

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



ŠPELA ŽAGAR

**MORFOLOGIJA NASELJA KOT IZHODIŠČE ZA
ENERGIJSKO UČINKOVITO GRADNJO**

DIPLOMSKA NALOGA

**UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI PROGRAM
PRVE STOPNJE GRADBENIŠTVO**

Ljubljana, 2018

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
telefon (01) 47 68 500 faks
(01) 42 50 681
fgg@fgg.uni-lj.si

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVO

Kandidat/-ka:

ŠPELA ŽAGAR

**MORFOLOGIJA NASELJA KOT IZHODIŠČE ZA
ENERGIJSKO UČINKOVITO GRADNJO**

**MORPHOLOGY OF THE SETTLEMENT AS THE
STARTING POINT FOR ENERGY EFFICIENT
BUILDING FORMS**

Mentor/-ica:

doc. dr. Mitja Košir

Predsednik komisije:

Somentor/-ica:

asist. Luka Pajek

Član komisije:

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK:	711:628.9.021(497.451.1)(043.2)
Avtor:	Špela Žagar
Mentor:	doc. dr. Mitja Košir
Somentor:	asist. Luka Pajek
Naslov:	Morfologija naselja kot izhodišče za energijsko učinkovito gradnjo
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	34 str., 10 pregl., 5 graf., 30 slik
Ključne besede:	morfologija naselja, energijska učinkovitost, sončno sevanje, poraba energije

Izvleček:

Diplomsko delo zajema študijo parametrov, ki vplivajo na energijsko učinkovitost naselja. Opazovan je bil vpliv dejavnikov, od katerih je odvisna izraba sončnega potenciala. Glede na obravnavano večstanovanjsko tipologijo so bili izbrani trije različni, obstoječi vzorci pozidave v Ljubljani; terasni bloki v Kosezah, atrijski bloki na Viču in stolpnice ob Streliški cesti. Pri vsakem posameznem modelu zazidave je bil opazovan objekt, ki je glede na sončne dobitke lociran najbolj neugodno. S programom Rhinoceros 3D sem izdelala modele pozidave, na katerih je bila nato izpeljana parametrična študija tistega faktorja, ki ima največji vpliv na prejeto sončno sevanje. Prvi parameter, ki je bil opazovan je bila razdalja, kjer sem povečevala ali zmanjševala razmake med objekti, drugi parameter opazovanja je bila rotacija, kjer sem objekte sukala od 0 do 30° v smeri od juga proti zahodu, naslednji parameter je bil razpon notranjega dela atrija, s čimer sem spreminjala velikost notranjega dvorišča. Zadnji parameter obravnave je bila višina, kjer sem spreminjala višino sosednjih objektov. Izvedeni sta bili dve vrsti analize; prva je potekala s programskima orodjema Grasshopper in Diva, kjer sem izračunala, kolikšno je povprečno letno prejeto sončno sevanje obravnavanega objekta, druga pa je obsegala izračun energije, potrebne za ogrevanje objekta v programskem orodju UMI. Analiza je pokazala, da moramo pri načrtovanju energijsko učinkovitih stavb upoštevati primerno gostoto pozidave, kjer je sončni potencial odvisen od razmaka med objekti, faktorja zazidljivosti in posledičnega medsebojnega senčenja objektov, ter tudi orientacijo, kjer je najbolj pomembna čim večja izpostavljenost površin sončnemu sevanju ter z njo povezano obliko in geometrijo objekta.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	711:628.9.021(497.451.1)(043.2)
Author:	Špela Žagar
Supervisor:	Assist. Prof. Mitja Košir, Ph.D.
Co-advisor:	Assist. Luka Pajek, M.Sc.
Title:	Morphology of the settlement as the starting point for energy efficient building forms
Document type:	Graduation Thesis - University studies
Scope and tools:	34 p., 10 tab., 5 graph., 30 fig.
Key words:	morphology of the settlement, energy efficiency, solar radiation, energy consumption

Abstract:

This graduation theses includes a study of the parameters that influence the energy efficiency of the settlement. Influence of factors, that utilization of solar potential depends upon, was observed. According to the discussed apartment building typology, three different, existing urban patterns in Ljubljana were selected; terraced blocks in Koseze, atrium blocks on Vič and skyscraper along Streliška cesta street. For each individual model the building, which is the most unfavorable in terms of solar gains was selected. With the Rhinoceros 3D program, I created the urban patterns models, where a parametric study of the factor which has the greatest influence on the received solar radiation was performed. The first parameter that was observed was the distance between the buildings, where I increased or reduced the spacing between the objects; the second parameter of the observation was the rotation, where the objects were rotated from 0 to 30 ° in the direction from south to west. The next parameter was the range of the inward part of the atrium, which changed the size of the inner courtyard. The last parameter of the discussion was the building height where I changed the level of the adjacent objects. Two types of analysis were performed; the first was done with the software tools Grasshopper and Diva, where I calculated the average annual solar radiation received by the treated object, and the other included the calculation of the energy required for heating the object in the UMI software tool. The analysis showed that when designing energy efficient buildings, the appropriate density should be taken into consideration, where the solar potential depends on the distance between the objects, the floor area ratio and the consequent mutual shading of objects, as well as the orientation where is the most important the maximized exposure of surfaces to sunlight and its associated shape and object geometry.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju doc. dr. Mitji Košir in somentorju assist. Luki Pajek za vso strokovno pomoč, ideje in napotke pri izdelavi diplomske naloge ter za njun vložen čas.

Zahvaljujem se tudi družini in fantu za vso podporo, ki so mi jo nudili tekom izdelave diplomske naloge.

KAZALO

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
1 UVOD	1
1.1 Pregled literature.....	2
1.2 Zakonodajni okvir.....	3
2 METODE	5
2.1 Uporabljena programska oprema	5
2.2 Geometrija	5
2.3 Predstavitev modelov	5
2.3.1 Tip A: Terasni bloki.....	5
2.3.2 Tip B: Atrijski bloki.....	9
2.3.3 Tip C: Stolpnice.....	13
2.4 Modeliranje.....	15
3 REZULTATI	17
3.1 Rezultati analize prejetega sončnega sevanja	17
3.1.1 Geometrija Tip A	17
3.1.2 Geometrija tip B.....	19
3.1.3 Geometrija tip C.....	20
3.2 Rezultati analize rabe energije.....	21
4 RAZPRAVA	22
4.1 Vpliv razdalje (na tipu A).....	22
4.2 Vpliv rotacije (na tipu A).....	25
4.3 Vpliv velikosti atrijskega bloka (na tipu B)	26

4.4 Vpliv višine (na tipu C)	28
5 ZAKLJUČEK	31
VIRI	33

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Vhodni geometrijski podatki za tip A	6
Preglednica 2: Faktor zazidanosti za vseh 5 primerov tipa A	8
Preglednica 3: Vhodni geometrijski podatki za obravnavan objekt tipa B.....	10
Preglednica 4: Vhodni geometrijski podatki za tip B.....	12
Preglednica 5: Faktor zazidanosti za vse 4 primere tipa B.....	13
Preglednica 6: Rezultati tip A – sprememba razdalje.....	17
Preglednica 7: Rezultati tip A – sprememba orientacije.....	18
Preglednica 8: Rezultati tip B – sprememba velikosti notranjega dvorišča.....	19
Preglednica 9: Rezultati tip C – sprememba višine.....	20
Preglednica 10: Raba energije potrebne za ogrevanje.....	21

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Prejeto sončno sevanje v odvisno od razdalje med objekti.....	17
Grafikon 2: Prejeto sončno sevanje v odvisno od orientiranosti modela.....	18
Grafikon 3: Prejeto sončno sevanje v odvisnosti od odprtosti atrija.....	19
Grafikon 4: Prejeto sončno sevanje v odvisnosti od višine okoliških objektov.....	20
Grafikon 5: Potrebna energija za ogrevanje v odvisnosti od razmaka med objekti in pripadajočega faktorja zazidanosti (FZ) za tip B.....	25

KAZALO SLIK

Slika 1 : Zračni posnetek terasastih blokov v Kosezah (Vir fotografije: Google Maps).....	6
Slika 2: 1. primer, model z izbranim objektom (levo), dejanski razmak med objekti (desno).....	7
Slika 3: 2. primer, model z izbranim objektom (levo), razmak med objekti (desno).	7

Slika 4: 3. primer, model z izbranim objektom (levo), razmak med objekti (desno).....	7
Slika 5: 4. primer, model z izbranim objektom (levo), razmak med objekti (desno).....	8
Slika 6: 5. primer, model z izbranim objektom (levo), razmak med objekti (desno).....	8
Slika 7: Začetna orientacija modela (levo), 1. primer orientacije (desno).	9
Slika 8: 2. primer orientacije modela (levo), 3. primer orientacije modela (desno).....	9
Slika 9: Zračni posnetek Atrijskih blokov (Vir fotografije: Google Maps).	10
Slika 10: Primer 1 (obstoječi primer), model z izbranim objektom (levo), dejanske dimenzije objekta (desno).....	11
Slika 11: Primer 2, model z izbranim objektom (levo), dimenzije objekta (desno).....	11
Slika 12: Primer 3, model z izbranim objektom (levo), dimenzije objekta (desno).....	12
Slika 13: Primer 4, model z izbranim objektom (levo), dimenzije objekta (desno).....	12
Slika 14: Zračni posnetek stolpnic na Streliški v Ljubljani (Vir fotografije: Google Maps).	14
Slika 15: Tloris modela, z dimenzijami obravnavanega objekta.....	14
Slika 16: Modeli pozidave za 4 različne primere.	15
Slika 17: Končan algoritem v programu Grasshopper – Diva.	16
Slika 18: Prikaz primera rezultatov porabe energije za ogrevanje v programu UMI.....	16
Slika 19: Primer 1, prejeto sončno sevanje na modelu (levo) in na obravnavanem objektu (desno).	22
Slika 20: Primer 2, prejeto sončno sevanje na modelu (levo) in na obravnavanem objektu (desno).	23
Slika 21: Primer 3, prejeto sončno sevanje na modelu (levo) in na obravnavanem objektu (desno).	23
Slika 22: Primer 4, prejeto sončno sevanje na modelu (levo) in na obravnavanem objektu (desno).	24
Slika 23: Primer 5, prejeto sončno sevanje na modelu (levo) in na obravnavanem objektu (desno).	24
Slika 24: Primer 1, obsevana južna in vzhodna (levo) ter severna in zahodna (desna) stran objekta.	25
Slika 25: Primer 2, obsevana južna in vzhodna (levo) ter severna in zahodna (desno) stran objekta.	26
Slika 26: Primer 3, obsevana južna in vzhodna (levo) ter severna in zahodna (desno) stran objekta.	26
Slika 27: Prejeto sončno sevanja gledano iz JV smeri, primer 1 (levo) in primer 2 (desno).	27
Slika 28: Prejeto sončno sevanje gledano iz JV smeri, primer 3 (levo) in primer 4 (desno).	28
Slika 29: Sončno sevanje za model iz primera 1 (levo) in primera 2 (desno).....	29
Slika 30: Sončno sevanje za model iz primera 3 (levo) in primera 4 (desno).....	29

»Ta stran je namenoma puščena prazna.«

1 UVOD

Prva urbana naselja so se pojavila v neolitiku (11000 – 2000 pr.n.št.) na območju Mezopotamije [1]. Razvila so se na ravninskih delih, ob pomembnejših prometnicah, zlasti tam, kjer je bilo prisotno kmetijstvo. Primarna funkcija takratnih človekovih bivališč je bila zavetje pred zunanjimi vplivi in varovanje pred nevarnostmi. Z razvojem kulture in napredkom civilizacije se je težnja po višji kakovosti bivanja povečevala. Dandanes, je poleg toplotnega ugodja v stavbi, velik poudarek tudi na varčevanju z energijo in ohranjanju toplote.

Eden od ključnih dejavnikov, ki vplivajo na bivalne razmere in rabo energije, je prejeta sončno sevanje, ki je pri načrtovanju stavb dostikrat premalo izkoriščeno. Sonce predstavlja pomemben vir energije, s katerim je povezan celoten klimatski sistem na Zemlji. Količina sončnega sevanja, ki prispe na Zemljo, se razlikuje glede na geografsko lego. Na Zemljinih polih je celotna povprečna letna količina energije 400 kWh/m^2 in se proti ekvatorju povečuje do 2500 kWh/m^2 [2]. Povprečno letno sončno obsevanje za Slovenijo je v razponu od $1000 - 1400 \text{ kWh/m}^2$ [3]. Vzrok za spremenljivo intenziteto je dolžina poti, ki jo opravijo sončni žarki pri potovanju skozi atmosfero kot tudi vpadni kot Sonca, vlažnost ozračja in vsebnost prašnih delcev v atmosferi [2].

Naselje lahko opredelimo kot fizično tvorbo, sestavljeno iz več elementov, ki so med seboj povezani v celoto. Morfologija naselja označuje razmerje oblik, geometrije in samo zgradbo naselja [4]. Največkrat je zasnova naselja odvisna od reliefa, kamor spada naklon zemljišča, nadmorska višina, zavetna lega in dostopnost do lokacije. Poleg topografije je drugi najbolj izrazit dejavnik podnebje, ki zajema padavine, veter, osončenost in iz tega izhajajoča temperaturna nihanja. Bolj kot imamo hladno podnebje, večjega pomena je izraba sončne energije.

V odvisnosti od prepletanja zgoraj naštetih dejavnikov se razvijejo območja z gosto ali redko poselitvijo. Problem, ki se pojavi v urbanem okolju je pregosta pozidava, ki omejuje količino sončnega potenciala in povečuje vpliv vzajemnega senčenja objektov. Razdalja med stavbami in njihova višina je določena na podlagi odmika objektov od parcelnih mej. Ta določila so navedena v občinskem pravnem aktu [5], kjer je zahtevan odmik stanovanjskih stavb od meje sosednjih parcel med 4 in 7 metri, odvisno od stopnje zazidanosti parcele in tipa pozidave. Določila glede izkoriščenosti parcele so opisana v prostorskem načrtu [5]; eden izmed pomembnih parametrov je faktor zazidanosti (FZ), ki določa razmerje med neto tlorisno površino objekta in površino parcele.

Pomembno vlogo pri obravnavi dejavnikov, ki vplivajo na količino solarnih dobitkov in s tem povezano porabo energije v stavbi, imata tudi oblika in geometrija, ki sta neposredno povezani z ustreznim odklikom od stavb in gostoto poselitve. Stavbe imamo največkrat razporejene v ortogonalno (pravokotno) mrežo, z možnim zamikom stavbnega ovoja [1]. Večja osončenost pogojuje dobro osvetljenost notranjih prostorov v stavbah in zmanjša rabo energije za osvetlitev. S pomočjo orientacije stavbe, lahko z ustreznim transparentnim stavbnim ovojem omogočimo direktno prepuščanje svetlobe in s tem toplote v notranjost stavbe s čimer v zimskem času zmanjšamo potrebe po ogrevanju. Hkrati se poleti s senčenjem s pomočjo različnih ukrepov, izogibamo prekomernemu pregrevanju prostorov in potrebni energiji za hlajenje. Zaželeno je, da velike zbiralne površine fasade orientiramo proti jugu, medtem ko za manjše površine izberemo lokacijo v smeri od severovzhoda do severozahoda [2].

Da bi sončno energijo kar se da dobro izkoristili, mora biti zasnova naselja načrtovana tako, da okoliščine na lokaciji to dopuščajo. Problem, s katerim se bom ukvarjala tekom diplomske naloge, je ugotoviti, kako oblika pozidave naselja ali dela naselja vpliva na količino prejetega sončnega sevanja, kako veliki so vplivi in kakšne so optimalne rešitve zasnove urbanega prostora, da za doseganje enakih

ciljev rabimo manj energije.

1.1 Pregled literature

Izhodiščna literatura na izbrano temo je bil članek »*Solar potential in existing urban layouts—Critical overview of the existing building stock in Slovenian context*«, avtorjev Košir, Capeluto, Kristl in Krainer [6], kjer je obravnavanih sedem tipičnih urbanih pozidav, na katerih je bila izvedena študija osončenosti. Izračuni so se izvajali s programom Shading. Zazidalni vzorci so bili preverjeni z vidika vpliva različnih parametrov. Ugotovljeno je bilo, da je število in vrsta dejavnikov, ki zmanjšujejo osončenost odvisna od specifičnosti posameznega obravnavanega primera. Na splošno imata največji vpliv na solarne dobitke gostota zazidave in usmerjenost stavb. Učinek geometrije se je pokazal kot minimalno relevanten. Geometrija stavbe postane pomemben dejavnik pri stavbah, izrazito vzdolžnih oblik (ali so zelo dolge ali pa zelo visoke). Usmerjanju dolgih stavb v smeri sever-jug se je priporočljivo izogibati, saj imamo v takih primerih nezadostno sončno sevanje pri stavbnem ovoju.

Članek z naslovom »*A holistic approach to energy efficient building forms*« avtorja Okeil [7], podobno kot velja za zgornji prispevek, temelji na raziskavi energijske učinkovitosti stavb v odvisnosti od urbane oblike naselja. Prikazana je shematična primerjava treh stavbnih oblik. Na podlagi dveh konvencionalnih tipov pozidave naselja: linearno postavljeni bloki in karejski tip gradnje; je bila zasnovana nova blokovska oblika, RSB (an. *Residential Solar Block*). Cilj je bil ustvariti največjo možno prostornino stavbe (bloka), z najmanjšim možnim medsebojnim senčenjem stavb. Študija je potekala s programom City Shadows, ki omogoča modeliranje stavb, glede na izbrane podnebne razmere. Rezultati so pokazali, da RSB lahko uresničuje zahteve nizkoenergijske gradnje; v primerjavi z blokovsko in karejsko gradnjo, so povečani dobitki sončnega sevanja, ki pade na stavbni ovoj in stavbo kot celoto v zimskem času, prav tako pa poleti z večjim pretokom med stavbam pripomore k ublažitvi urbanih toplotnih otokov.

