

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta  
za gradbeništvo  
in geodezijo



Jamova cesta 2  
1000 Ljubljana, Slovenija  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

**DRUGG** – Digitalni repozitorij UL FGG  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Prislan Kodelja, K., 2013. Analiza osončenosti stavbe v tipičnem vzorcu pozidave in njen zapis s parametrično enačbo. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M., somentorica Kristl, Ž.): 74 str.

University  
of Ljubljana

Faculty of  
Civil and Geodetic  
Engineering



Jamova cesta 2  
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia  
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

**DRUGG** – The Digital Repository  
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Prislan Kodelja, K., 2013. Analiza osončenosti stavbe v tipičnem vzorcu pozidave in njen zapis s parametrično enačbo. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M., co-supervisor Kristl, Ž.): 74 pp.

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ  
GRADBENIŠTVA  
KONSTRUKCIJSKA SMER

Kandidatka:

**KATARINA PRISLAN KODELJA**

**ANALIZA OSONČENOSTI STAVBE V TIPIČNEM  
VZORCU POZIDAVE IN NJEN ZAPIS S  
PARAMETRIČNO ENAČBO**

Diplomska naloga št.: 3331/KS

**SOLAR EXPOSURE ANALYSIS OF BUILDINGS IN A  
REGULAR PATTERN AND ITS PARAMETRIC  
EQUATION**

Graduation thesis No.: 3331/KS

**Mentor:**

doc. dr. Mitja Košir

**Predsednik komisije:**

izr. prof. dr. Janko Logar

**Somentorica:**

doc. dr. Živa Kristl

**Član komisije:**

doc. dr. Tomo Cerovšek  
prof. dr. Matej Fischinger

Ljubljana, 25. 10. 2013

## Stran za popravke, Errata

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

## **IZJAVE**

Podpisana Katarina Prislan Kodelja izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge »Analiza osončenosti stavbe v tipičnem vzorcu pozidave in njen zapis s parametrično enačbo«.

Izjavljam, da je elektronska različica v vsem enaka tiskani različici.

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Ljubljana, 1.10.2013

Katarina Prislan Kodelja

## BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK:	523.93:69(497.4)(043.2)
Avtor:	Katarina Prislan Kodelja
Mentor:	doc. dr. Mitja Košir
Somentorica:	doc. dr. Živa Kristl
Naslov:	Analiza osončenosti stavbe v tipičnem vzorcu pozidave in njen zapis s parametrično enačbo
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	74 str., 25 pregl., 14 sl., 12 en., 47 graf., 2 pril.
Ključne besede:	osončenost, parametrična enačba, Shading II, TSG4

### Izveček

V okviru diplomske naloge je bila narejena študija osončenosti objekta v arhetipskem vzorcu pozidave, ki lahko predstavlja sklop enodružinskih hiš, stanovanjskih blokov ali stolpnic, ki so postavljeni kolinearno v danem razmiku. Za analizo osončenosti sem izbrala sredinski objekt v sklopu ter na njem izvedla parametrično študijo osončenosti stavbnega ovoja, kjer sem opazovala vpliv parametrov (dolžina, širina, višina objektov, razdalja med objekti in rotacija vzorca pozidave) na osončenost izbranega objekta. Izračunanih je bilo 270 različnih primerov, ki so se razlikovali v enem izmed parametrov. Izračun potenciala osončenosti in dejanske osončenosti je potekal s pomočjo orodja Shading II v skladu z zahtevami navedenimi v TSG4 [6]. S pomočjo pridobljenih rezultatov je bila narejena natančna analiza pomena posameznega parametra. Izračuni so bili narejeni za 21.3., 21.6. in 21.12., toda analiza je bila narejena zgolj za marčevski primer. Analiza je pokazala nekatera očitna in že prej ugotovljena dejstva ter nekatera manj očitna in manj intuitivna dejstva, ki so v nalogi podrobneje predstavljena. Dodatno pa so pridobljeni rezultati bili podlaga za iskanje matematičnega izraza, s katerim bi osončenost lahko izračunali veliko hitreje. Za hitre urbanistične študije, ko natančna oblika stavb še ni popolnoma znana, je takšna enačba zelo dobrodošla. V kasnejših študijah specifične stavbe pa je potrebno uporabiti bolj natančno metodo. Končni pridobljen matematični izraz vsebuje 8 do 16 (odvisno od primera) koeficientov, katerih vrednost je bila določena s pomočjo orodja Solver v Excel-u. Čeprav prihaja do odstopanj med zapisanimi enačbami ter bolj natančnimi metodami, so ta odstopanja za hitre urbanistične študije popolnoma sprejemljiva.

## **BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

UDC:	523.93:69(497.4)(043.2)
Author:	Katarina Prislan Kodelja
Supervisor:	assist. prof. Mitja Košir
Cosupervisor:	assist. prof. Živa Kristl
Title:	Solar exposure analysis of buildings in a regular pattern and its parametric equation
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Scope and tools:	74 p., 25 tab., 14 fig., 12 eq., 47 graph., 2 ann.
Keywords:	insolation, parametric equation, Shading II, TSG4

### **Abstract**

The thesis conducted a solar exposure study of buildings in a regular pattern which can be represented by a sequence of houses, residential blocks or skyscrapers that are build collinearly within a given spacing. A parametric study was done for the central building in the pattern and the importance of the following parameters was considered: length, width and height of the buildings, the spacing in between buildings and the rotation of the whole building pattern. The calculation was performed for 270 cases which differed in one of the parameters. The isolation potential and the solar exposure was computed using the Shading II tool according to the requirements from TSG4 [6]. The so obtained results were used for the analysis of the importance the parameters which, although having data for 21.3., 21.6. and 21.12., was done for the March case only. The analysis pointed out a series of previously known facts and, additionally, some less intuitive findings which were explained. Furthermore, was the obtained data the basis to develop a mathematical expression which can be used to calculate the solar exposure in a faster way. The expression contains 8 to 16 coefficients which values were determined using the Solver tool from Excel. It was shown that the deviation of the values obtained with the expression justify its use in the initial phases of the building design process when detailed shapes of buildings are not defined jet while in the later phases of the building design more accurate methods are appropriate.

## ZAHVALA

Zahvaljujem se doc. dr. Mitji Koširju in somentorici doc. dr. Živi Krisl, ker sta mi omogočila, da v diplomski nalogi razvijem svojo idejo ter mi pri tem nudila strokovno pomoč in podporo. Za napotke se zahvaljujem tudi prof. dr. Jožefu Peternelju, za strokovno pomoč v zvezi z matematičnimi izrazi pa asist. dr. Marjeti Škapin-Rugelj.

Zahvaljujem se vsem, ki so mi v času študija in pri nastajanju diplomskega dela stali ob strani. Posebej bi se rada zahvalila mami in očetu, ki sta mi omogočila študij in me pri njem spodbujala. Za spodbudne besede, razumevanje in pomoč pri študiju se zahvaljujem možu Roku.

Diplomsko nalogo posvečam svojemu sinu Jakobu, ki mi je popestril zadnje študijsko leto in mi s svojo dobro voljo dajal vedno novih moči.

**KAZALO VSEBINE**

IZJAVE .....	II
BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM .....	III
BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT .....	IV
ZAHVALA .....	V
<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2 TEORETIČNI UVOD IN ZAKONSKA PODLAGA.....</b>	<b>3</b>
<b>2.1 Zakonska podlaga .....</b>	<b>3</b>
2.1.1 Uredba EU o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov in razveljavitvi Direktive sveta 89/106/EGS št. 305/2011 .....	3
2.1.2 Direktiva o energetske učinkovitosti stavb 2010/31/EU [3] .....	3
2.1.3 Direktiva o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov 2009/28/ES [4] .....	4
2.1.4 Pravilnik o učinkoviti rabi energije (PURES 2010) [5] .....	4
2.1.5 Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije [6] .....	4
<b>2.2 Teoretični uvod.....</b>	<b>5</b>
2.2.1 Dosedanje raziskave o osončenosti stavb v skladu z zahtevami PURES 2010.....	5
2.2.2 Raziskava potenciala osončenosti stanovanjskih enot v različnih soseskah .....	6
<b>3 RAZISKOVALNE METODE IN PREDSTAVITEV PROBLEMA.....</b>	<b>8</b>
<b>3.1 Dodatek za Google SketchUp - Shading II.....</b>	<b>8</b>
<b>3.2 Programsko orodje Solver v Excel-u .....</b>	<b>9</b>
<b>3.3 Metoda najmanjših kvadratov .....</b>	<b>10</b>
<b>3.4 Geometrija objekta .....</b>	<b>12</b>
<b>4 REZULTATI IN RAZPRAVA.....</b>	<b>14</b>
<b>4.1 Potencial osončenosti .....</b>	<b>15</b>
4.1.1 Analiza potenciala osončenosti za primere z rotacijami od 0° do 30° .....	18
4.1.1.1 Potencial osončenosti v odvisnosti od dolžine objekta .....	18
4.1.1.2 Potencial osončenosti v odvisnosti od širine objekta .....	19
4.1.1.3 Potencial osončenosti v odvisnosti od višine objekta .....	22
4.1.1.4 Enačba za izračun potenciala osončenosti 21. marca, ki velja za rotacije od 0° do 30°	23
4.1.2 Analiza osončenosti, ki velja za primere z rotacijo 45° .....	26
4.1.2.1 Potencial osončenosti v odvisnosti od dolžine objekta .....	26
4.1.2.2 Potencial osončenosti v odvisnosti od širine .....	27
4.1.2.3 Potencial osončenosti v odvisnosti od višine objekta .....	29



4.1.2.4	Enačba za izračun potenciala osončenosti 21. marca, ki velja za primere z rotacijo 45° .....	30
<b>4.2</b>	<b>Medsebojno senčenje in dejanska osončenost obravnavanega objekta .....</b>	<b>33</b>
4.2.1	Analiza dejanske osončenosti za primere pri rotaciji 0° .....	33
4.2.1.1	Medsebojno senčenje in osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od dolžine objektov .....	33
4.2.1.2	Medsebojno senčenje in osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od širine objektov .....	38
4.2.1.3	Medsebojno senčenje in dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od višine objektov .....	41
4.2.1.4	Medsebojno senčenje in osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od razdalje med objekti .....	44
4.2.1.5	Enačba za izračun dejanske osončenosti 21. marca, ki velja za rotacije od 0° do 30° .....	48
4.2.2	Analiza dejanske osončenosti za primere pri rotaciji 90° .....	51
4.2.2.1	Medsebojno senčenje in osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od dolžine objektov .....	51
4.2.2.2	Medsebojno senčenje in osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od širine objektov .....	55
4.2.2.3	Medsebojno senčenje in dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od višine objektov .....	58
4.2.2.4	Medsebojno senčenje in osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od razdalje .....	61
4.2.2.5	Enačba za izračun dejanske osončenosti 21. marca pri rotaciji 90° .....	65
4.2.3	Ugotovitve analize medsebojnega senčenja in dejanske osončenosti .....	68
4.2.3.1	Vpliv spreminjanja južne stranice .....	68
4.2.3.2	Vpliv spreminjanja vzhodne oz. zahodne stranice .....	69
4.2.3.3	Vpliv spreminjanja višine objektov .....	70
4.2.3.4	Vpliv spreminjanja razdalje med objekti .....	70
<b>5</b>	<b>ZAKLJUČEK .....</b>	<b>71</b>
<b>VIRI</b>	<b>.....</b>	<b>73</b>

**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Prikaz rezultatov, ki jih generira program in njihova interpretacija.....	9
Preglednica 2: Obravnavani primeri, razdeljeni v tri skupine .....	15
Preglednica 3 : Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij ter predstavitev rezultatov potenciala osončenosti obravnavanega objekta za spreminjajočo se dolžino pri rotaciji 0° ..	18
Preglednica 4: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij ter predstavitev rezultatov potenciala osončenosti obravnavanega objekta za spreminjajočo se širino pri rotaciji 0° .....	19
Preglednica 5: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij ter predstavitev rezultatov potenciala osončenosti obravnavanega objekta za spreminjajočo se višino pri rotaciji 0° ....	22
Preglednica 6: Koeficienti a0 do a10 za izračun potenciala osončenosti 21. marca pri rotacijah od 0° do 30° .....	23
Preglednica 7: Naključno izbrani primeri za kontrolo enačbe (9) .....	25
Preglednica 8: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij ter predstavitev rezultatov potenciala osončenosti obravnavanega objekta za spreminjajočo se dolžino pri rotaciji 45°	26
Preglednica 9: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij ter predstavitev rezultatov potenciala osončenosti obravnavanega objekta za spreminjajočo se širino pri rotaciji 45° ...	27
Preglednica 10: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij ter predstavitev rezultatov potenciala osončenosti obravnavanega objekta za spreminjajočo se višino objekta pri rotaciji 45° .....	29
Preglednica 11: Koeficienti a0 do a9 za izračun potenciala osončenosti 21. marca pri rotaciji 45° .....	30
Preglednica 12: Naključni primeri za kontrolo enačbe (10).....	32
Preglednica 13: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij, predstavitev rezultatov dejanske osončenosti obravnavanega primera ter razlike osončenosti za spreminjajočo se dolžino pri rotaciji 0° .....	33
Preglednica 14: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij, predstavitev rezultatov dejanske osončenosti obravnavanega primera ter razlike osončenosti za spreminjajočo se širino pri rotaciji 0° .....	38
Preglednica 15: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij, predstavitev rezultatov dejanske osončenosti obravnavanega primera ter razlike osončenosti za spreminjajočo se višino pri rotaciji 0° .....	41
Preglednica 16: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij, predstavitev rezultatov dejanske osončenosti obravnavanega primera ter razlike osončenosti za spreminjajočo se razdaljo med objekti pri rotaciji 0° .....	44
Preglednica 17: Koeficienti b0 do b14 za izračun dejanske osončenosti 21. marca pri rotacijah od 0° do 45° .....	48
Preglednica 18: Naključno izbrani primeri za kontrolo enačbe (11) .....	50
Preglednica 19: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij, predstavitev rezultatov potenciala osončenosti, dejanske osončenosti obravnavanega primera ter razlike osončenosti za spreminjajočo se dolžino pri rotaciji 90° .....	51
Preglednica 20: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij, predstavitev rezultatov potenciala osončenosti, dejanske osončenosti obravnavanega primera ter razlike osončenosti za spreminjajočo se širino pri rotaciji 90° .....	55

Preglednica 21: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij, predstavitev rezultatov potenciala osončenosti, dejanske osončenosti obravnavanega primera ter razlike osončenosti za spreminjajočo se višino pri rotaciji $90^\circ$ .....	58
Preglednica 22: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij, predstavitev rezultatov potenciala osončenosti, dejanske osončenosti obravnavanega primera ter razlike osončenosti za spreminjajočo se razdaljo med objekti pri rotaciji $90^\circ$ .....	61
Preglednica 23: Koeficienti $b_0$ do $b_{13}$ za izračun dejanske osončenosti 21. marca pri rotacijah od $45^\circ$ do $90^\circ$ .....	65
Preglednica 24: Naključno izbrani primeri za kontrolo enačbe (12) .....	67
Preglednica 25: Prikaz vpliva medsebojnega senčenja v odvisnosti od razdalje med objekti za tri različne skupine primerov .....	70

**KAZALO GRAFIKONOV**

Grafikon 1: Potencial osončenosti v odvisnosti od rotacije za primere prve skupine.....	16
Grafikon 2: Potencial osončenosti v odvisnosti od rotacije za primere druge skupine .....	16
Grafikon 3: Potencial osončenosti v odvisnosti od rotacije za primere tretje skupine.....	17
Grafikon 4: Potencial osončenosti 21. marca v odvisnosti od dolžine (L) objekta za rotacijo 0° .....	19
Grafikon 5: Potencial osončenosti 21. marca v odvisnosti od širine (Š) objekta za rotacijo 0° .....	20
Grafikon 6: Potencial osončenosti 21. marca v odvisnosti od višine (V) objekta za rotacijo 0° .....	23
Grafikon 7: Primerjava izračunane vrednosti s pomočjo enačbe (9) in vrednosti potenciala osončenosti, ki jo generira program .....	24
Grafikon 8: Odstopanje izračunanih vrednosti od vrednosti pridobljenih s pomočjo programa za 21. marec pri rotacijah od 0° do 30° .....	24
Grafikon 9: Potencial osončenosti 21. marca v odvisnosti od dolžine (L) objekta za rotacijo 45° .....	27
Grafikon 10: Potencial osončenosti 21. marca v odvisnosti od širine (Š) objekta za rotacijo 45° .....	28
Grafikon 11: Potencial osončenosti 21. marca v odvisnosti od višine (V) objekta za rotacijo 45° .....	30
Grafikon 12: Primerjava izračunane vrednosti s pomočjo enačbe (10) in vrednosti potenciala osončenosti, ki jo generira program .....	31
Grafikon 13: Odstopanje izračunanih vrednosti od vrednosti pridobljenih s pomočjo programa za 21. marec pri rotaciji 45° .....	31
Grafikon 14: Razlika osončenosti v odvisnosti od dolžine objekta (L), 21. marca pri rotaciji 0° .....	35
Grafikon 15: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od dolžine objektov za primer razdalje med objekti 10 m pri rotaciji 0° .....	36
Grafikon 16: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od dolžine objektov za primer razdalje med objekti 20 m pri rotaciji 0° .....	36
Grafikon 17: Razlika osončenosti v odvisnosti od širine objekta (Š), 21. marca pri rotaciji 0°	39
Grafikon 18: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od širine objekta za primer razdalje med objekti 10 m pri rotaciji 0° .....	40
Grafikon 19: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od širine objekta za primer razdalje med objekti 20 m pri rotaciji 0° .....	40
Grafikon 20: Razlika osončenosti v odvisnosti od višine objekta (V) za razdaljo R = 10 m, 21. marca pri rotaciji 0° .....	42
Grafikon 21: Razlika osončenosti v odvisnosti od višine objektov (V) za razdaljo R = 20 m, 21. marca pri rotaciji 0° .....	43
Grafikon 22: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od višine za primer razdalje med objekti 10 m pri rotaciji 0° .....	43
Grafikon 23: Razlika osončenosti v odvisnosti od razdalje med objekti (R), 21. marca pri rotaciji 0°, ko sta stranici objektov enaki.....	45
Grafikon 24: Razlika osončenosti v odvisnosti od razdalje med objekti (R), 21. marca pri rotaciji 0°, ko je dolžina večja od širine objekta .....	46

Grafikon 25: Razlika osončenosti v odvisnosti od razdalje med objekti (R), 21. marca pri rotaciji $0^\circ$ , ko je dolžina manjša od širine objekta .....	46
Grafikon 26: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od razdalje med objekti, 21. marca pri rotaciji $0^\circ$ , kjer sta dolžina in širina objekta enaki.....	47
Grafikon 27: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od razdalje med objekti, 21. marca pri rotaciji $0^\circ$ , kjer je dolžina večja od širine objekta.....	47
Grafikon 28: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od razdalje med objekti, 21. marca pri rotaciji $0^\circ$ , kjer je dolžina manjša od širine objekta.....	47
Grafikon 29: Primerjava izračunane vrednosti s pomočjo enačbe (11) in vrednosti dejanske osončenosti, ki jo generira program .....	49
Grafikon 30: Odstopanje izračunanih vrednosti od vrednosti pridobljenih s pomočjo programa za 21. marec pri rotacijah od $0^\circ$ do $30^\circ$ .....	49
Grafikon 31: Razlika osončenosti v odvisnosti od dolžine objektov, 21. marca pri rotaciji $90^\circ$ .....	53
Grafikon 32: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od dolžine objekta za primer razdalje med objekti 10 m pri rotaciji $90^\circ$ .....	54
Grafikon 33: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od dolžine objekta za primer razdalje med objekti 20 m pri rotaciji $90^\circ$ .....	54
Grafikon 34: Razlika osončenosti v odvisnosti od širine objekta (Š), 21. marca pri rotaciji $90^\circ$ .....	56
Grafikon 35: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od širine objekta za primer razdalje med objekti 10 m pri rotaciji $90^\circ$ .....	57
Grafikon 36: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od širine objekta za primer razdalje med objekti 20 m pri rotaciji $90^\circ$ .....	57
Grafikon 37: Razlika osončenosti v odvisnosti od višine objekta (V) za primer 21. marca pri rotaciji $90^\circ$ .....	59
Grafikon 38: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od širine objekta za primer razdalje med objekti 10 m pri rotaciji $90^\circ$ .....	60
Grafikon 39: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od širine objekta za primer razdalje med objekti 20 m pri rotaciji $90^\circ$ .....	60
Grafikon 40: Razlika osončenosti v odvisnosti od razdalje med objekti (R), 21. marca pri rotaciji $90^\circ$ , ko sta stranici objektov enaki.....	62
Grafikon 41: Razlika osončenosti v odvisnosti od razdalje med objekti (R), 21. marca pri rotaciji $90^\circ$ , ko je dolžina večja od širine objekta .....	63
Grafikon 42: Razlika osončenosti v odvisnosti od razdalje med objekti (R), 21. marca pri rotaciji $90^\circ$ , ko je dolžina manjša od širine objekta .....	63
Grafikon 43: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od razdalje med objekti, 21. marca pri rotaciji $90^\circ$ , kjer sta dolžina in širina objekta enaki.....	64
Grafikon 44: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od razdalje med objekti, 21. marca pri rotaciji $90^\circ$ , kjer je dolžina večja od širine objekta.....	64
Grafikon 45: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od razdalje med objekti, 21. marca pri rotaciji $90^\circ$ , kjer je dolžina manjša od širine objekta.....	64
Grafikon 46: Primerjava izračunane vrednosti s pomočjo enačbe (12) in vrednosti dejanske osončenosti, ki jo generira program .....	66
Grafikon 47: Odstopanje izračunanih vrednosti od vrednosti pridobljenih s pomočjo programa za 21. marec pri rotacijah od $45^\circ$ do $90^\circ$ .....	66

**KAZALO SLIK**

Slika 1: Sklop treh objektov različnih dimenzij, ki jih obravnavan vzorec pozidave zajema .....	2
Slika 2: Izhodiščni model.....	12
Slika 3: Primer spreminjanja rotacije po korakih .....	13
Slika 4: Prikaz senčne zahodne stranice za 1. primer pri različnih širinah .....	21
Slika 5: Senčenje sosednjih objektov za 1. primer, 21. marca pri rotaciji 0° .....	35
Slika 6: Prikaz senčenja sosednjih objektov za 4. primer pri različnih dolžinah L za rotacijo 0° .....	35
Slika 7: Prikaz medsebojnega senčenja za 1. primer pri različnih dolžinah L za rotacijo 90°	53
Slika 8: Tloris postavitve objektov v smeri S-J (vpliv južne stranice).....	68
Slika 9: Tloris postavitve objektov v smeri V-Z (vpliv južne stranice) .....	68
Slika 10: Tloris postavitve objektov v smeri S-J (vpliv vzhodne stranice).....	69
Slika 11: Tloris postavitve objektov v smeri V-Z (vpliv vzhodne stranice) .....	69
Slika 12: Stranice objektov so enake.....	70
Slika 13: Južna stranica je daljša od vzhodne .....	70
Slika 14: Vzhodna stranica je daljša od južne .....	70

*»Na svetu si, da gledaš sonce.  
Na svetu si, da greš za soncem.  
Na svetu si, da sam si sonce.  
In da s sveta odganjaš sence.«*

*Tone Pavček*

## 1 UVOD

Na evropski ravni obstaja nemalo dokumentov, katerih cilj je ustvariti zdravo bivalno in delovno okolje ter energetska neodvisnost stavb. S pomočjo učinkovite rabe energije in izkoriščanja obnovljivih naravnih virov je ta cilj tudi mogoče doseči.

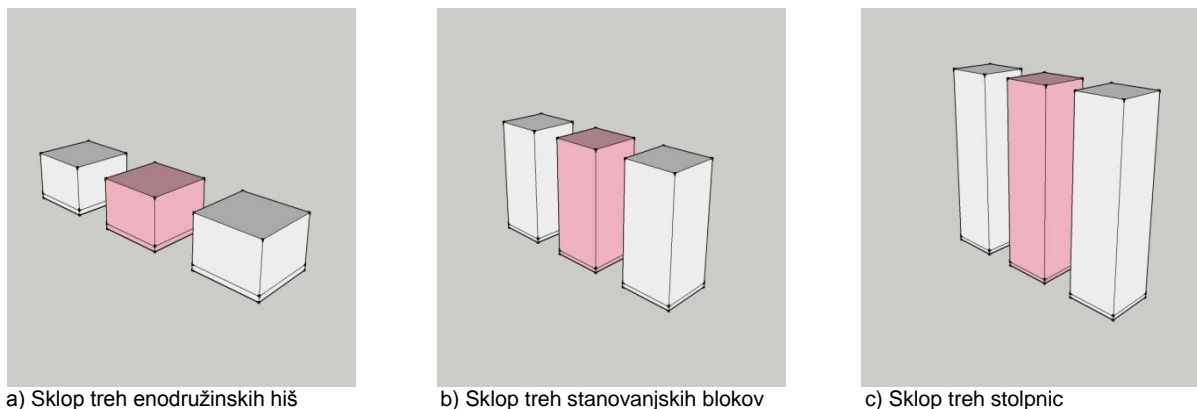
Uredba EU o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov in razveljavitvi Direktive sveta 89/106/EGS št. 305/2011 [1] (v nadaljevanju Uredba 305/2011), ki je nadomestila direktivo o gradbenih proizvodih 89/106/EEC [2] (v nadaljevanju DGP 89/106/EEC), poleg že prej določenih zahtev o varčevanju z energijo in ohranjanju toplote, dodaja novo zahtevo o trajnostni rabi naravnih virov. Direktiva o energetske učinkovitosti stavb 2010/31/EU [3] spodbuja izboljšanje energetske učinkovitosti stavb v Evropski uniji ter strmi k gradnji skoraj nič-energijskih stavb. Pomemben dokument pa je tudi Direktiva o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov 2009/28/ES [4]. Vsi ti dokumenti naj bi pripomogli k izpolnitvi zastavljenega cilja Evropske unije, da bo leta 2020 dosežen 20-odstotni prihranek primarne energije.

Da bi Slovenija sledila zastavljenim ciljem Evropske unije, je leta 2010 bil sprejet Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (v nadaljevanju PURES 2010) [5], ki ureja rabo energije v stavbah in je začel veljati januarja 2011. Skupaj z njim je potrebno ustrezati zahtevam, ki jih navaja Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije (v nadaljevanju TSG4) [6].

Eden glavnih naravnih obnovljivih virov energije je sonce oziroma sončno sevanje, čigar dostop, skladno z vsemi omenjenimi pravilniki, moramo zagotoviti vsem stavbam. Tako je zadostna osončenost stavbnega ovoja, ki predstavlja vpad direktnega sončnega sevanja na stavbni ovoj, ena od zahtev Evropske in nacionalne zakonodaje.

Na tem področju je bilo narejenih veliko raziskav, ena redkih, ki upošteva nove smernice pa je študija osončenosti na tipičnih zazidalnih vzorcih v Sloveniji in je predstavljena v članku Analiza osončenosti stavb v skladu z zahtevami PURES 2010 [7]. Pomen načrtovanja objektov z vidika osončenosti pa je predstavljen v članku Investigation of solar potential of housing units in different neighborhood designs avtorjev Hachem, Athienitis, Fazio [8].

V okviru diplomske naloge sem za študijo osončenosti izbrala vzorec pozidave, ki je zelo pogost. To je sklop objektov, ki lahko predstavlja sklop enodružinskih hiš, stanovanjskih blokov ali stolpnic, ki so postavljeni kolinearno na nekem določenem razmiku (Slika 1). Takšen vzorec pozidave sem izbrala, ker je pogosto uporabljen v praksi, tako da so tudi pridobljeni rezultati pogosto uporabni. Za analizo osončenosti sem izbrala sredinski objekt v sklopu (v nadaljevanju *obravnava objekt*) ter na njem izvedla parametrično študijo osončenosti stavbnega ovoja. Razlog za izbiro sredinskega objekta je dejstvo, da so vrednosti osončenosti za objekte, ki ležijo na robu, lahko le večje in torej obravnavam najslabši možen primer. Namen diplomske naloge je bil raziskati vpliv geometrije objektov (njihove dolžine, širine in višine), vpliv oddaljenosti od sosednjih objektov in vpliv orientacije na osončenost stavbnega ovoja.



