

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:

Lovšin, J., 2013. Vpliv odprtih na osvetljevanje prostorov. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M., somentorica Kristl, Ž.): 28 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:

Lovšin, J., 2013. Vpliv odprtih na osvetljevanje prostorov. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M., co-supervisor Kristl, Ž.): 28 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

PRVOSTOPENJSKI
ŠTUDIJSKI PROGRAM OPERATIVNO
GRADBENIŠTVO (VS)
KONSTRUKCIJSKA SMER

Kandidat:

JURE LOVŠIN

VPLIV ODPRTIN NA OSVETLJEVANJE PROSTOROV

Diplomska naloga št.: 32/OG-MK

INFLUENCE OF WINDOWS ON ILLUMINANCE OF OFFICES

Graduation thesis No.: 32/OG-MK

Mentor:

doc. dr. Mitja Košir

Somentorica:

doc. dr. Živa Kristl

Predsednik komisije:

doc. dr. Tomo Cerovšek

Ljubljana, 17. 09. 2013

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU DELA

Podpisani Jure Lovšin izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »Vpliv odprtih na osvetljevanje prostorov«.

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

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

Ljubljana, 10. 9. 2013

Jure Lovšin

BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK:	644.3-021.54(043.2)
Avtor:	Jure Lovšin
Mentor:	doc. dr. Mitja Košir
Somentor:	doc. dr. Živa Kristl
Naslov:	Vpliv odprtih na osvetljevanje prostorov
Tip dokumenta:	diplomska naloga - VSŠ
Obseg in oprema:	28 str., 21 pregl., 5 sl., 5 graf., 1 pril.
Ključne besede:	osvetljenost, dnevna svetloba, vertikalna osvetljenost, horizontalna osvetljenost, distribucija dnevne svetlobe

Izvleček

V diplomski nalogi smo s pomočjo programa DIALux analizirali kako površina, oblika in pozicija zasteklitve vplivajo na osvetljenost pisarniškega prostora. Za opravljanje pisarniških del mora biti zagotovljena zadostna horizontalna osvetljenost delovne ravnine. Dnevna svetloba pomembno vpliva tudi na psihofiziološke potrebe človeka, zato moramo zagotavljati tudi zadostno vertikalno osvetljenost na nivoju oči. V diplomskem delu preverjamo kako se, za zagotavljanje teh pogojev, obnese upoštevanje minimalnih zahtev iz pravilnikov in standardov, ki obravnavajo osvetljevanje z dnevno svetlobo. Ugotavljamo, da je za izbrani prostor zelo težko zagotoviti zadostno osvetljenost v globini prostora, saj zadostnih vrednosti nismo dosegli niti pri 100 odstotni zasteklitvi stene.

BIBLIOGRAPHIC–DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	644.3-021.54(043.2)
Author:	Jure Lovšin
Supervisor:	Assist. Prof. Mitja Košir, Ph.D.
CO-supervisor:	Assist. Prof. Živa Kristl, Ph.D.
Title:	Influence of windows on illuminance of offices
Tip dokumenta:	Graduation Thesis – Higher professional studies
Obseg in oprema:	28 p., 21 tab., 5 fig., 5 graph., 1 ann.
Ključne besede:	illuminance, daylight, vertical illuminance, horizontal illuminance, daylight distribution

Abstract

In this graduation thesis we analyzed the influence of area, shape and position of window on illuminance of the office space, by using the DIALux software. Adequate levels of horizontal illuminance must be assured for people to carry out daily office tasks. Daylight has an important influence on psychophysiological human needs. This is why we also need to assure adequate levels of vertical illuminance. In the thesis we checked if these terms are assured by considering minimal requirements of rule books and standards discussing daylight illuminance. We found out that it is difficult to assure adequate levels of illuminance for the chosen office space, especially in its depths. Sufficient illuminance was not reached even by glazing the whole wall surface.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju dr. Mitji Koširju in somentorici dr. Živi Kristl, za pomoč in usmerjanje na poti do zaključka študija.

Posebna zahvala gre družini za vso pomoč in zaupanje vame med študijem. Zahvala gre tudi puncu za vse spodbudne besede in stanje ob strani .

KAZALO VSEBINE

1 UVOD.....	1
1.1 Hipoteza	1
1.2 Okviri izvedene analize	1
1.3 Razlaga osnovnih pojmov	2
1.4 Zakonodajni okvir	2
1.5 Opis programske opreme	3
1.6 Pregled literature	3
1.7 Teoretična izhodišča	4
2 METODA.....	5
2.1 Postopek izračuna in predstavitve rezultatov	8
2.1.1 Horizontalna osvetljenost	8
3 REZULTATI	13
3.1 Horizontalna osvetljenost	13
3.1.1 Primer 1	13
3.1.2 Primer 2:	15
3.1.3 Primer 3:	17
3.1.4 Primer 4:	19
3.2 Vertikalna osvetljenost	20
3.2.1 Primer 1:	20
3.2.2 Primer 2:	20
3.2.3 Primer 3:	21
3.2.4 Primer 4:	21
3.3 Distribucija svetlobe	23
3.3.1 Primer 1:	24
3.3.2 Primer 2:	24
3.3.3 Primer 3:	25
4 UGOTOVITVE IN ZAKLJUČKI	26
VIRI	28

