



Univerzitet u Novom Sadu • Fakultet Tehničkih Nauka
Departman za Arhitekturu



IVANA BAJŠANSKI

• Doktorska disertacija •

ALGORITAM ZA POBOLJŠANJE TERMALNOG
KOMFORA U URBANOJ SREDINI

Redni broj, RBR:	
Identifikacioni broj, IBR:	
Tip dokumentacije, TD:	Monografska dokumentacija
Tip zapisa, TZ:	Tekstualni štampani materijal
Vrsta rada (dipl., mag., dokt.), VR:	Doktorska disertacija
Ime i prezime autora, AU:	Ivana Bajšanski
Mentor (titula, ime, prezime, zvanje), MN:	dr Vesna Stojaković, docent
Naslov rada, NR:	Algoritam za poboljšanje termalnog komfora u urbanoj sredini
Jezik publikacije, JP:	Srpski (latinica)
Jezik izvoda, Jl:	Srpski (latinica), Engleski
Zemlja publikovanja, ZP:	Republika Srbija
Uže geografsko područje, UGP:	AP Vojvodina, Novi Sad
Godina, GO:	2016
Izdavač, IZ:	autorski reprint
Mesto i adresa, MA:	Fakultet tehničkih nauka, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad
Fizički opis rada, FO:	7 poglavlja / 84 strane / 50 slika / 13 tabela / 78 referenci
Naučna oblast, NO:	Arhitektura
Naučna disciplina, ND:	Teorije i interpretacije geometrijskog prostora u arhitekturi i urbanizmu
Predmetna odrednica, ključne reči, PO:	spoljašnji termalni komfor, urbani dizajn, parametarsko modelovanje, algoritam, ekstremne temperature.
UDK:	
Čuva se, ČU:	Biblioteka Fakulteta tehničkih nauka u Novom Sadu
Važna napomena, VN:	
Izvod, IZ:	Cilj ovog istraživanja je kreiranje algoritma za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora u velikim urbanim sredinama, uzimajući u obzir određene geometrijske parametre izgrađenog okruženja, primenom softverskih aplikacija za parametarsko modelovanje. Algoritam za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora ima opciju automatske izmene lokacije čoveka, što omogućava procenu termalnog komfora u području velikih razmera, kao što su bulevari, blokovski prostori, trgovi i drugi. Takođe, algoritam za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora omogućava i automatsko menjanje visina zgrada u cilju postizanja optimalnog urbanog dizajna koji podrazumeva najbolji spoljašnji termalni komfor.
Datum prihvatanja teme od strane Senata, DP:	24.03.2016.
Datum odbrane, DO:	
Članovi komisije, KO:	
Predsednik:	dr Predrag Šiđanin, redovni profesor
Član:	dr Đorđe Stojanović, docent
Član:	dr Stevan Savić, vanredni profesor
Član:	dr Darko Reba, vanredni profesor
Član:	dr Bojan Tepavčević, vanredni profesor
Mentor:	dr Vesna Stojaković, docent
	Potpis mentora

Accession number, **ANO**:
Identification number, **INO**:
Document type, **DT**: Monographic documentation
Type of record, **TR**: Textually printed material
Contents code, **CC**: PhD Thesis
Author, **AU**: Ivana Bajšanski
Mentor, **MN**: Asst. Prof. Vesna Stojaković, PhD
Title, **TI**: The algorithm for improving the thermal comfort in urban environment
Language of text, **LT**: Serbian (Latin)
Language of abstract, **LA**: Serbian (Latin), English
Country of publication, **CP**: Republic of Serbia
Locality of publication, **LP**: AP Vojvodina, Novi Sad
Publication year, **PY**: 2016
Publisher, **PU**: Author's reprint
Publication place, **PP**: Faculty of Technical Sciences, Trg Dositeja Obradovića 6, 21000 Novi Sad
Physical description, **PD**: 7 chapters/ 84 pages / 50 figures / 13 tables / 78 references
Scientific field, **SF**: Architecture
Scientific discipline, **SD**: Theories and interpretation of geometric space in architecture and urbanism
Subject, Key words, **SKW**: outdoor thermal comfort, urban design, parametric modelling, algorithm, extreme temperatures

UC
Holding data, **HD**: The Library of Faculty of Technical Sciences in Novi Sad
Note, **N**:
Abstract, **AB**: The aim of this research is to create an algorithm for improvement of outdoor thermal comfort conditions in urban areas taking into account certain geometrical parameters of built urban environment, applying parametric modelling and different software packages. The algorithm for improving the outdoor thermal comfort offers the option of automated change of a man's location, which enables the evaluation of outdoor thermal comfort in large-scale urban areas, such as boulevards, courtyards, squares etc. In addition, the algorithm for improving the outdoor thermal comfort also allows automatic variations of building height in order to achieve the optimal urban design which implies the best outdoor thermal comfort.

Accepted on Senate on, **AS**: 24.03.2016.

Defended, **DE**:
Thesis Defend Board, **DB**:
President: Prof. Predrag Šidanin, PhD
Member: Asst. Prof. Prof. Đorđe Stojanović, PhD
Member: Assoc. Prof. Stevan Savić, PhD
Member: Assoc. Prof. Darko Reba, PhD
Member: Assoc. Prof. Bojan Tepavčević, PhD
Mentor: Asst. Prof. Vesna Stojaković, PhD Mentor's sign

Zahvalnica

Ova doktorska disertacija urađena je na Fakultetu tehničkih nauka, na Katedri za teorije i interpretacije prostora u arhitekturi i urbanizmu pri Departmanu za Arhitekturu u Novom Sadu.

Veliku zahvalnost dugujem svom mentoru, prof. dr Vesni Stojaković, na dragocenim smernicama, komentarima, konstruktivnim idejama kao i ogromnoj podršci i nesebičnoj pomoći pruženoj prilikom celokupnog istraživanja i izrade ove doktorske disertacije.

Na uspešnoj saradnji, diskusijama, sugestijama, kao i na pozitivnoj radnoj atmosferi tokom istraživanja zahvaljujem se kolegi Marku Jovanoviću sa Departmana za Arhitekturu, kao i kolegama Draganu Miloševiću i Stevanu Saviću iz Klimatološkog i hidrološkog centra pri Prirodno-matematičkom fakultetu u Novom Sadu na datim klimatskim podacima koji su omogućili da rezultati analiza budu verodostojniji.

Zahvaljujem se svim članovima komisije na korisnim sugestijama prilikom izrade ove doktorske disertacije.

Najveću zahvalnost dugujem svojoj porodici i prijateljima za ogromnu podršku koju su mi pružili.

Novi Sad, maj 2016.

Ivana Bajšanski

SADRŽAJ

SAŽETAK	i
SUMMARY	ii
STRUKTURA DOKTORSKE DISERTACIJE	iii
1. UVOD	1
1.1 Predmet i problem istraživanja	1
1.2 Cilj istraživanja	2
1.3 Metode primenjene u istraživanju	3
1.4 Potreba za istraživanjem	5
1.5 Očekivani rezultati istraživanja i mogućnost njihove primene	5
1.6 Pregled dosadašnjih istraživanja u oblasti	5
2. SPOLJAŠNJI TERMALNI KOMFOR	10
2.1 Indeksi za merenje spoljašnjeg termalnog komfora	11
3. PARAMETARSKO MODELOVANJE	14
3.1 Postupak računanja vrednosti UTCI indeksa	14
3.2 Procena spoljašnjeg termalnog komfora	29
3.3 Algoritam za procenu spoljašnjeg termalnog komfora	30
3.4 Poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora	31
3.5 Algoritam za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora	32
3.6 Simulacije osenčenosti	36
4. PARAMETRI KORIŠĆENI U ISTRAŽIVANJU, PRIMENA ALGORITMA ZA POBOLJŠANJE I REZULTATI SIMULACIJA	37
4.1 Klimatski i mikroklimatski podaci	37
4.2 Primena algoritma i rezultati simulacija	38
4.2.1 Primena algoritma za procenu spoljašnjeg termalnog komfora na primeru pravolinijske ulice	39
4.2.2 Primena algoritma za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora na primeru pravolinijske ulice	58
4.2.3 Primena algoritma za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora na primeru urbanog područja sa sistemom krivolinijskih ulica	59

4.2.4	Primena algoritma za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora na primeru prostora trga	61
4.2.5	Primena algoritma za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora na primeru blokovskog prostora	63
4.2.6	Primena algoritma za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora na primeru urbanog područja sa proizvoljnim oblikom terena	66
5.	ZAVRŠNE NAPOMENE	69
5.1	Zaključak	69
5.2	Ograničenja u istraživanju	70
5.3	Pravci budućih istraživanja	70
6.	POPIS TABELA I ILUSTRACIJA	72
7.	LITERATURA	78

SAŽETAK

Spoljašnji termalni komfor u urbanoj sredini postao je aktuelna oblast istraživanja tokom poslednjih nekoliko godina. Usled rapidne urbanizacije i intenzivnog porasta broja stanovnika u gradovima, velika pažnja posvećuje se proceni kvaliteta boravka ljudi na otvorenim prostorima. Cilj ovog istraživanja je kreiranje algoritma za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora u urbanim sredinama primenom softverskih aplikacija za parametarsko modelovanje uzimajući u obzir određene geometrijske parametre izgrađenog okruženja. Algoritam za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora sadrži pomoćni algoritam za procenu spoljašnjeg termalnog komfora koji ima opciju automatske izmene lokacije čoveka, što omogućava procenu termalnog komfora u područjima velikih razmera, kao što su bulevari, urbani blokovi, trgovi i drugi. Takođe, algoritam za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora omogućava i automatsku izmenu visina zgrada u cilju postizanja urbanog dizajna koji podrazumeva najbolji spoljašnji termalni komfor.

Algoritmom za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora koji je prikazan u ovom istraživanju, poboljšanje termalne senzacije može da se uradi na bilo kojoj lokaciji uz postojanje odgovarajućih klimatskih i geometrijskih podataka urbane sredine. Algoritam za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora može da se primeni u bilo kojoj urbanoj sredini, bez obzira na geometrijske karakteristike objekata u osnovi, oblik i nagib terena i površinu koju analizirano urbano područje zauzima. Kreiran algoritam za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora može pomoći na samom početku planerskog i projektantskog procesa u rešavanju geometrijskih problema za generisanje klimatski ugodnijih urbanih prostora. Simulacije su vršene za letnji i zimski period sa ekstremnim temperaturama za sve varijacije urbanog dizajna dobijene predloženom metodom na odabranim područjima kao što su pravolinijski i krivolinijski sistemi ulica, trg, blokovski prostor i područje sa proizvoljnim nagibom terena.

Ključne reči: spoljašnji termalni komfor, urbani dizajn, parametarsko modelovanje, algoritam, ekstremne temperature.

SUMMARY

Outdoor thermal comfort in urban areas has become a very important area of research in last several years. The rapid urbanization process and intensively increasing urban population resulted in great attention to the evaluation of the quality of life in open urban spaces. The aim of this research is to create an algorithm for improvement of outdoor thermal comfort conditions in urban areas taking into account certain geometrical parameters of built urban environment, applying parametric modelling and different software packages. The algorithm for improving the outdoor thermal comfort contains the algorithm for evaluation the outdoor thermal comfort which offers the option of automated change of a man's location, which enables the evaluation of outdoor thermal comfort in large-scale urban areas, such as boulevards, courtyards, squares etc. In addition, the algorithm for improving the outdoor thermal comfort also allows automatic variations of building height in order to achieve the optimal urban design which implies the best outdoor thermal comfort.

By using the algorithm for improving the outdoor thermal comfort created in this research, the improvement of the outdoor thermal comfort may be done at any location with the appropriate climate and geometrically data of urban environment. The algorithm for improving the outdoor thermal comfort can be applied to any urban area, regardless of geometric characteristics of buildings bases, shape and slope of the terrain and the size of the analysed area. The algorithm for improving the outdoor thermal comfort presented in this paper is useful at the beginning of urban planning process because it can be used to detect optimal urban design in the terms of outdoor thermal sensation. Simulations were performed for the summer and winter period with extreme temperatures, for all variations of urban design obtained by the suggested method in chosen areas such as urban areas with linear and non-linear street arrangement, square, courtyard area and terrain with arbitrarily slope.

Keywords: outdoor thermal comfort, urban design, parametric modelling, algorithm, extreme temperatures.

STRUKTURA DOKTORSKE DISERTACIJE

Doktorska disertacija sastoji se od sedam poglavlja koja obuhvataju: uvod, spoljašnji termalni komfor, parametarsko modelovanje, parametri korišćeni u istraživanju, primena algoritma za poboljšanje i rezultati simulacija, završne napomene, popis tabela i ilustracija i spisak literature.

U *prvom poglavlju* prikazani su predmet, problem i cilj istraživanja doktorske disertacije sa naglašenim naučnim doprinosom teme koja se odnosi na mogućnost primene rezultata u urbanim sredinama sa različitim morfološkim karakteristikama. Objašnjena je potreba za istraživanjem i kroz prikaz literature sagledano je aktuelno stanje u istraživanoj oblasti.

U *drugom poglavlju* definisan je termin spoljašnjeg termalnog komfora, prikazani su indeksi kojima je moguće evaluirati spoljašnji termalni komfor i detaljno je obrazložen najpovoljniji indeks za procenu termalne senzacije na otvorenim prostorima koji je korišćen u doktorskoj disertaciji. Model spoljašnjeg termalnog komfora primenjuje se kod usvajanja rešenja najpovoljnijeg urbanog dizajna sa aspekta termalnih performansi u cilju određivanja vrednosti UTCI¹ indeksa.

U *trećem poglavlju* prikazan je opis parametarskog modelovanja i kreirani algoritmi. Detaljno je objašnjen način rada algoritma za procenu spoljašnjeg termalnog komfora i algoritma za poboljšanje termalne senzacije na otvorenim prostorima. Kroz detaljan opis rada algoritama navedeni su korišćeni softveri u istraživanju. Osim toga, prikazan je način i postupak vršenja simulacija osenčenosti u softveru koji je za to namenjen.

U *četvrtom poglavlju* prikazani su parametri korišćeni u istraživanju. Detaljno su navedeni klimatski i mikroklimatski podaci za analizirana područja. Navedene su mogućnosti prilagođavanja algoritma za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora urbanim sredinama sa različitim morfološkim karakteristikama. Za određene tipove urbane sredine testiran je algoritam za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora koji koristi algoritam za procenu spoljašnjeg termalnog komfora.

Takođe, u ovom poglavlju prikazani su numerički rezultati, prezentovani grafički i tabelarno. Za svaki tip urbanog dizajna, pravolinijsku i krivolinijsku ulicu, trg, blokovski prostor i područje sa terenom u proizvoljnom nagibu predloženo je rešenje za letnji i za zimski period. Odabir konačnog rešenja urbanog dizajna prikazano je kroz numeričke uporedne analize postojećeg stanja i predlog dizajna dobijenog algoritmom za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora.

¹ UTCI (engl. Universal Thermal Climate Index) – Univerzalni toplotni klimatski indeks koristi se za procenu nivoa spoljašnjeg termalnog komfora u izgrađenoj ili neizgrađenoj sredini.

Peto poglavlje sadrži završne napomene i sastoji se od zaključka, ograničenja u istraživanju i predlaže pravce za buduća istraživanja.

Šesto poglavlje sadrži popis tabela i ilustracija.

U *sedmom poglavlju* prikazan je popis literature korišćene u istraživanju.

1. UVOD

Tema spoljašnjeg termalnog komfora u urbanoj sredini postala je veoma aktuelna oblast istraživanja usled rapidne urbanizacije i intenzivnog porasta broja stanovnika u gradovima. Iz tog razloga velika pažnja posvećuje se evaluaciji kvaliteta boravka ljudi u otvorenim prostorima. Više od polovine ukupne svetske populacije živi u gradovima (Population Reference Bureau, 2009). Centri gradova posebno su osetljivi na ekstremne vremenske uslove u globalnom kontekstu klimatskih promena. Pod ovim okolnostima, stvaranje ugodnih prostora za pešake od suštinskog je značaja za visok kvalitet urbanog života (Liang, 2015). Spoljašnji prostori važni su za održive gradove, jer pešaci i razne aktivnosti na otvorenom u velikoj meri doprinose vitalnosti određenih lokacija u gradu. Podsticanje ljudi da provode više vremena na otvorenom prostoru ima koristi za gradove iz različitih razloga, uključujući fizičke, ekonomske i socijalne aspekte.

Tokom proteklih nekoliko decenija, kreiranje urbanih prostora koji su atraktivni za ljude sve se više prepoznaje kao cilj u urbanističkom planiranju i projektovanju (Gehl et al., 2010; Maruani, 2007). Među mnogim faktorima koji određuju kvalitet života na otvorenom, neadekvatna mikroklima predstavlja značajan problem. U protekloj deceniji, široka primena opreme koja se koristi u biometeorologiji i urbanoj klimatologiji dala je veliki broj istraživačkih projekata na otvorenim prostorima u različitim klimatskim uslovima širom sveta (Ahmed, 2003; Chen et al., 2012).

Nivo termalne senzacije osoba koje su direktno izložene klimatskim uslovima jedan je od faktora koji određuje i utiče na procenat korišćenja otvorenih gradskih prostora. Uticaj ekstremnih temperatura u urbanoj sredini tokom većine dana u letnjem ili zimskom periodu može prouzrokovati termalnu nelagodnost kod osoba koje borave na tim prostorima. Termalne nelagodnosti osoba u letnjem periodu mogu dostići kategoriju veoma jakog toplotnog stresa, dok zimi nedostatak sunčeve toplote i povećana osenčenost prostora mogu doprineti povećanju hladnog stresa.

1.1 Predmet i problem istraživanja

Predmet ovog istraživanja jeste spoljašnji termalni komfor koji izražava nivo termalne senzacije čoveka u izgrađenom ili neizgrađenom urbanom okruženju. Geometrijske karakteristike izgrađene sredine, pozicija i orijentacija objekata jesu parametri koji utiču na promenu spoljašnjeg termalnog komfora a nastaju kao posledica urbanog planiranja i dizajna područja (Ahmed, 2003; Ng Edvard, 2012; Martinelli, 2015; Allegrini, 2015). Neadekvatan dizajn urbane sredine glavni je problem u postizanju povoljnog spoljašnjeg termalnog komfora (Oke, 1988; Ali-Toudert and Bensalem, 2001; Kruger et al., 2011). Generisanje urbanog dizajna u cilju postizanja odgovarajućeg spoljašnjeg termalnog komfora u urbanoj sredini složen je

problem, jer je neophodno pronaći rešenje za maksimalno osenčenje leti i minimalno osenčenje zimi, uzimajući u obzir sve elemente izgrađene urbane sredine i vegetacije, njihovu poziciju, orijentaciju i mikro-klimatske podatke za datu lokaciju. U suštini, neophodno je uzeti u obzir više faktora i varijabli u zavisnosti od urbane sredine (Amado, 2014). Osenčenje parternih površina urbane sredine pomoću izgrađenog okruženja najefektivnija je strategija za ublažavanje spoljašnjeg toplotnog stresa (Ali-Toudert et al., 2005). Stoga, redukcijom termalne nelagodnosti može se povećati vitalnost lokacije tokom perioda sa ekstremnim temperaturama (Givoni, 2003). Softveri za merenje spoljašnjeg termalnog komfora koji su namenjeni urbanim klimatolozima i arhitektama postoje, ali sadrže nedostatke koji su uočeni u aktuelnim istraživanjima:

a) modeli za modifikaciju urbanog dizajna u cilju poboljšanja spoljašnjeg termalnog komfora ne postoje.

b) softveri koje koriste urbani klimatolozi, namenjeni za procenu spoljašnjeg termalnog komfora (RayMan i ENVI-Met) nemaju mogućnost modelovanja trodimenzionalnih kompleksnih geometrijskih karakteristika okruženja.

c) softveri koji su namenjeni za procenu spoljašnjeg termalnog komfora mere nivo termalne senzacije samo za jednu poziciju čoveka, odnosno ne mogu se primeniti za automatsku procenu komfora čitavog područja (Matzarakis, 2010). Zbog toga, evaluacija komfora u tim softverima ograničena je na urbana područja male površine sa nekoliko objekata (Eliasson, 2000).

Nove mogućnosti za dizajn urbanih prostora prilagođen karakteristikama urbane mikroklimе i toplotne ugodnosti korisnika predmet su ovog istraživanja.

1.2 Cilj istraživanja

Cilj istraživanja je kreiranje algoritma za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora u velikim urbanim sredinama primenom parametarskog modelovanja softverom koji je za to namenjen uzimajući u obzir određene geometrijske parametre izgrađenog okruženja. Predloženi algoritam za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora² koristi algoritam za procenu spoljašnjeg termalnog komfora³. Pogodnost korišćenja algoritma za procenu koji ima opciju automatske izmene lokacije modela čoveka ogleda se u tome što je omogućena evaluacija nivoa termalne senzacije u područjima velikih razmera.

² Algoritam za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora u daljem tekstu biće navođen skraćeno kao Algoritam za poboljšanje.

³ Algoritam za procenu spoljašnjeg termalnog komfora u daljem tekstu biće navođen skraćeno kao Algoritam za procenu.

Predloženi algoritam za poboljšanje omogućava automatsko menjanje visina zgrada u cilju postizanja odgovarajućeg urbanog dizajna koji podrazumeva najbolji spoljašnji termalni komfor, dok je algoritmom za procenu omogućena kvantitativna analiza uticaja svake promene urbanog dizajna na spoljašnji termalni komfor.

Algoritam za procenu i algoritam za poboljšanje je razvijen, prikazan i proveren na primerima. Neki primeri odabranih urbanističkih celina nalaze se u Novom Sadu, a neki predstavljaju samo karakteristike određenog urbanog tkiva.

Od geometrijskih karakteristika ovih područja, zavise i različiti načini podešavanja parametara u algoritmu koji utiču na konačne rezultate.

1.3 Metode primenjene u istraživanju

i) Metoda parametarskog modelovanja

U savremenoj praksi, rapidan razvoj računarskih alata omogućava interakciju softvera različitih namena, kao što su trodimenzionalni dizajn, kreiranje algoritama, parametarsko modelovanje i simulacije spoljašnjeg termalnog komfora. Na referentnim 3d modelima urbanih celina izvršene su neophodne analize spoljašnjeg termalnog komfora primenom parametarskog i 3d modelovanja u programima koji su za to namenjeni:

- Rhinoceros⁴ (CAD⁵ softver za 3d modelovanje);
- Grasshopper⁶ (softverski dodatak Rhinoceros-a sa grafičkim editorom za vizuelno programiranje);
- LadyBug⁷ (softverski dodatak Grasshopper-a za analize i veštačke simulacije spoljašnjeg termalnog komfora);
- Ecotect⁸ (softver za analize i veštačke simulacije osunčanosti);

⁴ Rhinoceros 5.0 Corporate; Standalone Licence

⁵ CAD (Computer-Aided Design) je dizajn pomoću računara koji predstavlja upotrebu računarske tehnologije za proces projektovanja i pripremu projektne dokumentacije. Ovakav proces modelovanja u potpunosti zamenjuje ručni pristup crtanju i obavlja se u nekom od softverskih aplikacija za modelovanje. Primer softverskih aplikacija su AutoCAD, Sketch-Up, Rhinoceros, Revit i drugi.

⁶ Grasshopper Version August 27, 2014, Build 0.9.0076, Copyright © 2009 Robert McNeel & Associates

⁷ LadyBug, started by Mostapha Sadeghipour Roudsari is licensed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 3.0 Unported License

⁸ Ecotect Analysis 2011. Copyright ©2010 Autodesk, Inc.

Rhinoceros je softver koji omogućava digitalno okruženje za parametarsku studiju, odnosno vezu sa parametarskim modelom kreiranim u softveru Grasshopper. Osim toga, RhinoCeros/Grasshopper jedna je od softverskih platformi koja se koristi u urbanom i arhitektonskom dizajnu, a koja sadrži dodatni softverski dodatak LadyBug za analizu parametara životne sredine. Ladybug je softverska aplikacija koja omogućava korisniku da istražuje vezu između urbane geometrije i spoljašnjeg termalnog komfora kroz niz numeričkih i grafičkih izlaznih podataka (Roudsari, 2013). Parametarskim pristupom rešavanju ovog problema moguće je primeniti algoritam za poboljšanje na bilo koju lokaciju, uz uslov da korisnik poseduje adekvatne klimatske podatke. Softverom za simulacije solarne radijacije, Ecotect-om, moguće je pratiti na koji način geometrija izgrađenog okruženja utiče na osunčanost parternih površina.

ii) Metoda numeričkih simulacija

Takođe, korisniku je omogućeno da prati i istražuje vezu urbanog dizajna i životne sredine kroz niz precizno integrisanih numeričkih i grafičkih podataka dobijenih u eksperimentalnim simulacijama. Dobijeni numerički rezultati indeksa za spoljašnji termalni komfor predstavljaju niz različitih vrednosti koja se dobijaju modifikacijom geometrijskih karakteristika urbane sredine uzimajući u obzir mikroklimatske podatke za analizirano područje.

iii) Metoda analize, sinteze i komparativne analize;

U radu će biti analiziran spoljašnji termalni komfor postojećeg urbanog dizajna i dizajna dobijenog algoritmom za poboljšanje. Analiza se vrši na četiri tipa urbanog dizajna sa različitim geometrijskim morfološkim karakteristikama: pravolinijska i krivolinijska ulica, trg i blok. U radu će biti sintetizovani glavni aspekti urbanističkog uređenja koji utiču na pojavu lošeg spoljašnjeg termalnog komfora. Uporednom analizom numeričkih rezultata svih mogućih rešenja urbanog dizajna dobijenih algoritmom za poboljšanje uočavaju se vrednosti spoljašnjeg termalnog komfora indeksa i na taj način bira se optimalni urbani dizajn. Da bi bilo prikazano u kojoj meri promena geometrije urbanog prostora znatno utiče na poboljšanje termalnog komfora, vrednosti spoljašnjeg termalnog komfora za sve pozicije ljudi za urbani dizajn dobijen algoritmom za poboljšanje upoređene su sa vrednostima spoljašnjeg termalnog komfora ljudi na istim pozicijama postojeće ili planirane situacije urbanog dizajna.

Integracija navedenih softvera i razvoj algoritama u okviru njih imaju mogućnost velike primene u urbanom kontekstu na bilo kojoj lokaciji, u cilju formulisanja efikasnih metoda za smanjenje spoljašnjeg termalnog stresa korisnika određenog urbanog prostora. Metod kombinovanja softverskih aplikacija omogućava povratnu informaciju o tome kako promena urbanog dizajna utiče na spoljašnji termalni komfor, što doprinosi generisanju ekološki svesnijih urbanističkih celina (Roudsari, 2013).

1.4 Potreba za istraživanjem

Poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora jeste preduslov za unapređenje urbanističkog sektora za planiranje i uređenje gradskih javnih prostora. Smernice za ublažavanje toplotnog termalnog komfora od vitalnog su značaja i potrebne su za razvoj strategije za zaštitu ljudskog života, posebno u urbanim sredinama. Prema projekciji uticaja globalnih klimatskih promena (International Panel for Climate Change – IPCC, 2007 i EEA, 2008) područje Istočne Evrope karakterisaće više temperaturnih ekstrema i manje padavina u toku leta. Srbija je jedna od zemalja koja će biti obuhvaćena ovim klimatskim promenama (Nikolić, 2010), što ima za posledicu povećanje temperature vazduha do 4° C (Kržić, 2011) i tokom leta 20% manje padavina. Pored toga, visok toplotni stres može pogoršati zdravstveno stanje i uzrokovati porast mortaliteta. Veliki talas toplote širom zapadne Evrope u 2003. godini imao je za posledicu 50.000-70.000 više umrlih tokom letnjih meseci (Brucker, 2005; Robine et al., 2008). Postojeći problemi mogu biti izraženiji i veći zbog očekivanih efekata klimatskih promena sa još većim temperaturama.

Uzimajući u obzir koliko urbani dizajn utiče na spoljašnji termalni komfor i u kojoj meri su softverske aplikacije za rešavanje ovakvog problema razvijene, pogodno je koristiti softvere koji svojim performansama za adekvatnu promenu dizajna poboljšavaju uslove termalne senzacije u otvorenim prostorima.

1.5 Očekivani rezultati istraživanja i mogućnost njihove primene

Rezultati podrazumevaju evaluaciju spoljašnjeg termalnog komfora u urbanim područjima. Očekivano je da se primenom algoritma za poboljšanje nivo termalne senzacije poboljša pomoću odgovarajućih urbanističkih intervencija. Ovaj metod poboljšanja u urbanističkom planiranju u funkciji održivog razvoja predstavlja moguću prostornu intervenciju koja doprinosi vitalnosti i povećanom korišćenju urbanih prostora tokom letnjih i zimskih perioda sa ekstremnim temperaturama.

Algoritam za poboljšanje kreiran u istraživanju je koristan alat za urbane planere pri proceni i poboljšanju spoljašnjeg termalnog komfora kada je u pitanju procena uticaja svih strategija modelovanja na spoljašnju termalnu ugodnost na otvorenim prostorima.

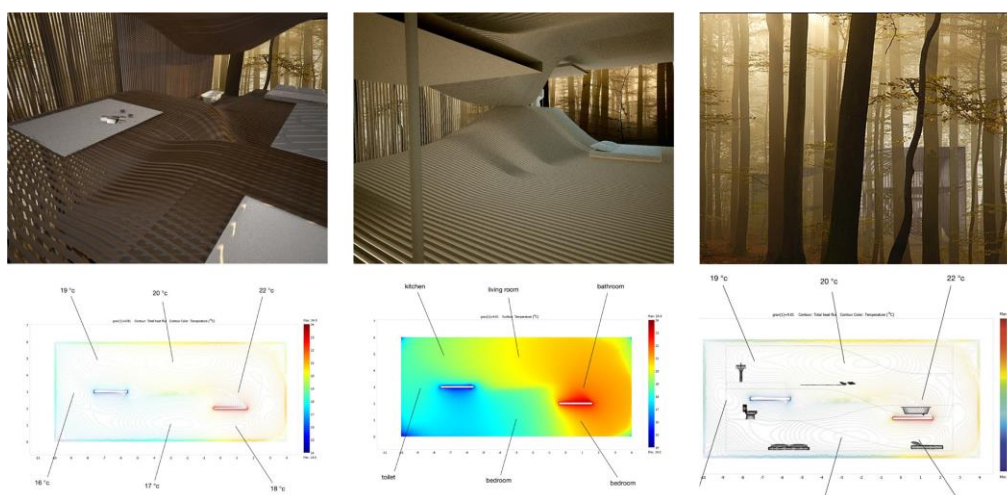
1.6 Pregled dosadašnjih istraživanja u oblasti

Opus literature koja se odnosi na spoljašnji termalni komfor obuhvata istraživanja koja se bave uticajima klimatoloških promenljivih i uticajima izgrađenog okruženja na termalnu senzaciju na otvorenim urbanim prostorima. Tokom proteklih godina, mnoge studije o urbanoj klimi i toplotnoj ugodnosti sprovedene su na različitim lokacijama i u različitim klimatskim

uslovima. Neke od studija fokusirane su na područja sa hladnom i umerenom klimom (Nikolopoulou et al., 2006; Thorsson et al., 2004, Kanters et al., 2014), u području subtropske klime (Hoppe, 2002; Spagnolo et al., 2003, Givoni et al., 2003, Lin, 2010) i u područjima tropske klime (Johansson, 2006; Ahmed, 2003; Makaremi et al., 2012; Brode et al., 2012). Spoljna toplotna ugodnost je problem koji postaje sve istaknutiji, što se ogleda i u literaturi.