Slika 1: Sklop treh objektov različnih dimenzij, ki jih obravnavan vzorec pozidave zajema

Objektom sem spreminjala dolžino, širino, višino, razdaljo med njimi ter njihovo rotacijo glede na smer sever. Zanimalo me je, kako se osončenost spreminja v odvisnosti od posameznih parametrov oziroma kako ti parametri medsebojno vplivajo. Vsi izračuni so bili narejeni skladno s TSG4 [6]. Izračuni so bili narejeni za 21.3., 21.6. in 21.12., toda analiza je bila narejena le za marčevski primer. 21.3. je namreč ravno med dvema ekstremoma in je najbolj problematičen mesec, kar je razvidno tudi v [7], hkrati pa so zahteve navedene v TSG4 v tem primeru najstrožje. Dodatno pa je bila s tem omejena količina dela na obvladljivo raven. Preostali rezultati so prikazani v Prilogi A. Vrednosti osončenosti stavbnega ovoja so bile pridobljene s pomočjo računalniškega orodja, in sicer s pomočjo dodatka Shading II [9] programa Google SketchUp [10].

Diplomsko delo obsega tudi iskanje matematičnega izraza, s katerim se izračuna osončenost kot funkcijo že omenjenih parametrov. S pomočjo programskega orodja Solver v Excelu [11] sem poiskala parametrične enačbe, s pomočjo katerih je moč izračunati vrednosti osončenosti le ob poznavanju geometrije in rotacije preprostega objekta. Namen pridobljenih enačb je omogočiti uporabniku hitro oceno potenciala osončenosti objekta pravokotne oblike in oceno dejanske osončenosti tega objekta v primeru obravnavanega vzorca pozidave. V zgodnjih fazah urbanističnega načrtovanja, ko natančna oblika stavbe še ni popolnoma znana in se ustrezni zazidalni vzorci ter maksimalni volumni še iščejo, je takšna enačba dobrodošla, medtem ko je v kasnejših fazah načrtovanja pri specifičnih stavbah potrebno uporabiti bolj natančne metode. V diplomski nalogi so predstavljene enačbe za marčevski primer, enačbe za vse ostale primere pa so zapisane v Prilogi B.

Diplomska naloga je sestavljena iz štirih delov od katerih prvi uvede vso potrebno terminologijo in predstavlja teoretični uvod v tematiko (poglavje 2 *Teoretični uvod in zakonska podlaga*). V drugem delu so predstavljene raziskovalne metode (poglavje 3 *Raziskovalne metode in predstavitev problema*), v tretjem pa rezultati in njihova podrobna analiza (poglavje 4 *Rezultati in razprava*). V zadnjem delu so povzete glavne ugotovitve diplomske naloge (poglavje 5 *Zaključek*).



## 2 TEORETIČNI UVOD IN ZAKONSKA PODLAGA

### 2.1 Zakonska podlaga

Na evropski ravni številni dokumenti narekujejo državam članicam pravila, s pomočjo katerih naj bi dosegli zdravo bivalno in delovno okolje in energetske neodvisnost stavb. Učinkovita raba energije in izkoriščanje naravnih virov naj bi EU pripeljalo do zastavljenega cilja, da bo leta 2020 dosežen 20-odstotni prihranek primarne energije. V Sloveniji za doseg tega cilja skrbi PURES 2010, ki ureja rabo energije v stavbah.

V nadaljevanju so predstavljeni posamezni zakonodajni dokumenti, ki pa so le splošne smernice, saj so zahteve glede osončenosti v Sloveniji namreč navedene le v TSG4. S tem, ko so te zahteve izpolnjene, pa je objektom dano, da izkoriščajo sonce kot naravni vir energije, posledično imajo manjšo porabo energije, so energetske bolj učinkoviti, skratka sledijo zahtevam evropske zakonodaje. Seveda pa je to le eden izmed korakov do izpolnitve zelenih ciljev EU.

#### 2.1.1 Uredba EU o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov in razveljavitvi Direktive sveta 89/106/EGS št. 305/2011

Šesta osnovna zahteva za gradbene objekte, ki jo navaja Uredba 305/2011 [1], »Varčevanje z energijo in ohranjanje toplote«, se glasi:

»Gradbeni objekti ter njihove naprave za ogrevanje, hlajenje, razsvetljavo in zračenje morajo biti načrtovani in grajeni tako, da je ob upoštevanju oseb v objektu in lokalnih podnebnih razmer poraba energije pri uporabi objekta in naprav majhna. Gradbeni objekti morajo biti tudi energetske učinkoviti ter med gradnjo in rušenjem porabiti čim manj energije.«

Sedma osnovna zahteva iste uredbe, »Trajnostna raba naravnih virov«, pa pravi:

»Gradbeni objekti morajo biti načrtovani, grajeni in zrušeni tako, da je raba naravnih virov trajnostna in da se zagotovi predvsem naslednje:

- a) ponovna uporaba ali možnost recikliranja gradbenih objektov, gradbenega materiala in delov po zrušenju;
- b) trajnost gradbenih objektov;
- c) uporaba okoljsko združljivih surovin in sekundarnih materialov v gradbenih objektih.«

#### 2.1.2 Direktiva o energetske učinkovitosti stavb 2010/31/EU [3]

»Ta direktiva ob upoštevanju zunanjih klimatskih in lokalnih pogojev ter notranjih klimatskih zahtev in stroškovne učinkovitosti spodbuja izboljšanje energetske učinkovitosti stavb v Uniji.«

Ena od zahtev, ki jih direktiva določa, je v zvezi s povečanjem skoraj nič – energijskih stavb. Skoraj nič-energijska stavba pa je definirana v Členu 2 te direktive, Opredelitev pojmov.

»Skoraj nič-energijska stavba pomeni stavbo z zelo visoko energetske učinkovitostjo, določeno v skladu s Prilogo 1. Za skoraj nič potrebne energije oziroma zelo majhno količino potrebne energije bi v zelo veliki meri morala zadostovati energija iz obnovljivih virov, vključno z energijo iz obnovljivih virov, proizvedeno na kraju samem ali v bližini.«

### **2.1.3 Direktiva o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov 2009/28/ES [4]**

»Glede na stališča, ki so jih zavzeli Evropski parlament, Svet in Komisija, je primerno določiti obvezne nacionalne cilje, skladne z 20-odstotnim deležem energije iz obnovljivih virov in 10-odstotnim deležem energije iz obnovljivih virov v sektorju prometa v porabi energije Skupnosti do leta 2020.«

### **2.1.4 Pravilnik o učinkoviti rabi energije (PURES 2010) [5]**

Temelja vsebinska člena tega pravilnika sta šesti in osmi.

#### 6. člen (robni pogoji)

»-Pri zagotavljanju učinkovite rabe energije v stavbah je treba upoštevati celotno življenjsko dobo stavbe, njeno namembnost, podnebne podatke, materiale konstrukcije in ovoja, lego in orientiranost, parametre notranjega okolja, vgrajene sisteme in naprave ter uporabo obnovljivih virov energije.«

#### 8. člen (arhitekturna zasnova)

»-Stavbo je treba zasnovati in graditi tako, da je energijsko ustrezno orientirana, da je razmerje med površino toplotnega ovoja stavbe in njeno kondicionirano prostornino z energijskega stališča ugodno, da so prostori v stavbi energijsko optimalno razporejeni, in da materiali in elementi konstrukcije ter celotna zunanja površina stavbe omogočajo učinkovito upravljanje z energijskimi tokovi.«

### **2.1.5 Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije [6]**

Na osončenost se nanaša Tehnična smernica, ki jo določa PURES 2010. Zahteve so navedene v poglavju 2.2 arhitekturna zasnova, člen 1., 3 alineja in se glasijo:

»Sončnemu sevanju izpostavljena površina zunanjega ovoja stavbe (zbiralna površina), ki opravlja toplotno energijsko funkcijo (zunanje stene in streha), mora biti osončena od povprečne višine 1 m nad terenom navzgor, v času:

- zimskega solsticija (21.12) najmanj 2 uri, upošteva se horizontalna projekcija vpadnega kota sonca v območju  $\pm 30^\circ$  od smeri jug,
- ekvinokcija (21.03. in 23.09.) najmanj 4 ure, upošteva se horizontalna projekcija vpadnega kota sonca v območju  $\pm 60^\circ$  odstopanja od smeri jug,
- poletnega solsticija (21.06.) najmanj 6 ur, upošteva se horizontalna projekcija vpadnega kota sonca v območju  $\pm 110^\circ$  od smeri jug«.

Preveriti sem torej morala osončenost stavbnega ovoja za štiri kritične dni v letu. Kar se tiče analize osončenosti stavbnega ovoja se za 21.3. in 23.9 lahko privzame simetrično situacijo, zato sem izračun naredila le za 21.3. »Trajanje osončenosti stavbnega ovoja predstavlja minimalno časovno obdobje, v katerem mora biti obravnavani del stavbnega ovoja osončen 100-odstotno.« [7] S tlorisno projekcijo sonca in z odmiki od južne strani je določeno tudi v katerem časovnem obdobju morajo te zahteve biti izpolnjene, zato sem:

- za 21.03. upoštevala rezultante osončenosti izračunane za čas od 9.00 do 15.00. Maksimalno trajanje osončenosti znaša 390 min, zahtevana 100% osončenost po TSG4 pa 240 min,
- za 21.06. upoštevala rezultante osončenosti izračunane za čas od 6.00 do 17.30. Maksimalno trajanje osončenosti znaša 720 min, zahtevana 100% osončenost po TSG4 pa 360 min,
- za 21.12 upoštevala rezultante osončenosti izračunane za čas od 10.00 do 13.30. Maksimalno trajanje osončenosti znaša 240 min, zahtevana 100% osončenost po TSG4 pa 120 min.

Pri izračunu sem morala paziti tudi na to, katere površine stavbnega ovoja upoštevam. Merodajne so namreč le tiste površine, ki omogočajo neposredni ali posredni zajem sončnega sevanja. Upoštevala sem torej površine, katerih normala na ploskev kaže izven območja  $\pm 45^\circ$  glede na sever, 1 m nad terenom navzgor, ter površino, ki predstavlja streho objekta.

## 2.2 Teoretični uvod

### 2.2.1 Dosedanje raziskave o osončenosti stavb v skladu z zahtevami PURES 2010

PURES 2010 uvaja zahteve pri gradnji stavb, ki omogočajo, da bi Slovenija sledila zastavljenim zahtevam EU glede zmanjšanja porabe energije. Celovit pregleden članek iz področja, je moč najti v [7], ki je tu povzet. Avtorji so zapisali, da je »najpomembnejša funkcija bivalnega in delovnega okolja dinamična komunikacija z zunanjim okoljem. Ta pa je povezana tako z oblikovanjem zdravega, udobnega in prijetnega okolja, kot tudi z učinkovito uporabo razpoložljivih naravnih virov, od zraka in dnevne svetlobe do toplotne energije.« Dva specifična cilja pri porabi energije v stavbah sta:

- strateški cilj, ki predvideva optimalno izrabo dnevne svetlobe in kakovosti zraka ter izrabo toplotnega dela sončnega sevanja,
- taktični cilj pa (blizu) ničenergijsko hišo - učinkovita raba energije.

Če je energija, ki prihaja iz neobnovljivih virov majhna, lahko vodi do glavnega cilja: »zdravega bivalnega in delovnega okolja ter energetske neodvisnosti«. Kot obnovljiv vir energije lahko izkoriščamo sonce pri vpadnih kotih, ki so določeni v TSG4.

V članku je predstavljena študija osončenosti petih tipičnih primerov realnih pozidav:

- naselje individualnih družinskih hiš (dva primera),
- naselje večstanovanjskih blokov (dva primera),

- naselje večstanovanjskih stolpnic (en primer).

Izbrane pozidave predstavljajo dejansko stanje in prikazujejo potencialno izkoriščanje sončnega sevanja v Sloveniji.

Študija je bila narejena s pomočjo računalniškega orodja Shading II v skladu z zahtevami iz TSG4 za tri kritične dni v letu (21.3., 21.6. in 21.12.) ter z upoštevanjem strehe in brez upoštevanja strehe in sosednjih stavb, ob predpostavki ravnega terena. S pomočjo takšne strukture analize so avtorji lahko predstavili vplivne faktorje glede osončenosti stavbnega ovoja. Razdelili so jih v dve skupini, in sicer:

- morfološki vpliv okolice, ki predstavlja gostoto in geometrijo pozidave zazidalnega vzorca,
- morfološki vpliv stavbe, ki predstavlja obliko, orientacijo in strukturo posameznih površin.

Vpliva skupaj prispevata h končni osončenosti stavbnega ovoja. Izkazalo se je, da noben izmed parametrov ne prevladuje ter da je trajanje osončenosti vedno odvisno od kombinacije različnih parametrov.

Ugotovljeno je bilo, da se z zmanjševanjem razdalje med sosednjimi stavbami nelinearno povečuje vpliv senčenja. Ker je vzorec postavitve stavb v prostoru povezan z razdaljo med posameznimi stavbami, lahko odločilno vpliva na osončenost stavbnega ovoja. Če so med posameznimi stavbami dovolj veliki odmiki, je mogoče s primerno geometrijo zazidalnega vzorca, doseči tudi nekoliko gostejšo pozidavo in ohraniti zadostno osončenost stavbnega ovoja. Vpliv orientacije na osončenost vpliva na to, katere površine so izpostavljene in koliko časa so izpostavljene sončnemu sevanju. Zaželeno je, da so največje površine orientirane proti jugu, hkrati pa najmanjše proti smerem med severozahodom in severovzhodom. Če zahodno oz. vzhodno orientirane površine stavbnega ovoja predstavljajo večino zbiralne površine, ki pa zaradi slabe orientacije niso dovolj osončene, lahko to privede do neizpolnitve zahtev TSG4. Z orientacijo stavbe pa je povezana tudi oblika stavbnega ovoja, saj določa potencial osončenosti. Zaželeno je, da je oblikovana tako, da so deli stavbnega ovoja čim bolj izpostavljeni sončnemu sevanju in da je vpliv samosenčenja čim manjši.

Narejena je bila tudi ocena energetskega potenciala za primer naselja individualnih družinskih hiš. TSG4 namreč podaja le zahteve glede osončenosti, projektant pa je tisti, ki mora poskrbeti, da bo zagotovljeno osončenost tudi izkoristil. Kot je razvidno iz opravljene analize, je potencial, ki predstavlja sončno sevanje, velik. Izkoristek te energije pa je odvisen predvsem od izbrane tehnologije in dejanskih potreb (koliko energije sploh potrebujemo).

### 2.2.2 Raziskava potenciala osončenosti stanovanjskih enot v različnih soseskah

V članku Investigation of solar potential of housing units in different neighborhood designs [8] so predstavljeni različni dejavniki, ki vplivajo na potencial osončenosti in zajem sončne energije za potrebe ogrevanja in hlajenje stanovanjskih enot v neki soseski. Parametri, ki so predstavljeni v članku in vplivajo na izkoristek potenciala sončne energije so:

- geometrijska oblika objekta,
- razporeditev objektov,

- gostota pozidave.

Cilj je čim boljše načrtovanje mestnih naselij za izkoriščanje sončnega sevanja. Rezultati so pokazali, da lahko z ustreznim načrtovanjem parametre optimiziramo do takšne mere, da dosežemo skoraj nič energijsko hišo.

Pri načrtovanju soseske s stališča osončenosti je potrebno obravnavati naslednje točke:

- kako oblikovati geometrijske oblike stavb, da se poveča njihov potencial,
- kako postaviti objekte pri dani gostoti pozidave, da bi preprečili medsebojno senčenje,
- kako izkoristiti obliko soseske za izboljšanje energetske učinkovitosti.

Poudarjeno je, kako lahko z dobrim načrtovanjem objektov in soseske dosežemo čim večji potencial osončenosti in kako sončno energijo čim bolje zajamemo, da bo izkoristek maksimalen.

### 3 RAZISKOVALNE METODE IN PREDSTAVITEV PROBLEMA

#### 3.1 Dodatek za Google SketchUp - Shading II

Uporaba programskega orodja Shading je bila predstavljena v članku Analyzing mutual shading among buildings [12] avtorjev Shaviv in Yezioro, kjer je na dejanskem primeru narejena študija in izračun osončenosti. S pomočjo tega programskega orodja je mogoče na enostaven način analizirati medsebojno senčenje med objekti in ostalimi elementi (kot so npr. drevesa) ter ugotoviti kolikšno je razmerje med osončeno in celotno površino za vse dni in ure v letu. Programsko orodje deluje tako, da upošteva vpad direktnega sončnega sevanja, ki ga definiramo s pomočjo azimuta in znane višine sonca za določeno lokacijo. Pravica do sonca posega v osnovno lastniško pravico, ki izhaja še iz rimskega prava [13], zato je zagotavljanje zadostne osončenosti oziroma preprečevanje prekomernega senčenja objektov še kako pomembno. Pri načrtovanju novih objektov si tako lahko pomagamo s tem programskim orodjem, ki omogoča enostaven izračun osončenosti kompleksnih objektov, rezultati pa so preprosti in razumljivi.

V diplomski nalogi sem za izračun trajanja osončenosti uporabila programsko orodje Shading II v Google SketchUp-u. Najprej sem v programu narisala sklop objektov in definirala njihovo geografsko lokacijo, datum za katerega sem želela dobiti rezultate osončenosti ter časovni interval za katerega program izračuna osončenost. Na obravnavanem objektu sem označila površine za katere sem želela, da program izračuna njihovo osončenost. Izbrala sem pol-urni interval, za geografsko lokacijo pa Ljubljano (geografska širina  $46^{\circ}30'$  in geografska dolžina  $14^{\circ}30'$ ). Ko sem definirala vse parametre, sem izbrala funkcijo Calculate Shadow Coefficient Over Period in program je sam generiral Excelovo datoteko. Kot rezultat sem dobila odstotke osončenosti v 30 minutnih intervalih. Te vrednosti sem pretvorila v minute 100 % osončenosti tako, da sem povprečne vrednosti v posameznih pol-urnih intervalih pomnožila s 30 min in delila s 100 %. Dobila sem vrednost, ki pove, koliko minut znotraj 30 minutnega intervala je celoten stavbni ovoj 100-odstotno osončen. Iz vsote po intervalih sem ugotovila, koliko časa je celoten objekt 100-odstotno osončen v celotnem dnevu.

V TSG4 je določeno, katere horizontalne projekcije vpadnega kota sonca se upoštevajo, zato sem pri izračunu upoštevala le določen časovni interval, ki je v Preglednici 1 sivo obarvan. Za primer 21.3. sem upoštevala azimut od  $120^{\circ}$  do  $240^{\circ}$ , kar predstavlja časovno obdobje od 9.00 do 15.00. Maksimalno trajanje osončenosti znaša 390 min, zahtevana 100% osončenost pa 240 min. V Preglednici 1 je predstavljen primer rezultatov skupaj s pretvorbo osončenosti iz deležnega zapisa v časovno obliko za primer 21. marca.

Preglednica 1: Prikaz rezultatov, ki jih generira program in njihova interpretacija

Ura	Osončenost posameznih površin (%)				Povprečna osončenost (%)	Trajanje 100% osončenosti v posameznem intervalu (min) = povprečna osončenost * 30 min /100 %
	zahodna	južna	streha	vzhodna		
7:00	0	100	100	100	71,6	21,48
7:30	0	100	100	100	71,6	21,48
8:00	0	100	100	100	71,6	21,48
8:30	0	100	100	100	71,6	21,48
9:00	0	100	100	100	71,6	21,48
9:30	0	86,2	100	100	67,7	20,31
10:00	0	77	100	100	65	19,5
10:30	0	63,3	100	100	61,1	18,33
11:00	0	54,1	100	100	58,5	17,55
11:30	0	44,9	100	100	55,9	16,77
12:00	0	35,7	100	100	53,3	15,99
12:30	100	40,3	100	0	54,6	16,38
13:00	100	49,5	100	0	57,2	17,16
13:30	100	58,7	100	0	59,8	17,94
14:00	100	67,9	100	0	62,4	18,72
14:30	100	77	100	0	65	19,5
15:00	100	90,8	100	0	69	20,7
15:30	100	100	100	0	71,6	21,48
16:00	100	100	100	0	71,6	22,48
16:30	100	100	100	0	71,6	23,48
17:00	100	100	100	0	71,6	24,48
17:30	100	100	100	0	71,6	25,48
18:00	100	100	100	0	71,6	26,48
					OSONČENOST 21.3.	vsota = 240,33 min

### 3.2 Programsko orodje Solver v Excel-u

Programsko orodje Solver v Excelu omogoča optimizacijo problemov [14], kar pomeni, da uporabniku pomaga poiskati najboljšo rešitev za dano situacijo. Poišče vrednosti posameznih celic v preglednici, ki optimizirajo predhodno zastavljen cilj, tako da je njegova vrednost maksimalna ali minimalna. Optimizacijski model sestavljajo trije deli; ciljna celica, spremenljive celice in omejitve. Ciljna celica predstavlja ciljno vrednost, za katero želimo, da je bodisi minimalna bodisi maksimalna. Spreminjajoče se celice so celice iz preglednice, ki jih lahko spreminjamo ali prilagajamo tako, da optimizirajo ciljno celico. Omejitve so namenjene spreminjajočim se celicam, niso pa nujne pri reševanju problemov.

Programsko orodje Solver v Excel-u sem v diplomskem delu uporabila za iskanje optimalnih vrednosti koeficientov parametrične enačbe.

Predpostavila sem linearni funkciji oziroma enačbi:

$$f = a_0 + a_1 \times R + a_2 \times V + a_3 \times \check{S} + a_4 \times L + a_5 \times ROT \quad (1)$$

$$g = b_0 + b_1 \times R + b_2 \times V + b_3 \times \check{S} + b_4 \times L + b_5 \times ROT, \quad (2)$$

kjer R predstavlja razdaljo med objekti, V višino,  $\check{S}$  širino in L dolžino objektov. Enotne omenjenih količin so metri (m). ROT predstavlja rotacijo v smeri glede na sever proti vzhodu v stopinjah ( $^\circ$ ). Omenjene količine so boljše prikazane v poglavju 3.4 *Geometrija objekta* na Sliki 2 in Sliki 3.

Parametri od  $a_0$  do  $a_5$  (oz. od  $b_0$  do  $b_5$ ) so količine, ki sem jih pridobila s pomočjo Solverja (spremenljive celice). Za iskanje enačbe potenciala osončenosti sem uporabila oznako  $f$  in koeficiente  $a$ -i ( $a_0, a_1, a_2$ , itd.), medtem ko sem za iskanje dejanske osončenosti uporabila oznako  $g$  ter koeficiente  $b$ -i ( $b_0, b_1, b_2$ , itd.). Enačbi sem nato dodajala člene tako, da je bilo odstopanje v primerjavi z vrednostmi, izračunanimi s programom, čim manjše. Za iskanje enačb sem uporabila primere, ki sem jih naredila za parametrično analizo. Iskanje koeficientov enačbe je potekalo tako, da je bila najprej izračunana razlika med vrednostmi izračunanimi z enačbo (1) (oz. enačbo (2)) in vrednostmi izračunanimi s Shadnig-om. Solver je prilagodil vrednosti koeficientov  $a$ -i (oz.  $b$ -i) - spremenljive celice tako, da je bila vsota kvadriranih razlik čim manjša - ciljna celica (glej 3.3). Kot rezultat sem dobila koeficiente  $a$ -i oz.  $b$ -i in s tem enačbo  $f$  oz.  $g$ .

Enačbo sem iskala tako, da sem obravnavala primere po posameznih rotacijah. Ugotovila sem, da problem iskanja enačbe lahko posplošim na tri enačbe:

- enačba za rotacije od  $0^\circ$  do  $45^\circ$  od smeri sever proti vzhodu,
- enačbo za rotacijo  $45^\circ$  od smeri sever proti vzhodu,
- enačbo za rotacije od  $45^\circ$  do  $90^\circ$  od smeri sever proti vzhodu.

### 3.3 Metoda najmanjših kvadratov

Koeficiente  $a$ -i oz.  $b$ -i je Solver poiskal, tako da je minimiziral predhodno določeno vrednost. Ta vrednost, ki je bila poimenovana *vsota napak*, je bila pridobljena na osnovi metode najmanjših kvadratov, ki je v nadaljevanju razložena na primeru.

Dane so točke  $(y_1, c_1), \dots, (y_m, c_m)$ , kjer je  $m > 4$ . Iščemo polinom oblike

$$p(y) = x_1 + x_2 y + x_3 y^2 + x_4 y^3, \quad (3)$$

ki gre skozi dane točke. Polinom bi moral zadoščati  $m$  enačbam za štiri neznanke.

$$x_1 + x_2 y_1 + x_3 y_1^2 + x_4 y_1^3 = c_1$$

$$\vdots$$

$$x_1 + x_2 y_m + x_3 y_m^2 + x_4 y_m^3 = c_m$$

(4)



V matrični obliki dobimo sistem  $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$ , kjer je

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & y_1 & y_1^2 & y_1^3 \\ 1 & y_2 & y_2^2 & y_2^3 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & y_m & y_m^2 & y_m^3 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{b} = \begin{bmatrix} b_1 \\ b_2 \\ \vdots \\ b_m \end{bmatrix}. \quad (5)$$

Ker imamo več enačb kot neznank, je to *predoločen sistem*. Takšen sistem pa v splošnem nima rešitve, zato nalogo nekoliko preoblikujemo. Tako nas zanima takšen polinom  $p(y)$ , ki se najbolj prilaga danim točkam. Iščemo torej takšen  $\mathbf{x}$ , da bo imel ostanek  $\mathbf{Ax} - \mathbf{b}$  minimalno vrednost. V primeru, če ta ostanek kvadriramo, torej iščemo takšen  $\mathbf{x}$ , da bo vrednost  $\|\mathbf{Ax} - \mathbf{b}\|^2$  minimalna, govorimo o rešitvi po metodi najmanjših kvadratov. [15]

Če sistem  $\mathbf{Ax} = \mathbf{b}$  z leve pomnožimo z  $\mathbf{A}^T$ , dobimo t.i. *normalni sistem*;  $\mathbf{A}^T\mathbf{Ax} = \mathbf{A}^T\mathbf{b}$ . Rešitev katerega je rešitev po metodi najmanjših kvadratov.

Naj bo  $\mathbf{B} = \mathbf{A}^T\mathbf{A}$  in  $\mathbf{C} = \mathbf{A}^T\mathbf{b}$ , potem je  $\mathbf{Bx} = \mathbf{C}$  in je rešitev  $\mathbf{x} = \mathbf{B}^{-1}\mathbf{C}$ .

Zgornjo razlago metode najmanjših kvadratov apliciram na primer obravnavan v diplomii:

Dane so točke  $(R_1, V_1, \check{S}_1, L_1, ROT_1, \text{potencial}_1), \dots, (R_{270}, V_{270}, \check{S}_{270}, L_{270}, ROT_{270}, \text{potencial}_{270})$  in iščem funkcijo oblike

$$f(R, V, \check{S}, L, ROT) = a_0 + a_1R + a_2V + a_3\check{S} + a_4L + a_5ROT, \quad (6)$$

ki bo zadoščala 270-im enačbam za 6 neznank.

$$a_0 + a_1R_1 + a_2V_1 + a_3\check{S}_1 + a_4L_1 + a_5ROT_1 = \text{potencial 1}$$

⋮

$$a_0 + a_1R_{270} + a_2V_{270} + a_3\check{S}_{270} + a_4L_{270} + a_5ROT_{270} = \text{potencial 270}$$

(7)

Sistem enačb je predoločen in v splošnem nima rešitve, zato iščem takšno funkcijo  $f(R, V, \check{S}, L, ROT)$ , ki se bo najbolj prilagala danim točkam. To pa dosežem tako, da poiščem takšne vrednosti neznank ( $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4$  in  $a_5$ ), da bo kvadrat razlike med  $f(R, V, \check{S}, L, ROT)$  in potencialom minimalen.

