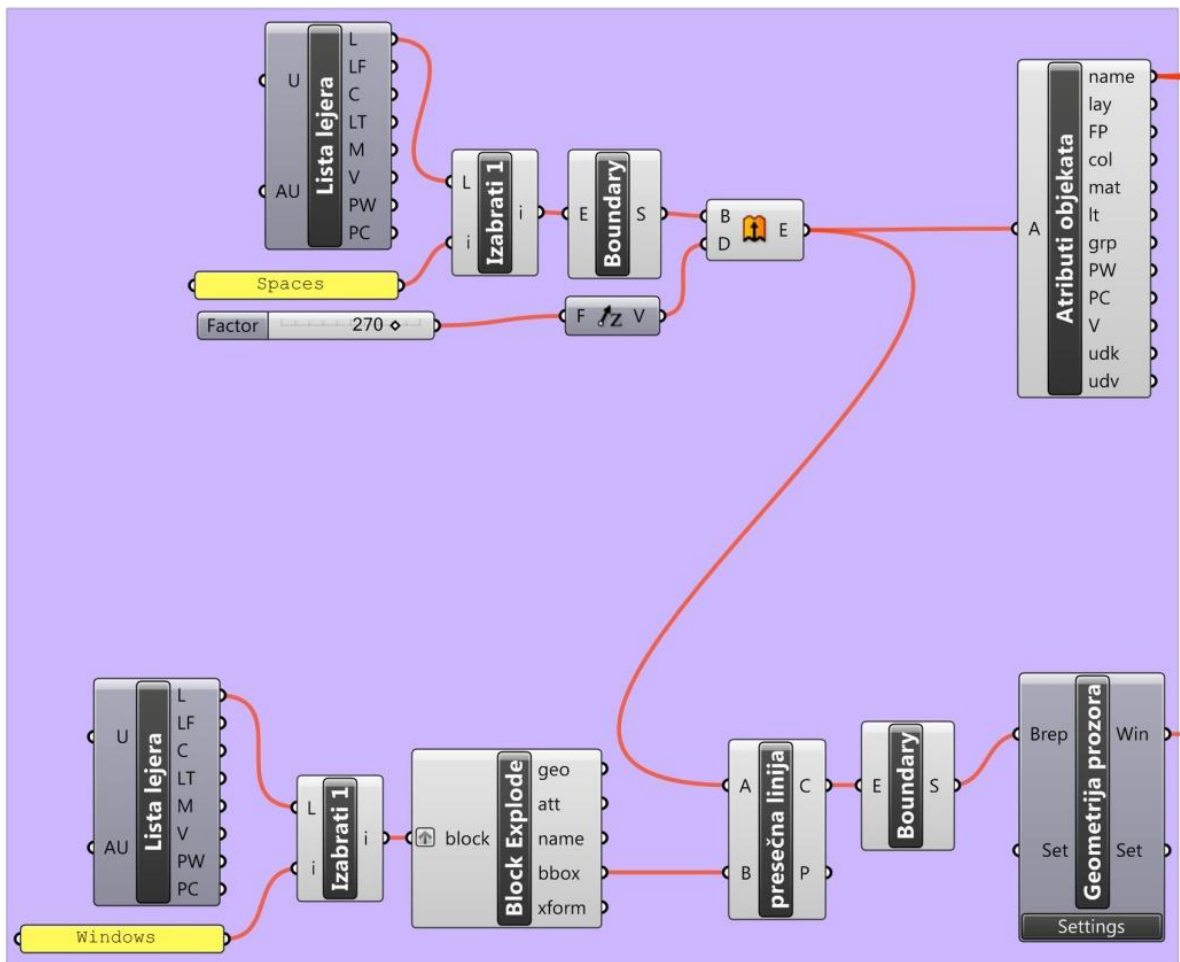
Slika 19. Prikaz interoperabilnosti dodatka za Rhinoceros 3D - Archsim (Dogan 2016)

Algoritam iz dodatka *Grasshopper* dat je na slici 20. Za analizu je potrebno izdvojiti dva lejera/klase iz BIM projekta: prozori (*Windows*) i namena prostorije (*Zone/Spaces*). Njihova geometrija mora se prilagoditi analizi. Nakon toga filtriraju se različiti tipovi zona u zavisnosti od namene prostorija. Proračun se vrši kada su svi neophodni elementi povezani. Rezultati se prenose u *Microsoft Excel* radi prikaza konačne tabele i grafika, a algoritam je predviđen da bi se rezultati generisali i u 3D prikazu u odnosu na prosečnu godišnju potrošnju za svaku prostoriju.



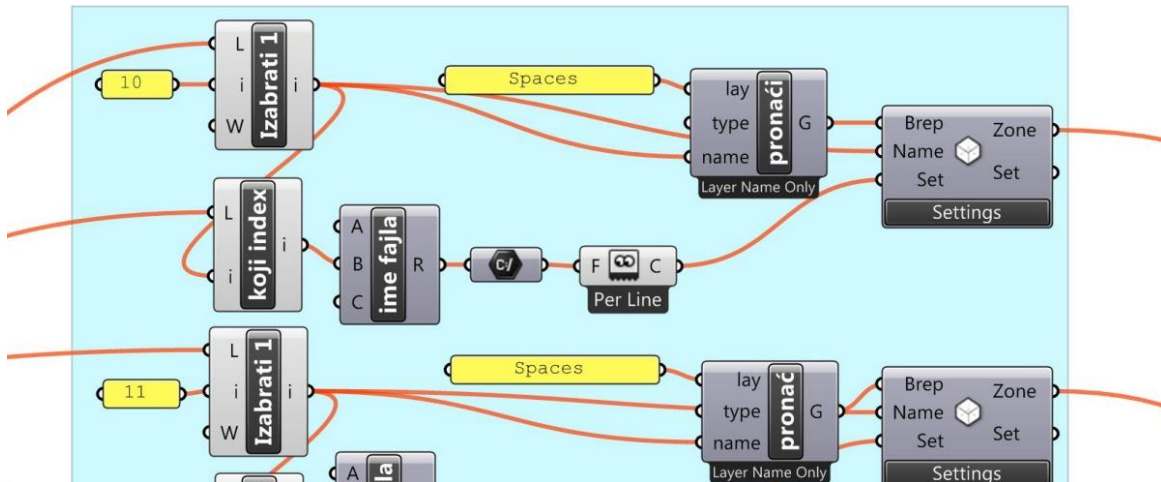
Slika 20. Prikaz algoritma izračunavanja godišnje energetske efikasnosti objekta

Potrebno je sprovesti akcije prikaza geometrije za analizu koje pojednostavljaju ukupnu geometriju (slika 21). Za potrebe analize neophodno je geometriju zona predstaviti preko zapreminskog elementa koji se dobija akcijom *izvlačenja* (eng. *extrude*). Prozori moraju biti nezavisna geometrija i predstavljeni kao površ u jednoj ravni koja pripada geometriji prostorije. Iz tog razloga oblik zone je izvučen, a za prozore su preuzeta mesta kontakta između gabarita prozora u obliku kvadra i prostorije.



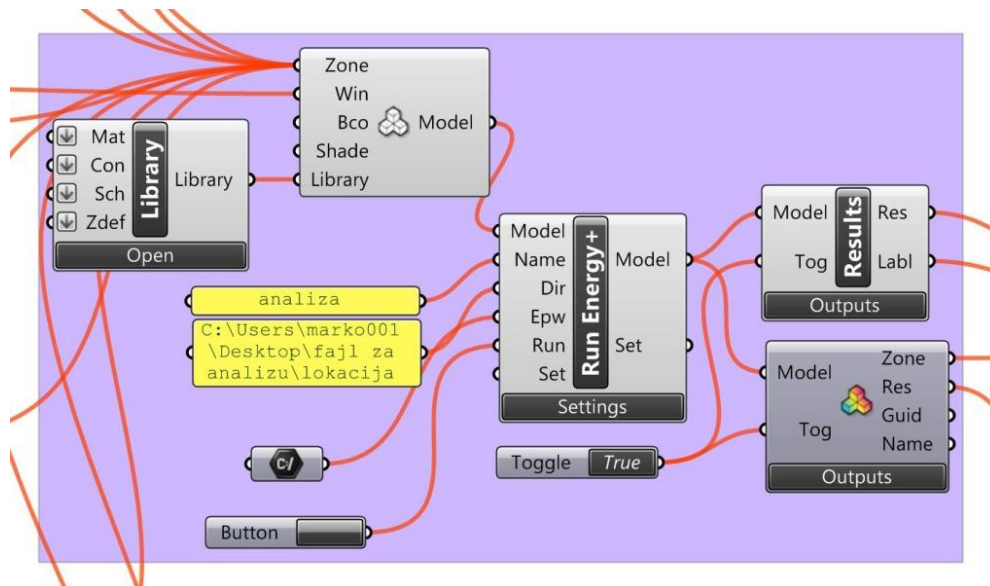
Slika 21. Prikaz dela algoritma izračunavanja godišnje energetske efiaksnosti objekta - **prilagođavanje geometrije analizi**

Prostorije se analiziraju nezavisno i filtriraju se u odnosu na njihovu namenu, a prozori se unose u proračun preko posebne komponente. Na slici 22 prikazan je primer proračuna dva tipa prostora. Imena prostorija se klasifikuju prema tačnom tipu (kuhinja, dnevna soba, toalet...) i u odnosu na njega učitava se fajl u kojem je definisano uobičajno ponašanje u korišćenju tog prostora, što je potrebno za analizu kako bi se dobili rezultati u kom periodu se najviše energije troši na grejanje i hlađenje. Lista podešavanja u obliku tekstualnih fajlova predstavlja bazu podataka i ona se može koristiti ukoliko se imena tačno klasifikuju prema nameni (izbegavati isto ime za sličnu namenu poput kancelarija i kancelarijski prostor; toalet i wc; ostava i gardarober i slično). Za svaku od zona postavljaju se različita podešavanja i broj analiza (na slici 22 prikazane su 2) zavisi od broja različitih tipova namene prostorija.



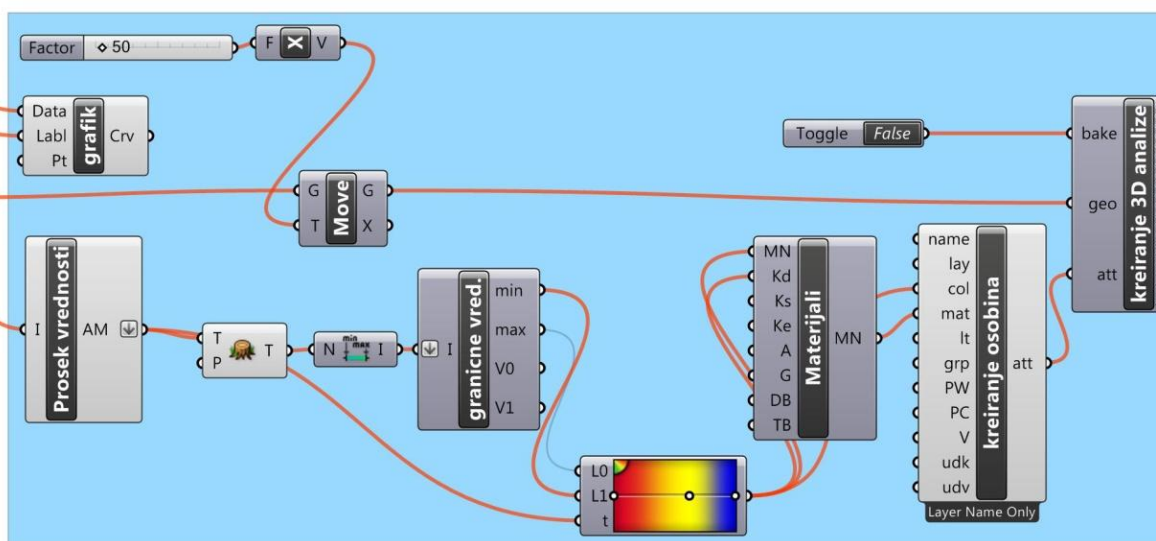
Slika 22. Prikaz dela algoritma izračunavanja godišnje energetske efikasnosti objekta - **filtriranje zona**

Kada se filtriraju sve namene prostorija, proračunava se energetska efikasnost gde se od brojnih analiza odabira energija potrebna za zagrevanje i energija potrebna za hlađenje prostora (slika 23). Potrebno je uneti i .epw fajl iz kataloga fajlova o klimatskim prilikama za specifičnu lokaciju kako bi se dobili validni podaci. Izvoz rezultata može biti u obliku tabele koja se odmah može pregledati u osnovnom programu, a numerički podaci se mogu eksportovati za tabelarni prikaz u eksterni program.



Slika 23. Prikaz dela algoritma izračunavanja godišnje energetske efikasnosti objekta - **proračun energetske efikasnosti**

Rezultati se prerađuju kako bi se adaptirali lakšem pregledu u pogledu komparativne analize energetske efikasnosti različitih prostorija u projektu. Za svaku prostoriju se, prema algoritmu prikazanom na slici 24, računa prosečna vrednost. Ove prosečne godišnje vrednosti se analiziraju i najmanja i najviša vrednost se uzimaju za krajnje vrednosti boja koje se kreću od crvene, žute, do plave. Ove boje prenose se respektivno prema pripadajućim zonama i tako se spremaju za eksport u program za vizualizaciju rezultata. Konkretna primer rada algoritma dat je u poglavlju 5 na slici 54.



Slika 24. Prikaz dela algoritma izračunavanja godišnje energetske efikasnosti objekta - **izvoz 3D rezultata**

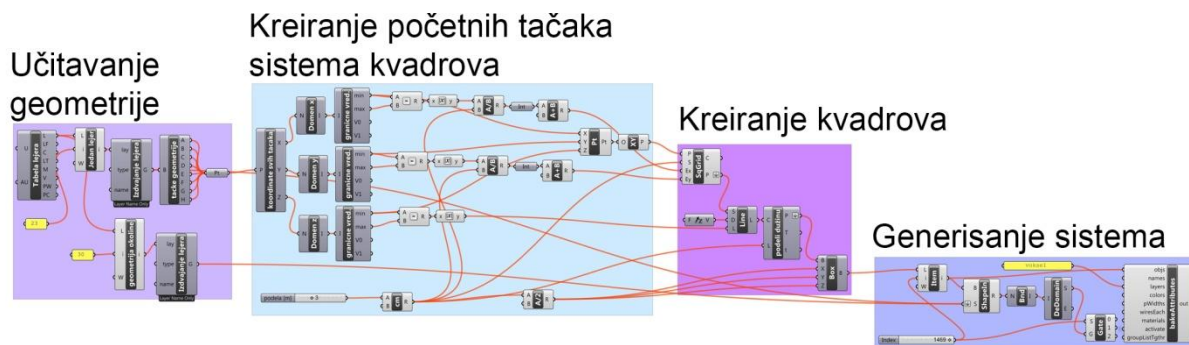
Rezultati se na taj način mogu tumačiti i preko tabela, gde je ponuđena mogućnost pregleda tačnih rezultata analiza i preko 3D pogleda koji pruža mogućnost arhitektima da lako sagledaju probleme u pogledu energetske efikasnosti projekata koji ispituju.

### 3.3.3 Analiza spoljašnjih gabarita objekta

Analize i simulacije nekada mogu biti zahtevne ili ih je nemoguće izvesti na celom BIM modelu sa svim klasama ili na samo nekom od klasa objekata. U tim slučajevima moguće je elemente .ifc fajla posmatrati kao zapreminske elemente koji zauzimaju jednu zapreminu, odnosno predstavljaju samo omotač oko objekta. Geometrija takvog omotača može biti veoma

kompleksna u zavisnosti od geometrijskih karakteristika analiziranog primera. Iz tog razloga modelom je predložen metod rada sa vokselim, odnosno rasterskim zapreminskim elementima<sup>15</sup>. Šema formiranja spoljašnjeg omotača u vidu voksel data je u daljem tekstu rada. Analize koje je moguće na ovaj način izvršiti infomaciju prikazuju isključivo u spoljašnjem gabaritu objekta.

Model predviđa oslonac na računarsku simulaciju analiza površina sa ciljem formiranja tabelarnog i grafičkog prikaza zadovoljenih uslova zadatih analizom na spoljašnjem omotaču objekata koji čine pojednostavljeni arhitektonski projekat kao i markiranja delova omotača koji ne zadovoljavaju minimalno propisane uslove. Iz tog razloga kreiran je algoritam prikazan na slici 25 kojim se geometrija objekta prikazuje preko zapreminskih elemenata jednakih veličina.

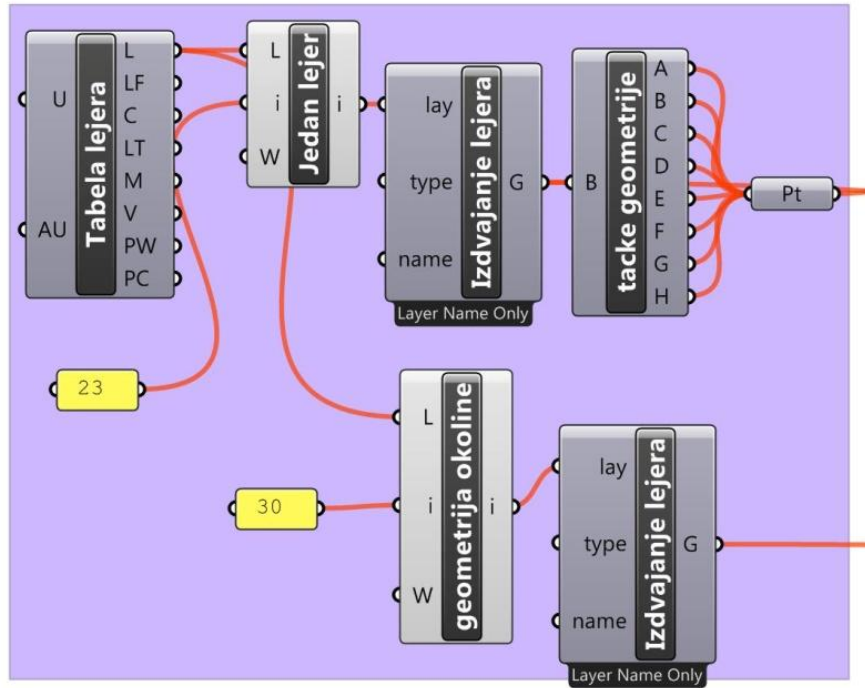


Slika 25. Prikaz algoritma za kreiranje geometrije u vidu voksel

Nakon učitavanja geometrije svih geometrijskih elemenata projekta definiše se veličina jednog voksel, čime se donosi odluka i o kvalitetima analiza i brzini njihovog sprovođenja. Određivanje početnih tačaka u odnosu na kontekst projekta i veličinu voksel naredni je korak, a nakon toga se kvadrovi kreiraju i generiše se sistem koji se može koristiti za analizu.

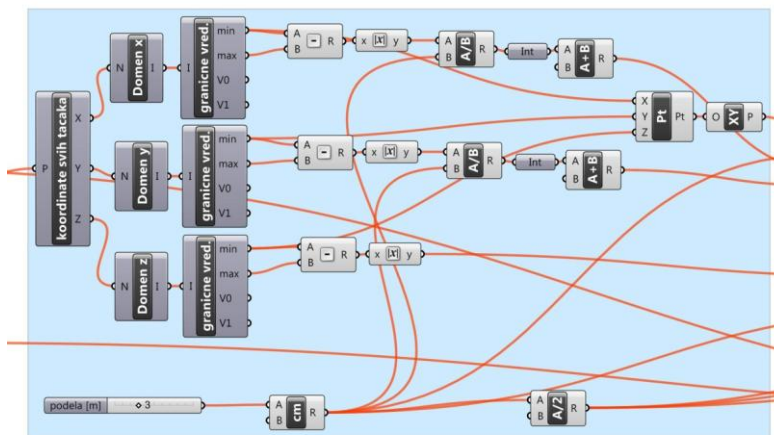
Na slici 26. prikazan je prvi deo algoritma gde se geometrija učitava. Potrebno je odabrati sve lejere koji učestvuju u građenju voksel i kao opciju odabrati lejere koji će izgraditi okolinu objekta koja neće učestvovati u analizama.

<sup>15</sup> termin voksel u pogledu zauzimanja zapremine i nošenja informacije analogan je terminu pikselu u pogledu nošenja informacije za površinski element.



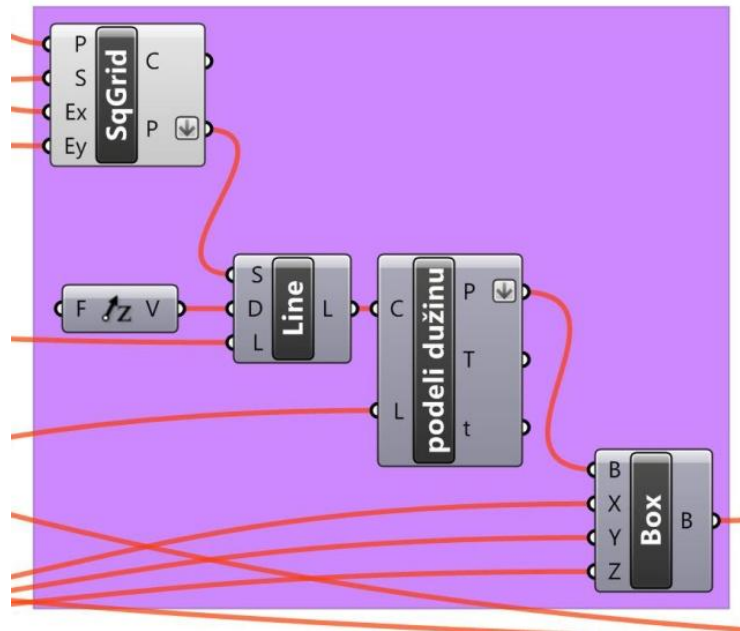
Slika 26. Prikaz dela algoritma za kreiranje vokselu - **učitavanje geometrije**

Okvir za sprovođenje analize i formiranje vokselu u kontekstu da se ispituje deo prostora gde se geometrija nalazi dat je na slici 27. Od svih učitanih tačaka posmatraju se ekstremne vrednosti po  $x$  i  $y$  koordinati.  $Z$ -koordinata zavisiće od spratne visine kako bi se objekti mogli sagledati u kontekstu. Za  $x$  i  $y$  dimenziju vokselu data je mogućnost izbora, a  $z$  komponenta se automatski generiše. U odnosu na ove parametre formira se pozicija svih vokselu.



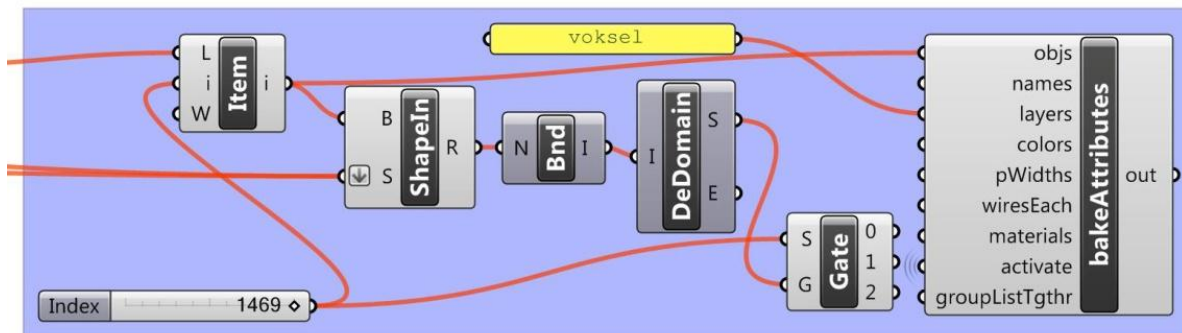
Slika 27. Prikaz dela algoritma za kreiranje vokselu - **kreiranje početnih tačaka sistema kvadrova**

Na slici 28 ove pozicije služe da bi se napravila šema vokseli i formirali svi vokseli, koji će se analizirati u sledećem koraku.