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Zahtevane vrednosti za pisarne (SIST EN 12464-1:2004 tabela 5.3) [6]	2
Preglednica 2: Izhodiščne pozicije in obseg zasteklitve	5
Preglednica 3: Prikaz izbiranja dimenzij oken za osnovni primer (poudarjena črta označuje mejo med možnimi ležečimi in pokončnimi okni, zeleno obarvana števila prikazujejo bolj primerne širine oken za izbiro, črno obarvana števila pa manj primerne širine).....	6
Preglednica 4: Oznake in število simulacij za posamezen primer	8
Preglednica 5: Podatki o analiziranem prostoru	8
Preglednica 6: Primer izpisa za Primer 1	9
Preglednica 7: Osnovni podatki analize.....	12
Preglednica 8: Rezultati horizontalne osvetljenosti za Primer 1	13
Preglednica 9: Horizontalna osvetljenost za Primer 1 - pet oken	14
Preglednica 10: Rezultati horizontalne osvetljenosti za Primer 2	15
Preglednica 11: Horizontalna osvetljenost za Primer 2 - šest oken.....	16
Preglednica 12: Rezultati horizontalne osvetljenosti za Primer 3	17
Preglednica 13: Horizontalna osvetljenost za Primer 3 - šest oken.....	18
Preglednica 14: Rezultati horizontalne osvetljenosti za Primer 4	19
Preglednica 15: Rezultati vertikalne osvetljenosti točk za Primer 1	20
Preglednica 16: Rezultati vertikalne osvetljenosti točk za Primer 2.....	20
Preglednica 17: Rezultati vertikalne osvetljenosti točk za Primer 3.....	21
Preglednica 18: Rezultati vertikalne osvetljenosti točk za Primer 4.....	21
Preglednica 19: Vpliv večanja števila oken na osvetljenost pri Primeru 1	24
Preglednica 20: Vpliv večanja števila oken na osvetljenost pri Primeru 2	24
Preglednica 21: Vpliv večanja števila oken na osvetljenost pri Primeru 3	25

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Prostorski prikaz osvetljenosti prostora	10
Grafikon 2: Grafični prikaz rezultatov vertikalne osvetljenosti v osrednjem območju.....	21
Grafikon 3: Grafični prikaz rezultatov vertikalne osvetljenosti v robnih območjih	22
Grafikon 4: Linearna interpolacija med izračunanimi točkami v osrednjem območju.....	22
Grafikon 5: Linearna interpolacija med izračunanimi točkami v robnih območjih	23

KAZALO SLIK

Slika 1: Tloris prostora	5
Slika 2: Prikaz nekaterih variant premikanja in povečevanja števila oken na osnovnem primeru (Primer 1).....	7
Slika 3: Prikaz simuliranih parametrov.....	10
Slika 4: Pozicije točk za izračun vertikalne osvetljenosti (točke so na višini $z = 1,2$ m).....	11
Slika 5: Izvedba spremenljive višine stropu v bližini zasteklitve (vir slike [9])	26

»Ta stran je namenoma prazna«

1 UVOD

»Dnevno osvetljevanje projektiramo za ljudi, zato moramo pri oblikovanju upoštevati njihove vizualne in percepcijske potrebe. Poleg zadovoljive količine svetlobe in njene kakovosti ne smemo pozabiti tudi na psihofiziološke potrebe.« (Kristl, 2011, str 1.) [1]

V diplomski nalogi želimo preveriti kakšno je z zakoni predpisano stanje v Sloveniji glede upoštevanja dnevne svetlobe pri projektiranju stavb. Ugotoviti želimo kako se upoštevanje minimalnih zahtev iz evropskih standardov odraža v simuliranem hipotetičnem prostoru in podati zaključke ter morebitne napotke oz. rešitve.

Preverjali bomo horizontalno in vertikalno osvetljenost prostora ter opazovali, ali so njune vrednosti v skladu s standardi oz. s priporočili določenih mejah ter kakšna so odstopanja od teh vrednosti. Preverjali bomo tudi distribucijo dnevne svetlobe pri različnih konfiguracijah zasteklitve. Med drugim se bomo navezali na že izvedeno študijo dnevne osvetljenosti pisarniških prostorov [2] in primerjali rezultate razmerij med vertikalno in horizontalno osvetljenostjo.

Ker nas zanima vpliv odprtih na osvetljenost, bomo simulacije opravljali pri konstantnih pogojih (geografska lokacija, datum in čas, lastnosti oken in notranjih površin, dimenzije prostora). Spreminjali bomo površino zasteklitve, jo delili na več oken iste skupne površine ter jo premikali po ravnini stene in opazovali kako vse to vpliva na osvetljenost v prostoru.