V matrični obliki je

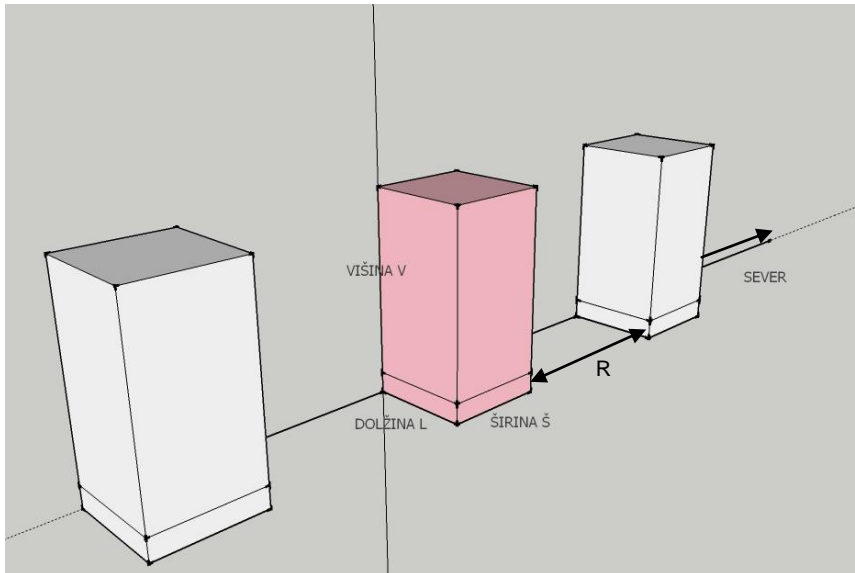
$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} 1 & R_1 & V_1 & \check{S}_1 & L_1 & ROT_1 \\ 1 & R_2 & V_2 & \check{S}_2 & L_2 & ROT_2 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 1 & R_{270} & V_{270} & \check{S}_{270} & L_{270} & ROT_{270} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{x} = \begin{bmatrix} a_0 \\ a_1 \\ a_2 \\ a_3 \\ a_4 \\ a_5 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{b} = \begin{bmatrix} \text{potencial 1} \\ \text{potencial 2} \\ \vdots \\ \text{potencial 270} \end{bmatrix}. \quad (8)$$

Torej iščem takšne vrednosti  $\mathbf{x}$ , da bo kvadrat razlike ( $\|\mathbf{Ax} - \mathbf{b}\|^2$ ) minimalen.

Solver ima lahko le eno ciljno celico, zato je bilo za potrebe izračuna, potrebno kvadrat razlik sešteti po vseh primerih in to vrednost minimizirati.

### 3.4 Geometrija objekta

Izhodiščni model predstavlja sklop objektov višine 10 m, širine 5 m in dolžine 5 m. Razdalja med objekti znaša 10 m. Stranica, ki predstavlja dolžino gleda proti severu oz. jugu, tako kot je prikazano na Sliki 2. Za potrebe izračunov sem predpostavila, da se objekt nahaja v Ljubljani, na geografski širini  $46^{\circ}30'$  in geografski dolžini  $14^{\circ}30'$ .



Slika 2: Izhodiščni model

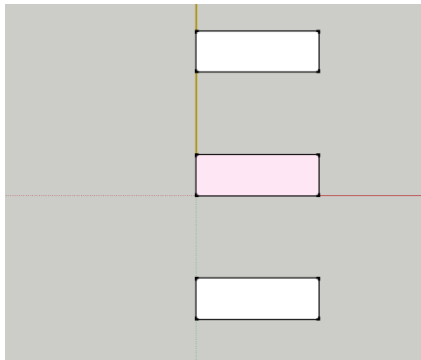
Da bi ugotovila, kako vplivajo sosednji objekti na obravnavanega, sem najprej izračunala potencial osončenosti obravnavanega objekta (v nadaljevanju *potencial osončenosti*). Nato sem izračunala osončenost obravnavanega objekta v primeru, ko se ta nahaja v sklopu objektov (v nadaljevanju *dejanska osončenost*) ter s pomočjo predhodno izračunanega potenciala osončenosti ugotovila, če sploh in v kolikšni meri sosednji objekti senčijo obravnavanega.

Narejene so bile vse možne kombinacije za primere:

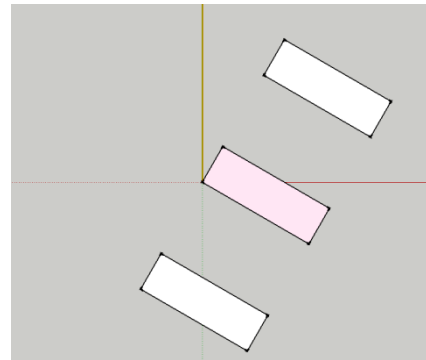
- dveh različnih razdalj:  $R = 10$  m ter  $R = 20$  m,
- treh različnih višin:  $V = 10$  m,  $V = 20$  m,  $V = 30$  m,
- treh različnih širin:  $\check{S} = 5$  m,  $\check{S} = 15$  m ter  $\check{S} = 25$  m,
- treh različnih dolžin:  $L = 5$  m,  $L = 15$  m,  $L = 25$  m ter
- za 5 različnih rotacij:  $ROT = 0^{\circ}$ ,  $30^{\circ}$ ,  $45^{\circ}$ ,  $60^{\circ}$ ,  $90^{\circ}$  glede na smer sever proti vzhodu.

Izbran nabor parametrov je takšen, da zaobjema čim več pozidav, ki jih srečamo v praksi ter istočasno obravnava čim manjše možno število primerov, saj je računanje zamudno (en primer približno 10 min). Tako je izbran nabor kompromis med bogatostjo podatkov in časovnimi zmožnostmi.

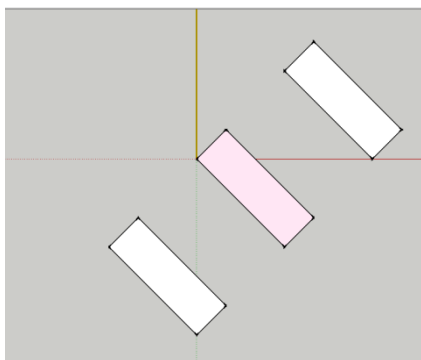
Na Sliki 3 je prikazana rotacija sklopa objektov po korakih. Rumena črta na sliki označuje sever.



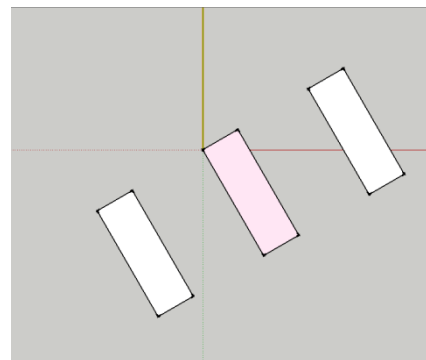
a) ROT = 0°



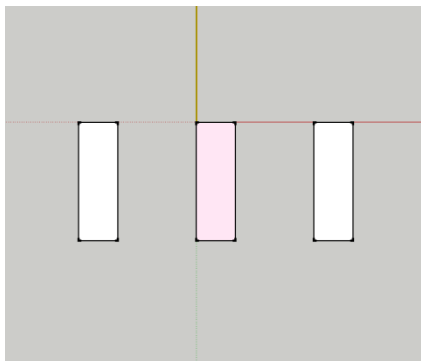
b) ROT = 30°



c) ROT = 45°



d) ROT = 60°



e) ROT = 90°

Slika 3: Primer spreminjanja rotacije po korakih

#### 4 REZULTATI IN RAZPRAVA

V tem poglavju je predstavljena geometrija obravnavanih primerov, dobljeni rezultati ter njihova interpretacija za ekvinokij (21.03). Zahteve navedene v TSG4 so najstrožje za 21.3. (in 23.9.), saj je razmerje med maksimalno in zahtevano osončenostjo najmanjše, zato sem v diplomskem delu predstavila le rezultate za ta kritičen dan v letu (za 21.6. in 21.12. glej Prilogo A). Najprej so prikazani rezultati za potencial osončenosti v odvisnosti od rotacije. Na podlagi ugotovitev, do katerih sem prišla, sem v nadaljevanju predstavila spreminjanje potenciala osončenosti v odvisnosti od dolžine, širine in višine. S pomočjo dobljenih odvisnosti sem analizirala dejansko osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od vseh parametrov (dolžina, širina, višina, razdalja med objekti). Zaradi obsežnosti primerov in rezultatov, sem analizo dejanske osončenosti predstavila le za dva primera rotacije. Nazadnje pa sem želela ugotovitve povezati v smiselno celoto, zato sem, s pomočjo programskega orodja Solver v Excelu, poiskala enačbe osončenosti, s pomočjo katerih bi bilo mogoče hitro izračunati potencial osončenosti ter dejansko osončenost nekega enostavnega objekta v sklopu, le ob poznavanju njegove geometrije in rotacije.

Na grafikonih, kjer so prikazani potencial osončenosti, razlika osončenosti in dejanska osončenost velja poudariti, da so vrednosti izračunane le v diskretnih točkah, ki so zgolj zaradi jasnejšega prikaza povezane z ravno črto, ki pa ne predstavlja vrednosti osončenosti.

#### 4.1 Potencial osončenosti

Najprej sem spremljala, kako se potencial osončenosti obravnavanega objekta spreminja z rotacijo. Obravnavala sem primere za pet različni rotacij in sicer za 0°, 30°, 45°, 60° in 90° v smeri od severa proti vzhodu (v nadaljevanju so rotacije zapisane le s številskim delom).

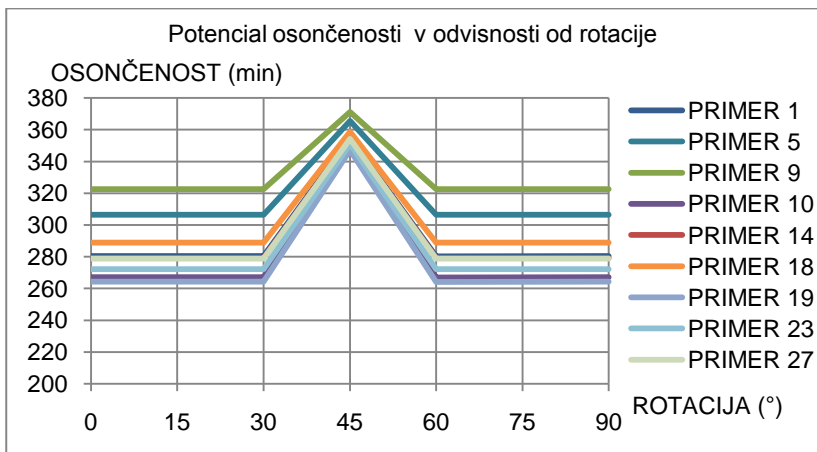
Ker se glede na rotacijo pomen dolžine in širine objekta spreminja, sem za doseganje večje preglednosti nad rezultati primere razdelila v tri skupine (dolžina L predstavlja stranico, ki pri rotaciji 0° gleda proti severu oz. jugu, širina Š pa proti zahodu oz. vzhodu – Preglednica 2):

- Prva skupina - dolžina in širina objektov enaki.
- Druga skupina - dolžina je večja od širine objektov.
- Tretja skupina - dolžina je manjša od širine objektov.

Za vsako skupino sem rezultate prikazala ločeno.

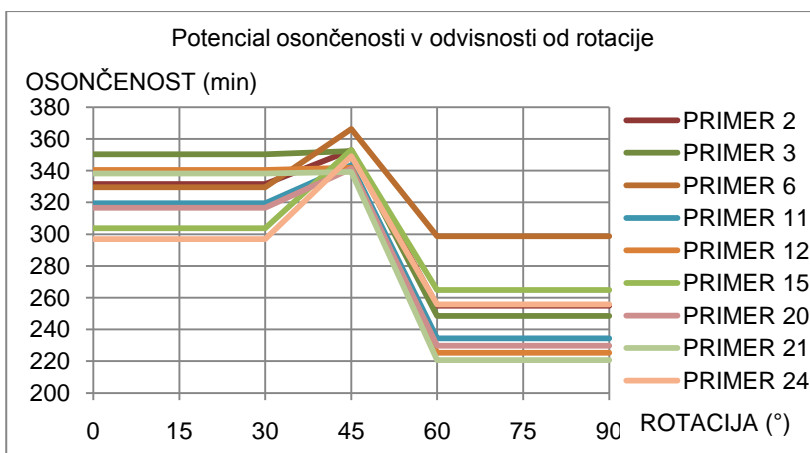
Preglednica 2: Obravnavani primeri, razdeljeni v tri skupine

	Primer	V (m)	Š (m)	L (m)	
Prva skupina	1	10	5	5	L = Š
	5	10	15	15	
	9	10	25	25	
	10	30	5	5	
	14	30	15	15	
	18	30	25	25	
	19	50	5	5	
	23	50	15	15	
	27	50	25	25	
Druga skupina	2	10	5	15	L > Š
	3	10	5	25	
	6	10	15	25	
	11	30	5	15	
	12	30	5	25	
	15	30	15	25	
	20	50	5	15	
	21	50	5	25	
	24	50	15	25	
Tretja skupina	4	10	15	5	L < Š
	7	10	25	5	
	8	10	25	15	
	13	30	15	5	
	16	30	25	5	
	17	30	25	15	
	22	50	15	5	
	25	50	25	5	
	26	50	25	15	



Grafikon 1: Potencial osončenosti v odvisnosti od rotacije za primere prve skupine

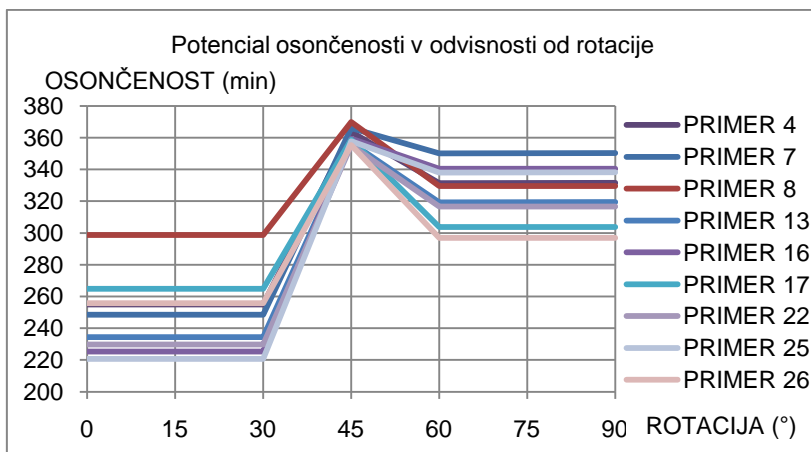
Iz Grafikona 1 je moč razbrati, da je potencial osončenosti za primere prve skupine za rotacije  $0^\circ$ ,  $30^\circ$ ,  $60^\circ$  in  $90^\circ$  enak, ter da je pri rotaciji  $45^\circ$  vrednost večja. Zaradi simetrije objekta so takšni rezultati tudi pričakovani. Če za primer vzamem rotaciji  $0^\circ$  in  $90^\circ$  ugotovim, da se vrednosti dolžine in širine zamenjata (če pri rotaciji  $0^\circ$  dolžina predstavlja južno stranico, pri rotaciji  $90^\circ$  predstavlja ta vzhodno stranico, oziroma, če pri rotaciji  $0^\circ$  širina predstavlja vzhodno stranico, pri rotaciji  $90^\circ$  ta predstavlja južno stranico). Ker sta v prvi skupini primerov vrednosti dolžine in širine enaki, je osončenost objekta nespremenjena, saj se ohranja enaka površina sončnih oziroma senčnih delov stavbnega ovoja. Slednje pa ne velja za primere ostalih skupin, kar je razvidno iz Grafikona 2 in Grafikona 3.



Grafikon 2: Potencial osončenosti v odvisnosti od rotacije za primere druge skupine

Vrednosti potenciala osončenosti za rotaciji  $0^\circ$  in  $30^\circ$  glede na sever sta enaki, pri  $45^\circ$  pa, podobno, kot pri prejšnjem primeru, pride do skoka. Za rotaciji  $60^\circ$  in  $90^\circ$  sta vrednosti enaki ter manjši, kot za  $0^\circ$  in  $30^\circ$ .

Tudi za tretjo skupino primerov se je izkazalo, da so v vseh primerih vrednosti potenciala osončenosti za rotacijo  $0^\circ$  in  $30^\circ$  enake. Enake so tudi vrednosti za rotacijo  $60^\circ$  in  $90^\circ$ , vendar večje. Zopet izstopa vrednost potenciala osončenosti pri rotaciji  $45^\circ$ .



Grafikon 3: Potencial osončenosti v odvisnosti od rotacije za primere tretje skupine

Za vse primere velja:

- Vrednosti potenciala osončenosti so za rotacije od 0° do 30° enake.
- Vrednosti potenciala osončenosti za rotacije od 60° do 90° so enake.
- Pri rotaciji 45° ima v splošnem vrednost potenciala osončenosti najvišjo vrednost. TSG4 za definiranje *zbiralne površine* upošteva vse površine stavbnega ovoja, orientirane od smeri severovzhod (azimut > 45°) preko juga (azimut = 180°) do severozahoda (azimut < 315°) [7]. Zato sem v primeru rotacije objekta za 45° upoštevala le stranici, ki gledata proti jugovzhodu in jugozahodu ter stranico, ki predstavlja streho. Ker so te stranice večino dneva sončne, je tudi povprečna osončenost stavbnega ovoja v primeru te rotacije največja. Dobljen rezultat torej ni presenetljiv.

V primerih, ko je dolžina večja od širine, je spreminjanje osončenosti z rotacijo manj izrazito. Kot lahko vidimo v Prilogi A na Grafikonu A2, je potencial osončenosti 21.6. za takšne primere celo manjši. Do tega pride, ker je 21.6. potrebno zajeti interval med 6.00 in 17.30 in je največja zbiralna površina večji del dneva v senci. Ker se v izračunu za 21.3. in 21.12 upoštevata različna časovna intervala, je ta ista površina večji del dneva sončna, vrednosti povprečne osončenosti pa so posledično večje.

Ker se zaradi rotacije dolžina in širina zamenjata, so primeri iz druge skupine za rotacije od 60° do 90° enaki primerom iz tretje skupine za rotacije od 0° do 30°. Enaki so tudi primeri iz druge skupine za rotacije od 0° do 30° in primeri iz tretje skupine za rotacije od 60° do 90°. Iz ugotovljene simetrije sledi, da ni smiselno obravnavati vseh rotacij, saj prihaja do ponavljanja primerov. Tako sem pri ugotavljanju potenciala osončenosti v odvisnosti od dolžine, širine in višine vse primere obravnavala v dveh situacijah:

1. Primeri, ko so objekti rotirani od 0° do 30°.
2. Primeri, ko so objekti rotirani za 45°.

#### 4.1.1 Analiza potenciala osončenosti za primere z rotacijami od 0° do 30°

V Preglednicah 3, 4 in 5 so predstavljene geometrijske lastnosti posameznih primerov in potencial osončenosti za rotacijo 0°. Rdeče obarvane številke označujejo tiste vrednosti osončenosti, ki ne ustrezajo zahtevam iz TSG4.

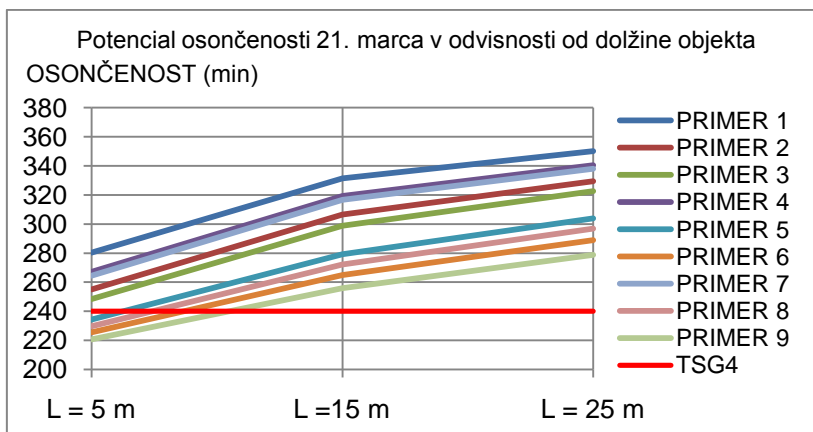
##### 4.1.1.1 Potencial osončenosti v odvisnosti od dolžine objekta

Preglednica 3 : Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij ter predstavitev rezultatov potenciala osončenosti obravnavanega objekta za spreminjajočo se dolžino pri rotaciji 0°

Primer	R (m)	V (m)	Š (m)	L (m)	Potencial (min)
1	10	10	5	5	280,41
	10	10	5	15	331,5
	10	10	5	25	350,22
2	10	10	15	5	255,06
	10	10	15	15	306,54
	10	10	15	25	329,55
3	10	10	25	5	248,43
	10	10	25	15	298,74
	10	10	25	25	322,53
4	10	30	5	5	267,15
	10	30	5	15	319,41
	10	30	5	25	340,47
5	10	30	15	5	234,39
	10	30	15	15	279,24
	10	30	15	25	303,81
6	10	30	25	5	225,42
	10	30	25	15	264,81
	10	30	25	25	288,99
7	10	50	5	5	264,42
	10	50	5	15	316,68
	10	50	5	25	338,13
8	10	50	15	5	229,71
	10	50	15	15	272,22
	10	50	15	25	296,79
9	10	50	25	5	220,74
	10	50	25	15	255,84
	10	50	25	25	278,85

Na Grafikonu 4 je prikazano, kako se potencial osončenosti obravnavanega objekta spreminja s povečevanjem dolžine (L), kjer L v tem primeru predstavlja južno in severno stranico. Ker je potencial osončenosti neodvisen od razdalje med objekti, je od 10. do 18. primera enak potencialu osončenosti od 1. do 9. primera. Na Grafikonu 4 so zato prikazani rezultati le za prvih devet primerov.





Grafikon 4: Potencial osončenosti 21. marca v odvisnosti od dolžine (L) objekta za rotacijo 0°

Tako iz Preglednice 3, kot tudi iz Grafikona 4, je razvidno, da se v vseh primerih potencial osončenosti z daljšanjem stranice L povečuje. V tem primeru je ta stranica južna, tako da je večanje potenciala z njenim daljšanjem razumljivo. Opaziti je mogoče, da v nekaterih primerih že potencial osončenosti ne ustreza zahtevam iz TSG4 (minimalno vrednost trajanja osončenosti označuje rdeča vodoravna črta), kar pomeni, da sta že sama postavitve objekta in njegova geometrija neustrezni. Samosenčenje je kritično v 5., 6., 8. in 9. primeru, ko je dolžina enaka  $L = 5$  m. Za te primere je značilno, da imajo daljšo vzhodno oz. zahodno stranico in so nekoliko višji od izhodiščnega primera. 21.6. in 21.12. trajanje osončenosti v nobenem primeru ni pod zahtevano vrednostjo (Priloga A, Grafikon A7 in Grafikon A9).

#### 4.1.1.2 Potencial osončenosti v odvisnosti od širine objekta

Preglednica 4: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij ter predstavitev rezultatov potenciala osončenosti obravnavanega objekta za spreminjajočo se širino pri rotaciji 0°

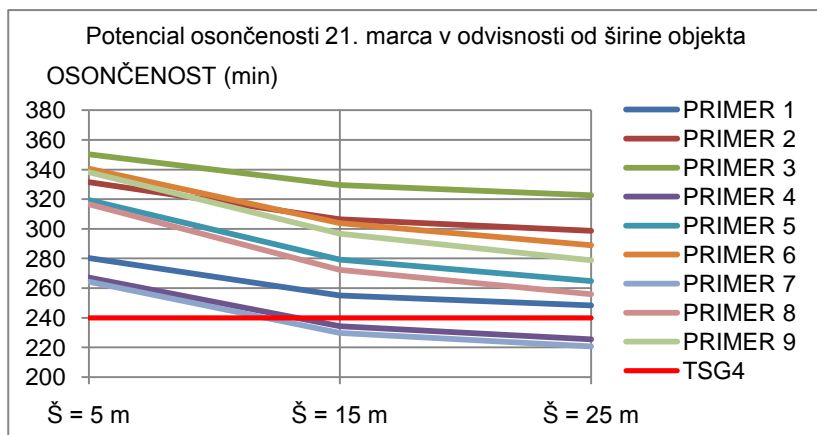
Primer	R (m)	V (m)	L (m)	Š (m)	Potencial (min)
1	10	10	5	5	280,41
	10	10	5	15	255,06
	10	10	5	25	248,43
2	10	10	15	5	331,5
	10	10	15	15	306,54
	10	10	15	25	298,74
3	10	10	25	5	350,22
	10	10	25	15	329,55
	10	10	25	25	322,53
4	10	30	5	5	267,15
	10	30	5	15	234,39
	10	30	5	25	225,42
5	10	30	15	5	319,41
	10	30	15	15	279,24
	10	30	15	25	264,81

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 4

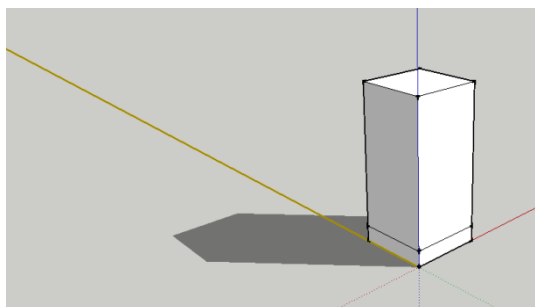
6	10	30	25	5	340,47
	10	30	25	15	303,81
	10	30	25	25	288,99
7	10	50	5	5	264,42
	10	50	5	15	229,71
	10	50	5	25	220,74
8	10	50	15	5	316,68
	10	50	15	15	272,22
	10	50	15	25	255,84
9	10	50	25	5	338,13
	10	50	25	15	296,79
	10	50	25	25	278,85

Na Grafikonu 5 je prikazano, kako se potencial osončenosti spreminja s povečevanjem širine objekta. Iz Grafikona 5 je moč razbrati, da se potencial osončenosti z daljšanjem širine zmanjšuje. Če povečujem dolžino vzhodne oz. zahodne stranice, ki je senčna, se povprečna osončenost celotnega stavbnega ovoja manjša. Na Sliki 4 je prikazan primer podaljševanja širine objekta.