Slika 28. Prikaz dela algoritma za kreiranje vokseli - **kreiranje kvadrova**

Slika 29 prikazuje algoritam formiranja vokseli testiranjem da li je neki deo od učitane geometrije unutar vokseli ili ne. Ukoliko se utvrdi da nema geometrije .ifc klasa unutar nekog od vokseli, on se ne prikazuje, a ukoliko se utvrdi da ima, onda se on generiše u lejeru voksel.

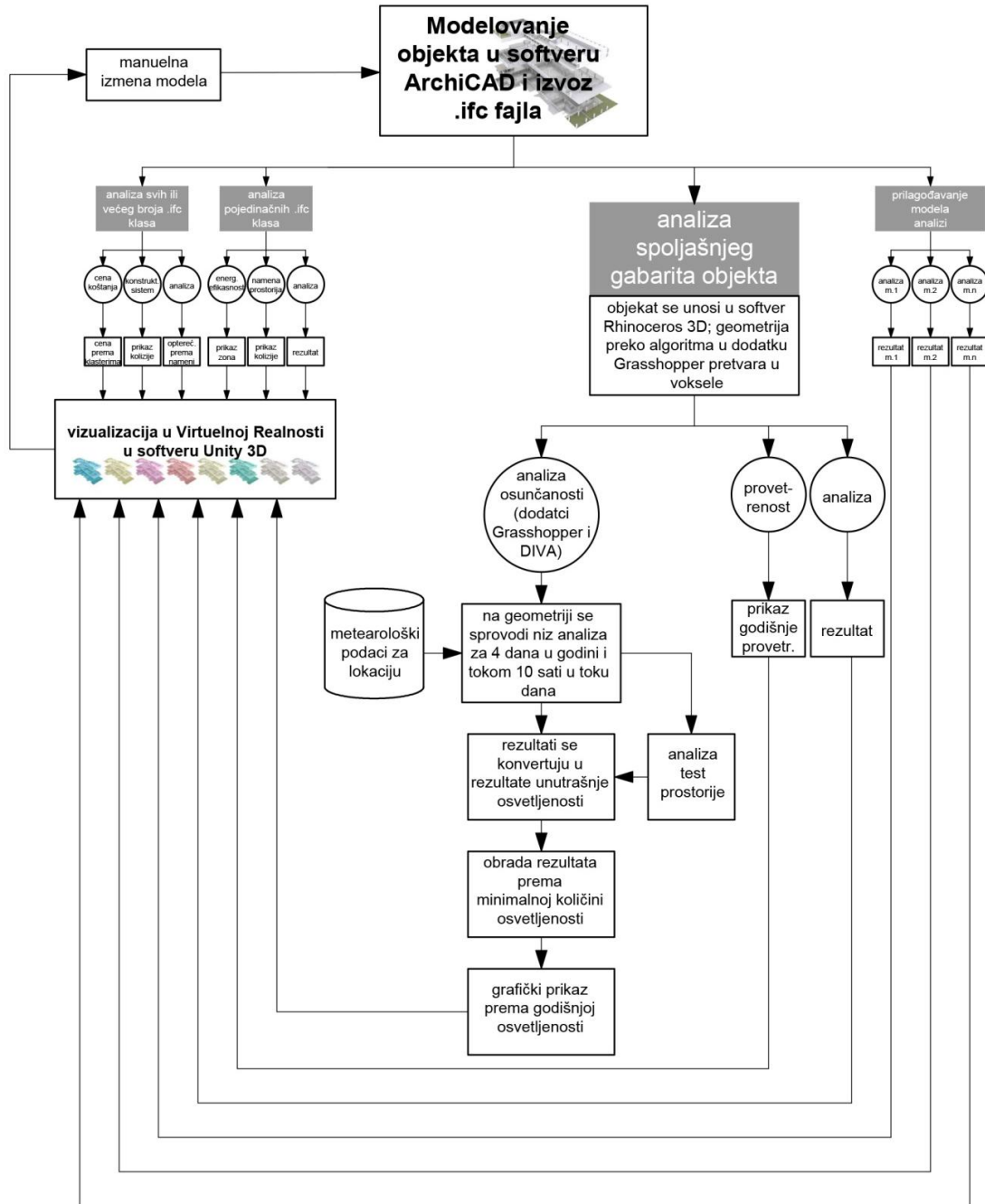


Slika 29. Prikaz dela algoritma za kreiranje vokseli - **generisanje sistema**



Nakon generisanja svih vokseli potrebno je geometriju u lejeru voksel sabrati u jedinstven objekta preko buleove operacije za uniju elemenata. Ovaj postupak kreira zapreminski pravilan element koji je pogodan za različita ispitivanja i analize od kojih su neke nabrojane u disertaciji. Na slici 55 iz poglavlja 5 može se videti primer kako se formira objekat od vokseli na primeru.

*Analiza dnevne osvetljenosti prostora* - Aspekt zdravog stanovanja veoma je značajan posebno prilikom projektovanja stambenih objekata, gde ljudi provode veliki deo vremena. Postoji veći broj istraživanja na ovu temu, a najvažniji aspekt primene je simulacija (Perišić, Lazić i drugi, 2016). Primena ispitivanja vrednosti prilagođena za stambenu literaturu je prilagođena metoda u naučnim istraživanjima (Perišić, Lazić i drugi, 2015a, Perišić, Lazić i drugi, 2015b; Perišić, Lazić i drugi, 2016; Perišić, 2016). Jedan od bitnijih aspekata simulacija dnevnog osvetljenja na građenoj sredini je tačnost alata koji se koristi. Alat *Radiance* predstavlja opšte prihvaćen alat u više od 50% analiza osvetljenosti građenog prostora (Reinhart i Marilyne, 2006). Potvrda preciznosti dobijenih rezultata je izvršena i potvrđena istraživanjem u polju (Reinhart i Walkenhorst, 2001). Na osnovu analize rezultata publikovanih istraživanja potvrđen je značajan uticaj dnevnog svetla na fizičko i mentalno zdravlje, psihološka stanja i radnu sposobnost ljudi. Nedostatak sunčeve svetlosti uzrokuje ozbiljan deficit vitamina D koji izaziva čitav niz bolesnih stanja u organizmu (Boubekri, 2008). Prema istraživanju (Joarder i Price, 2013) može se postaviti donja granica za osvetljenost enterijera prostora. Prema istom istraživanju pacijenti koji su u enterijeru imali manje od 190 lx osvetljenosti prostora dnevnim svetlom, ostajali su maksimalnu dužinu vremena postoperativnog boravaka u bolnici.



Slika 30. Model automatizovanog analiziranja idejnih arhitektonskih objekata, sa primenom BIM tehnologije i primene virtualne realnosti sa rešenim pod-modelom analize godišnje osunčanosti objekta

*Analiza prirodne provetrenosti prostora* - Kao aspekt zdravog stanovanja u velikoj je zavisnosti od geografske lokacije i ruže vetrova. Metod analize predložen je u istraživanju (Perišić, 2016) i predstavlja unapređen metod proračuna zasnovan na istraživanju (Kato i Hiyama, 2012). Glavni deo simulacije izvršava se u softveru *Autodesk CFD Simulation*, a

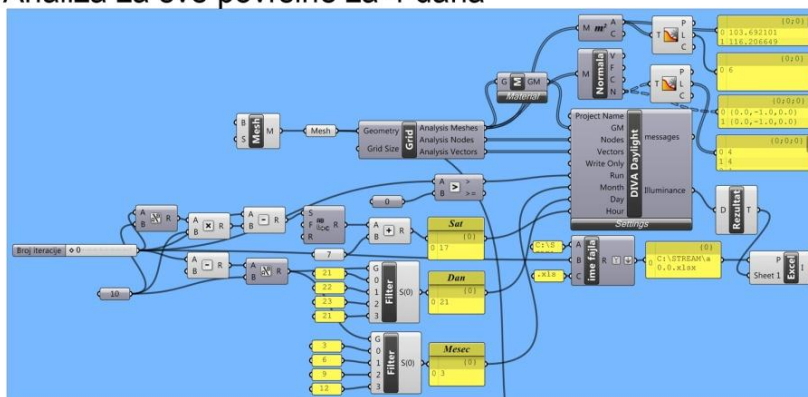
rezultati se dobijaju prilagođavanjem rezultata posebnim algoritmom za godišnji proračun provetrenosti sa naglaskom na 3D vizualizaciju ispitano modela.

### Primer analize: **Analiza godišnje osunčanosti objekata**

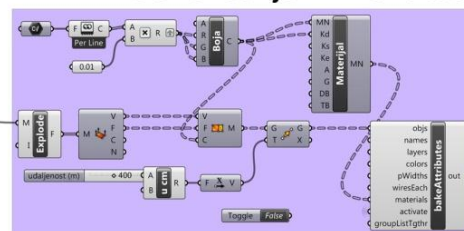
Cilj je da se kroz analizu detektuju moguća mesta na fasadi objekata (omotača bloka) koja nisu pogodna za postavljanje prozora prostorije u kojoj se duže vremena boravi. Input za analizu predstavlja 3D model bloka sa ili bez okolnih građevina. Analiziraju se samo vertikalne površi objekata, fasade koje čine omotač geometrije bloka.

Slika 31 prikazuje postupak analize koji je sproveden u *Grasshopper* dodatku. Između analize i generisanja rezultata podaci se tabelarno obrađuju u *Microsoft Excel* softveru kako bi se veliki broj podataka lakše mogao obraditi.

#### Analiza za sve površine za 4 dana



#### Generisanje 3D rezultata

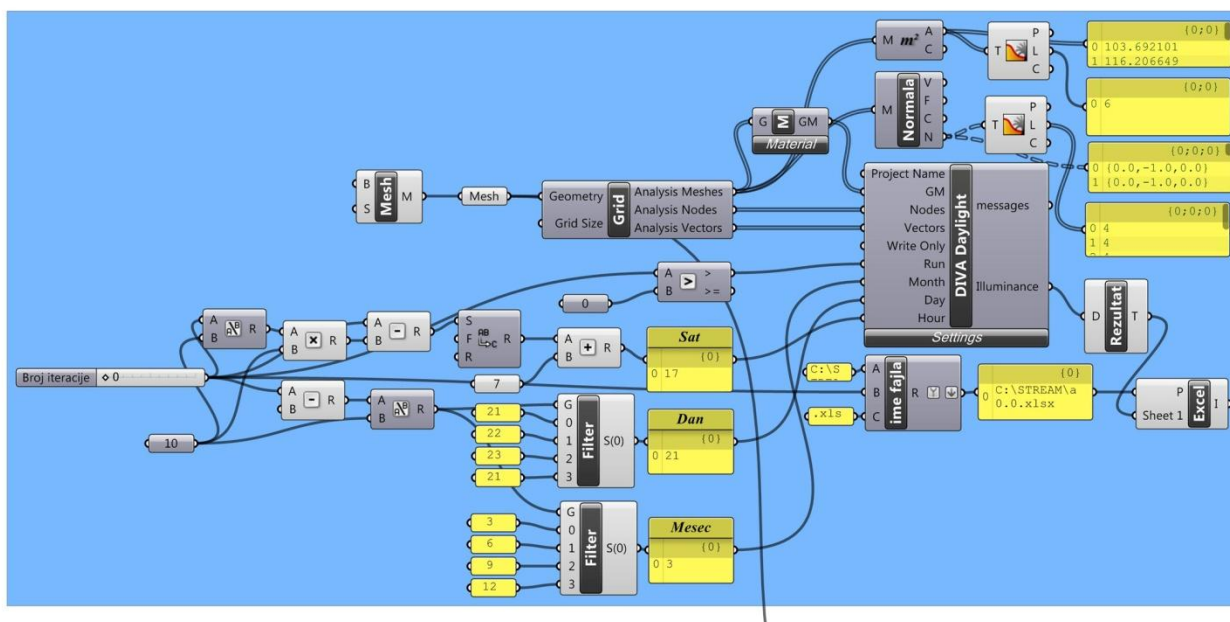


Slika 31. Prikaz dela algoritma izračunavanja godišnje osunčanosti objekta u dodatku Grasshopper

Analiza podrazumeva uključivanje aktuelnih klimatskih podataka za posmatranu lokaciju. 4 dana u toku godine: 21. mart, 22. jun, 23. septembar i 21. decembar u velikoj meri smanjuje vreme za računanje, čime je omogućena podrška za viđenje rezultata u realnom vremenu. Pošto se sunce kreće i u toku dana zauzima različite pozicije i osvetljava površi različitim

intenzitetom, preuzimaju se rezultati za svaki čas u intervalu od 8h do 17h. To ukupno čini po 40 analiza (10 termina dnevno x 4 dana u godini) za svaku površinu posmatranog urbanog bloka.

Ovo se može videti na slici 32 kao početni unos. Gde se kroz filtere i algoritam proračuna za uslove analiza formira 40 tačno definisanih analiza u pogledu sata, dana i meseca, a koji se mogu pokrenuti za automatsko generisanje rezultata. Rezultati se učitavaju u vidu tabelarnog prikaza u programu *Microsoft Excel*, a sa proračunima potrebno je izdvojiti i podatke o površinama svakog dela geometrije koji se analizira i o normali svakog nezavisnog površinskog dela kako bi se iz rezultata isključile horizontalne površi.



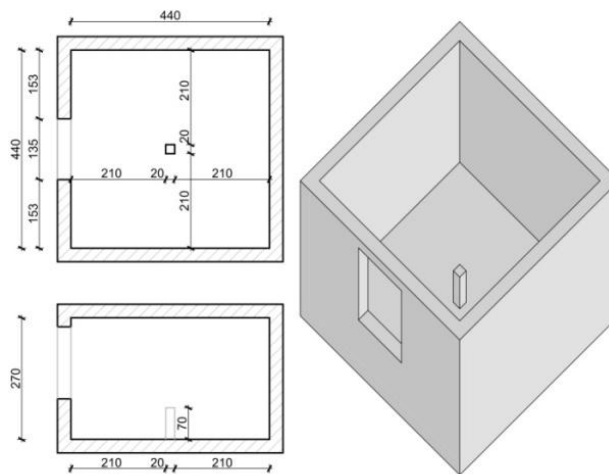
Slika 32. Prikaz dela algoritma izračunavanja godišnje osunčanosti objekta - analiza svih površina za 4 dana

U većini slučajeva količina svetlosti koju prima površina fasade je dovoljna za zadovoljenje uslova za zdravo stanovanje. To nije slučaj sa unutrašnjim prostorom, jer se deo svetlosti gubi zbog različitih faktora. U zavisnosti od dimenzija otvora (prozora na fasadi), ugla upadanja svetlosnih zraka, orijentacije prema stranama sveta i dimenzija prostorije koju je potrebno osvetliti rezultati mogu varirati. Deo sunčeve svetlosti se gubi zbog različitih faktora (Grondzik i drugi, 2011), od gustine stakla, odbijanja svetlosti i drugo. S obzirom da, u opštem slučaju, nije moguće eksperimentalno simulirati sve tipove morfologije unutrašnje strukture bloka (prostorije) simulacija je urađena na modelu prosečne prostorije. Dimenzija osnove tipske prostorije korišćene u modelu su 4.40 m x 4.40 m što čini površinu od 19.36 m<sup>2</sup>. Visina tavanice

je postavljena na 2.70 m. Prozor se nalazi na sredini fasadnog zida i veličine je 1.60 m x 1.35 m, a visina parapeta prozora je 0.90 m. (videti sliku 33). Tip prostorije koji je korišćen pri eksperimentalnoj evaluaciji modela u sklopu teze odabran je kao ilustrativni primer za izvođenje simulacija i može se menjati u odnosu na lokalitet, zakonske regulative i namenu prostorija. Sve površi u prostoru su uniformne i simulira se refleksija od zidova koji su okrećeni belom bojom. Količina osvetljenja u prostoriji varira u odnosu na udaljenost od izvora svetla (prozora), za marker je odabrana horizontalna površina 0.20 m x 0.20 m, na visini od 0.70 m od poda, postavljena na sredini prostorije (Slika 33). Ukoliko je kriterijum za minimalnu osvetljenost te površi, zadovoljen, smatra se da je prostorija dovoljno osvetljena.

U radu je definisan faktor konverzije kao odnos između spoljašnje osvetljenosti izmerene na fasadi omotača bloka i unutrašnje dnevne osvetljenosti izmerene na markeru tipske prostorije. Prema ovoj definiciji (Perišić, Lazić i drugi, 2016) faktor konverzije se računa kao:

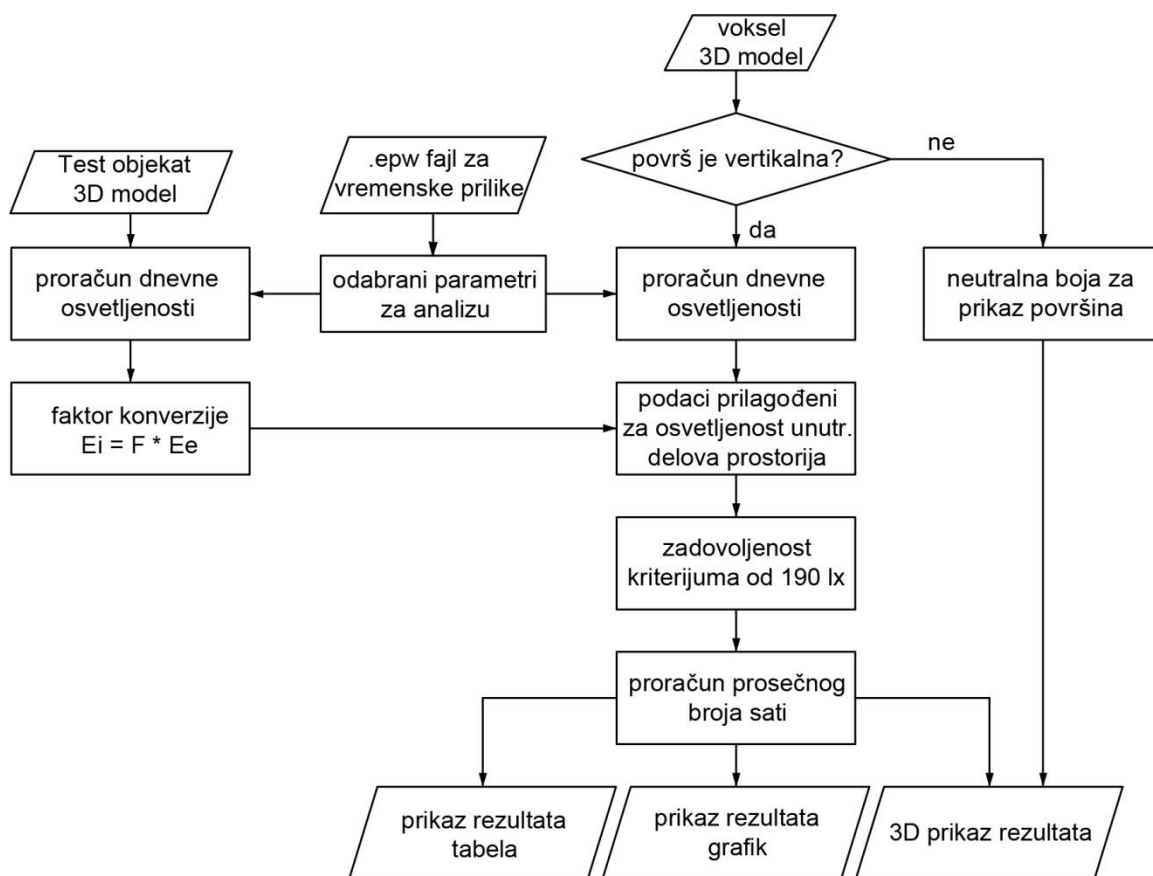
$F = E_i / E_e$ . U formuli  $E_i$  [lx] predstavlja intenzitet osvetljenosti enterijera prostora izmeren na površini markera,  $F$  je faktor konverzije, a  $E_e$  [lx] označava intenzitet osvetljenosti površi fasade izmeren u gornjem levom uglu prozora na tipskoj prostoriji.



Slika 33. Prikaz tipske prostorije. Gore levo - osnova, dole levo - presek, desno - izometrijski prikaz

Kao deo postupka analiza se vrši na tipskom objektu na kojem se prema ukupno 8 kardinalnih i interkardinalnih strana sveta mere rezultati na fasadi i na markeru, za sve posmatrane datume i satnicu. Odnos između količine dnevne svetlosti na fasadi i dnevne svetlosti u prostoriji na markeru se posmatra kao konstanta i ona je za svaku stranu sveta i za

svaki datum i sat nezavisna. Koristeći jednačinu  $E_i = F * E_e$  izmerena osvetljenost na fasadi se može pretvoriti u osvetljenost unutrašnjeg prostora. Rezultati dobijeni simulacijom dnevnog osvetljenja na 3D modelima su pomnoženi sa faktorom konverzije za svaku površ. Sledeći korak je određivanje broja sati tokom kojih posmatrana površ na fasadi ima osvetljenost veću od postavljenog praga od 190 lx. Rezultati su prikazani za svaki pojedinačni dan posebno po broju časova koji zadovoljavaju ovaj kriterijum, a nakon toga se računa prosečan broj časova za celu godinu koji prelaze zadati prag. Na slici 34 može se videti šematski prikaz postupka prema opisanoj metodologiji. Inputi su 3D modeli koji reprezentuju urbani blok i tipsku prostoriju.

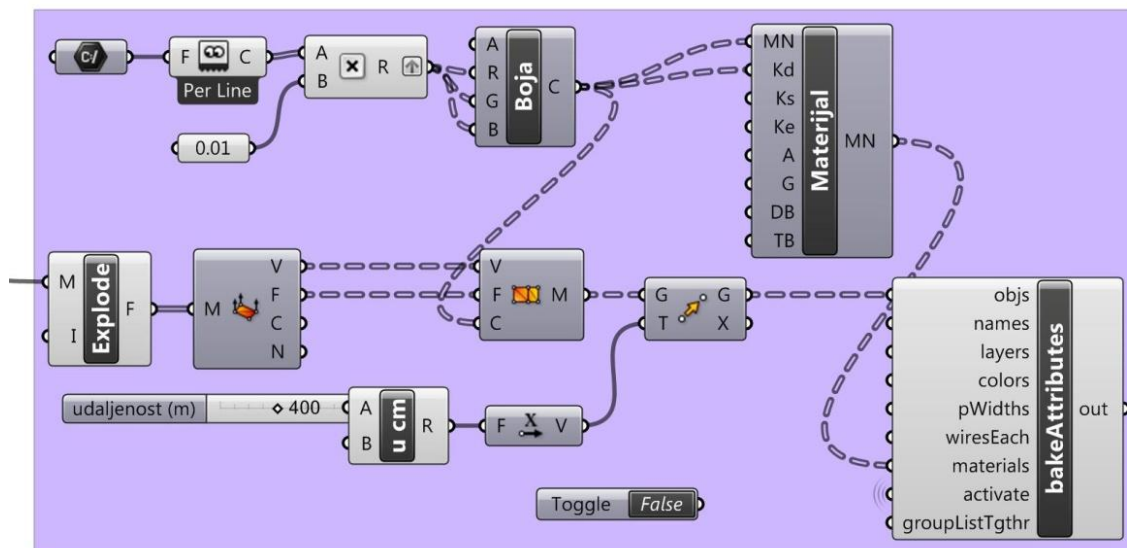


Slika 34. Šematski prikaz postupka analize  
Izvor: prilagođena šema iz (Perišić, Lazić i drugi, 2016)

Procesi proračuna i međusobnih odnosa podataka se nalaze u sredini algoritma, a izvoz rezultata je predstavljen preko tabele, grafika i prostorno preko 3D modela koji je moguće sagledati iz više uglova. Ovaj deo proračuna vrši se u softveru *Microsoft Excel*.