1.1 Hipoteza

1. *Minimalni obseg zasteklitve (12,5 % tlorisa) [3] zadosti minimalnim standardom za horizontalno osvetljenost delovne površine na vsaj polovici globine prostora.*
2. *Površina zasteklitve, ki obsega 75 % stene, zagotavlja zadostno vertikalno osvetljenost (> 1000 lx) v prvi polovici prostora.*
3. *Enakomernejšo distribucijo svetlobe po prostoru dosežemo pri večjem številu oken, kot pri enem samem velikem oknu.*

1.2 Okviri izvedene analize

Najprej smo definirali prostor namenjen pisarniški rabi v tlorisni izmeri 6 x 8 m. Nato smo izbrali velikost površin transparentnih elementov stavbnega ovoja, ki omogočajo osvetljevanje z naravno svetlobo v obsegu 12,5 % tlorisne površine prostora (Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih) [3] in pripravili možne dimenzije oken ter izvedli simulacije osvetljenosti. Postopek smo ponovili še za površino zasteklitve, ki odgovarja 20 % tlorisa (tu smo se ravnali po pravilniku za osvetljenost stanovanj) [4] in 28,1 % tlorisa oz. 75 % stene. Na koncu smo preverili še dogajanje ob polno zastekljeni steni.

S programom DIALux [5] smo za okna različnih dimenzij in pozicij glede na ravnino stene izvedli 100 simulacij osvetljenosti prostora pri različnih konfiguracij. Horizontalno osvetljenost smo analizirali na standardni delovni ravnini, vertikalno pa v devetih točkah v prostoru.

1.3 Razlaga osnovnih pojmov

Osvetljenost = gostota svetlobnega toka, ki pada na ploskev. Osvetljenost je tem večja, čim močnejši je svetlobni tok in tem šibkejša, čim večja je ploskev, na katero se mora svetlobni tok porazdeliti. Enota osvetljenosti je lux (lx). Dobimo jo z vpadom svetlobnega toka 1 lumna (lm) na ploskev (1 m²). [1]

Horizontalna osvetljenost = pove kolikšna količina svetlobe pade na horizontalno površino, npr. na mizo.

Vertikalna osvetljenost = pove kolikšna količina svetlobe pade na vertikalno površino, npr. na steno ali obraz.

Delovna ravnina (working plane) = referenčna površina, kjer praviloma opravljamo neko delo (standardna delovna ravnina: 0,85 m od finalne obdelave tal).

Vizualno delo (visual task) = vizualni elementi dela, ki ga opravljamo.

Vzdrževana osvetljenost \overline{E}_m (maintained illuminance) = vrednost pod katero naj povprečna osvetljenost površine/področja ne pade.

1.4 Zakonodajni okvir

Oprli smo se na drugo točko 29. člena Pravilnika o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih, ki obravnava naravno osvetljenost. Pravilnik določa, da mora velikost površin za osvetljevanje delovnih mest z naravno svetlobo v posameznem delovnem prostoru znašati najmanj 1/8 talne površine prostora. [3]

Pri povečevanju površine zasteklitve smo analizirali kaj se dogaja z osvetljenostjo, če upoštevamo drugo točko 14. člen Pravilnika o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj, ki govori o osvetljenosti stanovanja. Ta člen določa površino zasteklitve, ki naj znaša najmanj 20 odstotkov neto tlorisne površine. [4]

Upoštevali smo tudi standard SIST EN 12464-1:2004 Svetloba in razsvetljava – Razsvetljava na delovnem mestu – 1. del: Notranji delovni prostori. Standard določa nivoje vzdrževane osvetljenosti za različna delovna področja in opravila (tabela 5.3 – Offices). [6]

Standard določa, da mora biti prostor, ki je stalno v uporabi, osvetljen z najmanj 200 lx. Poleg tega določa tudi minimalne nivoje vzdrževane osvetljenosti za določena dela (preglednica 1).

Preglednica 1: Zahtevane vrednosti za pisarne (SIST EN 12464-1:2004 tabela 5.3) [6]

Opravilo	\overline{E}_m [lux]
Kopiranje, registriranje	300
Pisanje, tipkanje, branje, obdelava podatkov	500
Tehnično risanje	750
CAD delovne postaje	500
Konferenčne dvorane	500
Recepcija	300
Arhiv	200

1.5 Opis programske opreme

DIALux (verzija 4.11) je brezplačna programska oprema (prosto dostopna na spletu <http://www.dial.de/DIAL/en/dialux-international-download.html>), ki omogoča načrtovanje oz. analizo osvetljenosti tako notranjega, kot tudi zunanjega prostora. Možna je tudi izvedba ocene porabe energije. Osvetljenost lahko simuliramo z dnevno in/ali umetno svetlobo. Program vrne izračun v obliki tabel, izolinij ali nepravih barv in omogoča izdelavo foto-realističnih vizualizacij.