Olgay i Oke (Olgay, 1963; Oke, 1987) prvi su istraživači koji su razmatrali odnose između arhitekata dizajnera i urbanih klimatologa, sa fokusom na interakciju između zgrada i mikroklimatskih uslova. Uticaj urbanih tipologija i njihove geometrije na termalnu senzaciju razmatran je u različitim gradovima i klimatskim uslovima (Yahia, 2014; Givoni, 2003; Robinson et. al, 2011). Istraživanja (Nikolopoulou et. al, 2007) termalne ugodnosti u sedam evropskih gradova potvrdilo je snažnu vezu između mikroklimatskih uslova i komfora korisnika što dovodi do zaključka da je neophodno uzeti sve klimatske parametre u obzir u cilju dobijanja verodostojnijih rezultata. Ove studije obezbedile su vredne rezultate i bolje razumevanje efekta urbane klime na toplotnu ugodnost i korišćenje otvorenih prostora.

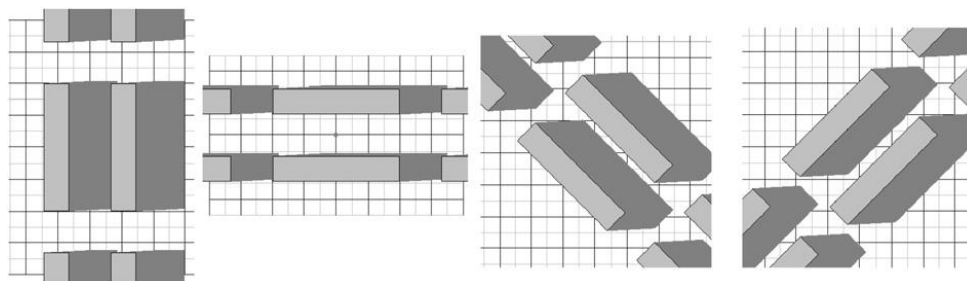
Spoljašnja termalna ugodnost u urbanim područjima kompleksno je pitanje koje postaje sve važnije usled pojačane urbanizacije. Razumevanje spoljašnjeg termalnog komfora od suštinskog je značaja za kreiranje atraktivnih spoljašnjih sredina, i utiče na kvalitet i poboljšanje boravka ljudi u otvorenom prostoru (Watanabe et al., 2014). Studije koje se odnose na uticaj urbanih formi na spoljašnju mikroklimu postale su učestalije poslednjih nekoliko godina (Taleghani, 2015). Sa aspekta termalne komfornosti veliki značaj u istraživanju igraju ulogu primeri arhitekture Philippa Rahma (Rahm, 2008), koji se u svom istraživanju bavi problemom termalne senzacije u zatvorenim i otvorenim prostorima (Slika 1).



Slika 1. Primer enterijera i eksterijera u kojima je ispitivan nivo termalne senzacije.

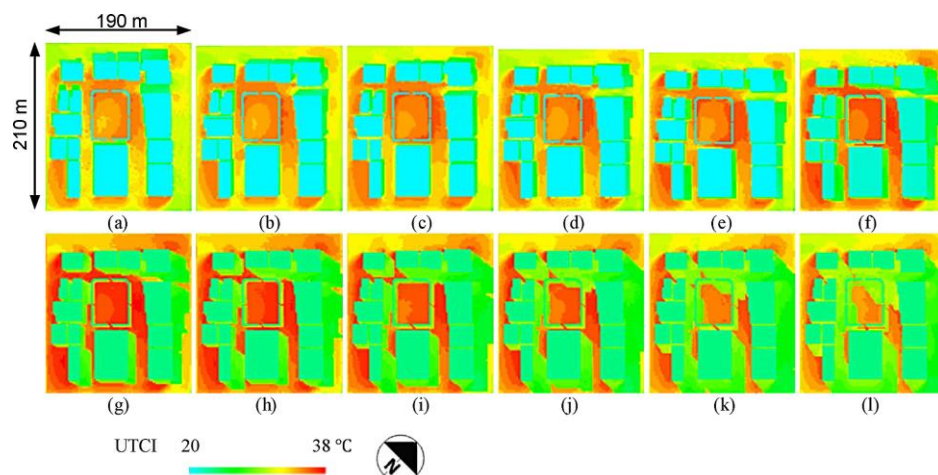
(Preuzeto: Rahm, 2008)

Mnoge studije za evaluaciju termalne ugodnosti sprovedene su na različitim urbanim prostorima, kao što su ulice, parkovi i trgovi. Andreou (Andreou, 2013) u svom istraživanju prikazuje rezultate analize termalnog komfora koje su sprovedene u cilju ispitivanja parametara koji utiču na uslove ugodnosti u uličnim kanjonima sa različitom orijentacijom (Slika 2).



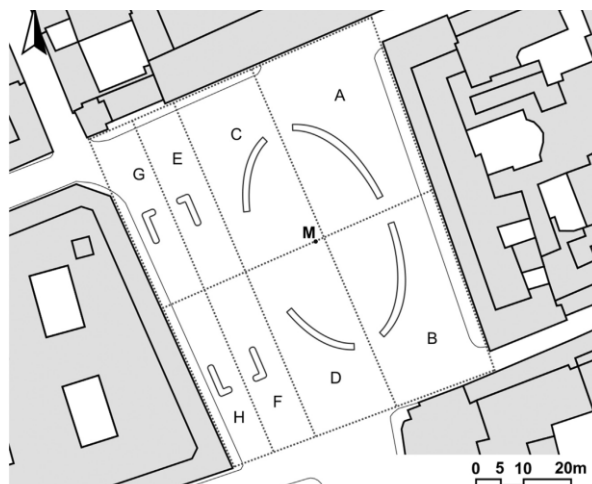
Slika 2. Primeri uličnog modela različite orijentacije u kojima je ispitivan spoljašnji termalni komfor. (Preuzeto: Andreou, 2013)

Na primer, Spagnolo i de Dear (Spagnolo i de Dear, 2013) istraživali su toplotnu udobnost u suptropskom Sidneju i zaključili da spoljašnja sredina ima bolju komfornu zonu nego unutrašnji prostori, što znači da je urbana sredina projektovana u skladu sa potrebama korisnika. Slična situacija zaključena je u pet gradova na Tajvanu što ukazuje da su korisnici više tolerantniji na spoljašnju ugodnost, nego na unutrašnju (Hwang et al., 2011). Uporednim istraživanjima Tajvana i Evropskih gradova došlo se do zaključka da je nivo bez termalnog stresa mnogo veći na Tajvanu nego u zapadnoj i centralnoj Evropi (Lin et. al, 2009). Simulacije spoljašnjeg termalnog komfora Park (Park, 2014) vrši u softveru Envi-Met na primerima blokovskih prostora u različitim periodima dana (Slika 3).



Slika 3. Mapa ispitivanja termalnog komfora u različitim periodima dana: a) 11:30h, b) 12:00h, c) 12:30h, d) 13:00h, e) 13:30h, f) 14:00h, g) 14:30h, h) 15:00h, i) 15:30h, j) 16:00h, k) 16:30h, l) 17:00h. (Preuzeto: Park, 2014)

Elementi u urbanoj sredini koji utiču na nivo termalne senzacije su zelenilo i materijalizacija fasada. Istraživanja ove vrste sprovodili su Sashua-Bar (Sashua Bar & Hoffman, 2000) i Ping Li (Ping et al., 2010). Međutim, Martinelli (Martinelli, 2015) vrši termalne analize na trgu San Silvestro u Rimu (Slika 4) i zaključuje da senka objekata ima najveći i najznačajniji uticaj na nivo spoljašnjeg termalnog komfora. Slični rezultati dobijeni su u prethodnim studijama koje su ispitivale efekat senke na spoljašnji termalni komfor (Gomez et al., 2010; Assis et al., 2013; Lin et al., 2010; Hwang et al., 2010).



Slika 4. Područje istraživanja: trg San Silvestro u Rimu. Podela od A-H na podzone korišćena je da se uradi preciznija opservacija i preciznije izračuna termalni komfor. Tačka M predstavlja poziciju meteoroloških instrumenata. (Preuzeto: Martinelli, 2015)

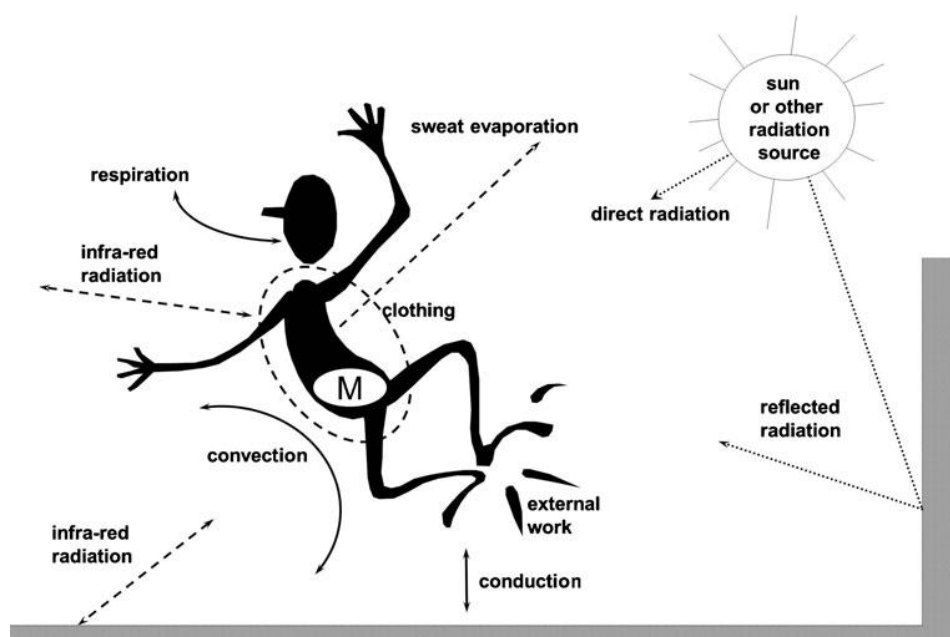
Urbana klima može imati ozbiljne posledice na ljude koji koriste otvorene prostore u gradu jer je direktno povezana za konfiguracijom i atributima urbanih tkiva, ulice i bloka (Kruger, 2011). Međutim, nivo spoljašnjeg termalnog komfora može biti poboljšán odgovarajućim urbanim intervencijama koje imaju efekat smanjenja temperature u letnjim danima i povećanje temperature u zimskom periodu (Setaih, 2013). Geometrija urbane sredine ima veliki uticaj na termalni komfor na otvorenim prostorima što podrazumeva i direktan uticaj na urbano planiranje i dizajn (Eusuf, 2014; Bajšanski et al., 2016).

Gustina izgrađenosti i visina zgrada u gradu imaju uticaj na termalni komfor. Visina zgrada igra veoma važnu ulogu u determinisanju optimalnog termalnog komfora, jer više zgrade smanjuju temperature u skladu sa njihovim procentom osenčenja (Simpson, 2002; Akbari, 2002; Bajšanski et al., 2015). U većini navedenih istraživanja korišćeno je nekoliko indeksa za izračunavanje termalne ugodnosti u otvorenim prostorima.

2. SPOLJAŠNJI TERMALNI KOMFOR

Spoljašnji termalni komfor definisan je u ASHRAE Standardu (ASHRAE, 2010) kao „stanje koje izražava termalnu ugodnost čoveka u izgrađenom ili neizgrađenom okruženju, i procenjuje se po subjektivnoj evaluaciji.“ Definicija je prihvaćena na međunarodnom nivou i određuje šest osnovnih faktora koji se moraju uzeti u obzir prilikom definisanja uslova za toplotnu ugodnost: metabolizam, nivo odevenosti, temperatura vazduha, srednja temperatura zračenja, brzina vetra i relativna vlažnost vazduha. Ovih šest faktora nezavisni su jedan od drugog, ali zajedno doprinose termalnoj ugodnosti na otvorenim prostorima. Navedeni parametri imaju značajan uticaj na toplotnu ugodnost, jer oni utiču na toplotnu ravnotežu ljudskog tela, odnosno generišu ravnotežu toplote u procesu metabolizma, konvekcije, zračenja i isparavanja (Fanger, 1970). Na slici 5 prikazana je termalna interakcija ljudskog tela sa okolinom.

Zbog toga što svaki od navedenih šest parametara ima veliki uticaj na konačne rezultate spoljašnjeg termalnog komfora, u ovom istraživanju svi parametri uzeti su u obzir prilikom vršenja simulacija. Naime, metabolička funkcija uzeta je u obzir kao mirujući, statični položaj čoveka. Zatim, nivo odevenosti podešen je u skladu sa vremenskim periodom analize, dok su podaci za temperaturu vazduha, brzinu vetra i relativnu vlažnost vazduha preuzeti iz klimatskog fajla. Srednja temperatura zračenja u ovom istraživanju izjednačena je sa temperaturom vazduha, što je karakteristično za merenje termalnog komfora u otvorenom prostoru.



Slika 5. Termalna interakcija ljudskog tela sa okolinom. (Preuzeto: Havenith, 2001)

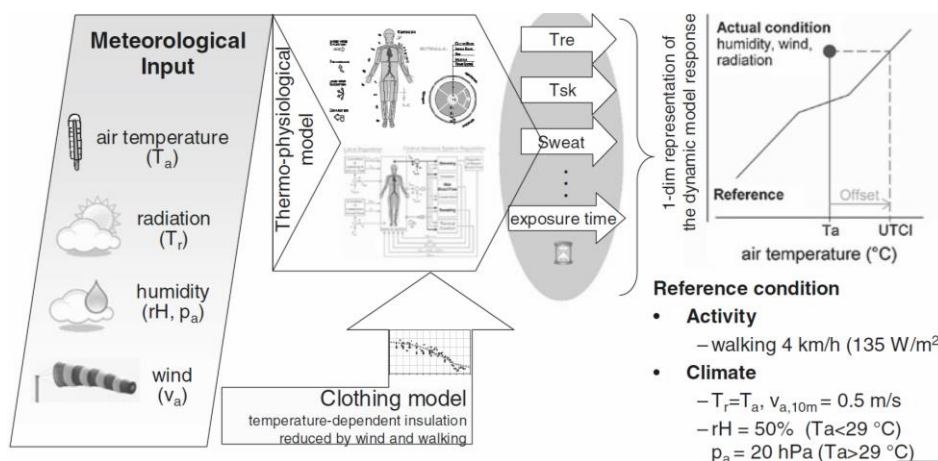
2.1 Indeksi za merenje spoljašnjeg termalnog komfora

Stanje spoljašnjeg termalnog komfora zasnovano je na tri pristupa: psihološkom, termofiziološkom i bilansu toplote ljudskog tela (Hoppe, 2002). Ljudsko telo ne poseduje specifične receptore za toplotne parametre, već doživljava životnu sredinu kao globalno multi-dimenzionalno iskustvo (Hoppe, 1999). Za procenu spoljašnjeg termalnog komfora, razvijeni su sledeći termalni indeksi:

Fiziološki ekvivalentna temperatura (engl. *Physiologically Equivalent Temperature - PET*) (Hoppe, 1999; Hoppe, 1993) definisana je kao temperatura vazduha na kojoj je u tipičnom zatvorenom okruženju, bez vetra i sunčeve radijacije, toplota ljudskog tela izbalansirana sa istom temperaturom kože kao kod spoljašnjih termalnih uslova (Hoppe, 1999). PET se široko koristi za spoljašnju termalnu procenu (Matzarakis, 2010). Međutim, indeks PET nije kalibrisan prema subjektivnom osećaju, i takođe nisu poznata istraživanja ovog indeksa u Aziji.

Spoljašnja standardna efektivna temperatura (engl. *Outdoor Standard Effective Temperature - OUT_SET**) (De Dear, 2000) uključuje takođe sve promenljive vezane za klimatske podatke, metaboličku funkciju i nivo odevenosti. U poređenju sa UTCI i PET indeksom, OUT_SET* je u manjoj meri korišćen za procenu termalnog komfora (Yang, 2013).

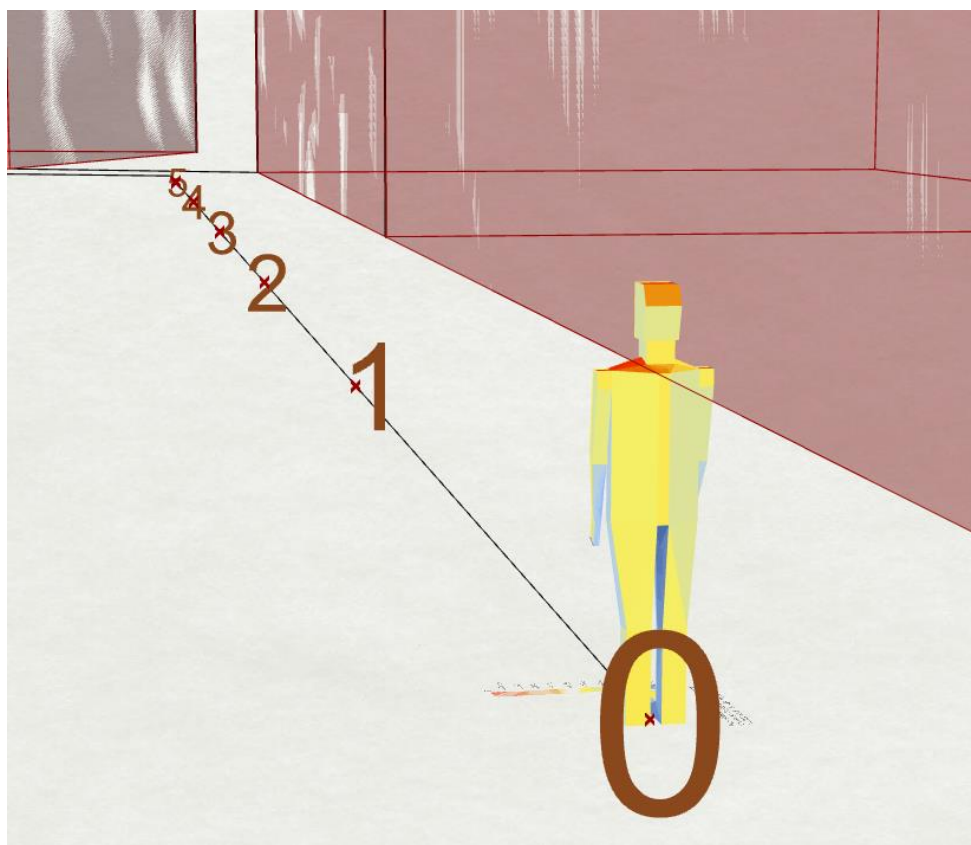
Univerzalni toplotni klimatski indeks (engl. *Universal Thermal Climate Index - UTCI*) (Fiala, 2012; Brode, 2012; Jendritzky, 2012)) razvijen je iz potrebe da se stvori pogodan indeks za procenu spoljašnjeg termalnog komfora, što je podstaklo Međunarodno udruženje biometeorologa (ISB) i Svetsku meteorološku organizaciju (WMO) da formiraju posebnu radnu komisiju u cilju razvijanja UTCI indeksa. UTCI ima za cilj procenu uticaja spoljašnjih termičkih uslova na humanu termalnu senzaciju koja odražava fiziološku reakciju čoveka na multi-dimenzionalnom definisanom otvorenom termalnom okruženju, uzimajući u obzir temperaturu vazduha, brzinu vetra, relativnu vlažnost vazduha i radijaciju (Brode, 2012) (Slika 6).



Slika 6. Koncept UTCI indeksa izveden kao ekvivalentna temperatura od termofizičkog UTCI-Fialinog modela zajedno sa modelom odeće. (Preuzeto: Brode, 2012)

Ljudska reakcija simulirana je Fialinim multisegmentnim modelom⁹ ljudske termoregulacije (Fiala et al., 2012) koji je integrisan sa adaptivnim modelom odevenosti (Haventih et al., 2012). Fialin model sastoji se od sferičnih i cilindričnih delova tela: glava, vrat, ramena, grudni koš, stomak, nadlaktica i podlaktica, gornjih i donjih delova nogu i stopala. Model čoveka predstavlja prosečnu osobu telesne težine od 73,4 kilograma i 1,8 m visine (Fiala et al., 2012). U skladu sa tim, model tela čoveka u softveru Ladybug je prikazan na slici 7 u koloritu, u zavisnosti od vrednosti UTCI indeksa.

Kompletnu procenu spoljašnjeg termalnog komfora u urbanoj sredini moguće je evaluirati upotrebom bilo kog termalnog indeksa. U ovom radu je za procenu korišćen UTCI indeks koji se izražava u stepenima Celzijusa [°C]. Skala UTCI kategorije stresa deli se na topao i hladan stres u zavisnosti od vrednosti UTCI indeksa (Tabela 1).



Slika 7. Model tela čoveka za koga je izračunat spoljašnji termalni komfor u softveru Ladybug. (Ivana Bajšanski)

⁹ Fialin multisegmentni model (eng. Fiala multinode model) ljudskog tela predstavlja podelu na segmente za koje se vrši simulacija spoljašnjeg termalnog komfora. Razlog podele na segmente jeste taj što je termalna senzacija svakog segmenta tela drugačija (Donaldson et al. 2001).

<i>UTCI [°C] opseg</i>	<i>Kategorije stresa</i>
<i>Iznad +46</i>	<i>Ekstremno topao stres</i>
<i>+38 do +46</i>	<i>Veoma jak topao stres</i>
<i>+32 do +38</i>	<i>Jak topao stres</i>
<i>+26 do +32</i>	<i>Nastanak toplog stresa</i>
<i>+9 do +26</i>	<i>Ne postoji termalni stres</i>
<i>+9 do 0</i>	<i>Umereno hladni stres</i>
<i>0 do -13</i>	<i>Nastanak hladnog stresa</i>
<i>-13 do -27</i>	<i>Jak hladan stres</i>
<i>-27 do -40</i>	<i>Veoma jak hladan stres</i>
<i>Ispod -40</i>	<i>Ekstremno hladan stres</i>

Tabela 1. Skala UTCI kategorije stresa. (Preuzeto: International Union of Physiological Sciences – Thermal Commission, 2003)

Razlog zašto je korišćen UTCL indeks u ovom istraživanju jeste njegova pogodnost za ispitivanje spoljašnjeg termalnog komfora u oblasti Centralne, Istočne i Južne Evrope. Indeks je razvijen koristeći Evropske klimatske podatke (Brode et al., 2013) i dobro se pokazao u umerenom klimatskom području Evrope (Blazejczyk et al., 2013). Osim toga, ispitivanja su izvršena i u analizi otvorenih urbanih prostora u Kanadi i Koreji (Park et al., 2014) kao i u subtropskim područjima Brazila (Brode, 2012), što omogućava upotrebu algoritma za poboljšanje i na područjima van Evrope.

3. PARAMETARSKO MODELOVANJE

U poslednjih nekoliko godina, softverske aplikacije za parametarsko modelovanje pružaju novi pristup kada je u pitanju modelovanje i dizajn elemenata arhitektonskog ili urbanističkog okruženja. Parametarsko modelovanje zasnovano je na nekoliko osnovnih podataka koji su međusobno povezani i ujedno se menjaju u zavisnosti od različitih zahteva za modelovanje. Ovakav pristup modelovanju podrazumeva primenu procedura ili pravila na skup geometrijskih entiteta na takav način da on utiče na sve elemente u sklopu (Tepavčević, 2010). Ovaj sistem omogućava višestruku korist kroz integraciju dvodimenzionalnog ili trodimenzionalnog dizajna i simulacija koje se sprovode u različitim istraživanjima. U ovom istraživanju, vizualizacija podataka za analizu spoljašnjeg termalnog komfora omogućava korisniku da napravi jasniju vezu između podataka dobijenih simulacijama i geometrijskih karakteristika urbanog dizajna.

Prednost korišćenja parametarskog pristupa i interakcije različitih softverskih aplikacija je u tome što postoje mogućnosti istraživanja direktne veze između termalne senzacije korisnika i urbanog dizajna kroz niz numeričkih i grafičkih izlaznih podataka koji su precizno integrisani. Stoga, korišćenjem metode parametarskog modelovanja moguće je u različitim softverskim aplikacijama pratiti promenu vrednosti indeksa za izračunavanje spoljašnjeg termalnog komfora u zavisnosti od promene geometrijskih karakteristika urbanog dizajna. U skladu sa tim, u ovom radu razvijen je algoritam za poboljšanje koji koristi algoritam za procenu u cilju poboljšanja termalne senzacije osoba koje borave na otvorenim prostorima. Oba algoritma su kreirana u softverima koji su namenjeni za trodimenzionalno i parametarsko modelovanje, koji sadrže dodatni softver koji omogućava vršenje simulacija spoljašnjeg termalnog komfora. Odnosno, da bi kreirani algoritam za procenu tačno računao vrednost UTCI indeksa, neophodno je u samom softveru kreirati postupak za računanje ovog indeksa i povezati ga sa algoritmom.

3.1 Postupak računanja vrednosti UTCI indeksa

Postupak računanja vrednosti UTCI indeksa odvija se u softveru LadyBug što podrazumeva korišćenje određenih komponenti koje su za ovaj proces namenjene:

Weather Data File je komponenta koja sadrži sve neophodne klimatske podatke za računanje spoljašnjeg termalnog komfora.

Outdoor Solar Temperature Adjustor je komponenta koja se koristi za računanje prilagođene temperature zračenja modela tela čoveka.

Outdoor Comfort Calculator je komponenta koja se koristi za računanje vrednosti indeksa za spoljašnji termalni komfor – UTCI-ja.

U daljem tekstu detaljno je prikazan način rada svake komponente koji se odnosi na podešavanje ulaznih podataka i analizu izlaznih podataka koji se dobijaju za naredni proces računanja. Osim toga, prikazan je način sortiranja i analize dobijenih numeričkih podataka. Ceo postupak računanja vrednosti UTCI indeksa može se podeliti u nekoliko faza.

- i) Prva faza je uvoz i učitavanje svih klimatskih podataka neophodnih za proces računanja UTCI indeksa.*
- ii) Druga faza je računanje prilagođene srednje temperature zračenja koja je neophodna za tačnu vrednost UTCI indeksa.*
- iii) Treća faza je računanje vrednosti UTCI indeksa.*
- iv) Četvrta faza je očitavanje svih numeričkih vrednosti UTCI indeksa.*

*i) U prvoj fazi neophodno je uvesti komponentu *Weather data file* (Fajl sa klimatskim podacima) (Slika 8) za učitavanje klimatskih podataka koji obuhvataju temperaturu vazduha, relativnu vlažnost vazduha, brzinu vetra i globalnu sunčevu radijaciju (koja se sastoji od difuzne i direktne). S obzirom da navedeni faktori znatno utiču na termalnu senzaciju u otvorenim prostorima ukoliko jedan od faktora nedostaje simulacija neće biti izvršena. Klimatski i meteorološki podaci za bilo koju klimatsku zonu mogu biti uvezeni u Ladybug kao klimatski fajl sa ekstenzijom .epw file¹⁰. Datoteka sa klimatskim podacima može biti preuzeta sa interneta koji su dostupni iz Energy Plus klimatske datoteke (U. S. Department of Energy, 2015).*

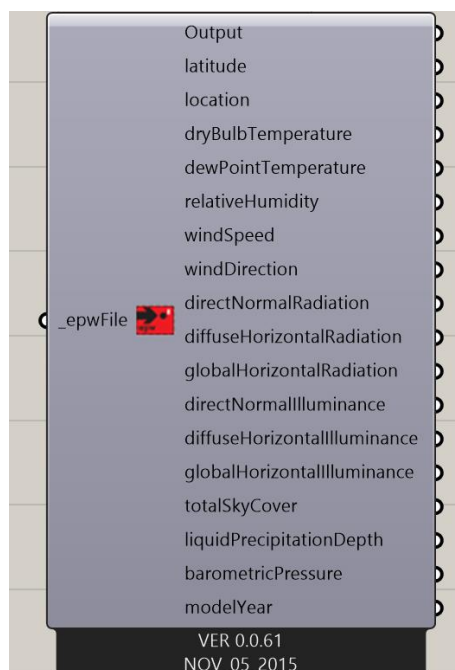
Takođe, postoji mogućnost kreiranja klimatskog fajla na osnovu klimatskih parametara koje korisnik poseduje. Ovaj način omogućava kreiranje klimatske datoteke samo za određeni period koristeći *Convert Weather data*¹¹ alatku iz Ecotect softvera. Neophodno je da su klimatski podaci sačuvani kao .csv¹² format datoteke da bi adekvatno bili uvezeni u Ecotect. Osim toga, korisniku je omogućeno da u isti fajl unosi geografske podatke o vrednosti latitude, longitude i altitude određenog područja.

U zavisnosti od mikro-lokacije istraživanja korisniku je omogućeno da vrši simulacije spoljašnjeg termalnog komfora uz postojanje adekvatnih mikro-klimatskih parametara. Ovo omogućava prilagođavanje i primenu procesa računanja na bilo kojoj lokaciji ili mikrolokaciji.

¹⁰ .epw file je skraćenica od engl. Energy Plus Weather file i predstavlja tip datoteke koja sadrži podatke vezano za klimatske parametre kao što su temperatura vazduha, relativna vlažnost vazduha, brzina vetra, globalna, direktna i difuzna solarna radijacija. Osim ovih parametara, moguće je podesiti podatke o longitudi, latitudi i altitudi na određenoj lokaciji.


¹¹ *Convert Weather Data* alatka služi za konvertovanje podataka o klimatskim parametrima iz Microsoft Office Excel-a. Nakon konvertovanja podaci se čuvaju sa ekstenzijom .epw fajla.

¹² Csv. je ekstenzija fajla koja predstavlja skraćenicu od *Comma Separated Value* formata karakterističnog za Microsoft Office Excel program.



Slika 8. Prikaz komponente *Weather data file* iz softvera *Ladybug* sa izlaznim klimatskim podacima koji se koriste u daljem procesu računanja. (Ivana Bajšanski)

ii) U drugoj fazi koristi se komponenta *Outdoor Solar Temperature Adjustor* koja je takođe neophodna za računanje vrednosti UTCI indeksa i odnosi se na računanje prilagođene srednje temperature zračenja (engl. *Solar Adjusted Mean Radiant Temperature - SAMRT*). Ova komponenta sadrži deo sa ulaznim i izlaznim podacima (Slika 9). Za ulazne podatke neophodno je uključiti informacije iz komponente *Weather data file* o lokaciji područja (longitudu, latitudu i altitudu), difuznu i direktnu solarnu radijaciju, kao i temperaturu vazduha. Zatim, u okviru ove komponente neophodno je izvršiti podešavanje parametara koji podrazumevaju elemente koji se odnose na model tela čoveka za koga se računanje vrednosti UTCI indeksa vrši. Ti podaci podrazumevaju položaj tela, ugao rotacije tela, nivo odevenosti i lokaciju tela. Elementi izgrađenog okruženja koji svojom geometrijom utiču na ishod SAMRT temperature takođe su neophodni u procesu računanja. Zatim, refleksija parterne površine i period godine za koji se sprovodi analiza. Svaki od ovih parametara je detaljno objašnjen u daljem tekstu.