U sklopu simulacija obavljenih za potrebe ovog rada korišćena je interoperabilnost alata *Radiance*-a i *DIVA* plug-in za softver *Rhinosceros 3D*. Da bi se uslovi lakše postavili urađena je

automatizacija jednog dela postupka sa dodatkom za vizuelno programiranje *Rhinceros 3D* pod nazivom *Grasshopper*. Nakon formulisanja i dobijanja rezultata za svaku nezavisnu površinu, rezultate je osim u vidu tabelarnog prikaza, potrebno prikazati i u vidu 3D geometrije sa atributima koji odgovaraju rezultatima analize. Slika 35 prikazuje deo algoritma koji prikazuje rezultat. Rezultat boje svake površi konvertuje se u format koji se može učitati u programu i koriste se nijanse između bele i crne boje. Geometrija koja je ispitana se asocira sa odgovarajućom bojom i ona se kreira sa mogućnošću izvoza rezultata u program za uniformnu vizualizaciju.

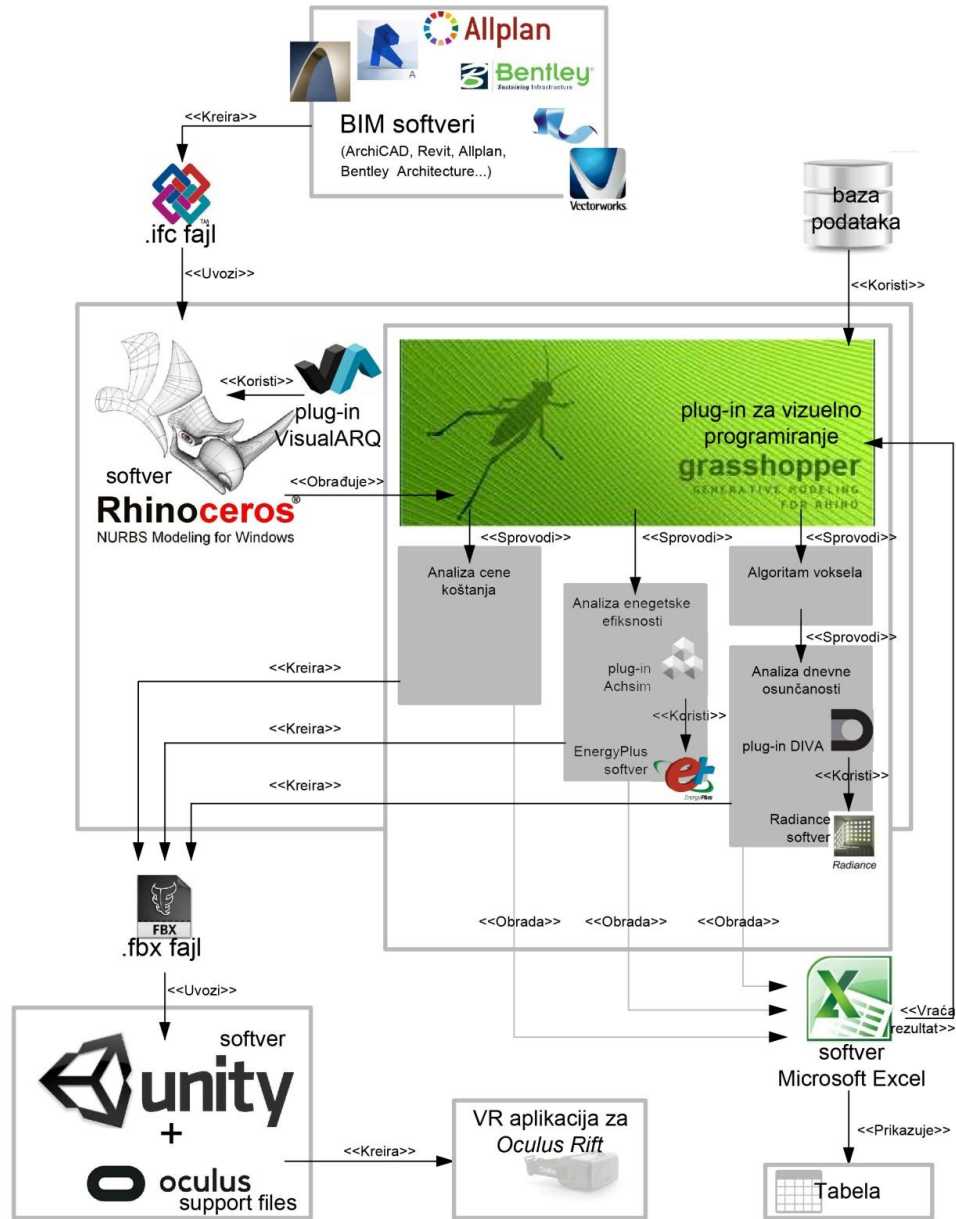


Slika 35. Prikaz dela algoritma izračunavanja godišnje osunčanosti objekta - **generisanje 3D rezultata**

Odluka svih analiza prikazanih u tezi je da se mogu uniformno prikazati u nekom drugom softveru. Šeme prikazane iz dodatka *Grasshopper* mogu poslužiti i kao osnov za izradu samostalne aplikacije koja automatizovano sprovodi sve predložene korake analize.

### 3.4 Interoperabilnost alata

U poglavljima 3.3.1, 3.3.2 i 3.3.3 predstavljeni su pod-modeli sa rešenim algoritmima koji su u mogućnosti da prikažu tri analize predviđene opštim modelom predstavljenim na slici 10. U kontekstu konkretizacije modela moguće je na osnovu predloženih metoda prikazati šemu interoperabilnosti. Ova šema prikazana je na slici 36 i na njoj su predstavljeni svi odnosi između softvera i dodatka koji se koriste.



Slika 36. Šema interoperabilnosti softvera prema predloženom modelu

U slučaju konkretizacije drugih pod-modela, odnosno dodavanja novih analiza ova šema bi se proširivala. U kontekstu tri poznate analize važno mesto zauzima softver *Rhinoceros 3D* i dodatak *Grasshopper*.

Na kraju šeme interoperabilnosti prikazan je i deo šeme koji se odnosi na virtualnu realnost, kao i softveri neophodni za realizaciju vizuelnog pregleda analiza u okruženju virtualne realnosti. U narednom poglavlju ova tema je ispitana kako u teoretskim istraživanjima, tako i u pogledu konkretnih metoda za njenu implementaciju u modelu.





## **4 Virtuelna realnost i njena primena na analizama arhitektonskih objekata**

Vizualizacija u arhitekturi uvek je bila važan element u pogledu razmena arhitektonskih ideja (Brown, 2003, Koutamanis, 2000). Razvoj i primena vizualizacijskih alata u inženjstvu, a posebno tehnologija proširene (augmentovane) i virtuelne realnosti predmet je brojnih istraživanja (Kamat i Martinez, 2004; Al-Hussein et al., 2006; Kang et al., 2009; Sattineni, 2014). Virtuelna realnost (VR) predstavlja značajan aspekt u domenu vizualizacije. Najčešće je upotrebljena i analizirana u polju medicine (Asana i drugi, 1997; Basdogan i drugi, 1999; John, 2008) i vojne tehnologije (Sardella i High, 2000; Manojlovich i drugi, 2003), obuke pilota (Dahn, 1990) i industrijskoj primeni (Wang i Li, 2004) ali je u poslednjoj deceniji i ova tehnologija jedna od važnih razvojnih tehnologija u inženjerskim disciplinama i posebno u arhitekturi.

### **4.1 Teorijske osnove**

Definicija virtuelne realnosti (VR) koja je data u Websterovom rečniku (Agnes, 2003) definiše se kao "kompjuterski generisana simulacija 3D slika okoline ili niza događaja koji neko uz korišćenje specijalne elektronske opreme može videti i imati interakciju na naizgled fizički način". Kroz ovu definiciju objašnjena je osnovna ideja virtuelne realnosti, a to je vizualizacija u 3D prostoru i "imitacija" vizualizacije koja se može doživeti u realnom svetu, a spomenuta je i tehnologija koja je neophodna da bi se ovakav koncept realizovao. U drugoj definiciji (Regenbrecht i Donath, 1997) ona se opisuje kao "komponenta komunikacije koja zauzima mesto u kompjuterski generisanom sintetičkom prostoru i uključuje ljude kao integralni deo sistema". U ovoj definiciji dat je naglasak na formiranje sistema u kojem postoje komponente sistema koje su kompjuterski generisan prostor i komponenta ljudskog delovanja unutar tog prostora. Dva pitanja su uvek važna za formiranje takvog sistema, a to su izgled 3D sintetičkog prostora i opseg delovanja ljudskog faktora unutar sistema. Pod ljudskim iskustvom koje sistem

treba da pruži, mora posedovati karakteristike koje ga izdvajaju od drugih sistema vizualizacije. Prema istraživanju (Sherman i Judkins's, 1992) postoji pet "I" koje VR treba da pruži, a to su Intenzivnost, Interakciju, Imersiju, Ilustrativnost i Intuitivnost. Ilustrativnost i intenzivnost mogu da pruže mediji poput slike ili filma, ali naglasak na ostalim pomenutim rečima postavlja drugačiji aspekt koji doprinosi povećanju iskustva za one koji koriste ovakav sistem.

U pogledu korišćenja ove tehnologije, kao i pravca njenog razvoja, važnu ulogu imali su faktori koji su izdvojeni u ovim definicijama. Za pojavu prvog prototipa koji je radio bilo je potrebno da se tehnologija razvije do mere gde je bilo moguće razviti hardverski sistem za prikaz prostora i interakciju učesnika pomeranjem glave. Ivan Suterlend, pionir u pogledu razvoja računarske grafike i naučnik odgovoran za *Sketchpad* program koji predstavlja preteču CAD softvera, kreirao je prvi sistem za VR 1968. godine. Ovaj sistem prikazivao je jednostavne žičane modele u prostoru i zbog svoje težine nije se mogao samostalno nositi na glavi. Nakon ovog prototipa VR se razvijala u pojedinim segmentima, ali je tek krajem 1980-ih godina započet pravi razvoj ovog sistema u vidu u kojem postoji i danas. Za to je odgovorno više faktora od kojih su neki hardverske mogućnosti računara i razvoj kompjuterske grafike koji su dozvolili da se sistemi koji se izrađuju mogu samostalno postaviti na glavu i da mogu pružiti interaktivnost u trodimenzionalom prostoru. Prvi komercijalni sistem za virtualnu realnost zvao se VPL EyePhone Model 1, razvijen od strane Džerona Lanijera, godine 1989. i koštao je 9.400 \$ (Blanchard i drugi, 1990). Sistem je vrlo brzo unapređivan i iz tog razloga njegova cena je rasla i do 49.000 \$ kada se uračunala i dodatna oprema. Drugi sistemi virtualne realnosti sa sličnim karakteristikama su ubrzo predstavljeni na tržištu. Ovo je za posledicu imalo da je sistem bio prihvaćen od strane većih univerziteta koji su imali mogućnost da ga priušte, ali nije mogao biti korišćen u široj javnosti. Pokušaji razvoja jeftinijih sistema za potrebe igranja kompjuterskih igara u 1990-im godinama, nisu imali uspeha zbog lošijih grafičkih performansi i visoke cene, poput sistema *Nintendo Virtual boy* iz 1994. Nemogućnost da se komercijalno realizuju sistemi za virtualnu realnost uslovio je da se ova tehnologija nije razvijala u nivou kao drugi računarski sistemi koji su postali komercijalni. Veliki korak u razvoju, ispitivanju i istraživanju ove tehnologije već je načinjen i pojavili su se prvi komercijalni sistemi virtualne realnosti pristupačne cene. Razvoj tehnologije biće podstaknut od strane velikih tehnoloških kompanija koje učestvuju sa svojim proizvodima na tržištu poput kompanije *Sony, Facebook, HTC, Microsoft, Google, Samsung* i drugih. Prikaz pomenutih tehnologija od 1968 - 2016 godine dat je na slici 37.



Slika 37. Razvoj VR tehnologije: početak tehnologije – ‘Damoklov mač’ sistem Ivana Suterlenda iz 1968. godine (gore levo); prvi komercijalni VR sistem - Eye Phone 1 iz 1989. godine (gore desno); pokušaj da se virtualna realnost učini dostupna široj javnosti - Nintendo VirtualBoy iz 1994. godine (dole levo); prvi uspešno masovno proizvedeni sistem za VR iz 2016. godine - Oculus Rift, Facebook (dole desno)

U pogledu primene VR tehnologije najviše se doprinelo u medicinskim istraživanjima. U brojnim radovima u ovom polju dokazano je da je imersivnost ove tehnologije na nivou realnih iskustava ispitanika. Prema istraživanjima (Levi i drugi, 2015) virtualna realnost se intenzivno koristi u medicinskim istraživanjima među kojima su terapije mentalnih oboljenja poput poremećaja u ishrani (Ferrer-Garcia i Gutiérrez-Maldonado, 2012), šizofrenija (Peyroux i Franck, 2014) i psihoze (Rus-Calafell i drugi, 2012). Prema istraživanjima (Garcia-Palacios i drugi, 2007; Parsons, i Rizzo, 2008) efikasnost lečenja koristeći VR tehnologiju je podjednako uspešna kao *in vivo* izlaganje u pogledu lečenja poremećaja uznemirenosti.

Postoje i istraživanja u pogledu uspešnog lečenja različitih fobija poput straha od letenja (Maltby i drugi, 2002; Rothbaum i drugi, 2006), akrofobije (Emmelkamp i drugi, 2001), agorafobije (Botella i drugi, 2007) i drugih. Pojedina od ovih istraživanja rađena su sa malim brojem ispitanika, ali su rezultati velikog broja njih u skladu sa visokim standardima u pogledu naučno-istraživačkog rada (Turner i Casey, 2014). Zahvaljujući ovim istraživanjima dokazano je da virtuelna realnost ima veliku ulogu u pogledu građenja sopstvenih iskustava. Ova uloga VR tehnologije je korišćena u tezi kao važna činjenica unapređenju iskustva na način koji bi bio drugačiji u odnosu na tradicionalne tipove vizualizacije.

Iz sličnih razloga ova tehnologija se koristi za obuku i usavršavanje specijalaca u organizacijama poput: NASA agencije - trening astronauta, Američke vojske - simulaciju različitih tipova vojnih aktivnosti (*Army, Navy, Air-force*), policiji, NATO-u i sl. Primeri savremene primene ove tehnologije prikazane su na slici 38.



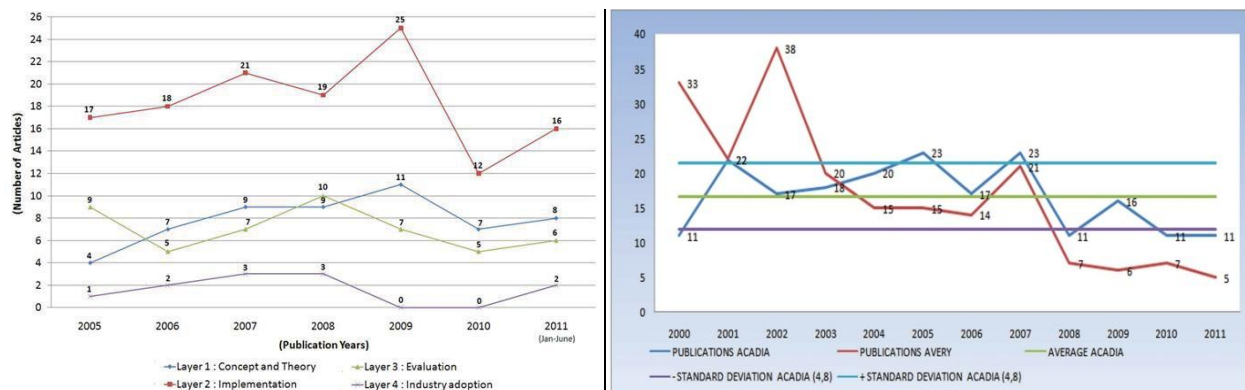
Slika 38. Primena tehnologije VR: medicinska terapija arahnofobije (levo); obuka astronauta (sredina); vojna obuka skakanja iz padobrana (desno)

## 4.2 Primena u arhitekturi

Sredinom 1990-ih su se pojavila prva istraživanja VR tehnologije od strane arhitekata (McMillan 1994; Šiđanin, 1995) čime je otvoren put drugim istraživačima ove oblasti u naučnim krugovima. Kako je ranije napomenuto i prethodnom poglavlju, ova tehnologija je bila skupa i samo je ograničen broj ljudi iz industrije imao pristup i praktično primenio ovu tehnologiju. Prve

primene zahtevale su i veliko znanje i razumevanje kompjuterske grafike i rada hardvera kako bi se istraživanja izvršila.

Istraživanja u polju virtuelne realnosti u arhitekturi su u prema različitim istraživanjima u porastu i u padu. Na slici 39 prikazan je porast zanimanja za ovu oblast prema istraživanju (Kim i drugi, 2013) između 2005. i 2011. godine. Od 2009. godine vidi se pad interesovanja za ovu oblast u naučnim časopisima u polju arhitekture (slika 39, levo). Na grafiku se vidi da je najveći broj istraživanja usmeren na implementaciji ove tehnologije u građevinskoj industriji, ali i da je značajno manji broj radova fokusiran na primenu u industriji. Ovo je razumljivo s obzirom na uslove razvoja takve tehnologije i mogućnosti koje su bile u vremenu razvoja u posmatranom periodu. U drugom istraživanju (Freitas i Ruschel, 2013) u pogledu istraživanja VR tehnologije na konferencijama ACADIA organizacije vidi se konstantan pad u pogledu broja radova (slika 39, desno). Oba istraživanja su sprovedena nad radovima napisanim do 2011. godine. Iz razloga što se virtuelna realnost 2012. godine najavila kao tehnologija dostupna za mnogo veći broj ljudi<sup>16</sup>, a da je do 2016. u potpunosti komercijalno dostupna po ceni koja odgovara prosečnom potrošaču, očekuje se veći broj istraživanja, posebno u pogledu praktičnog razvoja.



Slika 39. Istraživanja naučnih radova u pogledu primene virtuelne realnosti u arhitekturi: pregled članaka iz naučnih časopisa koji se bave ovom temom u periodu 2005-2011 (levo); pregled radova koji su objavljeni na konferencijama organizacije ACADIA u periodu 2000-2011 (desno)

U pogledu primene tehnologije postoji veći raspon istraživanja u polju arhitekture što je opisano u istraživanju (Portman i drugi, 2015). U istraživanju (Wang, 2007) ističe se da upotreba ove tehnologije može poboljšati kolaboraciju između članova arhitektonskog projektantskog tima. U drugom istraživanju (Koutsabasis i drugi., 2012) ističe se važnost efektivne kolaboracije

<sup>16</sup> Društvena kampanja prikupljanja sredstava za izradu hardvera *Oculus Rift*, započeta je 1. avgusta 2012. godine.

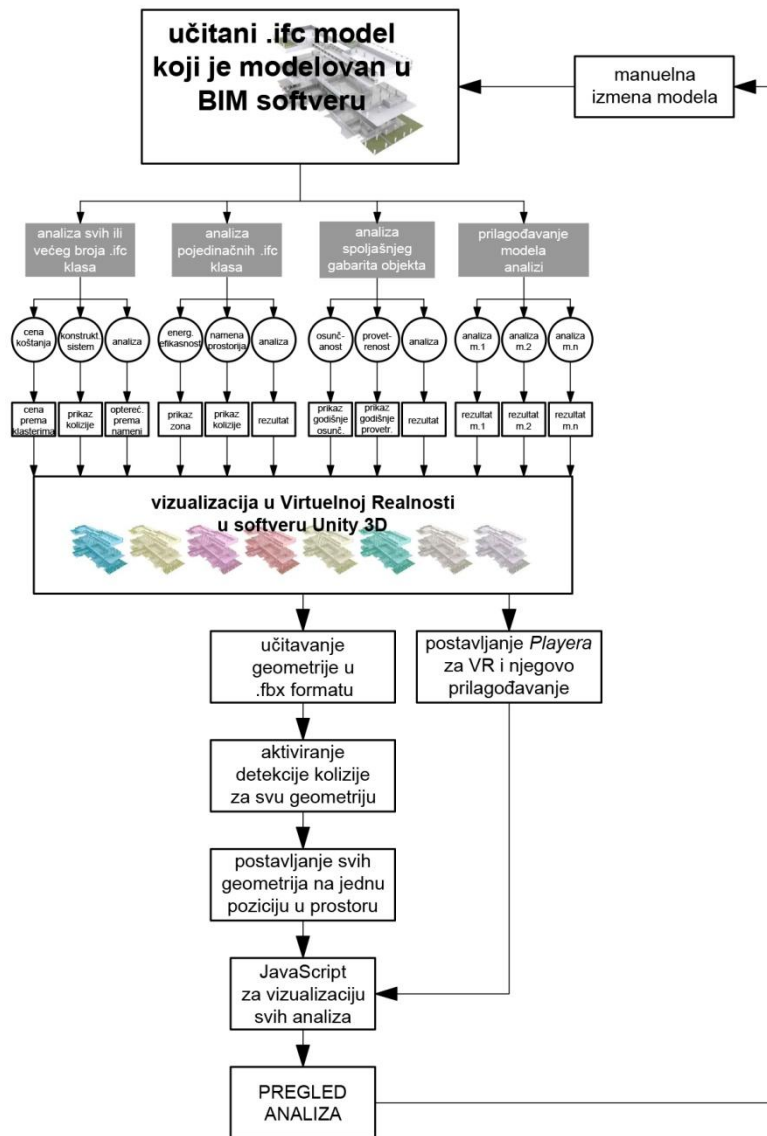
putem ove vrste vizualizacije. Upotreba VR tehnologije može da poboljša i kolaboraciju između arhitekata i klijenata kao, pored već pomenute (Viet i drugi, 2009). Razumevanje prostora i koncepta zgrade takođe je istraženo u pogledu identifikacija *prostora-sa-problemom* ili *rešenja-prostora* (Rahimian i Ibrahim, 2011). Kretanje unutar virtuelnog prostora putem VR tehnologije istraženo je u pogledu korišćenja tehnologije u eksperimentalne svrhe u urbanom planiranju kako bi se razvili optimalni načini postavljanja znakova i navigacije (Parush i Berman, 2004; Mavridou i drugi, 2009). U istraživanjima (Schnabel i drugi, 2008; Chen i Wang, 2008) teoretisano je u pogledu veze i mogućnosti primene virtuelne realnosti u iskustvima realnog sveta iz ugla kreiranja prostora. Kroz istraživanja koja su prikazana u ovom poglavlju može se videti da je upotreba virtuelne realnosti u arhitekturi tema koja je u razvoju i koja je aktuelna u poslednjih 10 godina.

#### **4.3 Model za implementaciju virtuelne realnosti u analizi arhitektonskih objekata**

U okviru teze ova tehnologija biće praktično primenjena iz aspekta korisnosti neposrednog virtuelnog iskustva koje se može primeniti u svrhu učenja i dobijanja iskustva prilikom sagledavanja arhitektonskih problema. Virtuelna realnost može pružiti direktno uvid u probleme projekata u ranoj fazi njihove izrade i pomoći u njihovom efikasnom rešavanju u okruženju koje simulira realnu situaciju. U poglavlju 4.1 predstavljeni su primeri uticaja virtuelne realnosti na čoveka. Simulacija realnog iskustva preko sistema za virtuelnu realnost može da utiče na doživljaje i utiske u realnom svetu. Vodeći se ovom hipotezom virtuelna realnost je sistem za vizualizaciju koji odgovara predloženom modelu u kojem akter, inženjer arhitekture, ima mogućnost sagledavanja različitih arhitektonskih analiza u virtuelnom svetu. U ovom svetu akter mora razumeti i doneti odluku u kom pogledu je potrebno izmeniti objekat kako bi se idejno arhitektonsko rešenje najbolje prilagodilo u pogledu određenih performansi.