Pri opravljenih analizah smo se omejili na dnevno oz. naravno svetlobo. Potrebni vhodni podatki so: geometrija sobe, ki jo analiziramo (višina, globina, širina), geografski podatki (lokacija, smer severa), čas in datum, tip neba (jasno, oblačno, vmesno), dimenzije in pozicije odprtih (okna, vrata) ter njihove lastnosti (transmisivnost, faktor umazanosti, faktor okvira, lastnosti materialov (refleksija, transparentnost, hrapavost) in parametri za energijsko analizo. Prav tako tudi vsem netransparentnim površinam (stene, strop, tla) določimo snovne lastnosti. V osnovi program izračuna osvetljenost na vseh stenah, stropu, tleh ter na delovni ravnini. Omogočeno je tudi dodajanje različnih računskih površin in točk, odvisno od tega kaj nas zanima.

1.6 Pregled literature

Na tem področju sta bili, za podoben prostor, izvedeni dve študiji na Katedri za konstrukcijske elemente in stavbe (KSKE) Fakultete za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani (UL FGG). Pri prvi študiji gre za testne meritve za študijo Avtomatskega kontroliranja dnevne svetlobe za vizualne in nevizualne efekte [7]. Druga pa je Študija dnevne osvetljenosti pisarniškega prostora glede na vizualne in biološke vplive [2], ki obravnava isti prostor, le da so simulacije izvedli s programsko opremo Radiance.

Cilj je bil ugotoviti ali obstaja povezava med horizontalno osvetljenostjo delovne površine in vertikalno osvetljenostjo ob očesu. Meritve in simulacije so izvedli za realno pisarniško okolje na delovnih mestih, ki so od zasteklitve oddaljena 1,85 m, 3,88 m in 6,18 m. Prostor je severno orientiran, zasteklitev obsega 9,5 m² oz. 26 % tlorisne površine, višina prostora je 3,88 m, višina parapeta pa znaša 0,85 m. Za spodnjo mejo horizontalne osvetljenosti so izbrali vrednost 500 luks (pogoj za tipična pisarniška dela), za vertikalno osvetljenost pa 1000 luks. Vrednost 1000 luks glede na izsledke več avtorjev pomeni mejo, nad katero se aktivira nevizualni odziv človeškega očesa ((Boivin, 1996), (Zeitzer, 2000), (Cajochen, 2000a, 2007b), (Schierz, 2002)). [2]

Meritve (med aprilom in majem) so pokazale, da je pri oblačnem nebu zadostna horizontalna osvetljenost delovne ravnine zagotovljena le na delovnem mestu, ki je najbližje zasteklitvi. Tudi zadostna vertikalna osvetljenost je dosežena le na omenjenem delovnem mestu in ob pogoju, da je oko usmerjeno proti oknu. Simulacija za datum 21.3 in ob standardnem oblačnem nebu (to sta namreč tudi izbrana parametra naših simulacij) pa je pokazala zadostno horizontalno osvetljenost le na prvem delovnem mestu in nezadostno vertikalno osvetljenost vseh delovnih mest.

Kot vodilo za izvedbo simulacij v diplomskem delu, smo uporabili Daylight Design Variations Book [8]. Gre za spletno stran razvito s strani TNO-TUE Centra za preučevanje stavb na

Nizozemskem. Projekt je zamišljen kot orodje za načrtovanje odprtih, namenjenih osvetljevanju z dnevno svetlobo. Njihov cilj je prikazati čim večje število različnih tipov odprtih in njihov vpliv na prostor. Poleg rezultatov simulacij in računalniškega izrisa prostora si lahko ogledamo tudi veliko primerov iz prakse.

Podobno je bila kot izhodišče uporabljena tudi spletna stran Daylight Pattern Guide [9]. V kontekstu dela izvedenega v okviru diplomske naloge je bil najpomembnejši primer (Pattern 2: Window Area), kjer so avtorji opazovali razlike v osvetljenosti pri spreminjanju površni zasteklitve, višini zasteklitve ter postavitvi oz. deležu zasteklitve sten.

1.7 Teoretična izhodišča

Očesne zaznave delimo na vizualne in nevizualne. Razlikujejo se v tem, da je vizualni učinek svetlobe pomemben le dokler človek vidno zaznava, nevizualni učinek pa je pomemben tako v fazi budnosti, kot tudi v fazi spanja. Nevizualni biološki učinki svetlobe se delijo na cirkadiane (nadziranje biološke ure, cirkadianih (dnevni) in ciklualnih (sezonskih) ritmov) in ne-cirkadiane (neposredni stimulatorni ali zaviralni učinek, vpliv na razpoloženje, vpliv na produktivnost, budnost, ipd.) [1]

Dobra praksa osvetljevanja delovnih prostorov ni le zagotavljanje zadostnih nivojev osvetljenosti. Bistveno je, da lahko delo opravimo udobno in brez težav. Zato mora osvetljenost zadovoljiti tako kvalitativne, kot tudi kvantitativne zahteve okolja. V splošnem naj zagotavlja:

- vizualno udobje (delavci imajo občutek ugodja, ki prispeva tudi k višji produktivnosti),
- vizualno učinkovitost (delavci so sposobni opraviti vizualno nalogo hitro in natančno, tudi pod težavnimi okoliščinami in daljšimi časovnimi obdobji),
- vizualno varnost (sposobnost prostorske orientacije in zaznavanja nevarnosti).