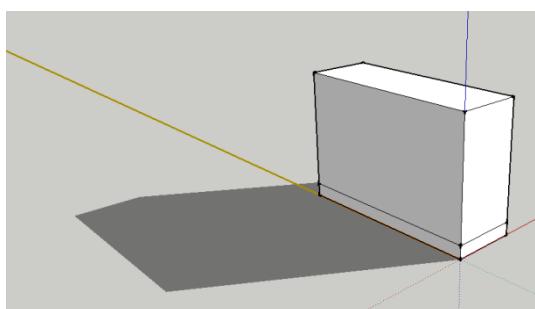


Grafikon 5: Potencial osončenosti 21. marca v odvisnosti od širine (Š) objekta za rotacijo 0°

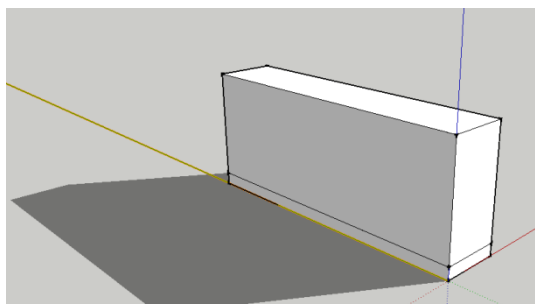
Le v 4. in 7. primeru pri Š = 15 m in Š = 25 m so vrednosti trajanja osončenosti pod mejo, ki jo narekuje TSG4. Geometrija takšnih objektov je s stališča zagotavljanja zadostne osončenosti neprimerna. 21.6. in 21.12. vsi primeri izpolnjujejo pogoje iz TSG4 (Priloga A, Grafikon A10 in Grafikon A12).



a) 1. primer za  $\mathring{S} = 5$  m



b) 1. primer za  $\mathring{S} = 15$  m



c) 1. primer za  $\mathring{S} = 25$  m

Slika 4: Prikaz senčne zahodne stranice za 1. primer pri različnih širinah

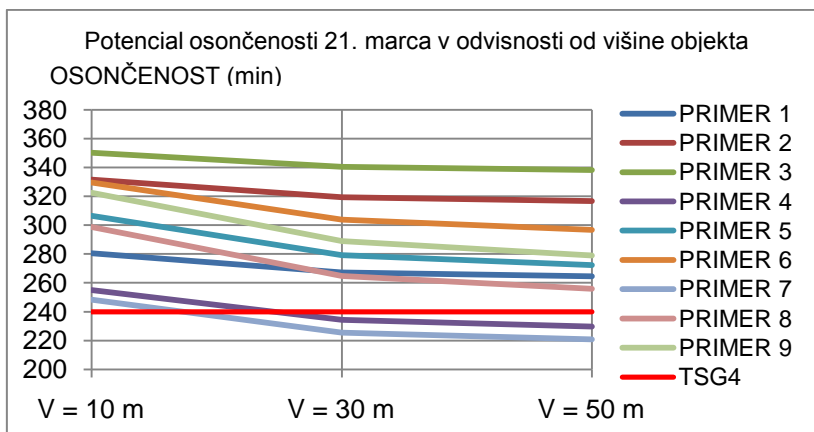
Ko je površina vzhodnih oz. zahodnih stranic, ki so del dneva popolnoma v senci večja, je povprečna osončenost stavbnega ovoja manjša. Zato je manjšanje potenciala osončenosti s povečevanjem širine razumljivo.

#### 4.1.1.3 Potencial osončenosti v odvisnosti od višine objekta

Preglednica 5: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij ter predstavitev rezultatov potenciala osončenosti obravnavanega objekta za spreminjajočo se višino pri rotaciji 0°

Primer	R (m)	Š (m)	L (m)	V (m)	Potencial (min)
1	10	5	5	10	280,41
	10	5	5	30	267,15
	10	5	5	50	264,42
2	10	5	15	10	331,5
	10	5	15	30	319,41
	10	5	15	50	316,68
3	10	5	25	10	350,22
	10	5	25	30	340,47
	10	5	25	50	338,13
4	10	15	5	10	255,06
	10	15	5	30	234,39
	10	15	5	50	229,71
5	10	15	15	10	306,54
	10	15	15	30	279,24
	10	15	15	50	272,22
6	10	15	25	10	329,55
	10	15	25	30	303,81
	10	15	25	50	296,79
7	10	25	5	10	248,43
	10	25	5	30	225,42
	10	25	5	50	220,74
8	10	25	15	10	298,74
	10	25	15	30	264,81
	10	25	15	50	255,84
9	10	25	25	10	322,53
	10	25	25	30	288,99
	10	25	25	50	278,85

Kot je bilo tudi pričakovati, potencial osončenosti z višino pada, vendar je na Grafikonu 6 videti, da za vse primere ne pada enako. Samosenčenje z višino narašča, vendar je bolj izrazito pri objektih z večjo širino, kar kaže na tesno povezavo parametra višine in širine.



Grafikon 6: Potencial osonečnosti 21. marca v odvisnosti od višine (V) objekta za rotacijo 0°

Primeri, ki ne izpolnjujejo zahtev iz TSG4 so 4. in 7. primer za višini V = 30 m in V = 50 m. To so primeri z daljšo vzhodno in krajšo južno stranico. 21.6. in 21.12. so vse vrednosti potenciala osonečnosti večje od zahtevanih (Priloga A, Grafikon A13 in Grafikon A15).

#### 4.1.1.4 Enačba za izračun potenciala osonečnosti 21. marca, ki velja za rotacije od 0° do 30°

S pomočjo enačbe (9) lahko izračunam potencial osonečnosti preprostega objekta le ob poznavanju njegove geometrije.

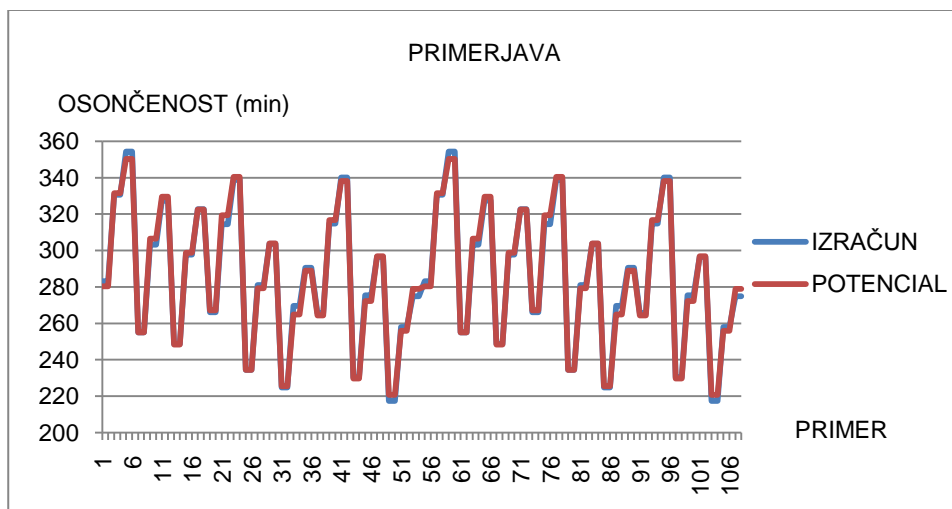
$$f = a_0 + a_1 \times V + a_2 \times \check{S} + a_3 \times L + a_4 \times L^2 + a_5 \times \check{S}^2 + a_6 \times V^2 + a_7 \times \check{S} \times V + a_8 \times \check{S} \times L + a_9 \times L \times V + a_{10} \times V \times \check{S} \times L, \quad (9)$$

kjer je V višina objekta (m),  $\check{S}$  širina objekta (m) in L dolžina objekta (m). Koeficiente od a0 do a10 sem pridobila s pomočjo programskega orodja Solver. Postopek pridobitve pa je že razložen v poglavju 3.2 *Programsko orodje Solver v Excel-u*. Vrednosti posameznih koeficientov so predstavljene v Preglednici 6.

Preglednica 6: Koeficienti a0 do a10 za izračun potenciala osonečnosti 21. marca pri rotacijah od 0° do 30°

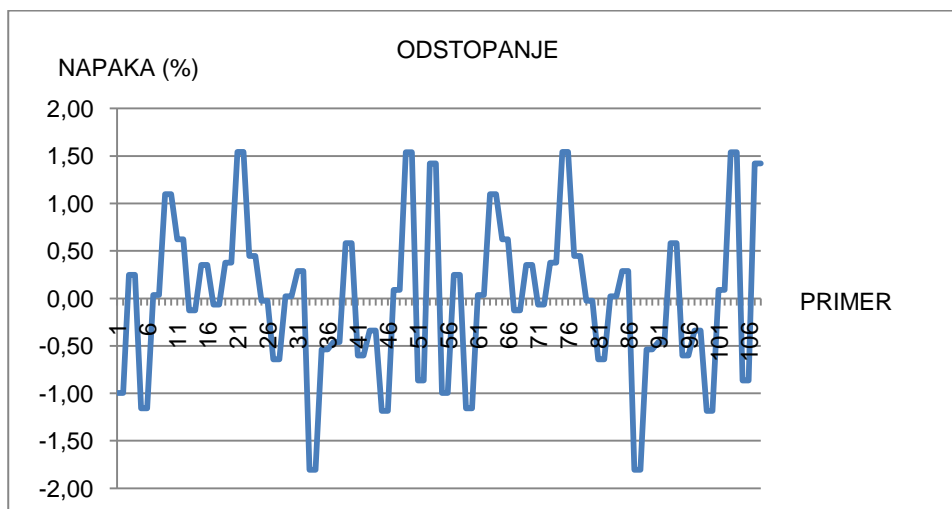
a0	=	287,46
a1	=	-1,65
a2	=	-4,95
a3	=	6,99
a4	=	-0,119
a5	=	0,110
a6	=	0,0207
a7	=	-0,0111
a8	=	0,0198
a9	=	0,0105
a10	=	-0,00124

Na Grafikonu 7 je prikazana primerjava med vrednostjo potenciala osončenosti izračunano s pomočjo enačbe (*izračun*) ter vrednostjo potenciala osončenosti, ki jo generira program (*potencial*).



Grafikon 7: Primerjava izračunane vrednosti s pomočjo enačbe (9) in vrednosti potenciala osončenosti, ki jo generira program

Iz Grafikona 7 lahko razberem, da odstopanje ni veliko. Največja napaka izračunanih vrednosti s pomočjo enačbe (9) znaša le 1,81% glede na vrednosti, ki jih je generiral program, povprečna napaka pa le 0,65%. Na Grafikonu 8 je prikazano odstopanje izračunanih vrednosti od vrednosti pridobljenih s pomočjo programa.



Grafikon 8: Odstopanje izračunanih vrednosti od vrednosti pridobljenih s pomočjo programa za 21. marec pri rotacijah od 0° do 30°

Napaka je majhna, kar kaže na to, da je uporaba parametrične enačbe za izračun potenciala osončenosti nadvse smiselna.

Še vedno pa se poraja vprašanje, kakšna je napaka enačbe v točkah, ki jih Solver ni uporabil pri določitvi vrednosti koeficientov. V ta namen sem naključno izbrala še 10 primerov ter zanje izračunala potencial osončenosti s pomočjo programa, kot tudi že dobljene enačbe, kar je prikazano v Preglednici 7.

Preglednica 7: Naključno izbrani primeri za kontrolo enačbe (9)

Primer	R (m)	V (m)	Š (m)	L (m)	Osončenost (min)		Razlika (min)	Odstopanje (%)
					Program	Enačba		
1	5	15	10	10	285,09	286,94	-1,85	-0,646
2	15	15	20	10	268,71	268,90	-0,194	-0,0720
3	15	20	30	10	253,5	265,26	-11,76	-4,43
4	15	10	10	20	327,21	329,14	-1,93	-0,587
5	15	40	20	20	278,85	279,39	-0,541	-0,194
6	15	40	30	20	267,15	274,48	-7,33	-2,67
7	25	15	10	30	335,4	334,68	0,719	0,215
8	25	40	20	10	248,43	247,06	1,37	0,554
9	25	20	30	20	285,09	299,95	-14,86	-4,95
10	5	15	10	20	318,24	322,75	-4,51	-1,40

Največja napaka, ki sem jo naredila znaša 4,95 %, povprečna pa 1,57 %. Napake so sicer večje, vendar še vedno lahko potencial osončenosti s pomočjo enačbe (9) izračunam s povprečno natančnostjo 1,57%.

#### 4.1.2 Analiza osončenosti, ki velja za primere z rotacijo 45°

V Preglednicah 8, 9 in 10 so prikazane geometrijske lastnosti posameznih primerov in potencial osončenosti za primer rotacije 45°. Ker je potencial osončenosti od 10. do 18. primera enak potencialu osončenosti od 1. do 9. primera, so na grafikonih prikazani le rezultati za prvih devet primerov. V vseh primerih so zahteve iz TSG4 izpolnjene.

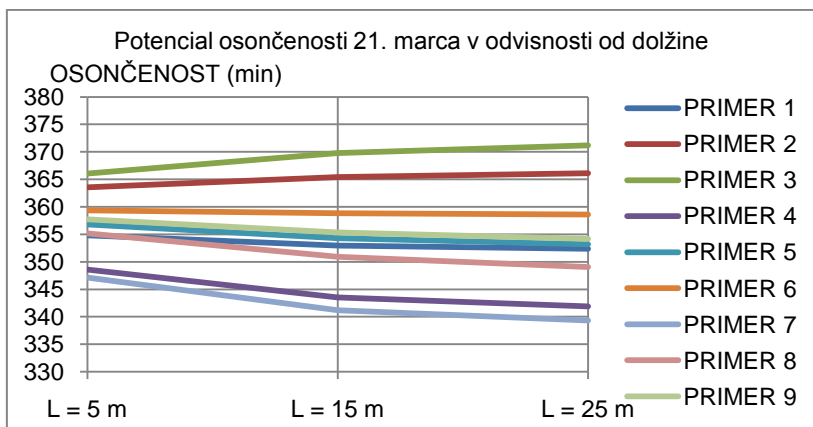
##### 4.1.2.1 Potencial osončenosti v odvisnosti od dolžine objekta

Preglednica 8: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij ter predstavitev rezultatov potenciala osončenosti obravnavanega objekta za spreminjajočo se dolžino pri rotaciji 45°

Primer	R (m)	V (m)	Š (m)	L (m)	Potencial (min)
1	10	10	5	5	354,81
	10	10	5	15	352,98
	10	10	5	25	352,38
2	10	10	15	5	363,57
	10	10	15	15	365,43
	10	10	15	25	366,12
3	10	10	25	5	366,06
	10	10	25	15	369,78
	10	10	25	25	371,19
4	10	30	5	5	348,6
	10	30	5	15	343,53
	10	30	5	25	341,88
5	10	30	15	5	356,82
	10	30	15	15	354,27
	10	30	15	25	353,19
6	10	30	25	5	359,37
	10	30	25	15	358,86
	10	30	25	25	358,59
7	10	50	5	5	347,16
	10	50	5	15	341,22
	10	50	5	25	339,3
8	10	50	15	5	355,17
	10	50	15	15	350,94
	10	50	15	25	349,05
9	10	50	25	5	357,72
	10	50	25	15	355,35
	10	50	25	25	354,18

Na Grafikonu 9 je prikazano, kako se potencial osončenosti spreminja s podaljševanjem dolžine objekta (L v teh primerih predstavlja jugo – zahodno in severno – vzhodno stranico).





Grafikon 9: Potencial osončenosti 21. marca v odvisnosti od dolžine (L) objekta za rotacijo 45°

Iz Grafikona 9 je razvidno, da skoraj v vseh primerih potencial osončenosti z dolžino pada, razen v 2. primeru in 3. primeru, ko potencial osončenosti narašča. Značilnost teh dveh primerov je majhna višina in nekoliko večja širina.

- Primer 2: R = 10 m, V = 10 m, Š = 15 m.
- Primer 3: R = 10 m, V = 10 m, Š = 25 m.

Potek potenciala osončenosti ni očiten, odvisen je namreč od razmerja stranic ter višine objekta. Enako sledi iz Grafikona A8 v Prilogi A, ki prikazuje potek potenciala osončenosti z dolžino 21.6. Potencial osončenosti 21.12. je za vse primere maksimalen in znaša 240 min.

#### 4.1.2.2 Potencial osončenosti v odvisnosti od širine

Preglednica 9: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij ter predstavitev rezultatov potenciala osončenosti obravnavanega objekta za spreminjajočo se širino pri rotaciji 45°

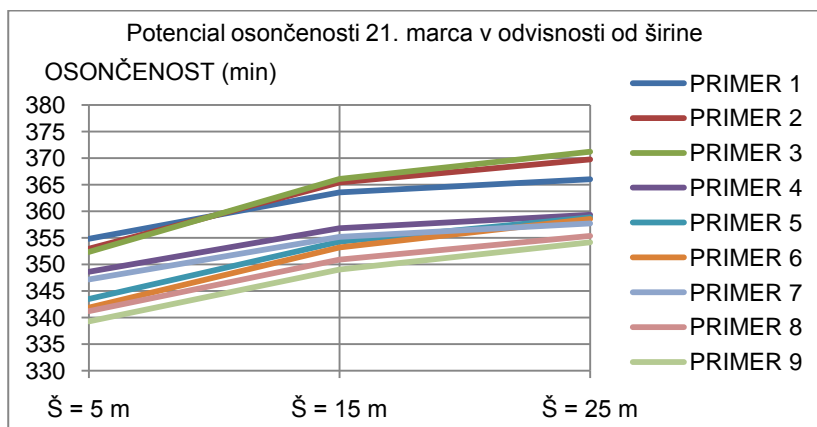
Primer	R (m)	V (m)	L (m)	Š (m)	Potencial (min)
1	10	10	5	5	354,81
	10	10	5	15	363,57
	10	10	5	25	366,06
2	10	10	15	5	352,98
	10	10	15	15	365,43
	10	10	15	25	369,78
3	10	10	25	5	352,38
	10	10	25	15	366,12
	10	10	25	25	371,19
4	10	30	5	5	348,6
	10	30	5	15	356,82
	10	30	5	25	359,37
5	10	30	15	5	343,53
	10	30	15	15	354,27
	10	30	15	25	358,86

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 9

6	10	30	25	5	341,88
	10	30	25	15	353,19
	10	30	25	25	358,59
7	10	50	5	5	347,16
	10	50	5	15	355,17
	10	50	5	25	357,72
8	10	50	15	5	341,22
	10	50	15	15	350,94
	10	50	15	25	355,35
9	10	50	25	5	339,3
	10	50	25	15	349,05
	10	50	25	25	354,18

Na Grafikonu 10 je prikazano, kako se potencial osončenosti spreminja s povečevanjem širine objekta (v teh primerih Š predstavlja jugo – vzhodno in severno – zahodno stranico). Iz grafikona je moč razbrati, da se potencial osončenosti z daljšanjem širine povečuje.



Grafikon 10: Potencial osončenosti 21. marca v odvisnosti od širine (Š) objekta za rotacijo 45°

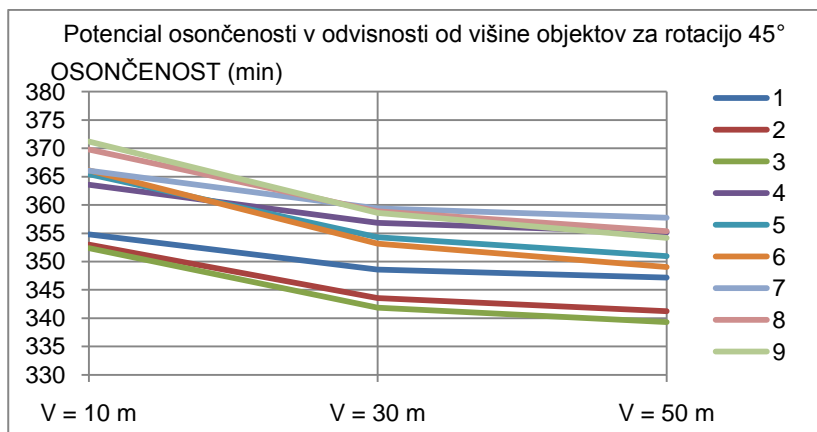
Za primere z rotacijo 45° se je izkazalo, da širši kot je objekt, manjši je vpliv samosenčenja.

#### 4.1.2.3 Potencial osončenosti v odvisnosti od višine objekta

Preglednica 10: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij ter predstavitev rezultatov potenciala osončenosti obravnavanega objekta za spreminjajočo se višino objekta pri rotaciji 45°

Primer	R (m)	Š (m)	L (m)	V (m)	Potencial (min)
1	10	5	5	10	354,81
	10	5	5	30	348,6
	10	5	5	50	347,16
2	10	5	15	10	352,98
	10	5	15	30	343,53
	10	5	15	50	341,22
3	10	5	25	10	352,38
	10	5	25	30	341,88
	10	5	25	50	339,3
4	10	15	5	10	363,57
	10	15	5	30	356,82
	10	15	5	50	355,17
5	10	15	15	10	365,43
	10	15	15	30	354,27
	10	15	15	50	350,94
6	10	15	25	10	366,12
	10	15	25	30	353,19
	10	15	25	50	349,05
7	10	25	5	10	366,06
	10	25	5	30	359,37
	10	25	5	50	357,72
8	10	25	15	10	369,78
	10	25	15	30	358,86
	10	25	15	50	355,35
9	10	25	25	10	371,19
	10	25	25	30	358,59
	10	25	25	50	354,18

Tako iz Preglednice 10, kot tudi iz Grafikona 11 je razvidno, da potencial osončenosti z višino pada. Enak potek potenciala osončenosti z višino je moč zaslediti tudi 21.6. (Priloga A, Grafikon A14), medtem ko potencial osončenosti 21.12. dosega v vseh primerih maksimalne vrednosti.



Grafikon 11: Potencial osončenosti 21. marca v odvisnosti od višine (V) objekta za rotacijo 45°

#### 4.1.2.4 Enačba za izračun potenciala osončenosti 21. marca, ki velja za primere z rotacijo 45°

S pomočjo enačbe (10) lahko izračunam potencial osončenosti preprostega objekta le ob poznavanju njegove geometrije.

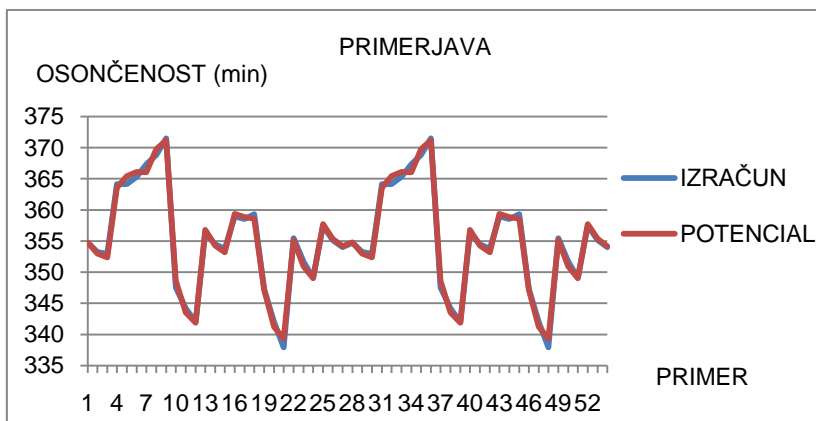
$$f = a_0 + a_1 \times V + a_2 \times \check{S} + a_3 \times L + a_4 \times V^2 + a_5 \times V \times L + a_6 \times \check{S}^2 + a_7 \times L^2 + a_8 \times V \times \check{S} + a_9 \times \check{S} \times L, \quad (10)$$

kjer je V višina objekta (m),  $\check{S}$  širina objekta (m) in L dolžina objekta (m). Koeficienti od  $a_0$  do  $a_9$  so bili pridobljeni s programskim orodjem Solver, njihove vrednosti so prikazane v Preglednici 11.

Preglednica 11: Koeficienti  $a_0$  do  $a_9$  za izračun potenciala osončenosti 21. marca pri rotaciji 45°

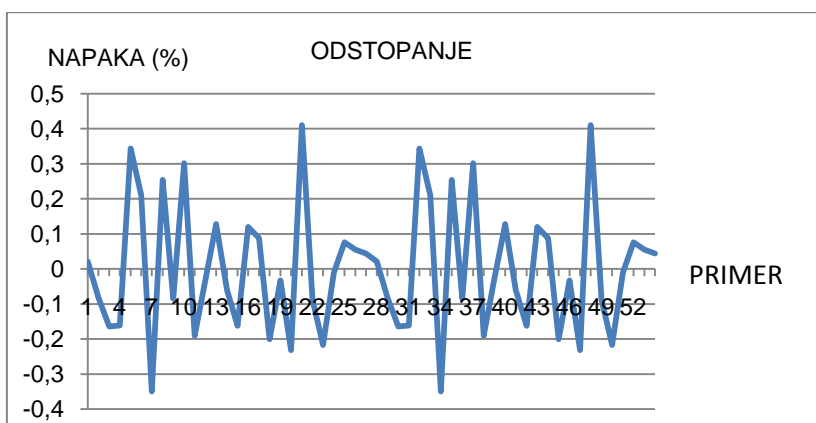
$a_0$	=	354,78
$a_1$	=	-0,642
$a_2$	=	1,52
$a_3$	=	-0,242
$a_4$	=	0,00864
$a_5$	=	-0,00949
$a_6$	=	-0,0312
$a_7$	=	0,00580
$a_8$	=	-0,00304
$a_9$	=	0,0149

Na Grafikonu 12 je prikazana primerjava med vrednostjo potenciala osončenosti izračunano s pomočjo enačbe (*izračun*) ter vrednostjo potenciala osončenosti, ki jo generira program (*potencial*).



Grafikon 12: Primerjava izračunane vrednosti s pomočjo enačbe (10) in vrednosti potenciala osončenosti, ki jo generira program

Največja napaka znaša le 0,41% glede na vrednosti, ki jih je generiral program, povprečna pa znaša 0,15%. Na Grafikonu 13 je prikazano odstopanje izračunanih vrednosti od vrednosti pridobljenih s pomočjo programa.



Grafikon 13: Odstopanje izračunanih vrednosti od vrednosti pridobljenih s pomočjo programa za 21. marec pri rotaciji 45°

Tudi v tem primeru je napaka majhna, kar kaže na to, da je uporaba parametrične enačbe za izračun potenciala osončenosti smiselna.

Da bi preverila uporabnost enačbe (10), sem ponovno naredila kontrolo za 10 naključnih primerov, ki so predstavljeni v Preglednici 12.

Preglednica 12: Naključni primeri za kontrolo enačbe (10)

Primer	R (m)	V (m)	Š (m)	L (m)	Osončenost (min)		Razlika (min)	Odstopanje (%)
					Program	Enačba		
1	5	15	10	10	356,88	356,96	-0,080	-0,0225
2	15	15	20	10	362,88	363,85	-0,973	-0,268
3	15	20	30	10	363,12	361,88	1,24	0,342
4	15	10	10	20	361,29	359,57	1,72	0,476
5	15	40	20	20	354,18	354,28	-0,100	-0,0282
6	15	40	30	20	357,87	355,66	2,21	0,618
7	25	15	10	30	355,83	356,88	-1,05	-0,295
8	25	40	20	10	355,83	355,79	0,044	0,0124
9	25	20	30	20	364,26	363,75	0,506	0,139
10	5	15	10	20	356,1	356,34	-0,241	-0,0676

Maksimalna napaka znaša 0,62%, povprečna pa 0,23%. Iz ugotovljenega sledi, da je enačba (10) zelo natančna.

## 4.2 Medsebojno senčenje in dejanska osončenost obravnavanega objekta

Da bi lahko ocenila koliko sosednja objekta senčita obravnavan objekt, sem najprej izračunala razliko med potencialom osončenosti in dejansko osončenostjo obravnavanega objekta. Ta razlika predstavlja senčenje sosednjih objektov v sklopu.

Ker gre za kompleksno analizo velikega števila primerov, sem se omejila na samo dva primera rotacije. Obravnavala sem primere, ko so objekti rotirani  $0^\circ$  in primere, ko so objekti rotirani za  $90^\circ$ .

### 4.2.1 Analiza dejanske osončenosti za primere pri rotaciji $0^\circ$

V Preglednicah 13, 14, 15 in 16 so prikazane geometrijske lastnosti posameznih primerov, dejanska osončenost ter razlika med potencialom osončenosti in dejansko osončenostjo za primere z rotacijo  $0^\circ$ . Modro so obarvani tisti primeri, kjer je razlika osončenosti enaka nič, rdeče obarvane številke pa označujejo tiste vrednosti osončenosti, ki ne ustrezajo zahtevam iz TSG4.

#### 4.2.1.1 Medsebojno senčenje in osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od dolžine objektov

Preglednica 13: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij, predstavitev rezultatov dejanske osončenosti obravnavanega primera ter razlike osončenosti za spreminjajočo se dolžino pri rotaciji  $0^\circ$

Primer	R (m)	V (m)	Š (m)	L (m)	Dejanska (min)	Razlika (min)
1	10	10	5	5	280,41	0
	10	10	5	15	331,5	0
	10	10	5	25	350,22	0
2	10	10	15	5	255,06	0
	10	10	15	15	306,54	0
	10	10	15	25	329,55	0
3	10	10	25	5	248,43	0
	10	10	25	15	298,74	0
	10	10	25	25	322,53	0
4	10	30	5	5	251,46	15,69
	10	30	5	15	245,16	74,25
	10	30	5	25	222,12	118,35
5	10	30	15	5	227,79	6,6
	10	30	15	15	240,33	38,91
	10	30	15	25	235,47	68,34
6	10	30	25	5	221,31	4,11
	10	30	25	15	238,62	26,19
	10	30	25	25	240,9	48,09

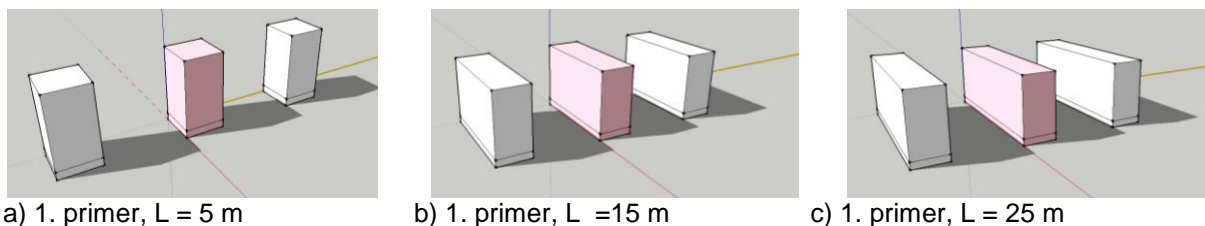
se nadaljuje ...