V doktorskem delu »*Investigation of Design Parameters for Increased Solar Potential of Dwellings and Neighborhoods*« [8], avtorice Caroline Hachem, je narejena raziskava o ključnih načrtovalskih parametrih, ki pripomorejo k večjim dobitkom sončnega sevanja pri oblikovanju stavb in naselij. Preučevani faktorji so oblika in geometrija stavbnih enot, gostota pozidave in sama postavitve na lokaciji. Obravnavana je bila osnovna geometrija in kombinacija vseh geometrijskih oblik. Gostota postavitve je opazovana na primeru samostojnih in združenih enot. Urbana mreža vključuje ravne ceste in polkrožne cestne vzorce, katerih krivulja je obrnjena proti severu ali jugu. Analiza se je izvajala s pomočjo programa za simulacijo porabe energije stavb EnergyPlus. Avtorica navede tudi metodologijo za oblikovanje sosesk, kjer so opisani vsi koraki procesa načrtovanja in oblikovanje alternativ za povečanje izkoristka sončne energije. Faze projektiranja veljajo za splošne primere, podrobnosti uporabe pa so povezane s podnebnimi značilnostmi lokacije, kjer so se izvajale raziskave. Na podlagi študij je bilo ugotovljeno naslednje: najbolj je optimalna ortogonalna razporeditev objektov, enote ob zakrivljenih ulicah imajo večje potrebe po ogrevanju in hlajenju kot ob ravnih cestah, za transparentne površine lahko uporabimo največ 35 % fasade, ne da bi s tem poslabšali energijsko bilanco, objektu lahko spreminjamo orientacijo do 30° vzhodno ali zahodno od juga, brez večjega učinka na potrebe po ogrevanju in da ima gostota poselitve največji vpliv na energijsko učinkovitost.

Zgoraj povzeti članki bodo moja podlaga za analizo problema diplomske naloge. Na treh različnih zazidalnih vzorcih bom s pomočjo programskih orodij, opisanih v nadaljevanju, opazovala, kakšen vpliv ima spreminjanje geometrijskih parametrov na osončenost objektov in porabo energije.

1.2 Zakonodajni okvir

Pravilnik o učinkoviti rabi energije (v nadaljevanju Pures 2010) [9], ki je v veljavi od 1. januarja 2011, je eden izmed najpomembnejših dokumentov, ki določajo tehnične zahteve glede energijsko učinkovite gradnje v Sloveniji. Pravilnik je bil izdan 30. junija 2010 na podlagi zahtev in smernic Evropske Direktive 31/2010/EU [10], katera stremi k povečanju energijske učinkovitosti in s tem zmanjšanju odvisnosti Evropske unije od uvoza energije, zmanjšanju emisij škodljivih plinov ter uporabi deleža obnovljivih virov energije pri uporabi stavb. V zvezi s tem je direktiva podala zahtevo o skoraj ničenergijskih stavbah, kjer zahteva od držav članic, da so do 31. decembra 2020 vse nove stavbe skoraj ničenergijske, po 31. decembru 2018 pa morajo biti skoraj ničenergijske vse nove stavbe, ki so v lasti javnih organov. Pojem "skoraj ničenergijska stavba" je opredeljen kot »takšne stavbe, ki imajo zelo veliko energetske učinkovitost in je za njihovo uporabo potrebna zelo majhna količina energije, za katero mora v veliki meri zadostovati energija iz obnovljivih virov, vključno z energijo iz obnovljivih virov, proizvedeno na kraju samem ali v bližini« [10]. Pures 2010 daje velik poudarek tudi uporabi obnovljivih virov energije. Zahteve iz 16. člena pravilnika določajo, da mora uporaba obnovljivih virov energije obsegati vsaj 25 % celotne končne energije, potrebne za delovanje stavbe, da je dosežena energijska učinkovitost [9].

Stavbe so velik potrošnik energije, saj predstavljajo približno 40 % celotne rabe energije v Evropski uniji (v nadaljevanju EU) ter proizvedejo 36 % vseh izpustov toplogrednih plinov [10]. Z vsakoletnim večanjem stavbnega sektorja se povečuje tudi potrošnja energije, zato so bili s strani Evropske komisije izdani pomembni ukrepi za varčevanje z energijo. EU si je leta 2007 zadala cilj 20-20-20 do leta 2020. Torej, 20-odstotno zmanjšanje rabe primarne energije, 20-odstotno zmanjšanje emisij toplogrednih plinov glede na leto 1990 in 20-odstotni delež uporabe obnovljivih virov v skupni porabi energije. Na podlagi zadnjih ocen evropske komisije je bilo ugotovljeno, da se je poraba končne energije v EU v obdobju od 2005-2015 zmanjšala za 9,1 %, kar je le polovica zastavljenega cilja [11]. Kljub napredku, cilj povečanja energijske učinkovitosti v Uniji ni bil dosežen, zato je bilo potrebno pravni okvir Unije posodobiti z Direktivo 2012/27/EU [12], kjer so bili sprejeti dodatni ukrepi za prihranke pri rabi energije in oskrbi z energijo.

Pri obravnavi vpliva dnevne svetlobe je obvezno skupaj s pravilnikom Pures 2010 upoštevati tudi tehnično smernico TSG-1-004 [13], ki podaja gradbene ukrepe in rešitve za doseg zahtev iz pravilnika. Smernica narekuje kakšna naj bo arhitekturna zasnova stavbe, da optimiziramo zahteve v zvezi z ohranjanjem energije. Stavbo moramo, glede na njeno uporabo in funkcijo, premišljeno orientirati. Izogibamo se nepotrebni členjenosti stavb in elementov, saj s tem pridobimo le dodatne toplotne mostove, ki nam povečajo toplotne izgube. Površina zunanega ovoja stavbe, ki je izpostavljena sončnemu sevanju, mora biti od povprečne višine 1 meter nad terenom po pravilniku »osončena v času:

- zimskega solsticija (21. 12.) vsaj 2 uri; upošteva se horizontalna projekcija vpadnega kota sonca v območju $\pm 30^\circ$ odstopanja od smeri jug,
- ekvinokcija (21. 3. in 21. 9.) vsaj 4 ure; upošteva se horizontalna projekcija vpadnega kota sonca v območju $\pm 60^\circ$ odstopanja od smeri jug,
- poletnega solsticija (21. 6.) vsaj 6 ur; upošteva se horizontalna projekcija vpadnega kota sonca v območju $\pm 110^\circ$ odstopanja od smeri jug«.

Smernica podaja tudi, da moramo poleg zasnove stavbe upoštevati še sosednje obstoječe in načrtovane stavbe, ki vplivajo na načrtovalski razvoj, ustrezno usmerjenost in naklon zunanjih površin za

namestitvev naprav, ki izkoriščajo sončno energijo ter načrtovanje stavb ob upoštevanju podnebnih značilnosti lokacije.

2 METODE

2.1 Uporabljena programska oprema

Za izvedbo študije sem uporabila 3D programsko opremo Rhinoceros (Rhino), verzijo 5 [14], katerega je oktobra 2012 razvil Robert McNeel & Associates. Program se uporablja za načrtovalske namene v industriji, arhitekturi, pomorstvu, multimediji, avtomobilizmu, za hitro oblikovanje CAD/CAM prototipov in v multimedijki industriji. Analizo rabe energije in sončnega sevanja sem izvedla s pomočjo treh Rhinocerosovih programskih dodatkov. Prvi je Urban Modeling Interface (v nadaljevanju UMI) [15], ki je bil razvit za urbanistično in arhitekturno načrtovanje sosesk s stališča okoljske učinkovitosti, glede na rabo energije, mobilnosti in dnevne osvetljenosti. Naslednji je Diva for Rhino [16], dosežek raziskav na Harvardski Univerzi, ki ga razširja Solemma LLC. Na podlagi kart z razporeditvijo sončnega sevanja, meritvami dnevne osvetljenosti in toplotnega udobja v več conah omogoča načrtovalcem energijsko oceno posameznih stavb ali naselij. Zadnji programski dodatek, ki je tesno povezan z oblikovanjem geometrije v Rhinocerosu, je Grasshopper [17]. Program je sestavljen iz grafičnih algoritmov, ki se začnejo s komponentami, ki vsebujejo vhodne podatke, "izhode" iz teh komponent pa potem povežemo z "vhodi" pri naslednjih komponentah. Nepogrešljiv je pri parametričnem modeliranju za konstrukcijsko inženirstvo, arhitekturo in analizo porabe energije v stavbah. Za podajanje rezultatov sem uporabila programsko orodje Excel.

2.2 Geometrija

Za analizo energijske učinkovitosti sem si izbrala tri obstoječe vzorce pozidave stavb, ki se nahajajo na lokaciji v Ljubljani, z zemljepisno širino 46°03'20" in dolžino 14°30'30". Primere sem izbrala glede na vrsto tipologije večstanovanjskih kompleksov, ki jih vključujejo in sicer: terasni bloki, atrijski bloki in stolpnice. Za vsak posamezni primer, sem obravnavala učinek tistih parametrov, ki imajo največji vpliv na dobljeno sončno sevanje. Znotraj vsakega primera sem izvedla parametrično študijo za objekt, ki ima najbolj neugoden položaj v sklopu zgradb. V večini primerov, kjer je to možno, sem izbrala sredinski objekt, lociran na severu. Za vsak vzorec pozidave sem izračunala faktor zazidanosti parcele (FZ) [5], ki določa razmerje med neto tlorisno površino objekta in površino parcele.

Pri oblikovanju modelov so vzete dejanske urbane postavitev in dimenzije objektov, z naslednjimi poenostavitvami. Vsi izpostavljeni deli stavbe nad terenom, kot so balkoni, nadstreški, terase in dimniki, pri analizi niso upoštevani. Velikost parcel, na katerih so predstavljeni modeli, so bile določene s pomočjo interaktivnega spletnega atlasa Geopedia [18]. Okvir parcele sem zamejila z vzeto polovično razdaljo do sosednjih objektov ali pa je meja potekala ob robu ceste. Kljub temu, da vegetacija in drevesa močno vplivajo na senčenje in posledično na potrebe po hlajenju in ogrevanju, je bil za enostavnejšo analizo ta vpliv izpuščen. Predpostavljen je bil horizontalni tip terena. Stavbe po posameznih primerih so si enake po višini, z odstopanjem ± 1 m, zato sem za potrebe te analize upoštevala enotno višino stavb, saj minimalna razlika v višinah ni ključen parameter, ki bi vplival na rezultate analize.

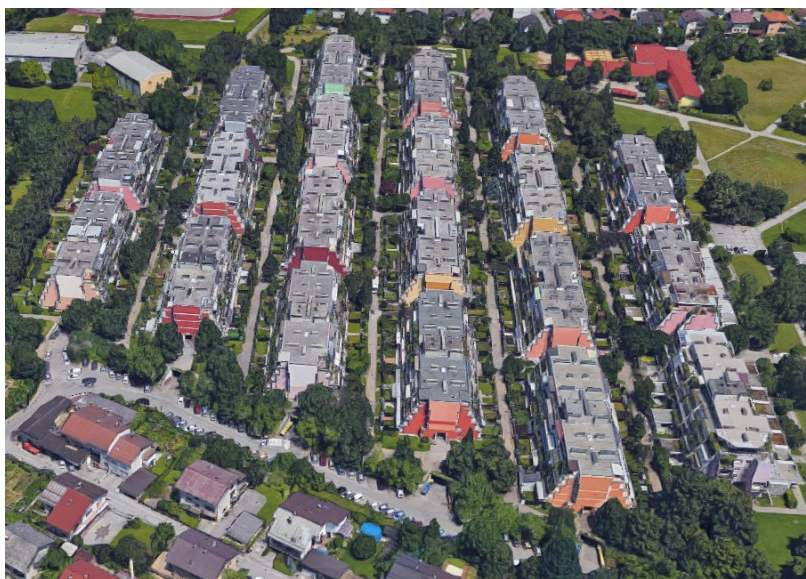
2.3 Predstavitev modelov

2.3.1 Tip A: Terasni bloki

Prvi obravnavani primer je tipologija stanovanjskega bloka s terasami, ki je redkeje uporabljena v Sloveniji. V lamelah nanizana stanovanja, ki so enostransko orientirana, se stopničasto zamikajo po etažah. S tem je pred vsakim stanovanjem prostor za teraso ali manjši vrt. Z oženjem kompleksa proti vrhu, dobimo vzpetinasto obliko, ki prispeva k manjšemu medsebojnemu senčenju objekta. Taka

pozidava omogoča veliko izrabo zemljišča. Običajno so visoki od 4 do 8 nadstropij, s tlorsnimi dimenzijami 60-70 m x 15-35 m in so ortogonalno ali linijsko razporejeni v redni vzorec.

Izbran realen primer so terasasti bloki v Kosezah, zgrajeni v letih od 1974 do 1981. Imajo pravilno, linijsko postavitve z zamikom v vrsti. Usmeritev stavb je 4° odmika od juga proti zahodu. Tlorsna dimenzija je 25 x 50 m, streha je ravna. Razdalja med stavbami je 17 m na vzhodni strani, 11 m na severni in južni strani in 14 m na zahodni strani. Višina stavb variira od 13 do 17 m, za potrebe analize sem izbrala enotno višino 15 m. Faktor zazidanosti je 0,385. Potencialni problem pred začetkom analize je velika gostota pozidave in stisnjenost objektov v smeri sever-jug, kar privede do medsebojnega senčenja fasad.

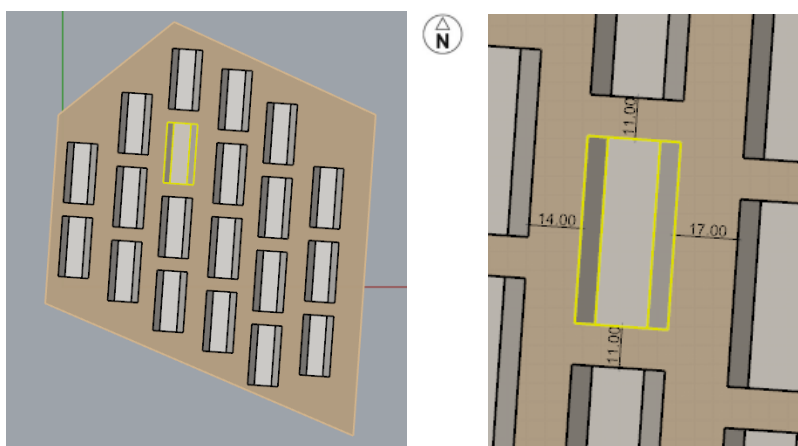


Slika 1 : Zračni posnetek terasastih blokov v Kosezah (Vir fotografije: Google Maps).

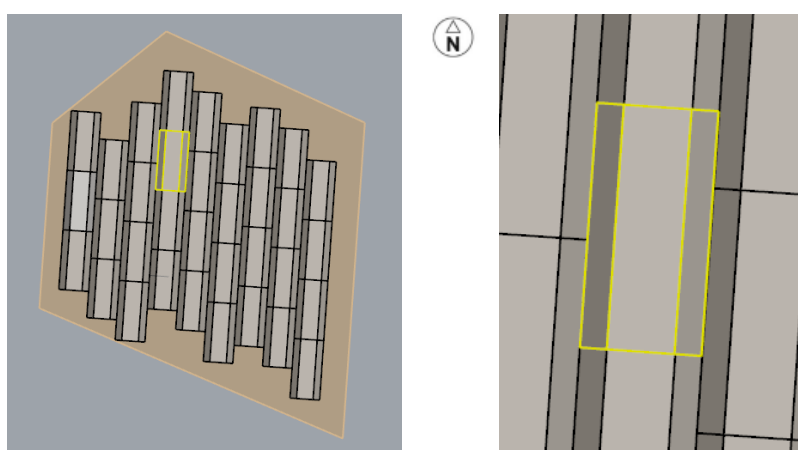
Prvi parameter, ki ga bom opazovala, je vpliv **razdalje** med objekti. Poleg obstoječega stanja, ki je obravnavan v primeru 1, sem izvedla še 4 primere, kjer sem povečevala ali zmanjševala razmake med objekti (Preglednica 1). V primeru 2 med stavbami nisem pustila nič prostora, v primeru 3 sem razdaljo zmanjšala za 5 m, v primeru 4 sem jo povečala za 5 m in v primeru 5 še za 10 m. Z oznakami b1, b2, b3 in b4 sem označila razdaljo od stavbe do sosednjih objektov v vseh štirih smereh, glede na orientiranost fasad. B1 je oddaljenost na vzhodni strani, b2 na južni, b3 na zahodni in b4 na severni strani.

Preglednica 1: Vhodni geometrijski podatki za tip A.