Da to zagotovimo, moramo pozornost posvetiti vsem parametrom, ki zadevajo osvetljeno območje. Osnovni parametri so: distribucija svetlobe, osvetljenost, bleščanje, usmerjenost svetlobe, barva svetlobe, barva površin, migetanje, vir svetlobe in vzdrževanje.

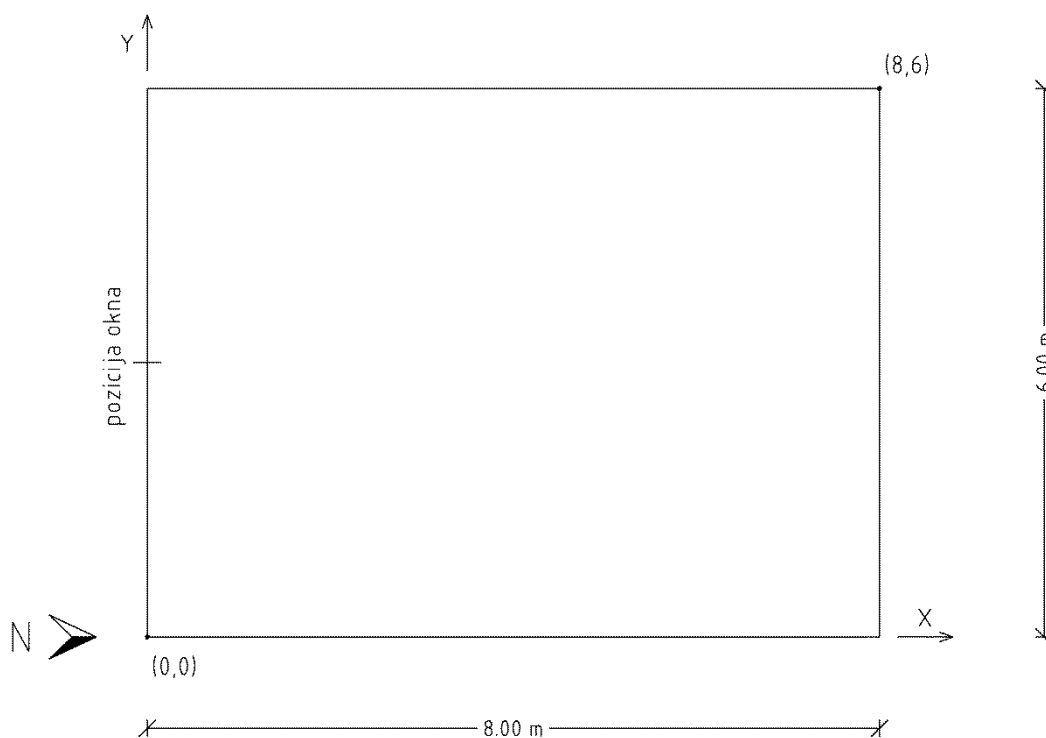
Poleg osnovnih parametrov na vizualno učinkovitost delavca vplivajo tudi drugi vizualno-ergonomski parametri, kot so: specifične lastnosti opravljanega dela (velikost, oblika, pozicija, barva, reflektivnost) in oftalmološke zmožnosti delavca (ostrina vida, globinska zaznava, zaznava barv). Upoštevanje teh faktorjev lahko poveča vizualno učinkovitost brez zviševanja osvetljenosti.

Z enakomerno distribucijo svetlobe se izboljša ostrina vida, razpoznavanje relativno majhnih razlik v osvetljenosti (kontrasti) in učinkovitost očesnih funkcij (prilagajanje, konvergenca, širjenje in ožetje zenic, premikanje oči,...). Neenakomerni distribuciji svetlobe v vidnem polju se poskušamo izogibati, saj previsoke svetlosti lahko povzročajo bleščanje in močne kontraste, ki povzročajo utrujenost zaradi stalnega prilagajanja oči. Prenizke svetlosti in premajhni kontrasti pa povzročajo zaspano in nestimulativno delovno okolje. [6]

2 METODA

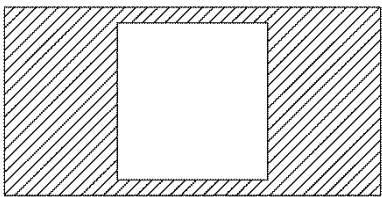

Definirali smo prostor oz. sobo za analizo v tlorisni izmeri 48 m^2 (širina 6 m in globina 8 m), višine 3 m (slika 1). Nato smo določili površine zasteklitve (preglednica 2):

- Primer 1: $6,0 \text{ m}^2$ oz. 12,5 % tlorisne površine (33,3 % stene).
- Primer 2: $9,6 \text{ m}^2$ oz. 20,0 % tlorisne površine (53,3 % stene).
- Primer 3: $13,5 \text{ m}^2$ oz. 28,1 % tlorisne površine (75,0 % stene).
- Primer 4: $18,0 \text{ m}^2$ oz. 37,5 % tlorisne površine (100,0 % stene).