ULAZNI PODACI	IZLAZNI PODACI
_location	readMe!
_cumSkyMtxOrDirNormRad	-----
_diffuseHorizRad	-----
_meanRadTemperature	effectiveRadiantField
-----	-----
bodyPosture_	MRTDelta
rotationAngle_	-----
bodyLocation_	solarAdjustedMRT
contextShading_	-----
north_ 	-----
-----	mannequinMesh
groundReflectivity_	-----
clothingAbsorptivity_	legend
windowTransmissivity_	-----
-----	legendBasePt
analysisPeriodOrHOY_	-----
legendPar_	-----
tempOrRad_	meshFaceResult
parallel_	-----
_runIt	meshFaceArea
VER 0.0.61 NOV_05_2015	

Slika 9. Komponenta Outdoor Solar Temperature Adjustor u softveru Ladybug sa prikazom ulaznih i izlaznih podataka. (Ivana Bajšanski)

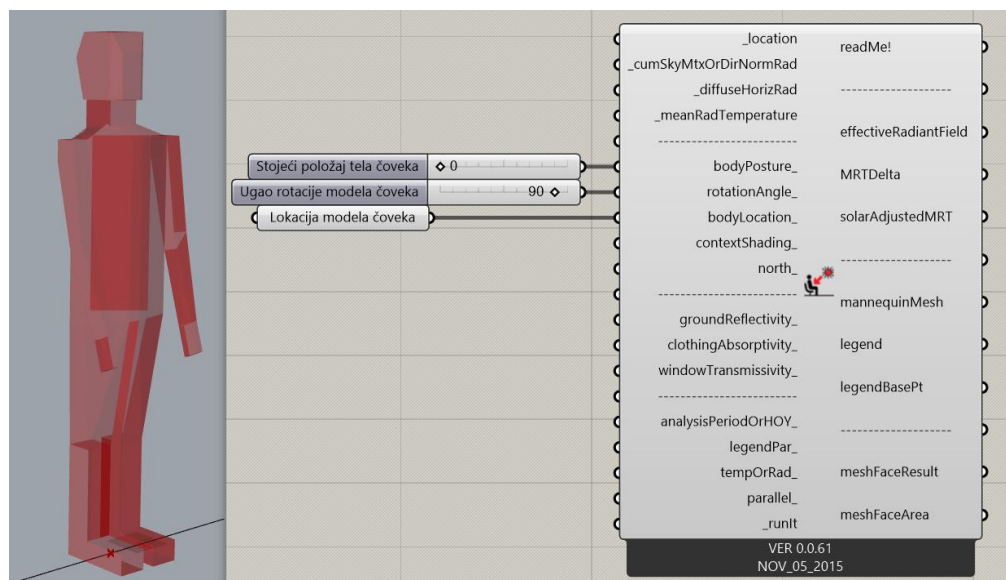
Podaci koji se odnose na model tela čoveka su:

Body Posture - Položaj tela u kom se nalazi model čoveka za kog se proračunava spoljašnji termalni komfor. U okviru ove komponente moguće je podesiti stojeći, sedeći ili ležeći položaj modela tela čoveka na osnovu numeričkih vrednosti koje označavaju ove položaje. Model čoveka je vidljiv u Rhinoceros-u, dok se podešavanje položaja, tj. upisivanje određenog broja koji odgovara određenom položaju vrši u Ladybug-u. Na slici 10 prikazan je stojeći položaj u Rhinoceros-u u zavisnosti od odabranog odgovarajućeg broja u Ladybug-u.



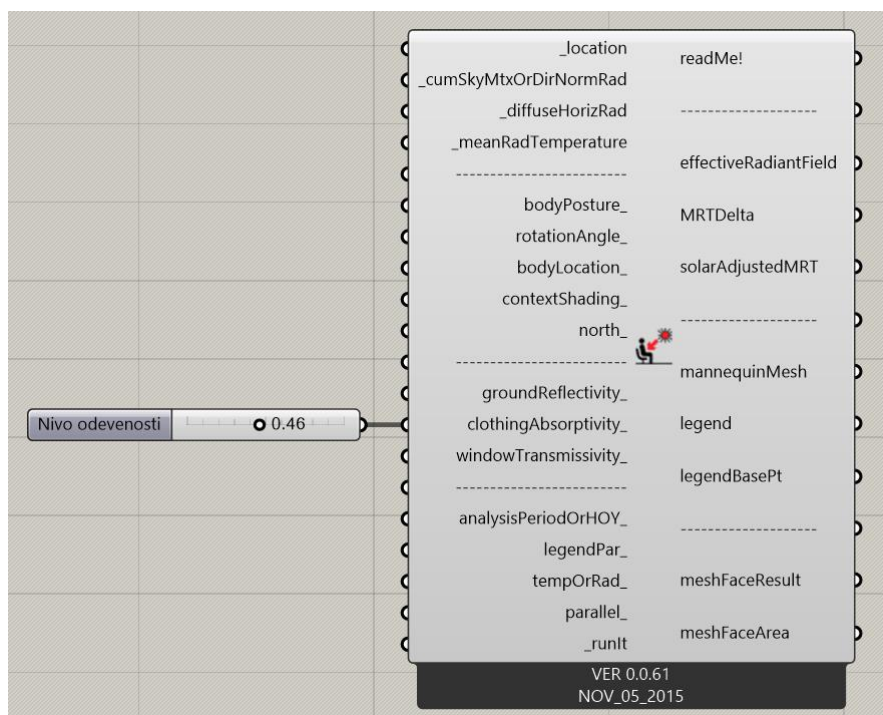
Slika 10. Stojeći položaj modela čoveka prikazan u Rhinoceros-u (levo) i odabrana vrednost 0 za Body Posture u komponenti Outdoor Solar Temperature Adjustor Ladybug-a (desno). (Ivana Bajšanski)

Rotation Angle – Predstavlja ugao pod kojim je model tela čoveka okrenut. Model čoveka sa prikazanim određenim stepenom rotacije takođe je vidljiv u Rhinoceros-u, dok je broj stepeni moguće podesiti u Ladybug-u (Slika 11). S obzirom da je kretanje čoveka uglavnom usmereno po zadatoj liniji, ugao rotacije modela čoveka prilagođen je tako da je prednji deo tela uvek upravan na liniju kretanja.



Slika 11. Podešen ugao od 90° kojim model čoveka stoji u odnosu na referentnu liniju prikazan u Rhinoceros-u (levo) i odabrana vrednost ugla za Rotation Angle u komponenti Outdoor Solar Temperature Adjustor Ladybug-a (desno). (Ivana Bajšanski)

Clothing Absorptivity – Vrednost nivoa odevenosti zavisi od godišnjeg doba, broja i vrste odevnih predmeta. Vrednost nivoa odevenosti može biti podešena putem parametra koji uzima vrednost od 0 do 0.99. Na primer, u koliko se simulacije vrše za letnji period, nivo odevenosti modela čoveka potrebno je podesiti na vrednost 0.46 (Slika 12), što odgovara šortsu i majici kratkih rukava. Za potpunu odevenost modela čoveka tokom zimskog perioda neophodno je podesiti najveću vrednost 0.99. Podešavanje se vrši u Ladybug-u, dok u Rhinoceros-u nisu vidljive promene u modelu čoveka. Promene se uočavaju jedino na osnovu finalnih numeričkih vrednosti UTCI indeksa.



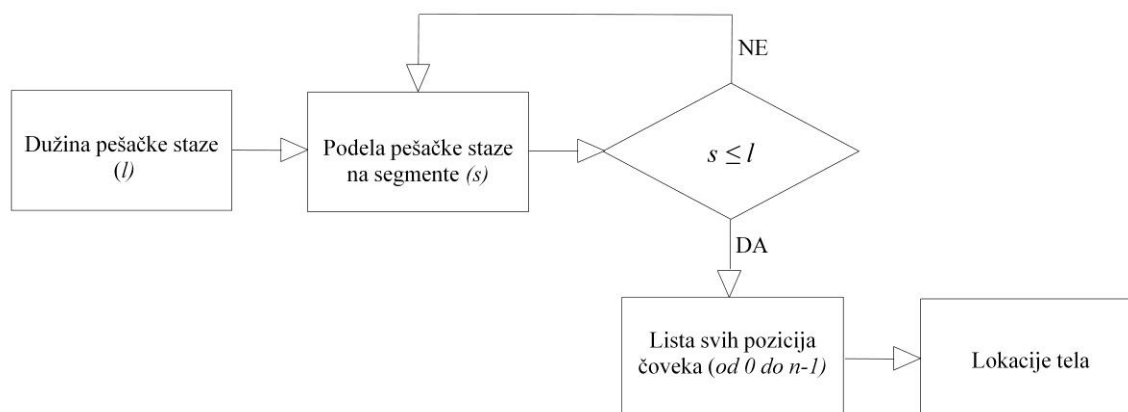
Slika 12. Podešena vrednost nivoa odevenosti od 0.46 u komponenti Outdoor Solar Temperature Adjustor Ladybug-a. (Ivana Bajšanski)

Body Location – Parametar koji podrazumeva potencijalne lokacije modela tela čoveka koje se vezuju za generisane tačke u Rhinoceros-u. Tačke mogu biti postavljene nasumično kao skup tačaka, mogu biti determinisane u okviru neke određene linije ili biti postavljene u sredini poligona. Za prvi slučaj skup tačaka može biti generisan u bilo kom CAD softveru i/ili Rhinoceros-u i mogu biti proizvoljno postavljene (Slika 13).

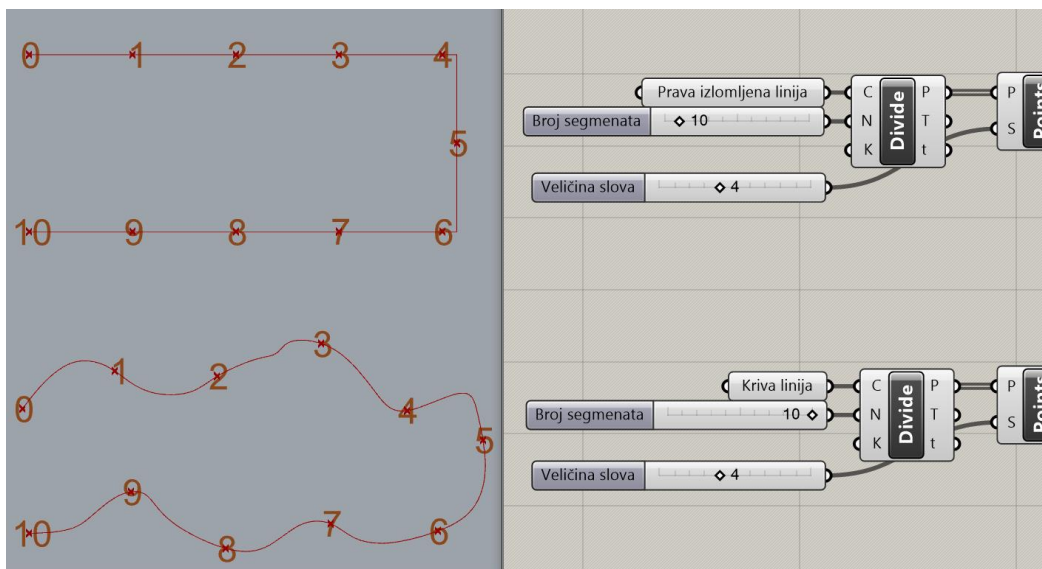


Slika 13. Prikaz potencijalnih lokacija modela tela čoveka u vidu nasumično postavljenih tačaka u softveru Rhinoceros (levo) i komponenta Point u Grasshopper-u (desno). (Ivana Bajšanski)

Takođe, osnovni geometrijski parametar može biti prava i/ili kriva linija koja predstavlja pešačku stazu određene dužine (l). Da bi se na liniji dobile tačke koje predstavljaju potencijalne pozicije modela tela čoveka, u softveru Grasshopper vrši se podela generisane linije. U okviru ove komponente moguće je podesiti broj i dužinu segmenata na koje će referencirana linija biti podeljena. Podešavanjem ovih parametara, pešačka staza, odnosno generisana linija je podeljena na više istih segmenata (s). Svaki segment predstavlja opet liniju koja ima svoju početnu i krajnju tačku. Početne i krajnje tačke na segmentima predstavljaju grupu tačaka (n), označene brojevima od 0 do $n-1$. Da bi postojale najmanje dve lokacije, dužina segmenta mora biti manja ili jednaka dužini pešačke staze, $s \leq l$. Na slici 14 je prikazan dijagram postupka za dobijanje potencijalnih pozicija modela čoveka. Ukoliko uslov $s \leq l$ nije ispunjen algoritam neće napraviti listu svih potencijalnih pozicija modela čoveka. U tom slučaju, neophodno je vratiti se korak unazad i podesiti ponovo dužinu segmenta. Na slici 15 prikazan je primer pravih i krivih linija koje predstavljaju pešačku stazu i nalaze se u jednoj ravni.

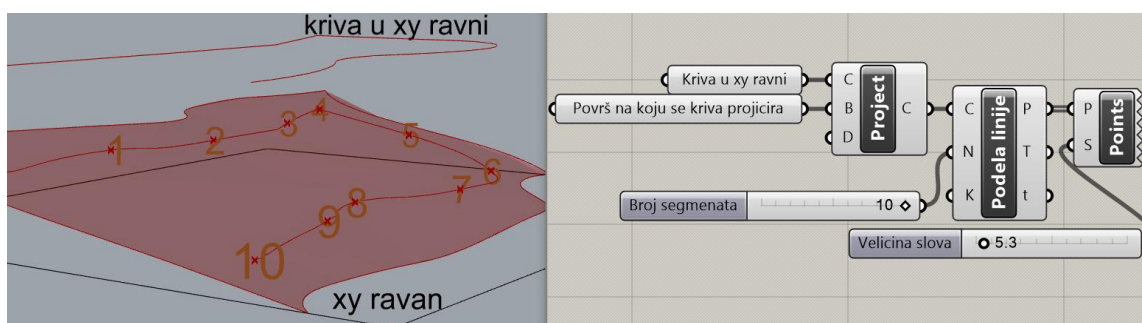


Slika 14. Dijagram postupka za dobijanje svih mogućih lokacija modela tela čoveka. (Preuzeto: Bajšanski et al., 2015)



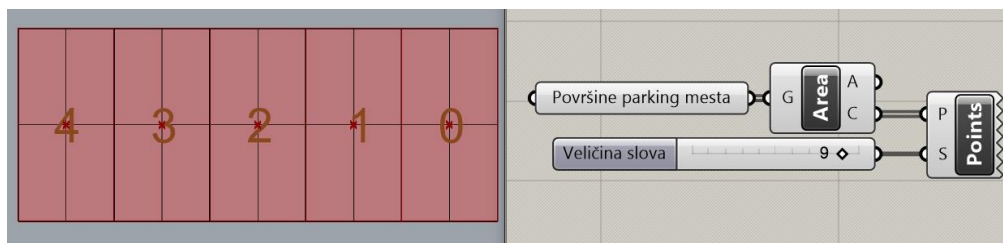
Slika 15. Prikaz potencijalnih lokacija modela tela čoveka postavljenih na pravoj i krivoj liniji koje pripadaju jednoj ravni u softveru Rhinoceros (levo) i komponente Curve i Divide Curve u Grasshopper-u (desno). (Ivana Bajšanski)

Putanju na kojoj se nalaze potencijalne lokacije modela tela čoveka moguće je prikazati i u vidu prostorne krive linije. Ona je karakteristična za analizu urbanog područja sa proizvoljnim oblikom terena. Kreiranje te prostorne krive vrši se projiciranjem krive linije iz horizontalne ravni. Naime, ukoliko postoji proizvoljan oblik terena u nagibu, iznad njega je neophodno kreirati krivu u horizontalnoj koordinatnoj ravni i zatim je projicirati na teren (Slika 16).



Slika 16. Prikaz potencijalnih lokacija modela tela čoveka postavljenih na prostornoj liniji u softveru Rhinoceros (levo) i komponenti Curve (Kriva u xy ravni), Surface (Površ na koju se kriva projicira) u Grasshopper-u (desno). (Ivana Bajšanski)

Sledeći način kreiranja potencijalnih pozicija modela tela čoveka jesu tačke na sredinama parking mesta. Parking mesta mogu biti kreirana u vidu ravanskih površi, a tačke u sredini parking mesta određene su kao centar zadanog poligona (Slika 17).



Slika 17. Prikaz potencijalnih lokacija modela tela čoveka postavljenih na parking mestima u softeru Rhinoceros (levo) i komponente Surface i Area u Grasshopper-u (desno). (Ivana Bajšanski)

Podaci koji se odnose na karakteristike izgrađene sredine su:

Ground Reflectivity – Refleksija parterne površine (albedo) (Zell, 2015) podešava se u Ladybug-u (Slika 18) i vrednost refleksije zavisi od materijala od kog je sačinjen urbani parter. Na slici 19 prikazana je tabela na osnovu koje se može odabrati vrednost refleksije urbanog partera.

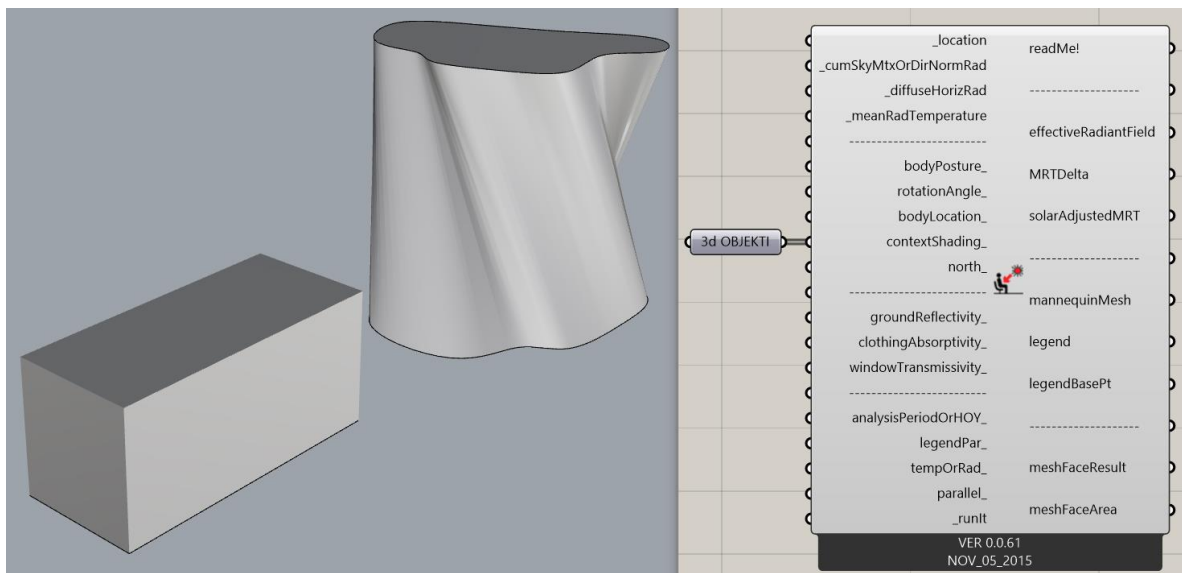


Slika 18. Podešena vrednost refleksije partera od 0.26 u komponenti Outdoor Solar Temperature Adjustor Ladybug-a. (Ivana Bajšanski)

Surface	Details	Albedo
Soil	Dark & wet versus	0.05 -
	Light & dry	0.40
Sand		0.15 - 0.45
Grass	Long versus	0.16 -
	short	0.26
Agricultural crops		0.18 - 0.25
Tundra		0.18 - 0.25
Forests	Deciduous	0.15 - 0.20
	Coniferous	0.05 - 0.15
Water	Small zenith angle versus	0.03 - 0.10
	Large zenith angle	0.10 - 1.0
Snow	Old	0.40 -
	Fresh	0.95
Ice	Sea	0.30 - 0.45
	Glacier	0.20 - 0.40
Clouds	Thick	0.60 - 0.90
	Thin	0.30 - 0.50

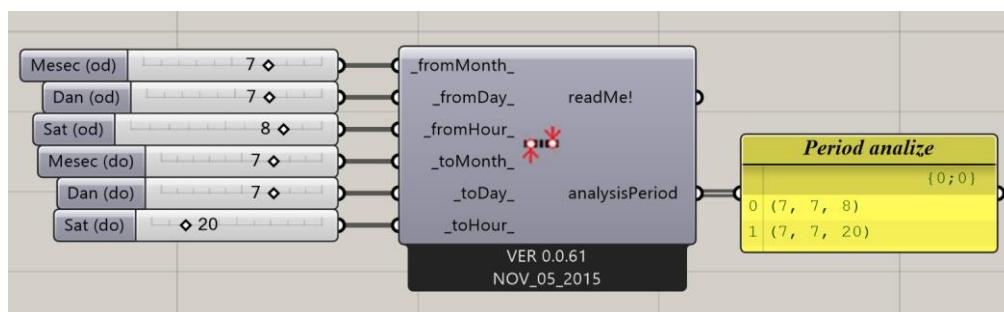
Slika 19. Vrednosti refleksije površine urbanog partera u zavisnosti od materijala. (Preuzeto: Oke, 1988)

Context Shading - Jedan od veoma važnih ulaznih parametara su trodimenzionalni modeli izgrađenog okruženja, koji svojom geometrijom utiču na nivo termalne senzacije u otvorenim prostorima. Generisanje objekata vrši se na osnovu informacija o njihovim osnovnim geometrijskim karakteristikama, kao što su širina, dužina i oblik osnove, zatim visina i promena geometrije po spratovima, ukoliko postoji. Geometrijske karakteristike 3d modela mogu biti generisane u bilo kom CAD softveru za trodimenzionalno modelovanje. Elementi određene urbane celine moraju biti generisani u vidu punih geometrijskih formi. Zatim, trodimenzionalni model mora biti uvezen u Rhinoceros ili može takođe biti direktno generisana u ovom softveru. Trodimenzionalna geometrija generisana u softveru Rhinoceros vezuje se za Grasshopper i priključuje kao ulazni podatak za *Context Shading* u komponenti *Outdoor Solar Temperature Adjustor* u Ladybug-u (slika 20). Zbog karakteristika CAD softverskih alata, objekte je moguće modelovati od najjednostavnijih do kompleksnih geometrijskih formi. U daljem tekstu biće detaljno objašnjen rad algoritma za procenu i algoritma za poboljšanje i mogućnosti uvoza geometrije u svaki od njih.

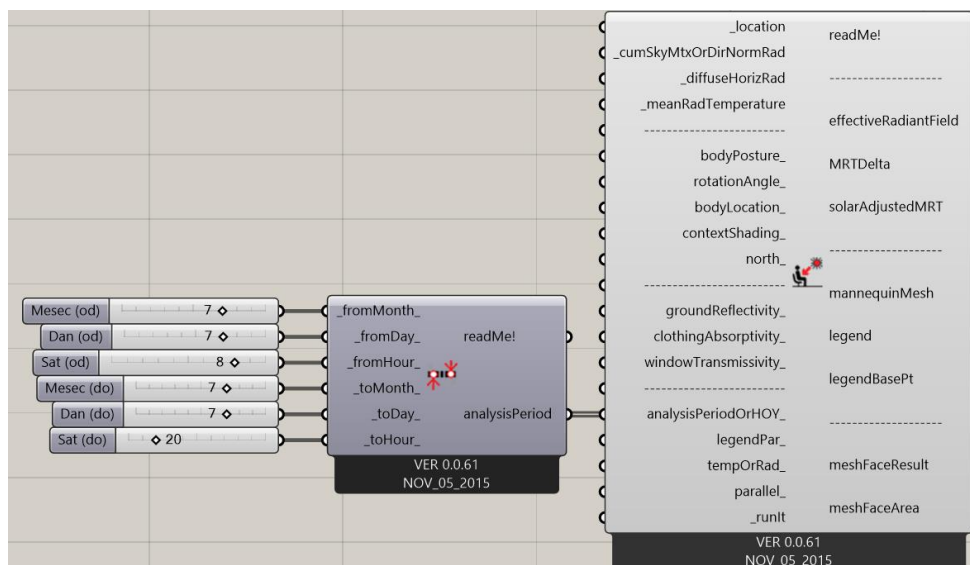


Slika 20. Prikaz trodimenzionalnih modela u Rhinoceros-u (levo) i komponente Geometry u Grasshopper-u povezane sa SAMRT komponentom u Ladybug-u (desno). (Ivana Bajšanski)

Analysis Period - Vremenski period analize obuhvata mogućnost podešavanja perioda godine, meseca i dana za koji se simulacije vrše. Na slici 21 je prikazana komponenta Analysis period pomoću koje se ovi podaci podešavaju u softveru Ladybug. Nakon podešenih parametara komponenta *Analysis period* povezuje se sa istoimenim ulaznim podatkom u komponenti *Outdoor Solar Temperature Adjustor* u Ladybug-u (Slika 22).



Slika 21. Komponenta Analysis Period u Ladybug-u. Prikazani su podaci za datum 7. jul, od 8-20h. (Ivana Bajšanski)



Slika 22. Komponenta Analysis period priključena u komponentu Outdoor Solar Temperature Adjustor u Ladybug-u. (Ivana Bajšanski)

iii) Treća faza postupka računanja vrednosti UTCI indeksa odnosi se na računanje spoljašnjeg termalnog komfora vrednosti UTCI indeksa na svim određenim lokacijama modela tela čoveka pomoću komponente Outdoor Comfort Calculator. Ova komponenta sadrži deo sa ulaznim podacima koji podrazumevaju podatke iz klimatske datoteke za temperaturu vazduha, relativnu vlažnost vazduha i brzinu vetra. Osim navedenih parametara, u proces računanja neophodno je uključiti i vrednost dobijene SAMRT temperature iz komponente Outdoor Solar Temperature Adjustor. Kao izlazni parametar iz ove komponente dobija se vrednost UTCI indeksa sa naznakom na komponenti universalThermalClimateIndex. (Slika 23).

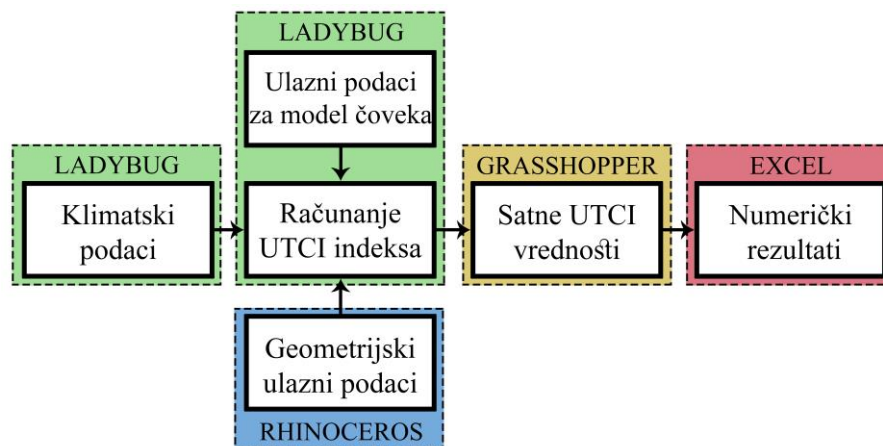


Slika 23. Izgled komponente u Grasshopper-u sa ulaznim podacima (levo) i izlaznim podacima (desno). (Ivana Bajšanski)

iv) Četvrta faza podrazumeva očitavanje svih numeričkih vrednosti UTCI indeksa, u stepenima celzijusa [°C] iz Grasshopper softverske aplikacije u softver za statističku obradu podataka, Microsoft Office Excel. Rezultati su sortirani u kolonama i predstavljaju satne vrednosti UTCI indeksa za određeni period i određene klimatske podatke. Sve faze koje su uključene u proces i neophodni ulazni podaci prikazani su u tabeli 2 i putem dijagrama na slici 24.

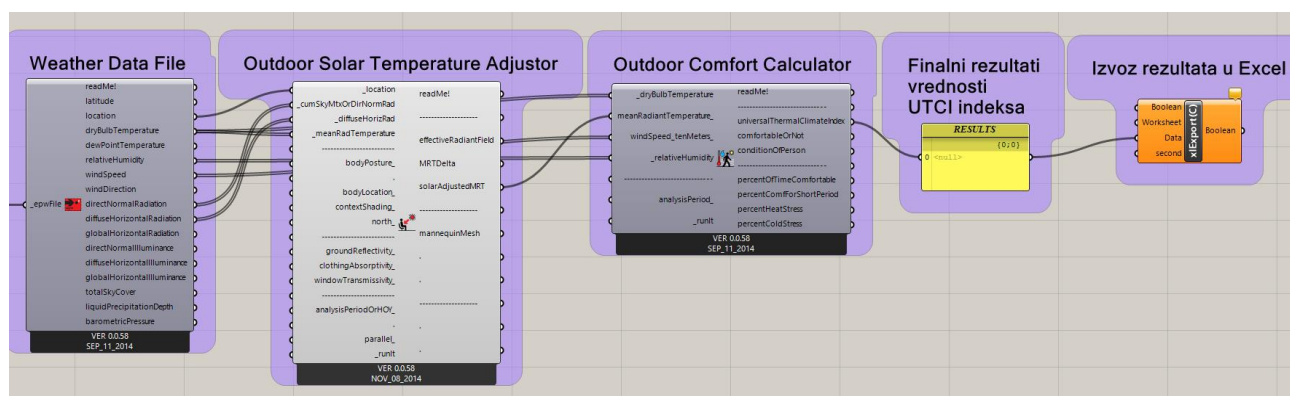
	Ulazni podaci	Softver
<i>Geometrija i klimatski podaci</i>	<i>Ulazni geometrijski i klimatski podaci:</i> -Izgrađeno okruženje (3d modeli) -Parking mesta -Pešačke staze Klimatski podaci	Rhinoceros Ladybug
<i>Prilagođena srednja temperatura zračenja (SAMRT)</i>	<i>Ulazni podaci za računanje SAMRT temperature:</i> -Temperatura vazduha [°C] -Relativna vlažnost vazduha [%] -Brzina vetra [ms ⁻¹] -Direktna solarna radijacija [Wm ⁻²] -Globalna solarna radijacija [Wm ⁻²] -Difuzna solarna radijacija [Wm ⁻²] -Položaj tela -Ugao pod kojim je telo okrenuto [0-360°] -Albedo [0-1] -Nivo odevenosti [0-1] -Period analize [00-24, 1-31, 1-12] -Izgrađeno okruženje (3d modeli) -Lokacije modela tela čoveka	Ladybug
<i>Univerzalni termalni indeks (UTCI)</i>	<i>Ulazni podaci za računanje UTCI indeksa:</i> -Temperatura vazduha [°C] -Relativna vlažnost vazduha [%] -Brzina vetra [ms ⁻¹] -SAMRT	Ladybug
<i>Numerički rezultati</i>	<i>Detektovanje svih vrednosti UTCI indeksa:</i> -Satne vrednosti UTCI indeksa za svaku lokaciju	Grasshopper

Tabela 2. Prikaz neophodnih ulaznih podataka i različitih softverskih aplikacija korišćeni u procesu računanja vrednosti UTCI indeksa. (Preuzeto: Bajšanski et al., 2015)



Slika 24. Dijagram povezanosti različitih softvera korišćenih u istraživanju za dobijanje finalnih vrednosti UTCI indeksa. (Ivana Bajšanski)

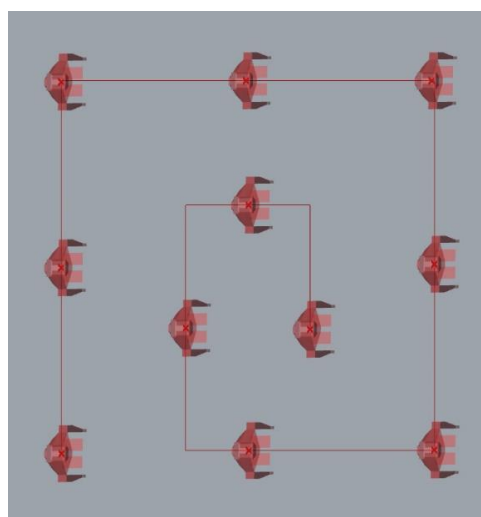
Vrednosti UTCI indeksa izračunate pomoću komponenti u softveru LadyBug upoređene su sa vrednostima UTCI indeksa na zvaničnom sajtu (<http://www.utci.org/utci/utci.php>) za izračunavanje vrednosti UTCI indeksa u cilju verifikacije tačnosti rezultata dobijenih u softveru. Nakon unošenja neophodnih ulaznih podataka na zvaničnom sajtu, UTCI indeks imao je istu vrednost kao u softveru. Postupak za računanje vrednosti UTCI indeksa u softveru LadyBug sa opisanim komponentama je prikazan na slici 25.