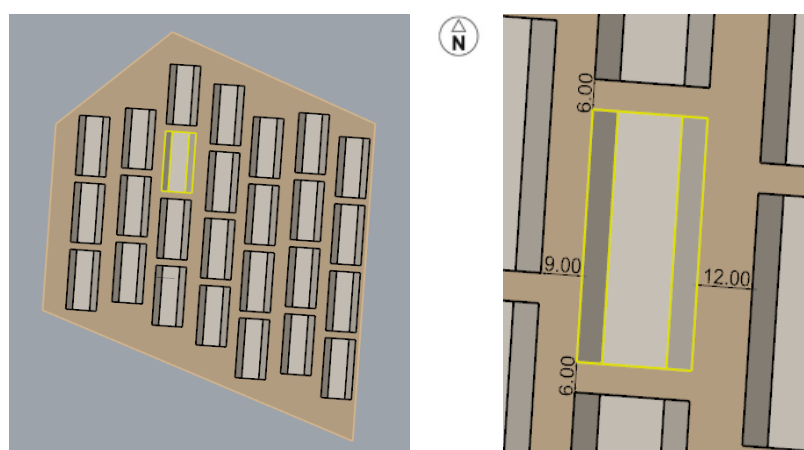
	Primer 1	Primer 2	Primer 3	Primer 4	Primer 5
Dimenzije razmakov [m]					
b1	17	0	12	22	27
b2	11	0	6	16	21
b3	14	0	9	19	24
b4	11	0	6	16	21



Slika 2: 1. primer, model z izbranim objektom (levo), dejanski razmak med objekti (desno).



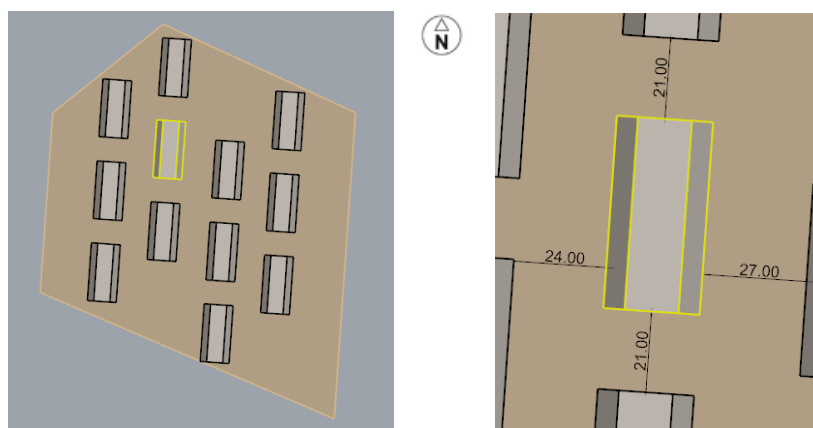
Slika 3: 2. primer, model z izbranim objektom (levo), razmak med objekti (desno).



Slika 4: 3. primer, model z izbranim objektom (levo), razmak med objekti (desno).



Slika 5: 4. primer, model z izbranim objektom (levo), razmak med objekti (desno).



Slika 6: 5. primer, model z izbranim objektom (levo), razmak med objekti (desno).

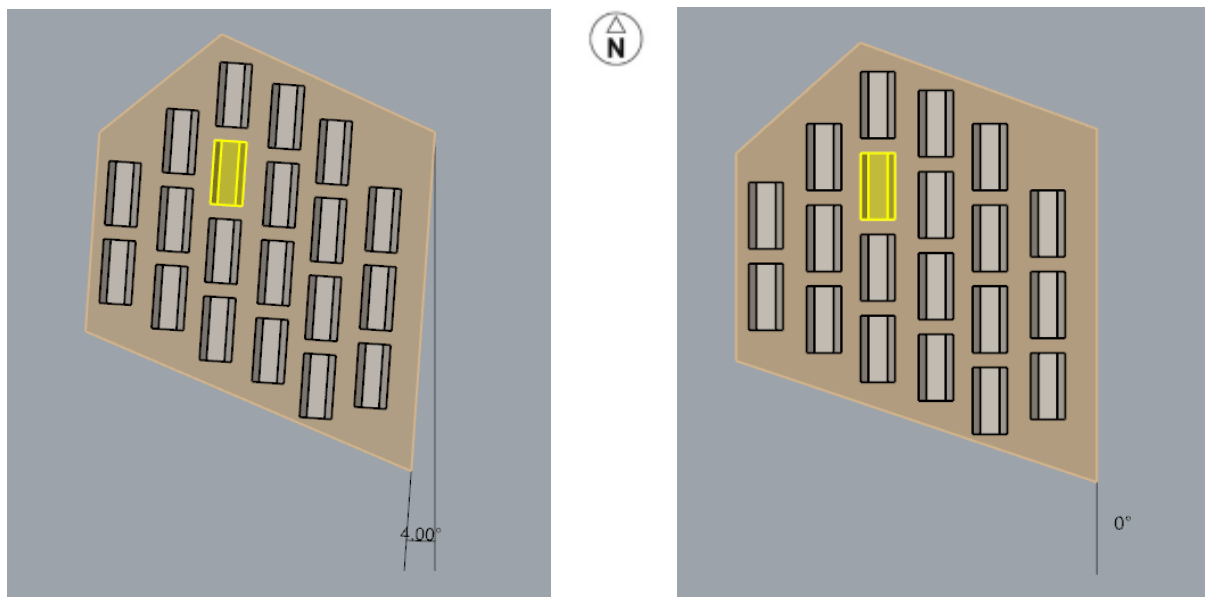
V vseh primerih sem ohranila začetni, urbani vzorec pozidave; kjer sem povečala razmake med objekti, se je število stavb na zemljišču zmanjšalo, kjer pa sem zmanjšala razmake, sem lahko dodala objekte na sproščeno mesto, do zapolnitve parcele. V spodnji preglednici (Preglednica 2) je prikazan faktor zazidanosti parcele za vse primere.

Preglednica 2: Faktor zazidanosti za vseh pet primerov tipa A.

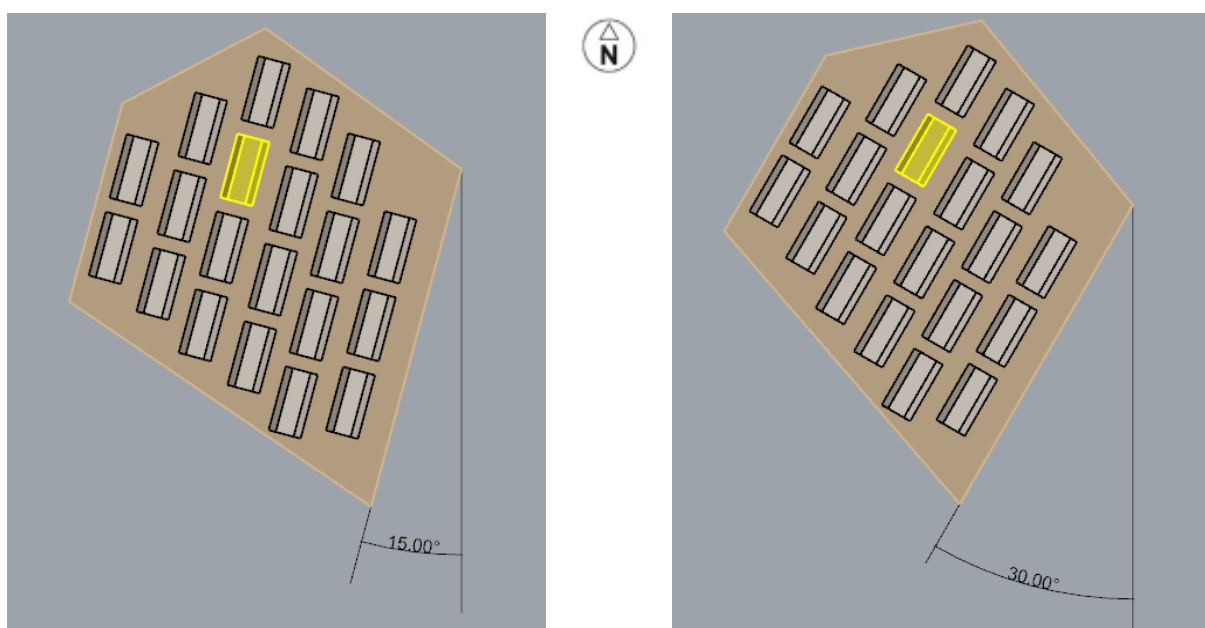
Primer	Št. stavb	Skupna stavbna površina [m ²]	Parcela [m ²]	Faktor zazidanosti
1	20	25000	64901.3	0.385
2	34	42500	64901.3	0.655
3	26	32500	64901.3	0.501
4	17	21250	64901.3	0.327
5	12	15000	64901.3	0.231

Drugi opazovani parameter je **rotacija**. Ko oblikujemo stavbo, je pomembno, da upoštevamo navidezno pot, ki jo opravi sonce in vpadni kot sončnih žarkov poleti in pozimi. Na podlagi tega, nato načrtujemo velikost posameznih fasad, število in dimenzije odprtín, način senčenja in samo obliko stavbe. Za analizo sem naredila poleg obstoječe orientacije še 3 različne zasuke; v 1. primeru sem model poravnala v smeri sever-jug, 2. primer prikazuje orientacijo stavb z odklikom 15° od juga, v 3. primeru pa so stavbe

zasukane za 30° od južne smeri v smeri urinega kazalca.



Slika 7: Začetna orientacija modela (levo), 1. primer orientacije (desno).

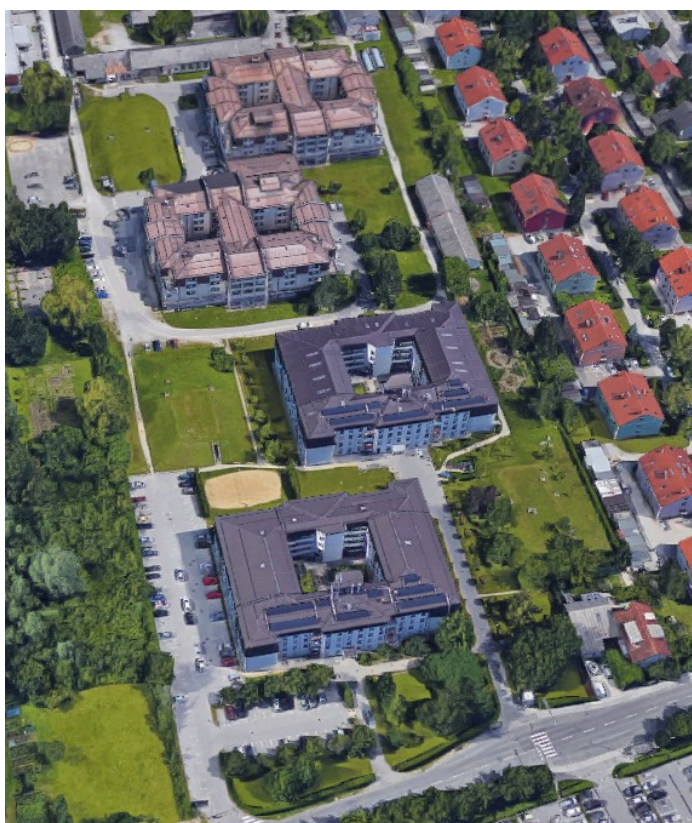


Slika 8: 2. primer orientacije modela (levo), 3. primer orientacije modela (desno).

2.3.2 Tip B: Atrijski bloki

Drugi obravnavani primer stanovanjske tipologije je stavba z obodnimi stanovanji, ki sestavijo notranje dvorišče – atrij. Tloris je organiziran podobno kot pri ozkem bloku, le da kompleks ponavadi obda razpoložljivo parcelo, s čimer pridobimo svetlo, notranje dvorišče. Tako ima blok javni – ulični del in zaprti – dvoriščni del. Takšen tip pozidave je značilen za mnoga, večja mesta po Evropi, v Sloveniji ga najdemo redkeje. Najbolj funkcionalen je v strnjenih mestnih predelih, kjer imamo probleme varovanja pred hrupom in željo po zasebnosti.

Izbrani primer je sklop štirih atrijev, kjer dve stavbi obsegata študentski dom Vič, zgrajen v letih od 1984 do 1985, preostali dve pa služita namenom dijaškega doma Vič, zgrajenega leta 1980. Objekti so nanizani v liniji, z orientacijo stavb 6° odklona od juga proti zahodu. Razdalja med objekti je nekje 18, nekje pa 17 m. Daljša stranica kvadratnega tlorisa meri 57 m in je obrnjena proti severu in jugu, krajši stranici z 41 m dolžine so usmerjene proti vzhodu in zahodu. Višina študentskega doma je 16 m, dijaškega doma pa 16,8 m, za analizo sem vzela višino 16 m. Streha je dvokapna z maksimalnim naklonom 20° , vendar sem zaradi zahtev programa UMI [15] strešne površine oblikovala horizontalne. Faktor zazidanosti parcele je 0,227. Pred analizo lahko pričakujemo, da bo problem predstavljala geometrija stavbe z zbitimi tlorisi; premajhna izpostavljenost notranjih fasad sončnemu sevanju in medsebojno senčenje objektov predvsem v zimskem času.



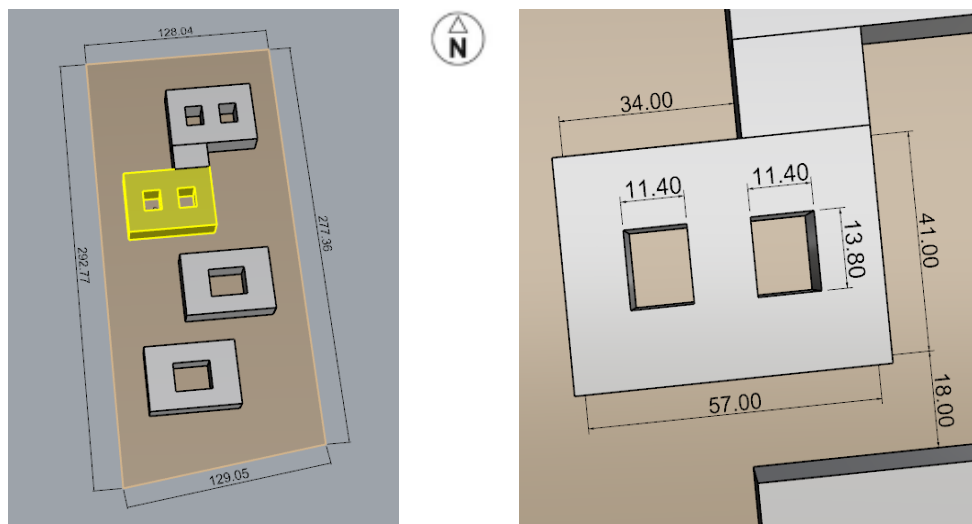
Slika 9: Zračni posnetek Atrijskih blokov (Študentski in Dijaški dom Vič9 (Vir fotografije: Google Maps).

Parameter, ki ga bom spreminjala, je velikost notranjega dvorišča atrija. Analizo sem naredila na obstoječem stanju (primer 1) in treh dodatnih primerih, kjer sem povečevala volumen osrednjega prostora z razširjanjem tlorisa stavbe. V primeru 2 sem povečala širino in dolžino objekta za 5 m, v primeru 3 še za 5 m in v primeru 4 še za 5 m. V preglednici 3 so predstavljene dimenzije objektov s pripadajočo ploščino in volumnom atrija. Z b1 sem označila daljšo stranico objekta, z b2 krajšo, o1 je oznaka za krajšo in o2 za daljšo stranico odprtine.

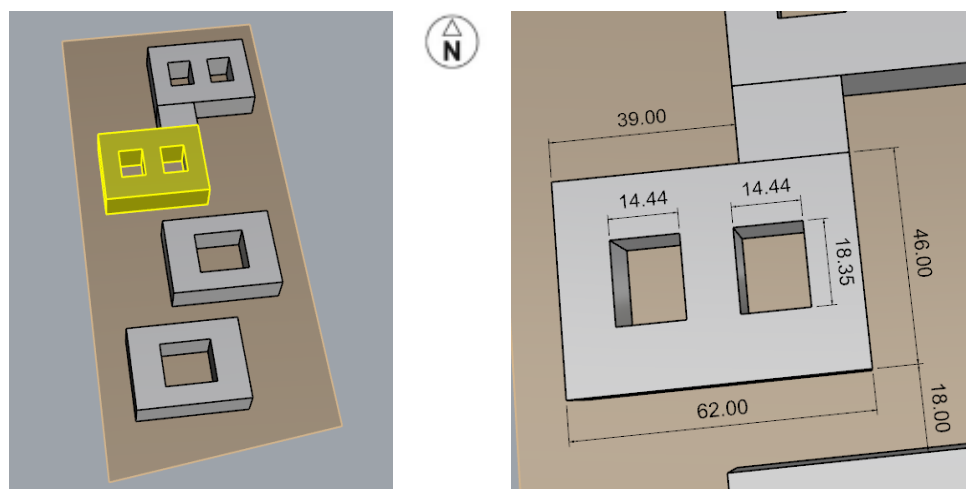
Preglednica 3: Vhodni geometrijski podatki za obravnavan objekt tipa B.