## ... nadaljevanje Preglednice 13

7	10	50	5	5	244,86	19,56
	10	50	5	15	222,27	94,41
	10	50	5	25	186,75	151,38
8	10	50	15	5	221,49	8,22
	10	50	15	15	221,73	50,49
	10	50	15	25	205,92	90,87
9	10	50	25	5	215,4	5,34
	10	50	25	15	221,4	34,44
	10	50	25	25	214,05	64,8
10	20	10	5	5	280,41	0
	20	10	5	15	331,5	0
	20	10	5	25	350,22	0
11	20	10	15	5	255,06	0
	20	10	15	15	306,54	0
	20	10	15	25	329,55	0
12	20	10	25	5	248,43	0
	20	10	25	15	298,74	0
	20	10	25	25	322,53	0
13	20	30	5	5	263,64	3,51
	20	30	5	15	301,71	17,7
	20	30	5	25	306,93	33,54
14	20	30	15	5	232,92	1,47
	20	30	15	15	269,91	9,33
	20	30	15	25	284,55	19,26
15	20	30	25	5	224,52	0,9
	20	30	25	15	258,6	6,21
	20	30	25	25	275,37	13,62
16	20	50	5	5	256,8	7,62
	20	50	5	15	277,47	39,21
	20	50	5	25	264,54	73,59
17	20	50	15	5	226,53	3,18
	20	50	15	15	251,19	21,03
	20	50	15	25	252,57	44,22
18	20	50	25	5	218,67	2,07
	20	50	25	15	241,53	14,31
	20	50	25	25	247,38	31,47

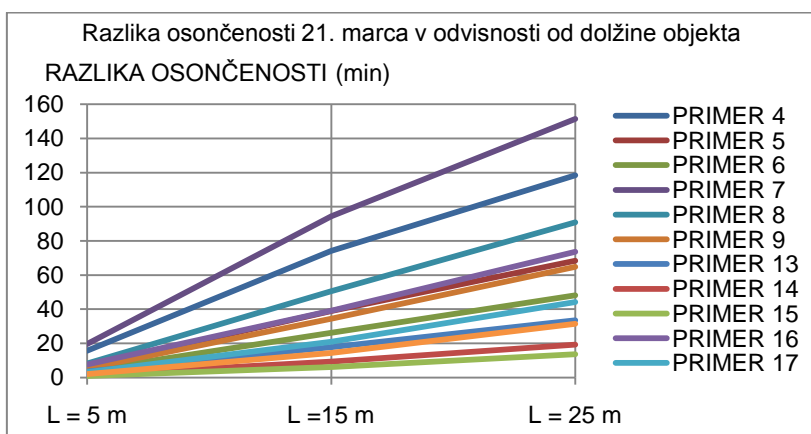
Kot je razvidno iz Preglednice 13, v prvih treh primerih za razdaljo  $R = 10$  m (1., 2. in 3. primer) ter prvih treh primerih za razdaljo  $R = 20$  m (10., 11. in 12. primer) senčenja ni, saj je razlika med potencialom osončenosti in dejansko osončenostjo enaka nič. Razlog temu je majhna višina ( $V$ ) objektov v primerjavi z razmikom med objekti, saj senca sosednjega objekta ne doseže obravnavanega objekta. Za ilustracijo te trditve je na Sliki 5 prikazan 1. primer pri različnih dolžinah.





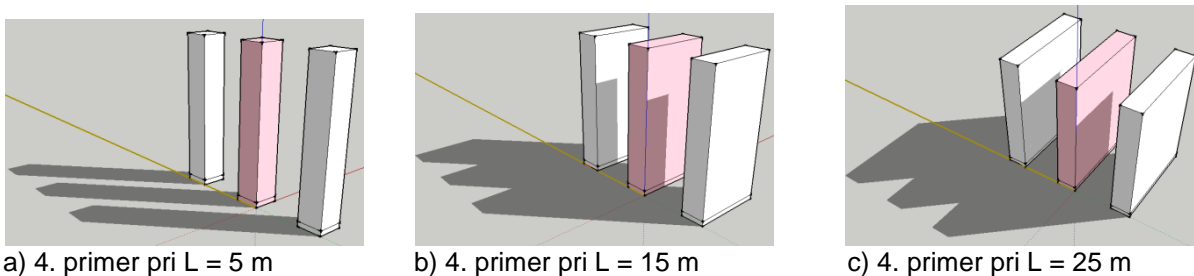
Slika 5: Senčenje sosednjih objektov za 1. primer, 21. marca pri rotaciji  $0^\circ$

Na Grafikonu 14 je prikazan potek razlike osončenosti v odvisnosti od dolžine objektov.



Grafikon 14: Razlika osončenosti v odvisnosti od dolžine objekta (L), 21. marca pri rotaciji  $0^\circ$

Izkazalo se je, da daljši kot je objekt, večja je razlika osončenosti. Vpliv senčenja se z večanjem dolžine, ki v teh primerih predstavlja južno stranico, povečuje. Videti je, da je v nekaterih primerih senčenje bolj izrazito, kar se kaže s strmejšim naklonom. Najbolj izrazit naklon je videti v 4. in 7. primeru.

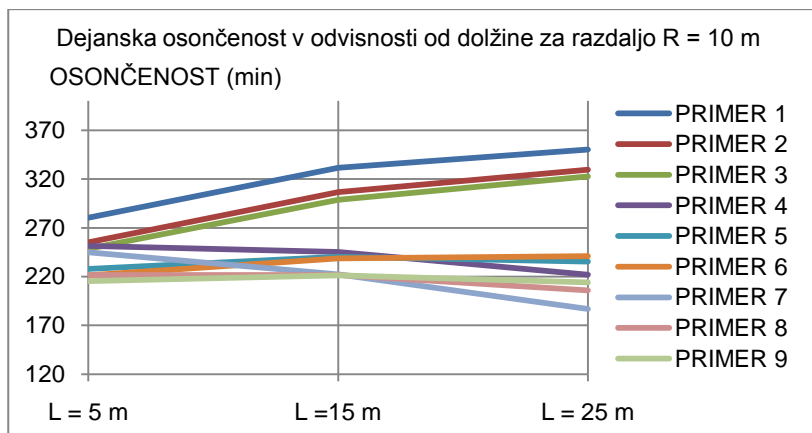


Slika 6: Prikaz senčenja sosednjih objektov za 4. primer pri različnih dolžinah L za rotacijo  $0^\circ$

Ko je objekt daljši, je daljša tudi njegova senca in, ko je stranica sosednjega objekta dovolj dolga, njena senca doseže obravnavan objekt. Na Sliki 6 je prikazan primer, kjer se spreminja le dolžina južne stranice, ostale geometrijske karakteristike pa so enake. Ko je stranica dolga 5 m ( $L = 5$  m), senca še ne doseže obravnavanega objekta, ko je  $L = 15$  m sosednji objekt že nekoliko senči obravnavanega, pri  $L = 25$  m pa je v senci že izdaten del stranice obravnavanega objekta.

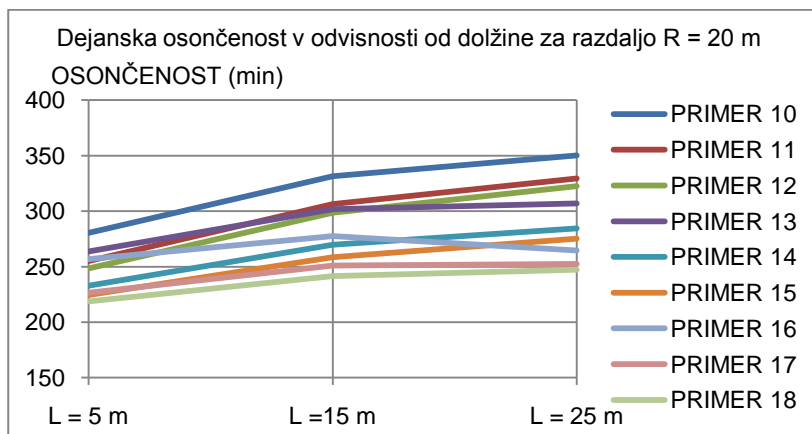
Največje naraščanje razlike osončenosti z dolžino je moč zaznati 21.12. (Priloga A, Grafikon A17). To je povsem razumljivo, saj so vpadni koti sončnih žarkov v zimskem času najmanjši, sence objektov pa najdaljše.

Za boljši prikaz rezultatov, sem primere predstavila v dveh grafikonih, in sicer primere, ko je razdalja med objekti 10 m, in primere, ko je razdalja 20 m.



Grafikon 15: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od dolžine objektov za primer razdalje med objekti 10 m pri rotaciji 0°

Iz Grafikona 15 lahko razberem, da prvi trije primeri sledijo poteku linije potenciala osončenosti. Kot sem že prej ugotovila, razlike med potencialom osončenosti in dejansko osončenostjo ni. Enako ugotovim s pomočjo Grafikona 16 za 10., 11. in 12. primer.



Grafikon 16: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od dolžine objektov za primer razdalje med objekti 20 m pri rotaciji 0°

Pri poteku dejanske osončenosti obravnavanega objekta sem definirala dva vpliva. Poimenovala sem ju *vpliv potenciala osončenosti* in *vpliv medsebojnega senčenja*. Vpliv potenciala osončenosti je takšen, da se osončenost obravnavanega objekta z dolžino povečuje, vpliv medsebojnega senčenja pa, da osončenost obravnavanega objekta, zaradi senčenja sosednjih objektov, z dolžino pada. Kako poteka dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od dolžine, je odvisno od tega, kateri izmed dveh vplivov prevlada.

Pri analizi vseh primerov so se pojavili štirje vzorci:

- I. Osončenost obravnavanega primera narašča, saj medsebojnega senčenja ni. To so 1., 2., 3. ter 10., 11. in 12. primer. Višina teh objektov je majhna in sence sosednjih objektov ne dosežejo obravnavanega. Prisoten je le vpliv potenciala osončenosti.

- II. Dejanska osončenost se z dolžino povečuje. To velja za 6. ter 13., 14., 15. in 18. primer, kjer prevladuje vpliv potenciala osončenosti s to razliko, da je v teh primerih prisoten tudi vpliv medsebojnega senčenja in se zato vrednosti dejanske osončenosti nekoliko razlikujejo od potenciala osončenosti.
- III. Dejanska osončenost z dolžino pada, kar se kaže v 4. in 7. primeru. Pri teh primerih je iz Grafikona 14 moč razbrati močan vpliv medsebojnega senčenja. Ko sem primerjala geometrijo teh dveh primerov, sem ugotovila, da se primera razlikujeta le v višini, razdalji in širini pa sta enaki in majhni ( $R = 10$  m in  $\check{S} = 5$  m).
- IV. Za 5., 8., 9. ter 16. in 17. primer velja, da sprva, ko je vpliv potenciala osončenosti večji od vpliva medsebojnega senčenja, osončenost narašča, nato pa, ko od neke točke naprej prevlada vpliv medsebojnega senčenja, dejanska osončenost pada.

Ko so objekti postavljeni na majhni razdalji, osončenost z dolžino narašča, v kolikor so ti objekti dovolj široki in niso previsoki. Če je razdalja med objekti večja, osončenost obravnavanega objekta za nizke objekte z dolžino narašča. Narašča tudi za višje objekte, če so pri tem večje tudi širine.

Očitno je, da se dejanska osončenost z dolžino, pri določenih pogojih razdalje in višine, povečuje, če je objekt le dovolj širok. Samo na dovolj majhni razdalji, dovolj majhni širini in dovolj visokem objektu je vpliv medsebojnega senčenja takšen, da v celoti prevlada in posledično osončenost obravnavanega objekta z dolžino pada. Iz teh ugotovitev gre sklepati na zelo tesno povezavo med posameznimi parametri.

V nekaterih primerih je vpliv medsebojnega senčenja tako velik, da okolica senči obravnavan objekt v takšni meri, da ta ne ustreza zahtevam iz TSG4. Senčenje sosednjih objektov je kritično v primerih, kjer so razdalje med objekti majhne, višina objektov pa je v primerjavi z izhodiščnim modelom velika.

#### 4.2.1.2 Medsebojno senčenje in osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od širine objektov

Preglednica 14: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij, predstavitev rezultatov dejanske osončenosti obravnavanega primera ter razlike osončenosti za spreminjajočo se širino pri rotaciji 0°

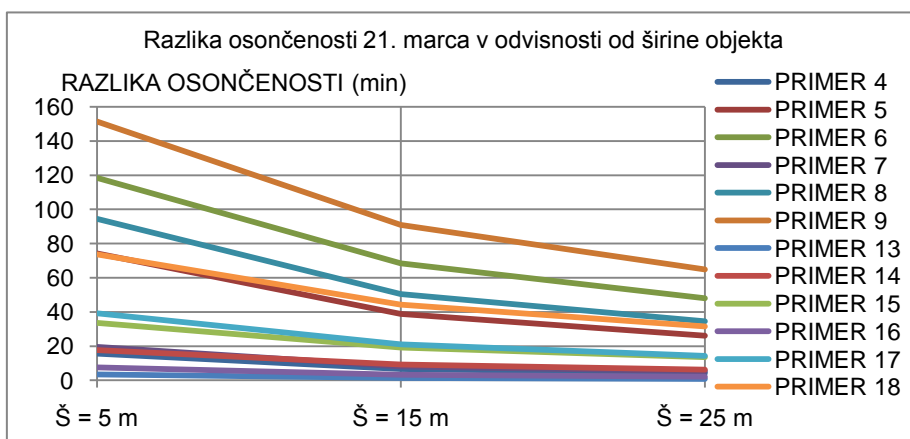
Primer	R (m)	V (m)	L (m)	Š (m)	Dejanska (min)	Razlika (min)
1	10	10	5	5	280,41	0
	10	10	5	15	255,06	0
	10	10	5	25	248,43	0
2	10	10	15	5	331,5	0
	10	10	15	15	306,54	0
	10	10	15	25	298,74	0
3	10	10	25	5	350,22	0
	10	10	25	15	329,55	0
	10	10	25	25	322,53	0
4	10	30	5	5	251,46	15,69
	10	30	5	15	227,79	6,6
	10	30	5	25	221,31	4,11
5	10	30	15	5	245,16	74,25
	10	30	15	15	240,33	38,91
	10	30	15	25	238,62	26,19
6	10	30	25	5	222,12	118,35
	10	30	25	15	235,47	68,34
	10	30	25	25	240,9	48,09
7	10	50	5	5	244,86	19,56
	10	50	5	15	221,49	8,22
	10	50	5	25	215,4	5,34
8	10	50	15	5	222,27	94,41
	10	50	15	15	221,73	50,49
	10	50	15	25	221,4	34,44
9	10	50	25	5	186,75	151,38
	10	50	25	15	205,92	90,87
	10	50	25	25	214,05	64,8
10	20	10	5	5	280,41	0
	20	10	5	15	255,06	0
	20	10	5	25	248,43	0
11	20	10	15	5	331,5	0
	20	10	15	15	306,54	0
	20	10	15	25	298,74	0
12	20	10	25	5	350,22	0
	20	10	25	15	329,55	0
	20	10	25	25	322,53	0

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 14

13	20	30	5	5	263,64	3,51
	20	30	5	15	232,92	1,47
	20	30	5	25	224,52	0,9
14	20	30	15	5	301,71	17,7
	20	30	15	15	269,91	9,33
	20	30	15	25	258,6	6,21
15	20	30	25	5	306,93	33,54
	20	30	25	15	284,55	19,26
	20	30	25	25	275,37	13,62
16	20	50	5	5	256,8	7,62
	20	50	5	15	226,53	3,18
	20	50	5	25	218,67	2,07
17	20	50	15	5	277,47	39,21
	20	50	15	15	251,19	21,03
	20	50	15	25	241,53	14,31
18	20	50	25	5	264,54	73,59
	20	50	25	15	252,57	44,22
	20	50	25	25	247,38	31,47

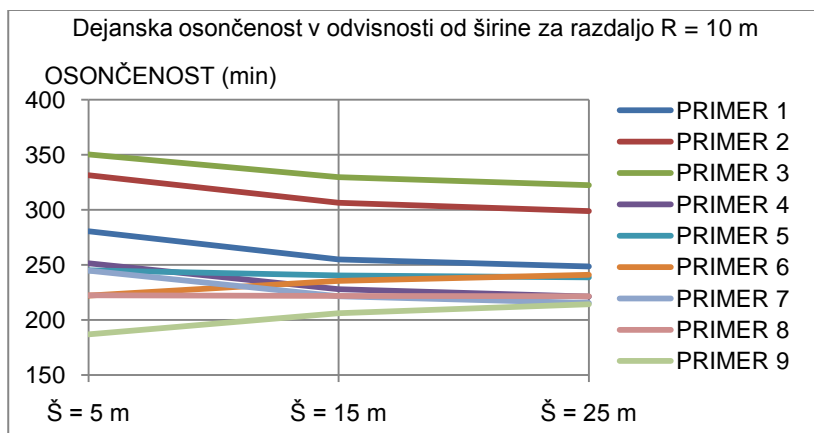
Iz Preglednice 14 je moč ugotoviti, da v 1., 2. in 3. primeru ter v 10., 11. in 12. primeru ne pride do medsebojnega senčenja, saj je razlika med potencialom osončenosti in dejansko osončenostjo enaka nič. Kako se razlika osončenosti spreminja s širino za ostale primere, je prikazano na Grafikonu 17.



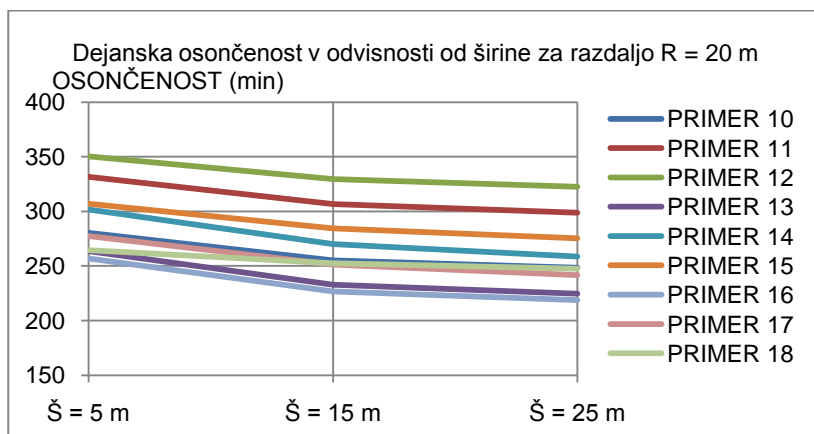
Grafikon 17: Razlika osončenosti v odvisnosti od širine objekta (Š), 21. marca pri rotaciji 0°

Iz Grafikona 17 je očitno, da razlika osončenosti s širino pada, kar pomeni, da se vpliv medsebojnega senčenja s širino manjša. S pomočjo te ugotovitve lahko potrdim prejšnjo, tj. če so objekti dovolj široki, je vpliv okolice na obravnavan objekt majhen.

Primere sem analizirala ter obnašanje osončenosti obravnavanega objekta v odvisnosti od širine objektov predstavila v spodnjih grafikonih. Zopet sem zaradi boljše preglednosti rezultate predstavila v dveh ločenih grafikonih.



Grafikon 18: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od širine objekta za primer razdalje med objekti 10 m pri rotaciji  $0^\circ$



Grafikon 19: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od širine objekta za primer razdalje med objekti 20 m pri rotaciji  $0^\circ$

Obnašanje osončenosti obravnavanega objekta sem zopet definirala s pomočjo dveh vplivov. Ko sem objektu z enakimi dimenzijami spreminjala samo širino, so se v analizi pojavili trije vzorci:

- I. Osončenost obravnavanega objekta s širino pada, saj medsebojnega senčenja med objekti ni. Prisoten je le vpliv potenciala osončenosti, ki je takšen, da s širino pada. To so 1., 2. in 3. ter 10., 11. in 12. primer. Višina teh objektov je majhna in sence sosednjih objektov ne dosežejo obravnavanega.
- II. Osončenost obravnavanega objekta s širino narašča. To se zgodi le v 6. in 9. primeru. Tema dvema primeroma je skupna dolžina  $L = 25$  m. Iz tega gre sklepati, da samo, ko je objekt dovolj dolg, osončenost s širino narašča.
- III. Vpliv potenciala osonečnosti je v vseh ostalih primerih tako velik, da ne glede na razdaljo med objekti, osončenost obravnavanega objekta pada.

#### 4.2.1.3 Medsebojno senčenje in dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od višine objektov

Preglednica 15: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij, predstavitev rezultatov dejanske osončenosti obravnavanega primera ter razlike osončenosti za spreminjajočo se višino pri rotaciji 0°

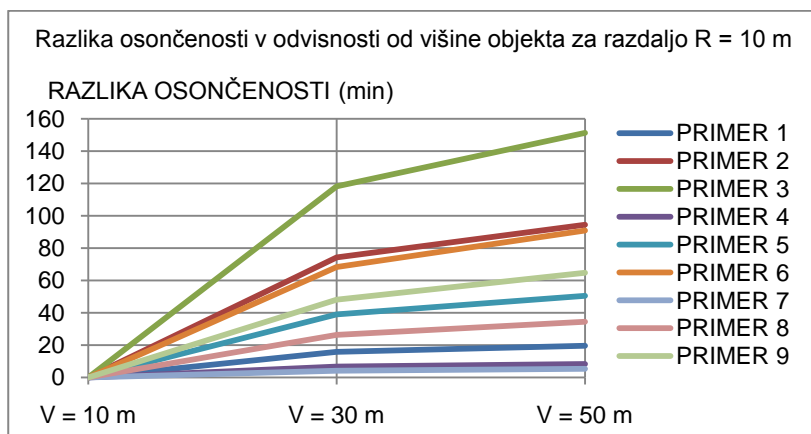
Primer	R (m)	Š (m)	L (m)	V (m)	Dejanska (min)	Razlika (min)
1	10	5	5	10	280,41	0
	10	5	5	30	251,46	15,69
	10	5	5	50	244,86	19,56
2	10	5	15	10	331,5	0
	10	5	15	30	245,16	74,25
	10	5	15	50	222,27	94,41
3	10	5	25	10	350,22	0
	10	5	25	30	222,12	118,35
	10	5	25	50	186,75	151,38
4	10	15	5	10	255,06	0
	10	15	5	30	227,79	6,6
	10	15	5	50	221,49	8,22
5	10	15	15	10	306,54	0
	10	15	15	30	240,33	38,91
	10	15	15	50	221,73	50,49
6	10	15	25	10	329,55	0
	10	15	25	30	235,47	68,34
	10	15	25	50	205,92	90,87
7	10	25	5	10	248,43	0
	10	25	5	30	221,31	4,11
	10	25	5	50	215,4	5,34
8	10	25	15	10	298,74	0
	10	25	15	30	238,62	26,19
	10	25	15	50	221,4	34,44
9	10	25	25	10	322,53	0
	10	25	25	30	240,9	48,09
	10	25	25	50	214,05	64,8
10	20	5	5	10	280,41	0
	20	5	5	30	263,64	3,51
	20	5	5	50	256,8	7,62
11	20	5	15	10	331,5	0
	20	5	15	30	301,71	17,7
	20	5	15	50	277,47	39,21
12	20	5	25	10	350,22	0
	20	5	25	30	306,93	33,54
	20	5	25	50	264,54	73,59

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 15

13	20	15	5	10	255,06	0
	20	15	5	30	232,92	1,47
	20	15	5	50	226,53	3,18
14	20	15	15	10	306,54	0
	20	15	15	30	269,91	9,33
	20	15	15	50	251,19	21,03
15	20	15	25	10	329,55	0
	20	15	25	30	284,55	19,26
	20	15	25	50	252,57	44,22
16	20	25	5	10	248,43	0
	20	25	5	30	224,52	0,9
	20	25	5	50	218,67	2,07
17	20	25	15	10	298,74	0
	20	25	15	30	258,6	6,21
	20	25	15	50	241,53	14,31
18	20	25	25	10	322,53	0
	20	25	25	30	275,37	13,62
	20	25	25	50	247,38	31,47

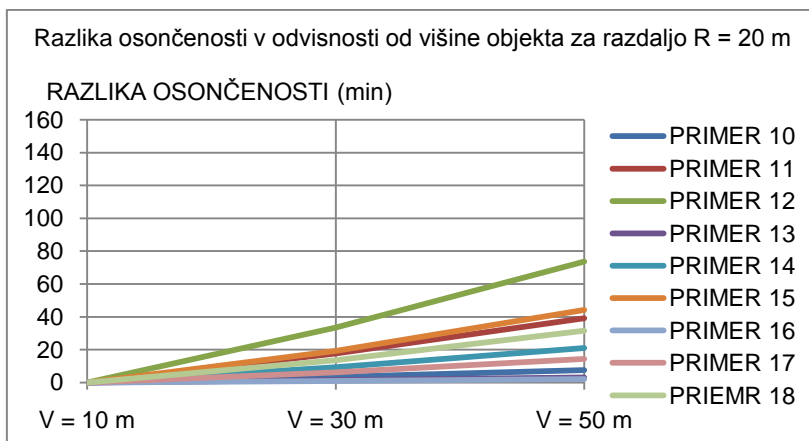
Zaradi doseganja boljše preglednosti nad rezultati, sem prikazala potek razlike osončenosti v dveh ločenih grafikonih.



Grafikon 20: Razlika osončenosti v odvisnosti od višine objekta (V) za razdaljo R = 10 m, 21. marca pri rotaciji 0°

Iz Grafikona 20 je razvidno, da razlika osončenosti z višino narašča, kar pomeni, da višji kot so objekti, bolj se medsebojno senčijo. Kot sem že predhodno ugotovila, so objekti z višino 10 m prenizki in ne senčijo obravnavanega. Največji vpliv medsebojnega senčenja se vidi v 3. primeru, kjer je širina enaka 5 m, dolžina pa 25 m. Velik vpliv se pozna tudi v 2. primeru, kjer je širina 5 m in dolžina 15 m. Lahko torej potrdim, da ko je stranica L dolga in stranica Š kratka, je senčenje sosednjih objektov bolj izrazito.



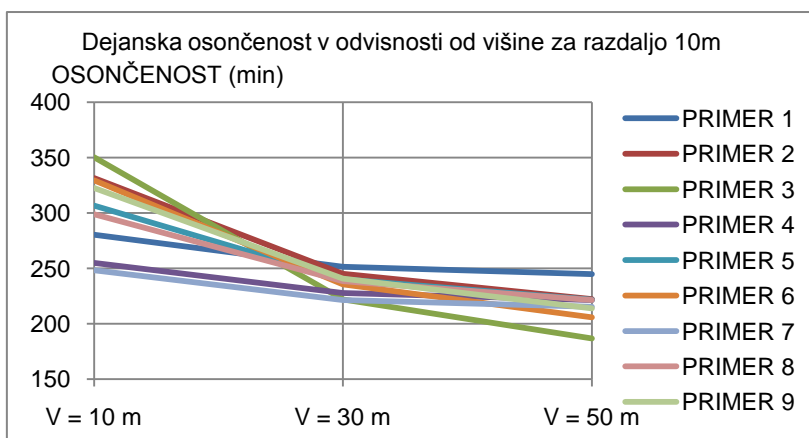


Grafikon 21: Razlika osončenosti v odvisnosti od višine objektov ( $V$ ) za razdaljo  $R = 20$  m, 21. marca pri rotaciji  $0^\circ$

Kot je bilo tudi pričakovati, so razlike osončenosti za primere z razdaljo med objekti  $R = 20$  m, manjše kot tiste, za primere z razdaljo  $R = 10$  m. Še vedno pa je očitno, da se razlika osončenosti z višino povečuje. Največji vpliv medsebojnega senčenja se pozna v 12. primeru, to je objekt s širino  $\check{S} = 5$  m in  $L = 25$  m, kar lahko le še potrdi zgornjo predpostavko.