Slika 25. Prikaz međusobne veze između svih komponenti korišćene za izračunavanje vrednosti UTCI indeksa u softveru LadyBug. (Ivana Bajšanski)

3.2 Procena spoljašnjeg termalnog komfora

Postupak za računanje vrednosti UTCI indeksa važan je deo jer omogućava procenu spoljašnjeg termalnog komfora u urbanoj sredini. Korišćenjem ovog postupka moguće je zabeležiti tačne UTCI vrednosti na određenim pozicijama modela tela čoveka. Zatim, u slučaju menjanja nekih geometrijskih karakteristika urbanog dizajna moguće je uočiti razlike koje nastaju u vrednostima UTCI indeksa na istim određenim pozicijama modela tela čoveka. Na taj način, omogućeno je praćenje svake promene u konačnim numeričkim dobijenim vrednostima UTCI indeksa. Računanje vrednosti UTCI indeksa može se izvršiti samo na jednoj poziciji modela tela čoveka ili na više pozicija istovremeno (Slika 26).



Slika 26. Prikaz tačaka sa modelom tela čoveka fiksirane za jednu liniju u Rhinoseros-u u cilju izračunavanja spoljašnjeg termalnog komfora svih modela čoveka na tim lokacijama.

(Ivana Bajšanski)

Ukoliko se računanje vrednosti UTCI indeksa vrši samo na jednoj poziciji, postupak vršenja simulacije nije vremenski zahtevan i traje manje od jedne sekunde ili nekoliko sekundi, što zavisi od performansi računara koji korisnik poseduje. Međutim, ukoliko se računanje vrši na više pozicija istovremeno, proces može biti dugotrajan ili prekinut zbog kompleksnosti izvršavanja više simulacija istovremeno. Iz ovog razloga postoji potreba da se proces računanja na više pozicija pojednostavi, tako što će se simulacije spoljašnjeg termalnog komfora izvršavati na jednoj po jednoj lokaciji.

Ladybug softver u kom je kreiran proces za računanje vrednosti UTCI indeksa koristi editor softvera Grasshopper, koji ima mogućnost kreiranja automatskih postupaka. Zahvaljujući tome, napravljen je algoritam za procenu, odnosno automatski postupak koji vrši promenu lokacije modela tela čoveka i upotrebom kreiranog postupka za računanje vrednosti UTCI indeksa vrši procenu spoljašnjeg termalnog komfora.

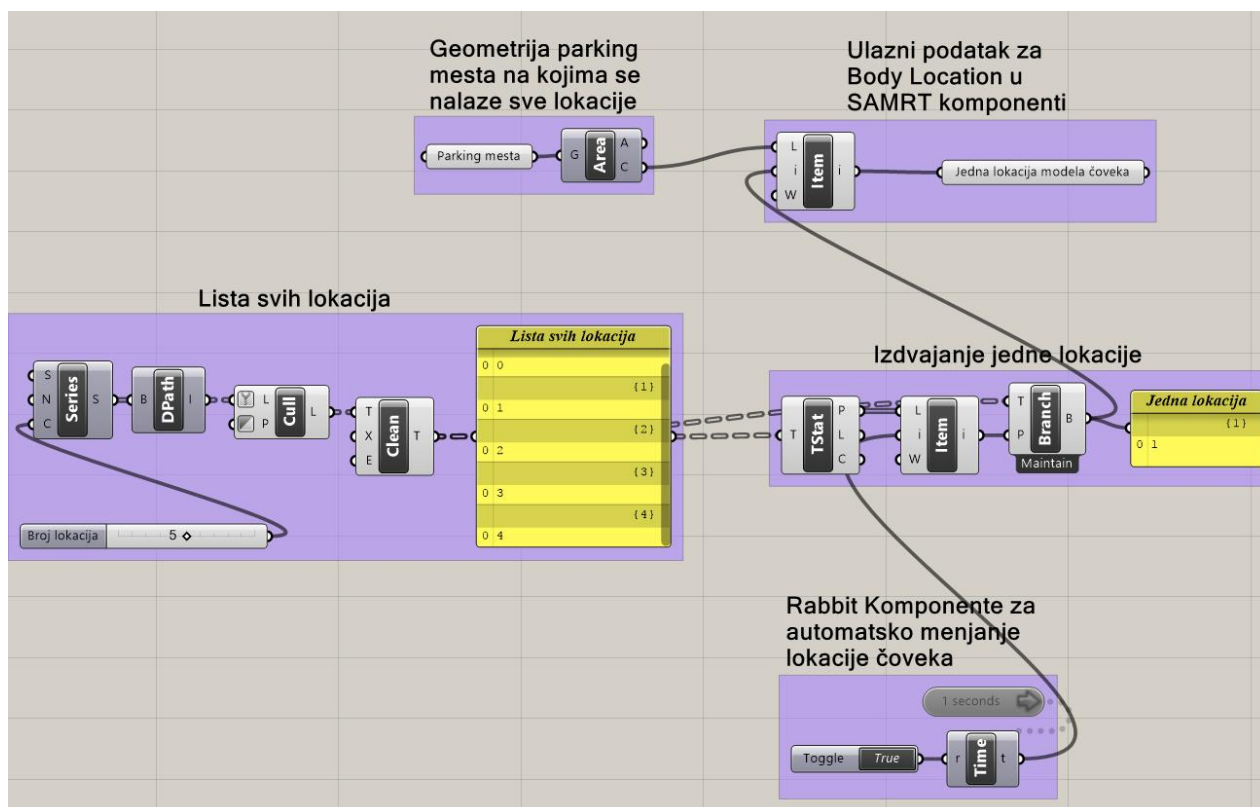
3.3 Algoritam za procenu spoljašnjeg termalnog komfora

Algoritam za procenu spoljašnjeg termalnog komfora koji je kreiran u ovom istraživanju, omogućava automatsko menjanje lokacije modela tela čoveka u tačkama koje su određene u Rhinoceros-u i uvezene kao *Body Location* u komponenti *Outdoor Solar Temperature Adjustor*. Cilj algoritma za procenu je istovremeno menjanje lokacije modela tela čoveka i izračunavanja vrednosti UTCI indeksa u urbanim sredinama bilo koje površine.

Referencirane tačke se vezuju za komponentu *Body location* (Lokacije modela tela čoveka) prikazane u prethodnom poglavlju. Procena spoljašnjeg termalnog komfora i rad algoritma za procenu funkcionisaće potpuno identično bez obzira na koji način su tačke (potencijalne pozicije modela tela čoveka) generisane.

Proces algoritma za procenu sadrži deo koda koji generiše listu brojeva od 0 do n-1 koje ustvari predstavljaju pozicije tela modela čoveka. Referenciranjem elemenata 3d modela izgrađenog okruženja koji podrazumeva trodimenzionalnu geometriju zgrada, pešačkih staza i parking mesta ostaje fiksiran u Rhinoceros-u, dok se lokacije tela na određenim tačkama automatski menjaju korišćenjem softverskog dodatka Rabbit za Grasshopper. Kao što je navedeno i prikazano u prethodnom tekstu, objekte je moguće modelovati i u vidu kompleksnih geometrijskih formi. Proste, složene i slobodne geometrijske forme moguće je uvesti u algoritam za procenu. Lakoća trodimenzionalnog modelovanja objekata i visok kvalitet vizuelne reprezentacije izgrađene sredine prednosti su u poređenju sa ostalim softverima za proračunavanje spoljašnjeg termalnog komfora, kao što su RayMan i ENVI-Met (Eliasson, 2000). Takođe, visoka prostorna rezolucija koja podrazumeva mogućnost podešavanja lokacije tela na svakih 1 cm je prednost u poređenju sa ENVI-Met softverom, u kome je najmanja prostorna rezolucija 10 cm.

U softveru Grasshopper, pomoću kreiranog algoritma za procenu vrši se na svakoj lokaciji računanje vrednosti UTCI indeksa. Nakon izračunavanja vrednosti UTCI indeksa na jednoj lokaciji, lokacija tela pozicionira se na sledeću tačku i računa se vrednost UTCI indeksa na toj lokaciji. Algoritam za procenu vrši računanje dok se ne ispitaju sve određene lokacije. Broj simulacija vrednosti UTCI indeksa jednak je broju svih lokacija modela čoveka na pešačkoj stazi. Postupak za automatsko menjanje lokacije čoveka koji je napravljen u Grasshopper-u prikazan je na slici 27. Prednost softvera korišćenih u ovom istraživanju i predloženog algoritma za procenu u odnosu na softversku aplikaciju RayMan, je ta da je u RayMan-u nemoguće testirati automatsko menjanje pozicije čoveka (Matzarakis, 2007).



Slika 27. Postupak za automatsko menjanje lokacije čoveka na primeru parking mesta, kreiran u Grasshopper-u. (Ivana Bajšanski)

3.4 Poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora

Kreiran algoritam za procenu važan je zbog merenja vrednosti UTCI indeksa na postojećim stanjima urbanog dizajna. Algoritam za poboljšanje koji je opisan u daljem tekstu, koristi u svom procesu rada i algoritam za procenu. U prethodnim istraživanjima uočeno je da geometrijske karakteristike izgrađenog okruženja znatno utiču na promenu spoljašnjeg termalnog komfora u otvorenim prostorima. Iz tog razloga, u ovom istraživanju ispitan je uticaj promene geometrije objekata u različitim urbanim sredinama. Uočeno je da visina objekata znatno utiče na konačan ishod numeričkih rezultata vrednosti spoljašnjeg termalnog komfora. U cilju postizanja komfornijih uslova za boravak u otvorenom prostoru, u ovom istraživanju poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora postiže se postupkom raspoređivanja visina objekata koje se uzimaju iz skupa unapred određenih visina. Na primer, unapred može biti određeno da od 5 objekata jedan treba da bude visine 12 m, dva od 15 m i dva od 18 m.

Naime, za svako urbano područje postoje regulative koje se odnose na visinsku regulacionu liniju koja podrazumeva mogućnost izgradnje objekata do određene visine. Na početku urbanističkog planiranja, prema navedenoj regulativi, određuju se visine objekata

koje će biti zastupljene u analiziranom području. Visina svakog objekta utiče na termalnu ugodnost boravka u njegovoj neposrednoj blizini.

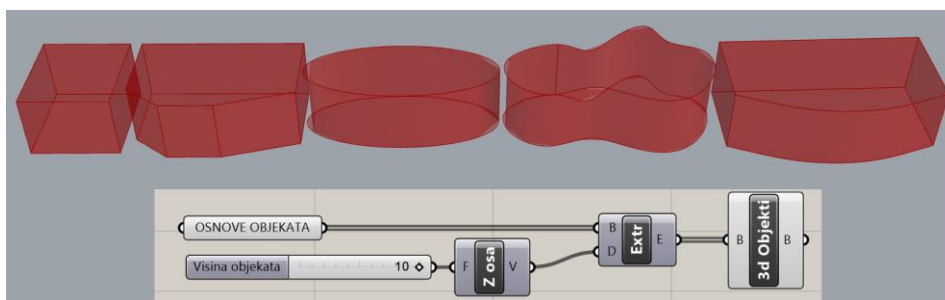
Cilj ovog istraživanja je da se algoritmom za poboljšanje izvrši raspored unapred određenog skupa visina objekata na najbolji mogući način da bi spoljašnji termalni komfor bio što bolji. Visine zgrada raspoređuju se na već postojećim osnovama objekata.

Pronalaženje rešenja za najbolji spoljašnji termalni komfor u urbanoj sredini može se vršiti ili u zimskom ili u letnjem periodu. Kao što je prikazano u poglavlju 2, kategorije stresa se dele na topao i hladan stres, pa se iz tog razloga može postići poboljšanje samo jednog od ova dva stresa. Odabir vremenskog perioda zavisi od klimatskih uslova područja u kom se analize vrše i koji stres ima veći prioritet za smanjenje. Odnosno, klimatski uslovi u kojima prevladavaju visoke temperature, očekivano je da algoritam za poboljšanje bude korišćen da pronade najbolje rešenje rasporeda visina objekata uzimajući u obzir klimatske podatke za letnji period. Time se postiže smanjenje toplotnog stresa u urbanoj sredini. Sa druge strane, ukoliko područje analize pripada klimatskom području sa pretežno niskim temperaturama u toku godine, očekivano je da se koriste klimatski podaci za zimski period i da se traži najbolji raspored visina objekata u skladu sa tim podacima. U tom slučaju, postiže se smanjenje hladnog stresa. U poglavlju 4.2, u cilju prikaza prilagođavanja algoritma za poboljšanje urađene su analize i za letnji i za zimski period i dati su predlozi urbanističkih rešenja za oba perioda.

3.5 Algoritam za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora

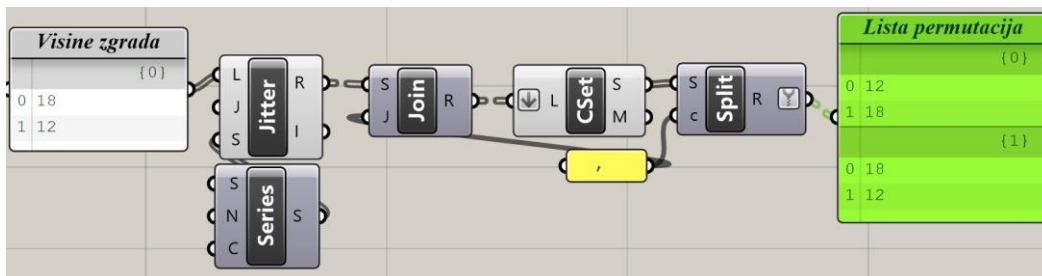
Algoritam za poboljšanje podrazumeva automatsko menjanje visina zgrada u cilju dobijanja najboljeg spoljašnjeg termalnog komfora osoba koje borave u tom izgrađenom okruženju. Proces obavljanja svih analiza sadrži nekoliko faza koje su neophodne da bi se simulacije izvršile.

Ulazni geometrijski parametri su zatvorene dvodimenzionalne polilinije koje mogu biti generisane u bilo kom CAD softveru i uvezene u Rhinoceros ili mogu biti kreirane direktno u Rhinoceros-u. Njihov geometrijski oblik može biti poligon, pravilan ili nepravilan, sačinjen od n segmenata ili zatvorena kriva linija, pravilnog ili nepravilnog oblika. Generisane polilinije predstavljaju osnove zgrada kojima se dodeljuje visina na osnovu daljeg postupka u algoritmu. Naime, visina objekata se određuje isključivo u pravcu vertikalne ose (Slika 28). Iz tog razloga, u okviru algoritma za poboljšanje nije moguće menjati strukture slobodnih formi po visini, jer su geometrijski kompleksne. One se u algoritmu za poboljšanje mogu uzeti u obzir jedino kao statični objekti koji svojim prisustvom utiču na konačan ishod rezultata.

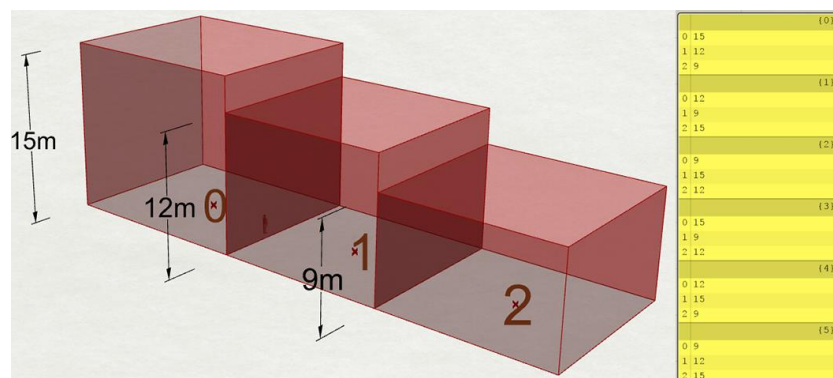


Slika 28. Prikaz generisanih objekata u Rhinoceros-u (gore), na osnovu zadate vrednosti z koordinate u Grasshopper-u (dole). (Ivana Bajsanski)

Nakon toga, u Grasshopper-u se generiše lista numeričkih vrednosti koja je jednaka broju osnova zgrada. Numeričke vrednosti predstavljaju visine zgrada, odnosno jedna numerička vrednost iz liste odgovara jednoj visini zgrade. Na osnovu ove ulazne liste podataka kreiran je kod koji generiše listu svih mogućih permutacija sa ponavljanjem numeričkih vrednosti iz zadate liste (Slika 29). Kada se geometrija zatvorenih polilinja iz Rhinoceros-a referencira u Grasshopper-u, generiše se jedan mogući raspored visina zgrada na osnovu liste permutacija (Slika 30).



Slika 29. Prikaz koda u Grasshopper-u koji generiše listu svih permutacija sa ponavljanjem na osnovu zadate liste numeričkih vrednosti. (Ivana Bajšanski)



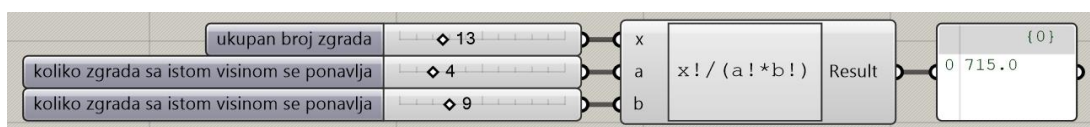
Slika 30. Primer generisanog 3d modela zgrada u Rhinoceros-u (levo) na osnovu zadatih numeričkih vrednosti u Grasshopper-u (desno). Slika u Rhinocerosu odgovara permutaciji {0} iz konačne liste u Grasshopper-u. (Ivana Bajšanski)

Da bi sve promene visine objekata određenog urbanog dizajna na osnovu konačne liste svih permutacija sa ponavljanjem bile ispitane, algoritam za poboljšanje mora da koristi algoritam za procenu. Algoritam za procenu kreiran je u okviru ovog istraživanja u cilju određivanja vrednosti spoljašnjeg termalnog komfora na svakoj određenoj lokaciji svaki put kada se visina objekata promeni. Naime, algoritmom za procenu pozicije modela tela čoveka za koga se spoljašnji termalni komfor proračunava već su određene.

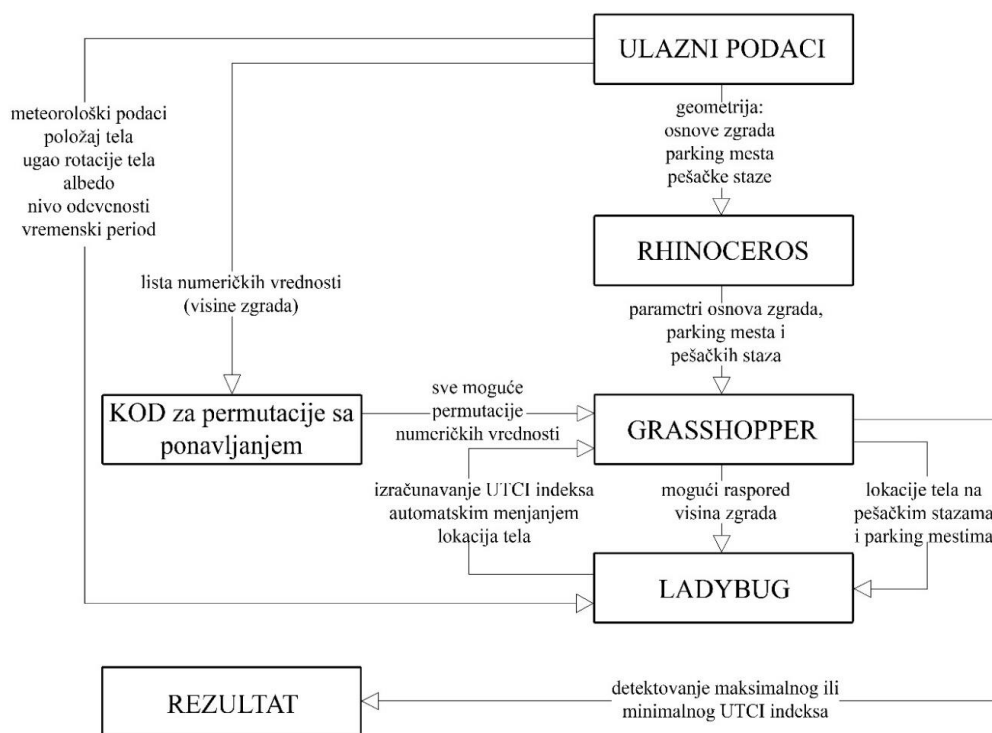
Cilj kreiranog algoritma za procenu je izračunati spoljašnji termalni komfor automatskim menjanjem pozicija modela tela čoveka za svaki raspored visina zgrada određen kodom za permutacije sa ponavljanjem. Da bi to bilo moguće neophodno je multiplicirati listu finalnih permutacija sa brojem određenih lokacija modela tela čoveka. Na taj način dobija se promena urbanog dizajna svaki put kada se završi automatsko menjanje lokacija modela tela čoveka na svim pozicijama. Simulacije se vrše tako što jedan raspored visina zgrada i određene tačke ostaju fiksirane dok se pozicije čoveka automatski menjaju kreiranim algoritmom za procenu. Na taj način vrši se računanje vrednosti UTCI indeksa na svim zadatim pozicijama modela tela čoveka za jedan raspored visina zgrada. Kada se završi jedna iteracija proračuna vrednosti UTCI indeksa na svim pozicijama, odabira se sledeća permutacija sa drugim rasporedom visina zgrada. Uzimajući vrednosti iz finalne liste permutacija, i računanje UTCI indeksa ponavlja se za iste pozicije. Računanje se vrši sve dok se svi rasporedi visina zgrada ne upotrebe u procesu simulacija.

Broj simulacija spoljašnjeg termalnog komfora koje je neophodno da algoritam za poboljšanje izvrši može se izračunati unapred, kao i vreme koje je potrebno da bi se sve simulacije izvršile (Slika 31). Broj permutacija neophodno je pomnožiti sa brojem lokacija usled čega se dobija finalan broj simulacija koje algoritam za poboljšanje treba da izvrši. Ovo je veoma važan podatak zbog toga što vreme računanja zavisi od performansi računara koji korisnik poseduje. Tako na primer, za 715 permutacija i 216 lokacija, neophodno je izvršiti

154440 simulacija spoljašnjeg termalnog komfora. Neophodno je znati vreme za izračunavanje jedne simulacije. Ukoliko ono iznosi 1 sekundu, ceo proces traženja najboljeg urbanog dizajna bi trajao 42 sata, odnosno nepuna 2 dana. Finalni urbani dizajn urbane sredine odabira se na osnovu minimalne vrednosti UTCI indeksa na svim pozicijama za letnji period. Ukoliko se računanje vrši za zimski period usvaja se najveća vrednost UTCI indeksa. U cilju razumevanja celog procesa vršenja simulacija spoljašnjeg termalnog komfora, protok ulaznih i izlaznih podataka između različitih softvera prikazan je na slici 32.



Slika 31. Formula napravljena u Grasshopper-u pomoću koje je moguće izračunati broj permutacija sa ponavljanjem. (Ivana Bajšanski)



Slika 32. Dijagram protoka podataka između različitih softvera. (Preuzeto: Bajšanski et al., 2015)

3.6 Simulacije osenčenosti

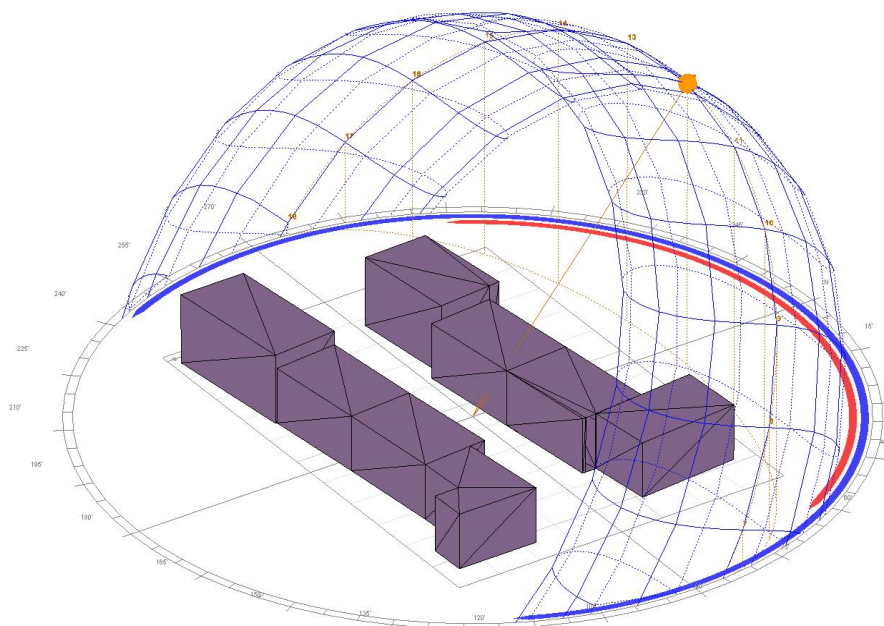
U cilju objašnjenja maksimalnih razlika dobijenih vrednosti UTCI indeksa između različitih geometrijskih karakteristika urbanog dizajna, kreirane su senke koje stvara izgrađeno okruženje u Ecotect softveru za solarne analize. Ulazni podaci, koje je neophodno definisati u cilju dobijanja odgovarajuće dnevne putanje Sunca i senki izgrađenog okruženja su sledeći:

Geometrijski podaci izgrađene sredine koji se odnose na trodimenzionalni model analiziranog urbanog područja. Naime, model urbane sredine je isti model koji je korišćen u analizi izračunavanja vrednosti UTCI indeksa. Zbog kompatibilnosti softvera, ovaj model moguće je uvesti u Ecotect.

Podaci o lokaciji analiziranog urbanog područja sadrže informacije o latitudi, longitudi i altitudi analiziranog područja. Od ovih parametara i njihovih vrednosti zavisi oblik i rotacija putanje po kojoj se kreće Sunce (Slika 33). Putanja ostaje fiksirana pri svakoj simulaciji, samo se Sunce kreće po njoj u zavisnosti od perioda godine, dana i sata za koji se vrši simulacija.

Analizirani period godine i period dana podrazumeva odabir jednog ili više meseci u godini (1-12), odabir jednog ili više dana u mesecu (1-31) i odabir jednog ili više sati u mesecu.

Simulacije osenčenja vrše se tako što trodimenzionalni model urbanog okruženja i godišnja putanja Sunca ostaju fiksirani za podlogu u Ecotect-u, a položaj Sunca se menja u zavisnosti od zadatog sata za koji se osenčenost računa.



Slika 33. Godišnja putanja Sunca napravljena u Ecotectu na osnovu podataka o latitudi, longitudi i altitudi područja i prikaz 3d modela. (Ivana Bajšanski)

4. PARAMETRI KORIŠĆENI U ISTRAŽIVANJU, PRIMENA ALGORITMA ZA POBOLJŠANJE I REZULTATI SIMULACIJA

Uticaj izgrađene sredine na spoljašnji termalni komfor testiran je u urbanim područjima sa različitim morfološkim karakteristikama. Različiti tipovi urbanog dizajna su odabrani u cilju prikaza različitih mogućnosti za primenu i prilagođavanje algoritma za procenu i algoritma za poboljšanje.

Podešavanje parametara u algoritmu za procenu različito je u zavisnosti od toga kakav je geometrijski oblik urbanog područja, koliko objekata postoji i da li postoji jedna ili više pešačkih staza. U skladu sa tim prikazani su različiti načini prilagođavanja algoritma za procenu da bi se algoritmom za poboljšanje postigao što bolji spoljašnji termalni komfor. Urbane celine analizirane u radu predstavljaju pravolinijski i krivolinijski sistem ulica, zatim trg, blokovski prostor i urbano područje sa proizvoljnim oblikom terena. Osim geometrijskih parametara urbane sredine neophodno je determinisati odgovarajuće klimatske podatke za analizirano područje. Za urbane celine koje se nalaze u Novom Sadu i za urbane celine koje predstavljaju samo tipičnu morfologiju područja uzeti su isti klimatski podaci za analizu.

4.1 Klimatski i mikroklimatski podaci

Prema Köppen-Geiger klimatskoj klasifikaciji (Kottek et al., 2006) Novi Sad pripada Cfb klimatskoj oblasti, koja podrazumeva umerenu klimu, potpuno vlažna i jako topla leta, sa najmanje četiri meseca temperaturom većom od 10 °C. Najhladniji mesec jeste januar sa prosečnom temperaturom od -0,4 °C, a najtopliji jeste jul sa prosečnom temperaturom 21,7 °C. Tokom prethodne decenije u Novom Sadu periodi sa jakim toplotnim stresom u letnjem periodu su se povećavali, dok su se periodi sa ekstremno hladnim stresom smanjivali (Basarin et al., 2015). Analize u radu izvršene su tokom letnjeg perioda, sa izraženim ekstremnim temperaturama, sa podacima iz odgovarajućih meteoroloških stanica. Period dana u kojem ima dnevne svetlosti jeste period kada se očekuje zagrevanje urbanih površina, što direktno utiče na nekomforne uslove boravka u spoljašnjoj sredini. Isto tako, u zimskom periodu, ovaj period kada ima sunca može da doprinese zagrevanju urbanih prostora.

U cilju dobijanja što tačnijih i verodostojnijih rezultata, mikro-klimatski podaci (temperatura vazduha, relativna vlažnost vazduha i brzina vetra) uzeti su za svaku istraživanu mikro-lokaciju u gradu, mereni pomoću senzora koji su za to namenjeni. Monitoring sistem za urbanu klimu u Novom Sadu razvijen je u 2013. i 2014. godini (URBAN-PATH project, 2015). Mreža se sastoji od 27 stanica koje su postavljene u 9 različitih lokalnih klimatskih zona (LCZ) u Novom Sadu. Stanice za merenje opremljene su sensorima koji sa veoma velikom preciznošću mere podatke za temperaturu vazduha (odstupanja su do $\pm 0,3^{\circ}\text{C}$) i relativnu vlažnost vazduha

(odstupanja su do $\pm 2\%$). Stanice beleže podatke na svakih 10 minuta i njihovo vreme je usaglašeno sa univerzalnim vremenskim koordinatama (UTC) koje se koriste u algoritmu.

Za računanje vrednosti UTCI indeksa neophodni su parametri temperature vazduha, relativne vlažnosti, brzine vetra i solarne radijacije. Podaci za temperaturu vazduha i relativnu vlažnost vazduha uzeti su sa onih stanica koje odgovaraju datom području. Satne vrednosti za brzinu vetra za Novi Sad prikupljene su sa WRF modela (Michalakes et al., 2004) na 0 UTC za Panonski basen, koristeći National Oceanic and Atmospheric Administration/National Centers for Environmental Prediction Global Forecast (NOAA/NCEP GFS) (EMC, 2001). Brzina vetra korigovana je koristeći Roughness Mapping Tool (Gal et al., 2009) kako bi se izračunao korekcionni faktor vetra. Osim toga, podaci za brzinu vetra konvertovani su na 10 m visine, koristeći formulu za konvertovanje (Brode, 2012). Satne vrednosti za solarnu radijaciju uzete su iz datoteke klimatskih podataka za Beograd (<100 km južno od Novog Sada), koji su dostupni iz Energy Plus klimatske datoteke (U. S. Department of Energy, 2015). Zbog malih razlika u geografskim latitudama i distance između ova dva grada, podaci za globalnu solarnu radijaciju Beograda su iskorišćeni za ovu studiju. Za procenu i poboljšanje vrednosti UTCI indeksa odabrana su dva perioda sa ekstremnim temperaturama. Prema podacima Hidrometeorološkog republičkog godišnjaka (RHMZ, 2014) odabrani su najtopliji dan 7. jul i najhladniji dan 31. decembar.

4.2 Primena algoritma i rezultati simulacija

Algoritam za procenu i algoritam za poboljšanje kreiran u okviru istraživanja primenjen je na nekoliko urbanih područja sa različitim morfološkim karakteristikama.