	Primer 1	Primer 2	Primer 3	Primer 4
Objekt 1 (Obravnavan objekt)				
b1 [m]	57	62	67	72
b2 [m]	41	46	51	56
o1 [m]	11.4	14.44	16.93	18.93
o2 [m]	13.8	18.35	23.11	28.02

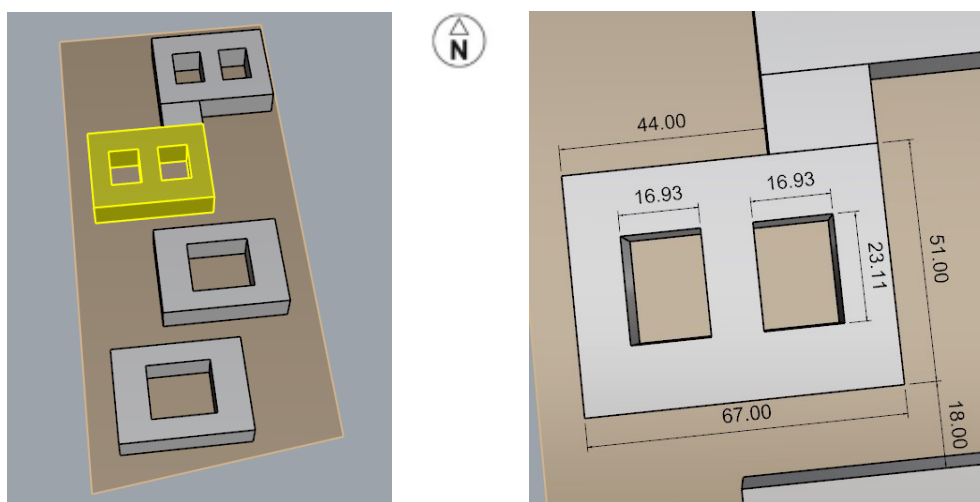
Ploščina 1 [m2]	2022.36	2322.05	2634.5	2971.16
Notranji volumen [m3]	2517.12	4239.58	6260.04	8486.7



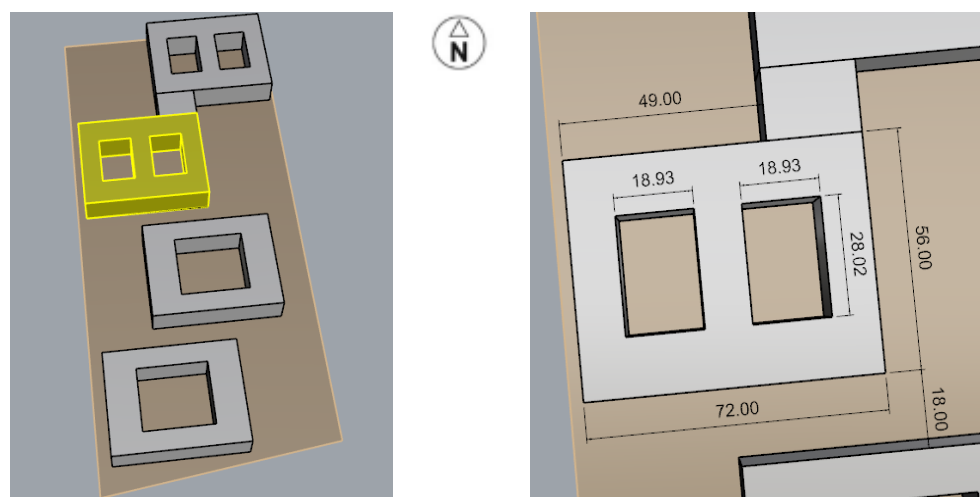
Slika 10: Primer 1 (obstoječi primer), model z izbranim objektom (levo), dejanske dimenzije objekta (desno).



Slika 11: Primer 2, model z izbranim objektom (levo), dimenzije objekta (desno).



Slika 12: Primer 3, model z izbranim objektom (levo), dimenzije objekta (desno).



Slika 13: Primer 4, model z izbranim objektom (levo), dimenzije objekta (desno).

Pri vsakem primeru sem ohranila enako razdaljo med objekti in njihovo višino, spreminjala sem le velikost notranjega dela. S povečevanjem površine se je spreminjala tudi gostota pozidave, kar sem prikazala z izračunom faktorja zazidanosti v preglednici 5.

Preglednica 4: Vhodni geometrijski podatki za tip B

	Primer 1	Primer 2	Primer 3	Primer 4
Objekt 1				
b1 [m]	57	62	67	72
b2 [m]	41	46	51	56
o1 [m]	11.4	14.44	16.93	18.93
o2 [m]	13.8	18.35	23.11	28.02
ploščina 1 [m ²]	2022.36	2322.05	2634.5	2971.16
Objekt 2				
b1 [m]	23	23	23	23
b2 [m]	17	17	17	17

ploščina 2 [m2]	391	391	391	391
Objekt 3				
b1 [m]	57	62	67	72
b2 [m]	41	46	51	56
o1 [m]	23	28	33	38
o2 [m]	18	23	28	33
ploščina 3 [m2]	1923	2208	2493	2778

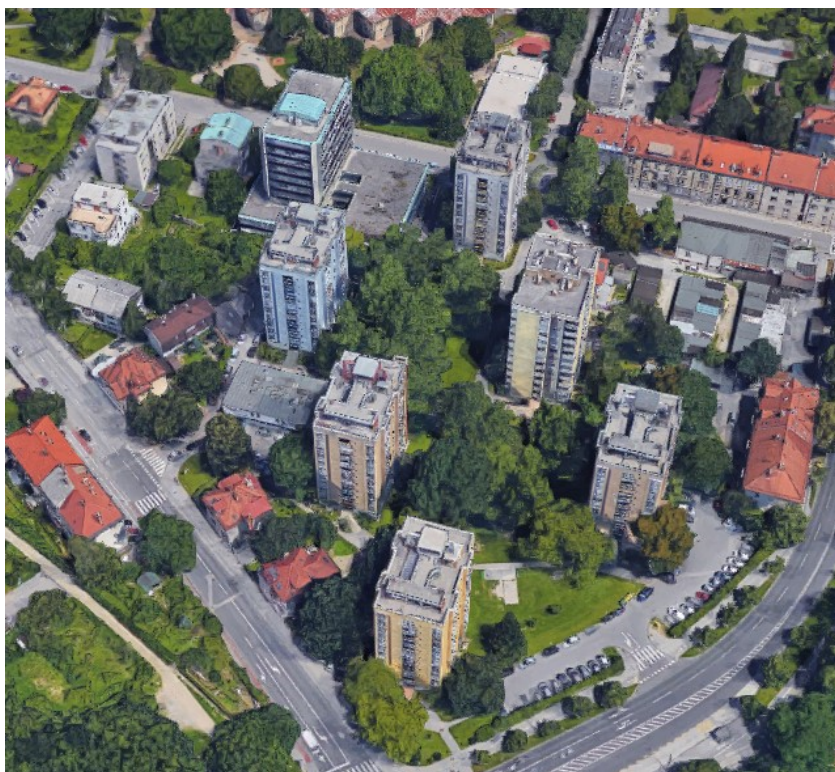
Preglednica 5: Faktor zazidanosti za vse 4 primere tipa B.

	Primer			
	1	2	3	4
Površina pozidanega [m2]	8281.7	9451.1	10646	11889.3
Površina parcele [m2]	36499.1	36499.1	36499.1	36499.1
Faktor zazidanosti	0.227	0.259	0.292	0.326

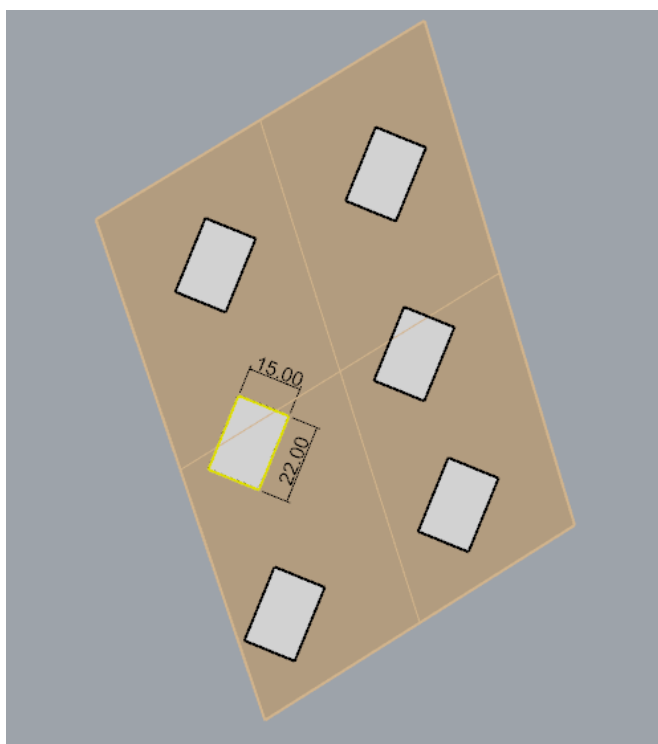
2.3.3 Tip C: Stolpnice

Zadnja izbrana tipologija večstanovanjskih stavb so stolpnice. Tlorisi so običajno kvadratne, mnogokotne ali ovalne oblike in so centralno organizirani. Okvirne tlorisne dimenzije so 20-28 m x 20-28 m. V višino segajo več kot 8 nadstropij, zato vključujejo najmanj dva dvigala in stopnišče v osrednjem delu. Stanovanja so razporejena okoli središčnega jedra. Običajno so to poslovne stavbe, lahko tudi stanovanjske.

Izbrani vzorec pozidave so stanovanjske stolpnice v Ljubljani na Streliški cesti, zgrajene v letu 1960. Razvrščene so v mrežastem vzorcu z usmerjenostjo 16° od mika od juga proti zahodu. Pravokoten tloris ima daljše stranice, ki merijo 22 metrov, orientirane v smeri sever-jug, krajše stranice, z dolžino 15 metrov pa v smeri vzhod-zahod, streha je ravna. Višina stavb variira od 33 do 36 m, za potrebe analize sem izbrala enotno višino 35 m. Bloki so na razdalji 56 m v smeri sever-jug in na razdalji 41 m v vzhodni in zahodni smeri. Zaradi gradnje v višino in s tem majhne površine pozidanega, je faktor zazidanosti parcele majhen in znaša 0,129. Potencialen problem je zmanjšanje dobitkov sončnega sevanja zaradi medsebojnega senčenja objektov predvsem v zimskem času.



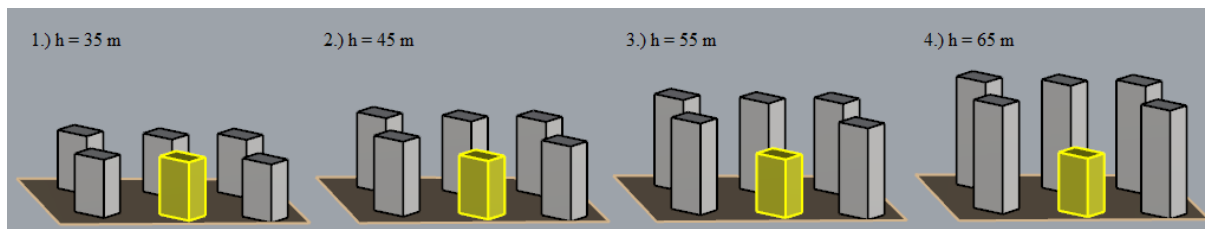
Slika 14: Zračni posnetek stolpnic na Streliški v Ljubljani (Vir fotografije: Google Maps).



Slika 15: Tloris modela, z dimenzijami obravnavanega objekta.

Za opisan primer sem analizirala, kako **višina** okoliških objektov vpliva na dobitke sončne energije, ki jih prejme opazovan objekt. Višino sem povečevala iz začetnih 35 m na končnih 65 m, z vsakim

primerom sem vrednost povišala za 10 m (Slika 16). Za pričakovati je bilo, da spreminjanje višine močno zmanjšuje energijsko učinkovitost opazovanega objekta. Ker objekte povečujemo zgolj v višino, se nam skupna tlorisna površina pozidanega na parceli ne spreminja, zato je faktor zazidanosti skozi vse primere enak.



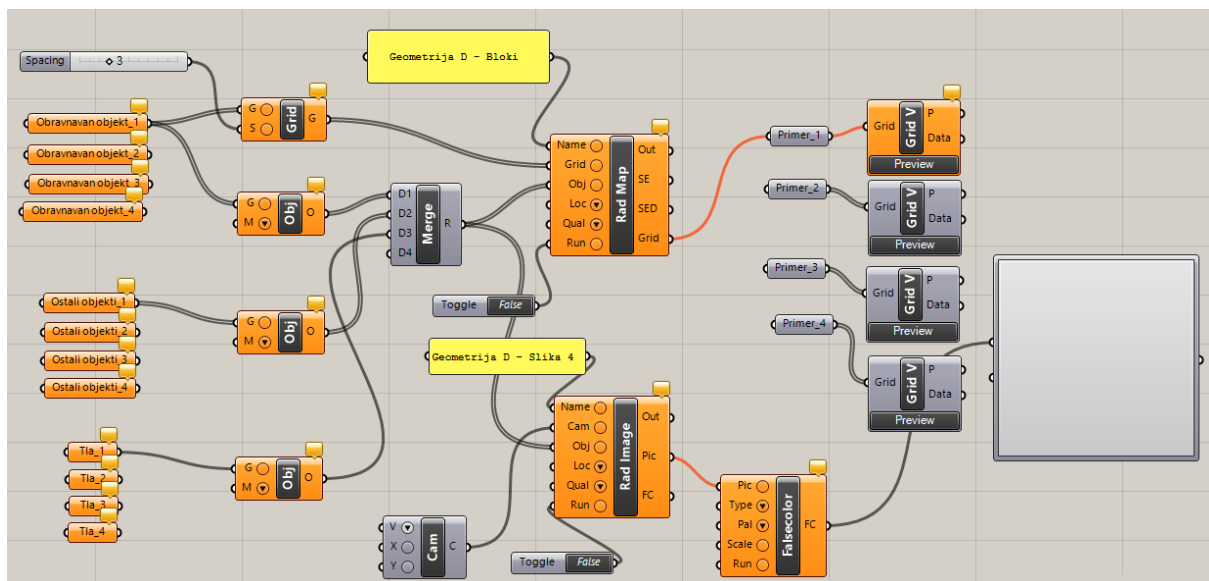
Slika 16: Modeli pozidave za 4 različne primere.

2.4 Modeliranje

Podlaga za analiziranje problema te diplomske naloge je zbirka vremenskih podatkov za Ljubljano, pridobljenih na spletnem mestu Energyplus.net [19]. Meteorološke organizacije pridobijo za določeno lokacijo standardne klimatske podatke o temperaturi, padavinah, relativni vlažnosti ozračja, vetrovih, ter sončnem obsevanju za interval enega leta.

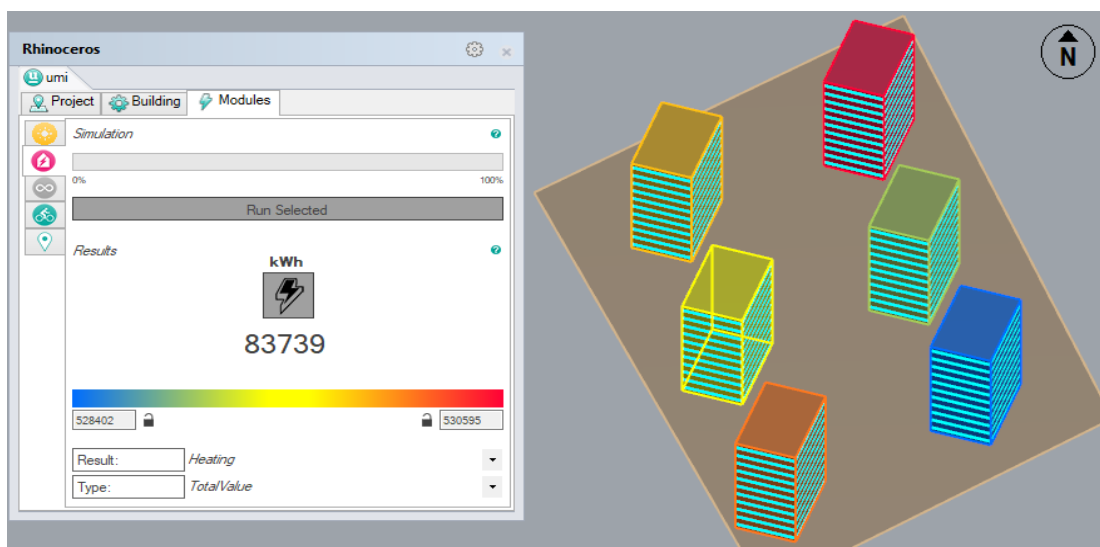
S programom Rhinoceros 3D [14] sem oblikovala modele izbranih vzorcev pozidave z vso pripadajočo geometrijo. Enote, ki sem jih uporabila, so metri. Objekte sem predstavila z modeliranjem kvadrov različnih oblik, ki sem jih glede na dejansko stanje umestila na podlago, ki predstavlja parcelo. Ko sem imela pripravljene modele, sem lahko opravila dve vrsti analize. Spodaj opisani postopek sem izvedla na vseh modelih in je za vse primere enak.

Prva analiza je potekala s programskima orodjema Grasshopper [15] in Diva [16], kjer sem za en izbrani objekt v vsakem modelu določila letne količine prejetega sončnega sevanja ob spreminjanju različnih parametrov. Program deluje na podlagi izdelanega algoritmičnega sistema (Slika 17), kjer na zaslon dodajamo komponente in jih nato povežemo med seboj. Začnemo tako, da ustvarimo panele z vhodnimi podatki o geometriji in pripadajočimi materialnimi karakteristikami. Za obravnavan objekt in ostale objekte na modelu sem predvidela refleksivnost zunanje površine 0,35, za tla, ki predstavljajo parcelo, pa refleksivnost tal 0,20. Obravnavanemu objektu sem določila gostoto mreže rezultatov osončenosti in s tem natančnost rezultatov. Z izbiro lokacije – Slovenija, sem pridobila podatke o podnebnih značilnostih za Ljubljano, kjer je zajet vpliv vetrov, padavin, vlažnosti in sončnega sevanja za obdobje enega leta. Vse omenjene komponente sem naprej povezala s karto sončnega sevanja in nato zagnala analizo. Program rezultate za posamezno ploskev objekta podaja kot povprečje totalnega prejetega sončnega sevanja [kWh] in povprečje za sončno sevanje, normirano na površino enega kvadratnega metra [kWh/m²]. Rezultate si lahko ogledamo v obliki mreže ali slike.



Slika 17: Končan algoritem v programu Grasshopper – Diva.