Ker so razlike osončenosti za primere, ko je razdalja med objekti  $R = 20$  m, majhne, sem v Grafikonu 22 predstavila samo dejansko osončenost obravnavanega primera za prvih devet primerov.

Večji, kot je vpliv medsebojnega senčenja, bolj strmo pada vrednost dejanske osončenosti obravnavanega objekta. Tako ima največji padec 3. primer, nato mu sledi 2. primer, 6. primer itd. Skupno tem primerom je velika dolžina, kar pomeni, da je medsebojno senčenje objektov z veliko dolžino ( $L$ ) večje.



Grafikon 22: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od višine za primer razdalje med objekti 10 m pri rotaciji  $0^\circ$

V nekaterih primerih sosednji objekti senčijo obravnavanega do takšne mere, da so vrednosti trajanja osončenosti pod zahtevanimi vrednostmi TSG4.

#### 4.2.1.4 Medsebojno senčenje in osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od razdalje med objekti

Preglednica 16: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij, predstavitev rezultatov dejanske osončenosti obravnavanega primera ter razlike osončenosti za spreminjajočo se razdaljo med objekti pri rotaciji 0°

Primer	V (m)	Š (m)	L (m)	R (m)	Dejanska (min)	Razlika (min)
1	10	5	5	10	280,41	0
	10	5	5	20	280,41	0
2	10	5	15	10	331,5	0
	10	5	15	20	331,5	0
3	10	5	25	10	350,22	0
	10	5	25	20	350,22	0
4	10	15	5	10	255,06	0
	10	15	5	20	255,06	0
5	10	15	15	10	306,54	0
	10	15	15	20	306,54	0
6	10	15	25	10	329,55	0
	10	15	25	20	329,55	0
7	10	25	5	10	248,43	0
	10	25	5	20	248,43	0
8	10	25	15	10	298,74	0
	10	25	15	20	298,74	0
9	10	25	25	10	322,53	0
	10	25	25	20	322,53	0
10	30	5	5	10	251,46	15,69
	30	5	5	20	263,64	3,51
11	30	5	15	10	245,16	74,25
	30	5	15	20	301,71	17,7
12	30	5	25	10	222,12	118,35
	30	5	25	20	306,93	33,54
13	30	15	5	10	227,79	6,6
	30	15	5	20	232,92	1,47
14	30	15	15	10	240,33	38,91
	30	15	15	20	269,91	9,33
15	30	15	25	10	235,47	68,34
	30	15	25	20	284,55	19,26
16	30	25	5	10	221,31	4,11
	30	25	5	20	224,52	0,9
17	30	25	15	10	238,62	26,19
	30	25	15	20	258,6	6,21
18	30	25	25	10	240,9	48,09
	30	25	25	20	275,37	13,62

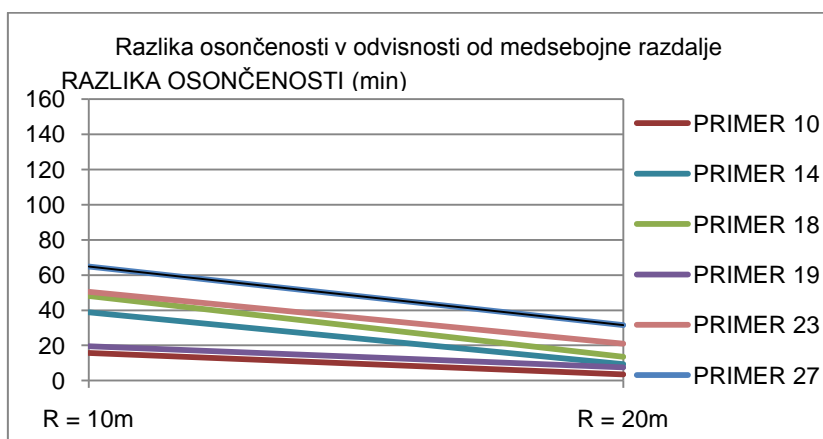
se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 16

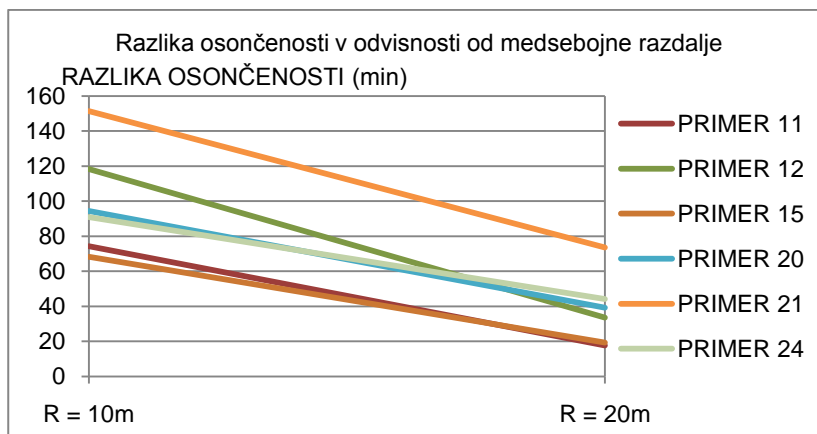
19	50	5	5	10	244,86	19,56
	50	5	5	20	256,8	7,62
20	50	5	15	10	222,27	94,41
	50	5	15	20	277,47	39,21
21	50	5	25	10	186,75	151,38
	50	5	25	20	264,54	73,59
22	50	15	5	10	221,49	8,22
	50	15	5	20	226,53	3,18
23	50	15	15	10	221,73	50,49
	50	15	15	20	251,19	21,03
24	50	15	25	10	205,92	90,87
	50	15	25	20	252,57	44,22
25	50	25	5	10	215,4	5,34
	50	25	5	20	218,67	2,07
26	50	25	15	10	221,4	34,44
	50	25	15	20	241,53	14,31
27	50	25	25	10	214,05	64,8
	50	25	25	20	247,38	31,47

Pri prvih devetih primerih ne pride do medsebojnega senčenja. Četudi je razdalja med objekti manjša, so objekti teh primerov prenizki, da bi sence dosegle obravnavan objekt.

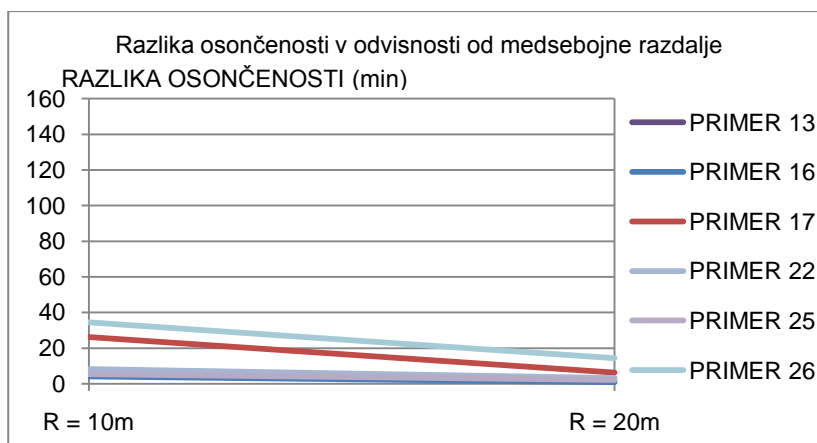
Za boljšo preglednost nad rezultati sem primere razdelila v tri skupine in tako tudi predstavila rezultate v grafikonih.



Grafikon 23: Razlika osončenosti v odvisnosti od razdalje med objekti (R), 21. marca pri rotaciji 0°, ko sta stranici objektov enaki



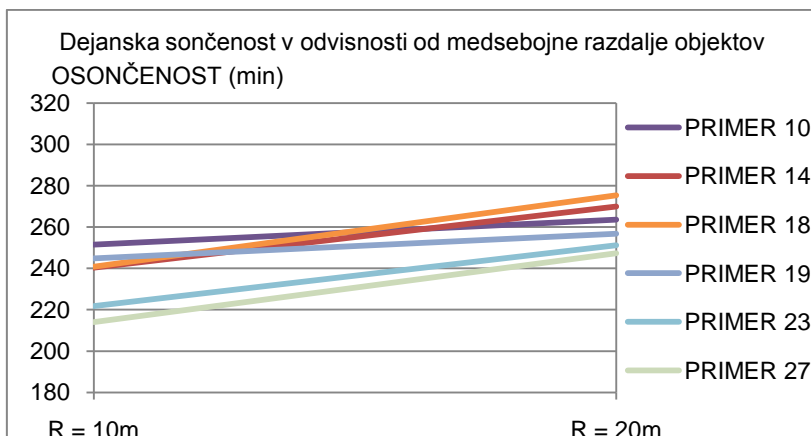
Grafikon 24: Razlika osončenosti v odvisnosti od razdalje med objekti (R), 21. marca pri rotaciji  $0^\circ$ , ko je dolžina večja od širine objekta



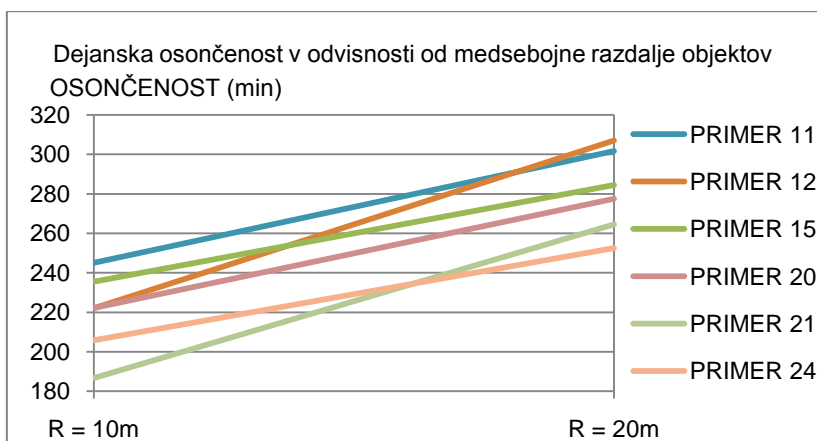
Grafikon 25: Razlika osončenosti v odvisnosti od razdalje med objekti (R), 21. marca pri rotaciji  $0^\circ$ , ko je dolžina manjša od širine objekta

Izkazalo se je, da se vpliv medsebojnega senčenja z razdaljo manjša, kar pomeni, da bolj kot so objekti narazen, manj se senčijo. To je sicer očitno, toda videti je tudi, da pri nekaterih primerih razlika osončenosti hitreje pri drugih pa počasneje pada. Največja razlika se kaže v primerih, ko je dolžina objektov večja od širine.

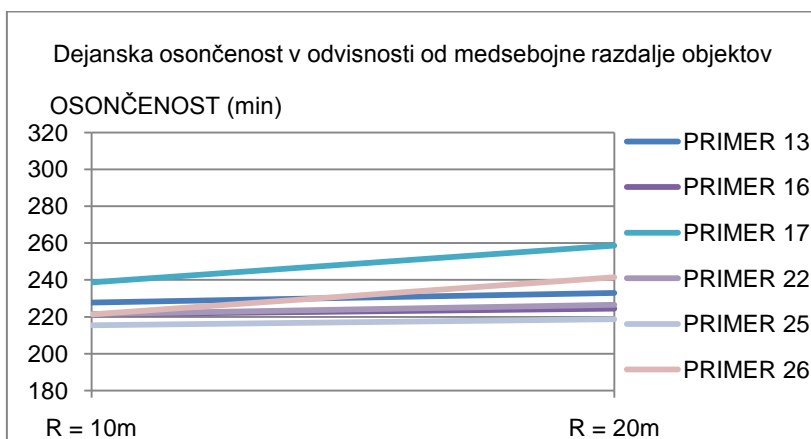
Na Grafikonih 26, 27 in 28 je prikazan potek dejanske osončenosti v odvisnosti od razdalje med objekti za tri različne skupine. V drugi skupini, kjer medsebojno senčenje strmo pada, je na Grafikonu 27 moč videti največjo razliko v vrednosti dejanske osončenosti, ko povečam razdaljo med objekti.



Grafikon 26: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od razdalje med objekti, 21. marca pri rotaciji  $0^\circ$ , kjer sta dolžina in širina objekta enaki



Grafikon 27: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od razdalje med objekti, 21. marca pri rotaciji  $0^\circ$ , kjer je dolžina večja od širine objekta



Grafikon 28: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od razdalje med objekti, 21. marca pri rotaciji  $0^\circ$ , kjer je dolžina manjša od širine objekta

Za vse primere velja, da se osončenost s povečevanjem razdalje povečuje. Za primere iz druge skupine, ko je dolžina večja od širine objekta, pa lahko trdim, da je vpliv razdalje zelo velik oz. pomemben, saj se s postavitvijo sosednjih objektov na večjo razdaljo osončenost, v primerjavi z ostalimi primeri, bistveno bolj poveča.

#### 4.2.1.5 Enačba za izračun dejanske osončenosti 21. marca, ki velja za rotacije od 0° do 30°

S pomočjo enačbe (11) lahko izračunam dejansko osončenost preprostega objekta le ob poznavanju njegove geometrije. Koeficienti od b0 do b14 so bili pridobljeni s programskim orodjem Solver, njihove vrednosti so prikazane v Preglednici 17.

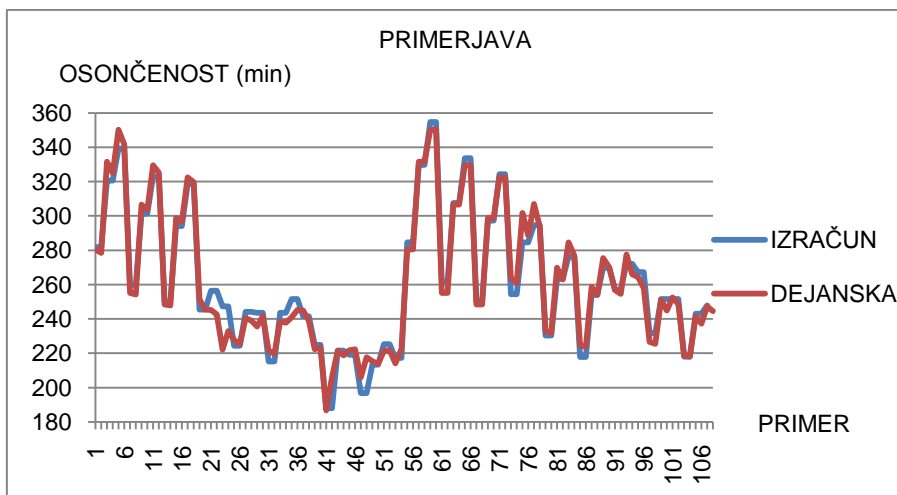
$$g = b_0 + b_1 \times V + b_2 \times \check{S} + b_3 \times L + b_4 \times L^2 + b_5 \times \check{S}^2 + b_6 \times V^2 + b_7 \times \check{S} \times V + b_8 \times \check{S} \times L + b_9 \times L \times V + b_{10} \times V \times \check{S} \times L + b_{11} \times R + b_{12} \times R \times V \times L + b_{13} \times R \times V \times \check{S} + b_{14} \times R \times V \times \check{S} \times L$$

(11)

Preglednica 17: Koeficienti b0 do b14 za izračun dejanske osončenosti 21. marca pri rotacijah od 0° do 45°

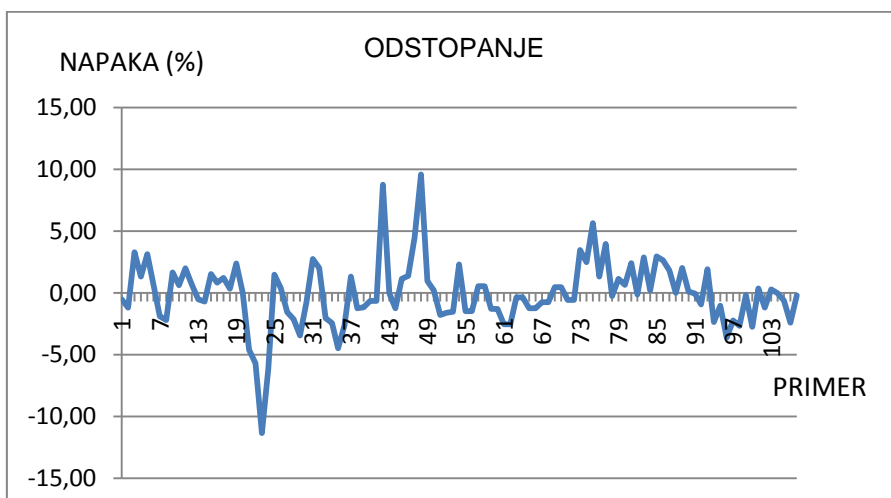
b0	=	294,52
b1	=	-2,70
b2	=	-3,43
b3	=	7,27
b4	=	-0,101
b5	=	0,0592
b6	=	0,0407
b7	=	-0,00854
b8	=	-0,0000115
b9	=	-0,227
b10	=	0,00479
b11	=	-0,0448
b12	=	0,00735
b13	=	-0,000102
b14	=	-0,000191

Na Grafikonu 29 je prikazana primerjava med vrednostjo dejanske osončenosti izračunane s pomočjo enačbe (izračun) ter vrednostjo dejanske osončenosti, ki jo generira program (dejanska).



Grafikon 29: Primerjava izračunane vrednosti s pomočjo enačbe (11) in vrednosti dejanske osončenosti, ki jo generira program

Največja napaka, ki sem jo naredila pri izračunu z enačbo (11) znaša sicer 11,35% glede na vrednosti, ki jih je generiral program, vendar pa povprečna napaka znaša le 1,81%. Na Grafikonu 30 je prikazano odstopanje izračunanih vrednosti od vrednosti pridobljenih s pomočjo programa.



Grafikon 30: Odstopanje izračunanih vrednosti od vrednosti pridobljenih s pomočjo programa za 21. marec pri rotacijah od 0° do 30°

Kljub temu, da je maksimalna napaka nekoliko večja je povprečna napaka majhna, kar kaže na to, da je uporaba parametrične enačbe za izračun dejanske osončenosti še vedno smiselna. Zaradi kompleksnejših povezav in prepletanja posameznih parametrov so napake pri enačbah za račun dejanske osončenosti nekoliko večje.

Iz Grafikona 30 je razvidno, da se največje napake pojavijo v:

- 23. primeru:  $R = 10 \text{ m}$ ,  $V = 30 \text{ m}$ ,  $\check{S} = 5 \text{ m}$ ,  $L = 25 \text{ m}$ ,
- 42. primeru:  $R = 10 \text{ m}$ ,  $V = 50 \text{ m}$ ,  $\check{S} = 5 \text{ m}$ ,  $L = 25 \text{ m}$ ,
- 48. primeru:  $R = 10 \text{ m}$ ,  $V = 30 \text{ m}$ ,  $\check{S} = 15 \text{ m}$ ,  $L = 25 \text{ m}$ .

To so primeri, kjer je senčenje bolj izrazito. Kot je bilo ugotovljeno, je senčenje bolj izrazito, ko je dolžina večja od širine, ko so objekti višji in se nahajajo na manjši razdalji.

Ponovno sem naredila kontrolo na naključnih primerih, ki so predstavljeni v Preglednici 18.

Preglednica 18: Naključno izbrani primeri za kontrolo enačbe (11)

Primer	R (m)	V (m)	Š (m)	L (m)	ROT (°)	Osončenost (min)		Razlika (min)	Odstopanje (%)
						Program	Enačba		
1	7	15	10	10	5	256,62	274,57	-17,95	-6,99
2	15	15	20	10	15	268,38	265,43	2,95	1,10
3	15	20	30	10	15	250,71	251,24	-0,534	-0,213
4	15	10	10	20	15	327,21	327,26	-0,0468	-0,0143
5	15	40	20	20	15	242,82	240,65	2,17	0,892
6	15	40	30	20	25	240,72	247,31	-6,59	-2,74
7	25	15	10	30	25	335,4	340,39	-4,99	-1,49
8	25	40	20	10	25	242,67	242,13	0,540	0,223
9	25	20	30	20	25	284,94	287,53	-2,59	-0,911
10	7	15	10	20	5	260,16	296,02	-35,86	-13,78

Iz Preglednice 18 je moč razbrati precejšnje odstopanje v 1. in 10. primeru. Kot je bilo že prej ugotovljeno, je enačba nekoliko manj natančna na območjih, kjer je medsebojno senčenje zelo izrazito. Tema dvema primeroma je skupna majhna razdalja med objekti, v 10. primeru, ko je napaka največja, pa je tudi dolžina L velika. Pri večji dolžini L, pa je medsebojno senčenje bolj izrazito. Videti pa je tudi, da je odstopanje pri ostalih primerih zelo majhno, kar kaže na to, da je enačba (11) natančna v primerih, ko medsebojno senčenje ni tako izrazito. Ko bi imeli opravka z visokimi in dolgimi objekti, ki stojijo na relativno majhni razdalji, bi morali poleg enačbe (11), za kontrolo, uporabiti dodatno orodje za izračun dejanske osončenosti sredinskega objekta.



## 4.2.2 Analiza dejanske osončenosti za primere pri rotaciji 90°

V Preglednicah 19, 20, 21 in 22 so prikazane geometrijske lastnosti posameznih primerov, potencial osončenosti, dejanska osončenost ter razlika med potencialom osončenosti in dejansko osončenostjo za primer rotacije 90°. Modro so obarvani tisti primeri, kjer je razlika osončenosti enaka nič, rdeče obarvane številke označujejo tiste vrednosti osončenosti, ki ne ustrezajo zahtevam iz TSG4.

### 4.2.2.1 Medsebojno senčenje in osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od dolžine objektov

Preglednica 19: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij, predstavitev rezultatov potenciala osončenosti, dejanske osončenosti obravnavanega primera ter razlike osončenosti za spreminjajočo se dolžino pri rotaciji 90°

Primer	R (m)	V (m)	Š (m)	L (m)	Dejanska (min)	Potencial (min)	Razlika (min)
1	10	10	5	5	280,41	280,41	0
	10	10	5	15	252,27	255,06	2,79
	10	10	5	25	244,38	248,43	4,05
2	10	10	15	5	331,5	331,5	0
	10	10	15	15	304,8	306,54	1,74
	10	10	15	25	296,1	298,74	2,64
3	10	10	25	5	350,22	350,22	0
	10	10	25	15	328,29	329,55	1,26
	10	10	25	25	320,58	322,53	1,95
4	10	30	5	5	267,15	267,15	0
	10	30	5	15	216,81	234,39	17,58
	10	30	5	25	190,26	225,42	35,16
5	10	30	15	5	319,41	319,41	0
	10	30	15	15	266,67	279,24	12,57
	10	30	15	25	237,99	264,81	26,82
6	10	30	25	5	340,47	340,47	0
	10	30	25	15	294,12	303,81	9,69
	10	30	25	25	267,33	288,99	21,66
7	10	50	5	5	264,42	264,42	0
	10	50	5	15	207,96	229,71	21,75
	10	50	5	25	174,69	220,74	46,05
8	10	50	15	5	316,68	316,68	0
	10	50	15	15	256,08	272,22	16,14
	10	50	15	25	219,33	255,84	36,51
9	10	50	25	5	338,13	338,13	0
	10	50	25	15	284,01	296,79	12,78
	10	50	25	25	248,67	278,85	30,18

se nadaljuje ...

## ... nadaljevanje Preglednice 19

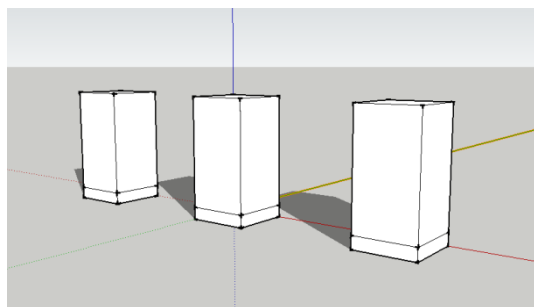
10	20	10	5	5	280,41	280,41	0
	20	10	5	15	255,06	255,06	0
	20	10	5	25	248,43	248,43	0
11	20	10	15	5	331,5	331,5	0
	20	10	15	15	306,54	306,54	0
	20	10	15	25	298,74	298,74	0
12	20	10	25	5	350,22	350,22	0
	20	10	25	15	329,55	329,55	0
	20	10	25	25	322,53	322,53	0
13	20	30	5	5	267,15	267,15	0
	20	30	5	15	233,4	234,39	0,99
	20	30	5	25	217,68	225,42	7,74
14	20	30	15	5	319,41	319,41	0
	20	30	15	15	278,52	279,24	0,72
	20	30	15	25	258,9	264,81	5,91
15	20	30	25	5	340,47	340,47	0
	20	30	25	15	303,27	303,81	0,54
	20	30	25	25	284,19	288,99	4,8
16	20	50	5	5	264,42	264,42	0
	20	50	5	15	228,33	229,71	1,38
	20	50	5	25	208,26	220,74	12,48
17	20	50	15	5	316,68	316,68	0
	20	50	15	15	271,2	272,22	1,02
	20	50	15	25	246	255,84	9,84
18	20	50	25	5	338,13	338,13	0
	20	50	25	15	295,98	296,79	0,81
	20	50	25	25	270,69	278,85	8,16

Iz preglednice 19 je razvidno, da medsebojnega senčenja ni:

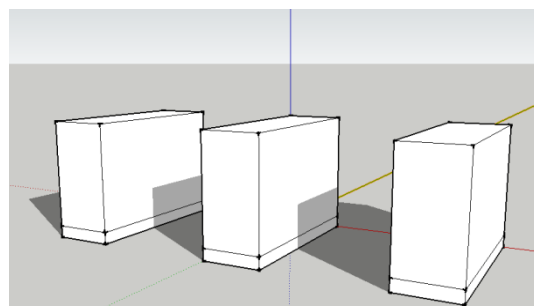
- od 1. do 9. primera za dolžino objektov  $L = 5$  m,
- v 10., 11. in 12. primeru,
- od 13 do 18 za dolžino  $L = 5$  m.

Razlog temu je majhna višina ( $V$ ) objektov v primerjavi z razmikom med objekti, saj senca sosednjega objekta ne doseže obravnavanega objekta. Sosednji objekti ne senčijo obravnavanega tudi v primerih manjše razdalje  $R$  in večje višine  $V$ , ko je dolžina majhna ( $L = 5$  m), kjer  $L$  predstavlja vzhodno in zahodno stranico.