Na tipu urbanog dizajna pravolinijske ulice detaljno je objašnjen i primenjen algoritam za procenu koji podrazumeva automatsko menjanje lokacije modela tela čoveka. Da bi se izbeglo ponavljanje objašnjenja primene algoritma za procenu detaljni rezultati procene UTCI indeksa nisu prikazani na ostalim primerima, već samo na primeru pravolinijske ulice. U istoj ulici, za prethodno, postojeće i buduće stanje urbanog dizajna simulirane su bačene senke izgrađenog okruženja, u cilju verifikacije algoritma za procenu.

Nakon toga testiran je algoritam za poboljšanje koji u svom procesu računanja sadrži i koristi algoritam za procenu. U rezultatima algoritma za poboljšanje mogu se uočiti bitne razlike u zavisnosti od tipa prostora. Iz tog razloga algoritam za poboljšanje prikazan je na primerima:

- pravolinijske ulice,
- urbanog tkiva sa krivolinijskim sistemom ulica,
- trga,

- blokovskog prostora i
- urbanog područja sa terenom u proizvoljnom nagibu.

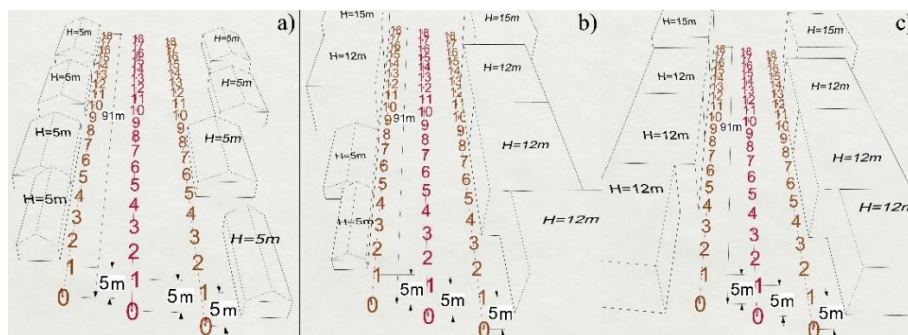
Primer pravolinijske ulice analiziran u istraživanju nalazi se na prostoru Novog Sada i predstavlja stambeno urbano područje koje je u budućem periodu podložno izmenama. U cilju prikaza primene algoritma za poboljšanje potrebno je pronaći urbano područje sa objektima koji imaju osnove nepravilnog geometrijskog oblika pa je iz tog razloga primer krivolinijske ulice proizvoljno odabran. Primer trga analiziran u radu je apstrahovan prostor jer se na trgovima u Novom Sadu uglavnom nalaze objekti koji su pod zaštitom, te je njihova modifikacija dizajna nemoguća. Blokovski prostor analiziran u radu nalazi se na prostoru Novog Sada i predstavlja područje sa višeporodičnim objektima koja mogu biti podložna izmenama u budućem periodu. Primer područja sa proizvoljnim oblikom terena i složenim geometrijskim osnovama objekata proizvoljno je odabrano zbog nedostataka ovih geometrijskih karakteristika u urbanim područjima Novog Sada.

Na osnovu dobijenih rezultata predstavljene su urbane situacije promene dizajna prilikom računanja za letnji i za zimski period.

4.2.1 Primena algoritma za procenu spoljašnjeg termalnog komfora na primeru pravolinijske ulice

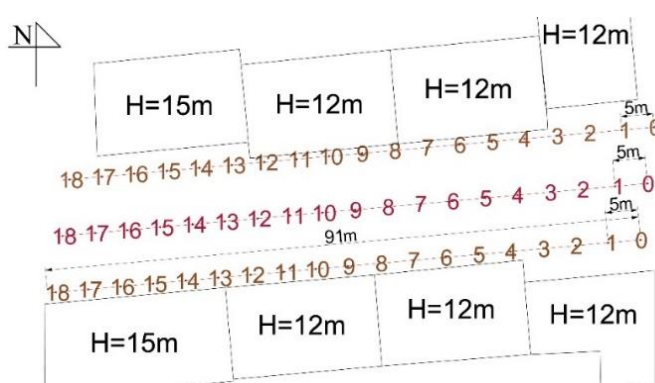
Pravolinijska ulica je tip ulice sa najjednostavnijim morfološkim karakteristikama. Proces rada algoritma za procenu za ovakvu ulicu može biti podešen na dva načina. Ukoliko se računanje vrši u pravolinijskoj ulici u kojoj postoji po jedna pešačka staza jednake dužine sa svake strane ulice, proces automatskog menjanja lokacije čoveka može biti izvršen na jednoj po jednoj stazi ili na stazama na obe strane ulice i na sredini da bi bile izmerene ukupne vrednosti UTCI indeksa. Naime, u algoritmu za procenu mogu se odabrati dve pešačke staze i staza po sredini ulice istovremeno, što će uzrokovati brže dobijanje rezultata.

Različite geometrijske karakteristike urbanog dizajna pravolinijske ulice Djordje Rajković u Novom Sadu karakterišu stanje u prošlosti, postojeće stanje i buduće stanje koje je predviđeno Generalnim urbanističkim planom Novog Sada (slika 34). Ovaj primer odabran je iz



Slika 34. Trodimenzionalni model pravolinijske ulice sa određenim lokacijama tela na pešačkim stazama: a) stanje u prošlosti, b) postojeće stanje, c) predviđeni urbani dizajn. (Preuzeto: Bajšanski et al., 2015)

razloga što je prema Generalnom urbanističkom planu planirano da objekte jednorodnog stanovanja zamene objekti višerodnog stanovanja što će uzrokovati i velike promene u spoljašnjem termalnom komforu. Stanje u prošlosti podrazumeva nekompaktnu izgradnju jednorodnog stanovanja, visine objekata do 5 m. Postojeće stanje karakteriše kombinacija jednorodnog i višerodnog stanovanja, sa visinom objekata od 5 m, 12 m i 15 m. Urbani dizajn koji je predviđen do kraja 2020. godine karakteriše kompaktno višerodno stanovanje sa visinom objekata od 12 m (tri sprata) i 15 m (četiri sprata). Dužina ulice je 91 m i orijentisana je u smeru istok-zapad. Pešačke staze nalaze se sa obe strane ulice, te je spoljašnji termalni komfor za pozicije pešaka na njima ispitivan, kao i za središnji deo ulice, koji je namenjen motornom saobraćaju (Slika 35).

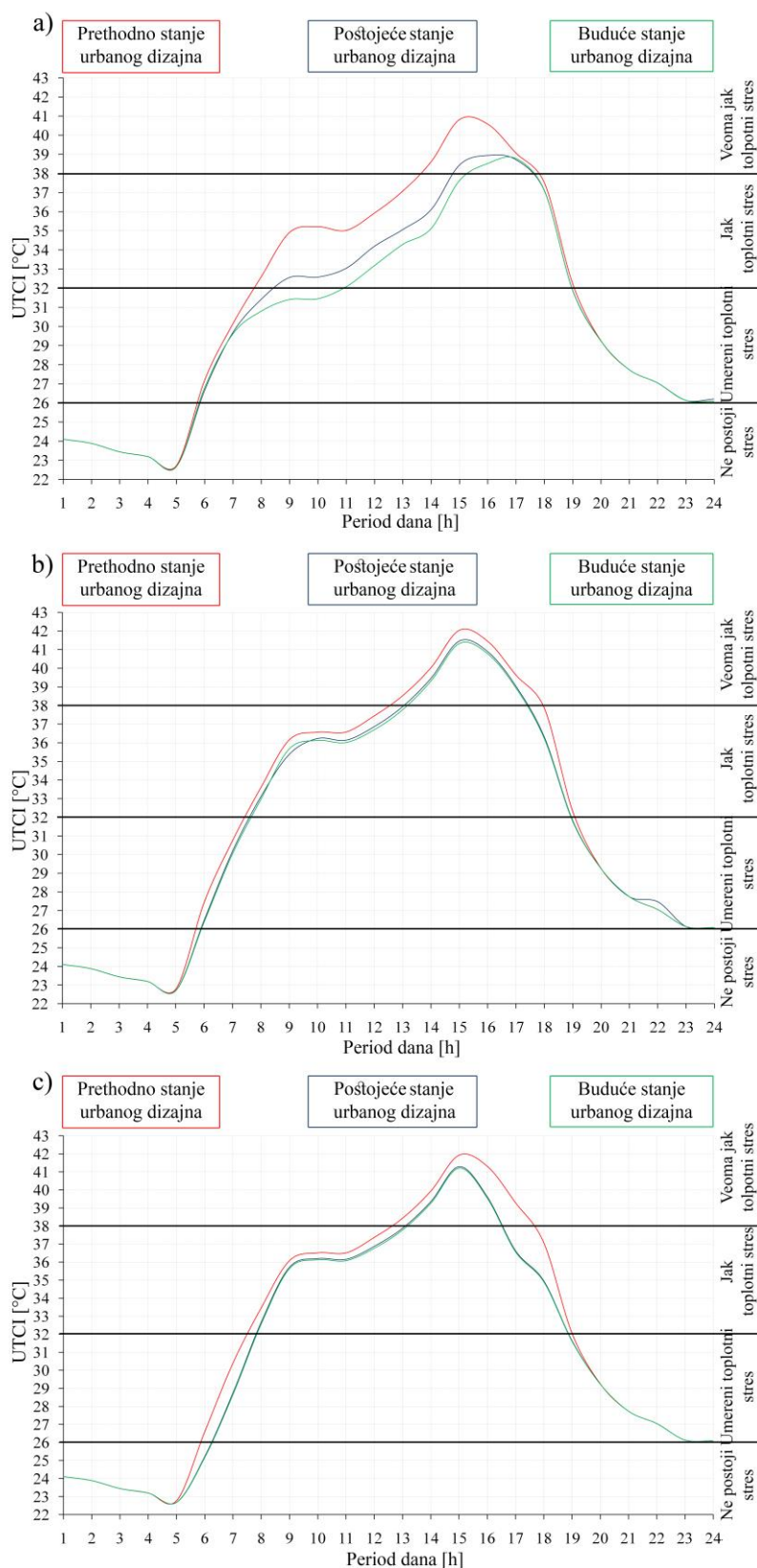


Slika 35. Osnova pravolinijske ulice sa određenim visinama objekata i lokacijama tela na pešačkim stazama. (Preuzeto: Bajšanski et al., 2015)

Procenom spoljašnjeg termalnog komfora za prikazane tri vrste urbanog dizajna, prethodnog stanja, postojećeg stanja i budućeg stanja može se izneti generalni zaključak. U ranim jutarnjim i kasnim večernjim satima postoji umereni termalni stres dok ostatak dana karakteriše jak i veoma jak termalni stres (Slika 36 a-c). Na osnovu legende (Slika 37) osim grafičkih prikaza, tabelarno su prikazane sve vrednosti UTCI indeksa u °C za sva tri urbana dizajna i sve tri staze (Tabela 3-5). Na osnovu ovih tabela jasno je uočljivo koje kategorije spoljašnjeg termalnog stresa su se povećavale, a koje smanjivale.





Komparacijom sva tri urbana dizajna, kategorija veoma jakog toplotnog stresa pokazuje najveće promene. Veoma jak toplotni stres smanjuje se na budućem planiranom urbanom dizajnu 3,8% u sredini ulice, 6,6 % na severnoj strani ulice i 9,8% na južnoj strani ulice. Nasuprot tome, kategorija bez termalnog stresa nije se značajno menjala (Tabela 6).

Osim razlike u procentima, moguće je uočiti razliku u stepenima [°C] na svim pozicijama tela između analiziranih tipova urbanog dizajna. Maksimalne razlike dostižu čak 6,1 °C UTCI vrednosti na nekim lokacijama tela. Detaljne i najizraženije razlike prikazane su u Tabeli 7.



Slika 36. Prosečne UTCI vrednosti za letnji period na svim definisanim lokacijama tela: a) pešačka staza na severnoj strani, b) staza u sredini, c) pešačka staza na južnoj strani.

(Bajšanski et al., 2015)

<i>UTCI [C°] opseg</i>	<i>Kategorije stresa</i>	
+38 do +46	Veoma jak toplotni stres	
+32 do +38	Jak toplotni stres	
+26 do +32	Umereni toplotni stres	
+9 do +26	Ne postoji toplotni stres	

Slika 37. Legenda kolorita za kategorije stresa u letnjem periodu. Kolorit je primenjen u tabelama 3-5. (Ivana Bajšanski)

JUŽNA STRANA ULICE- prethodno stanje urbanog dizajna																			
h	Pos 0	Pos 1	Pos 2	Pos 3	Pos 4	Pos 5	Pos 6	Pos 7	Pos 8	Pos 9	Pos 10	Pos 11	Pos 12	Pos 13	Pos 14	Pos 15	Pos 16	Pos 17	Pos 18
1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1
2	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9
3	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4
4	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2
5	22.8	22.8	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.8	22.7	22.7	22.7	22.7	22.8	22.7	22.7	22.7	22.7	22.8
6	27.6	27.5	27.1	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.3	27.1	27.0	27.0	27.2	27.3	27.3	27.2	27.2	27.2	27.4
7	30.9	30.8	29.9	29.8	29.8	29.8	29.9	29.9	30.3	30.0	29.9	29.9	30.2	30.4	30.3	30.2	30.2	30.2	30.5
8	33.7	33.6	32.3	32.2	32.2	32.3	32.3	32.3	32.7	32.7	32.3	32.3	32.5	32.8	32.7	32.5	32.6	32.6	32.8
9	36.3	36.2	34.4	34.4	34.5	34.5	34.6	34.7	34.9	35.0	34.7	34.7	34.8	35.4	35.0	34.8	34.8	34.8	35.0
10	36.7	36.6	34.2	34.3	34.5	34.7	34.9	34.9	36.0	35.3	34.9	34.9	35.0	36.3	35.2	35.0	35.0	35.1	35.3
11	36.7	36.6	34.0	34.1	34.4	34.5	34.5	34.6	36.3	35.1	34.6	34.6	34.7	36.4	34.8	34.7	34.8	34.8	35.1
12	37.6	37.3	34.9	35.1	35.2	35.3	35.4	35.5	37.2	35.7	35.4	35.5	35.7	37.2	35.7	35.7	35.7	35.7	36.9
13	38.6	37.4	36.4	36.5	36.5	36.5	36.6	36.7	38.3	36.7	36.6	36.7	36.8	38.3	36.8	36.8	36.8	36.9	38.4
14	40.1	38.5	38.0	38.0	38.1	38.1	38.2	38.3	39.8	38.3	38.2	38.2	38.5	39.8	38.4	38.4	38.4	38.5	40.0
15	42.0	40.6	40.3	40.3	40.4	40.4	40.5	40.6	41.7	40.6	40.5	40.5	40.7	41.5	40.7	40.7	40.7	40.7	42.0
16	41.4	40.6	40.2	40.2	40.2	40.2	40.2	40.3	41.1	40.3	40.2	40.2	40.7	40.9	40.7	40.7	40.7	40.7	41.5
17	39.6	39.1	38.7	38.7	38.7	38.7	38.8	38.8	39.4	38.8	38.8	38.8	39.2	39.4	39.2	39.2	39.2	39.3	39.7
18	37.9	37.6	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.3	37.7	37.4	37.3	37.3	37.6	37.7	37.6	37.6	37.6	37.6	37.9
19	32.3	32.3	32.2	32.1	32.1	32.2	32.2	32.2	32.3	32.2	32.2	32.2	32.2	32.3	32.3	32.2	32.3	32.3	32.4
20	29.3	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2
21	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7
22	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
23	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1
24	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1
JUŽNA STRANA ULICE- postojeće stanje urbanog dizajna																			
h	Pos 0	Pos 1	Pos 2	Pos 3	Pos 4	Pos 5	Pos 6	Pos 7	Pos 8	Pos 9	Pos 10	Pos 11	Pos 12	Pos 13	Pos 14	Pos 15	Pos 16	Pos 17	Pos 18
1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1
2	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9
3	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4
4	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2
5	22.8	22.8	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7
6	27.6	24.9	27.0	26.9	26.9	26.9	26.8	26.8	27.0	26.7	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.7	26.8
7	30.8	30.7	29.8	29.6	29.6	29.6	29.6	29.6	29.9	29.8	29.6	29.6	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.5
8	33.7	33.5	32.1	32.0	32.1	32.1	32.1	32.1	32.3	32.3	31.7	31.7	30.6	30.1	30.1	29.9	29.9	29.3	29.4
9	36.2	36.1	34.3	34.3	34.4	34.4	34.5	34.5	34.6	34.2	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.2	30.3
10	36.6	36.5	34.1	34.2	34.4	34.6	34.7	34.8	35.7	30.8	30.2	30.2	30.2	30.2	30.3	30.3	30.3	30.4	30.4
11	36.6	36.5	33.9	33.9	34.2	34.3	34.3	34.4	36.0	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.4	31.4	31.4	31.5
12	37.5	37.2	34.8	34.9	35.0	35.1	35.2	35.2	36.6	32.8	32.7	32.8	32.7	32.8	32.8	32.8	32.8	32.9	33.1
13	38.5	37.3	36.2	36.3	36.3	36.3	36.4	36.3	34.6	33.7	33.7	33.7	33.7	33.7	33.8	33.8	33.8	33.9	34.1
14	40.0	38.3	37.8	37.8	37.8	37.9	37.9	36.5	34.6	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.5	34.5	34.5	34.6	37.2
15	41.9	40.5	40.1	40.1	40.2	40.2	38.8	36.9	37.0	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	37.0	37.0	37.0	38.2	40.9
16	41.2	40.4	40.0	40.0	39.9	39.4	37.7	37.7	38.1	38.0	37.9	38.0	38.0	38.0	38.1	38.1	38.1	40.4	40.7
17	39.4	38.8	38.5	38.4	38.4	38.4	38.3	38.3	38.8	38.7	38.6	38.7	38.7	38.8	38.8	38.8	38.9	39.0	39.3
18	37.4	37.1	36.8	36.7	36.7	36.7	36.7	36.9	37.1	37.1	37.0	37.1	37.1	37.2	37.2	37.2	37.3	37.4	37.6
19	31.9	31.8	31.7	31.7	31.6	31.6	31.6	31.8	31.8	31.8	31.8	32.0	32.0	32.0	32.1	32.1	32.1	32.2	32.3
20	29.3	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2
21	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7
22	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
23	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1
24	26.1	28.5	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1
JUŽNA STRANA ULICE- buduće stanje urbanog dizajna																			
h	Pos 0	Pos 1	Pos 2	Pos 3	Pos 4	Pos 5	Pos 6	Pos 7	Pos 8	Pos 9	Pos 10	Pos 11	Pos 12	Pos 13	Pos 14	Pos 15	Pos 16	Pos 17	Pos 18
1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1
2	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9
3	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4
4	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2
5	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7
6	27.4	27.3	27.1	27.1	27.0	26.9	26.9	26.9	26.8	26.7	26.5	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.6	26.7	26.8
7	30.6	30.4	30.2	30.1	29.9	29.7	29.7	29.4	29.2	29.2	29.3	29.3	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.4	29.5
8	33.4	33.2	32.9	32.4	32.0	31.8	31.7	30.2	29.3	29.4	29.8	30.0	30.3	30.1	30.1	29.9	29.9	29.3	29.4
9	36.0	35.7	34.7	34.6	34.3	30.1	30.1	30.1	30.1	30.0	30.0	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.1	30.2	30.3
10	36.4	35.4	34.2	34.1	33.8	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	30.2	30.3	30.3	30.3	30.4	30.4
11	35.9	34.3	34.1	34.0	32.6	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.3	31.4	31.4	31.4	31.5
12	34.9	34.6	34.5	34.4	32.9	32.8	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7	32.7	32.8	32.8	32.8	32.9	32.9	33.1
13	36.5	36.3	36.2	36.1	33.8	33.7	33.7	33.7	33.7	33.7	33.7	33.7	33.7	33.7	33.8	33.8	33.8	33.9	34.1
14	37.8	37.7	37.5	34.9	34.5	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.4	34.5	34.5	34.5	34.6	37.2
15	40.3	40.1	38.5	37.0	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	36.9	37.0	37.0	37.0	38.2	40.9
16	40.3	40.1	38.1	38.1	38.0	38.0	37.9	38.0	38.0	37.9	37.9</								

SREDINA ULICE- prethodno stanje urbanog dizajna																			
h	Pos 0	Pos 1	Pos 2	Pos 3	Pos 4	Pos 5	Pos 6	Pos 7	Pos 8	Pos 9	Pos 10	Pos 11	Pos 12	Pos 13	Pos 14	Pos 15	Pos 16	Pos 17	Pos 18
1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1
2	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9
3	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4
4	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2
5	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8
6	27.6	27.6	27.6	27.6	27.5	27.5	27.5	27.3	27.3	27.3	27.4	27.3	27.2	27.3	27.3	27.5	27.5	27.5	27.6
7	30.9	30.9	30.9	30.8	30.8	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.7	30.8	30.8	30.8	30.8
8	33.8	33.7	33.7	33.6	33.6	33.6	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.5	33.6	33.6	33.6	33.6	33.6	33.7
9	36.3	36.3	36.2	36.2	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.2	36.2	36.2	36.2	36.2
10	36.7	36.7	36.6	36.6	36.6	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.7
11	36.7	36.7	36.6	36.6	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5	36.5	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.7
12	37.6	37.6	37.5	37.4	37.4	37.4	37.4	37.4	37.4	37.4	37.4	37.4	37.4	37.4	37.5	37.5	37.5	37.5	37.6
13	38.7	38.6	38.6	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.6	38.6	38.6	38.6	38.7
14	40.2	40.1	40.1	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.1	40.1	40.1	40.1	40.2
15	42.1	42.1	42.1	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.1	42.1	42.1	42.1	42.2
16	41.5	41.5	41.5	41.4	41.4	41.4	41.4	41.4	41.4	41.4	41.4	41.4	41.4	41.4	41.5	41.5	41.5	41.6	41.6
17	39.7	39.7	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6	39.6	39.7	39.7	39.7	39.7	39.8
18	37.7	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8	37.8	37.9	37.9	37.9	38.0	38.0	38.0	38.0
19	32.2	32.2	32.2	32.2	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.3	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.5	32.5
20	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3
21	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7
22	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
23	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1
24	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1
SREDINA ULICE- postojeće stanje urbanog dizajna																			
h	Pos 0	Pos 1	Pos 2	Pos 3	Pos 4	Pos 5	Pos 6	Pos 7	Pos 8	Pos 9	Pos 10	Pos 11	Pos 12	Pos 13	Pos 14	Pos 15	Pos 16	Pos 17	Pos 18
1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1
2	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9
3	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4
4	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2
5	22.8	22.8	22.8	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7
6	27.5	27.5	27.4	27.3	27.2	27.2	26.5	26.5	26.5	26.4	26.4	26.4	25.7	25.7	25.7	25.7	25.8	25.9	25.9
7	30.8	30.7	30.6	30.5	30.4	30.3	30.2	30.1	30.1	30.1	30.0	30.0	29.9	29.9	29.9	29.9	30.0	30.1	30.2
8	33.6	33.5	33.5	33.4	33.3	33.2	33.1	33.1	33.1	33.0	33.0	32.9	32.8	32.8	32.8	32.9	32.9	33.0	33.1
9	36.2	36.1	28.3	36.0	35.9	35.9	35.8	35.8	35.8	35.7	35.7	35.7	35.6	35.6	35.6	35.6	35.7	35.7	35.7
10	36.6	36.5	36.5	36.4	36.3	36.3	36.3	36.2	36.2	36.2	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.2	36.2	36.2
11	36.6	36.5	36.4	36.3	36.3	36.3	36.2	36.2	36.2	36.1	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	35.8	35.8	35.9	36.0
12	37.4	37.4	37.2	37.1	37.1	37.0	37.0	36.9	36.9	36.8	36.7	36.7	36.6	36.6	36.4	36.5	36.6	36.7	36.8
13	38.5	38.4	38.3	38.2	38.1	38.1	38.0	38.0	37.9	37.8	37.7	37.7	37.7	37.6	37.6	37.7	37.8	37.9	38.2
14	39.9	39.9	39.8	39.6	39.6	39.6	39.5	39.4	39.4	39.3	39.2	39.2	39.2	39.2	39.3	39.4	39.4	39.6	39.7
15	41.9	41.8	41.7	41.6	41.5	41.5	41.4	41.4	41.3	41.2	41.2	41.2	41.2	41.2	41.4	41.5	41.7	41.8	41.8
16	41.2	41.1	41.1	40.9	40.9	40.9	40.8	40.8	40.7	40.7	40.7	40.6	40.7	40.7	40.7	40.9	41.0	41.2	41.3
17	39.3	39.2	39.1	39.0	38.9	38.9	38.9	38.9	38.9	38.8	38.8	38.8	38.9	38.9	39.0	39.2	39.3	39.4	39.5
18	35.9	35.8	35.7	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6	35.5	35.5	35.6	37.2	37.2	37.3	37.5	37.6	37.7	37.7
19	31.8	31.7	31.7	31.7	31.6	31.7	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6	31.6	31.8	31.8	32.0	32.1	32.2	32.3	32.3
20	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2
21	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7
22	27.0	27.0	35.1	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
23	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1
24	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1
SREDINA ULICE- buduće stanje urbanog dizajna																			
h	Pos 0	Pos 1	Pos 2	Pos 3	Pos 4	Pos 5	Pos 6	Pos 7	Pos 8	Pos 9	Pos 10	Pos 11	Pos 12	Pos 13	Pos 14	Pos 15	Pos 16	Pos 17	Pos 18
1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1
2	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9
3	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4
4	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2
5	22.8	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7
6	27.4	27.4	27.3	27.2	27.0	27.0	26.4	26.3	26.3	26.3	26.3	26.3	25.7	25.7	25.7	25.7	25.8	25.8	25.9
7	30.7	30.5	30.4	30.3	30.1	30.1	30.0	29.9	29.9	29.9	29.9	29.9	29.8	29.8	29.8	29.9	29.9	30.0	30.1
8	33.5	33.4	33.3	33.2	33.0	33.0	32.9	32.8	32.8	32.8	32.8	32.8	32.8	32.8	32.7	32.8	32.9	33.0	33.0
9	36.1	36.0	35.9	35.8	35.7	35.7	35.6	35.6	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.6	35.6	35.7	35.7
10	36.5	36.4	36.3	36.2	36.1	36.1	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.1	36.1	36.1	36.2
11	36.5	36.3	36.2	36.2	36.1	36.0	36.0	35.9	36.0	35.9	36.0	35.9	36.0	35.9	35.9	35.8	35.8	35.9	36.0
12	37.2	37.1	37.0	36.9	36.7	36.7	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.4	36.5	36.6	36.7	36.8
13	38.2	38.1	38.0	37.9	37.7	37.7	37.6	37.6	37.6	37.6	37.7	37.6	37.6	37.6	37.6	37.7	37.7	37.9	38.1
14	39.7	39.6	39.5	39.4	39.2	39.2	39.2	39.2	39.1	39.2	39.2	39.1	39.2	39.1	39.2	39.3	39.4	39.6	39.7
15	41.7	41.5	41.4	41.3	41.2	41.2	41.2	41.2	41.1	41.2	41.2	41.2	41.2	41.2	41.4	41.5	41.7	41.8	41.8
16	41.0	40.9	40.8	40.7	40.7	40													

SEVERNA STRANA ULICE-prethodno stanje urbanog dizajna																			
h	Pos 0	Pos 1	Pos 2	Pos 3	Pos 4	Pos 5	Pos 6	Pos 7	Pos 8	Pos 9	Pos 10	Pos 11	Pos 12	Pos 13	Pos 14	Pos 15	Pos 16	Pos 17	Pos 18
1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1
2	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9
3	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4
4	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2
5	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.7	22.7	22.7	22.7	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8	22.8
6	27.6	27.5	27.4	27.1	27.1	26.7	25.0	24.9	25.0	25.2	26.4	26.6	26.6	26.6	26.6	26.7	27.1	27.3	27.3
7	30.9	30.8	30.7	30.6	30.6	30.4	29.4	29.3	29.4	29.6	30.6	30.6	30.6	30.7	30.7	30.7	30.7	30.8	30.8
8	33.7	33.6	33.5	33.5	33.5	33.3	33.1	33.1	33.1	33.4	33.5	33.5	33.5	33.6	33.6	33.6	33.6	33.6	33.7
9	36.3	36.2	36.1	36.1	36.1	36.0	35.8	35.8	35.9	36.0	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.2	36.2	36.2	36.3
10	36.7	36.6	36.5	36.5	36.5	36.4	36.3	36.3	36.3	36.5	36.5	36.5	36.5	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.7
11	36.7	36.6	36.5	36.5	36.5	36.4	36.3	36.3	36.3	36.5	36.5	36.5	36.5	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.7
12	37.6	37.4	37.4	37.4	37.4	37.1	37.0	37.0	37.1	37.3	37.4	37.4	37.4	37.4	37.4	37.4	37.5	37.5	37.6
13	38.6	38.5	38.4	38.5	38.4	38.2	38.1	38.1	38.2	38.4	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.5	38.6	38.6	38.7
14	40.1	40.0	39.9	40.0	39.9	39.7	39.6	39.5	39.7	39.9	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	40.1	40.1	40.2
15	42.1	42.0	41.9	41.9	41.9	41.6	41.5	41.5	41.7	41.9	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	42.1	42.1	42.2
16	41.5	41.3	41.3	41.3	41.2	41.0	40.8	40.8	41.1	41.3	41.4	41.4	41.4	41.4	41.4	41.5	41.5	41.6	41.6
17	39.5	39.4	39.4	39.4	38.8	38.3	38.1	38.1	39.3	39.5	39.5	39.5	39.5	39.6	39.6	39.6	39.7	39.7	39.8
18	37.5	37.4	37.4	37.2	35.4	34.9	34.8	34.8	37.3	37.5	37.6	37.6	37.6	37.7	37.8	37.8	37.9	38.0	38.0
19	32.0	32.0	32.0	32.0	31.8	31.6	31.6	31.6	31.9	32.0	32.1	32.1	32.1	32.2	32.3	32.3	32.4	32.4	32.5
20	29.3	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3	29.3
21	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7
22	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
23	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1
24	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1
SEVERNA STRANA ULICE-postojeće stanje urbanog dizajna																			
h	Pos 0	Pos 1	Pos 2	Pos 3	Pos 4	Pos 5	Pos 6	Pos 7	Pos 8	Pos 9	Pos 10	Pos 11	Pos 12	Pos 13	Pos 14	Pos 15	Pos 16	Pos 17	Pos 18
1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1
2	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9
3	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4
4	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2
5	22.8	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7
6	27.5	27.4	27.2	26.5	26.4	24.7	24.6	24.6	24.6	24.6	24.5	24.5	24.5	24.5	24.6	24.6	24.8	24.8	24.8
7	30.7	30.5	30.3	30.1	30.1	28.3	28.2	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.1	28.2	28.4	28.5
8	33.6	33.4	33.2	33.1	33.1	32.5	32.5	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.4	32.5	32.7	32.7
9	36.1	36.0	35.9	35.8	35.8	35.7	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6	35.6	35.8	35.8
10	36.5	36.4	36.3	36.3	36.2	36.2	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.1	36.3	36.4
11	36.5	36.4	36.3	36.3	36.2	36.1	36.1	36.1	36.1	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.1	36.3	36.4
12	37.4	37.2	37.1	37.0	36.9	36.8	36.8	36.8	36.7	36.7	36.7	36.7	36.7	36.7	36.7	36.7	36.8	37.0	37.2
13	38.4	38.2	38.1	38.0	37.9	37.8	37.8	37.7	37.7	37.7	37.7	37.7	37.7	37.7	37.7	37.8	38.1	38.3	38.3
14	39.8	39.6	39.5	39.4	39.4	39.3	39.2	39.2	39.2	39.1	39.1	39.1	39.2	39.2	39.2	39.3	39.4	39.7	39.8
15	41.7	41.5	41.4	41.3	41.3	41.2	41.1	41.1	41.1	41.1	41.0	41.1	41.1	41.1	41.2	41.2	41.4	41.7	41.9
16	40.5	39.5	39.1	39.1	38.7	38.6	38.4	38.3	38.2	38.2	38.2	40.3	40.5	40.5	40.6	40.7	40.9	41.2	41.3
17	36.0	35.7	35.5	35.5	35.4	35.3	35.2	35.2	35.2	35.2	35.1	37.4	37.6	37.6	38.2	38.3	39.0	39.4	39.5
18	34.7	34.5	34.4	34.4	34.4	34.3	34.3	34.3	34.3	34.3	34.2	34.3	34.3	34.3	35.1	35.3	37.2	37.7	37.8
19	31.7	31.6	31.6	31.6	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.5	31.6	31.9	32.3	32.3
20	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2	29.2
21	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7	27.7
22	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0	27.0
23	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1
24	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1	26.1
SEVERNA STRANA ULICE-buduće stanje urbanog dizajna																			
h	Pos 0	Pos 1	Pos 2	Pos 3	Pos 4	Pos 5	Pos 6	Pos 7	Pos 8	Pos 9	Pos 10	Pos 11	Pos 12	Pos 13	Pos 14	Pos 15	Pos 16	Pos 17	Pos 18
1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1	24.1
2	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9	23.9
3	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4	23.4
4	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2	23.2
5	22.8	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7	22.6	22.6	22.6	22.6	22.7	22.7	22.7	22.7	22.7
6	27.4	27.3	27.1	26.4	26.4	24.6	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.5	24.6	24.7	24.8
7	30.6	30.5	30.2	30.0	30.0	28.2	28.1	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.0	28.1	28.2	28.4	28.5
8	33.5	33.3	33.1	33.0	32.9	32.4	32.4	32.3	32.3	32.3	32.3	32.2	32.2	32.2	32.3	32.3	32.4	32.6	32.7
9	36.1	36.0	35.8	35.8	35.7	35.6	35.6	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.5	35.6	35.6	35.8	35.8
10	36.5	36.4	36.3	36.2	36.2	36.1	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.0	36.1	36.1	36.3	36.4
11	36.5	36.3	36.2	36.1	36.1	36.0	36.0	35.9	36.0	35.9	35.9	35.9	35.9	35.9	36.0	36.0	36.1	36.2	36.4
12	37.2	37.1	36.9	36.8	36.8	36.7	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.6	36.7	36.8	37.0	37.2
13	38.2	38.0	37.9	37.8	37.8	37.6	37.6	37.6	37.6	37.6	37.6	37.6	37.6	37.6	37.7	37.7	37.8	38.1	38.3
14	39.7	39.5	39.3	39.3	39.2	39.1	39.1	39.1	39.1	39.1	39.1	39.1	39.1	39.1	39.2	39.2	39.4	39.7	39.8
15	41.6	41.4	41.2	41.2	41.1	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.0	41.1	41.1	41.2	41.2	41.4	41.7	41.9
16	40.4	39.4	39.0	38.9	38.6	38.4	38.3	38.2	38.2	38.2	38.1								