Drugi del analize sem izvedla s programskim orodjem UMI, kjer je bila izračunana skupna poraba energije za ogrevanje in hlajenje za obravnavan objekt. Prva naloga pred zagonom analize je bila označitev vseh objektov v UMI sloj zgradbe (an. *Buildings*), da kasneje program modele z mejnim volumnom obravnava kot stavbe. Enako sem naredila za tla – podlago, katero sem označila pod sloj tla (an. *Ground*). Program za svoje delovanje potrebuje podnebne značilnosti za izbrano lokacijo. V mojem primeru sem izbrala podatke za Ljubljano, z vsemi že upoštevanimi vplivi za obdobje enega leta. Pri začetnem modeliranju ne rišemo stavbnega pohištva (oken in vrat), saj je poraba energije izračunana na podlagi predpostavljenih simulacijskih lastnosti. Mednje spadata razmerje med transparentnimi odprtinami in stensko površino (an. *Window-to-wall ration*) za smeri sever, jug, vzhod in zahod ter višina nadstropja (an. *Floor-to-floor height*), ki je privzeta enotna za celotno stavbo. Predvidela sem 40 % razmerje in višino med etažami 3 m in zagnala analizo. Za namene raziskave problema te diplomske naloge sem obravnavala potrebno energijo za ogrevanje stavbe.



Slika 18: Prikaz primera rezultatov porabe energije za ogrevanje v programu UMI.

3 REZULTATI

Rezultati študije so podani v obliki preglednic in grafov ter so razdeljeni v dve skupini, glede na vrsto analize. Pri prvi analizi, kateri sem namenila večjo pozornost, sem skušala ugotoviti, kako se količina sončnega sevanja na površini povečuje ali zmanjšuje glede na spreminjanje razdalje med objekti, rotacije in višine. Rezultati so podani v enotah kWh/m² in predstavljajo povprečno prejeta sončna sevanje skozi celo leto. Druga analiza obsega izračun potrebne energije za ogrevanje stavbe. Poleg totalnega izračuna energije so podani rezultati, normirani na neto uporabno tlorisno površino obravnavanega objekta.

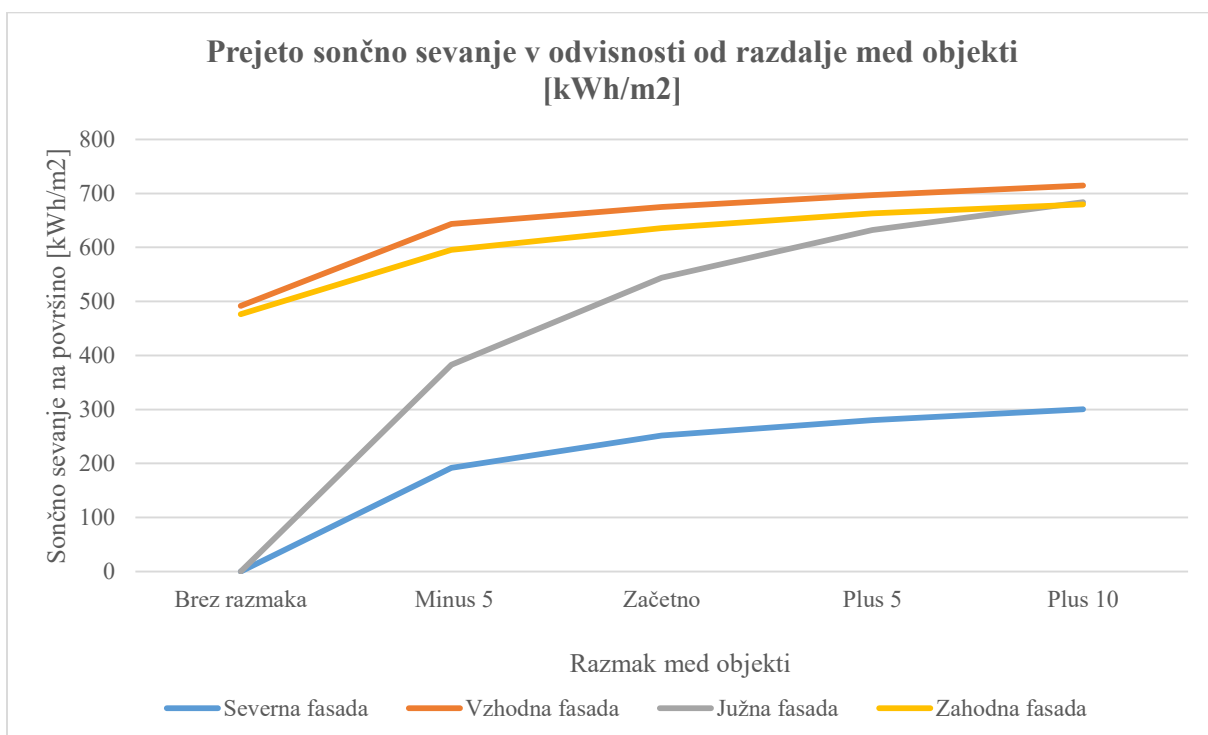
3.1 Rezultati analize prejetega sončnega sevanja

3.1.1 Geometrija Tip A

Pri geometriji pozidave tipa A (terasni bloki) je bil prvi opazovani vpliv razdalja med objekti. Izvedenih je bilo 5 serij izračunov (Preglednica 6). Primarna analiza osončenosti na obstoječem stanju je bila osnova za nadaljnje spremembe razmakov. Pogledala sem, v kakšni meri se zmanjšajo dobitki sončnega sevanja, če med stavbami ne pustimo dovoljšnjega razmaka ali pa praznega prostora med objekti sploh nimamo in stavbe "zlepimo" med seboj. Podobno sem s povečevanjem razdalje med objekti do skoraj 30 m opazovala, kje se je potencial sončnega sevanja najbolj spremenil in v kakšni meri.

Preglednica 6: Rezultati tip A – sprememba razdalje.

Geometrija tip A Terasni bloki		Razmak med objekti				
		Začetno	Brez razmaka	Minus 5	Plus 5	Plus 10
Sončno sevanje na površino [kWh/m ²]	Severna fasada	251.8	0.0	192.1	280.1	300.2
	Vzhodna fasada	675.1	491.5	643.4	696.6	714.6
	Južna fasada	543.7	0.0	382.6	632.5	683.6
	Zahodna fasada	635.7	476.5	595.3	663.3	679.6
	Streha	1057.2	1057.2	1057.2	1057.2	1057.2



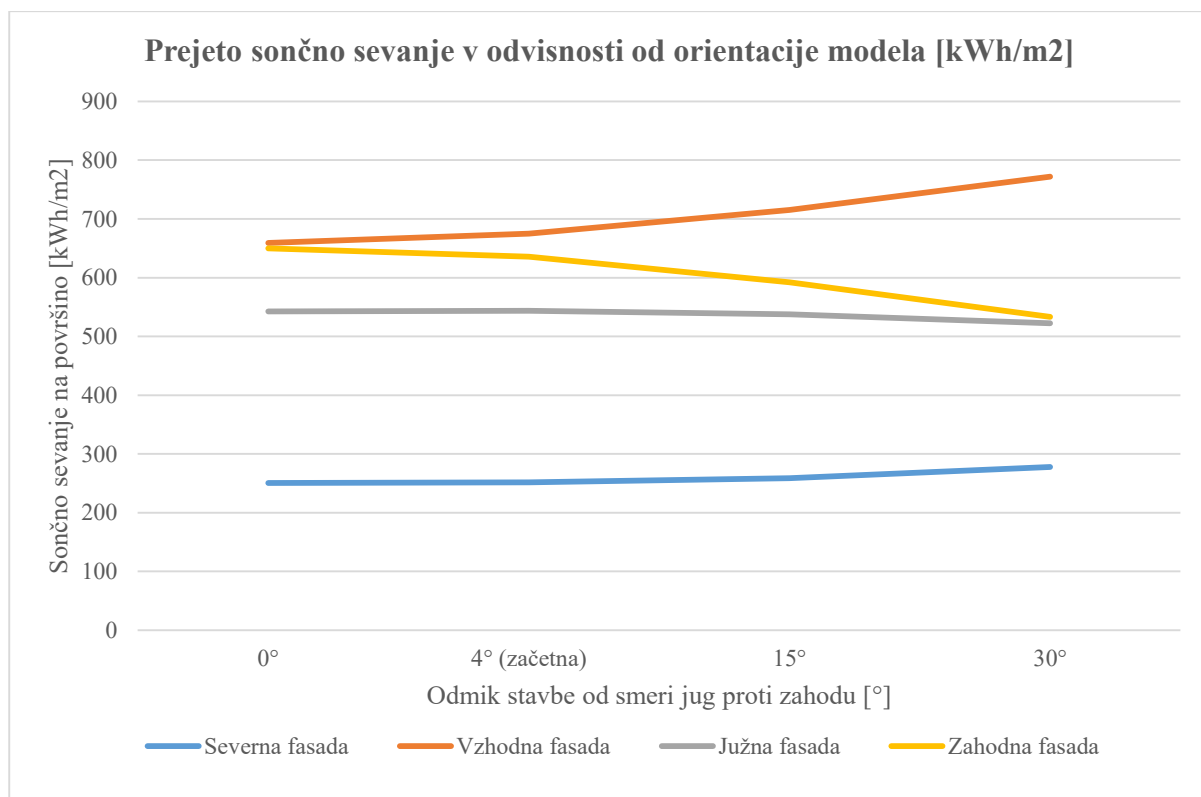
Grafikon 1: Prejeto sončno sevanje v odvisnosti od razdalje med objekti.

Iz grafikona 1 je razvidno, da s povečevanjem razdalje med objekti zvišujemo potencial sončnega sevanja. Vpliv razdalje je najbolj izrazit pri južni fasadi, kjer se vrednost iz začetnega primera poveča za več kot 100 kWh/m². Največje količine sončnega sevanja prejmeta vzhodna in zahodna fasada, najmanj pa severna. Z zmanjševanjem razdalje imamo strm padec krivulje obsevanja površin, medtem ko s povečevanjem krivulja vrednosti na južni fasadi še vedno precej strmo narašča, pri ostalih površinah pa je izboljšanje manj očitno. Ko razmaka med objekti ni, vrednosti za severno in južno fasado padeta na 0 kWh/m², kar je razlog stičnih površin, ki niso izpostavljene sončnemu sevanju.

Drugi obravnavani parameter na modelu tipa A je bila rotacija. Opazovala sem, kako usmerjenost objektov in s tem izpostavljenost določenih stavbnih površin vpliva na izrabo sončne energije. Rotacije sem izvedla v razponu od 0 do 30° odnosa od južne smeri proti vzhodu (preglednica 7). Na podlagi dobljenih rezultatov sem ocenila, kakšna usmerjenost stavb daje najboljše in kakšna najslabše rezultate in kakšna je razlika v vrednostih med posameznimi zasuki.

Preglednica 7: Rezultati tip A – sprememba orientacije.

Geometrija tip A Terasasti bloki		Orientacija			
		4° (začetna)	0°	15°	30°
Sončno sevanje na površino [kWh/m²]	Severna fasada	251.8	250.5	258.9	278.1
	Vzhodna fasada	675.1	659.2	715.3	772
	Južna fasada	543.7	542.3	537.4	522.4
	Zahodna fasada	635.7	649.9	592.2	533.3
	Streha	1057.2	1057.2	1057.2	1057.2



Grafikon 2: Prejeto sončno sevanje v odvisnosti od orientiranosti modela.

Iz grafikona 2 je razvidno, da se z rotiranjem objekta proti zahodu najbolj spremeni obsevanje vzhodne in zahodne fasade. Omenjeni fasadi prejmeta tudi največji potencial sončne energije, najmanjšega

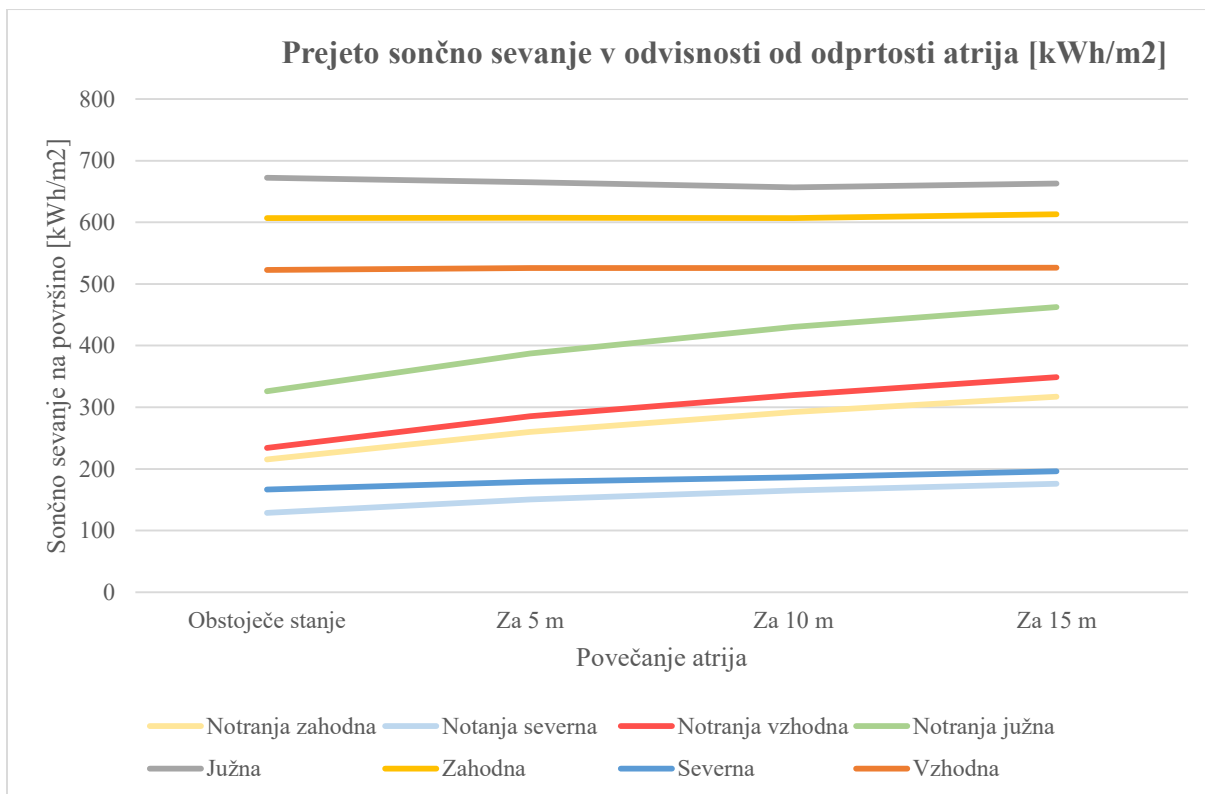
prejme severna, sledi ji južna.

3.1.2 Geometrija tip B

Na enak način kot sem obravnavala vpliv razdalje med objekti pri geometriji tipa A, sem podobno naredila tudi za geometrijo tipa B (atrijski bloki), s to razliko, da sem v tem primeru povečevala notranji obseg atrija in s tem razdaljo med notranjimi (atrijskimi) stenami. Z večanjem se je izboljševala prostornost notranjega dvorišča kot tudi večji prodor svetlobe in s tem sončnega sevanja na notranje površine. Obravnavanemu objektu, z dimenzijami tlorisa 57 x 41 m, sem skupno največ razširila vse stranice za 15 m in tako ustvarila 3-krat večji notranji prostor.

Preglednica 8: Rezultati tip B – sprememba velikosti notranjega dvorišča.

Geometrija tip B Atrijski bloki		Obstoječe stanje	Povečanje za 5 m	Povečanje za 10 m	Povečanje za 15 m
Sončno sevanje na površino [kWh/m²]	Streha	1057.2	1057.2	1057.2	1057.2
	Notranja zahodna	215.2	260.2	292.4	317.3
	Notranja južna	128.6	150.4	165.2	176.1
	Notranja vzhodna	233.9	285.4	319.7	348.8
	Notranja severna	325.8	387	430.6	462.8
	Južna	672.5	665	656.8	663
	Zahodna	606.8	607.7	607.1	613
	Severna	166.6	179.2	186.3	196
	Vzhodna	522.6	525.7	525.9	526.3



Grafikon 3: Prejeto sončno sevanje v odvisnosti od odprtosti atrija.