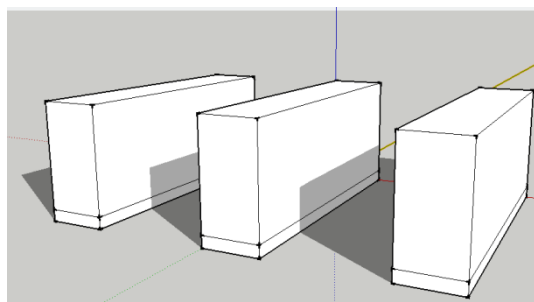
Na Sliki 7 je prikazan 1. primer pri različnih dolžinah objektov. Ko je stranica dolga 5 m ( $L = 5$  m) senca še ne doseže obravnavanega objekta, ko je  $L = 15$  m sosednji objekt že nekoliko senči obravnavanega, pri  $L = 25$  m pa je v senci že večji delež stranice obravnavanega objekta.



a) 1. primer pri L = 5 m



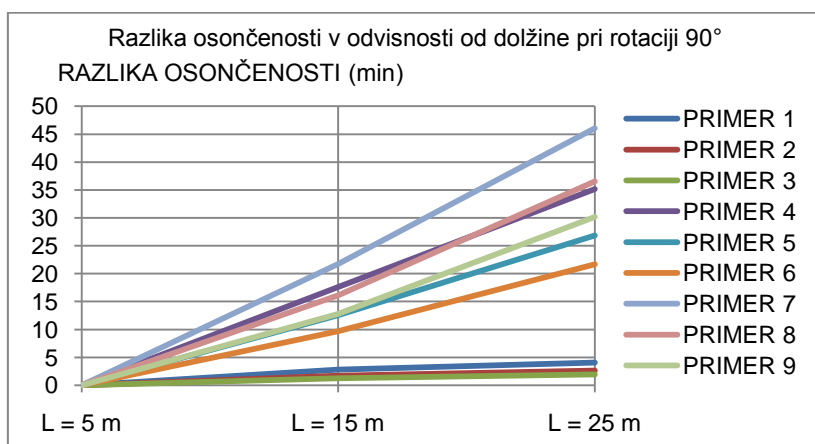
b) 1. primer pri L = 15 m



c) 1. primer pri L = 25 m

Slika 7: Prikaz medsebojnega senčenja za 1. primer pri različnih dolžinah L za rotacijo 90°

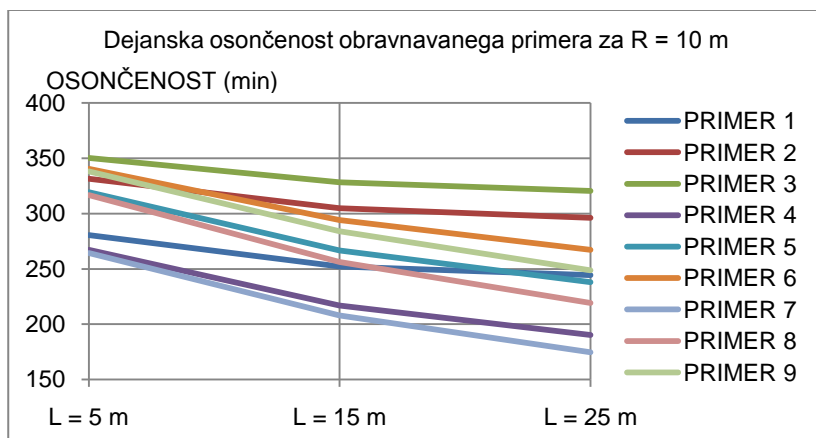
Na Grafikonu 31 je prikazan potek razlike osončenosti v odvisnosti od dolžine objektov za prvih devet primerov. Razlike osončenosti od 10. do 18. primera zaradi boljše preglednosti nisem prikazala, saj so vrednosti v primerjavi s predstavljenimi majhne.



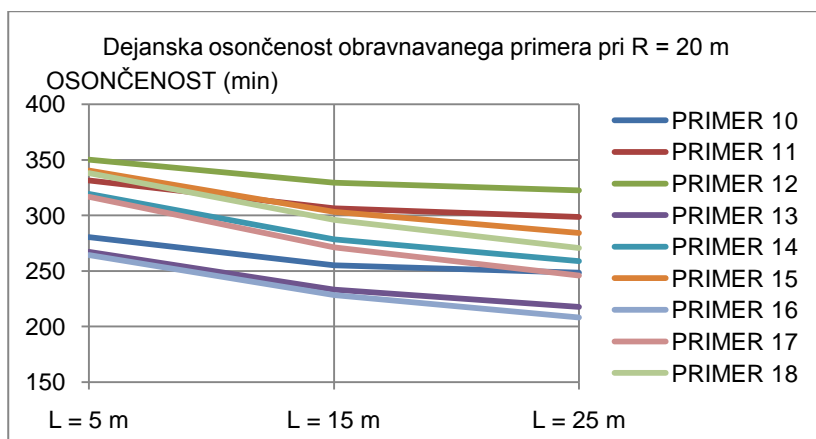
Grafikon 31: Razlika osončenosti v odvisnosti od dolžine objektov, 21. marca pri rotaciji 90°

Izkazalo se je, da daljši kot je objekt, večja je razlika osončenosti. Največji vpliv medsebojnega senčenja je zaznati v 4., 7. in 8. primeru.

Za boljši prikaz rezultatov dejanske osončenosti obravnavanega objekta, sem primere predstavila v dveh grafikonih, in sicer primere, ko je razdalja med objekti 10 m in primere, ko je razdalja med objekti 20 m.



Grafikon 32: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od dolžine objekta za primer razdalje med objekti 10 m pri rotaciji 90°



Grafikon 33: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od dolžine objekta za primer razdalje med objekti 20 m pri rotaciji 90°

V vseh primerih se dejanska osončenost z dolžino zmanjšuje. Iz Preglednice 19 je moč razbrati, kako se potencial osončenosti spreminja z dolžino objekta. Izkazalo se je, da v primeru rotacije 90° potencial osončenosti z dolžino pada. Ker L predstavlja vzhodno in zahodno stranico, Š pa južno in severno stranico, je obnašanje potenciala osončenosti za rotacijo 90° torej povsem razumljivo. Če upoštevam še dejstvo, da vpliv medsebojnega senčenja z dolžino narašča, je bilo tudi pričakovati, da se bo dejanska osončenost z dolžino zmanjševala.

V nekaterih primerih že pri potencialu osončenosti ni zadoščeno kriterijem iz TSG4, kar pomeni, da sta že sama geometrija objekta in njegova rotacija neustrezni. To so:

- 4. primer: R = 10 m, V = 30 m, Š = 5 m za L = 15 m in L = 25 m,
- 7. primer: R = 10 m, V = 50 m, Š = 5 m za L = 15 m in L = 25 m,
- 13. primer: R = 20 m, V = 30 m, Š = 5 m za L = 15 m in L = 25 m,
- 16. primer: R = 20 m, V = 50 m, Š = 5 m za L = 15 m in L = 25 m.

Pri dejanski osončenosti sta poleg naštetih primerov, zaradi velikega vpliva senčenja sosednjih objektov, neustrezna tudi:

- 5. primer:  $R = 10$  m,  $V = 30$  m,  $\check{S} = 15$  m za  $L = 25$  m,
- 8. primer:  $R = 10$  m,  $V = 50$  m,  $\check{S} = 15$  m za  $L = 25$  m.

#### 4.2.2.2 Medsebojno senčenje in osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od širine objektov

Preglednica 20: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij, predstavitev rezultatov potenciala osončenosti, dejanske osončenosti obravnavanega primera ter razlike osončenosti za spreminjajočo se širino pri rotaciji  $90^\circ$

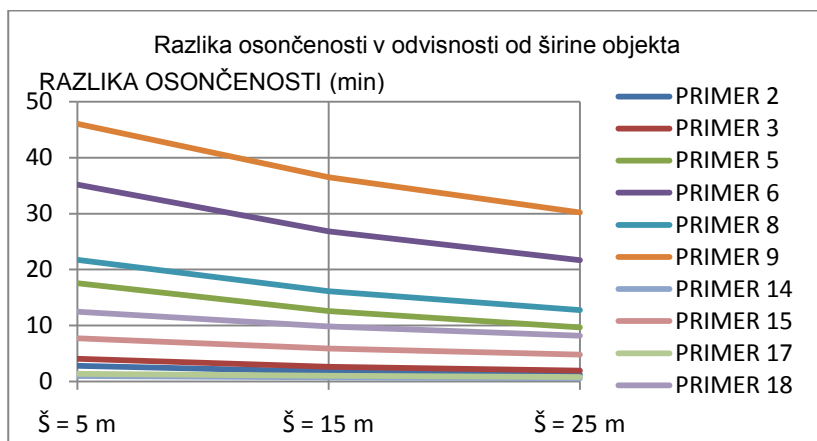
Primer	R (m)	V (m)	L (m)	Š (m)	Dejanska (min)	Potencial (min)	Razlika (min)
1	10	10	5	5	280,41	280,41	0
	10	10	5	15	331,5	331,5	0
	10	10	5	25	350,22	350,22	0
2	10	10	15	5	252,27	255,06	2,79
	10	10	15	15	304,8	306,54	1,74
	10	10	15	25	328,29	329,55	1,26
3	10	10	25	5	244,38	248,43	4,05
	10	10	25	15	296,1	298,74	2,64
	10	10	25	25	320,58	322,53	1,95
4	10	30	5	5	267,15	267,15	0
	10	30	5	15	319,41	319,41	0
	10	30	5	25	340,47	340,47	0
5	10	30	15	5	216,81	234,39	17,58
	10	30	15	15	266,67	279,24	12,57
	10	30	15	25	294,12	303,81	9,69
6	10	30	25	5	190,26	225,42	35,16
	10	30	25	15	237,99	264,81	26,82
	10	30	25	25	267,33	288,99	21,66
7	10	50	5	5	264,42	264,42	0
	10	50	5	15	316,68	316,68	0
	10	50	5	25	338,13	338,13	0
8	10	50	15	5	207,96	229,71	21,75
	10	50	15	15	256,08	272,22	16,14
	10	50	15	25	284,01	296,79	12,78
9	10	50	25	5	174,69	220,74	46,05
	10	50	25	15	219,33	255,84	36,51
	10	50	25	25	248,67	278,85	30,18
10	20	10	5	5	280,41	280,41	0
	20	10	5	15	331,5	331,5	0
	20	10	5	25	350,22	350,22	0

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 20

11	20	10	15	5	255,06	255,06	0
	20	10	15	15	306,54	306,54	0
	20	10	15	25	329,55	329,55	0
12	20	10	25	5	248,43	248,43	0
	20	10	25	15	298,74	298,74	0
	20	10	25	25	322,53	322,53	0
13	20	30	5	5	267,15	267,15	0
	20	30	5	15	319,41	319,41	0
	20	30	5	25	340,47	340,47	0
14	20	30	15	5	233,4	234,39	0,99
	20	30	15	15	278,52	279,24	0,72
	20	30	15	25	303,27	303,81	0,54
15	20	30	25	5	217,68	225,42	7,74
	20	30	25	15	258,9	264,81	5,91
	20	30	25	25	284,19	288,99	4,8
16	20	50	5	5	264,42	264,42	0
	20	50	5	15	316,68	316,68	0
	20	50	5	25	338,13	338,13	0
17	20	50	15	5	228,33	229,71	1,38
	20	50	15	15	271,2	272,22	1,02
	20	50	15	25	295,98	296,79	0,81
18	20	50	25	5	208,26	220,74	12,48
	20	50	25	15	246	255,84	9,84
	20	50	25	25	270,69	278,85	8,16

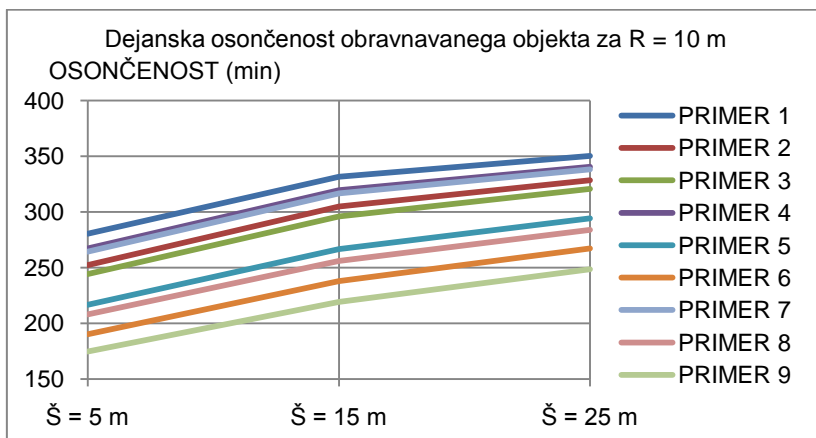
Iz Preglednice 20 je moč razbrati, da v 1., 4., 7. primeru ter v 10., 11., 12., 13. in 16. primeru ne pride do medsebojnega senčenja, saj je razlika med potencialom osončenosti in dejansko osončenostjo enaka nič. Kako se razlika osončenosti spreminja s širino za ostale primere je prikazano na Grafikonu 34.



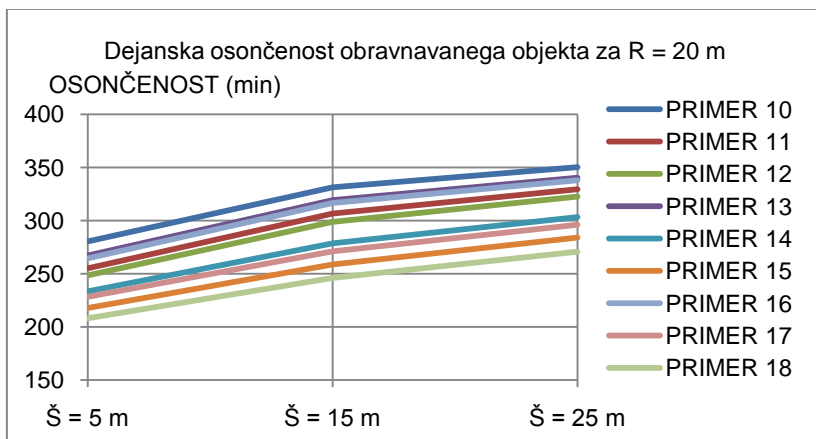
Grafikon 34: Razlika osončenosti v odvisnosti od širine objekta (Š), 21. marca pri rotaciji 90°

Iz Grafikona 34 je očitno, da razlika osončenosti s širino pada, kar pomeni, da se vpliv medsebojnega senčenja s širino manjša. Največji medsebojni vpliv je opaziti v 6. in 9. primeru. Zanje je značilna velika dolžina, kar je skladno s prejšnjo ugotovitvijo, da se vpliv medsebojnega senčenja z dolžino veča, saj je pri največji dolžini vpliv medsebojnega senčenja največji.

Spodaj je narejena analiza osončenosti obravnavanega objekta v odvisnosti od širine objektov. Zopet sem zaradi boljše preglednosti rezultate predstavila v dveh ločenih grafikonih.



Grafikon 35: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od širine objekta za primer razdalje med objekti 10 m pri rotaciji  $90^\circ$



Grafikon 36: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od širine objekta za primer razdalje med objekti 20 m pri rotaciji  $90^\circ$

Ker potencial osončenosti s širino narašča in je vpliv medsebojnega senčenja s širino vedno manjši, je bilo pričakovati, da se bo osončenost obravnavanega objekta s širino povečevala. To je bilo na grafikonih tudi vidno.

#### 4.2.2.3 Medsebojno senčenje in dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od višine objektov

Preglednica 21: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij, predstavitev rezultatov potenciala osončenosti, dejanske osončenosti obravnavanega primera ter razlike osončenosti za spreminjajočo se višino pri rotaciji 90°

Primer	R (m)	Š (m)	L (m)	V (m)	Dejanska (min)	Potencial (min)	Razlika (min)
1	10	5	5	10	280,41	280,41	0
	10	5	5	30	267,15	267,15	0
	10	5	5	50	264,42	264,42	0
2	10	5	15	10	252,27	255,06	2,79
	10	5	15	30	216,81	234,39	17,58
	10	5	15	50	207,96	229,71	21,75
3	10	5	25	10	244,38	248,43	4,05
	10	5	25	30	190,26	225,42	35,16
	10	5	25	50	174,69	220,74	46,05
4	10	15	5	10	331,5	331,5	0
	10	15	5	30	319,41	319,41	0
	10	15	5	50	316,68	316,68	0
5	10	15	15	10	304,8	306,54	1,74
	10	15	15	30	266,67	279,24	12,57
	10	15	15	50	256,08	272,22	16,14
6	10	15	25	10	296,1	298,74	2,64
	10	15	25	30	237,99	264,81	26,82
	10	15	25	50	219,33	255,84	36,51
7	10	25	5	10	350,22	350,22	0
	10	25	5	30	340,47	340,47	0
	10	25	5	50	338,13	338,13	0
8	10	25	15	10	328,29	329,55	1,26
	10	25	15	30	294,12	303,81	9,69
	10	25	15	50	284,01	296,79	12,78
9	10	25	25	10	320,58	322,53	1,95
	10	25	25	30	267,33	288,99	21,66
	10	25	25	50	248,67	278,85	30,18
10	20	5	5	10	280,41	280,41	0
	20	5	5	30	267,15	267,15	0
	20	5	5	50	264,42	264,42	0
11	20	5	15	10	255,06	255,06	0
	20	5	15	30	233,4	234,39	0,99
	20	5	15	50	228,33	229,71	1,38
12	20	5	25	10	248,43	248,43	0
	20	5	25	30	217,68	225,42	7,74
	20	5	25	50	208,26	220,74	12,48

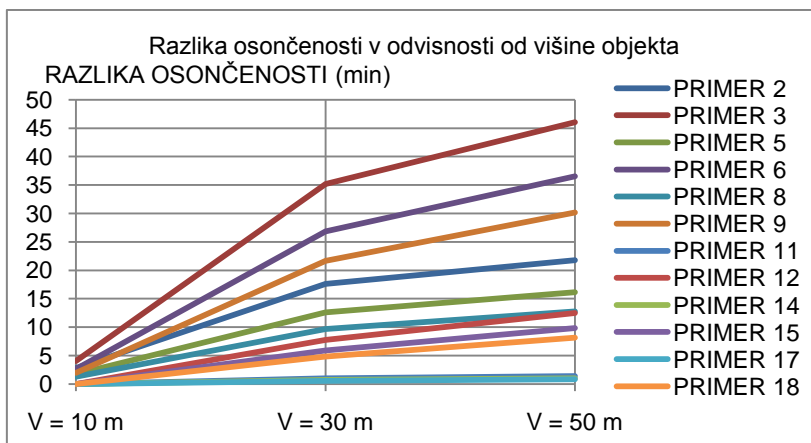
se nadaljuje...



... nadaljevanje Preglednice 21

13	20	15	5	10	331,5	331,5	0
	20	15	5	30	319,41	319,41	0
	20	15	5	50	316,68	316,68	0
14	20	15	15	10	306,54	306,54	0
	20	15	15	30	278,52	279,24	0,72
	20	15	15	50	271,2	272,22	1,02
15	20	15	25	10	298,74	298,74	0
	20	15	25	30	258,9	264,81	5,91
	20	15	25	50	246	255,84	9,84
16	20	25	5	10	350,22	350,22	0
	20	25	5	30	340,47	340,47	0
	20	25	5	50	338,13	338,13	0
17	20	25	15	10	329,55	329,55	0
	20	25	15	30	303,27	303,81	0,54
	20	25	15	50	295,98	296,79	0,81
18	20	25	25	10	322,53	322,53	0
	20	25	25	30	284,19	288,99	4,8
	20	25	25	50	270,69	278,85	8,16

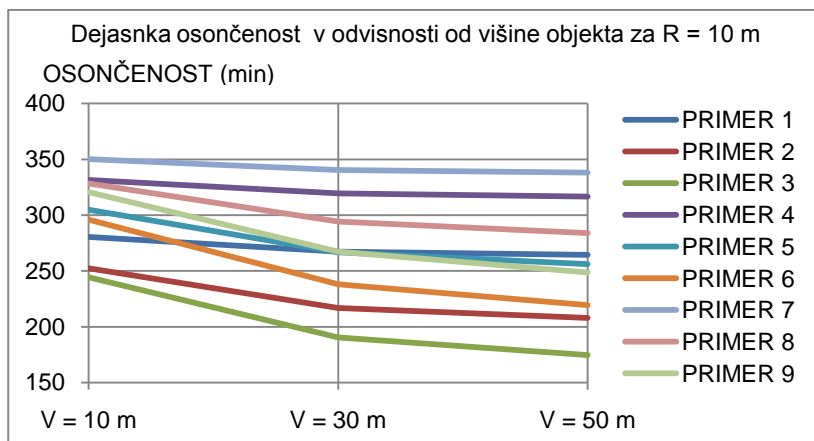
Na Grafikonu 37 je prikazan potek razlike osončenosti v odvisnosti od višine objekta.



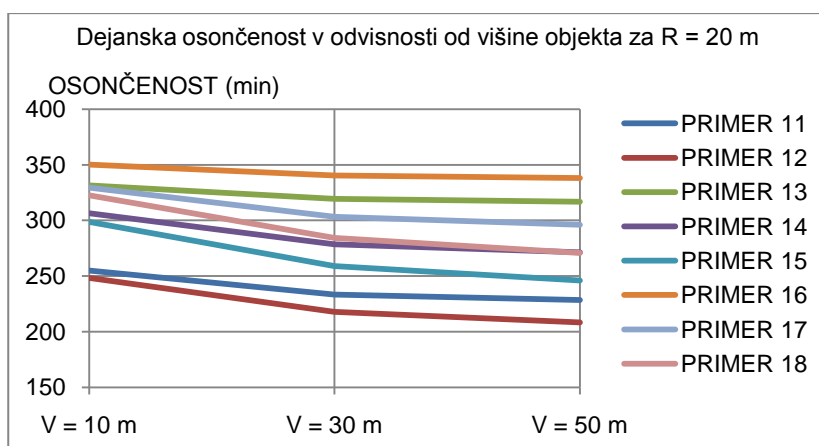
Grafikon 37: Razlika osončenosti v odvisnosti od višine objekta (V) za primer 21. marca pri rotaciji 90°

Iz Grafikona 37 je razvidno, da razlika osončenosti z višino narašča, kar pomeni, da višji kot so objekti, bolj senčijo obravnavanega. Kot sem že predhodno ugotovila, so objekti z višino  $V = 10$  m prenizki in se ne medsebojno senčijo. Največji vpliv medsebojnega senčenja se vidi v 3. primeru, kjer je širina enaka 5 m, dolžina pa 25 m. Velik vpliv se pozna tudi v 6. primeru, kjer je širina 15 m in dolžina 25 m in v 9. primeru, kjer je  $\dot{S} = 25$  m in  $L = 25$  m. Vpliv medsebojnega senčenja je bolj izrazit pri dolgih objektih.

Na Grafikonu 38 in Grafikonu 39 je prikazan potek dejanske osončenosti v odvisnosti od višine objektov.



Grafikon 38: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od širine objekta za primer razdalje med objekti 10 m pri rotaciji  $90^\circ$



Grafikon 39: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od širine objekta za primer razdalje med objekti 20 m pri rotaciji  $90^\circ$

Večji, kot je vpliv medsebojnega senčenja, bolj strmo pada vrednost dejanske osončenosti obravnavanega objekta. Tako ima največji padec 3. primer, nato mu sledijo 6., 9., itd.

#### 4.2.2.4 Medsebojno senčenje in osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od razdalje

Preglednica 22: Obravnavani primeri objektov različnih dimenzij, predstavitev rezultatov potenciala osončenosti, dejanske osončenosti obravnavanega primera ter razlike osončenosti za spreminjajočo se razdaljo med objekti pri rotaciji 90°

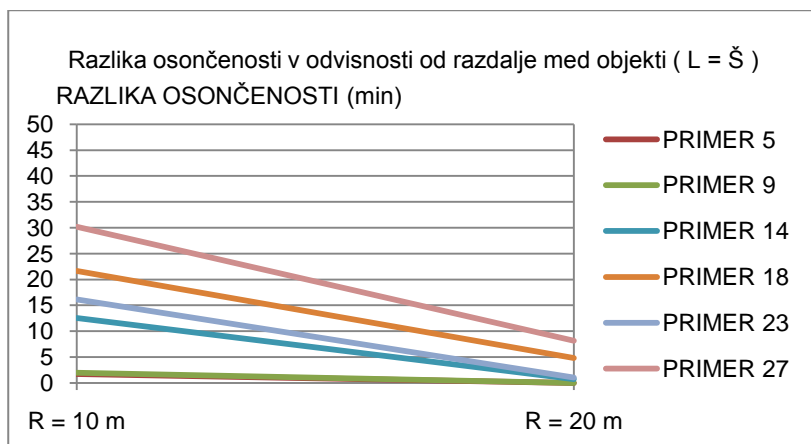
Primer	V (m)	Š (m)	L (m)	R (m)	Dejanska (min)	Potencial (min)	Razlika (min)
1	10	5	5	10	280,41	280,41	0
	10	5	5	20	280,41	280,41	0
2	10	5	15	10	252,27	255,06	2,79
	10	5	15	20	255,06	255,06	0
3	10	5	25	10	244,38	248,43	4,05
	10	5	25	20	248,43	248,43	0
4	10	15	5	10	331,5	331,5	0
	10	15	5	20	331,5	331,5	0
5	10	15	15	10	304,8	306,54	1,74
	10	15	15	20	306,54	306,54	0
6	10	15	25	10	296,1	298,74	2,64
	10	15	25	20	298,74	298,74	0
7	10	25	5	10	350,22	350,22	0
	10	25	5	20	350,22	350,22	0
8	10	25	15	10	328,29	329,55	1,26
	10	25	15	20	329,55	329,55	0
9	10	25	25	10	320,58	322,53	1,95
	10	25	25	20	322,53	322,53	0
10	30	5	5	10	267,15	267,15	0
	30	5	5	20	267,15	267,15	0
11	30	5	15	10	216,81	234,39	17,58
	30	5	15	20	233,4	234,39	0,99
12	30	5	25	10	190,26	225,42	35,16
	30	5	25	20	217,68	225,42	7,74
13	30	15	5	10	319,41	319,41	0
	30	15	5	20	319,41	319,41	0
14	30	15	15	10	266,67	279,24	12,57
	30	15	15	20	278,52	279,24	0,72
15	30	15	25	10	237,99	264,81	26,82
	30	15	25	20	258,9	264,81	5,91
16	30	25	5	10	340,47	340,47	0
	30	25	5	20	340,47	340,47	0
17	30	25	15	10	294,12	303,81	9,69
	30	25	15	20	303,27	303,81	0,54
18	30	25	25	10	267,33	288,99	21,66
	30	25	25	20	284,19	288,99	4,8

se nadaljuje ...

## ... nadaljevanje Preglednice 22

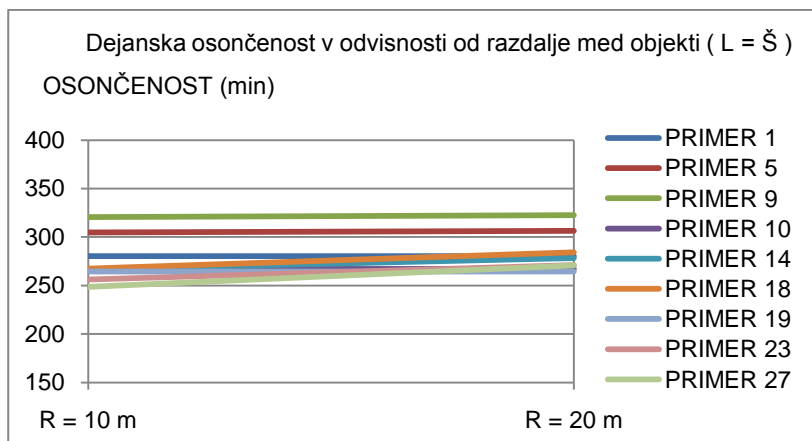
19	50	5	5	10	264,42	264,42	0
	50	5	5	20	264,42	264,42	0
20	50	5	15	10	207,96	229,71	21,75
	50	5	15	20	228,33	229,71	1,38
21	50	5	25	10	174,69	220,74	46,05
	50	5	25	20	208,26	220,74	12,48
22	50	15	5	10	316,68	316,68	0
	50	15	5	20	316,68	316,68	0
23	50	15	15	10	256,08	272,22	16,14
	50	15	15	20	271,2	272,22	1,02
24	50	15	25	10	219,33	255,84	36,51
	50	15	25	20	246	255,84	9,84
25	50	25	5	10	338,13	338,13	0
	50	25	5	20	338,13	338,13	0
26	50	25	15	10	284,01	296,79	12,78
	50	25	15	20	295,98	296,79	0,81
27	50	25	25	10	248,67	278,85	30,18
	50	25	25	20	270,69	278,85	8,16

Kako se z razdaljo spreminja razlika osončenosti posameznih primerov je predstavljeno na spodnjih grafikonih. Za boljšo preglednost nad rezultati sem primere razdelila v tri skupine glede na razmerje med dolžino in širino objektov in tako tudi predstavila rezultate.