Slika 1: Tloris prostora

Preglednica 2: Izhodiščne pozicije in obseg zasteklitve

Skica	Oznaka	Površina zasteklitve
	Primer 1	$6,0 \text{ m}^2$
	Primer 2	$9,6 \text{ m}^2$

Preglednica se nadaljuje...

...nadaljevanje preglednice 2

	Primer 3	13,5 m ²
	Primer 4	18,0 m ²

S pomočjo programa MS Office Excel smo določil možne dimenzije (širina/višina) okna za posamezno površino. Tu smo iskali čim bolj cela števila, zato smo se odločili za stalno višino (250 cm) za vsa okna, saj se je pri vseh površinah zasteklitve tej višini ustrezala »lepa« širina (preglednica 3).

Preglednica 3: Prikaz izbiranja dimenzij oken za osnovni primer (poudarjena črta označuje mejo med možnimi ležečimi in pokončnimi okni, zeleno obarvana števila prikazujejo bolj primerne širine oken za izbiro, črno obarvana števila pa manj primerne širine)

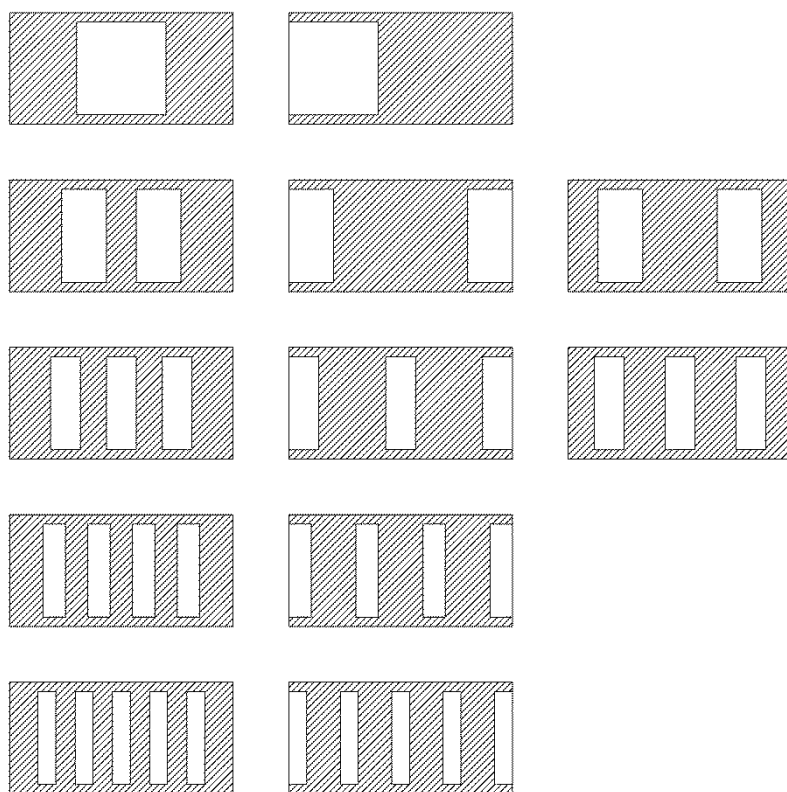
Površina zasteklitve:		6,00 m ² (33,3 %)					
		število oken					
		1	2	3	4	5	6
Višina (cm)		Širina (cm)					
10							
20						600	500
30					500	400	333,33
40				500	375	300	250
50			600	400	300	240	200
60			500	333,33	250	200	166,67
70			428,57	285,71	214,29	171,43	142,86
80			375	250	187,5	150	125
90			333,33	222,22	166,67	133,33	111,11
100		600	300	200	150	120	100
110	545,45	272,73	181,82	136,36	109,09	90,91	
120	500	250	166,67	125	100	83,33	
130	461,54	230,77	153,85	115,38	92,31	76,92	
140	428,57	214,29	142,86	107,14	85,71	71,43	
150	400	200	133,33	100	80	66,67	
160	375	187,5	125	93,75	75	62,50	
170	352,94	176,47	117,65	88,24	70,59	58,82	
180	333,33	166,67	111,11	83,33	66,67	55,56	

Preglednica se nadaljuje...