Krivulje, predstavljene na grafikonu 3, predstavljajo količino prejetega sončnega sevanja stavbe v

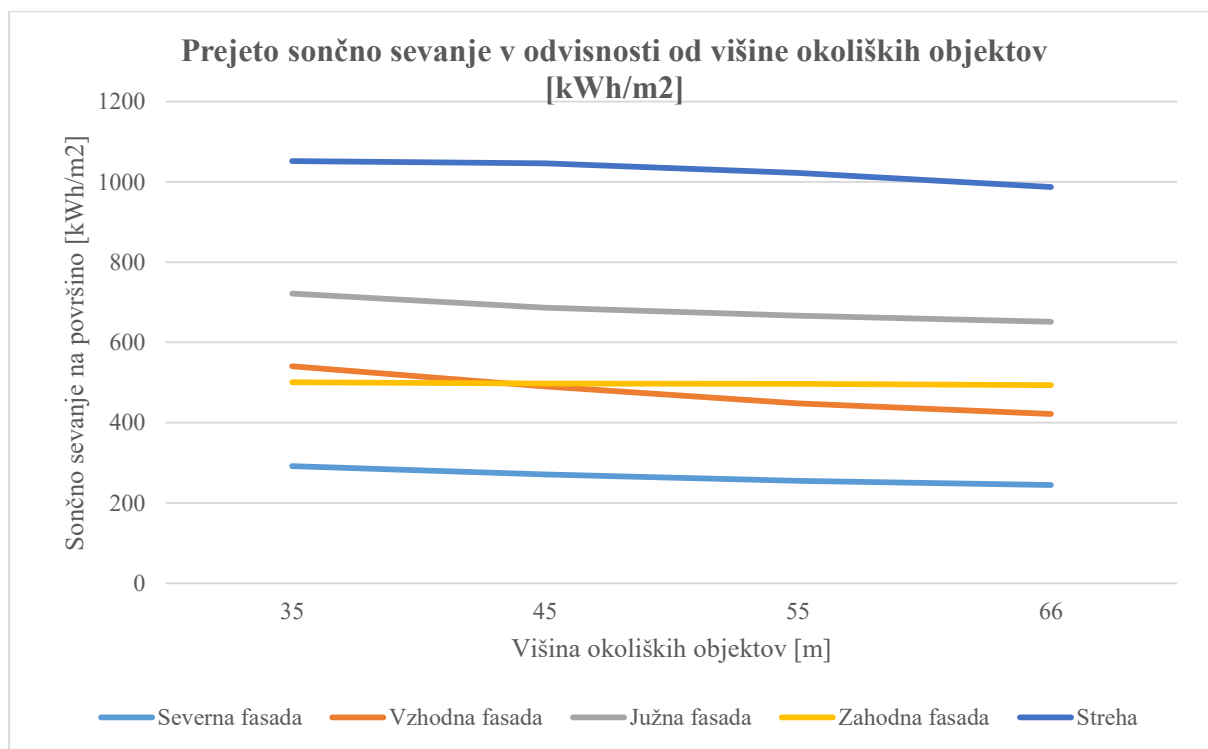
odvisnosti od velikosti notranjega dvorišča. Najbolj očitno povečanje sončnih dobitkov imajo notranje fasade, medtem ko vrednosti zunanjih sten več ali manj ostanejo enake. Zunanje površine, z izjemo severne fasade, prejmejo največji sončni potencial.

3.1.3 Geometrija tip C

Parameter, ki sem ga obravnavala pri zadnjem primeru pozidave (tip C – stolpnice) je višina. Rezultati sončnega sevanja so prikazani za opazovano stolpnico in se spreminjajo z naraščanjem višine sosednjih stavb. Z dvigom višine se povečuje vpliv medsebojnega senčenja objektov, rezultat je zmanjšana izpostavljenost stolpnice sončnemu sevanju. Končna višinska razlika med obdajajočimi stolpniciami in opazovanim objektom, pri kateri sem naredila analizo, je 30 m.

Preglednica 9: Rezultati tip C – sprememba višine.

Geometrija tip C		Višina okoliških objektov h [m]			
Stolpnice		35	45	55	65
Sončno sevanje na površino [kWh/m ²]	Severna fasada	291.7	270.7	255.4	244.6
	Vzhodna fasada	540.9	490.4	447.9	421.4
	Južna fasada	721.8	686.7	666.7	651.8
	Zahodna fasada	501	497.5	496.6	493.7
	Streha	1051.5	1046.4	1022.3	986.9



Grafikon 4: Prejeto sončno sevanje v odvisnosti od višine okoliških objektov

Iz grafikona 4 je jasno razvidno, da s povečevanjem višine zmanjšujemo vrednost sončnega potenciala na vseh fasadah, z izjemo zahodne površine, kjer je količina sončnega sevanja skozi vse primere konstantna. Pri strehi začne krivulja rezultatov hitreje padati pri spremembi višine iz 55 na 65 m, pri južni, vzhodni in zahodni krivulji pa je hitrejši padec pri preskoku iz 35 na 45 m.

3.2 Rezultati analize rabe energije

V spodnji preglednici (Preglednica 10) sem podala rezultate za količino energije, ki je potrebna za ogrevanje stavb. Zaradi specifik posameznega vzorca zazidave, se vrednosti med seboj razlikujejo. V primeru Terasnih blokov je v primerjavi z ostalimi modeli, potreba po ogrevanju najmanjša in se s povečevanjem razmaka med stavbami zmanjšuje, z rotiranjem objekta pa povečuje. Pri analizi atrijskih blokov in stolpnice se je s povečanjem stavbne površine potrebna energija za ogrevanje povečala, vidno povišanje je predvsem pri atrijskih. Razlog za to so večje toplotne izgube skozi stavbni ovoj, ki jih pridobimo s povečanjem površine.

Preglednica 10: Raba energije, potrebne za ogrevanje.

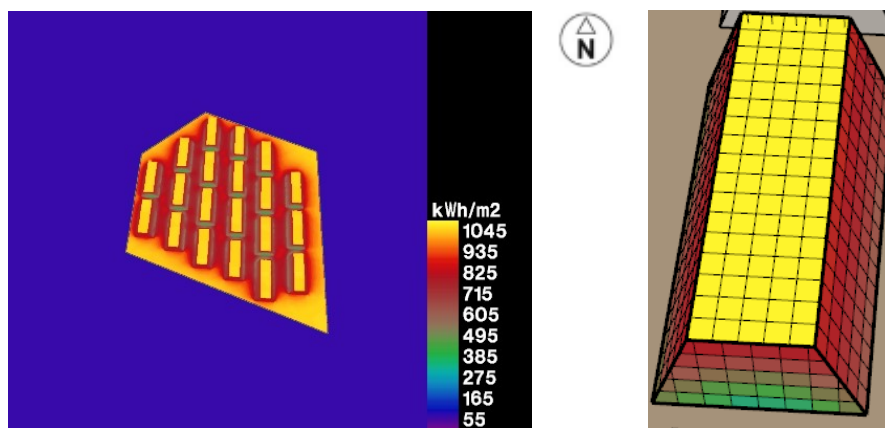
		Energija potrebna za ogrevanje [kWh]	Energija potrebna za ogrevanje [kWh]
Tip A, terasni bloki	Razmak med objekti		
	Obstoječe stanje	47212	6.29
	Brez razmaka	48727	6.50
	Minus 5 m	48097	6.41
	Plus 5 m	47012	6.27
	Plus 10 m	46248	6.17
	Rotacija Objekta [°]		
	0	47094	6.28
	15	45837	6.11
	30	46452	6.19
Tip B, atrijski bloki	Povečanje dimenzij atrija		
	Obstoječe stanje	157218	19.43
	Za 5 m	181927	22.49
	Za 10 m	207961	25.71
	Za 15 m	237069	29.31
Tip c, stolpnice	Višina okoliških objektov h [m]		
	35	81434	16.45
	45	81874	16.54
	55	82938	16.76
	65	82700	16.71

4 RAZPRAVA

Pri vsakem posameznem modelu sem se osredotočila in komentirala tisti parameter, ki je bil ključen pri vplivu na prejeta sončna sevanja in energijsko učinkovitost stavbe. Medsebojna primerjava obravnavanih pozidav je bila zaradi različnosti morfologije nesmiselna.

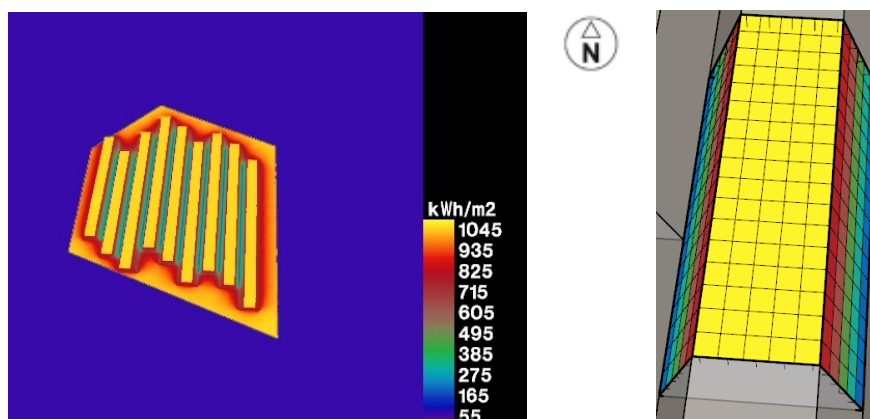
4.1 Vpliv razdalje (na tipu A)

V primeru 1 (slika 19) prejme iz gledišča opazovanja vrednosti sončnega sevanja na površino po posameznih fasadah največji sončni dobiček vzhodna fasada in sicer 675 kWh/m^2 , zelo podobno je stanje pri zahodni fasadi z razliko v vrednosti 40 kWh/m^2 . Južna stran dobi 543 kWh/m^2 , najmanj pa fasada, obrnjena proti severni strani, 252 kWh/m^2 . Zaradi poenotene višine stavb prispevka strehe ne bom upoštevala pri primerjavi, saj je skozi vse primere enak in doseže vrednost 1057 kWh/m^2 . Povprečni potencial sončnega sevanja, brez upoštevanja strešne površine, znaša 527 kWh/m^2 . Faktor zazidanosti parcele je 0,39.



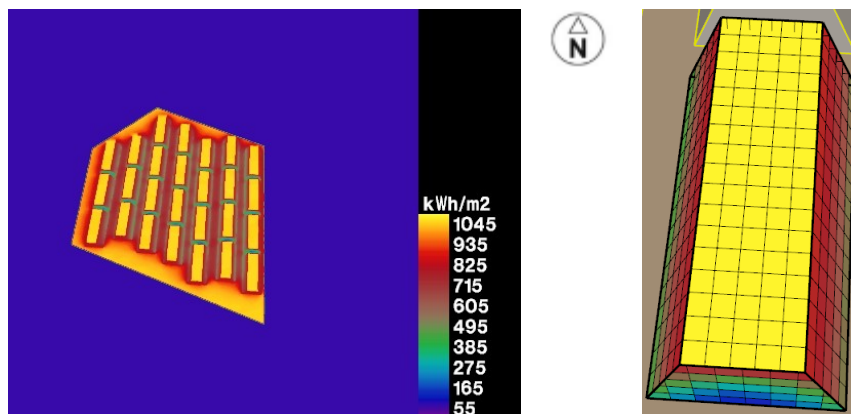
Slika 19: Primer 1, prejeta sončna sevanja na modelu (levo) in na obravnavanem objektu (desno).

Pri primeru 2 (slika 20) se nam izniči prispevek severne in južne fasade, saj površini nista izpostavljeni sončnemu sevanju. Vzhodna in zahodna stran imata glede na tesno postavitve objektov zmanjšane, a še vedno presenetljivo visoke rezultate, vzhodna 490 kWh/m^2 in zahodna 475 kWh/m^2 . Vzrok za to je vzpetinasta oblika objekta, ki se zožuje proti vrhu. Vpliv vzajemnega senčenja je prisoten v veliki meri, ampak je njegov vpliv zmanjšan zaradi funkcionalne oblike stavbe. Celotni sončni potencial v povprečju znaša 242 kWh/m^2 in je od prvega primera, kjer je obravnavano dejansko stanje, manjši za 54 %. Velika gostota pozidave parcele se izkaže kot problematična, saj je pri tem zmanjšana izpostavljenost zbiralnih površin in povečan vpliv medsebojnega senčenja objektov, kar se odraža tudi v večji potrebi energiji za ogrevanje. Faktor zazidanosti parcele se nam poveča za 27 %.



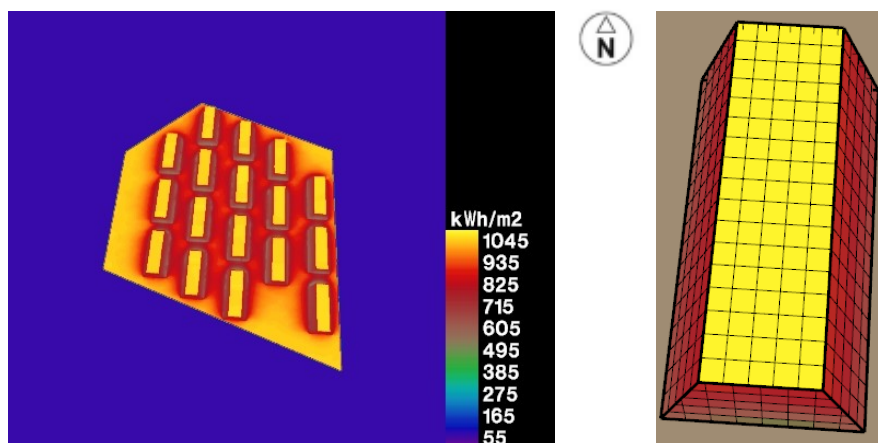
Slika 20: Primer 2, prejeto sončno sevanje na modelu (levo) in na obravnavanem objektu (desno).

Največjo količino sončnega sevanja v primeru 3 (slika 21) zopet prejmeta vzhodna in zahodna fasada, vzhodna z dobitkom 643 kWh/m² in zahodna z dobitkom 595 kWh/m². Rezultat je v primerjavi z primerom 1 za malenkost slabši, vendar odstopanje ni veliko. Energija, potrebna za ogrevanje malenkostno dvigne. Z zmanjšanjem razmaka med objekti se najbolj zniža vrednost potenciala na južni fasadi, iz 543 kWh/m² na 382 kWh/m². Tu se pojavi problem nezadostne oddaljenosti med opazovano južno in sosednjo severno fasado, kar pripelje do medsebojnega senčenja objektov. Vpliv zmanjšanja razdalje je opazen tudi na severni fasadi, kjer se potencial sončnega sevanja, glede na obstoječo pozidavo, zmanjša še za 60 kWh/m². Povprečje solarnih dobitkov vseh štirih fasad znaša 453 kWh/m², kar je 46% izboljšanje glede na primer 2 in 14% manjši rezultat, kot je dosežen v primeru 1. Gostota pozidave je v tem primeru višja za 12 %.



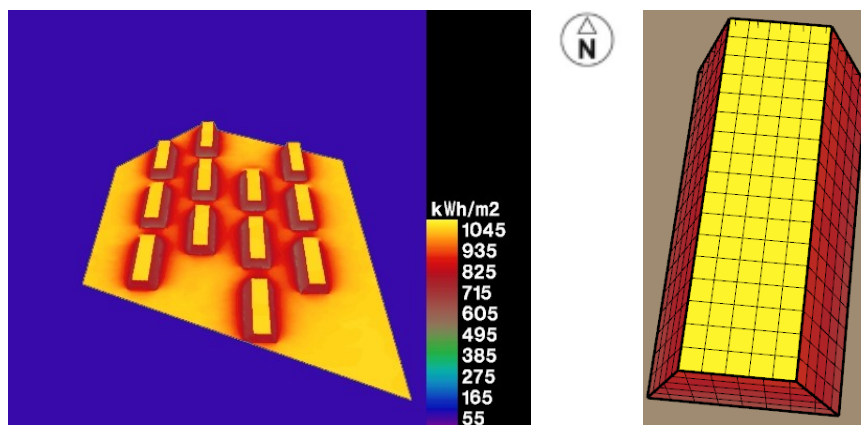
Slika 21: Primer 3, prejeto sončno sevanje na modelu (levo) in na obravnavanem objektu (desno).

V primeru 4 (slika 22) sem povečala odmik stavbe od sosednjih objektov za dodatnih 5 m. S tem sem na vseh fasadah izboljšala izrabo sončne energije in zmanjšala potrebno energijo za ogrevanje stavbe. Sončni dobitki se najbolj povečajo na južni strani objekta, a so še vedno manjši od prejetega sončnega sevanja vzhodne in zahodne fasade. Vrednost iz 543 kWh/m² naraste na 632 kWh/m². Manjša sprememba, okoli 30 kWh/m², se zgodi na severni, vzhodni in zahodni fasadi. Prvi razlog za različno izboljšanje je v linijski razporeditvi objektov, kjer je večja razdalja do sosednjih objektov v smeri vzhod - zahod, drugi vzrok pa je posledica orientiranosti stavbe, kjer so zaradi dnevne poti sonca, bolj intenzivno obsevane vzhodna, južna in zahodna fasada. Povprečje solarnih dobitkov, se glede na začetni primer poveča za 7%, razmerje pozidanega in nepozidanega se zmanjša na 0,33.



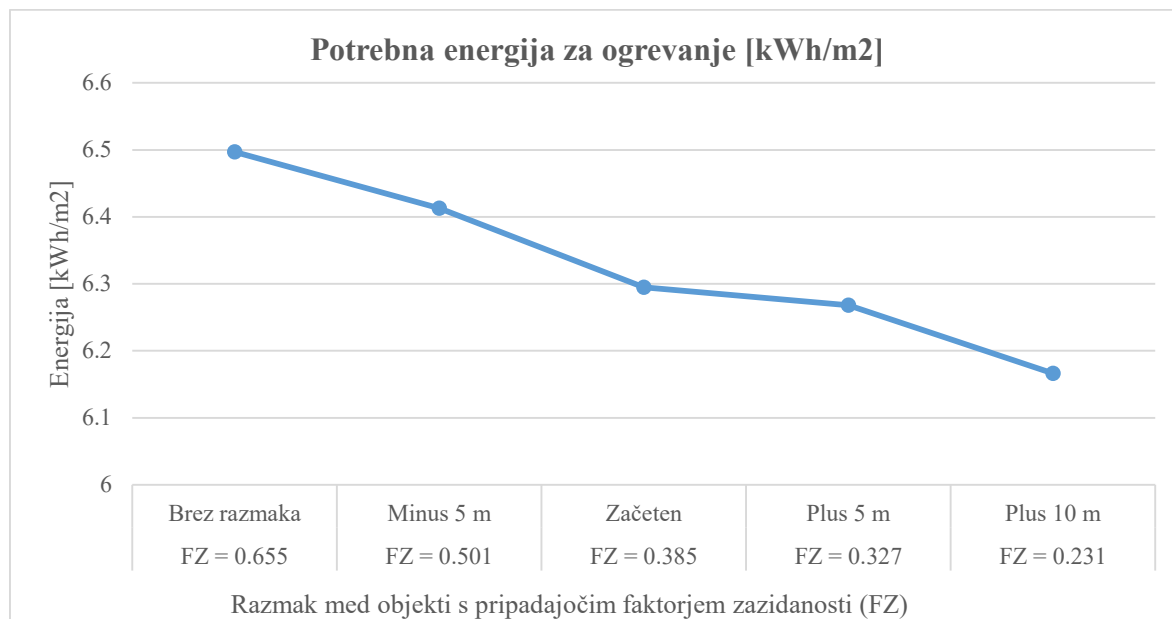
Slika 22: Primer 4, prejeto sončno sevanje na modelu (levo) in na obravnavanem objektu (desno).