Konkretizacija modela u smislu primene VR tehnologije izvršena je preko dostupnih VR sistema koji se nalaze na tržištu. U istraživanju bio je dostupan set za ovaj tip vizualizacije sa nazivom *Oculus Rift*. Istraživanje nije ograničeno samo ovim setom i moguće je druge sisteme virtuelne realnosti takođe primeniti na modelu, ali je za ovaj oblik hardvera prilagođen konkretni deo modela.

Softversku komponentu virtuelne realnosti čini *Unity 3D*, program prilagođen za vizualizaciju i sa konstantnim unapređenjima u tom polju koji je najpoznatiji kao softver za kreiranje video-igara, sa mogućnostima primene i u drugim disciplinama poput arhitekture i urbanizma. Model automatizovanog analiziranja idejnih arhitektonskih objekata, sa razvijenim elementima modela primene VR tehnologije predstavljen je na slici 40.



Slika 40. Model automatizovanog analiziranja idejnih arhitektonskih objekata, sa primenom BIM tehnologije sa razvijenim elementima modela primene VR tehnologije

Format razmene između softvera u kojem se analize sprovode i izvoze i softvera *Unity 3D* je .fbx fajl. U ovom formatu program pravilno predstavlja geometriju i potrebno je napraviti



najmanju količinu izmena kako bi se ostvarila interoperabilnost pomenutih alata. Uvezena geometrija mora imati aktiviranu *detekciju kolizije*, odnosno mogućnost da se svi površinski elementi učitane geometrije ponašaju kao fizičke barijere. Ova komponenta može se isključiti samo u slučaju da je analizom predviđeno da se prolazi kroz zidove i ploče analiziranog objekta. Sve uvezene površine geometrije moraju se naći na istom mestu. Odnos između elemenata BIM objekata i koordinatnog početka mora biti očuvan kako bi se postigla iluzija i imersija u virtualnoj realnosti da se radi o istom objektu.

Za potrebu razvoja aplikacije koja radi u virtualnoj realnosti koristi se gotov skript napisan za interakciju sa kamerom i komunikaciju sa drayverom instaliranim za set *Oculus Rift*. Ovaj skript može se poboljšati dodavanjem opcija za skakanje, saginjanje, kretanje po većim nagibima puta, podrške za kontroler tipa *gamepad* i dr.

Mogućnost da se prikažu i promene različite analize unutar aplikacije za virtualnu realnost važna je u pogledu imersije. Primer jednostavnog *Java* skripta u kom je moguće menjati poglede na različite analize u virtualnoj realnosti za softver *Unity 3D* dat je ispod:

```
#pragma strict

var cam : Camera;

var pp1 : GameObject;
var pp2 : GameObject;
var pp3 : GameObject;
var pp4 : GameObject;

var pp1Enabled : boolean = false;
var pp2Enabled : boolean = false;
var pp3Enabled : boolean = false;
var pp4Enabled : boolean = false;

function Start () {

if(pp1Enabled == true) {
disableAll();
pp1.SetActive(true);
}
}

function Update () {

if(Input.GetKeyDown("1")) {
disableAll();
pp1.SetActive(true);
}

if(Input.GetKeyDown("2")) {
disableAll();
```

```
pp2.SetActive(true);
}

if(Input.GetKeyDown("3")) {
    disableAll();
    pp3.SetActive(true);
}

    if(Input.GetKeyDown("4")) {
        disableAll();
        pp4.SetActive(true);
    }
}

function disableAll () {
    pp1.SetActive(false);
    pp2.SetActive(false);
    pp3.SetActive(false);
    pp4.SetActive(false);
}
```

U datom primeru pp1, pp2, pp3 i pp4 su pretpostavljeni primeri za analize i u okviru istog "nosača" svih geometrija potrebno je učitati skriptu i odabrati analize koje se prikazuju. U primeru je data mogućnost za tri tipa analize, pored osnovne vizualizacije originalnog objekta. Ovo se može promeniti ili dodatno automatizovati korišćenjem poznatih imena ukoliko je potrebno.

U prvom prikazu učitava se samo osnovni model, a potom se preko brojeva 1-4 na tastaturi može odabrati pregled analize u kojoj je moguće kretati se kroz prostor. Na slici 41 prikazan je dijalog prilikom učitavnja skripte u kojem treba povezati geometrijske modele sa odgovarajućim brojem na tastaturi.



Slika 41. Unos osnovnog 3D modela i 3 modela sa analizama u interfejsu softvera Unity3D nakon aktiviranja skripte.

Izrada konačne aplikacije nakon ovih koraka sprovodi se proceduralno izborom komande *Build*. Nakon toga moguće je videti rezultate u okviru generisanog .exe fajla koji se može otvoriti i pročitati i na računaru koji ne sadrži isti operativni sistem i alate u kojima je aplikacija izrađena. Formulacijom metoda izrade aplikacije koja je u mogućnosti da predstavi model u virtualnoj realnosti prikazan je zaokružen proces koji definiše korake od izrade .ifc fajla, do praktične primene VR tehnologije. U narednom poglavlju prikazan je ekperimentalni primer primene predloženog modela.

## **5 Demonstracija/testiranje mogućnosti novog modela na primeru**

Predloženi model je testiran na pogodno odabranom primeru čime je predstavljena mogućnost njegove realizacije u vidu aplikacije. Tip primene prikazan u tezi izveden je na tri arhitektonske analize obrađene u poglavljima od 3.1 do 3.3 i modelom primene virtualne realnosti u poglavlju 4.3. Realizacija modela uticala je i na razvoje pod-modela koji su prilagođavani realnim situacijama pri čemu su se pojavili problemi u praktičnoj primeni.

U okviru poglavlja 5 obrazloženi su razlozi za odabir primera koji se analizira, prikazan je postupak analize preko rezultata koji su dobijeni za analize na kraju simulacije, a nakon toga, u odnosu na kontekst i krajnji rezultat, formirajani su zaključci nastali kao posledica pojedinačnih analiza.

### **5.1 Principi odabira analiziranog primera**

Arhitektonski projekat na kojem je izvedena analiza predstavlja višeporodični stambeni objekat koji je detaljno izrađen u softveru BIM tehnologije 2005. godine. Projekat je odabran iz nekoliko razloga:

- a. Tehničke karakteristike objekta

Projekat predstavlja objekat izrađen u softveru *ArchiCAD 9*. Razloga zašto je odabran projekat urađen u ranoj verziji softvera, koji je od tada imao 10

unapređenih verzija, je zbog prisutnosti komponenti koje su univerzalne za sve BIM softvere na tržištu.

Projekat je urađen profesionalno od strane arhitektonskog biroa, za realnu tržišnu upotrebu i iz tih razloga poseduje visok kvalitet u pogledu izrade 3D modela (slika 42).

Unutar projekta korišćeni su aspekti BIM tehnologije koji su neophodni za detaljnu analizu poput postavljanja alata *Zone* preko kojeg se predstavlja zapremina namene svake prostorije.



Slika 42. Prikaz projekta u softveru ArchiCAD: perspektiva (levo) i osnova prizemlja (desno)

Broj različitih elemenata je pogodan za analizu gde se model tek izrađuje. U slučaju razvoja modela predloženog ovom tezom potrebno je definisati mnogo veći broj različitih parametara kako bi se ispitale konstrukcije u skladu sa savremenim tendencijama arhitekture.

b. Projekat je realizovan

Arhitektonski biro b17 arhitekten iz Minhena je izradio idejni projekat. Projekat je izveden u Minhenu, Nemačka i moguće ga je analizirati i nezavisno od virtuelnog modela. Na slici 43 predstavljen je model na lokaciji u pogledu iz prve pojecije i u 3D snimljenom pogledu. Na slici se vide četiri realizovana projekta sa sličnim karakteristikama.



Slika 43. Prikaz realizovanog projekta u Minhenu, Nemačka

c. Javna dostupnost BIM fajla

Objekat koji se analizirao može se preuzeti sa zvaničnog sajta kao primerni rad prilikom učenja programa *ArchiCAD 10*<sup>17</sup>. Izbor ovog rada doprinosi mogućnosti da se rezultati istraživanja ponove ili se testiraju druge analize na istom, predloženom modelu.

d. Objekat predstavlja tipologiju pogodnu za istraživački proces

Iz razloga što je odabran projekat stanovanja, analize zdravstvenih uslova, poput dovoljne količine osunčanosti imaju veći značaj. Takođe u pogledu korišćenja prostora, stanovanje ima karakteristike koje su istražene u više radova koji se bave analizom energetske efikasnosti objekta. U slučaju poslovne namene, poželjno je saznanje o tačnom korišćenju svih prostorija u toku nedelje i u toku godine.

## 5.2 Postupak analize

Postupak je izvršen u skladu sa modelom koji je formulisan ovom tezom. Prilikom izvođenja .ifc fajla iz originalnog modela nisu promenjeni elementi rada kako bi se ispitala mogućnost automatizacije modela bez intervenisanja na gotovom radu.

---

<sup>17</sup> rad je dostupan preko adrese: [http://www.graphisoft.com/support/archicad/downloads/example\\_files10/index.html](http://www.graphisoft.com/support/archicad/downloads/example_files10/index.html) (pristupljeno 25. 06. 2016).

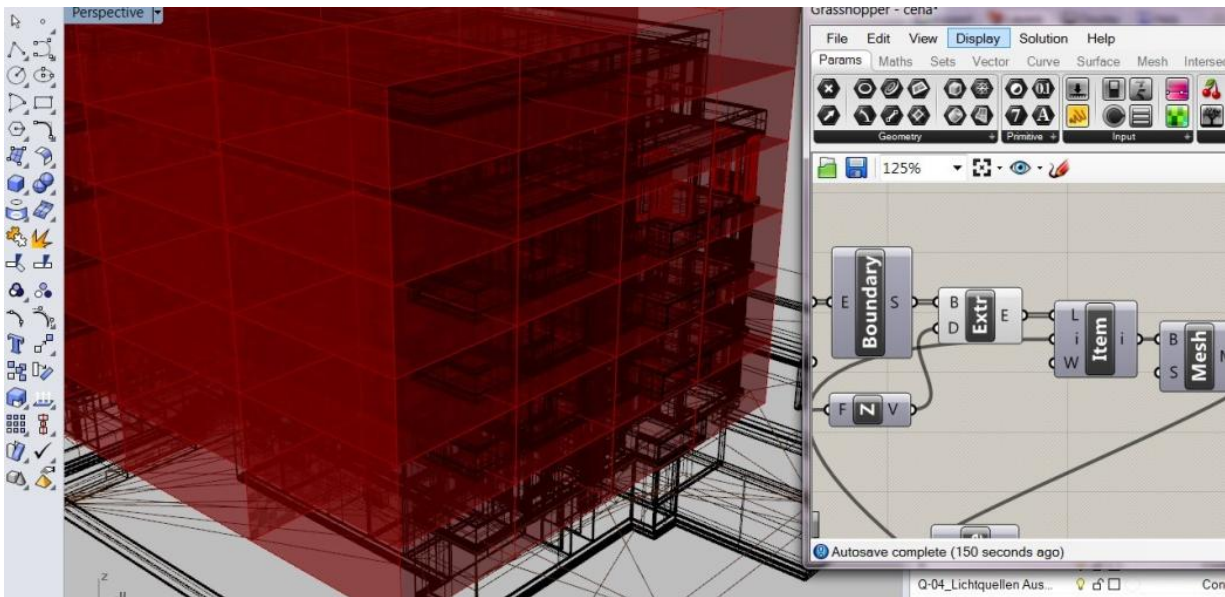
Prvo je izvedena ekonomska analiza primera. Nakon toga sprovedena analiza energetske efikasnosti. Model je pojednostavljen primenom metode vokseli opisanom u poglavlju 3.3, a nakon toga je sprovedena analiza osunčanosi spoljašnjeg omotača.

### 5.2.1 Analiza cene koštanja projekta

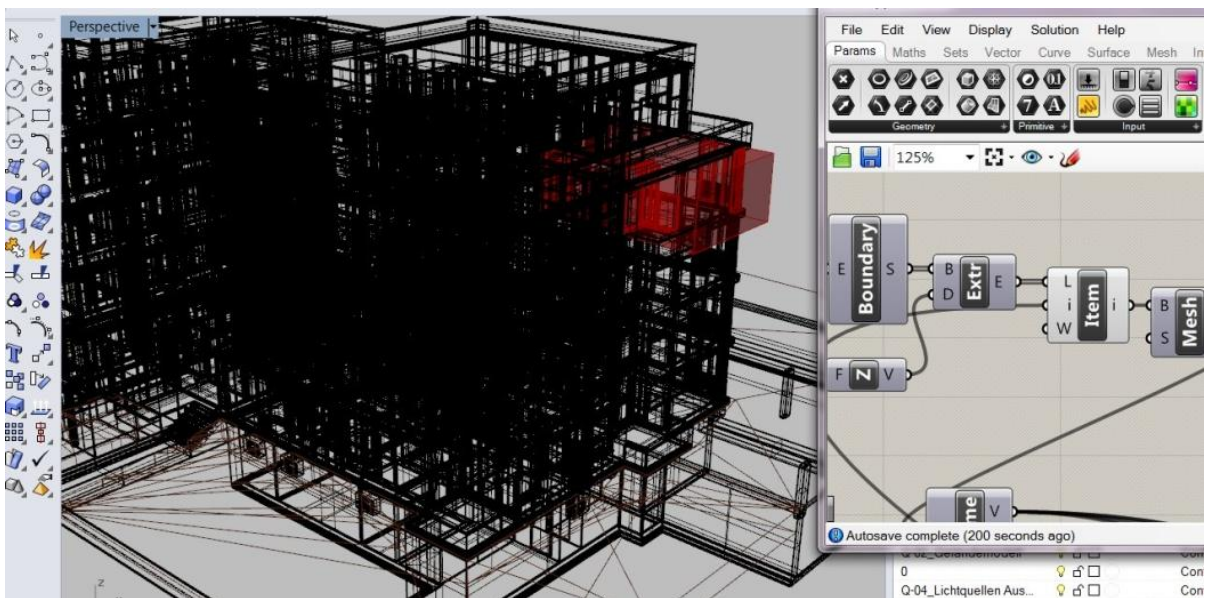
Analiza sprovedena u odnosu na predviđeni model, a šema i izgled algoritma predstavljeni su slikama 11-17. Projekat je uvezen u softver *Rhinoceros 3D* gde su pojedinačne klase BIM projekta preuzete kao posebni lejeri (slika 44). Prema postupku analize u odnosu na minimalne i maksimalne vrednosti x i y osa i visine spratova formirana je mreža kvadrova (slika 45). Posebno je sprovedena analiza za svaki nezavisan kvadar od ukupno 96 (slika 46).



Slika 44. Prikaz objekta u programu Rhinoceros 3D



Slika 45. Postupak analize - formirana mreža kvadrova prema modelu



Slika 46. Postupak analize - samo je jedan od kvadrova aktivan (prikazan je crvenom bojom)

U postupku analize računali su se posebno elementi koji sadrže zapreminu i količinski elementi. Za svaki od predloženih zapreminskih elemenata (zidovi, ploče, grede, stubovi i stepenište) formirane su cene u odnosu na okvirne tržišne vrednosti po jedinici zapremine objekta. Na ovaj način formirane vrednosti ne predstavljaju tačan predračun iz razloga što se izvođenje pojedinih elemenata može razlikovati u pogledu udaljenosti gradilišta od nabavljača materijala, cene radne snage, sirovinske cene materijala, optate...



U analizi su ovi elementi pojednostavljeni kako bi se izvesno mogli prikazati delovi objekta sa većom cenom koštanja u komparativnom odnosu sa drugim delovima istog objekta. Nezavisna analiza predmeta i predračuna kada su svi elementi projekta poznati je neophodna, ali predložena analiza daje uvid u ekonomski aspekt projektovanja bez potrebe da se izrađuje kompletna dokumentacija. Cene koštanja preuzete su sa izvora dostupnih na internetu<sup>18</sup>.

Cena količinskih elemenata može biti različita i potrebno je pripremiti tačnu specifikaciju dobavljaču da bi se ona formirala. U analizi cene koštanja ova procedura je pojednostavljena. Elementi koji su obuhvaćeni analizom bili su vrata i prozori, kao elementi koje arhitekta postavlja samostalno (za razliku od konstruktivnih elemenata i MEP elemenata). Oni su iz tog razloga bitni za istraživanje, jer u fazi idejnog projekta pružaju mogućnost da se izmene prema potrebi. Pojednostavljen proračun elemenata polazi od mogućnosti da se unutar softvera BIM tehnologije tačno odrede materijali i dimenzije prozora i vrata, a ovi podaci mogu se učitati i obraditi unutar drugih softvera. Svi prozorski elementi analiziranog objekta radi jednostavnosti posmatrani su kao izrađeni od PVC elemenata. Na slikama 47 prikazan je proces računanja cene pojedinačnih elemenata u odnosu na izvore dostupne na internetu<sup>19</sup>.

---

<sup>18</sup> <http://www.gobricksoutheast.com/CostComparisons/2014WallCostComparison4Web.pdf> (pristupljeno 08.06.2016.)

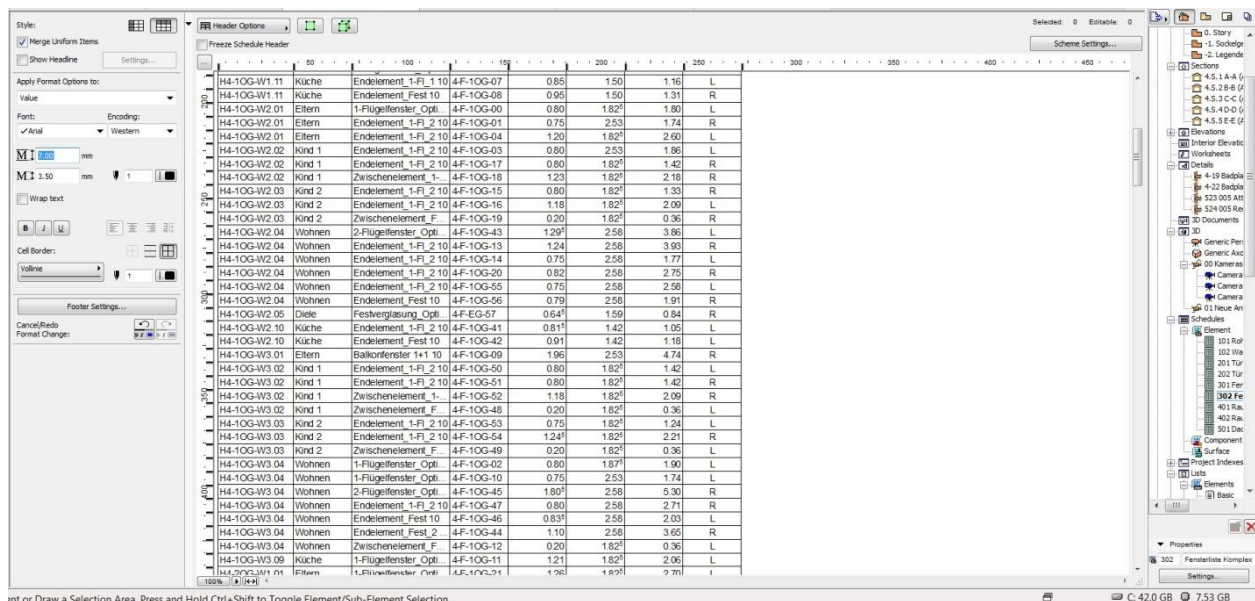
<http://lbms03.cityu.edu.hk/oaps/ca2013-4513-lms979.pdf> (pristupljeno 08.06.2016.)

<https://spravljanjebetona.com/2013/10/10/cena-kubik-beton/> (pristupljeno 08.06.2016.)

<sup>19</sup> <https://www.modernupvcwindows.co.uk/> (pristupljeno 08.06.2016.)

<http://www.awindowsdoors.com/> (pristupljeno 08.06.2016.)

<http://www.pvcprojekt.rs/pvc-prozor-cena.php> (pristupljeno 08.06.2016.)

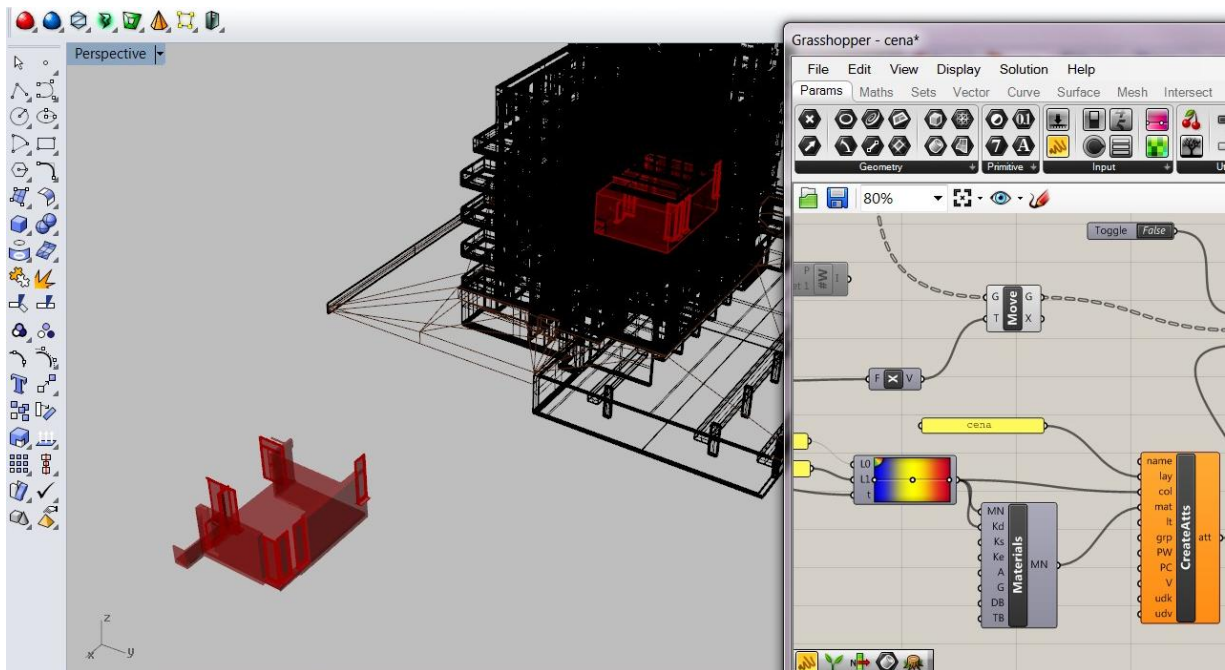


nt or Draw a Selection Area. Press and Hold Ctrl+Shift to Toggle Element/Sub-Element Selection.