Kategorija stresa	Južna strana ulice			Sredina ulice			Severna strana ulice		
	Prošlo	Postojeće	Buduće	Prošlo	Postojeće	Buduće	Prošlo	Postojeće	Buduće
<i>Veoma jak toplotni stres</i>	17,5	9,6	7,7	21,1	18,2	17,3	21,1	14,7	14,5
<i>Jak toplotni stres</i>	32,5	30,1	27,6	28,9	28,7	29,6	27,2	31,6	31,8
<i>Umereni toplotni stres</i>	29,2	39,5	43,9	29,2	30,7	30,7	30,0	29,8	29,8
<i>Ne postoji toplotni stres</i>	20,8	20,8	20,8	20,8	22,4	22,4	21,7	23,9	23,9

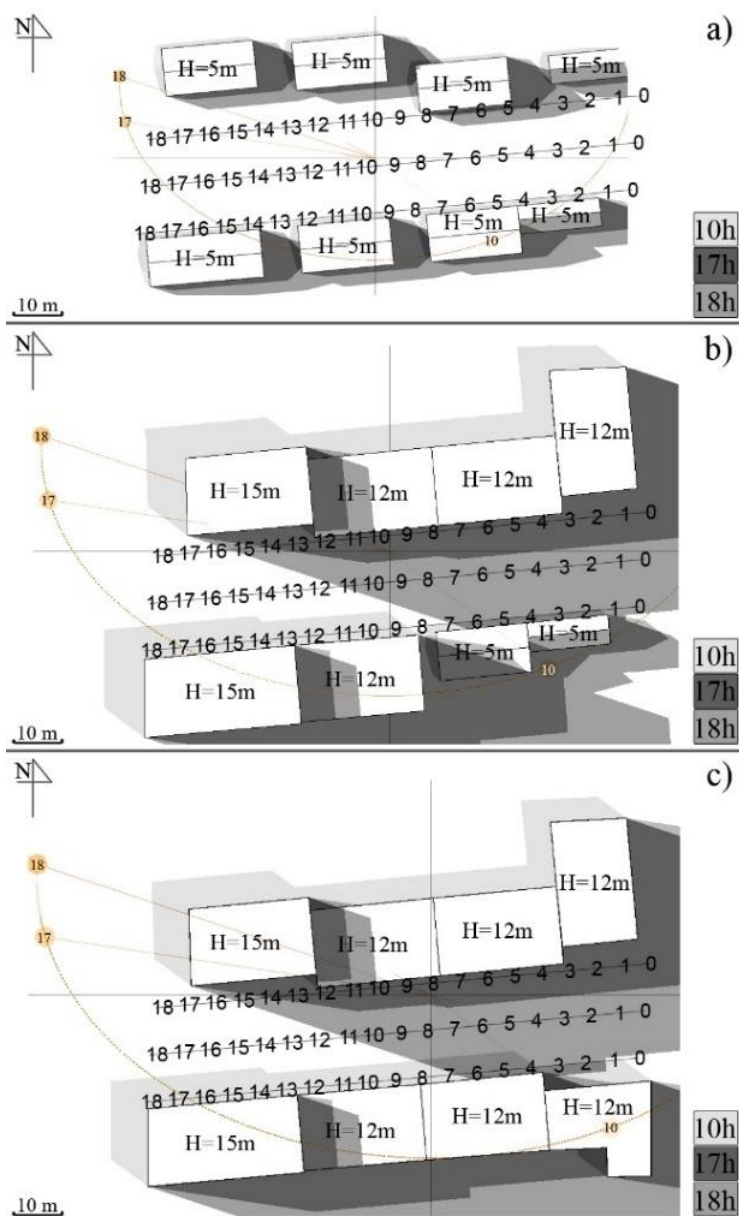
Tabela 6. Kategorije UTCI stresa [%] za sve tri vrste urbanog dizajna tokom letnjeg perioda.

(Ivana Bajšanski)

a			b			c		
Pozicija	Razlika	Sat	Pozicija	Razlika	Sat	Pozicija	Razlika	Sat
0	0,5	18	0	2,7	12	0	1,9	18
1	0,5	18	1	2,7	12	1	2,0	18
2	0,5	18	2	2,1	16	2	2,1	18
3	0,5	18	3	3,3	15	3	2,1	18
4	0,5	18	4	3,6	14	4	2,2	18
5	0,8	16	5	4,5	10	5	2,2	18
6	2,5	16	6	4,7	10	6	2,2	18
7	3,6	15	7	4,7	10	7	2,3	18
8	5,1	14	8	5,8	10	8	2,3	18
9	4,5	10	9	5,1	10	9	2,3	18
10	4,7	10	10	4,7	10	10	2,3	18
11	4,7	10	11	4,7	10	11	2,2	18
12	4,8	10	12	4,8	10	12	1,5	6
13	6,1	10	13	6,1	10	13	1,6	6
14	5,0	10	14	5,0	10	14	1,6	6
15	4,8	10	15	4,8	10	15	1,8	6
16	4,7	10	16	4,7	10	16	1,7	6
17	4,7	10	17	4,7	10	17	1,7	6
18	4,8	10	18	4,5	10	18	1,6	6
d			e			f		
0	2,0	18	0	3,6	17	0	3,7	17
1	2,1	18	1	3,8	17	1	3,9	17
2	2,3	18	2	3,9	17	2	4,0	17
3	2,3	18	3	4,0	17	3	4,1	17
4	2,4	18	4	3,4	17	4	3,5	17
5	2,3	18	5	3,0	17	5	3,1	17
6	2,3	18	6	2,9	17	6	3,0	17
7	2,4	18	7	2,9	17	7	3,0	17
8	2,4	18	8	4,1	17	8	4,2	17
9	2,4	18	9	4,3	17	9	4,4	17
10	2,4	18	10	4,4	17	10	4,5	17
11	2,3	18	11	3,3	18	11	3,3	18
12	1,6	6	12	3,3	18	12	3,3	18
13	1,6	6	13	3,4	18	13	3,4	18
14	1,6	6	14	2,7	18	14	2,8	18
15	1,8	6	15	2,6	7	15	2,6	7
16	1,8	6	16	2,6	6	16	2,7	6
17	1,7	6	17	2,5	6	17	2,6	6
18	1,7	6	18	2,5	6	18	2,5	6

Tabela 7. Maksimalne razlike (u °C) tokom letnjeg perioda na svim pozicijama između: a) prethodnog i postojećeg stanja urbanog dizajna na južnoj strani, b) prethodnog i budućeg stanja urbanog dizajna na južnoj strani, c) prethodnog i postojećeg stanja urbanog dizajna u sredini ulice, d) prethodnog i budućeg stanja urbanog dizajna u sredini ulice, e) prethodnog i postojećeg stanja urbanog dizajna na severnoj strani, f) prethodnog i budućeg stanja urbanog dizajna na severnoj strani ulice. (Ivana Bajšanski)

Na osnovu uočavanja maksimalnih razlika vrednosti UTCI indeksa, kao prikaz verodostojnosti algoritma za procenu, u softveru Ecotect simulirane su senke objekata sva tri urbana dizajna. Koristeći metodu simulacija osenčenosti, mogu se uočiti razlike koje odgovaraju prikazanim rezultatima u određenim satima. (Slika 38 a-c). Kao što je pokazano u prethodnoj tabeli, na priložima osenčenja uočava se da se vrednosti UTCI indeksa smanjuju na situaciji budućeg urbanog dizajna od 2,0 °C do 2,4 °C u sredini ulice (u 18h), od 3,0 °C do 4,5 °C na severnoj strani ulice (u 17h) i od 4,5 °C do 6,1 °C na južnoj strani ulice (u 10h). Takođe, lokacije na kolima zabeležena je maksimalna razlika UTCI vrednosti su imale najveću promenu u osenčenosti.

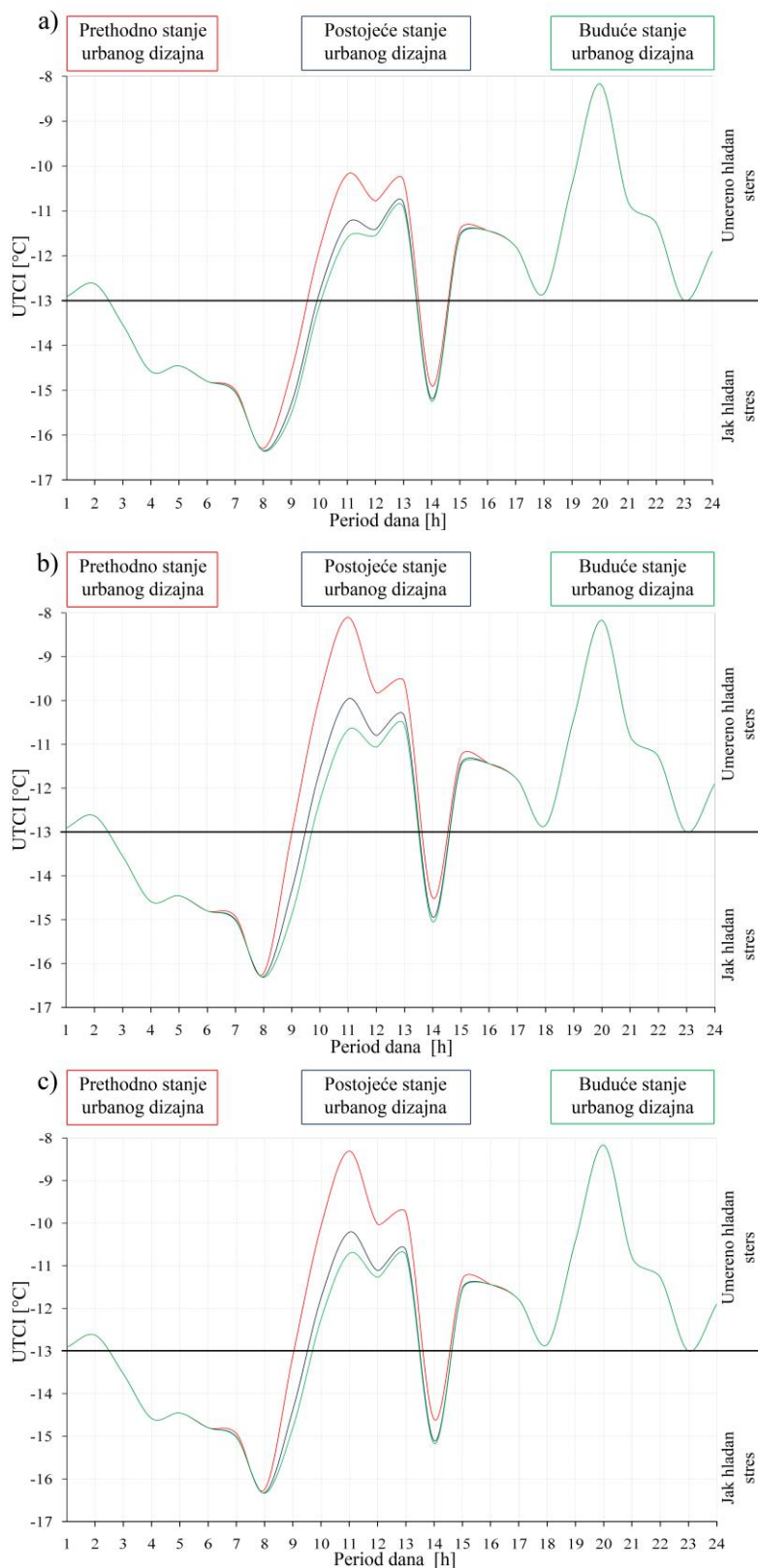


Slika 38. Putanja Sunca i senke izgrađenog okruženja tokom letnjeg perioda: a) prethodno stanje urbanog dizajna, b) postojeće stanje urbanog dizajna, i c) buduće stanje urbanog dizajna. (Preuzeto: Bajšanski et al., 2015)



Uzimajući u obzir podatke za zimski period za sva tri urbana dizajna, konstatovano je da se jak hladni stres javlja na svim stazama od 3 do 9 UTC i u 14 UTC (zbog povećanja brzine vetra u tom periodu dana, uočeno u klimatskom fajlu). Ostatak dana karakteriše umeren hladni stres na svim stazama (Slika 39 a-c).

U vidu kolorita prikazane su tabele sa periodima hladnog stresa u određenim časovima (Slika 40). Poređenjem prethodnog, postojećeg i budućeg stanja urbanog dizajna jak hladni stres se povećava, dok se umereni stres smanjuje (Tabela 8-10). Povećanje jakog hladnog stresa za buduće stanje urbanog dizajna je od 0,9% na sredini ulice do 1,7% na severnoj strani i 3,5% na južnoj strani (Tabela 11).

Maksimalne razlike u stepenima [°C] na svim pozicijama tela između analiziranih tipova urbanog dizajna dostižu do 3,2 °C UTCI vrednosti na nekim lokacijama tela. Detaljne i najizraženije razlike prikazane su u tabeli 12.



Slika 39. Prosečne vrednosti UTCl indeksa za zimski period na svim definisanim lokacijama tela: a) pešačka staza na severnoj strani, b) staza u sredini, c) pešačka staza na južnoj strani. (Preuzeto: Bajšanski et al., 2015)

<i>UTCI [C°]</i> <i>opseg</i>	<i>Kategorije stresa</i>
0 do -13	Umeren hladni stres 
-13 do -27	Jak hladni stres 

Slika 40. Legenda kolorita kategorija stresa prikazanog u tabelama 8-10. (Ivana Bajšanski)

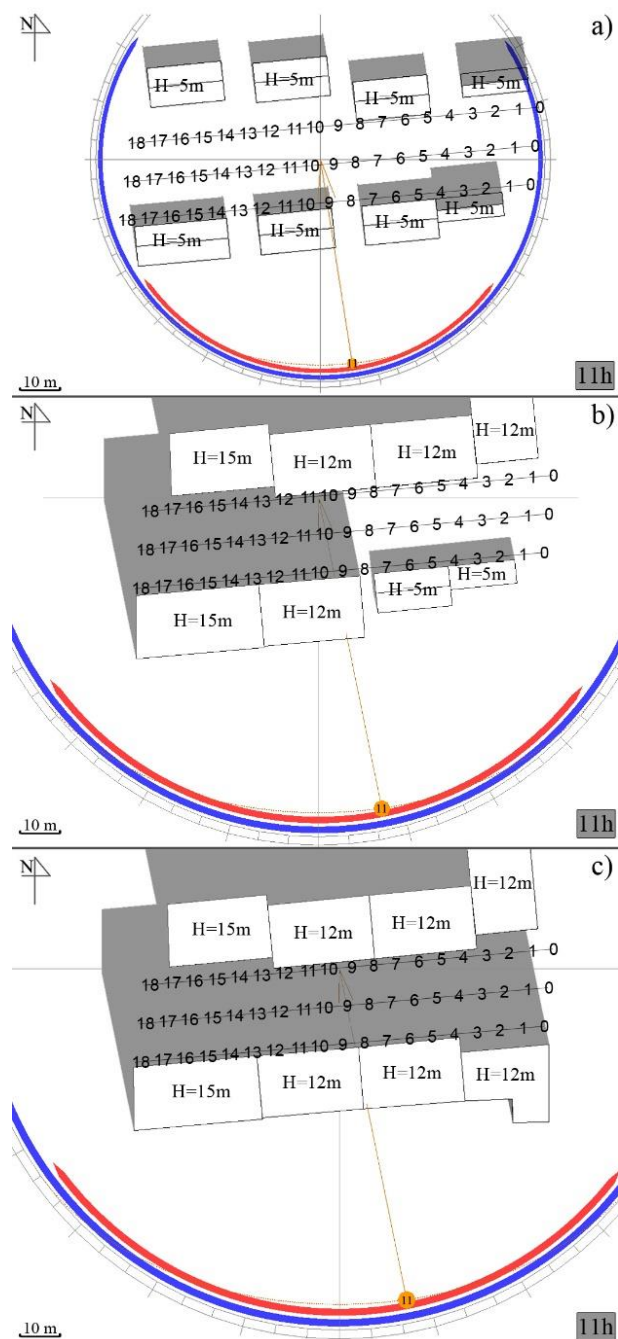
Kategorija stresa	Južna strana ulice			Sredina ulice			Severna strana ulice		
	Prošlo	Postojeće	Buduće	Prošlo	Postojeće	Buduće	Prošlo	Postojeće	Buduće
Umereni hladni stres	67,1	64,0	63,6	67,8	67,1	66,9	68,4	66,9	66,7
Jak hladni stres	32,9	36,0	36,4	32,2	32,9	33,1	31,6	33,1	33,3

Tabela 11. Kategorije UTCI stresa [%] za sve tri vrste urbanog dizajna tokom zimskog perioda. (Ivana Bajšanski)

a			b			c		
Pozicija	Razlika	Sat	Pozicija	Razlika	Sat	Pozicija	Razlika	Sat
0	0,2	11	0	2,1	11	0	0,5	11
1	0,3	11	1	2,2	11	1	0,6	11
2	0,3	11	2	0,2	11	2	0,7	11
3	0,4	11	3	0,3	11	3	0,9	11
4	0,5	11	4	0,6	11	4	1,0	11
5	0,5	11	5	0,9	11	5	1,1	11
6	0,6	11	6	1,0	11	6	1,3	11
7	0,8	11	7	1,1	11	7	1,4	11
8	1,8	11	8	3,0	11	8	1,6	11
9	2,0	10	9	2,2	10	9	2,2	11
10	1,0	11	10	1,1	11	10	2,5	11
11	1,0	11	11	1,1	11	11	2,7	11
12	1,5	11	12	1,5	11	12	2,9	11
13	3,1	11	13	3,1	11	13	3,0	11
14	1,5	11	14	1,5	11	14	3,1	11
15	1,3	11	15	1,3	11	15	2,9	11
16	1,2	11	16	1,2	11	16	2,6	11
17	1,0	11	17	1,0	11	17	2,3	11
18	1,9	11	18	1,9	11	18	2,1	11
d			e			f		
Pozicija	Razlika	Sat	Pozicija	Razlika	Sat	Pozicija	Razlika	Sat
0	1,2	11	0	0,7	11	0	1,1	11
1	1,9	11	1	0,9	11	1	1,5	11
2	2,1	11	2	1,1	11	2	2,0	11
3	2,1	11	3	1,4	11	3	2,3	11
4	2,4	11	4	1,5	11	4	2,4	11
5	2,5	11	5	1,1	11	5	2,0	11
6	2,7	11	6	0,9	11	6	1,7	11
7	2,8	11	7	0,9	11	7	1,8	11
8	2,9	11	8	1,3	11	8	2,2	11
9	3,0	11	9	2,1	11	9	2,9	11
10	2,9	11	10	2,7	11	10	3,2	11
11	2,9	11	11	2,9	11	11	3,2	11
12	3,0	11	12	2,9	11	12	3,1	11
13	3,1	11	13	3,1	11	13	3,2	11
14	3,2	11	14	3,0	11	14	3,1	11
15	2,9	11	15	3,0	11	15	3,0	11
16	2,7	11	16	2,8	11	16	2,8	11
17	2,4	11	17	2,1	11	17	2,2	11
18	2,1	11	18	1,8	11	18	1,8	11

Tabela 12. Maksimalne razlike (u °C) tokom zimskog perioda na svim pozicijama između: a) prethodnog i postojećeg stanja urbanog dizajna na južnoj strani, b) prethodnog i budućeg stanja urbanog dizajna na južnoj strani, c) prethodnog i postojećeg stanja urbanog dizajna u sredini ulice, d) prethodnog i budućeg stanja urbanog dizajna u sredini ulice, e) prethodnog i postojećeg stanja urbanog dizajna na severnoj strani, i f) prethodnog i budućeg stanja urbanog dizajna na severnoj strani ulice. (Ivana Bajšanski)

Najveće razlike vrednosti UTCI indeksa između prethodnog, postojećeg i budućeg stanja urbanog dizajna detektovane su u 11 UTC. Koristeći metodu simulacije senki prikazan je ovaj period dana u kom su uočene najveće razlike (Slika 41). Izračunate vrednosti UTCI indeksa smanjuju se za buduće stanje urbanog dizajna od 0,2 °C do 3,1 °C na južnoj strani ulice, od 1,5 °C do 3,2 °C na severnoj strani ulice i od 1,9 °C do 3,2 °C na sredini ulice.

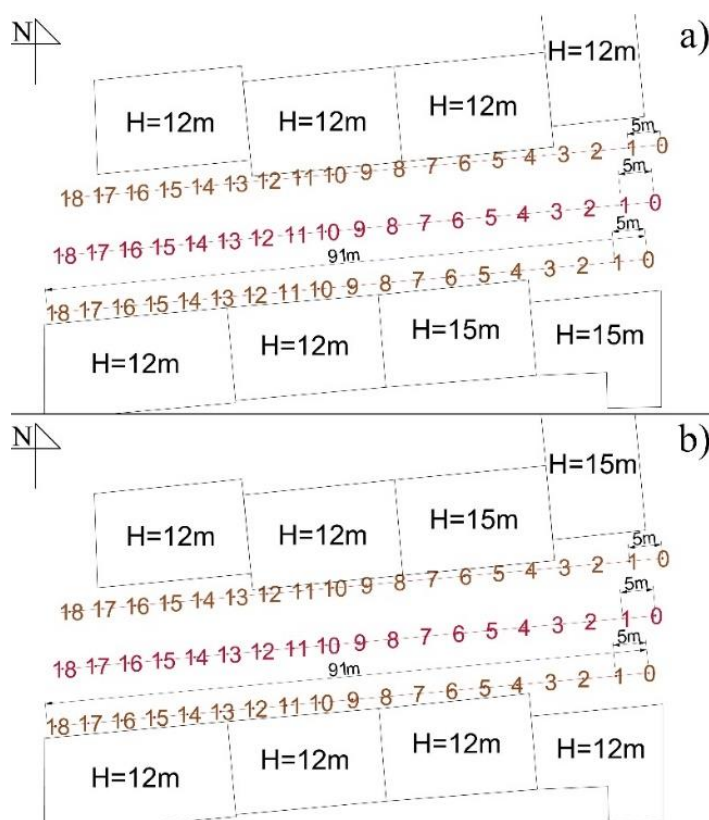


Slika 41. Putanja Sunca i senke izgrađenog okruženja tokom zimskog perioda: a) prethodno stanje urbanog dizajna, b) postojeće stanje urbanog dizajna i c) buduće stanje urbanog dizajna. (Preuzeto: Bajšanski et al., 2015)

4.2.2 *Primena algoritma za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora na primeru pravolinijske ulice*

Algoritmom za poboljšanje dobijen je predloženi urbani dizajn pravolinijske ulice. Naime, u skladu sa ispitanim svim rešenjima, odabrano je ono koje daje maksimalne razlike vrednosti UTCI indeksa u odnosu na budući urbani dizajn predviđen Generalnim urbanističkim planom. Objekti imaju osnove u obliku četvorostranih i šestostranih poligona. Broj permutacija koje je algoritam za poboljšanje morao da izvrši iznosi 28. Broj lokacija je 18, što znači da je ukupno 504 iteracije bilo potrebno za letnji i 504 iteracije za zimski period.

Smanjenje vrednosti UTCI indeksa dostiže 2,9 °C u 10h na južnoj strani ulice za urbani dizajn sa klimatskim podacima za letnji period. Za zimski period dobijena je maksimalna razlika od 1,7 °C takođe na južnoj strani ulice. Razlike u rasporedu visina između budućeg planiranog i algoritmom za poboljšanje predloženog dizajna prikazane su na slici 42.

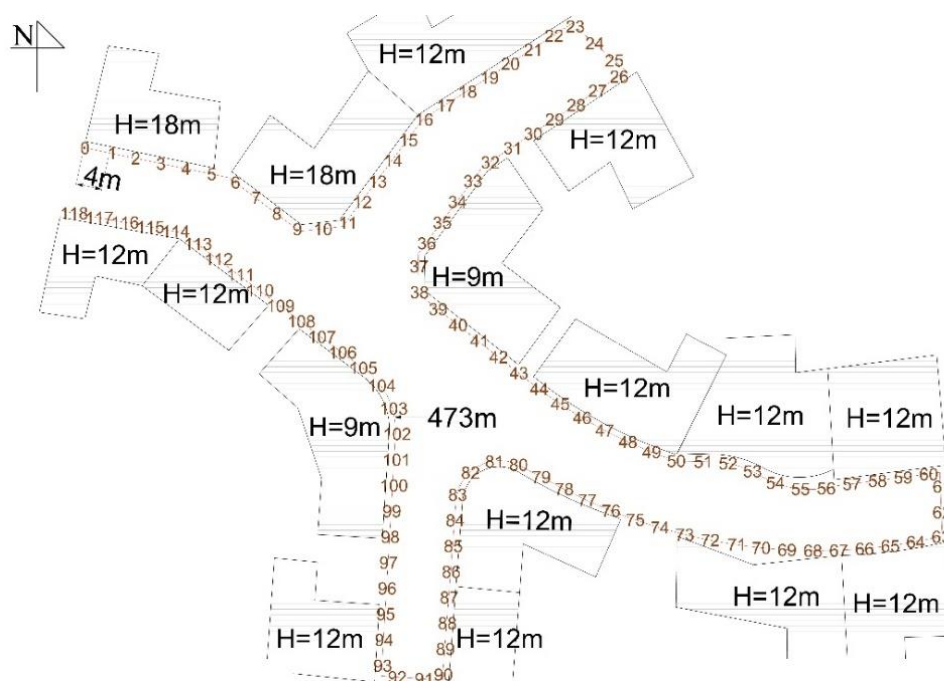


Slika 42. Raspored visina zgrada u pravolinijskoj ulici: a) urbani dizajn predložen algoritmom za poboljšanje za letnji period, b) urbani dizajn predložen algoritmom za poboljšanje za zimski period. (Preuzeto: Bajšanski et al., 2015)

4.2.3 Primena algoritma za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora na primeru urbanog područja sa sistemom krivolinijskih ulica

Urbano tkivo sa sistemom krivolinijskih ulica sastoji se od pešačkih staza u obliku krivih linija i pešačkih staza sa obe strane ulica, koje mogu biti različite dužine. Takođe, ukoliko u određenom urbanom tkivu postoji više ovakvih ulica različite dužine i morfoloških karakteristika, istovremeno računanje vrednosti UTCI indeksa na više pešačkih staza nije moguće. U tom slučaju, sve linije koje čine pešačke staze mogu biti povezane u jednu poliliniiju i biti određene segmentima i pozicijama čoveka.

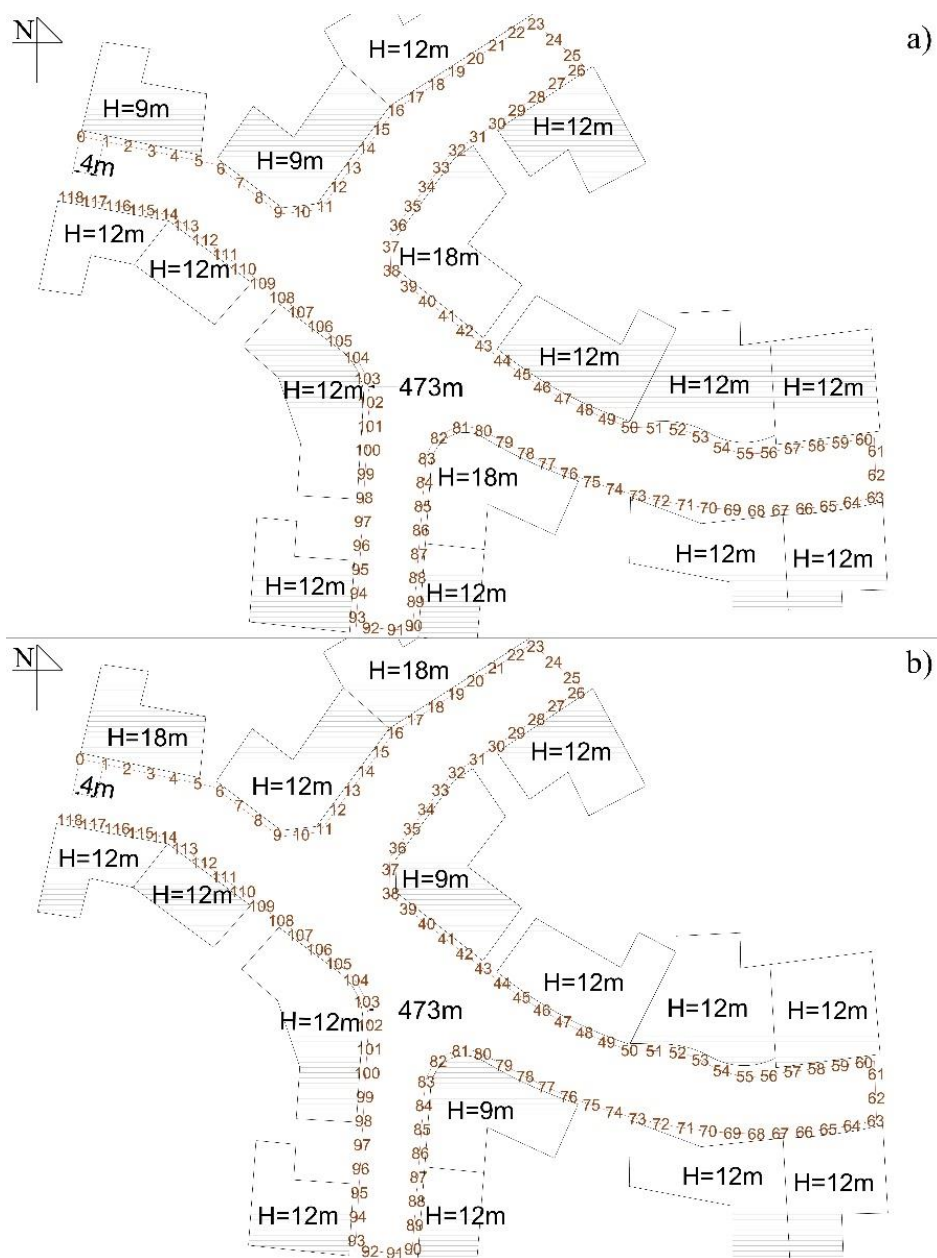
Sistem krivolinijskih ulica ispitivan u radu ima ukupnu dužinu svih pešačkih staza 473 m. Morfologiju ovakvog urbanog područja karakteriše kombinacija šesnaest povezanih i nepovezanih višeporodičnih objekata sa visinom od 9 m (dva sprata), 12 m (tri sprata) i 18 m (pet spratova) (Slika 43). Sistem ulica je proizvoljno odabran, kao i visine objekata. Objekti koji postoje u tom urbanom području imaju osnove u obliku četvorostranih, šestrostranih ili sedmostranih poligona. Takođe, postoje objekti sa osnovama čija je fasada u obliku krivih zatvorenih linija.