...nadaljevanje preglednice 3

190	315,79	157,89	105,26	78,95	63,16	52,63
200	300	150	100	75	60	50
210	285,71	142,86	95,24	71,43	57,14	47,62
220	272,73	136,36	90,91	68,18	54,55	45,45
230	260,87	130,43	86,96	65,22	52,17	43,48
240	250	125	83,33	62,5	50	41,67
250	240	120	80	60	48,0	40
260	230,77	115,38	76,92	57,69	46,15	38,46
270	222,22	111,11	74,07	55,56	44,44	37,04
280	214,29	107,14	71,43	53,57	42,86	35,71
290	206,90	103,45	68,97	51,72	41,38	34,48
300	200	100	66,67	50	40	33,33

Najprej smo pozicijo okna premikali po ravnini stene (gor, dol, levo, desno), nato smo ga delili na več oken (do šest oken) iste površine in jih premikali na podoben način kot pri izhodiščnem primeru. Na sliki 2 so prikazane nekatere simulirane oblike in pozicije oken, vsi izračunani primeri so prikazani v dodatku A.



Slika 2: Prikaz nekaterih variant premikanja in povečevanja števila oken na osnovnem primeru (Primer 1)

Na podoben način kot pri osnovnem primeru, smo predvideli pozicije tudi pri ostalih dveh primerih. Število izvedenih simulacij za posamezen obseg zasteklitve prikazuje preglednica 4. Pregledne slike vseh pozicij in konfiguracij se nahajajo v dodatku A.

Preglednica 4: Oznake in število simulacij za posamezen primer

Oznaka	Število simulacij
Primer 1	36
Primer 2	45
Primer 3	18
Primer 4	1
Skupaj simulacij	100

Nato smo začeli z vnašanjem vhodnih podatkov za izračun v DIALux-u. Za vse analizirane prostore veljajo enaki robni parametri in jih podaja Preglednica 5.

Preglednica 5: Podatki o analiziranem prostoru

Osnovni podatki	
Lokacija	Ljubljana (dolžina: 14,5°, širina: 46,0°)
Datum	21. 3.
Čas	12:00
Odklon severa	90° (zasteklitev na južni strani)
Tip neba	CIE standardno oblačno nebo
Lastnosti oken	
Efektivna prepustnost za dnevno svetlobo	78 %
Faktor okvirja	0,85
Odbojnost	10 %
Grobost površine	0 %
Lastnosti sten	
Prepustnost svetlobe	0 %
Odbojnost	50 %
Grobost površin	0 %
Lastnosti tal	
Prepustnost svetlobe	0 %
Odbojnost	20 %
Grobost površin	0 %
Lastnosti stropa	
Prepustnost svetlobe	0 %
Odbojnost	70 %
Grobost površin	0 %

Izbrane vrednosti so v skladu s standardom SIST EN 12464-1:2004, ki določa odbojnosti za glavne površine interjerja (točka 4.2 Luminance distribution): [6]

- strop 0,6 do 0,9,
- stene 0,3 do 0,8,
- delovne površine 0,2 do 0,6,
- tla 0,1 do 0,5.

2.1 Postopek izračuna in predstavitve rezultatov

2.1.1 Horizontalna osvetljenost

Po vnosu vseh potrebnih podatkov in definiranju prostora, smo zagnali izračun osvetljenosti. Pri analizi smo uporabili rezultate, izračunane za delovno ravnino na višini 0,85 m, ki jih program vrne v obliki tabele.

Ker smo želeli prikazati povprečno osvetljenost vsakega kvadratnega metra prostora, smo uporabili izpis v obliki 80 x 60 točk (izbira mreže 8 x 6 točk ni bila možna, saj program ne dovoljuje mreže manjše od 11 x 9 točk). Tako smo imeli za vsak kvadrant podatke v 100 točkah, na podlagi katerih smo izračunali povprečje. To tabelo smo nato prenesli v MS Excel in izračunali povprečno osvetljenost v posameznih kvadrantih, pasovih širine enega metra ter celotnega prostora.

S pomočjo takšnih tabel lahko hitro ugotovimo v katerem kvadrantu bi bilo smiselno planirati določeno vizualno delo. Tabele vsebujejo barvno skalo, ki je določena glede na zahteve iz standarda SIST EN 12464-1:2004 [6]. Siva števila in črke na zunanjem robu tabele označujejo kvadrante površine 1 m². Spodnji pas števil označuje povprečno osvetljenost prostora po pasovih širine enega metra. Vse tabele so opremljene z osnovnimi podatki analize in podatkom o povprečni osvetljenosti celotnega prostora.