Zadnji primer (slika 23) obravnava razširitev vmesnega prostora med objekti za 10 m. Rezultati so podobni kot v primeru 4, izboljšanje sončnega potenciala in zmanjšanje potrebne energije za ogrevanje je manj opazno. Rezultat se najbolj okrepi pri južno orientirani fasadi, s solarnim dobitkom 684 kWh/m², kar predstavlja 21 % povišanje vrednosti glede na primer 1. Povprečno sončno sevanje na vseh štirih fasadah doseže vrednost 595 kWh/m² in je od prejšnjega primera večje za 4 %. Če primerjamo rezultate primera 3 in 4, opazimo minimalni učinek razdalje na izboljšanje prejetega sončnega sevanja, saj opazovan objekt ni več pod velikim vplivom senčenja okoliških objektov.



Slika 23: Primer 5, prejeto sončno sevanje na modelu (levo) in na obravnavanem objektu (desno).

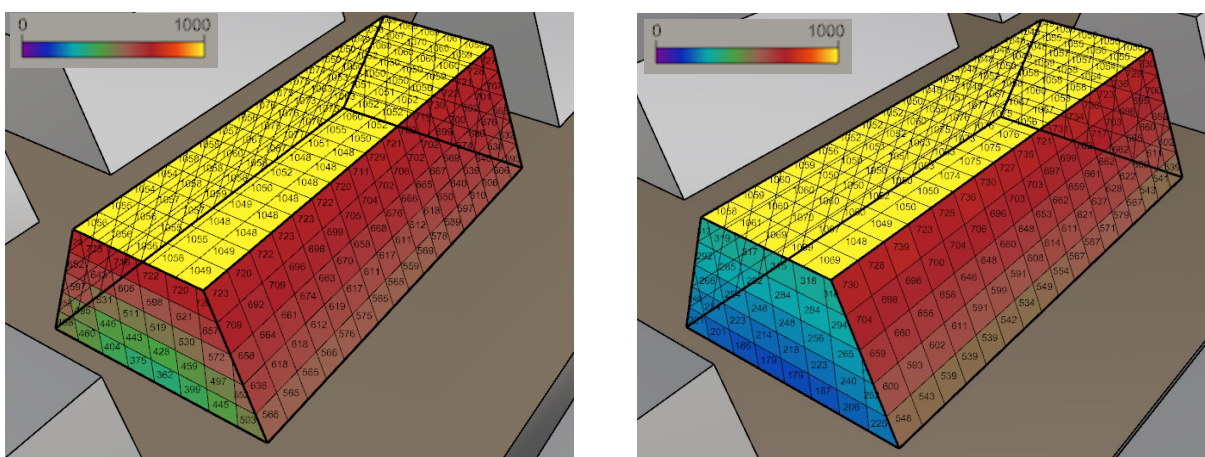
Grafikon 5 prikazuje potrebno energijo za ogrevanje, normirano na neto uporabno tlorisno površino stavbe. S povečevanjem razmaka med objekti imamo večji doprinos sončne energije na stavbi ovoj in s tem manjšo potrebo po ogrevanju, kjer se vrednost 6,5 kWh/m² zmanjša na 6,17 kWh/m², kar je tudi posledica manjšega faktorja zazidanosti parcele, ki se z začetne vrednosti 0,655 zmanjša na 0,231.



Grafikon 5: Potrebna energija za ogrevanje v odvisnosti od razmaka med objekti in pripadajočega faktorja zazidanosti (FZ) za tip B.

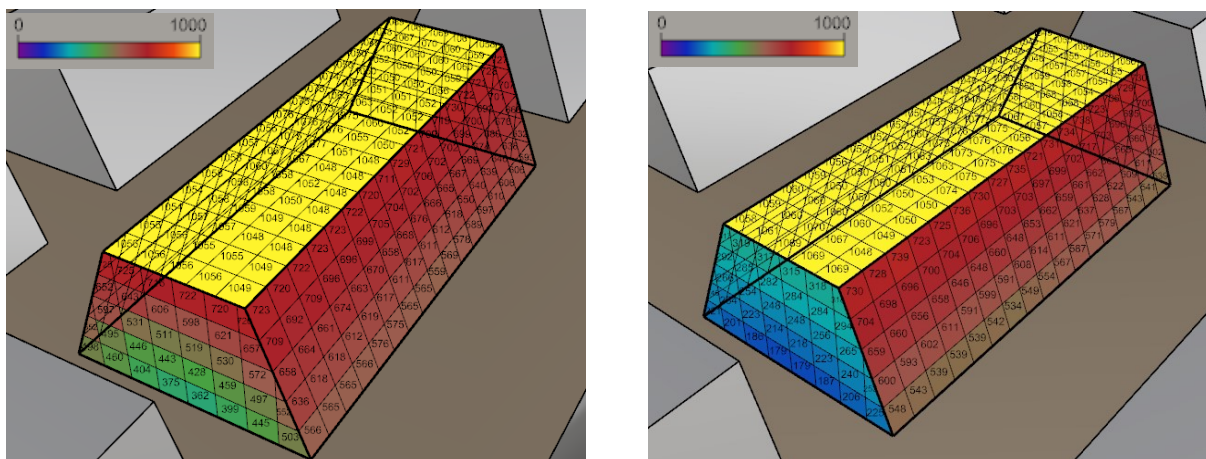
4.2 Vpliv rotacije (na tipu A)

Pri primeru 1 (slika 24) sem objekte na modelu poravnala v smeri sever – jug. S tem se je za 2 % zmanjšal dobiček sončnega sevanja na vzhodni in zahodni fasadi, severna in južna stran pa ostaneta obsevani enako.



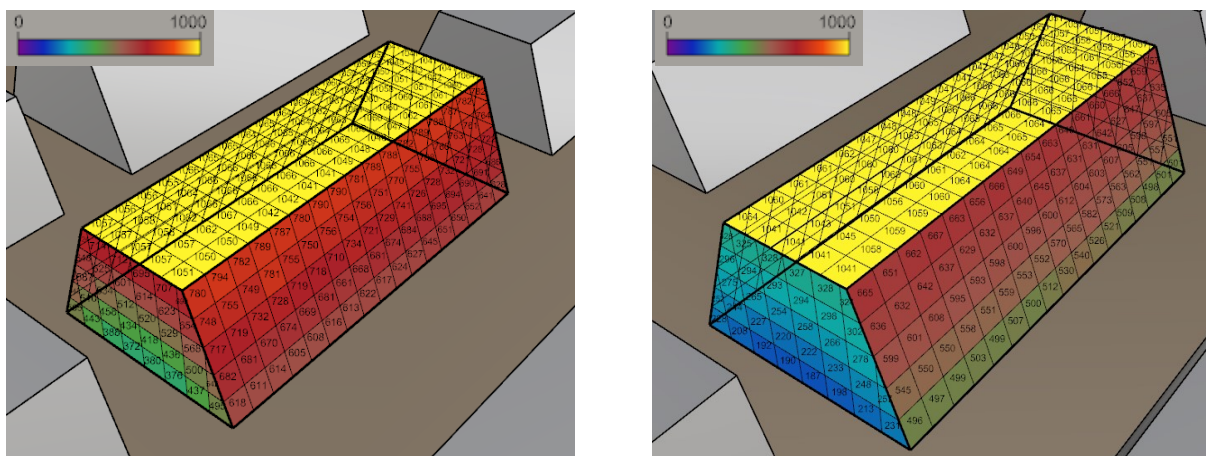
Slika 24: Primer 1, obsevana južna in vzhodna (levo) ter severna in zahodna (desna) stran objekta.

Če naredimo primerjavo z obstoječim modelom, v primeru 2 (slika 25) z rotacijo objektov za 15° od južne smeri proti zahodu dosežemo 3-odstotno povečanje sončnega potenciala na severni fasadi, kar je posledica zasuka zbirne površine proti vzhodu, kjer ploskev že doseže vzhodno jutranje sonce. V večji meri se povečajo sončni dobitki vzhodne fasade, ki so večji za 6 %. Prejeto sončno sevanje za malenkost upade na južni strani objekta, zaradi sukanja proti hladnejši severni strani pa se za 7 % zmanjša vrednost na zahodni fasadi. Potrebna energija za ogrevanje se zniža.



Slika 25: Primer 2, obsevana južna in vzhodna (levo) ter severna in zahodna (desno) stran objekta.

Pri rotaciji objektov za 30° od juga proti zahodu (slika 26) se podobno kot v prejšnjem primeru (slika 25) povečata prispevka severne in vzhodne strani, prva za 9 % in druga za 15 %, zniža pa se sončni potencial južne in zahodne fasade. Na južni fasadi pride do minimalnega znižanja vrednosti, medtem ko se vrednost zahodne fasade zmanjša za 6 %. Energija, potrebna za ogrevanje se poveča.



Slika 26: Primer 3, obsevana južna in vzhodna (levo) ter severna in zahodna (desno) stran objekta.

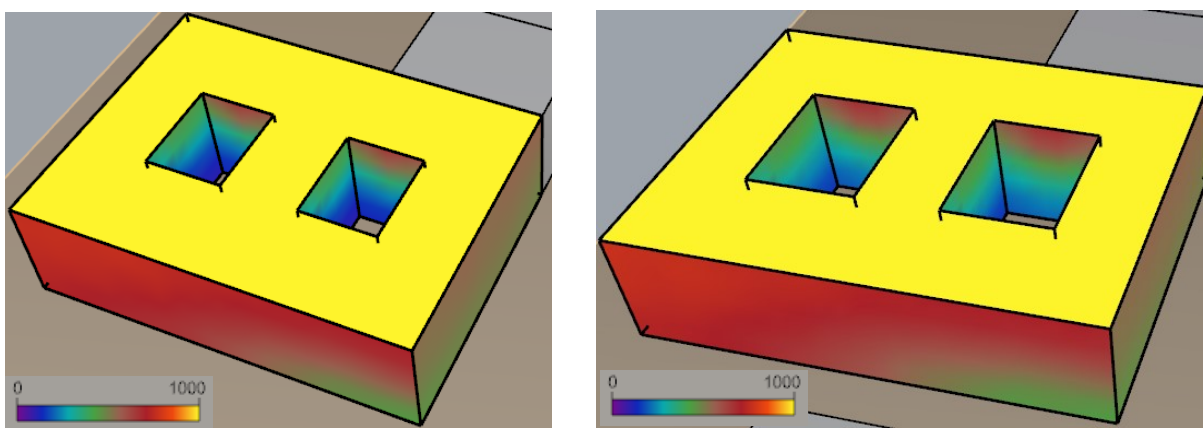
Dobljeni rezultati se skladajo z ugotovitvami raziskav, ki so povzete v člankih v pregledu literature. Gostota pozidave, ima glede na rezultate, velik vpliv na količino prejetega sončnega sevanja, orientiranost pa malo manjši, zaradi oblike objektov. Kot je bilo ugotovljeno v članku avtorjev Košir, Capeluto, Kristl in Krainer [6], je orientiranost objektov povezana z geometrijo stavbe, ki postane pomemben dejavnik pri objektih izrazito vzdolžnih oblik.

4.3 Vpliv velikosti atrija (na tipu B)

Rezultati analize primera obstoječega stanja (slika 27 (levo)) kažejo na slabo osončenost notranjih fasad v primerjavi z zunanjiimi obodnimi površinami. Najmanj sončnega sevanja prejme notranja severna fasada, večje vrednosti dosežeta notranja vzhodna in zahodna, najbolj pa je obsevana notranja južna stran, ki ima pomembno vlogo zbiralne površine, podobno kot zunanja južna stran. Dobra razporeditev

objektov z zadostno medsebojno razdaljo in zamikom v smeri sever – jug zmanjšuje vpliv vzajemnega senčenja, zato razlika med sončnim potencialom južne, vzhodne in zahodne fasade ni tako velika. Povprečje solarnih dobitkov notranjih fasad znaša 226 kWh/m².

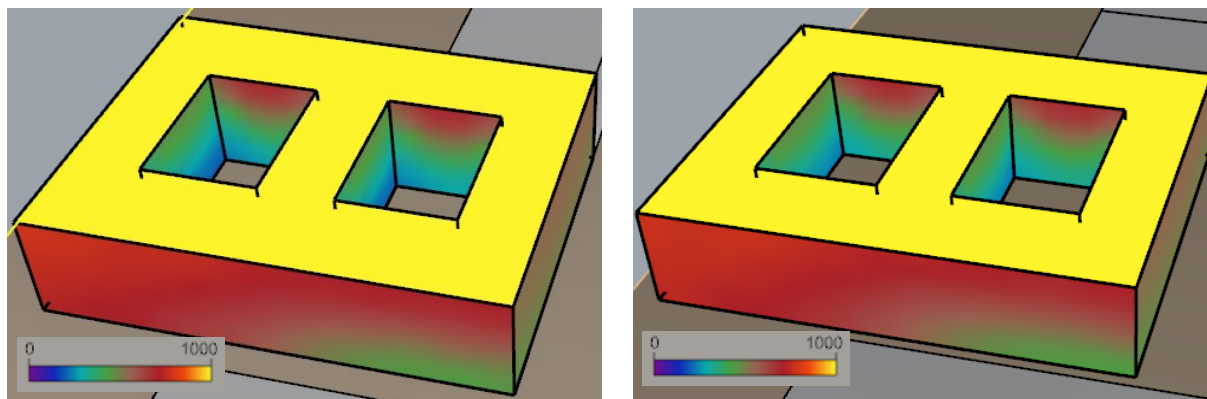
V primeru 2 (slika 27 (desno)) sem objekte razširila za 5 m po širini in dolžini. S tem se je povečala površina notranjega dvorišča opazovanega objekta iz 157 m² na 265 m². Najbolj očitno povečanje solarnih dobitkov imata notranja zahodna in vzhodna stena z 18 % povečanjem, veliko izboljšanje dosežemo tudi pri notranji južni fasadi, kjer vrednost zraste za 16 %, sledi ji notranja severna stena s 15 % povečanjem. Z odpiranjem osrednjega prostora zmanjšujemo vpliv senčenja notranjih površin s strani lastnega objekta in s tem tudi izboljšamo osvetljenost dvorišča. Osončenost zunanjih obodnih fasad se kaj dosti ne spremeni. Povprečje sončnega potenciala na notranjih fasadah je 271 kWh/m² in je za 7 % višje od prvotnega primera. Potrebna energija za ogrevanje objekta se zviša, razlog je v poslabšanju razmerja med površino stavbnega ovoja in prostornino stavbe.



Slika 27: Prejeto sončno sevanja gledano iz JV smeri, primer 1 (levo) in primer 2 (desno).

V primeru 3 (slika 28 (levo)) se nam površina notranjega dela objekta poveča iz 264 m² na 391 m². S tem za 27 % povečamo solarne dobitke na notranji vzhodni in zahodni fasadi, za 24 % na južni fasadi in 22 % povečanje potenciala severne fasade. Povprečni potencial sončne energije notranje orientiranih ploskev znaša 302 kWh/m², kar je v primerjavi s prejšnjim primerom za 10 % boljša izraba sončne energije in za 25 % večje povprečje potenciala sončnega sevanja glede na obstoječe stanje. Zaradi večjih izgub toplote skozi ovoj stavbe se nam ponovno poveča potreba po ogrevanju objekta.

Sprememba širine in dolžine notranjega prostora v primeru 4 (slika 28 (desno)) poveča površino iz prejšnjega primera za 139 m². Obravnavana stavba ima precej veliko dimenzijo tlorisa 72 x 56 in posledično velikost odprtine 19 x 28 m. Velika odprtost omogoča notranjim fasadam večjo izrabo sončnega potenciala; dobitki na vzhodni in zahodni fasadi se povečajo kar za 42 %, na južni za 30 %, na severni steni pa za 27 %. Kljub visokim deležem povečanja prejetega sončnega sevanja, so notranje površine v primerjavi z zunanjimi še vedno mnogo manj obsevane. S pridobljeno večjo površino izgublamo v okolico čedalje več energije, zato potrebna energija za ogrevanje narašča. Z odpiranjem atrija se izboljša povprečni sončni potencial v osrednjem prostoru z začetnih 226 kWh/m² na 326 kWh/m², kar je za 41 % boljši rezultat.