Slika 43. Osnova urbanog područja sa krivolinijskim sistemom ulica sa određenim visinama objekata i lokacijama tela na pešačkim stazama. (Preuzeto: Bajšanski et al., 2015)

Ukupan broj permutacija koje je trebalo izvršiti algoritmom za poboljšanje iznosi 10920. Broj lokacija je 119, što iznosi 1299480 simulacija spoljašnjeg termalnog komfora. Smanjenje UTCI vrednosti od 3,9 °C uočeno je u 10h, poređenjem planiranog urbanog dizajna i dizajna

predloženog algoritmom za poboljšanje za letnji period (Slika 44a). Za zimski period maksimalna razlika vrednosti UTCI indeksa iznosi 1,1 °C u 11h. Predlog urbanog dizajna za zimski period je prikazan na slici 44b.

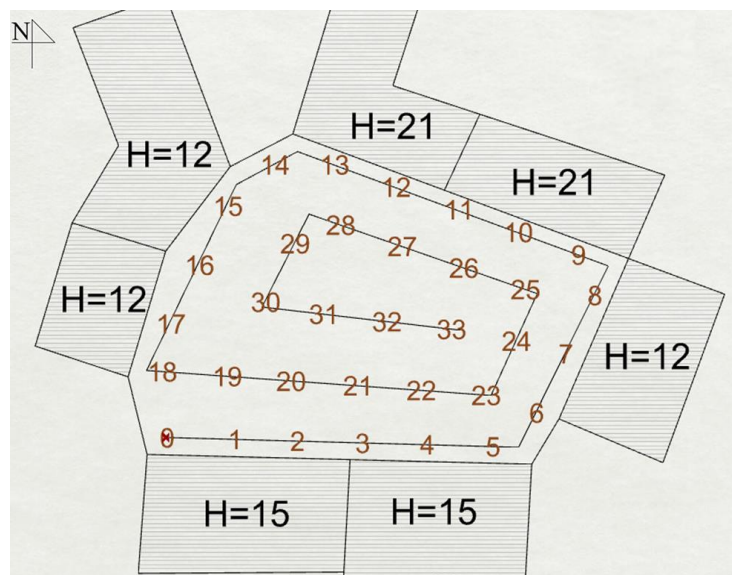


Slika 44. Raspored visina zgrada u krivolinijskoj ulici: a) urbani dizajn predložen algoritmom za poboljšanje za letnji period, b) urbani dizajn predložen algoritmom za poboljšanje za zimski period. (Preuzeto: Bajšanski et al., 2015)

4.2.4 Primena algoritma za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora na primeru prostora trga

Trg je urbana celina koju uglavnom karakteriše pešačka zona. U skladu sa tim, poliliniija koja bi predstavljala pešačke staze može biti napravljena u bilo kom obliku i izdijeljena na neophodan broj segmenata i lokacija. S obzirom da je na nekim delovima trgova uglavnom predviđen prostor za sedenje, algoritam za procenu može da se prilagođava i toj funkciji. Za sve pozicije koje obuhvataju prostor za sedenje koje su određene za automatsko menjanje lokacije čoveka, u algoritmu za procenu podešeno je da čovek sedi i da se tako proračunava samo na tim lokacijama spoljašnji termalni komfor.

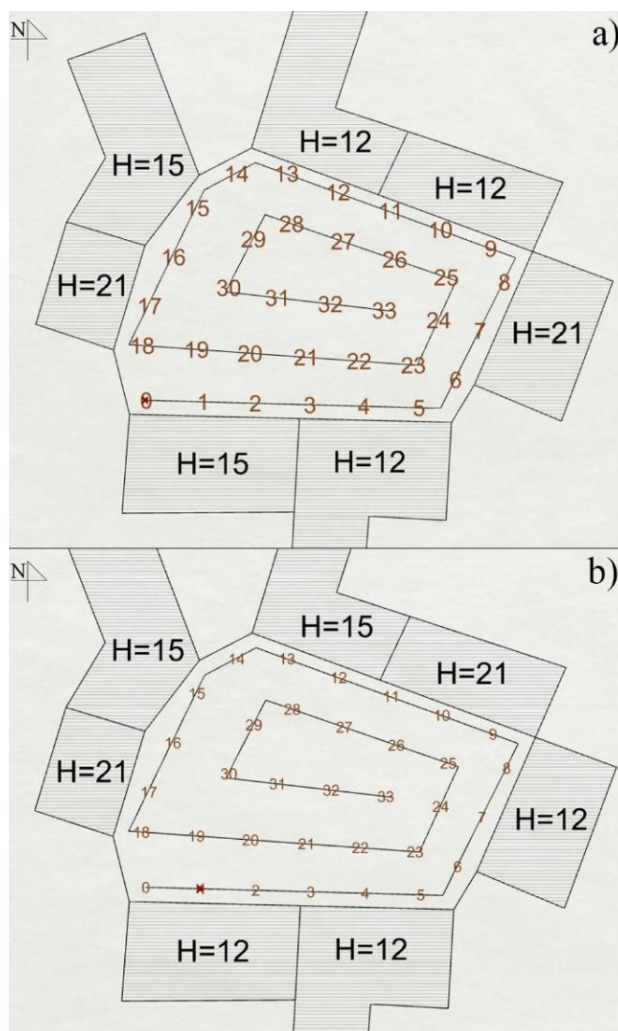
U radu je poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora urađeno na urbanom području koje ima klasičnu morfologiju prostora trga i predstavlja kombinaciju povezanih i nepovezanih objekata visine 12 m (tri sprata), 15 m (četiri sprata) i 21 m (šest spratova). Površina istraživanog područja iznosi 2976 m². Putanja po kojoj se pešaci kreću je kreirana unutar trga u obliku spirale i podeljena je na 34 segmenta. Dužina cele putanje iznosi 330 m i razmaci između tačaka iznose konstantnih 10 m (Slika 45). Objekti koji čine analizirani trg imaju osnove u obliku četvorostranih ili šestrostranih poligona.



Slika 45. Osnova prostora trga sa određenim visinama objekata i lokacijama tela na pešačkim stazama. (Ivana Bajšanski)

Broj permutacija za ovaj broj zgrada i visine iznosi 210. Broj lokacija je 34, odnosno trebalo je izvršiti 7140 simulacija UTCI indeksa za letnji i zimski period ponaosob.

Prosečne vrednosti UTCI indeksa za sve 34 lokacije u letnjem periodu za postojeći urbani dizajn iznosi 32,81 °C, dok za predlog novog rešenja algoritmom za poboljšanje, prosečna vrednost iznosi 32,57 °C. Na pojedinim lokacijama razlike u vrednosti UTCI indeksa dostižu do 1,5 °C. Za zimski period zabeleženo je povećanje temperature do 0.8 °C vrednosti UTCI indeksa na pojedinim lokacijama. Razlike u urbanom dizajnu za letnji i zimski period su prikazane na slici 46.

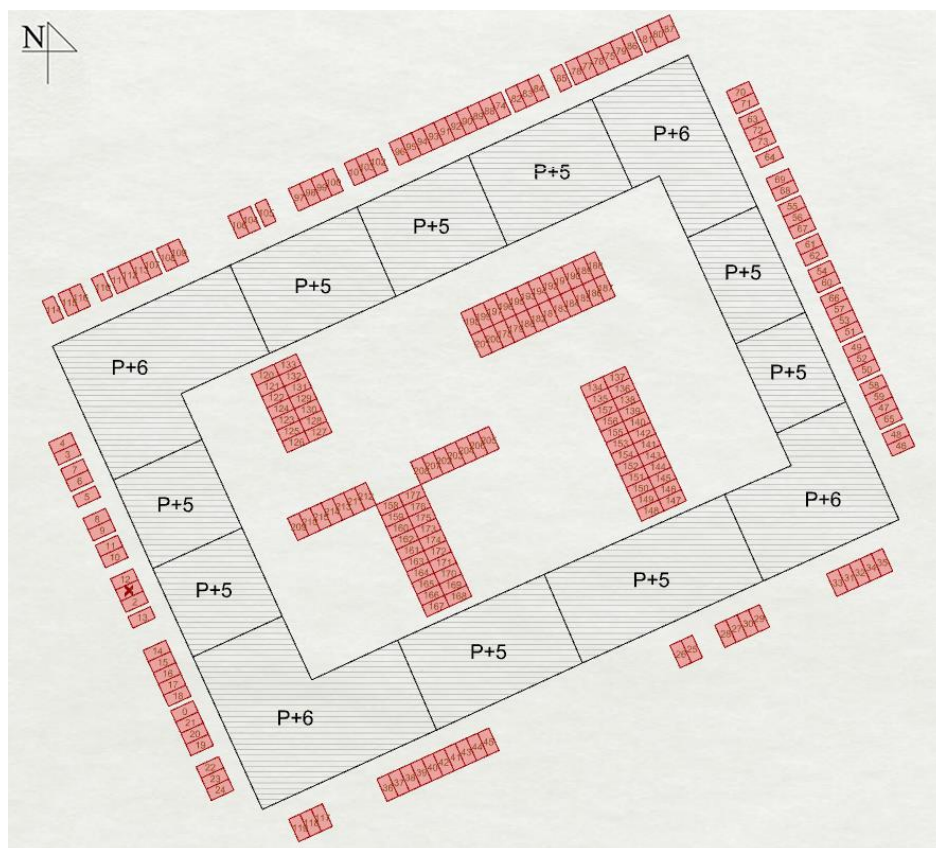


Slika 46. Raspored visina zgrada na primeru prostora trga: a) urbani dizajn predložen algoritmom za poboljšanje za letnji period, b) urbani dizajn predložen algoritmom za poboljšanje za zimski period. (Ivana Bajšanski)

4.2.5 *Primena algoritma za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora na primeru blokovskog prostora*

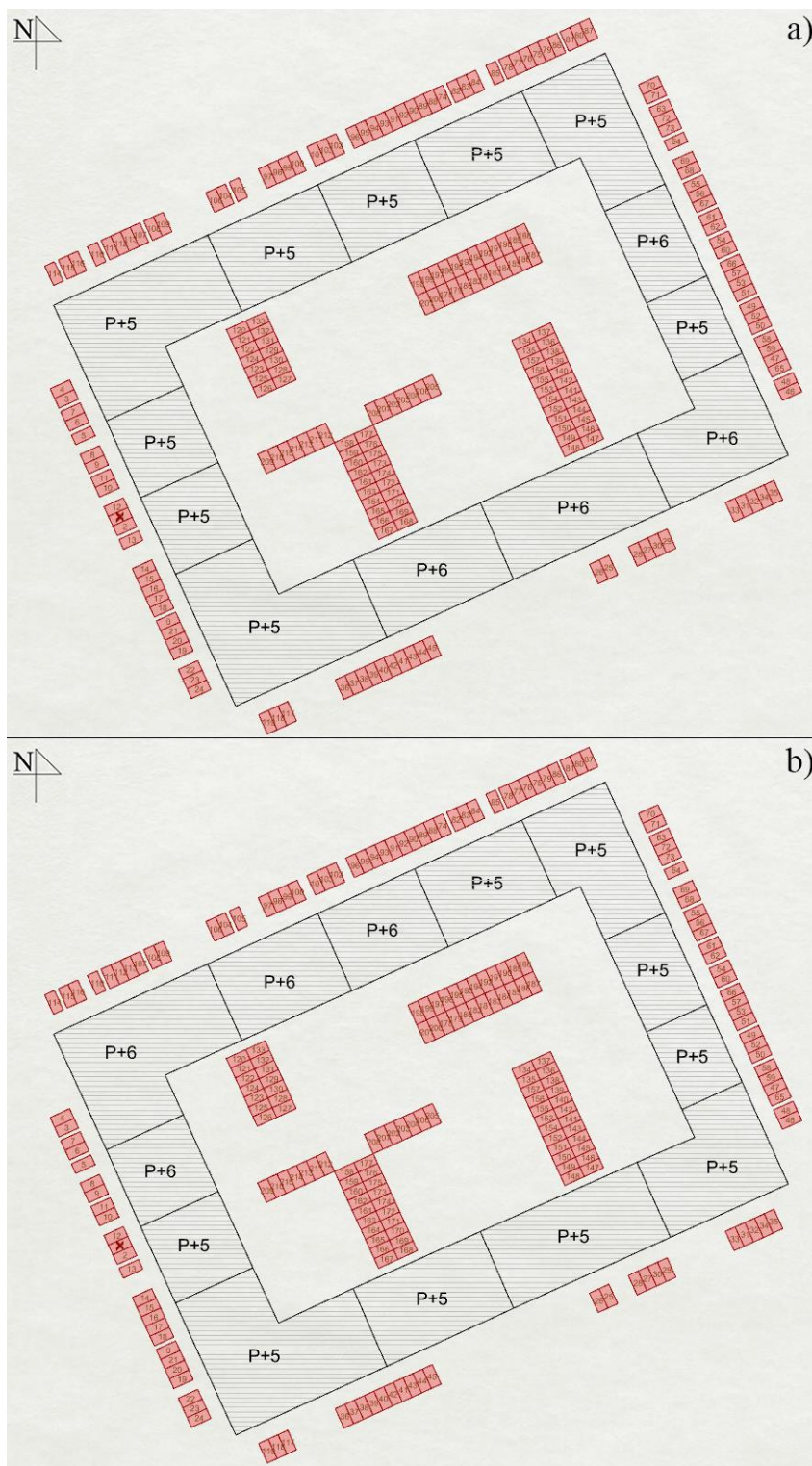
Blokovski prostor koji je analiziran u radu nalazi se na području Nove Detelinare u Novom Sadu. Urbani dizajn karakteriše četvorougao ni blok okružen pravolinijskim ulicama. U blokovskom prostoru većinu slobodnog prostora čine parking mesta. Objekti koji čine blokovski prostor sačinjeni su od četvorostranih i šestostranih poligona u osnovi. Ovaj urbani segment karakteriše trinaest objekata višeporodičnog stanovanja visine 18 m (pet spratova) i 21 m (šest spratova). Površina koju područje zauzima iznosi 14.626 m², sa 216 parking mesta (Slika 47). Broj permutacija sa ponavljanjem za ovo područje iznosi 715, i sa 216 lokacija ukupan broj simulacija iznosi 154440.

Blokovski prostor veoma je sličan prostor trgu, ali je namena partera potpuno drugačija. Naime, kod blokovskog prostora, osim pešačkih zona i zona za sedenje, postoje uglavnom i zone za parkiranje. Veoma je važno postići odgovarajući termalni komfor osoba koje koriste automobile. Pomoću odgovarajuće komponente u Grasshopper-u, moguće je odrediti centre parking mesta koja predstavljaju lokacije za automatsko menjanje lokacije čoveka. U tim lokacijama neophodno je podesiti sedeći položaj čoveka za svaku poziciju. Na taj način je moguće sprovesti analizu spoljašnjeg termalnog komfora na parking mestima koja zauzimaju većinu prostora i karakteristična su za ovo područje.



Slika 47. Osnova blokovskog prostora sa određenim lokacijama tela na pešačkim stazama i parking mestima. (Ivana Bajšanski)

Blokovski prostor analiziran u radu nema velike razlike u vrednostima UTCI indeksa. Naime, i u letnjem i u zimskom periodu maksimalne razlike dostižu svega do 0.5 °C. Razlog tome je mala razlika u visini objekata i udaljenost parking mesta od objekata. Ono što je bitno napomenuti je to da algoritam za procenu beleži i ove minimalne razlike, što svakako doprinosi poboljšanju spoljašnjeg termalnog komfora. Na slikama 48 a i b je prikazan urbani dizajn predložen algoritmom za poboljšanje za letnji i zimski period.

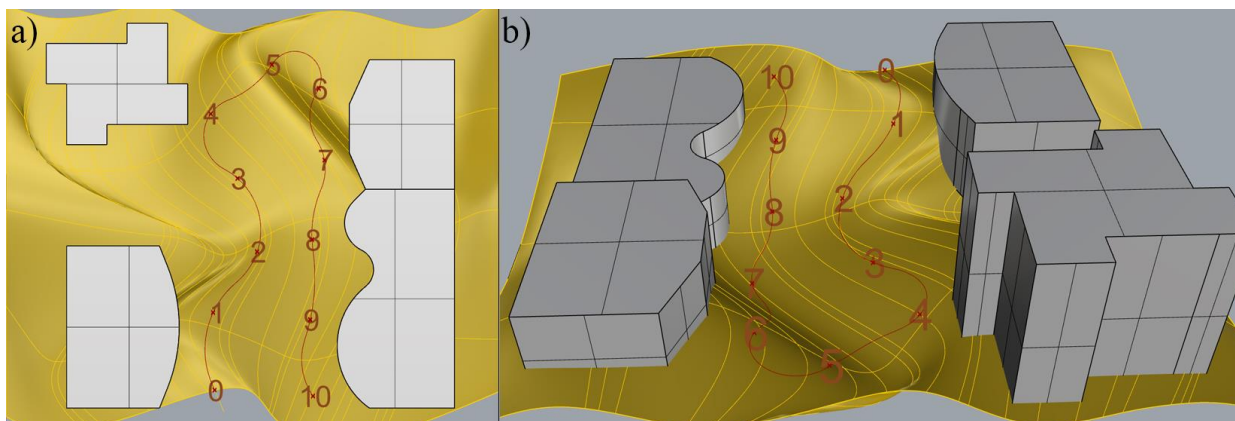


Slika 48. Raspored visina zgrada na primeru prostora bloka: a) urbani dizajn predložen algoritmom za poboljšanje za letnji period, b) urbani dizajn predložen algoritmom za poboljšanje za zimski period. (Ivana Bajšanski)

4.2.6 Primena algoritma za poboljšanje spoljašnjeg termalnog komfora na primeru urbanog područja sa proizvoljnim oblikom terena

Mogućnosti primene algoritma za poboljšanje i način na koji se traži konačno najbolje rešenje posebno za letnji i posebno za zimski period, prikazano je na primeru četiri objekta proizvoljne visine i proizvoljnog oblika terena. Objekti imaju razučenu pravolinijsku ili krivolinijsku osnovu, a neki objekti su predstavljeni kao kombinacija ova dva geometrijska oblika. Ulazni parametri su zadate visine objekata od kojih su jedan 30 m, dva od 18 m i jedan od 12 m. Za razliku od prethodnih primera, u ovom slučaju ne postoji postojeće stanje urbanog dizajna, nego se isključivo na osnovu zadatih visina objekata generiše najbolji raspored visina posebno za letnji i posebno za zimski period. Primer je osmišljen tako da primena na objektima atipičnih osnova i na nagnutom terenu bude ilustrativna. Pešačka staza projicirana je na teren u nagibu, što predstavlja jednu više mogućnost za prilagođavanje algoritma za poboljšanje različitim urbanim područjima (Slika 49). Postoji 12 simulacija za permutovanje visina objekata, a broj lokacija na pešačkoj stazi je 11, što znači da algoritam za poboljšanje treba da izvrši ukupno 132 simulacije za letnji i 132 simulacije za zimski period.

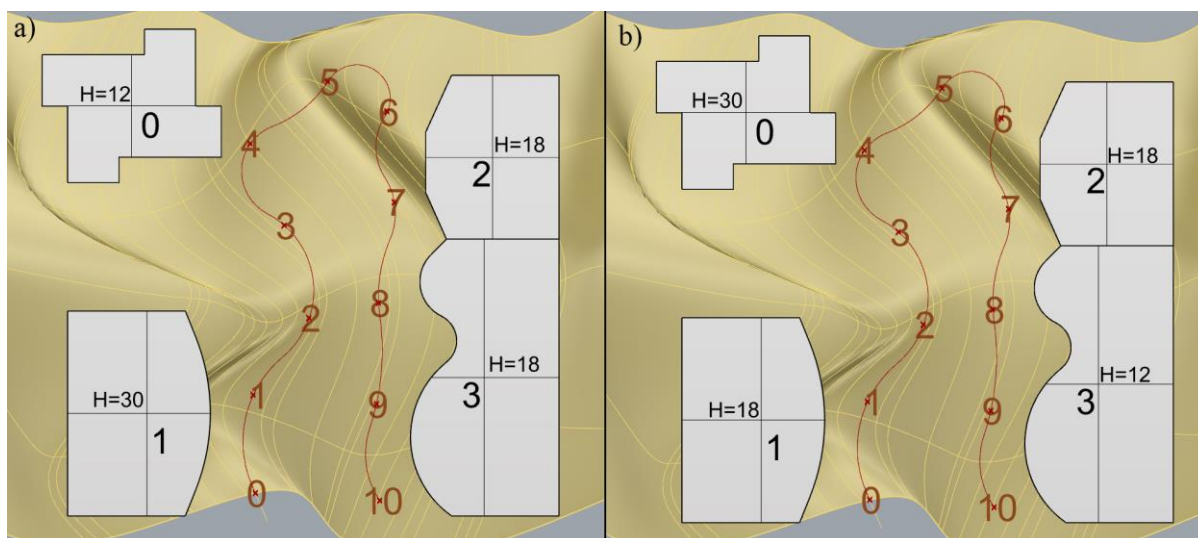
U cilju prikazivanja prilagođavanja algoritma za poboljšanje raznovrsnoj geometriji i prostornoj pešačkoj stazi, prikazani su konačni rezultati urbanog stanja za letnji i zimski period na osnovu zadatih visina objekata. U tabeli 13 za svaku permutaciju prikazana je oznaka objekata i odgovarajuće visine objekata, zatim konačne vrednosti UTCI indeksa za letnji i zimski period. Odabrana je minimalna vrednost UTCI indeksa za letnji period i ona odgovara petoj permutaciji (Slika 50a). Na osnovu toga, poznate su visine objekata koje dalju najbolji termalni komfor leti. Isto tako, za zimski period, najveća vrednost UTCI indeksa odgovara permutaciji šest kojom se dobija određena visina objekata za najbolji termalni komfor u zimskom periodu (Slika 50b).



Slika 49. Primer objekata sa razučenom osnovom i terenom u nagibu i prostornom krivom kao pešačkom stazom: a) osnova modela; b) 3d prikaz modela. (Ivana Bajšanski)

Broj permutacije	Oznaka objekta	Visina objekata	Vrednost UTCI indeksa za <i>letnji</i> period [°C]	Vrednost UTCI indeksa za <i>zimski</i> period [°C]
{0}	0	18	35.579434	-12.171381
	1	18		
	2	12		
	3	30		
{1}	0	12	35.657522	-12.106969
	1	18		
	2	30		
	3	18		
{2}	0	30	35.87113	-12.022238
	1	12		
	2	18		
	3	18		
{3}	0	18	35.630964	-12.024962
	1	30		
	2	18		
	3	12		
{4}	0	18	35.722059	-12.002921
	1	18		
	2	30		
	3	12		
{5}	0	12	35.562322	-12.136137
	1	30		
	2	18		
	3	18		
{6}	0	30	35.793321	-11.964449
	1	18		
	2	18		
	3	12		
{7}	0	30	35.725768	-12.043775
	1	18		
	2	12		
	3	18		
{8}	0	18	35.753177	-12.130738
	1	12		
	2	18		
	3	30		
{9}	0	12	35.605639	-12.185791
	1	18		
	2	18		
	3	30		
{10}	0	18	35.563458	-12.104119
	1	30		
	2	12		
	3	18		
{11}	0	18	35.805036	-12.051723
	1	12		
	2	30		
	3	18		

Tabela 13. Prikaz svih permutacija sa visinama objekata i rešenjem za letnji i zimski period koje odgovara najboljem spoljašnjem termalnom komforu. (Ivana Bajšanski)



Slika 50. Raspored visina zgrada u području sa terenom u nagibu: a) urbani dizajn predložen algoritmom za poboljšanje za letnji period, b) urbani dizajn predložen algoritmom za poboljšanje za zimski period. (Ivana Bajšanski)

5. ZAVRŠNE NAPOMENE

5.1 Zaključak

Iz rezultata istraživanja može se zaključiti da urbana geometrija ima veliki uticaj na spoljašnji termalni komfor i utiče na početnu fazu urbanog planiranja i projektovanja. Grasshopper i njegovi softverski dodaci omogućavaju računanje vrednosti UTCI indeksa na n broju pozicija modela tela čoveka u isto vreme. Ovo rešenje je odgovarajuće za mala urbana područja, sa nekoliko pozicija tela (<15 pozicija). Međutim, u slučaju procene termalnog komfora na urbanim područjima kao što su bulevari, trgovi, industrijske zone, veliki parking prostori i drugi, veoma je teško ili čak nemoguće da softver istovremeno izračuna vrednosti UTCI indeksa na tako velikoj površini na kojoj može biti detektovano i više stotina pozicija. U cilju rešenja tog problema, u ovom radu razvijen je algoritam za procenu koji ima mogućnost automatske promene pozicije čoveka.

U radu je razvijen i algoritam za poboljšanje koji koristi rezultate algoritma za procenu. Algoritam za poboljšanje testiran je na nekoliko urbanih područja sa različitim morfološkim karakteristikama, kao što su oblik i površina osnove urbanog područja, različiti geometrijski oblici osnove objekata i nagib terena.

Da bi spoljašnji termalni komfor u softveru Ladybug bio izračunat na što sofisticiraniji način nego što to omogućavaju drugi softveri, moguće je dodeliti različite karakteristike modelu čoveka, kao što su rotacija tela, položaj tela i nivo odevenosti, za svaku određenu poziciju tela. Kada se lokacija modela tela automatski menja, algoritam za procenu koristi zadate parametre za karakteristike modela tela na svakoj pojedinačnoj lokaciji dok računa vrednost UTCI indeksa.

Prednosti softverskih aplikacija korišćenih u istraživanju ogledaju se u tome što je u njima omogućena optimizacija kreiranjem i aplikacijom algoritama za menjanje geometrijskih parametara (Shi et al., 2013; Taleb et al., 2015). Rezultati pokazuju da je moguće dobiti različiti urbani dizajn algoritmom za poboljšanje kojim se dobija znatno poboljšan spoljašnji termalni komfor. Jedna od značajnih prednosti ovog istraživanja i kreiranog algoritma za procenu i algoritma za poboljšanje je ta da se mogu koristiti u bilo kom urbanom području uz postojanje odgovarajućih klimatskih podataka.

Ovaj metod poboljšanja u urbanističkom planiranju u funkciji održivog razvoja, predstavlja moguću prostornu intervenciju koja doprinosi vitalnosti i povećanom korišćenju urbanih prostora tokom letnjih perioda sa ekstremnim temperaturama.

5.2 Ograničenja u istraživanju

Kao što je već navedeno u prethodnom tekstu, parametarsko modelovanje se zasniva na uvođenju mnoštva parametara koji se mogu menjati u zavisnosti od zahteva u algoritmu. Najveći problem za dobijanje veoma preciznih vrednosti UTCI indeksa su fizičke karakteristike izgrađenog okruženja. Naime, materijalizacija fasada izgrađenog okruženja u kom se vrši procena vrednosti UTCI indeksa jedan je od parametara koji nije moguće uključiti u proces simulacija.

Osim toga, ograničenja u istraživanju odnose se i na nemogućnost uvođenja fizičkih karakteristika vegetacije kao što su transpiracija, gustina krošnje i period listanja. Jedino je moguće uvesti vegetaciju u proces simulacija pravljenjem punih geometrijskih formi u obliku krošnje drveta, pa se u tom slučaju vegetacija tretira kao objekat koji baca punu senku.

Zatim, u radu nije uzeta u obzir metabolička funkcija čoveka u pokretu ili pri vršenju napornih fizičkih aktivnosti kao što su šetanje, trčanje, skakanje i druge. Jedino je moguće odabrati statičnu metaboličku funkciju koja podrazumeva stojeći, sedeći ili ležeći položaj.

S obzirom da objekti nemaju istu površinu gabarita u osnovi, raspoređivanjem visina zgrada može se poremetiti ukupna bruto razvijena površina objekata. To je parametar koji utiče na ukupan broj stanovnika (ukoliko se analiza vrši u stambenom području) i na ostale urbanističke elemente, kao što su broj stambenih jedinica, broj parking mesta i druge. Taj parametar nije uzet u obzir u algoritmu za poboljšanje pri analizi, tako da se može dogoditi da bruto razvijena površina dobijena algoritmom bude manja ili veća nakon analize.

5.3 Pravci budućih istraživanja

Navedeni problemi i ograničenja u ovom istraživanju koja se nalaze u okviru softvera ne nude potpuno precizne rezultate zbog nedostatka fizičkih karakteristika izgrađenog okruženja. Međutim, parametarsko modelovanje i dalje nudi čitav spektar mogućnosti za razvoj daljih istraživanja koja će ukazati na moguće greške i probleme u početnoj fazi arhitektonskog i urbanističkog planiranja. Takođe, urbana sredina predstavlja jedno kompleksno okruženje sa velikim brojem različitih parametara, koje svakako treba uzeti u obzir prilikom daljeg istraživanja i proširivanja kreiranog algoritma za poboljšanje. Osim navedenih softvera koji su korišćeni u ovom istraživanju, postoji mogućnost povezivanja Rhinoceros-a i Grasshopper-a sa drugim softverima koji vrše simulacije za analizu životne sredine. Iz tog razloga, pravci budućih istraživanja odnosiće se i na kreiranje nekih drugih algoritama, u istim ili drugim kompatibilnim softverima koji mogu u veoma ranoj fazi projektovanja ukazati na probleme u budućem planiranju.

Analize kao što su pregrejanost urbanog partera i fasada objekata aktuelna su tema istraživanja i predlaganje rešenja koja obuhvataju smanjenje temperature ovih površi planirana su u budućim istraživanjima. Osim toga, u budućem radu planiran je razvoj analiza koje podrazumevaju simulacije brzine vetra i njegovih nepovoljnosti kada su u pitanju arhitektonski objekti ili urbanistički planovi. Tim pristupom se takođe može poboljšati urbana mikroklima i ujedno poboljšati spoljašnji termalni komfor u otvorenim prostorima.