SUM		=(D14+E14)*2*26.75							
	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	Von Raum	Fensterliste	ID	SIRINA	VISINA	nale Fläche Ans	Ausrichtung		
1	Abteil 7	1-Flügel Fenster 10	4-F-KG-08	1	0.66	0.66	L	88.81	
2	63 Parkplätze	1-Flügel Fenster 10	4-F-KG-09	1.5	1	1.5	L	133.75	
13	Eltern	1-Flügel Fenster_Optionen 10	4-F-10G-21	1.26	1.825	2.7	L	165.05	
14	Eltern	1-Flügel Fenster_Optionen 10	4-F-10G-27	0.81	1.825	1.82	L	=(D14+E14)*2*26.75	
15	Eltern	1-Flügel Fenster_Optionen 10	4-F-10G-28	0.8	2.53	1.86	R	178.16	
16	Wohnen	1-Flügel Fenster_Optionen 10	4-F-10G-25	1.26	1.825	2.7	R	165.05	
17	Wohnen	1-Flügel Fenster_Optionen 10	4-F-10G-36	0.81	1.825	1.82	R	140.97	
18	Du/WC	1-Flügel Fenster_Optionen 10	4-F-10G-06	0.645	1.42	0.66	L	110.48	
19	Küche	1-Flügel Fenster_Optionen 10	4-F-10G-05	0.645	1.42	0.66	R	110.48	
20	Eltern	1-Flügel Fenster_Optionen 10	4-F-10G-00	0.8	1.825	1.8	L	140.44	
21	Wohnen	1-Flügel Fenster_Optionen 10	4-F-10G-02	0.8	1.875	1.9	L	143.11	
22	Wohnen	1-Flügel Fenster_Optionen 10	4-F-10G-10	0.75	2.53	1.74	L	175.48	
23	Küche	1-Flügel Fenster_Optionen 10	4-F-10G-11	1.21	1.825	2.06	L	162.37	
24	Eltern	1-Flügel Fenster_Optionen 10	4-F-10G-21	1.26	1.825	2.7	L	165.05	
25	Eltern	1-Flügel Fenster_Optionen 10	4-F-10G-27	0.81	1.825	1.82	L	140.97	

Slika 47. Prikaz tabele sa svim prozorima i balkonskim vratima u projektu u ArchiCAD softveru (gore) i Microsoft Excel softveru (dole)

Formiranje pouzdane baze podataka imalo bi veliki uticaj na tačnost analiza i predstavlja pravac budućeg istraživanja. Na slici 48 predstavljen je sistem prema kojem se računa jedan kvadar u toku vremena, a rezultati se formatiraju i prenose u nezavisan Microsoft Excel fajl.



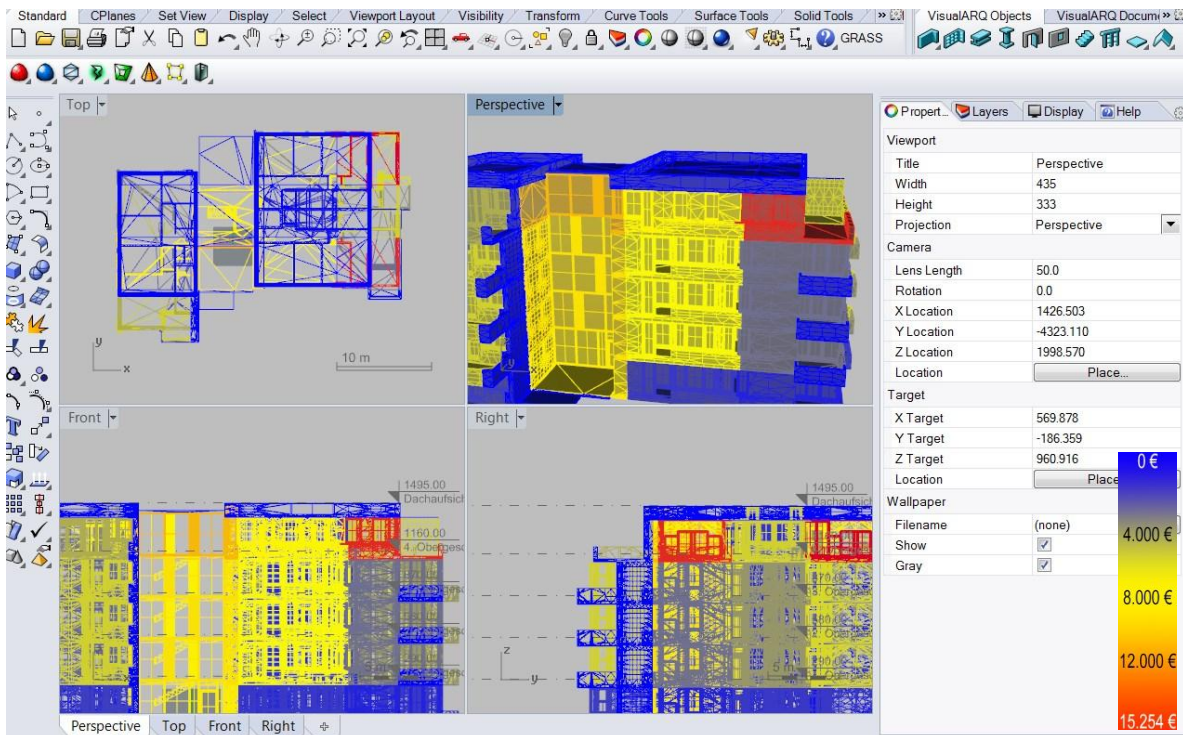
Slika 48. Priказ elemenata uključenih u analizu jednog kvadra i mogućnost da se ovi elementi kontekstualno obojeni

Konačni rezultati proračuna Prikazani su u tabeli 1. Posebno su analizirani svi elementi i prikazane su njihove cene za svaki kvadar. Poslednja kolona predstavlja proračun koji je odnos cene koštanja u tom kvadru u odnosu na maksimalnu cenu koštanja kvadra u objektu. Ovim brojem određuje se boja kojom se predstavljaju elementi u 3D prikazu.

broj kvadra	slabs[m3]	slabs[eur]	walls[m3]	walls[eur]	columns[m3]	columns[eur]	outer walls[m3]	outer walls[eur]	stairs[m3]	stairs[eur]	windows[eur]	doors[eur]	ukupno [eur]	ukupno/max [%]
0	6.62	437	1.10	73	0.28	18	7.36	530	0.00	0	1369	120	2547	17%
1	8.13	537	7.56	499	0.10	7	3.46	249	0.00	0	551	480	2323	15%
2	8.19	541	4.94	326	0.10	7	3.23	232	0.00	0	554	480	2140	14%
3	1.79	118	0.83	55	0.00	0	5.11	368	0.00	0	752	0	1293	8%
4	1.30	86	0.36	24	0.00	0	2.40	173	0.00	0	0	0	283	2%
5	4.92	325	0.93	62	0.00	0	9.61	692	0.00	0	7907	120	9105	60%
6	5.60	370	1.48	98	0.00	0	5.76	415	1.15	76	7686	240	8884	58%
7	3.51	232	0.77	51	0.11	7	5.94	427	0.00	0	541	0	1258	8%
8	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0	0%
9	7.59	501	4.68	309	0.10	7	2.56	184	0.00	0	1063	360	2423	16%
10	7.68	507	12.66	836	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	720	2063	14%
11	8.12	536	5.38	355	0.00	0	3.69	266	0.00	0	851	360	2368	16%
12	0.42	28	0.20	13	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0	41	0%
13	6.72	444	3.07	203	0.00	0	5.43	391	0.00	0	841	0	1879	12%
14	7.51	496	7.13	471	0.10	7	3.96	285	0.00	0	690	480	2429	16%
15	6.93	457	3.68	243	0.17	12	7.58	546	0.00	0	1063	120	2441	16%
16	6.60	436	1.25	82	0.28	18	7.40	533	0.00	0	4374	120	5563	36%
17	8.15	538	6.66	439	0.10	7	3.48	251	0.00	0	1652	480	3368	22%
18	8.19	541	4.44	293	0.10	7	3.05	220	0.00	0	3642	480	5182	34%
19	1.78	118	0.69	46	0.00	0	4.94	355	0.00	0	3159	0	3678	24%
20	0.55	36	0.91	60	0.27	18	2.41	173	0.00	0	0	0	288	2%
21	2.46	163	0.93	62	0.13	8	9.65	695	0.00	0	8349	120	9396	62%
22	5.16	341	1.37	90	0.00	0	5.91	425	1.27	84	7686	240	8866	58%
23	0.96	64	0.68	45	0.00	0	5.96	429	0.00	0	1146	0	1683	11%
24	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0	0%
25	7.59	501	4.69	310	0.21	14	2.62	188	0.00	0	5584	360	6956	46%
26	7.68	507	12.71	839	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	720	2066	14%
27	8.12	536	4.70	310	0.10	7	3.32	239	0.00	0	2780	360	4231	28%
28	0.37	25	0.58	38	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0	63	0%
29	6.64	438	3.28	216	0.56	37	5.45	393	0.00	0	2524	0	3608	24%
30	7.48	494	7.42	490	0.21	14	3.99	287	0.00	0	2568	480	4332	28%
31	6.93	457	2.96	195	0.18	12	7.61	548	0.00	0	4428	120	5761	38%
32	6.60	436	1.26	83	0.28	18	7.40	533	0.00	0	4374	120	5564	36%
33	8.15	538	6.63	438	0.10	7	3.48	251	0.00	0	1652	480	3366	22%
34	8.19	541	4.44	293	0.10	7	3.05	220	0.00	0	3642	480	5182	34%
35	1.78	118	0.69	46	0.00	0	4.94	355	0.00	0	3159	0	3678	24%
36	0.55	36	0.91	60	0.27	18	2.41	173	0.00	0	0	0	288	2%
37	2.46	163	0.94	62	0.13	9	9.65	695	0.00	0	8349	120	9397	62%
38	5.16	341	1.49	98	0.00	0	5.79	417	1.27	84	7686	240	8866	58%
39	0.96	64	0.50	33	0.00	0	6.14	442	0.00	0	1146	0	1684	11%
40	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0	0	0%
41	7.59	501	4.69	310	0.21	14	2.62	188	0.00	0	5584	360	6956	46%
42	7.68	507	12.71	839	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	720	2066	14%
43	8.12	536	4.69	310	0.10	7	3.32	239	0.00	0	2780	360	4231	28%
44	0.37	25	0.58	38	0.00	0	0.00	0	0.00	0	0	0	63	0%
45	6.64	438	3.28	216	0.18	12	5.20	375	0.00	0	2524	0	3565	23%
46	7.48	494	7.16	472	0.21	14	3.99	287	0.00	0	2568	480	4314	28%
47	6.93	457	2.93	194	0.18	12	7.61	548	0.00	0	4428	120	5759	38%
48	6.60	436	1.24	82	0.28	18	7.40	533	0.00	0	4374	120	5563	36%
49	8.15	538	6.63	438	0.10	7	3.48	251	0.00	0	1652	480	3366	22%
50	8.19	541	4.44	293	0.10	7	3.05	220	0.00	0	3642	480	5182	34%

Tabela 1. Cena koštanja individualnih elemenata objekta za prvih 50 kvadrova

Preko tabele moguće je interpretirati vrednosti pojedinih kvadrova i analizirati učešće nezavisnih elemenata u ukupnoj ceni. Najvažniji rezultat analize predstavlja konačni 3D prikaz analize koji se može kontekstualno posmatrati i analizirati. Elementi BIM projekta u analizi su podeljeni na više nezavisnih geometrija (*Mesh*) i kao takvi dobijaju atribute boje prenesene preko opcije za odabir materijala (slika 49). Ovi elementi su na taj način spremni za izvoz u program za zbirnu vizualizaciju u VR tehnologiji.

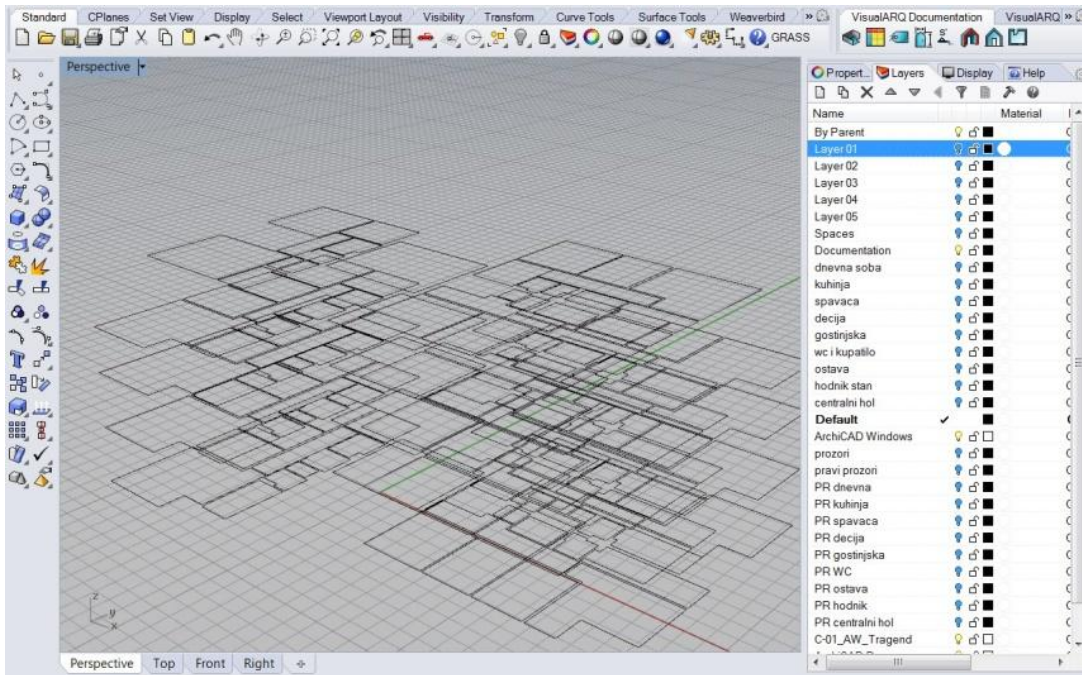


Slika 49. Prikaz završene analize cene koštanja u programu Rhinoceros 3D. Na slici svaki od klastera ima odgovarajuću boju u skladu sa cenom koštanja delova objekta.

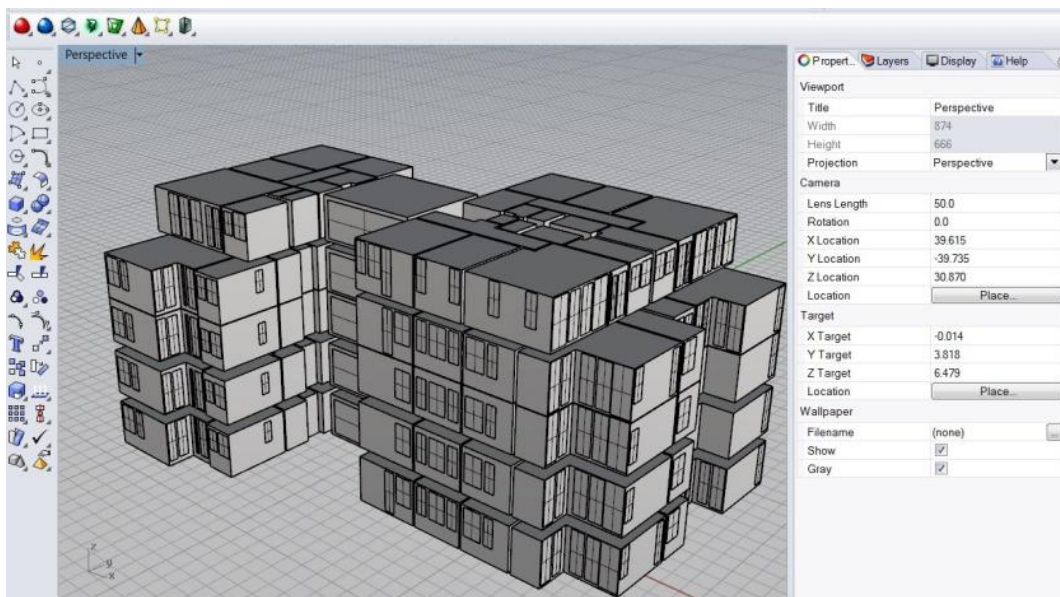
## 5.2.2 Analiza energetske efikasnosti objekta

Analiza sprovedena u odnosu na predviđeni model, a šema i izgled algoritma predstavljeni su slikama 18-24. U navedenoj analizi važan deo predstavlja filtriranje rezultata. Na slici 50 mogu se videti uvezene zone u program *Rhinoceros 3D* koje se prikazuju kao niz zatvorenih linija. Na slici 51 prikazan je proces u kojem se linije pretvaraju u 3D geometriju i dodaju im se prozori sa oblikom površi prema uslovima pod kojim se analiza vrši. Slika 51 ilustrativno prikazuje dalje filtriranje zona gde je zelenom bojom selektovan niz prostorija koje se izdvajaju kao spavace sobe u projektu. Filtriranje pojedinačnih namena prostorija u ovoj analizi

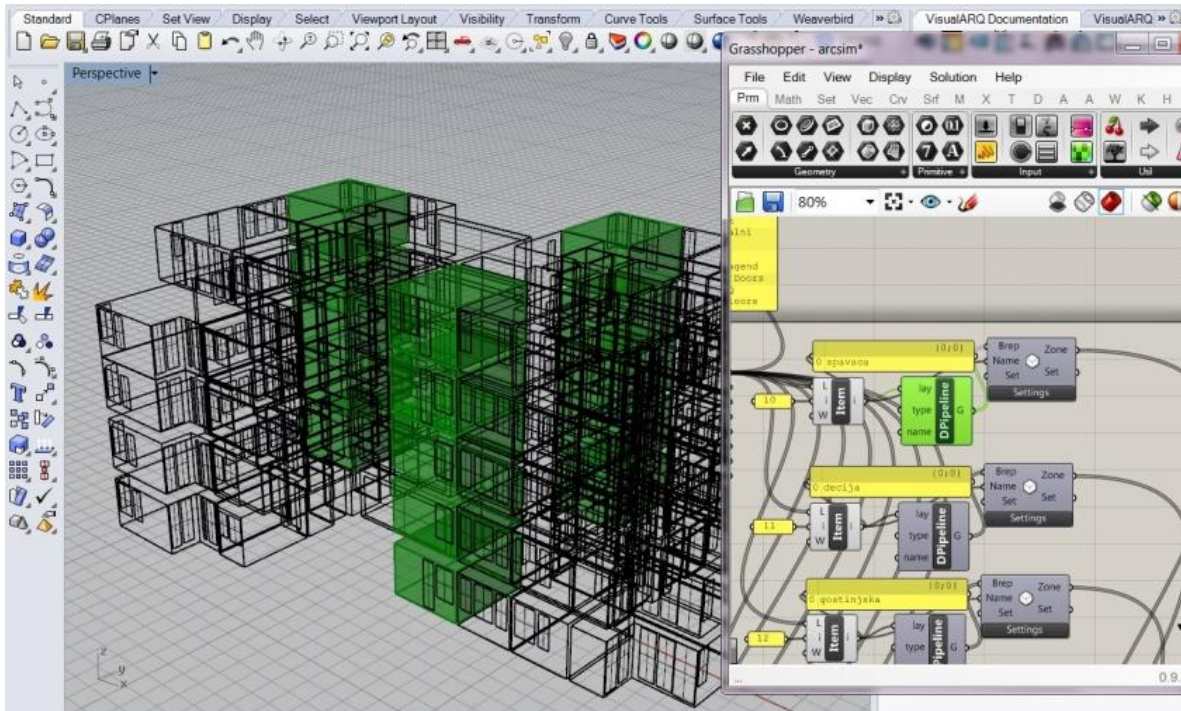
je urađeno poluautomatizovano, ali je mogući potpuni automatizam ukoliko se primene striktna pravila za imenovanje zona u BIM softveru.



Slika 50. Prikaz zona učitanih u radu u obliku zatvorenih linija



Slika 51. Prikaz geometrije zona (unutrašeg dela prostorija) i prozora



Slika 52. Izdvojena selekcija spavćih soba preko predloženog algoritma

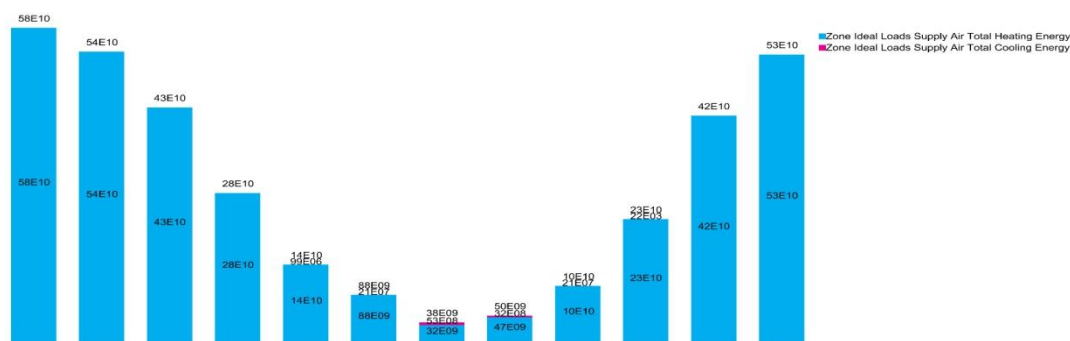
Za analizu je bilo neophodno obezbediti .epw fajl<sup>20</sup>, odnosno fajl u kojem su zabeležene vremenske prilike za određenu lokaciju. U odnosu na lokaciju, potrebno je utrošiti više ili manje količine energije za grejanje/hlađenje. Nakon sprovođenja analize dobijaju se rezultati koji se mogu interpretirati preko grafika ili tabela kako je to prikazano na tabeli 2 i slici 53. U tabeli 2 moguće je videti rezultate nezavisnih prostorija prema utrošku energije za grejanja i hlađenje u toku 12 meseci u godini. U tabeli je prikazano prvih 26 od 122 prostorije koje se nalaze u analizi. Za svaki od pojedinačnih prostora izračunat je godišnji prosek potrošnje (poslednja kolona) i u odnosu na dobijeni prosek izvršena je vizualizacija rezultata.

Na grafičkom prikazu na slici 53 prikazan je grafik ukupne potrošnje za ceo objekat prema mesecima. Grafik je moguće generisati preko osnovnog programa (Rhinoceros 3D), a tabela je izrađena u softveru *Microsoft Excel* prema potrebama analize prosleđivanjem rezultata analize.