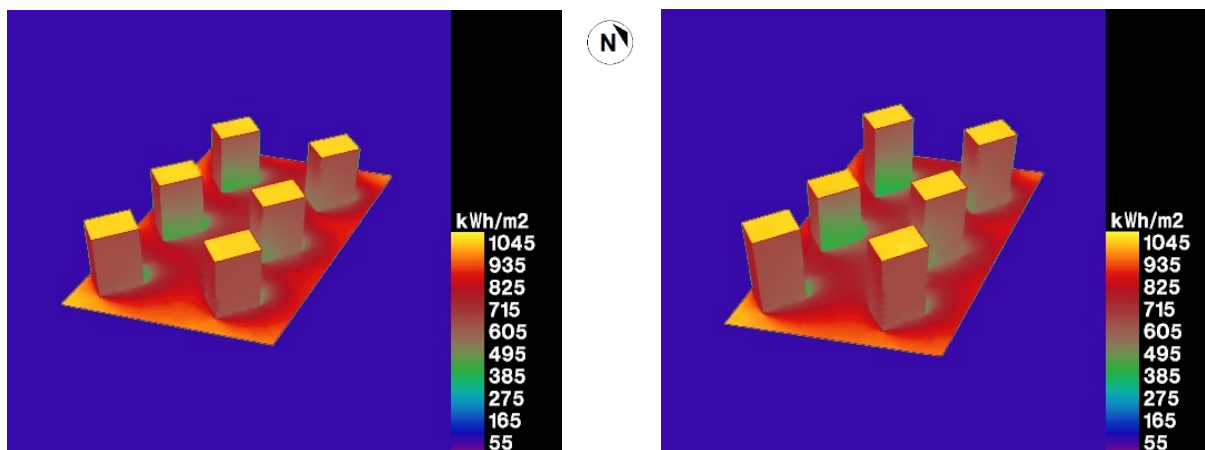
Slika 28: Prejeto sončno sevanje gledano iz JV smeri, primer 3 (levo) in primer 4 (desno).

Dobljeni rezultati se lahko primerjajo z ugotovitvami, ki so bile ugotovljene v študijah povzetih člankov, opisanih v poglavju pregled literature. V primeru atrijev na količino sončnega sevanja v največji meri vpliva obika stavbe.

4.4 Vpliv višine (na tipu C)

V primeru 1 (slika 29 (levo)) je obravnavan obstoječ model pozidave z enako višino vseh objektov. Pri tej analizi bo upoštevan tudi prispevek solarnih dobitkov s strehe, saj se bodo le-ti spreminjali v odvisnosti od višine okoliških objektov zaradi njihovega metanja čedalje daljših senc na opazovan objekt. Streha prispeva največji delež sončnega potenciala in sicer 1052 kWh/m^2 . Južna fasada ima prav tako visoko vrednost, 722 kWh/m^2 . Zaradi usmerjenosti objektov in njihove oblike, prejme vzhodna fasada kljub oviram (okoliški objekti), ki bi lahko poslabšali rezultat, več sončnega sevanja kot zahodna fasada, vzhodna 541 kWh/m^2 in zahodna 501 kWh/m^2 . K temu pripomore tudi precejšnja razdalja med objekti, ki zmanjšuje vpliv medsebojnega senčenja in gostota pozidave s faktorjem zazidanosti 13 %. Severna fasada pričakovano prejme najmanj solarnih dobitkov, 292 kWh/m^2 . Povprečje celotnega potenciala sončnega sevanja za obravnavano stavbo znaša 621 kWh/m^2 .

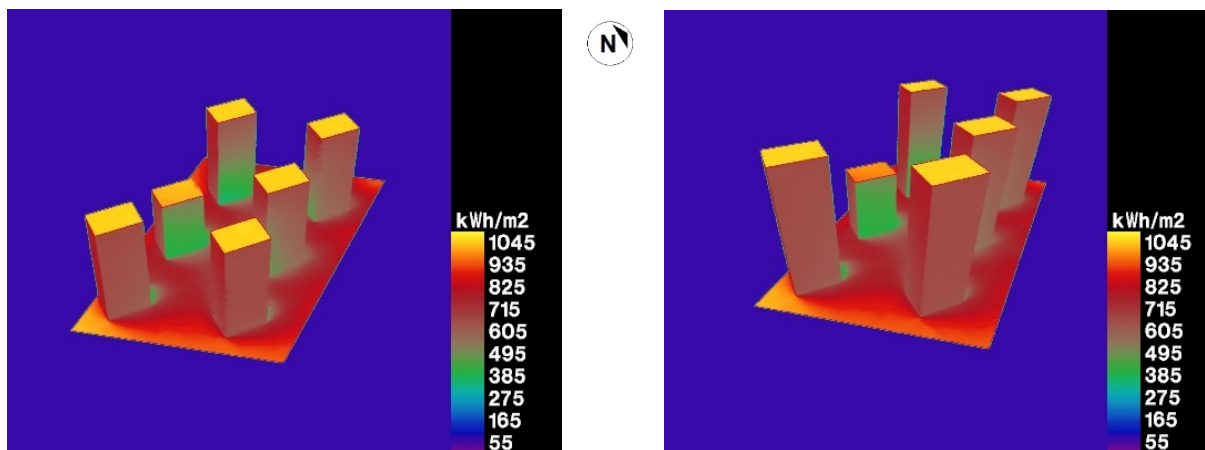
Ko v primeru 2 (slika 29 (desno)) povečamo višino okoliških objektov iz 35 m na 45 m, imamo za posledico bolj izrazito medsebojno senčenje objektov z vzhodne strani, ki se odraža v zmanjšanju solarnih dobitkov vzhodne fasade s 541 kWh/m^2 na 490 kWh/m^2 . Malo manj, za 7%, se poslabša prejeto sončno sevanje severne fasade, za 5% nižji so solarni dobitki južne fasade. Rezultati zahodne fasade ostanejo skozi vse primere skoraj nespremenjeni, saj sprememba višine zaradi na zahodno orientirano fasado ne vpliva. Povprečna vrednost prejetega sončnega sevanja celotnega objekta znaša 598 kWh/m^2 , kar je 4% manj kot v prejšnjem primeru. Z zvišanjem sosednjih objektov povečamo energijo, potrebno za ogrevanje opazovane stavbe. Poleg tega, da stavba prejme manj sončnih dobitkov zaradi senčenja, s povečanjem volumna in površine stavbe, skozi stavbni ovoj izgubimo veliko toplote, ki jo moramo nadomestiti z večjo količino energije za ogrevanje.



Slika 29: Sončno sevanje za model iz primera 1 (levo) in primera 2 (desno).

Primer 3 (slika 30 (levo)) obravnava povečanje višine za 20 m. Podobno kot v prejšnjem primeru se najbolj zmanjša sončni potencial na vzhodni strani objekta, ki je manjši za 9 %, južna fasada ima prav tako 5 % zmanjšanje solarnih dobitkov, minimalno poslabšanje v rezultatu je pri severni fasadi, z 291 kWh/m² na 255 kWh/m² in strehi, s 1051 kWh/m² na 1022 kWh/m². Povprečno prejeta sončno sevanje za objekt znaša 578 kWh/m² in je za 7 % manjše od začetnega primera. Prav tako kot v prejšnjem primeru, se nam zopet poveča energije, potrebna za ogrevanje.

V zadnjem primeru (slika 30 (desno)), sprememba višine objektov na 65 m, najbolj vpliva na zmanjšanje solarnih dobitkov strehe, kjer se vrednost zmanjša s 1022 kWh/m² na 987 kWh/m². Razlog je v zelo velikem senčenju sosednjih objektov, kjer senca lahko pride že čez objekt in ga v celoti prekrije. Potencial sončnega sevanja se pri vzhodni fasadi zniža s 448 kWh/m² na 421 kWh/m². V primerjavi s prejšnjim primerom razlika ni več tolikšna, saj ostane vpliv višine na senčenje enak ali za malenkost večji. Nekoliko se zmanjša tudi prejeta sončno sevanje na severni in južni fasadi, vendar razlika ostaja majhna. Povprečni solarni potencial obravnavanega objekta je 560 kWh/m², kar je za 10 % slabša izkoriščenost sončne energije kot v obstoječem stanju, za 1% pa se zmanjša potrebna energija za ogrevanje stolpnice, kar ni smiselni rezultat; pričakovano je bilo povečanje. Razlog je lahko v variaciji osončenosti ali simulacijski (numerični) napaki v programu.



Slika 30: Sončno sevanje za model iz primera 3 (levo) in primera 4 (desno).

V primerjavi z pregledano literaturo, dobim rezultate, ki potrjujejo, da je geometrija povezana z ustreznim odmikom od stavb in posledično z gostoto pozidave. Nasploh ima oblika pomembno vlogo pri sončnih dobitkih.

5 ZAKLJUČEK

Trajnostno načrtovanje naselij ima pomembno vlogo pri povečanju energijske učinkovitosti stavb. Zaradi zavedanja omejenosti z energenti in njihovega negativnega vpliva na okolje, je čedalje večje zanimanje za vse večjo izrabo sončne energije. Pred umestitvijo objekta v prostor se moramo vprašati, koliko sonca nam je na razpolago, kar je odvisno od lokacije in okoliščin na izbrani lokaciji ter koliko energije za obratovanje stavbe potrebujemo. Na količino prejetega sončnega sevanja vpliva okolica, kamor štejemo razporeditev stavb v različne zazidalne vzorce, razdaljo med objekti in njihovo višino ter sama morfologija objekta kjer je zajeta kompaktnost stavbe in njena usmeritev. V študiji je glede na izbrano morfologijo naselja preučen vpliv parametrov, ki povečujejo ali zmanjšujejo solarne dobitke stavbnega ovoja in uporabo energije za namene ogrevanja. Analiza je bila izvedena za 16 različnih primerov. Obravnavane so bile tri različne pozidave s tipičnimi večstanovanjskimi stavbnimi tipologijami.

Pri tipologiji terasnih blokov sem s spreminjanjem razdalje med objekti ugotovila, da je primerna gostota zazidalnega vzorca pomemben faktor, ki ga je potrebno upoštevati. Z zmanjševanjem razdalje med stavbami se je močno povečeval vpliv medsebojnega senčenja. Potencial sončnega sevanja se je najbolj znižal na južno orientiranih fasadah, zaradi nezadostne razdalje med južno in severno steno. K ublažitvi učinkov vzajemnega senčenja objektov precej pripomore funkcionalna oblika stavbe, saj se poveča izpostavljenost zbiralnih površin objekta. S povečevanjem razdalje med objekti le malo vplivamo na izboljšanje sončnih dobitkov glede na obstoječi primer, kar kaže na dobro načrtovano obstoječo zasnovo naselja. Z morebitnim povečevanjem odmika bi lahko dosegli manjšo gostoto pozidave, kar pa je lahko že neracionalna gradnja. Od orientacije objektov je odvisno, koliko stavbnega ovoja bo izpostavljenega sončnemu sevanju. V obravnavanem primeru zasuk modela do 15° ne prinese velikih sprememb. Sončni dobitki na severni in vzhodni fasadi se malenkostno povečajo, na južni in zahodni fasadi pa zmanjšajo. Pri rotaciji za 30° je povečanje solarnih dobitkov bolj izrazito. Za 15 % se izboljša vrednost na vzhodni in za 9 % na severni fasadi. Hkrati se nam pri povečevanju obsevanja severne strani zmanjšuje vrednost na južni in zahodni fasadi, kar pa s stališča energijske učinkovitosti ni več ustrezno.

V primeru atrijskih blokov je problem velika gostota pozidave in precejšnja višina objektov, ki se odraža v senčenju obodnih zunanjih površin objekta zaradi sosednjih objektov in samosenčenje notranjih površin in dvorišča. V tem primeru je oblika stavbe dejavnik, ki prevladuje. Sončna energija, ki jo prejme stavbni ovoj, je slabo razporejena; so mesta z zelo slabo osončenostjo in deli fasade, ki prejmejo večino sončnega sevanja. Največjo vrednost imajo zunanja južna, vzhodna in zahodna fasada, do 3-krat manjšo vrednost dosežejo površine usmerjene v notranjost atrija. S povečevanjem notranjega volumna se močno izboljša sončni potencial notranjih fasad. Kar opazim je, da z odpiranjem atrija dosežemo podobne rezultate kot pri povečevanju razdalje med objekti, kjer v obeh primerih zmanjšujemo vpliv medsebojnega senčenja objektov. S povečevanjem razmika imamo večji del površine ovoja stavbe v stiku z zunanjim zrakom, kar privede do večjih potreb po ogrevanju. Hkrati pa lahko večje količine prejetega sončnega sevanja na zunanjih fasadah bolje izkoristimo z aktivnimi sistemi za zajem energije (fotovoltaika ali pa solarno termični sistemi) [12].

Analiza vpliva višine je potekala na modelu pozidave s stolpnici. Dejavnik, ki je imel največjo vlogo pri določitvi sončnega potenciala, je bila oblika stavb. V obstoječem primeru pride do največjega zmanjšanja sončnih dobitkov na vzhodni fasadi, zaradi orientacije proti okoliškim objektom. Kljub postavitvi objektov v nepravilno mrežo na precejšnji medsebojni razdalji, imamo prisotno medsebojno senčenje objektov, ki je zaradi visokih stavb še toliko večje. Z večanjem višine se nam konstantno zmanjšuje vrednost sončnega potenciala na vzhodni in deloma tudi na južni fasadi. Pri dani orientaciji

in obliki stavbe je maksimalni zajem sončnega sevanja na strehi. Ko višino sosednjih objektov povečamo za 2-krat, je vpliv metanja senc sosednjih objektov opazen tudi pri zmanjšanju solarnih dobitkov strešne površine, kar je neugodno za rabo sončnega potenciala. Potrebna energija za ogrevanje se nam s povečevanjem višine povečuje z izjemo vrednosti, dobljene pri višini 65 m. Možno odstopanje pripisujem numerični napaki znotraj simulaciji programskega orodja Umi [15].

Na podlagi študije morfologije naselja sem prišla do zaključkov, da z upoštevanjem različnih dejavnikov, kot so gostota pozidave, oblika in usmeritev objektov, lahko dosežemo večjo energijsko učinkovitost stavb. Zaradi čedalje večje okoljske problematike in potratnosti z energijo, je potreba po izkoriščanju sonca, kot obnovljivega vira energije, toliko večja. Lokalne skupščine in javni organi v Sloveniji se z raznimi akcijskimi načrti pri posegu v prostor že v veliki meri poslužujejo varčevanja z energijo. Z zavezo držav članic Evropski Direktivi [12], bi se morali v prihodnje sprejemati trajnostni načrti za energijsko učinkovitost rabe prostora z jasno zastavljenimi cilji, s čimer bi zagotovili velik prihranek energije in znižali stroške.

VIRI

- [1] Capuder, Vidmar, T., Braco, Mušič, V. 2011. Razvoj naselij 1 – od prazgodovine do industrijske revolucije, E-učbenik, Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za krajinsko arhitekturo : 182 str
- [2] Košir, M. Bioklimatsko načrtovanje 2017/2018. 4. Vaja: Osončenost (pridobljeno 21.8.2018)
- [3] Agencija RS za okolje, Urad za meteorologijo, 2005.
<http://meteo.arso.gov.si/met/sl/climate/maps/> (Pridobljeno 21. 8. 2018.)
- [4] Azinovič, D., Kregar, P., Marn, T., Sajovic P., Vujovič, A., Koželj, J. (ur.). 2014. Tipologija večstanovanjskih stavb. Ptujška gora, Založba In Obs Medicus: 268 str.
- [5] Občinski prostorski načrt mestne občine Ljubljana, <https://www.ljubljana.si/sl/moja-ljubljana/urbanizem/obcinski-prostorski-nacrt/> (Pridobljeno 10. 8. 2018.)
- [6] Košir, M., Capeluto, I. G., Krainer, A., Kristl, Ž. 2014. Solar potential in existing urban layouts – Critical overview of the existing building stock in Slovenian context. Energy Policy 69. Elsevier Ltd: p. 443-456.
- [7] Okeil, A. 2010. A holistic approach to energy efficient building forms. Energy and buildings 42, 1437-1444.
- [8] Hachem, C., Athienitis, A., Fazio, P. 2011. Investigation of solar potential of housing units in different neighborhood designs. Energy and Buildings 43: 2262-2273.
- [9] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES), Uradni list RS št. 52/2010
<https://www.uradni-list.si/glasilo-uradni-list-rs/vsebina/2010-01-2856/pravilnik-o-ucinkoviti-rabi-energije-v-stavbah?h=pravilnik%20o%20u%C4%8Dinkoviti%20rabi%20energije> (Pridobljeno 11. 7. 2018.)
- [10] Direktiva o energetske učinkovitosti stavb 2010/31/EU <https://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:SL:PDF> (Pridobljeno 11. 7. 2018.)
- [11] Evropska komisija. Poročilo komisije evropskemu parlamentu in svetu. 2017 COM(2017) 687 final <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:52017DC0687&from=EN> (Pridobljeno 11. 7. 2018.)
- [12] Direktiva 2012/27/EU Evropskega parlamenta in sveta o energetske učinkovitosti, spremembi direktiv 2009/125/ES in 2010/30/EU ter razveljavitvi direktiv 2004/8/ES in 2006/32/ES <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SL/TXT/PDF/?uri=CELEX:32012L0027&qid=1532504425208&from=SL> (Pridobljeno 25. 7. 2018.)
- [13] Tehnična smernica TSG-1-004:2010, RS, Ministrstvo za okolje in prostor
http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/graditev/TSG-01-004_2010.pdf (Pridobljeno 11. 7. 2018.)
- [14] McNeel, R. & Associates, Rhinoceros <https://www.rhino3d.com/> (Pridobljeno 21. 8. 2018.)
- [15] Sustainable Design Lab, Urban Modeling Interface, <http://urbanmodellinterface.ning.com/> (Pridobljeno 21. 8. 2018.)

- [16] Solemma LLC, Diva for Rhino, <http://diva4rhino.com/> (Pridobljeno 21. 8. 2018.)
- [17] Rutten, D., McNeel, R.& Associates, Grasshopper, <https://www.grasshopper3d.com/> (Pridobljeno 21. 8. 2018.)
- [18] Geopedia, http://www.geopedia.si/?params#T105_x499072_y112072_s9_b4 (Pridobljeno 21. 8. 2018.)
- [19] U.S. Department of Energy's (DOE), Energyplus, weather. <https://energyplus.net/weather/sources> (Pridobljeno 25. 7. 2018.)