U vezi sa istraživanjem u ovom radu i kreiranim algoritmom za procenu i algoritmom za poboljšanje je to da se mogu upotrebiti za slične geometrijske probleme u cilju poboljšanja spoljašnjeg termalnog komfora u različitim urbanim sredinama. Upotrebom parametarskog modelovanja vršice se uvođenje različitih geometrijskih parametara koji su karakteristični za urbanu sredinu, kao što su širina ulice, rastojanje između objekata, položaj objekata na parceli, itd. Osim toga, u budućem radu planirano je uvođenje parametra bruto razvijene površine objekta u postojeći algoritam za poboljšanje. Korišćenjem algoritama u ranoj fazi projektovanja može se doprineti kreiranju urbanistički ugodnijih celina što ima za posledicu korišćenje tih prostora u većoj meri.

6. POPIS TABELA I ILUSTRACIJA

- Tabela 1. Skala UTCI kategorije stresa. (Preuzeto: International Union of Physiological Sciences – Thermal Commission, 2003) 13
- Tabela 2. Prikaz neophodnih ulaznih podataka i različitih softverskih aplikacija korišćeni u procesu računanja vrednosti UTCI indeksa. (Preuzeto: Bajšanski et al., 2015) 27
- Tabela 3. Vrednosti UTCI indeksa za letnji period na svim pozicijama na južnoj strani pravolinijske ulice za prethodno, postojeće i buduće stanje urbanog dizajna. (Ivana Bajšanski) 43
- Tabela 4. Vrednosti UTCI indeksa za letnji period na svim pozicijama na sredini pravolinijske ulice za prethodno, postojeće i buduće stanje urbanog dizajna. (Ivana Bajšanski) 44
- Tabela 5. Vrednosti UTCI indeksa za letnji period na svim pozicijama na severnoj strani pravolinijske ulice za prethodno, postojeće i buduće stanje urbanog dizajna. (Ivana Bajšanski) 45
- Tabela 6. Kategorije UTCI stresa [%] za sve tri vrste urbanog dizajna tokom letnjeg perioda. (Ivana Bajšanski) 46
- Tabela 7. Maksimalne razlike (u °C) tokom letnjeg perioda na svim pozicijama između: a) prethodnog i postojećeg stanja urbanog dizajna na južnoj strani, b) prethodnog i budućeg stanja urbanog dizajna na južnoj strani, c) prethodnog i postojećeg stanja urbanog dizajna u sredini ulice, d) prethodnog i budućeg stanja urbanog dizajna u sredini ulice, e) prethodnog i postojećeg stanja urbanog dizajna na severnoj strani, f) prethodnog i budućeg stanja urbanog dizajna na severnoj strani ulice. (Ivana Bajšanski) 47
- Tabela 8. Vrednosti UTCI indeksa za zimski period na svim pozicijama na južnoj strani pravolinijske ulice za prethodno, postojeće i buduće stanje urbanog dizajna. (Ivana Bajšanski) 52
- Tabela 9. Vrednosti UTCI indeksa za zimski period na svim pozicijama na sredini pravolinijske ulice za prethodno, postojeće i buduće stanje urbanog dizajna. (Ivana Bajšanski) 53

- Tabela 10. Vrednosti UTCI indeksa za zimski period na svim pozicijama na severnoj strani pravolinijske ulice za prethodno, postojeće i buduće stanje urbanog dizajna. (Ivana Bajšanski) 54
- Tabela 11. Kategorije UTCI stresa [%] za sve tri vrste urbanog dizajna tokom zimskog perioda. (Ivana Bajšanski) 55
- Tabela 12. Maksimalne razlike (u °C) tokom zimskog perioda na svim pozicijama između: a) prethodnog i postojećeg stanja urbanog dizajna na južnoj strani, b) prethodnog i budućeg stanja urbanog dizajna na južnoj strani, c) prethodnog i postojećeg stanja urbanog dizajna u sredini ulice, d) prethodnog i budućeg stanja urbanog dizajna u sredini ulice, e) prethodnog i postojećeg stanja urbanog dizajna na severnoj strani, i f) prethodnog i budućeg stanja urbanog dizajna na severnoj strani ulice. (Ivana Bajšanski) 56
- Tabela 13. Prikaz svih permutacija sa visinama objekata i rešenjem za letnji i zimski period koje odgovara najboljem spoljašnjem termalnom komforu. (Ivana Bajšanski) 67
- Slika 1. Primer enterijera i eksterijera u kojima je ispitivan nivo termalne senzacije. (Preuzeto: Rahm, 2008) 6
- Slika 2. Primeri uličnog modela različite orijentacije u kojima je ispitivan spoljašnji termalni komfor. (Preuzeto: Andreou, 2013) 7
- Slika 3. Mapa ispitivanja termalnog komfora u različitim periodima dana: a) 11:30h, b) 12:00h, c) 12:30h, d) 13:00h, e) 13:30h, f) 14:00h, g) 14:30h, h) 15:00h, i) 15:30h, j) 16:00h, k) 16:30h, l) 17:00h. (Preuzeto: Park, 2014) 8
- Slika 4. Područje istraživanja: trg San Silvestro u Rimu. Podela od A-H na podzone korišćena je da se uradi preciznija opservacija i preciznije izračuna termalni komfor. Tačka M predstavlja poziciju meteoroloških instrumenata. (Preuzeto: Martinelli, 2015) 9
- Slika 5. Termalna interakcija ljudskog tela sa okolinom. (Preuzeto: Havenith, 2001) 10
- Slika 6. Koncept UTCI indeksa izveden kao ekvivalentna temperatura od termofizičkog UTCI-Fialinog modela zajedno sa modelom odeće. (Preuzeto: Brode, 2012) 11

- Slika 7. Model tela čoveka za koga je izračunat spoljašnji termalni komfor u softveru Ladybug. (Ivana Bajšanski) 12
- Slika 8. Prikaz komponente Weather data file iz softvera Ladybug sa izlaznim klimatskim podacima koji se koriste u daljem procesu računanja. (Ivana Bajšanski) 16
- Slika 9. Komponenta Outdoor Solar Temperature Adjustor u softveru Ladybug sa prikazom ulaznih i izlaznih podataka. (Ivana Bajšanski) 17
- Slika 10. Stojeći položaj modela čoveka prikazan u Rhinoceros-u (levo) i odabrana vrednost 0 za Body Posture u komponenti Outdoor Solar Temperature Adjustor Ladybug-a (desno). (Ivana Bajšanski) 18
- Slika 11. Podešen ugao od 90° kojim model čoveka stoji u odnosu na referentnu liniju prikazan u Rhinoceros-u (levo) i odabrana vrednost ugla za Rotation Angle u komponenti Outdoor Solar Temperature Adjustor Ladybug-a (desno). (Ivana Bajšanski) 19
- Slika 12. Podešena vrednost nivoa odevenosti od 0.46 u komponenti Outdoor Solar Temperature Adjustor Ladybug-a. (Ivana Bajšanski) 20
- Slika 13. Prikaz potencijalnih lokacija modela tela čoveka u vidu nasumično postavljenih tačaka u softveru Rhinoceros (levo) i komponenta Point u Grasshopper-u (desno). (Ivana Bajšanski) 20
- Slika 14. Dijagram postupka za dobijanje svih mogućih lokacija modela tela čoveka. (Preuzeto: Bajšanski et al., 2015) 21
- Slika 15. Prikaz potencijalnih lokacija modela tela čoveka postavljenih na pravoj i krivoj liniji koje pripadaju jednoj ravni u softveru Rhinoceros (levo) i komponente Curve i Divide Curve u Grasshopper-u (desno). (Ivana Bajšanski) 22
- Slika 16. Prikaz potencijalnih lokacija modela tela čoveka postavljenih na prostornoj liniji u softveru Rhinoceros (levo) i komponenti Curve (Kriva u xy ravni), Surface (Površ na koju se kriva projicira) u Grasshopper-u (desno). (Ivana Bajšanski) 22
- Slika 17. Prikaz potencijalnih lokacija modela tela čoveka postavljenih na parking mestima u softveru Rhinoceros (levo) i komponente Surface i Area u Grasshopper-u (desno). (Ivana Bajšanski) 23
- Slika 18. Podešena vrednost refleksije partera od 0.26 u komponenti Outdoor Solar Temperature Adjustor Ladybug-a. (Ivana Bajšanski) 23

- Slika 19. Vrednosti refleksije površine urbanog partera u zavisnosti od materijala. (Preuzeto: Oke, 1988) 24
- Slika 20. Prikaz trodimenzionalnih modela u Rhinoceros-u (levo) i komponente Geometry u Grasshopper-u povezane sa SAMRT komponentom u Ladybug-u (desno). (Ivana Bajšanski) 25
- Slika 21. Komponenta Analysis Period u Ladybug-u. Prikazani su podaci za datum 7. jul, od 8-20h. (Ivana Bajšanski) 25
- Slika 22. Komponenta Analysis period priključena u komponentu Outdoor Solar Temperature Adjustor u Ladybug-u. (Ivana Bajšanski) 26
- Slika 23. Izgled komponente u Grasshopper-u sa ulaznim podacima (levo) i izlaznim podacima (desno). (Ivana Bajšanski) 26
- Slika 24. Dijagram povezanosti različitih softvera korišćenih u istraživanju za dobijanje finalnih vrednosti UTCI indeksa. (Ivana Bajšanski) 28
- Slika 25. Prikaz međusobne veze između svih komponenti korišćene za izračunavanje vrednosti UTCI indeksa u softveru LadyBug. (Ivana Bajšanski) 28
- Slika 26. Prikaz tačaka sa modelom tela čoveka fiksirane za jednu liniju u Rhinoseros-u u cilju izračunavanja spoljašnjeg termalnog komfora svih modela čoveka na tim lokacijama. (Ivana Bajšanski) 29
- Slika 27. Postupak za automatsko menjanje lokacije čoveka na primeru parking mesta, kreiran u Grasshopper-u. (Ivana Bajšanski) 31
- Slika 28. Prikaz generisanih objekata u Rhinoceros-u (gore), na osnovu zadate vrednosti z koordinate u Grasshopper-u (dole). (Ivana Bajsanski) 33
- Slika 29. Prikaz koda u Grasshopper-u koji generiše listu svih permutacija sa ponavljanjem na osnovu zadate liste numeričkih vrednosti. (Ivana Bajšanski) 33
- Slika 30. Primer generisanog 3d modela zgrada u Rhinoceros-u (levo) na osnovu zadatih numeričkih vrednosti u Grasshopper-u (desno). Slika u Rhinocerosu odgovara permutaciji {0} iz konačne liste u Grasshopper-u. (Ivana Bajšanski) 34
- Slika 31. Formula napravljena u Grasshopper-u pomoću koje je moguće izračunati broj permuatcija sa ponavljanjem. (Ivana Bajšanski) 35
- Slika 32. Dijagram protoka podataka između različitih softvera. (Preuzeto: Bajšanski et al., 2015) 35

- Slika 33. Godišnja putanja Sunca napravljena u Ecotectu na osnovu podataka o latitudi, longituti i altitudi područja i prikaz 3d modela. (Ivana Bajšanski) 36
- Slika 34. Trodimenzionalni model pravolinijske ulice sa određenim lokacijama tela na pešačkim stazama: a) stanje u prošlosti, b) postojeće stanje, c) predviđeni urbani dizajn. (Preuzeto: Bajšanski et al., 2015) 39
- Slika 35. Osnova pravolinijske ulice sa određenim visinama objekata i lokacijama tela na pešačkim stazama. (Preuzeto: Bajšanski et al., 2015) 40
- Slika 36. Prosečne UTCI vrednosti za letnji period na svim definisanim lokacijama tela: a) pešačka staza na severnoj strani, b) staza u sredini, c) pešačka staza na južnoj strani. (Bajšanski et al., 2015) 41
- Slika 37. Legenda kolorita za kategorije stresa u letnjem periodu. Kolorit je primenjen u tabelama 3-5. (Ivana Bajšanski) 42
- Slika 38. Putanja Sunca i senke izgrađenog okruženja tokom letnjeg perioda: a) prethodno stanje urbanog dizajna, b) postojeće stanje urbanog dizajna, i c) buduće stanje urbanog dizajna. (Preuzeto: Bajšanski et al., 2015) 48
- Slika 39. Prosečne vrednosti UTCI indeksa za zimski period na svim definisanim lokacijama tela: a) pešačka staza na severnoj strani, b) staza u sredini, c) pešačka staza na južnoj strani. (Preuzeto: Bajšanski et al., 2015) 50
- Slika 40. Legenda kolorita kategorija stresa prikazanog u tabelama 8-10. (Ivana Bajšanski) 51
- Slika 41. Putanja Sunca i senke izgrađenog okruženja tokom zimskog perioda: a) prethodno stanje urbanog dizajna, b) postojeće stanje urbanog dizajna i c) buduće stanje urbanog dizajna. (Preuzeto: Bajšanski et al., 2015) 57
- Slika 42. Raspored visina zgrada u pravolinijskoj ulici: a) urbani dizajn predložen algoritmom za poboljšanje za letnji period, b) urbani dizajn predložen algoritmom za poboljšanje za zimski period. (Preuzeto: Bajšanski et al., 2015) 58
- Slika 43. Osnova urbanog područja sa krivolinijskim sistemom ulica sa određenim visinama objekata i lokacijama tela na pešačkim stazama. (Preuzeto: Bajšanski et al., 2015) 59
- Slika 44. Raspored visina zgrada u krivolinijskoj ulici: a) urbani dizajn predložen algoritmom za poboljšanje za letnji period, b) urbani dizajn predložen algoritmom za poboljšanje za zimski period. (Preuzeto: Bajšanski et al., 2015) 60

- Slika 45. Osnova prostora trga sa određenim visinama objekata i lokacijama tela na pešačkim stazama. (Ivana Bajšanski) 61
- Slika 46. Raspored visina zgrada na primeru prostora trga: a) urbani dizajn predložen algoritmom za poboljšanje za letnji period, b) urbani dizajn predložen algoritmom za poboljšanje za zimski period. (Ivana Bajšanski) 62
- Slika 47. Osnova blokovskog prostora sa određenim lokacijama tela na pešačkim stazama i parking mestima. (Ivana Bajšanski) 64
- Slika 48. Raspored visina zgrada na primeru prostora bloka: a) urbani dizajn predložen algoritmom za poboljšanje za letnji period, b) urbani dizajn predložen algoritmom za poboljšanje za zimski period. (Ivana Bajšanski) 65
- Slika 49. Primer objekata sa razuđenom osnovom i terenom u nagibu i prostornom krivom kao pešačkom stazom: a) osnova modela; b) 3d prikaz modela. (Ivana Bajšanski) 66
- Slika 50. Raspored visina zgrada u području sa terenom u nagibu: a) urbani dizajn predložen algoritmom za poboljšanje za letnji period, b) urbani dizajn predložen algoritmom za poboljšanje za zimski period. (Ivana Bajšanski) 68

7. LITERATURA

- Ahmed, K. S. (2003). Comfort in urban spaces: Defining the boundaries of outdoor thermal comfort for the tropical urban environments. *Energy and Buildings*, 35(1), 103–110. doi-10.1016/S0378-7788(02)00085-3
- Akbari, H. (2002). Shade trees reduce building energy use and CO₂ emissions from power plants. *Environmental Pollution (Barking, Essex : 1987)*, 116 Suppl , S119–26. doi-10.1016/S0269-7491(01)00264-0
- Ali-Toudert F, Bensalem R. (2001). A methodology for a climatic urban design. Proceedings of the 18th conference on PLEA, Florianopolis, Brasil, 7–9 November. p. 469–73.
- Ali-Toudert, F., Djenane, M., Bensalem, R., & Mayer, H. (2005). Outdoor thermal comfort in the old desert city of Beni-Isguen, Algeria. *Climate Research*, 28(MAY 2005), 243–256. doi-10.3354/cr028243
- Allegrini, J., Dorer, V., & Carmeliet, J. (2015). Influence of morphologies on the microclimate in urban neighbourhoods. *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, 144, 108–117. doi- 10.1016/j.jweia.2015.03.024
- Amado, M., & Poggi, F. (2014). Solar Urban Planning: A Parametric Approach. *Energy Procedia*, 48, 1539–1548. doi- 10.1016/j.egypro.2014.02.174
- Andreou, E. (2013). Thermal comfort in outdoor spaces and urban canyon microclimate. *Renewable Energy*, 55, 182–188. doi- 10.1016/j.renene.2012.12.040
- ASHRAE. ASHRAE Standard 55-2010. (2010). Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Atlanta.
- Assis, E. S. De, Sirqueira, C. a De, Bamberg, A. M., Sustentável, P., Khalid Setaih, Neveen Hamza, T. T., Monam, A., Jorg Spangenberg, Paula Shinzato, Erik Johansson, D. D. (2013). Assessment of Outdoor Thermal Comfort in Urban. *Solar Energy*, 4, 1–19. doi-10.1016/j.solener.2005.06.015
- Bajšanski, I., Stojakovic, V., & Jovanovic, M. (2016). Effect of tree location on mitigating parking lot insolation. *Computers , Environment and Urban Systems* 56, 59–67. doi-10.1016/j.compenvurbsys.2015.11.006
- Bajšanski, I. V, Milošević, D. D., Savić, S.M. (2015). Evaluation and improvement of outdoor thermal comfort in urban areas on extreme temperature days : Applications

- of automatic algorithms, *Building and environment* 94, 632–643. doi-10.1016/j.buildenv.2015.10.019
- Błażejczyk, K., Jendritzky, G., Bröde, P., Fiala, D., Havenith, G., Epstein, Y., Kampmann, B. (2013). An introduction to the Universal thermal climate index (UTCI). *Geographia Polonica*, 86(1), 5–10. doi-10.7163/GPol.2013.1
 - Bröde, P., Błażejczyk, K., Fiala, D., Havenith, G., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B. (2013). The Universal Thermal Climate Index UTCI compared to ergonomics standards for assessing the thermal environment. *Industrial Health*, 51, 16–24. doi-10.2486/indhealth.2012-0098
 - Bröde, P., Fiala, D., Błażejczyk, K., Holmér, I., Jendritzky, G., Kampmann, B., Havenith, G. (2012). Deriving the operational procedure for the Universal Thermal Climate Index (UTCI). *International Journal of Biometeorology*, 56(3), 481–494. doi-10.1007/s00484-011-0454-1
 - Bröde, P., Krüger, E. L., Rossi, F. A., & Fiala, D. (2012). Predicting urban outdoor thermal comfort by the Universal Thermal Climate Index UTCI—a case study in Southern Brazil. *International Journal of Biometeorology*, 56(3), 471–480. doi-10.1007/s00484-011-0452-3
 - Brucker, G. (2005). Vulnerable populations: Lessons learnt from the summer 2003 heatwaves in Europe. *European Surveillance*, 10(7-9), 147.
 - Chen, L., & Ng, E. (2012). Outdoor thermal comfort and outdoor activities: A review of research in the past decade. *Cities*, 29(2), 118–125. doi-10.1016/j.cities.2011.08.006
 - De Dear, R, Pickup, J (2000). An Outdoor Thermal Environment Index (OUT_SET*) - Part II - Applications. In, de Dear, R, Kalma, J, Oke, T, Auliciems, A (eds.), *Biometeorology and Urban Climatology at the Turn of the Millenium. Selected Papers from the Conference ICB-ICUC'99 (Sydney, 8-12 Nov. 1999)*. WMO, Geneva, WCASP-50, pp 258-290.
 - Donaldson, G. C., Rintamaki, H., and Nayha, S.yha, S. (2001). Outdoor clothing: its relationship to geography, climate, behaviour and cold-related mortality in Europe. *Int J Biometeorol*, 45:45–51.
 - Eliasson I. (2000). The use of climate knowledge in urban planning. *Landscape and Urban Planning*; 48: 31-44. doi:10.1016/S0169-2046(00)00034-7
 - EMC. The GFS Atmospheric Model. (2001). NCEP Office Note 442.

- Eusuf, M. A., Mohit, M. A., Eusuf, M. M. R. S., & Ibrahim, M. (2014). Impact of Outdoor Environment to the Quality of Life. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 153, 639–654. doi-10.1016/j.sbspro.2014.10.096
- Fanger PO (1970). *Thermal comfort-analysis and applications in environmental engineering*. DANISH TECHNICAL PRESS. Copenhagen, Denmark.
- Fiala, D., Havenith, G., Bröde, P., Kampmann, B., & Jendritzky, G. (2012). UTCI-Fiala multi-node model of human heat transfer and temperature regulation. *International Journal of Biometeorology*, 56(3), 429–441. doi-10.1007/s00484-011-0424-7
- Gehl, J. (2010). *Cities for People*, Washington, Island Press, ISBN:978-1597265737
- Givoni, B., Noguchi, M., Saaroni, H., Pochter, O., Yaakov, Y., Feller, N., & Becker, S. (2003). Outdoor comfort research issues. *Energy and Buildings*, 35, 77–86. doi-10.1016/S0378-7788(02)00082-8
- Gómez-Muñoz, V. M., Porta-Gándara, M. a., & Fernández, J. L. (2010). Effect of tree shades in urban planning in hot-arid climatic regions. *Landscape and Urban Planning*, 94(3-4), 149–157. doi-10.1016/j.landurbplan.2009.09.002
- Havenith, G. (2001). An individual model of human thermoregulation for the simulation of heat stress response. *J. Appl. Physiol.* 90: 1943–1954
- Havenith, G., Fiala, D., Błażejczyk, K., Richards, M., Bröde, P., Holmér, I., Rintamaki, H., Benshabat, Y., Jendritzky, G. (2012). The UTCI-clothing model. *Int J Biometeorol* 56:461–470. doi 10.1007/s00484-011-0451-4
- Höppe, P. (1993): Heat balance modelling. *Experientia* 49, 741-745.
- Höppe, P. (1999). The physiological equivalent temperature - a universal index for the biometeorological assessment of the thermal environment. *International Journal of Biometeorology*, 43(2), 71–75. doi-10.1007/s004840050118
- Höppe, P. (2002). Different aspects of assessing indoor and outdoor thermal comfort. *Energy and Buildings*, 34(6), 661–665. doi- 10.1016/S0378-7788(02)00017-8
- Hwang, R. L., Lin, T. P., Cheng, M. J., & Lo, J. H. (2010). Adaptive comfort model for tree-shaded outdoors in Taiwan. *Building and Environment*, 45(8), 1873–1879. doi-10.1016/j.buildenv.2010.02.021
- Hwang, R.-L., Lin, T.-P., & Matzarakis, A. (2011). Seasonal effects of urban street shading on long-term outdoor thermal comfort. *Building and Environment*, 46(4), 863–870. doi- 10.1016/j.buildenv.2010.10.017

- International Union of Physiological Sciences - Thermal Commission. (2003). Glossary of terms for thermal physiology. *J Therm Biol*; 28: 75-106.
- Jendritzky, G., de Dear, R., & Havenith, G. (2012). UTCI-Why another thermal index? *International Journal of Biometeorology*, 56(3), 421–428. doi-10.1007/s00484-011-0513-7
- Johansson E. (2006) Influence of urban geometry on outdoor thermal comfort in a hot dry climate: A study in Fez, Morocco. *Build Environ*; 41, 1326-1338. doi:10.1016/j.buildenv.2005.05.022
- Kanters, J., Horvat, M., & Dubois, M.-C. (2014). Tools and methods used by architects for solar design. *Energy and Buildings*, 68, 721–731. doi.org/10.1016/j.enbuild.2012.05.031
- Kottek M, Grieser J, Beck C, Rudolf B, Rubel F. (2006) World Map of the Koppen-Geiger climate classification updated. *Meteorol Z*; 15(3): 259-263. doi:10.1127/0941-2948/2006/0130
- Krüger, E. L., Minella, F. O., & Rasia, F. (2011). Impact of urban geometry on outdoor thermal comfort and air quality from field measurements in Curitiba, Brazil. *Building and Environment*, 46(3). 621–634. doi:10.1016/j.buildenv.2010.09.006
- Kržič A, Tošić I, Djurdjević V, Veljović K, Rajković B (2011). Changes in climate indices for Serbia according to the SRES-A1B and -A2. *Clim Res*. doi:10.3354/cr01008
- Liang, J., Gong, J., Zhou, J., Ibrahim, A. N., & Li, M. (2015). An open-source 3D solar radiation model integrated with a 3D Geographic Information System. *Environmental Modelling & Software*, 64, 94–101. doi- 10.1016/j.envsoft.2014.11.019
- Lin TP, Matzarakis A, Hwang RL. (2010). Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. *Building and Environment*; 45: 213-219.
- Lin, T. P. (2009). Thermal perception, adaptation and attendance in a public square in hot and humid regions. *Building and Environment*, 44(10), 2017–2026. doi-10.1016/j.buildenv.2009.02.004
- Lin, T. P., Matzarakis, A., & Hwang, R. L. (2010). Shading effect on long-term outdoor thermal comfort. *Building and Environment*, 45(1), 213–221. doi-10.1016/j.buildenv.2009.06.002

- Makaremi, N., Salleh, E., Jaafar, M. Z., & GhaffarianHoseini, A. (2012). Thermal comfort conditions of shaded outdoor spaces in hot and humid climate of Malaysia. *Building and Environment*, 48, 7–14. doi-10.1016/j.buildenv.2011.07.024
- Martinelli, L., Lin, T.-P., & Matzarakis, A. (2015). Assessment of the influence of daily shadings pattern on human thermal comfort and attendance in Rome during summer period. *Building and Environment*, 92, 30–38. doi- 10.1016/j.buildenv.2015.04.013
- Maruani, T., Amit-Cohen, I. (2007). Open space planning models: A review of approaches and methods. *Landscape and Urban Planning*, Volume 81, Issues 1–2, 29 May 2007, 1–13. doi:10.1016/j.landurbplan.2007.01.003
- Matzarakis, A., Rutz, F., & Mayer, H. (2010). Modelling radiation fluxes in simple and complex environments: Basics of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology*, 54(2), 131–139. doi-10.1007/s00484-009-0261-0
- Mostapha Sadeghipour Roudsari, M. P., & Adrian Smith + Gordon Gill Architecture, Chicago, U. S. A. (2013). Ladybug: a Parametric Environmental Plugin for Grasshopper To Help Designers Create an Environmentally-Conscious Design. 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, 3129 – 3135.
- Ng, E., & Cheng, V. (2012). Urban human thermal comfort in hot and humid Hong Kong. *Energy and Buildings*, 55, 51–65. doi- 10.1016/j.enbuild.2011.09.025
- Nikolić, M. (2010). Srbija pred izazovom globalnih klimatskih promena i njihovih posledica, Klimatske promene – studije i analize; <http://www.emins.org/sr/publikacije/knjige/10-klimatske-promene.pdf>
- Nikolopoulou, M., & Lykoudis, S. (2006). Thermal comfort in outdoor urban spaces: Analysis across different European countries. *Building and Environment*, 41(11), 1455–1470. doi-10.1016/j.buildenv.2005.05.031
- Nikolopoulou, M., & Lykoudis, S. (2007). Use of outdoor spaces and microclimate in a Mediterranean urban area. *Building and Environment*, 42(10), 3691–3707. doi-10.1016/j.buildenv.2006.09.008
- Oke, T. R. (1988). Street design and urban canopy layer climate. *Energy and Buildings*, 11(1-3), 103–113. doi-10.1016/0378-7788(88)90026-6
- Oke., T.R. (1987). *Boundary Layer Climates*, London, Methuen.
- Olgyay, V. and A. Olgyay (1963). *Design with climate: A Bioclimatic approach to Architecture*, New York, McGraw-Hill.

- Park, S., Tuller, S. E., & Jo, M. (2014). Application of Universal Thermal Climate Index (UTCI) for microclimatic analysis in urban thermal environments. *Landscape and Urban Planning*, 125, 146–155. doi- 10.1016/j.landurbplan.2014.02.014
- Population Reference Bureau, 2009. Preuzeto: http://www.prb.org/pdf09/09wpds_eng.pdf
- Rahm, P. (2008). *Thermodynamic Architecture*. ACADIA 08 Silicon + Skin Biological Processes and Computation. Countryside, France.
- RHMZ (2015). Monthly bulletin for Serbia – December 2014. Republic Hydrometeorological Service of Serbia, Department of National Center for Climate Change, Division for Climate forecasts, Information and Training, Belgrade [Internet], 2015. Preuzeto: <http://www.hidmet.gov.rs/podaci/meteorologija/eng/December.pdf>
- RHMZ. Monthly bulletin for Serbia – July 2014. Republic Hydrometeorological Service of Serbia, Department of National Center for Climate Change, Division for Climate forecasts, Information and Training, Belgrade [Internet], 2014. Preuzeto: <http://www.hidmet.gov.rs/podaci/meteorologija/eng/July.pdf>
- Robine, J.M., Cheung, S.L., Le Roy, S., Van Oyen, H., Griffiths, C., Michel, J.-P., & Herrmann, F.R., . (2008). Death toll exceed 70,000 in Europe during the summer of 2003. *C. R. Biologies*, 331(171-173).
- Robinson., D. (2011). *Computer Modelling for Sustainable Urban Design*. Earthscan. UK
- Setaih, K., Hamza, N., Townshend, T. (2013). ASSESSMENT OF OUTDOOR THERMAL COMFORT IN URBAN MICROCLIMATE IN HOT ARID AREAS. 13th Conference of International Building Performance Simulation Association, Chambéry, France, August 26-28. pp 3153-3160.
- Shashua-bar, L., & Hoffman, M. E. (2000). Vegetation as a climatic component in the design of an urban street An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and Buildings*, 31(3), 221–235. [http://doi.org/10.1016/S0378-7788\(99\)00018-3](http://doi.org/10.1016/S0378-7788(99)00018-3)
- Shi X, Yang W. (2013). Performance-driven architectural design and optimization technique from a perspective of architects. *Aut Constr*; 32, 125-135. doi:10.1016/j.autcon.2013.01.015

- Simpson, J. R. (2002). Improved estimates of tree-shade effects on residential energy use. *Energy and Buildings*, 34(10), 1067–1076. doi- 10.1016/S0378-7788(02)00028-2
- Spagnolo, J., & de Dear, R. (2003). A field study of thermal comfort in outdoor and semi-outdoor environments in subtropical Sydney Australia. *Building and Environment*, 38(5), 721–738. doi-10.1016/S0360-1323(02)00209-3
- Taleb H, Musleh M.A. (2015). Applying urban parametric design optimisation processes to a hot climate: Case study of the UAE. *Sust Cit Soc*; 14, 236-253. doi: 10.1016/j.scs.2014.09.001
- Taleghani, M., Kleerekoper, L., Tenpierik, M., & van den Dobbelen, A. (2015). Outdoor thermal comfort within five different urban forms in the Netherlands. *Building and Environment*, 83, 65–78. doi- 10.1016/j.buildenv.2014.03.014
- Tepavčević, B. (2010). Uticaj geometrijske reprezentacije prostora na savremenu arhitekturu. Doktorska disertacija. Novi Sad.
- Thorsson, S., Lindqvist, M., & Lindqvist, S. (2004). Thermal bioclimatic conditions and patterns of behaviour in an urban park in Geteborg, Sweden. *International Journal of Biometeorology*, 48(3), 149–156. doi- 10.1007/s00484-003-0189-8
- U. S. Department of Energy. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy, Washington (2015). Preuzeto:http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/weatherdata_about.cfm
- URBAN-PATH homepage, (2015). Available from: <http://en.urban-path.hu>
- Watanabe, S., Nagano, K., Ishii, J., & Horikoshi, T. (2014). Evaluation of outdoor thermal comfort in sunlight, building shade, and pergola shade during summer in a humid subtropical region. *Building and Environment*, 82, 556–565. doi-10.1016/j.buildenv.2014.10.002
- Yahia MW, Johansson E. (2014). Landscape interventions in improving thermal comfort in the hot dry city of Damascus, Syria - The example of residential spaces with detached buildings. *Landsc Urban Plan*; 125: 1-16.
- Yang, W., Wong, N. H., & Jusuf, S. K. (2013). Thermal comfort in outdoor urban spaces in Singapore. *Building and Environment*, 59, 426–435. doi-10.1016/j.buildenv.2012.09.008