<sup>20</sup> Fajl koji je korišćen odnosi se na vremenske prilike u Minhenu, Nemačka, jer je tamo objekat iz BIM projekta izveden. Baza podataka za ovu vrstu fajlova obezbeđena je od strane *Energy Plus* organizacije i može se naći na adresi: <https://energyplus.net/weather/simulation> (pristupljeno 20.06.2016.)

prostorija	januar	februar	mart	april	maj	jun	jul	avgust	septembar	oktobar	novembar	decembar	prosek
0	0.958	0.948	0.719	0.424	0.163	0.070	0.238	0.014	0.102	0.338	0.698	0.939	0.47
1	0.931	0.921	0.703	0.412	0.164	0.075	0.200	0.010	0.089	0.300	0.693	0.938	0.45
2	0.969	0.959	0.736	0.443	0.181	0.081	0.251	0.017	0.114	0.351	0.702	0.937	0.48
3	0.912	0.902	0.690	0.402	0.150	0.065	0.190	0.010	0.083	0.290	0.676	0.928	0.44
4	0.958	0.948	0.730	0.437	0.164	0.069	0.248	0.017	0.112	0.348	0.688	0.928	0.47
5	0.946	0.936	0.712	0.422	0.159	0.067	0.235	0.015	0.100	0.335	0.684	0.930	0.46
6	0.949	0.939	0.718	0.429	0.168	0.073	0.235	0.015	0.103	0.335	0.687	0.929	0.46
7	0.957	0.947	0.732	0.445	0.178	0.078	0.244	0.019	0.114	0.344	0.690	0.928	0.47
8	0.925	0.915	0.705	0.419	0.167	0.075	0.203	0.012	0.092	0.303	0.682	0.928	0.45
9	0.956	0.946	0.728	0.436	0.170	0.074	0.243	0.017	0.109	0.343	0.687	0.925	0.47
10	0.945	0.935	0.716	0.429	0.166	0.071	0.232	0.015	0.102	0.332	0.684	0.926	0.46
11	0.921	0.911	0.703	0.419	0.164	0.073	0.201	0.012	0.091	0.301	0.678	0.924	0.45
12	0.926	0.916	0.687	0.390	0.129	0.047	0.217	0.009	0.082	0.317	0.677	0.933	0.44
13	0.927	0.917	0.689	0.391	0.130	0.047	0.216	0.010	0.081	0.316	0.676	0.935	0.44
14	0.902	0.892	0.669	0.375	0.120	0.040	0.182	0.005	0.068	0.282	0.669	0.931	0.43
15	0.910	0.900	0.720	0.430	0.199	0.103	0.249	0.023	0.128	0.349	0.717	0.917	0.47
16	0.939	0.929	0.742	0.453	0.211	0.108	0.279	0.026	0.143	0.379	0.724	0.914	0.49
17	0.921	0.911	0.737	0.449	0.218	0.117	0.251	0.022	0.133	0.351	0.719	0.914	0.48
18	0.916	0.906	0.726	0.428	0.200	0.101	0.250	0.023	0.128	0.350	0.719	0.919	0.47
19	0.939	0.929	0.738	0.441	0.210	0.104	0.276	0.025	0.139	0.376	0.725	0.918	0.48
20	0.951	0.941	0.755	0.471	0.233	0.119	0.288	0.026	0.150	0.388	0.725	0.912	0.50
21	0.902	0.892	0.725	0.444	0.210	0.110	0.239	0.022	0.128	0.339	0.703	0.901	0.47
22	0.892	0.882	0.704	0.416	0.179	0.087	0.241	0.024	0.121	0.341	0.701	0.908	0.46
23	0.927	0.917	0.735	0.449	0.203	0.102	0.273	0.027	0.139	0.373	0.710	0.903	0.48
24	0.926	0.916	0.731	0.439	0.197	0.093	0.272	0.028	0.138	0.372	0.710	0.910	0.48
25	0.899	0.889	0.711	0.417	0.183	0.089	0.241	0.023	0.122	0.341	0.703	0.909	0.46

Tabela 2. Rezultat analize energetske efikasnosti projekta za prvih 25 prostorija

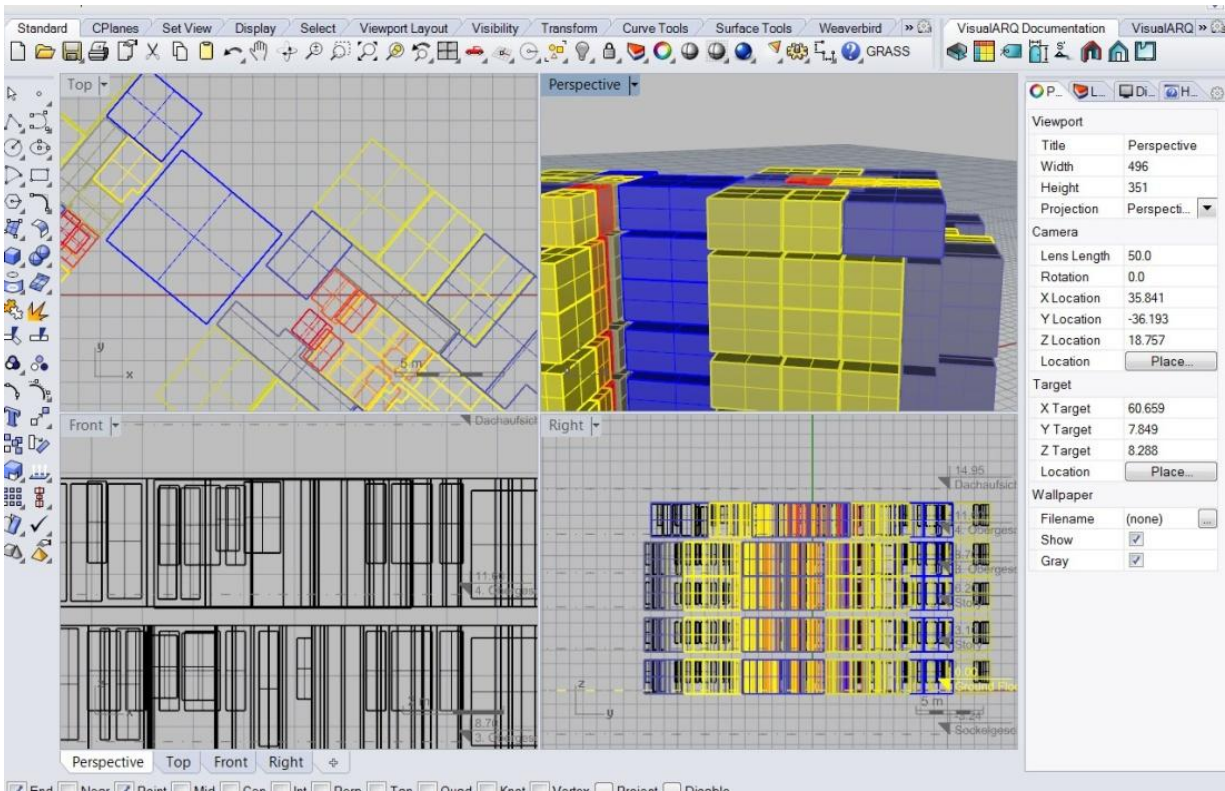


Slika 53. Grafički prikaz rezultata energetske efikasnosti objekta prikazan po mesecima, generisan preko dodatka Archsim

U pogledu rezultata analize moguće je direktno korišćenjem dodatka *Grasshopper* predstaviti 3D rezultate analize (slika 54). Slično kao u prethodnoj analizi potrebno je da se



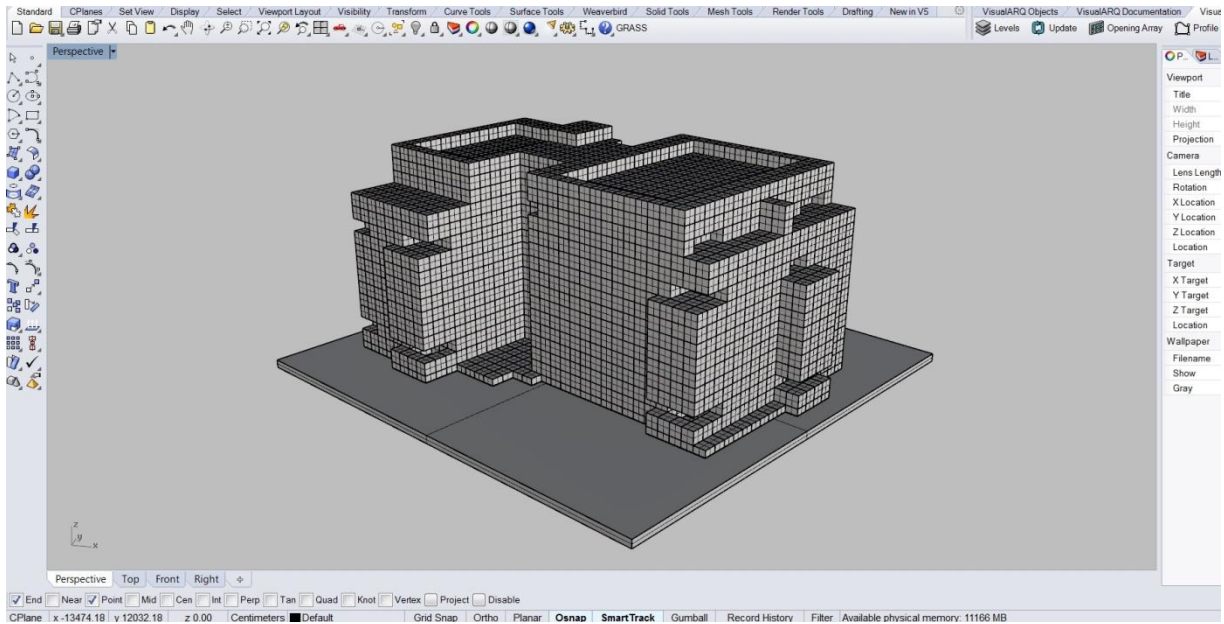
materijali objekta formiraju tako da im se dodele boje i na taj način izvedu u softver za VR vizualizaciju.



Slika 54. 3D vizualizacija rezultata analize u softveru Rhinoceros 3D

### 5.2.3 Analiza zdravih uslova stanovanja u vidu dnevne osvetljenosti prostorija

Prvi korak u analizi dnevne osvetljenosti prostorija predstavlja pojednostavljevanje forme objekta i njeno predstavljanje preko vokseli, a šema i izgled algoritma predstavljeni su slikama 25-29. Za odabranu analizu izabrana je rasterska vrednost od 1 metra, a za preciznije analize može se raditi i sa manjim vrednostima. Nakon sprovedenog algoritma predstavljenog na slici 25, dobijene su nezavisne geometrije kocki 1m x 1m x 1m. Za sprovođenje analize izvedena je buleova operacija unije u programu *Rhinoceros 3D*. Krajnji rezultat jedinstvenog uniformnog omotača prikazan je na slici 55.



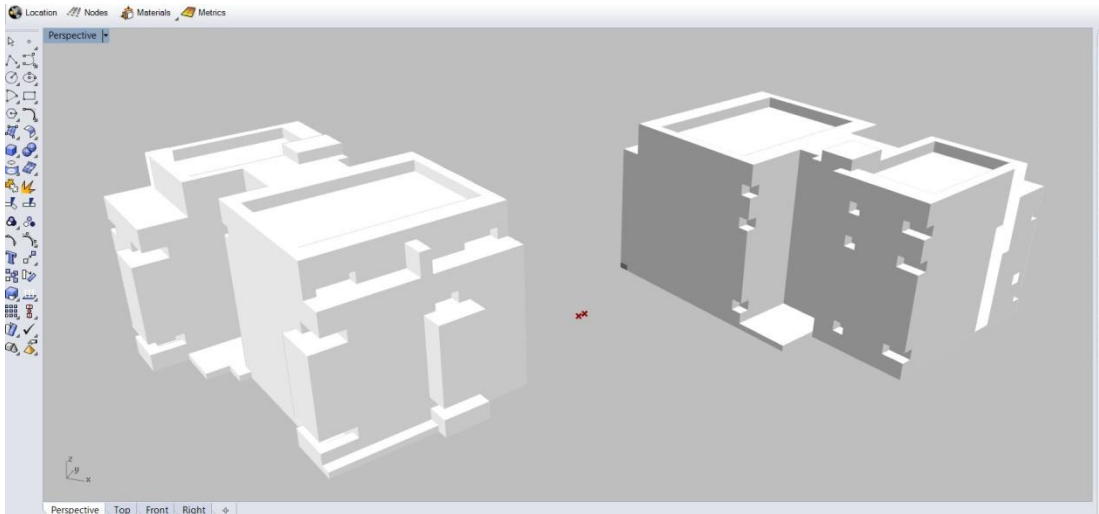
Slika 55. Spoljni omotač objekta formiran u odnosu na osnovnu geometriju automatizovanom metodom vokselu zadanog rastera od 1m

Analiza osunčanosti sprovedena je u odnosu na predviđeni model, a šema i izgled algoritma predstavljeni su slikama 30-32 i 35. Proces analize podrazumeva izvođenje nezavisnih analiza čiji se rezultati prenose u softver *Microsoft Excel* i dalje obrađuju. Analizirani model ima 676 nezavisnih površi i rezultati se klasteruju u odnosu na njihov redni broj i broj dana koji se analizira. Za potrebe analize potrebno je izabrati i .epw fajl za vremenske prilike, kao i u prethodnom slučaju sa energetsom efikasnošću. Ukoliko se radi na lokaciji za koju nisu generisani podaci predviđeni proračunom izrađuje se i analiza od 40 dana za test objekat objašnjen u poglavlju 3.3.

Prikaz rezultata u softveru *Microsoft Excel* podrazumeva redukciju rezultata (slika 56), analizu zadovoljavanja uslova od 190 lx (slika 57) i kreiranje rezultata (slika 58). Rezultat se obrađen vraća u *Grasshopper* da bi se prikazali rezultati analize.



Rezultati analize se učitavaju i generišu se 3D model gde su nijansama sive boje predstavljeni uslovi godišnje osvetljenosti delova projekta. Na slici 59 predstavljena je generisana vizualizacija predložene analize.



Slika 59. Prikaz konačnog rezultata godišnje dnevne osvetljenosti u softveru Rhinoceros 3D

### 5.3 Prikaz rezultata u virtuelnoj realnosti i diskusija rezultata

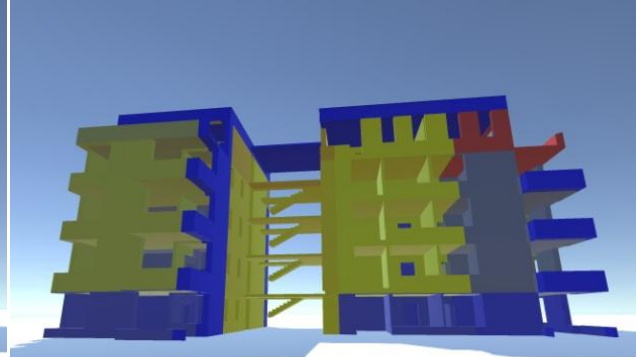
Tri navedena rezultata u vidu 3D prikaza modela uneseni su u program *Unity 3D* sa ciljem izrade vizualizacije u VR okruženju. Dobijeni rezultati su obrađeni i dodatno izvedeni u vidu nezavisnog .exe programa. Ostvaren je cilj da se predstave modeli koji se kontekstualno menjaju u odnosu na tip analize koji se želi prikazati preko tastera 1-4 na tastaturi, gde je tasterom 1 moguće pregledati osnovni objekat (slika 60a) predstavljen u *Clay* stilu (sve površine osim stakla su bele boje). Unesena je ploča predviđena za kretanje po prostoru oko objekta i uklonjena su sva vrata kako bi se moglo nesmetano prolaziti kroz sve prostorije. Tasterom 2, poziva se prikaz prve analize, odnosno analize cene koštanja objekta (slika 60b). Crvenom bojom prikazani su najskuplji delovi projekta prema proračunu. Ukoliko je potrebno napraviti redukciju budžeta, može se smanjiti broj prozora ili naručiti jeftiniji prozori za taj deo projekta. Taster 3 predstavlja analizu energetske efikasnosti gde su prikazani rezultati nezavisnih zona (slika 60c). U kontekstu ove analize ostavljena je geometrija pozicija prozora. Zutom i narandžastom bojom prikazane su prostorije koje troše najviše energije. Na tim mestima može se namena prilagoditi sadržajima kojima ne treba konstantno zagrevanje i hlađenje tokom svih

dana u mesecu. Tasterom 4 dobija se analiza osunčanosti spoljnog omotača objekta (slika 60d). U ovoj analizi nisu data fizička svojstva materijala izuzev boje i moguće je kretati se kroz geometriju. Na mestima koja imaju tamniju boju preporučljivo je da se predviđaju namene prostorija gde se dugo boravi ili je potrebno na tim mestima postaviti veće prozore nego kod ostalih prostorija.

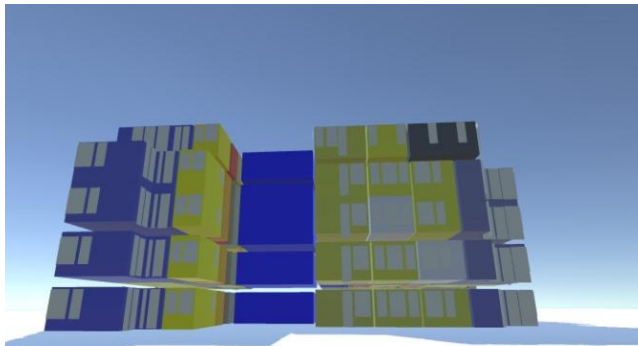
a)



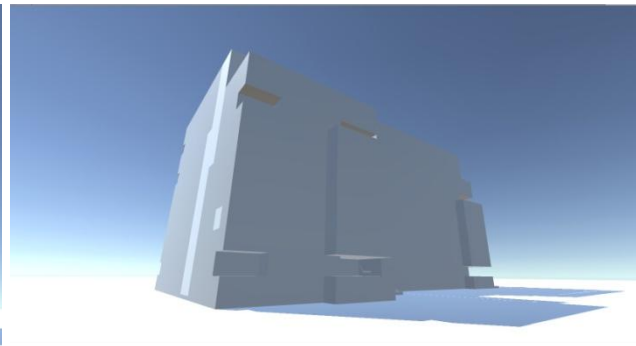
b)



c)



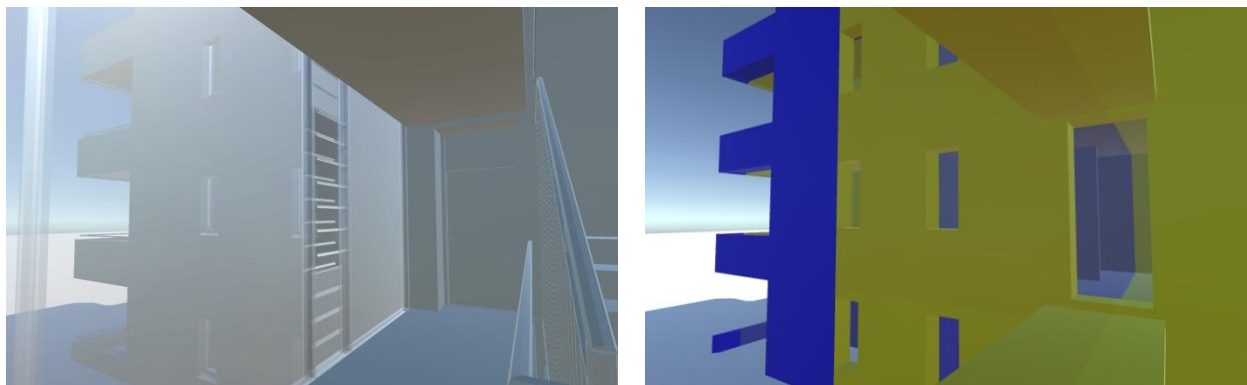
d)



Slika 60. Prikazi modela u VR tehnologiji izborom opcija za prikaz različitih analiza: a) osnovni model; b) analiza cene koštanja; c) analiza energetske efikasnosti objekta; d) analiza osunčanosti objekta

Primenom predloženog modela moguće je prikazati i veći broj analiza koje se sprovode. Količina različitih analiza nije od većeg značaja, sa aspekta vizualizacije rezultata, jer program generiše samo jednu analizu, dok sve ostale zanemaruje u pogledu korišćenja hardverskih mogućnosti računara.

Na slici 61 prikazan je jedan od mogućih vidova primene izrađene aplikacije. Prilikom kretanja objektom u osnovnom prikazu moguće je sagledati cenu koštanja dela projekta i analizirati rezultate. Ovim se postiže stepen imersije koji je obrazložen u poglavlju 4. Žutom bojom obeležen je skuplji deo projekta zbog upotrebe skupih staklenih panela, a plavom su obeleženi delovi gde je potrebno manje materijalnih sredstava za njihovo izvođenje.



Slika 61. Prikaz mogućeg korišćenja VR aplikacije: osnovni model (levo), pritiskom tastera 2 prikazuje se model analize cene koštanja (desno)

Različiti stil vizualizacije analiza može predstavljati prednost u vidu prepoznatljivosti i lakše imersije prilikom donošenja odluka učestvovanjem u simulaciji u virtualnom okruženju. Rešenje je moguće sagledati preko više metoda uključujući 3D prozor, *realtime* aplikacije ili *web3D* aplikacije, ali virtualna realnost nudi mogućnost da se objekat vidi iz svih uglova posmatranja u okruženju u kojem će se posmatrati u realnosti. U ovom tipu prikaza arhitekta može donositi odluke na osnovu ličnih impresija, ali uz korišćenje rezultata virtualnih simulacija kako bi se ocenili pravi rizici i povoljnosti izvođenja.

U pogledu analize cene koštanja projekta moguće je sagledati da je na poslednjem spratu potrebno uložiti više sredstava nego u drugim delovima objekta. Za ovo je odgovorna najveća količina prozora po klasteru.

U pogledu zaključaka može se doneti odluka da se prostor izmeni ili se poslednji sprat predvidi za tip stanovanja koji je luksuzniji u odnosu na ostale stanove.

U pogledu energetske efikasnosti može se videti da je shodno uslovima energetske efikasnosti zajednički hodnik potrebno najmanje zagrevati/hladiti što je u skladu sa uslovima

postavljenim u proračunu. Za određene prostorije koje su obeležene crvenom bojom može se razmotriti promena veličine prozora shodno nameni.

U pogledu analize osunčanosti, ulazni deo ima najviše različitih rezultata na fasadi iz razloga što je prema modelu okrenut u pravcu sever-severozapad, što u određenim periodima godine predstavlja razlog za manju osunčanost. U delovima koji imaju lošiji rezultat, sa aspekta ove analize, moguće je predvideti drugačiju namenu od dnevne sobe ili je potrebno razmotriti dispoziciju i rotaciju objekata na parceli.

## **6 Zaključak i pravci daljih istraživanja**

Projektovanje arhitektonskog rešenja obuhvata kompleksan niz procedura i odluka koje je potrebno izvršiti kako bi se dobilo konačno rešenje. U periodu razvoja arhitekture kao profesije kroz vekove, ovaj proces je bilo potrebno manuelno izvršavati, a konačan rezultat zavisio je od mnogo faktora od kojih se ovde izdvajaju pripadnost arhitektonskom stilu, odnos prema prirodi, odnos prema osunčanosti, ceni koštanja projekta i drugo. Tokom istorije arhitekture izdvajali su se arhitekti koji su više različitih principa primenjivali istovremeno poput Andrea Paladia, koji je vodio računa o ceni koštanja projekta i pripadnosti stila i Le Korbizjea, koji je posebnu pažnju posvećivao uticajima prirode i prirodnog osvetljenja, kao i ekonomskom aspektu projekta.

Primenom informacionih tehnologija i dostupnih alata za modelovanje i izvršavanje simulacija i analiza moguće je donositi odluke u arhitektonskom projektovanju sa većim stepenom sigurnosti ili korigovati odluke na osnovu rezultata. Ovaj princip posebno se odnosi na fazu projektovanja kada se izrađuje idejno arhitektonsko rešenje. Primenom BIM tehnologije i tehnologije virtuelne realnosti u izradi simulacija i analiza prikazana je mogućnost unapređenja donošenja odluka i izveden je novi sistem prilagođen potrebama projektanta u arhitekturi.

U sklopu ove teze, izvršeno je istraživanje u pogledu izvršenja analiza i simulacija idejnog arhitektonskog projekta. Kroz analizu širokog skupa publikacija izvršen je uvid u



osnovne karakteristike konstitutivnih elemenata projekata sa posebnim osvrtom na svojstva koja mogu biti obuhvaćena analizama u odnosu na primenu BIM tehnologije.

U okviru teze definisan je model, kao i skup pod-modela kojim se definišu tipovi analiza shodno primeni BIM tehnologije u arhitektonskom projektovanju. Model je predstavljen preko više šema sa različitim fokusima u odnosu na tip analize i preko algoritama koji su prikazani u vizuelnom programerskom alatu *Grasshopper* čime je omogućeno detaljno formulisanje automatizovane aplikacije prema predloženom modelu. Sistem je takođe konkretizovan i formulisan tako da može podržavati analize, a preko njega je i ekperimentalno testiran odabrani objekat predstavljen u BIM tehnologiji. Model predstavljen u tezi je otvoren i ujedno i proširiv sa predviđenim mogućnostima za proširenja opisanim u radu.

Rezultati istraživanja, prezentirani u sklopu ove teze, mogu poslužiti kao osnov za buduće projektovanje i realizaciju proširivog programskog proizvoda (softvera) za kvalitetniju podršku procesu projektovanja u arhitekturi.

Mogućnost povezivanja sa drugim komercijalnim alatima za podršku pojedinačnim dimenzijama doprinosi integrisanju postojećih i budućih korisnih rešenja u sastav modelovanog softverskog proizvoda. Na taj način se otvara mogućnost kvalitetnije podrške pri donošenju odluka u arhitektonskom projektovanju.

Rezultati istraživanja mogu direktno primeniti u edukaciji budućih arhitekata uz oslonac na generisanje ciljnih scenarija i situacionog treninga studenata arhitekture. Obrazovanjem novih generacija, na principima na kojima su zasnovani teжом predloženi modeli, doprinelo bi njihovom potpunijem sagledavanju i analitičnijem pristupu procesu arhitektonskog projektovanja, posebno u oblasti izrade idejnog rešenja.