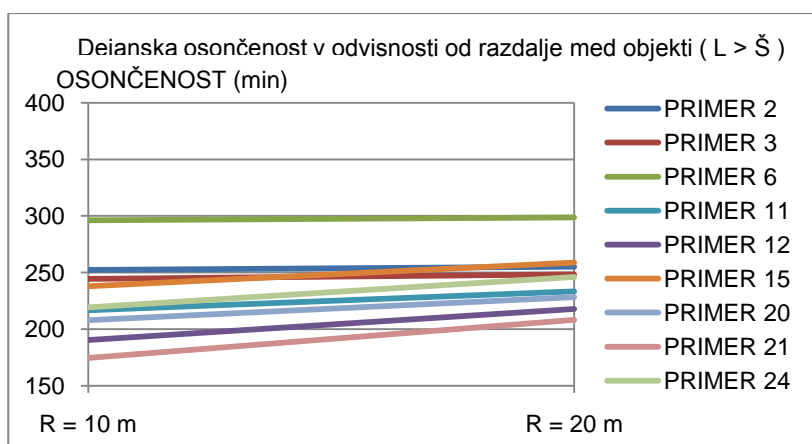


Grafikon 40: Razlika osončenosti v odvisnosti od razdalje med objekti (R), 21. marca pri rotaciji 90°, ko sta stranici objektov enaki

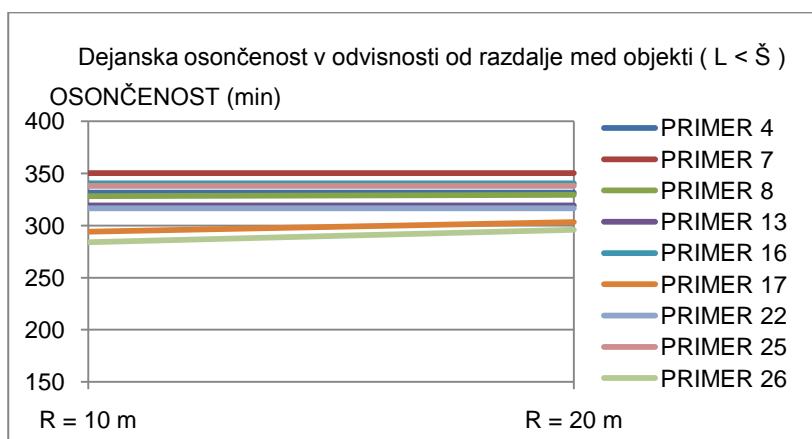




Grafikon 43: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od razdalje med objekti, 21. marca pri rotaciji  $90^\circ$ , kjer sta dolžina in širina objekta enaki



Grafikon 44: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od razdalje med objekti, 21. marca pri rotaciji  $90^\circ$ , kjer je dolžina večja od širine objekta



Grafikon 45: Dejanska osončenost obravnavanega objekta v odvisnosti od razdalje med objekti, 21. marca pri rotaciji  $90^\circ$ , kjer je dolžina manjša od širine objekta

S premikom objektov na razdaljo  $R = 20$  m, se največja razlika v osončenosti pozna v primerih iz druge skupine, ko je dolžina večja od širine. V teh primerih je tudi razlika osončenost najbolj strmo padala. Pri objektih z dolžino večjo od širine lahko osončenost bistveno izboljšamo, če postavimo objekte na večjo razdaljo. Sicer pa so razlike v primerjavi

z rotacijo 0° bistveno manjše, kar lahko vodi do ugotovitve, da igra razdalja med objekti bistveno večjo vlogo v primerih z rotacijo 0°.

#### 4.2.2.5 Enačba za izračun dejanske osončenosti 21. marca pri rotaciji 90°

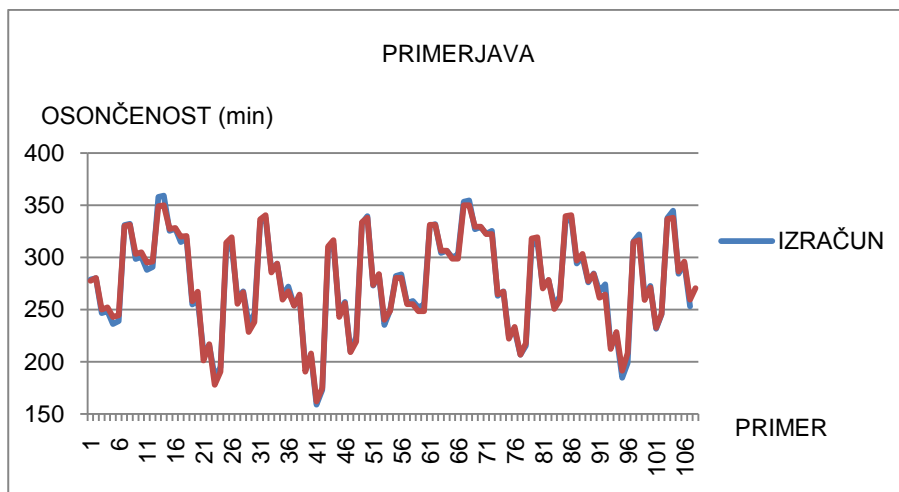
S pomočjo enačbe (12) lahko izračunam dejansko osončenost preprostega objekta le ob poznavanju njegove geometrije. Koeficienti od b0 do b13 so bili pridobljeni s pomočjo orodja Solver, njihove vrednosti so prikazane v Preglednici 23.

$$g = b_0 + b_1 \times V + b_2 \times \check{S} + b_3 \times L + b_4 \times L^2 + b_5 \times \check{S}^2 + b_6 \times V^2 + b_7 \times L \times V + b_8 \times V \times \check{S} \times L + b_9 \times R \times L + b_{10} \times V \times ROT + b_{11} \times R \times V + b_{12} \times R \times \check{S} + b_{13} \times V \times L \times ROT \quad (12)$$

Preglednica 23: Koeficienti b0 do b13 za izračun dejanske osončenosti 21. marca pri rotacijah od 45° do 90°

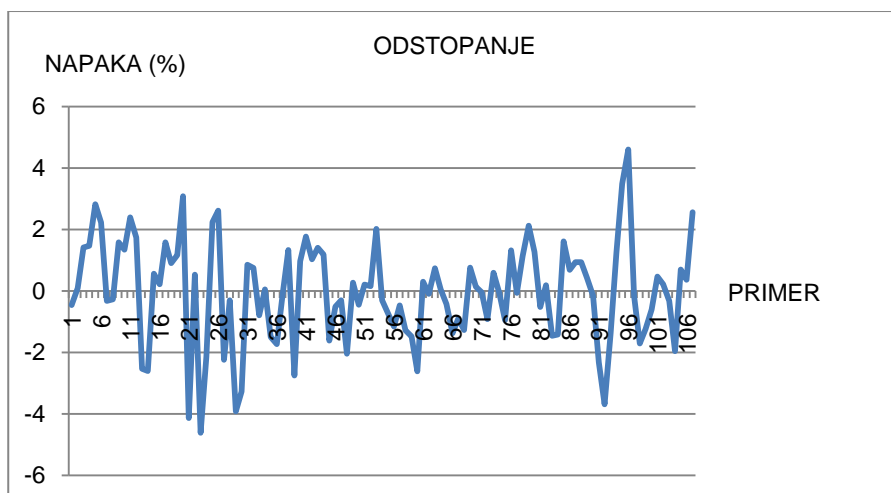
b0	=	284,8943
b1	=	-2,47317
b2	=	8,169002
b3	=	-5,38722
b4	=	0,109564
b5	=	-0,12643
b6	=	0,028974
b7	=	-0,07961
b8	=	-0,00011
b9	=	0,062398
b10	=	0,003347
b11	=	0,024444
b12	=	-0,04099
b13	=	0,000241

Na Grafikonu 46 je prikazana primerjava med vrednostjo dejanske osončenosti izračunane s pomočjo enačbe (izračun) ter vrednostjo dejanske osončenosti, ki jo generira program (dejanska).



Grafikon 46: Primerjava izračunane vrednosti s pomočjo enačbe (12) in vrednosti dejanske osončenosti, ki jo generira program

Največja napaka, ki sem jo naredila pri izračunu z enačbo (12) znaša sicer 4,6% glede na vrednosti, ki jih je generiral program, vendar pa povprečna napaka znaša le 1,26%. Na Grafikonu 47 je prikazano odstopanje izračunanih vrednosti od vrednosti pridobljenih s pomočjo programa.



Grafikon 47: Odstopanje izračunanih vrednosti od vrednosti pridobljenih s pomočjo programa za 21. marec pri rotacijah od 45° do 90°

Zaradi kompleksnejših povezav in prepletanja posameznih parametrov so napake pri enačbah za račun dejanske osončenosti nekoliko večje. Kljub temu, da je maksimalna napaka nekoliko večja, je povprečna napaka majhna, kar kaže na to, da je uporaba parametrične enačbe za izračun dejanske osončenosti še vedno smiselna.

Ponovno sem naredila kontrolo na naključnih primerih, ki so predstavljeni v Preglednici 24.



Preglednica 24: Naključno izbrani primeri za kontrolo enačbe (12)

Primer	R (m)	V (m)	Š (m)	L (m)	ROT (°)	Osončenost (min)		Razlika (min)	Odstopanje (%)
						Program	Enačba		
1	7	15	10	10	60	267,24	277,59	-10,35	-3,87
2	15	15	20	10	90	318,24	322,27	-4,03	-1,27
3	15	20	30	10	60	327,03	323,95	3,08	0,942
4	15	10	10	20	90	281,97	275,63	6,34	2,25
5	15	40	20	20	60	258,15	256,43	1,72	0,666
6	15	40	30	20	90	290,46	277,66	12,80	4,41
7	25	15	10	30	60	262,08	279,27	-17,19	-6,56
8	25	40	20	10	90	303,42	309,76	-6,34	-2,09
9	25	20	30	20	60	312,06	303,68	8,38	2,69
10	7	15	10	20	90	247,44	254,69	-7,25	-2,93

Napaka je nekoliko večja, vendar v povprečju izračuna enačba (12) dejansko osončenost na 2,78% natančno, kar kaže, da je njena uporaba smiselna.

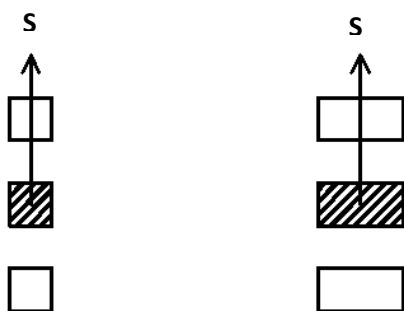
### 4.2.3 Ugotovitve analize medsebojnega senčenja in dejanske osončenosti

#### 4.2.3.1 Vpliv spreminjanja južne stranice

V primerih, ko so objekti postavljeni v smeri S-J, kot to prikazuje Slika 8, se vpliv medsebojnega senčenja z daljšanjem južne stranice objektov povečuje. To pomeni, da daljše kot so južne stranice objektov v sklopu, večji je vpliv sosednjih objektov na obravnavanega. Ker se vpliv potenciala osončenosti z daljšanjem južne stranice povečuje, je potek dejanske osončenosti v odvisnosti od dolžine južne stranice odvisen od tega, kateri izmed vplivov prevladuje.

Daljša južna stranica pri postavitvi S-J pomeni:

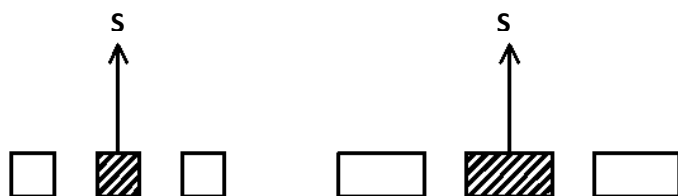
- večji potencial osončenosti obravnavanega objekta (šrafiran objekt na slikah),
- večji vpliv medsebojnega senčenja.



Slika 8: Tloris postavitve objektov v smeri S-J (vpliv južne stranice)

V primerih, ko so objekti postavljeni v smeri V-Z (Slika 9), vpliv medsebojnega senčenja z daljšanjem južne stranice pada. To pomeni, da daljša kot je južna stranica objektov v sklopu, manjši je vpliv sosednjih objektov na obravnavanega. Ker se tudi vpliv potenciala osončenosti z daljšanjem južne stranice povečuje, je potek dejanske osončenosti očiten. Daljša kot je južna stranica objektov, večja je osončenost obravnavanega objekta.

Daljša južna stranica pri postavitvi V-Z pomeni:



Slika 9: Tloris postavitve objektov v smeri V-Z (vpliv južne stranice)

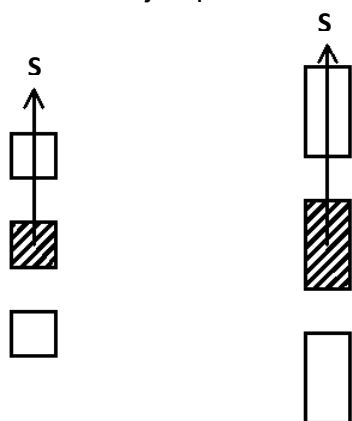
Ta primer kaže na to, da je bolje objekte rotirati tako, kot to prikazuje Slika 9 (puščica označuje smer sever), saj lahko pri enakih dimenzijah objektov dosežemo boljše osončenost obravnavanega objekta. V tem primeru namreč sosednji objekti manj senčijo obravnavanega.

#### 4.2.3.2 Vpliv spreminjanja vzhodne oz. zahodne stranice

V primerih, ko so objekti postavljeni v smeri S-J (Slika 10), se vpliv medsebojnega senčenja z daljšanjem vzhodne oz. zahodne stranice objektov zmanjšuje. To pomeni, da daljše kot so vzhodne oz. zahodne stranice objektov v sklopu, manjši je vpliv sosednjih objektov na obravnavanega. Ker se vpliv potenciala osončenosti z daljšanjem vzhodne oz. zahodne stranice zmanjšuje, je potek dejanske osončenosti v odvisnosti od dolžine vzhodne oz. zahodne stranice odvisen od tega, kateri izmed vplivov prevladuje.

Daljša vzhodna oz. zahodna stranica pri postavitvi S-J pomeni:

- manjši potencial osončenosti,
- manjši vpliv medsebojnega senčenja.

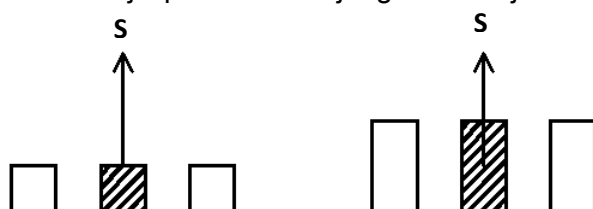


Slika 10: Tloris postavitve objektov v smeri S-J (vpliv vzhodne stranice)

V primerih, ko so objekti postavljeni v smeri V-Z (Slika 11), vpliv medsebojnega senčenja z daljšanjem vzhodne oz. zahodne stranice narašča, kar pomeni, daljša kot je vzhodna oz. zahodna stranica vseh objektov v sklopu, večji je vpliv sosednjih objektov na obravnavanega. Ker se tudi vpliv potenciala osončenosti z daljšanjem vzhodne oz. zahodne stranice zmanjšuje, je potek dejanske osončenosti očiten. Daljša kot je vzhodna oz. zahodna stranica objektov, manjša je osončenost obravnavanega objekta. Ugotovitev se da utemeljiti na preprost način, saj v primerih, ko je površina vzhodnih oz. zahodnih stranic, ki so del dneva popolnoma v senci, večja, je povprečna osončenost stavbnega ovoja manjša.

Daljša vzhodna oz. zahodna stranica pri postavitvi V-Z pomeni:

- manjši potencial osončenosti,
- večji vpliv medsebojnega senčenja.



Slika 11: Tloris postavitve objektov v smeri V-Z (vpliv vzhodne stranice)

Iz tega vidika, bi bilo bolje postaviti objekte v smeri S-J, saj je tako vpliv medsebojnega senčenja manjši.

#### 4.2.3.3 Vpliv spreminjanja višine objektov

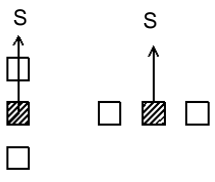
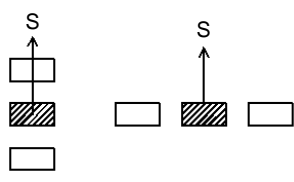
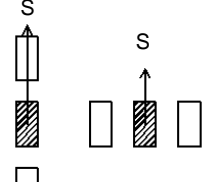
Vpliv medsebojnega senčenja z višanjem objektov narašča, kar pomeni, višji kot so objekti v sklopu, bolj senčijo obravnavanega. Ker se potencial osončenosti z višino zmanjšuje, je potek dejanske osončenosti očiten; ob predpostavki, da se razdalja med objekti ne spreminja, se dejanska osončenost s povečevanjem višine objektov zmanjšuje.

Iz primerjave Grafikona 20 in Grafikona 37 je razvidno, da je v primeru postavitve objektov v smeri S-J vpliv medsebojnega senčenja bolj izrazit. V tem primeru bi bilo bolje postaviti objekte v smeri V-Z, saj je tako vpliv medsebojnega senčenja manjši.

#### 4.2.3.4 Vpliv spreminjanja razdalje med objekti

Potencial osončenosti se z razdaljo ne spreminja. Vpliv medsebojnega senčenja se s povečevanjem razdalje med objekti zmanjšuje, kar pomeni, bolj kot so objekti narazen, manj senčijo obravnavanega. Zanimivo pa je, da je ta vpliv odvisen od razmerja dolžine stranic in postavitve sklopa objektov.

Preglednica 25: Prikaz vpliva medsebojnega senčenja v odvisnosti od razdalje med objekti za tri različne skupine primerov

Stranice so enake	Južna stranica daljša od vzhodne oz. zahodne	Vzhodna oz. zahodna stranica daljša od južne
 <p data-bbox="207 1310 470 1377">Slika 12: Stranice objektov so enake</p>	 <p data-bbox="606 1310 917 1377">Slika 13: Južna stranica je daljša od vzhodne</p>	 <p data-bbox="1029 1310 1348 1377">Slika 14: Vzhodna stranica je daljša od južne</p>
<p data-bbox="143 1411 534 1579">Vpliv medsebojnega senčenja v odvisnosti od razdalje med objekti je nekoliko večji v primeru postavitve S-J.</p>	<p data-bbox="550 1411 949 1579">Vpliv medsebojnega senčenja v odvisnosti od razdalje med objekti je bistveno večji v primeru postavitve S-J.</p>	<p data-bbox="965 1411 1356 1579">Vpliv medsebojnega senčenja v odvisnosti od razdalje med objekti je nekoliko večji v primeru postavitve V-Z.</p>

## 5 ZAKLJUČEK

Da bi sledili navodilom evropske in nacionalne zakonodaje, moramo že v začetnih fazah načrtovanja upoštevati smernice, ki jih zakonodaja podaja. Ena izmed teh je izkoriščanje naravnih virov oziroma natančneje izkoriščanje sončne energije. Da objektom to omogočimo, je potrebno zagotoviti primerno osončenost v skladu z zahtevami iz TSG4 [6]. Koliko te energije bomo izkoristili pri načrtovanju objektov, pa je seveda odvisno od specifičnih okoliščin in tehnologije, ki je na voljo, kot tudi projektantskega znanja. Diplomaska naloga predvsem poskuša obogatiti slednjega.

Diplomska naloga je obravnavala vzorec pozidave, ki je v praksi pogosto uporabljen. Na osončenost takšnega vzorca pozidave vpliva več parametrov (dolžina objektov, širina objektov, višina objektov, razdalja med objekti in rotacija vzorca pozidave), ki so bili tudi obravnavani. Na ta način je bila izračunana osončenost za 270 različnih primerov, ki so se razlikovali v enem izmed zgoraj omenjenih parametrov. Izračun je potekal s pomočjo orodja Shading II, s katerim je bil pridobljen potencial osončenosti ter dejanska osončenost sredinskega objekta iz sklopa vzorca pozidave. Na podlagi dobljenih rezultatov je bila narejena natančna analiza pomena posameznega parametra, dodatno pa so bili rezultati podlaga za iskanje matematičnega izraza, s katerim bi osončenost lahko izračunali veliko hitreje.

Analiza osončenosti je potrdila predhodna intuitivno znana dejstva ter jih podkrepila z numeričnimi rezultati. Tako je bilo iz rezultatov razvidno, da se potencial osončenosti z daljšanjem južne stranice povečuje, z daljšanjem vzhodne stranice pa zmanjšuje. Objekt ima tudi največji potencial osončenosti, ko je njegova največja površina stavbnega ovoja rotirana proti jugu, hkrati pa najmanjša proti smerem med severozahodom in severovzhodom. Ko je objekt rotiran za  $45^\circ$  je postavljen v skladu s priporočili, zato so tudi vrednosti potenciala osončenosti za ta primer rotacije nepresenetljivo maksimalne. Poudariti je potrebno, da je to posledica interpretacije zahtev TSG4. Če bi upoštevali celoten stavbni ovoj, bi rezultati bili seveda drugačni. Ravno tako je bilo pokazano, da v primeru, ko je površina vzhodnih oz. zahodnih stranic, ki so del dneva popolnoma v senci, večja, je povprečna osončenost stavbnega ovoja manjša, kar je bilo že ugotovljeno v [7]. Zanimivo pa je tudi, da se potencial osončenosti z višanjem objekta zmanjšuje.

Analiza osončenosti pa je pokazala tudi nekatera manj očitna in manj intuitivna dejstva. To izhaja iz visokega števila parametrov, ki istočasno in prepleteno vplivajo na dejansko osončenost. Tako je bilo ugotovljeno, da se vpliv medsebojnega senčenja z večanjem južne stranice obnaša različno, glede na to, kako je sklop objekta rotiran. Npr. pri objektih, kjer je južna stranica daljša od vzhodne, bi bilo bolj smotno, da so ti rotirani v smeri V-Z (Slika 9). Analogno je bil ugotovljen vpliv na medsebojno senčenje pri podaljševanju vzhodne oz. zahodne stranice. Ko sta vzhodna oz. zahodna stranica večji od južne, je bolje objekte postaviti v smeri S-J (Slika 10). Zanimivo je tudi, da na večanje medsebojnega senčenja, kot funkcije višine objektov, rotacija vzorca pozidave močno vpliva. Tako na primer velja, da bi visoke objekte bilo bolje postaviti v smeri V-Z. Ugotovljeno je bilo tudi, da je vpliv manjšanja medsebojnega senčenja z razdaljo med objekti močno odvisen od geometrije objektov in rotacije vzorca pozidave (Preglednica 25).

Na podlagi izvedenih analiz je bil poiskan matematični izraz, ki predstavlja enostavno orodje za hiter izračun osončenosti. Nasprotno ni bil namen, da bi s tem odkrili fizikalne odvisnosti

med posameznimi parametri, saj so bile tudi uporabljene funkcije izbrane zgolj na podlagi zmanjševanja odstopanja ter brez upoštevanja možnih odvisnosti med parametri. Končni pridobljen matematični izraz vsebuje 8 do 16 (odvisno od primera) koeficientov, katerih vrednost je bila določena s pomočjo orodja Solver v Excel-u. Ti so bili določeni tako, da je odstopanje s Shading-ovimi pridobljenimi vrednostmi in matematičnega izraza čim manjše. Tako maksimalna odstopanja niso presegala 10% oz. 16% na testnih podatkih, ki niso bili osnova za Solver-jevo optimizacijo. Iz tega sledi, da je pristop ustrezen, v kolikor so nam odstopanja sprejemljiva. Potrebno je poudariti, da imajo te enačbe tudi omejitve. Veljajo le za Ljubljano in sosednje geografske lokacije, uporabne so le za enostavne stavbe v obliki pravilnih pravokotnih prizem in ob predvidenih enostavnih zazidalnih vzorcih. V zgodnjih fazah urbanističnega načrtovanja, ko natančna oblika stavbe še ni določena in se ustrezni zazidalni vzorci še iščejo, je takšna enačba dobrodošla.

Za zaključek lahko povem, da je diplomsko delo naredilo celovito analizo osončenosti vzorca pozidave in predstavilo potencialno metodo za hitrejši izračun osončenosti, a seveda obstaja veliko možnosti nadgradnje in razširitve. Tako bi lahko nadaljnjo raziskovalno delo vključevalo večji nabor podatkov, ki bi izboljšali tako analizo, kot tudi matematični izraz. V slednjega bi bilo moč vključiti dodatne parametre, ki bi zaobjeli tudi različne tipe pozidave, geografsko lokacijo, nepravokotne oblike objektov itd. Nadaljnje raziskovalno delo bi lahko vključevalo tudi širši razpon že uporabljenih parametrov, s čimer bi se razširilo tudi območje uporabnosti matematičnih izrazov. Postavlja pa se vprašanje, kjer končati z izboljševanjem matematičnega izraza, saj je njegov smisel le takrat, ko to predstavlja poenostavljeno metodo. Zato je za kompleksnejše analize bolj primerno uporabiti univerzalno metodo, ki jo uporablja npr. Shading II.

## VIRI

- [1] Uredba EU o določitvi usklajenih pogojev za trženje gradbenih proizvodov in razveljavitvi Direktive sveta 89/106/EGS št. 305/2011.  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:088:0005:0043:SL:PDF>  
(Pridobljeno 5. 3. 2013.)
- [2] Direktivo o gradbenih proizvodih 89/106/EEC.  
<http://nadzornik.diamonddogs.si/zakon-o-gradbenih-proizvodih/direktiva-o-gradbenih-proizvodih.html> (Pridobljeno 5. 3. 2013.)
- [3] Direktiva o energetske učinkovitosti stavb 2010/31/EU.  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:SL:PDF>  
(Pridobljeno 5. 3. 2013.)
- [4] Direktiva o spodbujanju uporabe energije iz obnovljivih virov 2009/28/ES.  
<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2009:140:0016:0062:sl:PDF>  
(Pridobljeno 5. 3. 2013.)
- [5] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010). Uradni list Republike Slovenije št. 52/ 30.6.2010/ stran 7841.  
<http://www.uradni-list.si/1/content?id=98727> (Pridobljeno 5. 3. 2013.)
- [6] Tehnična smernica za graditev, TSG-1-004:2010. Učinkovita raba energije, str.15.  
[http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/graditev/TSG-01-004\\_2010.pdf](http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/graditev/TSG-01-004_2010.pdf) (Pridobljeno 5. 3. 2013.)
- [7] Košir, M., Krainer, A., Kristl, Ž. 2012. Analiza osončenosti stavb v skladu z zahtevami PURES 2010. Gradbeni vestnik 61:183-193.
- [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] Yezioro, A., Gutman, T. Shading II.
- [10] Google, Google SketchUp.
- [11] Microsoft Excel 2007. Programsko orodje Solver.
- [12] Shaviv, E., Yezioro, A. 1997. Analyzing mutual shading among buildings. Solar Energy Vol. 59, Nos. 1-3, pp. 83-88.
- [13] Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente. 2012. Fakulteta za Gradbeništvo in Geodezijo. Univerza v Ljubljani. Zgradba, okolje, energija. Modul 1: Osončenje.
- [14] Introduction to optimization with the Excel Solver tool.  
<http://office.microsoft.com/en-us/excel-help/introduction-to-optimization-with-the-excel-solver-tool-HA001124595.aspx> (Pridobljeno 11. 3. 2013.)
- [15] Plestenjak, B. 2010. Numerične metode, delovna verzija 4.marec 2010, str.101.  
<http://www.fmf.uni-lj.si/>

[lj.si/~kozak/PedagoskoDelo/Gradiva/NumericneMetodel\\_praktiki/Skripta/BorPlesteniakKnjigaNM.pdf](http://lj.si/~kozak/PedagoskoDelo/Gradiva/NumericneMetodel_praktiki/Skripta/BorPlesteniakKnjigaNM.pdf) (Pridobljeno 12. 7. 2013.)



## **SEZNAM PRILOG**

Priloga A: PREDSTAVITEV REZULTATOV ZA 21.6. IN 21.12.

Priloga B: PARAMETRIČNE ENAČBE OSONČNEOSTI