## **6.1 Ograničenja u istraživanju**

Arhitektonsko projektovanje predstavlja niz složenih procesa. U formulaciji alata koji će pomoći da se donesu konkretne odluke na bazi performanse objekta, a koje teže ka punoj automatizaciji ovog procesa, kako bi se moglo primeniti veliki broj analiza bez obuka u različitim softverima, neophodno je pojednostaviti određene parametre.

U definisanju posebnih pod-modela potrebno je formirati baze podataka koje su u mogućnosti da parametre koje je moguće ispitati korišćenjem BIM tehnologije i filtriranjem

različitih elemenata maksimalno iskoriste. Posebna pažnja u ovom pogledu treba da se posveti formiranju baze podataka koja podržava kalkulaciju cene koštanja elemenata konstrukcije u odnosu na volumen ili količinu. Pored toga potrebno je formiranje baze podataka za različite tipove korišćenja prostora u odnosu na namenu i baze podataka gotovih analiza test objekta osvetljenja za različite geografske lokacije. U sklopu analiziranog primera u tezi ove baze su izrađene manuelno.

Ispitivanje predloženog modela izvedeno je na jednom test objektu. U cilju potpune verifikacije upotrebljivosti predloženog modela potrebno je analizirati više objekata izrađenih u više BIM softvera kako bi se mogli unaprediti automatizovani procesi koji su formulisani u sklopu pod-modela.

Proces automatizacije je moguće unaprediti sa aspekta korišćenja homogenih programerskih alata koji izvode analize bez potrebe oslonca na različite aplikacije.

## **6.2 Pravci daljih istraživanja**

Pravci daljih istraživanja, kao posledica rezultata ostvarenih prilikom izrade ove teze, mogu se posmatrati sa sledećih aspekata:

- unapređenje modela definisanjem većeg broja analiza koje se odnose na procese arhitektonskog projektovanja,
- stvaranje podloga za intenzivniju primenu savremenih informacionih i komunikacionih tehnologija u procesu edukacije u oblasti arhitekture,
- izrada orkestracije interoperabilnih komercijalno raspoloživih programskih paketa za podršku arhitektonskom projektovanju zasnovanom na predloženim modelima interoperabilnosti, i
- razvoj nove generacije programskih alata za podršku arhitektonskom projektovanju na bazi daljih rafinacija tezom formulisanog modela prostora.

Primenom formulisanog modela moguće je analizirati BIM modele objekata u analizama cene koštanja, energetske efikasnosti i osvetljenosti spoljašnjeg omogača objekta, što je primarni cilj ove teze. Pored ovih analiza, formulisani model može poslužiti kao podloga za

utvrđivanje uzročno-posledičnih veza između geometrije objekta i odabranog skupa njegovih svojstava.

Prikazani modeli mogu biti dopunjeni variranjem geometrije kao specifične kompozitne dimenzije prostora. Parametarskim upravljanjem geometrijom modelovanog prostora moguće je proširiti istraživanja na bazne oblasti arhitektonskog projektovanja koje uključuju osnovne i proširene geometrijske šeme. Poseban izazov u tom smislu predstavljaju istraživanja u domenu parametarske arhitekture.

U pogledu automatizacije procesa projektovanja moguće je u daljim istraživanjima unaprediti model u vidu definisanja korektivnog seta elemenata. Implementacija određenog skupa parametara u fazi u kojoj je prema modelu iz ove teze predviđena manuelna izmena mogla bi ubrzati postupak korigovanja rada koji bi se mogao odvijati u potpunosti u virtuelnoj realnosti. Ovakav pristup mogao bi se izvesti u BIM softveru sa okruženjem dodatka *Grasshopper*, ali je potrebno više istražiti relevantne parametre koji utiču na najčešće izmene u idejnom arhitektonskom projektu.

## 7 Literatura

Agnes M. (2003). Webster's New World College Dictionary, John Wiley & Sons Incorporated.

Aish, R. (1986, July). *Building modeling: the key to integrated construction CAD*. In CIB 5th International Symposium on the Use of Computers for Environmental Engineering Related to Buildings (Vol. 5, pp. 7-9).

Al-Hussein, M., Niaz, M. A., Yu, H., & Kim, H. (2006). Integrating 3D visualization and simulation for tower crane operations on construction sites. *Automation in Construction*, 15(5), 554-562.

ANSI/ASHRAE (2011). Standard 140-2011: Standard Method of Test for Evaluation of Building Energy Analysis Computer Programs. *American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta, GA*.

Attia, S., Gratia, E., De Herde, A., & Hensen, J. L. (2012). Simulation-based decision support tool for early stages of zero-energy building design. *Energy and buildings*, 49, 2-15.

Asana T., Yano H., and Iwata H. (1997). Basic Technology of Simulation System for Laparoscopic Surgery in Virtual Environment with Force Display, *Medicine Meets Virtual Reality* 5, 207-215.

Augenbroe, G., i De Wit, S. (1997, September). Communicating performance assessments of intermediate building design states. In *Proceedings of the 5th International Building Simulation Conference (IBPSA '97)* (Vol. 2, pp. 429-436).

Augenbroe, G., de Wilde, P., Moon, H. J., & Malkawi, A. (2004). An interoperability workbench for design analysis integration. *Energy and Buildings*, 36(8), 737-748.

Augenbroe, G., i Park, C. S. (2005). Quantification methods of technical building performance. *Building Research i Information*, 33(2), 159-172.

Azhar, S., Nadeem, A., Mok, J. Y., i Leung, B. H. (2008). Building Information Modeling (BIM): A new paradigm for visual interactive modeling and simulation for construction projects. In *Proc., First International Conference on Construction in Developing Countries* (pp. 435-446).

Azhar, S. (2011). Building information modeling (BIM): Trends, benefits, risks, and challenges for the AEC industry. *Leadership and Management in Engineering*.

Barlish, K., i Sullivan, K. (2012). How to measure the benefits of BIM—A case study approach. *Automation in construction*, 24, 149-159.

Basdogan C., Ho C.-H., and Srinivasan M. (1999). Simulation of Tissue Cutting and Bleeding for Laparoscopic Surgery Using Auxiliary Surfaces, *Medicine Meets Vrtuel Reality* 7, 38-44.

Bazjanac, V., & Kiviniemi, A. (2007, June). Reduction, simplification, translation and interpretation in the exchange of model data. In *CIB W* (Vol. 78, pp. 163-168).

Bazjanac, V. (2008). *IFC BIM-based methodology for semi-automated building energy performance simulation*. Lawrence Berkeley National Laboratory.

Bazjanac, V., Maile, T., O'Donnell, J. T., Tarantino, S., Mrazović, N., & Compostella, J. (2014). Streamlining the Value Engineering Process and its Impact on Building Energy Performance. In *Computing in Civil and Building Engineering (2014)* (pp. 235-242). ASCE.

Benevolo, L. (1989). *History of Modern Architecture*. The MIT Press, Cambridge.

Bernstein, P.G., 2005. Building information modeling. *Structural Engineer*(Atlanta, Ga), 6(7), pp.18-21.

Bernstein, H. M., Jones, S. A., Russo, M. A., Laquidara-Carr, D., Taylor, W., Ramos, J., Lorenz, A., Terumasa, Y. (2014). The business value of BIM for construction in major global markets. *Bedford: McGraw Hill Construction*.

BIM Industry Working Group. (2011). A Report for the Government Construction Client Group Building Information Modelling (BIM) Working Party Strategy Paper.

Blanchard, C., Burgess, S., Harvill, Y., Lanier, J., Lasko, A., Oberman, M., & Teitel, M. (1990). *Reality built for two: a virtual reality tool* (Vol. 24, No. 2, pp. 35-36). ACM.

Boktor, J., Hanna, A., i Menassa, C. C. (2013). State of practice of building information modeling in the mechanical construction industry. *Journal of Management in Engineering*, 30(1), 78-85.

Borrmann, A., Van Treeck, C., i Rank, E. (2006, June). Towards a 3D spatial query language for building information models. In *Proc. Joint Int. Conf. of Computing and Decision Making in Civil and Building Engineering (ICCCBE-XI)* (Vol. 2).

Botella, C., García-Palacios, A., Villa, H., Baños, R. M., Quero, S., Alcañiz, M., & Riva, G. (2007). Virtual reality exposure in the treatment of panic disorder and agoraphobia: A controlled study. *Clinical Psychology & Psychotherapy*, 14(3), 164-175.

Boubekri, M. (2008). *Daylighting, architecture and health*. Elsevier, Oxford.

Brown, A. G. (2003). Visualization as a common design language: connecting art and science. *Automation in construction*, 12(6), 703-713.

Buonomano, A. (2016). Code-to-Code Validation and Application of a Building Dynamic Simulation Tool for the Building Energy Performance Analysis. *Energies*, 9(4), 301.

Carpenter, P. (1989). *Wind speeds in city streets - full scale measurements and comparisons with tunnel test*, *Recent advances in Wind Engineering*. Rad izložen na 2. Asia-Pacific Symposium on Wind Engineering, Oxford, UK (str. 845-852).

Ceconello, M., i Spallazzo, D. (2010). Virtual Reality for Enhanced Urban Design. In *5th INTUITION International Conference Proceedings*.

Ciribini, A. L. C., Ventura, S. M. i Bolpagni, M. (2015). Informative content validation is the key to success in a BIM-based project. *Territ. Italia*, 2, 9-29.

Charette, R. P., & Marshall, H. E. (1999). *UNIFORMAT II elemental classification for building specifications, cost estimating, and cost analysis*. US Department of Commerce, Technology Administration, National Institute of Standards and Technology.

Chen, R., & Wang, X. (2008). Tangible augmented reality for design learning: An implementation framework. In Proceedings of CAADRIA 2008 – the association for computer-aided architectural design research in Asia: beyond computer-aided design (pp. 350–356).

Christodoulou, S. E., Chari, A., Xanthos, S. S., Kranioti, S., i Toxqui, E. (2014). Reliability assessment of BIM-based energy efficiency modeling. *eWork and eBusiness in Architecture, Engineering and Construction: ECPPM 2014*, 455.

Crawley, D. B., Pedersen, C. O., Lawrie, L. K., & Winkelmann, F. C. (2000). EnergyPlus: energy simulation program. *ASHRAE journal*, 42(4), 49.

Crawley, D. B., Lawrie, L. K., Winkelmann, F. C., Buhl, W. F., Huang, Y. J., Pedersen, C. O., ... & Glazer, J. (2001). EnergyPlus: creating a new-generation building energy simulation program. *Energy and buildings*, 33(4), 319-331.

CRC Construction Innovation (2007). Adopting BIM for facilities management: Solutions for managing the Sydney Opera House. *Cooperative Research Center for Construction Innovation, Brisbane, Australia*.

Dahn D.A. (1990). A Low-Cost Part-Task Flight Raining System: An Application of a Head Mounted Display, Air Force Institute of Technology.

Dai, W., i Oakes, S. (1997). Knowledge-based code checking program for building design. In *Proceedings of CIB W78 Conference* (pp. 113-121).

Davis, G. (1999). *Building Design Advisor*. Izveštaj komisije

Ding, L.Y., Zhou, C., Deng, Q.X., Luo, H.B., Ye, X.W., Ni, Y.Q., Guo, P., (2013). Realtime safety early warning system for cross passage construction in Yangtze Riverbed Metro Tunnel based on the internet of things. *Automation in Construction* 36, 25–37.

Ding, L., Drogemuller, R., Rosenman, M., Marchant, D., and Gero, J. (2006). Automating code checking for building designs-DesignCheck. Clients driving construction innovation: moving ideas to practice, pp. 1–16. CRC for Construction Innovation.

Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings.

Dimiyadi, J., i Amor, R. (2013). Automated Building Code Compliance Checking–Where is it at. *Proceedings of CIB WBC*, 172-185.

Dogan, T. (2015). Procedures for Automated Building Energy Model Production for Urban and Early Design. Massachusetts Institute of Technology, Doktorska disertacija.

Dogan, T. (2016). Archsim Primer. (<https://www.gitbook.com/book/tkdogan/archsim-primer/details>, pristupljeno 10. 06. 2016.)

Dobelis, M. (2013). Drawbacks of BIM concept adoption. In *the 12th International Conference on Engineering Graphics, BALTGRAF* (pp. 5-7).

Eastman, C., Lividini, J., & Stoker, D. (1975, May). A database for designing large physical systems. In *Proceedings of the May 19-22, 1975, national computer conference and exposition* (pp. 603-611). ACM.

Eastman, C., & Henrion, M. (1977, July). Glide: a language for design information systems. In *ACM SIGGRAPH Computer Graphics* (Vol. 11, No. 2, pp. 24-33). ACM.

Eastman, C. M. (1999). Building product models: computer environments, supporting design and construction. CRC press.

Eastman, C., Lee, J. M., Jeong, Y. S., i Lee, J. K. (2009). Automatic rule-based checking of building designs. *Automation in Construction*, 18(8), 1011-1033.

Eastman, C. M., Teicholz, P., i Sacks, R. (2011). *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley i Sons.

Edwards, L., i Torcellini, P. A. (2002). *A literature review of the effects of natural light on building occupants*. Golden, CO: National Renewable Energy Laboratory.



Emmelkamp, P. M., Bruynzeel, M., Drost, L., & van der Mast, C. A. G. (2001). Virtual reality treatment in acrophobia: a comparison with exposure in vivo. *CyberPsychology & Behavior*, 4(3), 335-339.

Evans, G. W. (2003). The built environment and mental health. *Journal of Urban Health*, 80(4), str. 536-555

Fang, L., Clausen, G., i Fanger, P. O. (1998). Impact of temperature and humidity on the perception of indoor air quality. *Indoor Air*, 8(2), str. 80-90.

Ferrer-García, M., & Gutiérrez-Maldonado, J. (2012). The use of Virtual reality in the study, assessment, and treatment of body image in eating disorders and nonclinical samples: a review of the literature. *Body Image*, 9(1), 1-11.

Foliente, G. C., Leicester, R. H., i Pham, L. (1998). Development of the CIB proactive program on performance-based building codes and standards. *BCE Doc*, 98, 232.

Forbes, L. H., & Ahmed, S. M. (2011). Foundations of lean construction. *Modern Construction: Lean Project Delivery and Integrated Practices*.

Forgues, D., Iordanova, I., Valdivesio, F., i Staub-French, S. (2012). Rethinking the cost estimating process through 5D BIM: a case study. In *Construction Research Congress* (pp. 778-786).

Freitas, M. R., & Ruschel, R. C. (2013). What is happening to virtual and augmented reality applied to architecture? In *Proceedings of the 18th international conference on computer-aided architectural design research in Asia, (CAADRRIA 2013)*, Hong Kong (pp. 407–416).

Fried, M. (1982). Residential attachment: Sources of residential and community satisfaction. *Journal of social issues*, 38(3), str. 107-119.

Frumkin, H. i Fox, J. (2011). Contact with Nature. *Making Healthy Places*, Island Press, str. 229-243.

Gasser, U. i Palfrey, J. (2008). Breaking down digital barriers: When and how ICT interoperability drives innovation. *Berkman Center Research Publication*, (2007-8).

Garcia-Palacios, A., Botella, C., Hoffman, H., & Fabregat, S. (2007). Comparing acceptance and refusal rates of virtual reality exposure vs. in vivo exposure by patients with specific phobias. *Cyberpsychology & behavior*, 10(5), 722-724.

Gilligan, B., & Kunz, J. (2007). VDC use in 2007: significant value, dramatic growth, and apparent business opportunity. *TR171*, 36.

Givoni, B. (1998). *Climate considerations in building and urban design*. John Wiley & Sons.

Grondzik, W. T., Kwok, A. G., Stein, B., & Reynolds, J. S. (2010). *Mechanical and Electric Equipment for Buildings*, 426, J.

Gu, N., i London, K. (2010). Understanding and facilitating BIM adoption in the AEC industry. *Automation in construction*, 19(8), 988-999.

Hallberg, D., i Tarandi, V. (2011). On the use of open bim and 4d visualisation in a predictive life cycle management system for construction works. *Journal of Information Technology in Construction (ITcon)*, 16, 445-466.

Hampson, K. D., i Brandon, P. (2004). *Construction 2020-A Vision For Australia's Property And Construction Industry*. CRC Construction Innovation.

Han, C. S., Kunz, J. C., i Law, K. H. (1998). A Hybrid Prescriptive/Performance Based Approach to Automated Building Code Checking. In *International Computing Congress* (pp. 537-548).

Hawkes, D. (1996). *The environmental tradition: Studies in the architecture of environment*. Spon, London.

Hayter, S., Torcellini, P., Hayter, R. B., i Judkoff, R. (2001, September). *The energy design process for designing and constructing high-performance buildings*. *Clima*. Clima 2000/Napoli 2001 World Congress – Napoli.

Hensen, J. L., & Lamberts, R. (2011). Introduction to building performance simulation. *Building performance simulation for design and operation*, 365-401.

Hilfert, T. i König, M. (2016). Low-cost virtual reality environment for engineering and construction. *Visualization in Engineering*, 4(1), 1-18.

Horvat, M. i Dubois, M. C. (2012). Tools and methods for solar design—an overview of IEA SHC task 41, subtask B. *Energy Procedia*, 30, 1120-1130.

Hubert, M., Dumont, M., i Paquet, J. (1998). Seasonal and diurnal patterns of human illumination under natural conditions. *Chronobiology international*, 15 (1), str. 59-70.

Ibarra, D. i Reinhart, C. F. (2009). *Daylight factor simulations - How close do simulation beginners 'really' get?* Building Simulation 2009. Glasgow, Scotland, IBPSA: str. 196-203.

Indraprastha, A., i Shinozaki, M. (2009). The investigation on using Unity3D game engine in urban design study. *Journal of ICT Research and Applications*, 3(1), 1-18.

Jaradat, S., Whyte, J., i Luck, R. (2013). Professionalism in digitally mediated project work. *Building Research i Information*, 41(1), 51-59.

Jiao, Y., Zhang, S., Li, Y., Wang, Y., & Yang, B. (2013). Towards cloud augmented reality for construction application by BIM and SNS integration. *Automation in construction*, 33, 37-47.

Joarder, M.A.R. i Price, A.D.F. (2011, Jul). *Therapeutic Daylight for Hospital Patients: A Search for the Benchmarks*. European Conference on Design for Health, , Sheffield, UK.

Joarder, A. R., & Price, A. D. (2012). Impact of daylight illumination on reducing patient length of stay in hospitals after coronary artery bypass graft surgery. *Lighting Research and Technology*, 1477153512455940.

John N.W. (2008). Design and Implementation of Medical Training Simulators, virtual Reality 12, 269-279.

Jongeling, R. (2006). A process model for work-flow management in construction. *Luleå University of Technology*, Doktorska disertacija.

Kamat, V. R., & Martinez, J. C. (2004). Dynamic three-dimensional visualization of fluid construction materials. *Journal of computing in civil engineering*, 18(3), 237-247.

Kaner, I., Sacks, R., Kassian, W., & Quitt, T. (2008). Case studies of BIM adoption for precast concrete design by mid-sized structural engineering firms.

Kang, S., & Miranda, E. (2006). Planning and visualization for automated robotic crane erection processes in construction. *Automation in Construction*, 15(4), 398-414.

Kanters, J., Horvat, M., & Dubois, M. C. (2014). Tools and methods used by architects for solar design. *Energy and Buildings*, 68, 721-731.

Kato, S. i Hiyama, K. (Eds.). (2012). *Ventilating Cities: Air-flow Criteria for Healthy and Comfortable Urban Living*. Springer, Dordrecht

Khemlani, L. (2012). Around the world with BIM. *AECbytes feature*.

Kim, M. J., Wang, X., Love, P., Li, H., i Kang, S. C. (2013). Virtual reality for the built environment: a critical review of recent advances. *Journal of Information Technology in Construction*, 18(2), 279-305.

Kleppe, A. G., Warmer, J., Bast, W., i Explained, M. D. A. (2003). *The model driven architecture: practice and promise*.

Koo, B., i Fischer, M. (2000). Feasibility study of 4D CAD in commercial construction. *Journal of construction engineering and management*.

Koutsabasis, P., Vosinakis, S., Malisova, K., & Paparounas, N. (2012). On the value of virtual worlds for collaborative design. *Design Studies*, 33(4), 357–390

Koutamanis, A. (2000). Digital architectural visualization. *Automation in construction*, 9(4), 347-360.

Kulasekara, G., Jayasena, H. S., & Ranadewa, K. A. T. O. (2013, June). Comparative effectiveness of quantity surveying in a building information modelling implementation. In *The Second World Construction Symposium, Socio-Economic Sustainability in Construction* (pp. 14-15).

Kwon, O. S., Park, C. S., & Lim, C. R. (2014). A defect management system for reinforced concrete work utilizing BIM, image-matching and augmented reality. *Automation in construction*, 46, 74-81.

Latiffi, A. A., Brahim, J. i Fathi, M. S. (2014). The Development of Building Information Modeling (BIM) Definition. In *Applied Mechanics and Materials*, 567, 625-630.

Lazić, M., Perišić, A., i Šidjanin, P. (2015). Theoretical Framework of Computer Cognition for Use in Urban Design Process. *South East European Journal of Architecture and Design*, 2015, 1-6.

Lee, A., Wu, S., Marshall-Ponting, A. J., Aouad, G., Cooper, R., Tah, J. H. M. i Barrett, P. S. (2005). *nD modelling road map: A vision for nD-enabled construction*. Construct IT Report, Salford, UK.

Lee, J. M. (2010). *Automated checking of building requirements on circulation over a range of design phases* (Georgia Institute of Technology, Doktorska disertacija).

Lee, J. K. (2011). *Building Environment Rule and Analysis (BERA) Language*. Georgia Institute of Technology, Doktorska disertacija.

Lee, J. K., Lee, J., Jeong, Y. S., Sheward, H., Sanguinetti, P., Abdelmohsen, S., i Eastman, C. M. (2012). Development of space database for automated building design review systems. *Automation in Construction*, 24, 203-212.

Levy, F., Leboucher, P., Rautureau, G., & Jouvent, R. (2015). E-virtual reality exposure therapy in acrophobia: A pilot study. *Journal of Telemedicine and Telecare*, 1357633X15598243.

Lin, F., Yang, J. i Skitmore, M. (2003) *The integration between design and maintenance of office building automation: A decision support approach*. In, Procs 5th Asia-Pacific Structural Engineering and Construction Conference, Johor Baru, Malaysia, 1-7.

Lin, S. H., & Gerber, D. J. (2014). Evolutionary energy performance feedback for design: Multidisciplinary design optimization and performance boundaries for design decision support. *Energy and Buildings*, 84, 426-441.

Lockley, S., Augenbroe, G. (1999). Data integration with partial exchange. *International Journal of Construction Information Technology*, 7(2), 47-58.

London, K., Singh, V., Taylor, C., Gu, N., i Brankovic, L. (2008). Building information modelling project decision support framework. In *Proceedings of the Twenty-Fourth Annual*

Conference Association of Researchers in Construction Management (ARCOM). Association of Researchers in Construction Management (ARCOM).

MacLeamy, P. (2004). *MacLeamy Curve. Collaboration, Integrated Information, and the Project Lifecycle in Building Design and Construction and Operation* (WP-1202).

Malsane, S., Matthews, J., Lockley, S., Love, P. E., i Greenwood, D. (2015). Development of an object model for automated compliance checking. *Automation in Construction*, 49, 51-58.

Maltby, N., Kirsch, I., Mayers, M., & Allen, G. J. (2002). Virtual reality exposure therapy for the treatment of fear of flying: A controlled investigation. *Journal of Consulting and Clinical Psychology*, 70(5), 1112.

Manojlovich J., Prasithsangaree P., Hughes S., Chen J., and Lewis M. (2003). Utsaf: A Multi-Agent-Based Framework for Supporting Military-Based Distributed Nteractive Simulations in 3d virtual Environments, Winter Simulation Conference, 960-968

Mao, W., Zhu, Y. i Ahmad, I. (2007). Applying metadata models to unstructured content of construction documents: A view-based approach. *Journal of Automation in Construction*, 16(1), 242-252.

Mavridou, M., Hoelscher, C., & Kalf, C. (2009). The impact of different building height configurations on navigation and wayfinding. In D. Koch, L. Marcus, & J. Steen (Eds.), *Proceedings of the 7th international space syntax symposium* (pp. 072:1–072: 11). Stockholm: KTH.

McGraw Hill Consturction (2012). *The business value of BIM in North America: Multi-year trend analysis and user ratings (2007–2012)*. Bedford, MA: McGraw-Hill Construction.

McMillan, K. (1994) *Virtual Reality: Architecture and the Broader Community*, Sydney, Australia, The University of New South Wales, ARCH 5915 Special Research Program.

Michelson, W. (1977). *Environmental choice, human behavior, and residential satisfaction*. New York: Oxford University Press.

Mihindu, S., i Arayici, Y. (2008, July). Digital construction through BIM systems will drive the re-engineering of construction business practices. In *Visualisation, 2008 International Conference* (pp. 29-34). IEEE.

Muzvimwe, M. (2011). 5D BIM Explained. *Faithful Gould*. Np, 20.

Negendahl, K. (2015). Building performance simulation in the early design stage: an introduction to integrated dynamic models. *Automation in Construction, 54*, 39-53.

Orfanos, Y., Papadopoulos, D., & Zwerlein, C. (2015). An Integrated Performance Analysis Platform for Sustainable Architecture and Urban Infrastructure Systems.

Ott, J.N. (1973). *Health and Light: The Extraordinary Study That Shows How Light Affects Your Health And Emotional Well-being*. Ariel Press, USA.

Papamichael, K., LaPorta, J., Chauvet, H., Collins, D., Trzcinski, T., Thorpe, J., & Selkowitz, S. (1996, March). The Building Design Advisor. In *Proceedings of the ACADIA* (Vol. 150, p. 356).

Parsons, T. D., & Rizzo, A. A. (2008). Affective outcomes of virtual reality exposure therapy for anxiety and specific phobias: A meta-analysis. *Journal of behavior therapy and experimental psychiatry, 39*(3), 250-261.

Parush, A., & Berman, D. (2004). Navigation and orientation in 3D user interfaces: The impact of navigation aids and landmarks. *International Journal of Human-Computer Studies, 61*, 375-395.

Peponis, J., Bafna, S., Bajaj, R., Bromberg, J., Congdon, C., Rashid, M., i drugi (2007). Designing space to support knowledge work. *Environment and Behavior, 39*(6), 815-840.

Perišić, A. (2016) *Otvoreni konceptualni model za parametarsku analizu i valorizaciju urbanih blokova*, Univerzitet u Novom Sadu, FTN, Doktorska disertacija.

Perišić, A., Lazić, M., Obradović, R., Galić, I., (2016) Daylight And Urban Morphology: A Model For Analysing The Average Annual Illumination Of Residential Housing, *Technical gazette, 23*(5)

Perišić, A., Lazić, M., Perišić, B., Obradović, R. (2015a, March) *A Smart House Environment-The System of Systems Approach to Model Driven Simulation of Building (House) Attributes*. IEEE 1st International Workshop on Consumer Electronics, At Novi Sad, At Novi Sad, Serbia

Perisic, A., Lazić, M., i Perisic, B. (2015b, May). The foundation for cooperative services in engineering buildings—The common ontology for architectural and urban data repository modeling. In *Applied Computational Intelligence and Informatics (SACI), 2015 IEEE 10th Jubilee International Symposium on* (pp. 423-427). IEEE.

Perisic, A., Lazić, M., i Perisic, B. (*Accepted for publication* 2016). The Extensible Orchestration Framework approach to collaborative design in architectural, urban and construction engineering. *Automation in Construction*, 71, pp. 210-225.

Perišić A., Lazić M., i Šiđanin P. (2014a, Jun) *Representation of morphological characteristic of space in architecture and urbanism by fly-through animation and simulation*, 4. Mongeometrija Vlasina, 20-22 jun, 2014, pp. 32-41,

Perisic, B., Perisic, A., i Lazić, M. (2014b). The Broker Solution Example of Domain Specific Languages Orchestration Framework. ERK.

Peyroux, E., & Franck, N. (2014). RC2S: a cognitive remediation program to improve social cognition in schizophrenia and related disorders. *Frontiers in human neuroscience*, 8.

Pike Research, 2012, <http://www.navigantresearch.com/wp-content/uploads/2012/05/BIM-12-Executive-Summary.pdf> (pristupljeno 31.1.2016.)

Porter, S., Tan, T., Tan, T., i West, G. (2014). Breaking into BIM: Performing static and dynamic security analysis with the aid of BIM. *Automation in Construction*, 40, 84-95.

Portman, M. E., Natapov, A., & Fisher-Gewirtzman, D. (2015). To go where no man has gone before: Virtual reality in architecture, landscape architecture and environmental planning. *Computers, Environment and Urban Systems*, 54, 376-384.

Rahimian, F. P., & Ibrahim, R. (2011). Impacts of VR 3D sketching on novice designers' spatial cognition in collaborative conceptual architectural design. *Design Studies*, 32(3), 255–291.



Reinhart, C. F. i Walkenhorst, O. (2001). Dynamic RADIANCE-based Daylight Simulations for a full-scale Test Office with outer Venetian Blinds. *Energy i Buildings*, 33(7), str. 683-697.

Reinhart, C. F., & Andersen, M. (2006). Development and validation of a Radiance model for a translucent panel. *Energy and Buildings*, 38(7), 890-904.

Regenbrecht, H., & Donath, D. (1997). Architectural Education and Virtual Reality Aided Design (VRAD). *Designing Digital Space-An Architects Guide to Virtual Reality*, 155-176.

Richards, M. (1910). Building information management: A standard framework and guide to BS 1192. BSI Standards.

Ritter, F., Geyer, P., & Borrmann, A. (2015). Simulation-based Decision-making in Early Design Stages. In *Proceedings of the 32rd international CIB W78 conference, Eindhoven, Netherlands*.

Rothbaum, B. O., Anderson, P., Zimand, E., Hodges, L., Lang, D., & Wilson, J. (2006). Virtual reality exposure therapy and standard (in vivo) exposure therapy in the treatment of fear of flying. *Behavior Therapy*, 37(1), 80-90.

Ruffle, S. (1986). Architectural design exposed: from computer-aided drawing to computer-aided design. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 13(4), 385-389.

Rus-Calafell, M., Gutiérrez-Maldonado, J., & Ribas-Sabaté, J. (2012). Improving social behaviour in schizophrenia patients using an integrated virtual reality programme: a case study. *Stud Health Technol Inform*, 181, 283-286.

Russell, D., Cho, Y. K., i Cylwik, E. (2013). Learning opportunities and career implications of experience with BIM/VDC. *Practice Periodical on Structural Design and Construction*, 19(1), 111-121.

Sackey, E. (2014). *A Sociotechnical Systems Analysis of Building Information Modelling (STSaBIM) Implementation in Construction Organisations*, Loughborough University, Doktorska disertacija.

Sanguinetti, P., Abdelmohsen, S., Lee, J., Lee, J., Sheward, H., i Eastman, C. (2012). General system architecture for BIM: An integrated approach for design and analysis. *Advanced Engineering Informatics*, 26(2), 317-333.

Sardella J.M. and High D.L. (2000). Integration of Fielded Army Aviation Simulators with Modsaf: The Eighth Army Training Solution, Interservice/Industry Training Systems and Education Conference

Sattineni, A., i Bradford, R. H. (2011). *Estimating with BIM: A survey of US construction companies*. Proceedings of the 28th ISARC, Seoul, Korea, 564-569.

Sattineni, A. (2014). *A decision support framework for site safety monitoring using RFID and BIM*. University of Salford, College of Science and Technology. Doktorska disertacija.

Schlueter, A., i Thesseling, F. (2009). Building information model based energy/exergy performance assessment in early design stages. *Automation in construction*, 18(2), 153-163.

Schnabel, M. A., Wang, X., & Kvan, T. (2008). Touching the untouchable: virtual-, augmented-, and reality. In International conference on the association for computer aided architectural design research in Asia

Šiđanin, P. (1995) *A Computer Simulation Model of the TU District of Delft with use of the GIS and VR*, TU Delft, Magistarska teza.

Sidjanin, P. (1998, July). Visualisation of GIS data in VR related to cognitive mapping of environment. In *Information Visualization, 1998. Proceedings. 1998 IEEE Conference on* (pp. 339-349). IEEE.

Sidjanin, P. (2001) *A Cognitive Framework for an Urban Environment Design Tool*, Delft, DKS. Doktorska disertacija.

Shelden, D. (2009). Information Modelling as a Paradigm Shift. *Architectural Design*, 79(2), 80-83.

Shi, X. i Yang, W. (2013). Performance-driven architectural design and optimization technique from a perspective of architects. *Automation in Construction*, 32, 125-135.

Soebarto, V., Hopfe, C., Crawley, D., i Rawal, R. (2015). Capturing the views of architects about building performance simulation to be used during design processes.

Solihin, W., Eastman, C., i Lee, Y. C. (2015). Toward robust and quantifiable automated IFC quality validation. *Advanced Engineering Informatics*, 29(3), 739-756.

Stokols, D. (1993). Strategies of Environmental Simulation. In *Environmental Simulation* (pp. 3-21). Springer US.

Stouffs, R., Janssen, P., Roudavski, S., & Tunçer, B. (2013). What is happening to virtual and augmented reality applied to architecture?. In *Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2013)* (Vol. 1, p. 10).

Tan, X., Hammad, A., i Fazio, P. (2010). Automated code compliance checking for building envelope design. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 24(2), 203-211.

Tsao, Y. C. i Hwang, Y. H. (2013). Impact of a water-damaged indoor environment on kindergarten student absences due to upper respiratory infection. *Building and Environment*. 64, 1-6.

Turner, W. A., & Casey, L. M. (2014). Outcomes associated with virtual reality in psychological interventions: where are we now?. *Clinical psychology review*, 34(8), 634-644.

Underwood, C., & Yik, F. (2008). *Modelling methods for energy in buildings*. John Wiley & Sons.

Viet, T. P., Yeon, C. S., Hak, W. S., & Choi, A. (2009). AR: An application for interior design. In *Proceedings of the 14th international conference on computer aided architectural design research in Asia, Yunlin (Taiwan)* (pp. 115–124).

Wang Q.H. i Li J.R. (2004). A Desktop Vr Prototype for Industrial Training Applications, *Virtual Reality*(7) 187-197.

Wang, X. (2007). Mutually augmented virtual environments for architectural design and collaboration. In D. A. A. Vande-Moere, & J. S. Gero (Eds.), *CAAD futures* (pp. 17–29). The Netherlands: Springer.

Wang, X., Truijens, M., Hou, L., Wang, Y., & Zhou, Y. (2014). Integrating Augmented Reality with Building Information Modeling: Onsite construction process controlling for liquefied natural gas industry. *Automation in Construction*, 40, 96-105.

Watson, A. (2011). Digital buildings – Challenges and opportunities. *Advanced Engineering Informatics*, 25(4), 573-581.

Welle, B., Haymaker, J., i Rogers, Z. (2011). ThermalOpt: A methodology for automated BIM-based multidisciplinary thermal simulation for use in optimization environments. *Building Simulation*. Vol. 4, No. 4, pp. 293-313.

Whyte, J., Bouchlaghem, N., Thorpe, A., i McCaffer, R. (2000). From CAD to virtual reality: modelling approaches, data exchange and interactive 3D building design tools. *Automation in Construction*, 10(1), 43-55.

Wong, A. K. D., Wong, F. K., i Nadeem, A. (2009). Comparative roles of major stakeholders for the implementation of BIM in various countries. *Hong Kong Polytechnic University*.

Yan, W., Culp, C., i Graf, R. (2011). Integrating BIM and gaming for real-time interactive architectural visualization. *Automation in Construction*, 20(4), 446-458.

Younas, M. Y. (2010). *Exploring the challenges for the implementation and adoption of BIM*. (International Master of Science in Construction i Real Estate Management Master's), Helsinki Metropolia University of Applied Sciences.

Zachmann, G. (1998, March). Rapid collision detection by dynamically aligned DOP-trees. In *Virtual Reality Annual International Symposium, 1998. Proceedings., IEEE 1998* (pp. 90-97). IEEE.

Zhang, J. P. i Hu, Z. Z. (2011). BIM-and 4D-based integrated solution of analysis and management for conflicts and structural safety problems during construction: 1. Principles and methodologies. *Automation in construction*, 20(2), 155-166.

Zhang, C. Y. (2012). *The use of massively multiplayer online games to augment early-stage design process in construction*, Loughborough University, Doktorska disertacija.

## 8 Izvori ilustracija

Tabela 1. Cena koštanja individualnih elemenata objekta za prvih 50 kvadrova

Izvor: Autor

Tabela 2. Rezultat analize energetske efikasnosti projekta za prvih 25 prostorija

Izvor: Autor

Slika 1. Primer vizualizacije konačnih rezultata ispitivanja kroz grafik, tabelu i 3D prikaz energetske analize objekta i analize cirkulacije ljudi

Izvor: (Sanguinetti i drugi, 2011)

Slika 2. Itegrisana analiza perforansi za održivu arhitekturu i uranističku infrastrukturu u vidu energetske analize, analize pogleda i analize dnevnog faktora osvetljenosti

Izvor: (Orfanos i drugi, 2015)

Slika 3. Energetska analiza tačaka najviših zagrevanja i hlađenja urbanog područja na godišnjem nivou

Izvor: (Sanguinetti i drugi, 2011)

Slika 4. Višestruka analiza urbanog bloka preko metode izvođenja simulacija na spoljašnjem omotaču i grafik rezultata svih analiza

Izvor: (Perišić, 2016b)

Slika 5. Sprialno stepenište sa softverskim kodom u GLIDE projektu Čarlsa Istmana

Izvor: (<http://www.archdaily.com/302490/a-brief-history-of-bim>, pristupljeno 12. 04. 2016.)

Slika 6. Šema analiza koje su predviđene BDA programom među kojima su dnevna osvetljenost, cena koštanja i analiza potrošene energije

Izvor: (Papamichael i drugi, 1996)

Slika 7. Meklejmijeva kriva na kojoj se može videti da je za projektovanje objekata u BIM softveru potrebno više uloženog truda u prvim fazama izrade projekta, a manje u daljim fazama

Izvor: (MacLeamy, 2004)

Slika 8. BIM tehnologija i težnja da se uvode nove dimenzije u njenoj implementaciji

Izvor: (Richards, 2010)

Slika 9. Razlike između 3 metode: a) kombinovani metod modela; b) centralni metod modela; c) distributivni metod modela

Izvor: (Negendahl, 2015)

Slika 10. Opšti model automatizovanog analiziranja idejnih arhitektonskih objekata, sa primenom BIM tehnologije

Izvor: Autor

Slika 11. Model automatizovanog analiziranja idejnih arhitektonskih objekata, sa primenom BIM tehnologije i primene virtuelne realnosti sa konkretizacijom analiza

Izvor: Autor

Slika 12. Model automatizovanog analiziranja idejnih arhitektonskih objekata, sa primenom BIM tehnologije i primene virtuelne realnosti sa rešenim pod-modelom analize cene koštanja objekta

Izvor: Autor

Slika 13. Prikaz algoritma izračunavanja cene koštanja idejnog projekta po klasterima

Izvor: Autor

Slika 14. Prikaz dela algoritma izračunavanja cene koštanja idejnog projekta po klasterima - formiranje kvadrova

Izvor: Autor

Slika 15. Prikaz dela algoritma izračunavanja cene koštanja idejnog projekta po klasterima - analiza zapreminskog elementa

Izvor: Autor

Slika 16. Prikaz dela algoritma izračunavanja cene koštanja idejnog projekta po klasterima - analiza količinskog elementa

Izvor: Autor

Slika 17. Prikaz dela algoritma izračunavanja cene koštanja idejnog projekta po klasterima - formiranje tabele i 3D geometrije sa informacijama analize

Izvor: Autor

Slika 18. Model automatizovanog analiziranja idejnih arhitektonskih objekata, sa primenom BIM tehnologije i primene virtualne realnosti sa rešenim pod-modelom analize energetske efikasnosti objekta

Izvor: Autor

Slika 19. Prikaz interoperabilnosti dodatka za Rhinoceros 3D - Archsim

Izvor: (Dogan 2016)

Slika 20. Prikaz algoritma izračunavanja godišnje energetske efikasnosti objekta

Izvor: Autor

Slika 21. Prikaz dela algoritma izračunavanja godišnje energetske efikasnosti objekta - prilagđavanje geometrije analizi

Izvor: Autor

Slika 22. Prikaz dela algoritma izračunavanja godišnje energetske efikasnosti objekta - filtriranje zona

Izvor: Autor

Slika 23. Prikaz dela algoritma izračunavanja godišnje energetske efikasnosti objekta - proračun energetske efikasnosti

Izvor: Autor

Slika 24. Prikaz dela algoritma izračunavanja godišnje energetske efikasnosti objekta - izvoz 3D rezultata

Izvor: Autor

Slika 25. Prikaz algoritma za kreiranje geometrije u vidu vokselu

Izvor: Autor

Slika 26. Prikaz dela algoritma za kreiranje vokselu - učitavanje geometrije

Izvor: Autor

Slika 27. Prikaz dela algoritma za kreiranje vokselu - kreiranje početnih tačaka sistema kvadrova

Izvor: Autor

Slika 28. Prikaz dela algoritma za kreiranje vokselu - kreiranje kvadrova

Izvor: Autor

Slika 29. Prikaz dela algoritma za kreiranje vokselu - generisanje sistema

Izvor: Autor

Slika 30. Model automatizovanog analiziranja idejnih arhitektonskih objekata, sa primenom BIM tehnologije i primene virtuelne realnosti sa rešenim pod-modelom analize godišnje osunčanosti objekta

Izvor: Autor

Slika 31. Prikaz dela algoritma izračunavanja godišnje osunčanosti objekta u dodatku Grasshopper

Izvor: Autor

Slika 32. Prikaz dela algoritma izračunavanja godišnje osunčanosti objekta - analiza svih površina za 4 dana

Izvor: Autor

Slika 33. Prikaz tipske prostorije. Gore levo - osnova, dole levo - presek, desno - izometrijski prikaz

Izvor: (Perišić, Lazić i drugi, 2016)

Slika 34. Šematski prikaz postupka analize

Izvor: (Perišić, Lazić i drugi, 2016)



Slika 35. Prikaz dela algoritma izračunavanja godišnje osunčanosti objekta - generisanje 3D rezultata

Izvor: Autor

Slika 36. Šema interoperabilnosti softvera prema predloženom modelu

Izvor: Autor

Slika 37. Razvoj VR tehnologije: početak tehnologije - Damoklov mač sistem Ivana Suterlenda iz 1968. godine; prvi komercijalni VR sistem - Eye Phone 1 iz 1989. godine; pokušaj da se virtuelna realnost učini dostupna široj javnosti - Nintendo Virtuel Boy iz 1994. godine; prvi uspešno masovno proizvedeni sistem za virtuelnu realnost iz 2016. godine - Oculus Rift, Facebook

Izvori: <http://www.vrs.org.uk/virtual-reality/history.html>  
<https://vrwiki.wikispaces.com/VPL+EyePhone>  
<http://www.tested.com/tech/gaming/723-what-3d-has-to-learn-from-the-virtual-boy-15-years-later/>  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Red\\_Alarm](https://en.wikipedia.org/wiki/Red_Alarm)  
<http://gizmodo.com/the-oculus-rift-has-an-amazing-controller-too-bad-its-1710654037>

Slika 38. Primena tehnologije VR: medicinska terapija arahnofobije; obuka astronauta; vojna obuka skakanja iz padobrana

Izvori: <http://www.genesisvr.com/blog/vrtherapy>  
<https://unimersiv.com/how-nasa-is-using-virtual-and-augmented-reality-to-train-astronauts-37/>  
<http://www.vrs.org.uk/virtual-reality-military/>

Slika 39. Istraživanja naučnih radova u pogledu primene virtuelne realnosti u arhitekturi: pregled članaka iz naučnih časopisa koji se bave ovom temom u periodu 2005-2011 (levo); pregled radova koji su objavljeni na konferencijama organizacije ACADIA u periodu 2000-2011 (desno)

Izvor: (Kim i drugi, 2013)  
(Freitas i Ruschel, 2013)

Slika 40. Model automatizovanog analiziranja idejnih arhitektonskih objekata, sa primenom BIM tehnologije sa razvijenim elementima modela primene VR tehnologije

Izvor: Autor

Slika 41. Unos osnovnog 3D modela i 3 modela sa analizama u interfejsu softvera Unity3D nakon aktiviranja skripte.

Izvor: Autor

Slika 42. Prikaz projekta u softveru ArchiCAD: perspektiva (levo) i osnova prizemlja (desno)

Izvor: Autor

Slika 43. Prikaz realizovanog projekta u Minhenu, Nemačka

Izvor: <http://www.maps.google.com> (pristupljeno 26.06.2016.)  
<http://www.kuehleis-architekten.de/wa3.html> (pristupljeno 26.06.2016.)

Slika 44. Prikaz objekta u programu Rhinoceros 3D

Izvor: Autor

Slika 45. Postupak analize - formirana mreža kvadrova prema modelu

Izvor: Autor

Slika 46. Postupak analize - samo je jedan od kvadrova aktivan (prikazan je crvenom bojom)

Izvor: Autor

Slika 47. Prikaz tabele sa svim prozorima i balkonskim vratima u projektu u ArchiCAD softveru (gore) i Microsoft Excel softveru (dole)

Izvor: Autor

Slika 48. Prikaz elemenata uključenih u analizu jednog kvadra i mogućnost da se ovi elementi kontekstualno obojen

Izvor: Autor

Slika 49. Prikaz završene analize cene koštanja u programu Rhinoceros 3D

Izvor: Autor

Slika 50. Prikaz zona učitanih u radu u obliku zatvorenih linija

Izvor: Autor

Slika 51. Prikaz geometrije zona (unutrašeg dela prostorija) i prozora

Izvor: Autor

Slika 52. Izdvojena selekcija spavćih soba preko predloženog algoritma

Izvor: Autor

Slika 53. Grafički prikaz rezultata energetske efikasnosti objekta prikazan po mesecima, generisan preko dodatka Archsim

Izvor: Autor

Slika 54. 3D vizualizacija rezultata analize u softveru Rhinoceros 3D

Izvor: Autor

Slika 55. Spoljni omotač objekta formiran u odnosu na osnovnu geometriju automatizovanom metodom voksela zadatog rastera od 3m

Izvor: Autor

Slika 56. Redukcija rezultata dnevne osvetljenosti u odnosu na test objekat u softveru Microsot Excel

Izvor: Autor

Slika 57. Analiza ispunjenosti uslova od 190 lx prema analiziranim površinama u softveru Microsot Excel

Izvor: Autor

Slika 58. Klasifikacija rezultata u softveru Microsot Excel i priprema za izvoz u dodatak Grasshopper

Izvor: Autor

Slika 59. Prikaz konačnog rezultata godišnje dnevne osvetljenosti u softveru Rhinoceros 3D

Izvor: Autor

Slika 60. Prikazi modela u VR tehnologiji izborom opcija za prikaz različitih analiza: a) osnovni model; b) analiza cene koštanja; c) analiza energetske efikasnosti objekta; d) analiza osunčanosti objekta

Izvor: Autor

Slika 61. Prikaz mogućeg korišćenja VR aplikacije: osnovni model (levo), pritiskom tastera 2 prikazuje se model analize cene koštanja (desno)

Izvor: Autor