Preglednica 6: Primer izpisa za Primer 1

1	2	3	4	5	6	7	8	
180	254	193	133	93	68	54	49	F
833	533	285	163	106	72	56	52	E
2325	888	381	190	118	77	59	54	D
2325	890	381	189	119	77	59	55	C
839	537	286	162	107	72	56	52	B
180	251	194	133	94	68	54	49	A
1114	559	287	162	106	72	56	52	

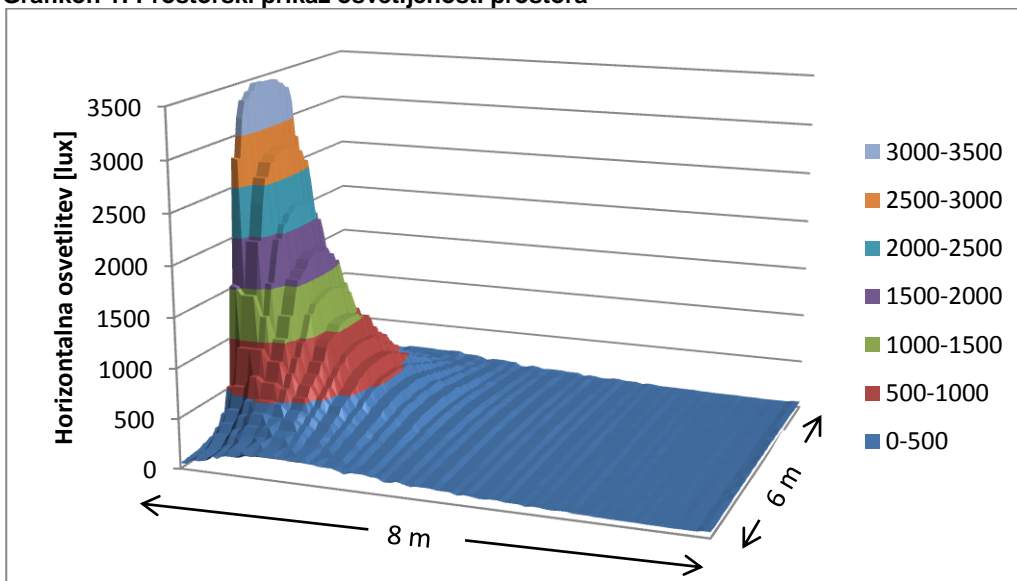
Povprečna osvetljenost prostora: 301 lx
 Kraj/datum/čas: Ljubljana/21.03./12:00
 Tip neba: CIE oblačno nebo

Skala

> 750	500 - 750	300 - 500	200 - 300	< 200	lux
-------	-----------	-----------	-----------	-------	-----

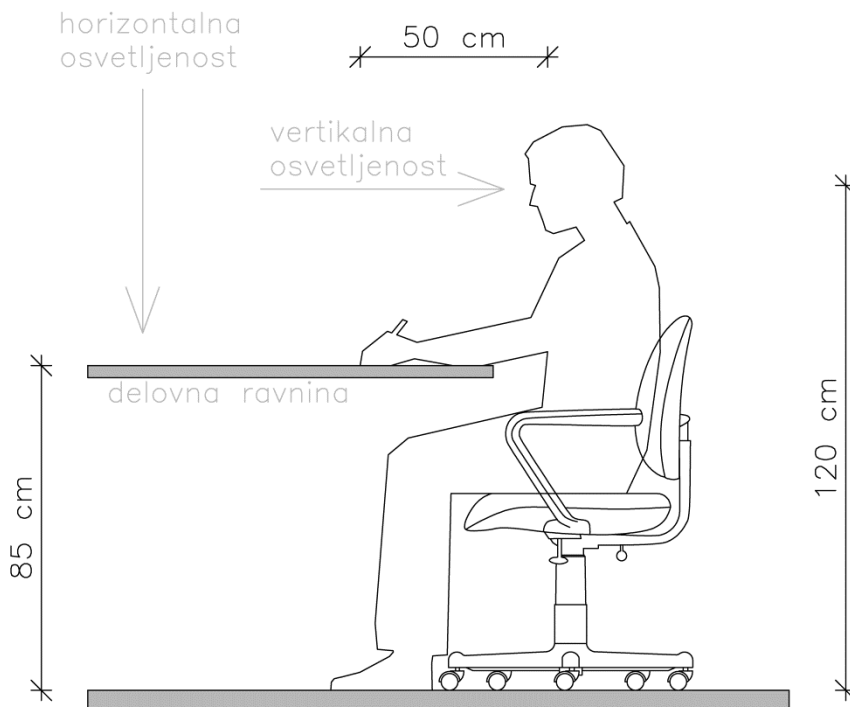
Poleg predstavitve rezultatov v obliki preglednice je možen tudi prikaz v obliki prostorskega grafa (primer Grafikon 1), ki se izriše na podlagi vseh računskih točk (4800 točk) in bolj nazorno prikaže distribucijo svetlobe po prostoru. Na ta način lahko razmeroma preprosto in nazorno opazujemo razlike v distribuciji med različnimi konfiguracijami zasteklitve (glej tudi dodatek A).

Grafikon 1: Prostorski prikaz osvetljenosti prostora



2.1.2 Vertikalna osvetljenost

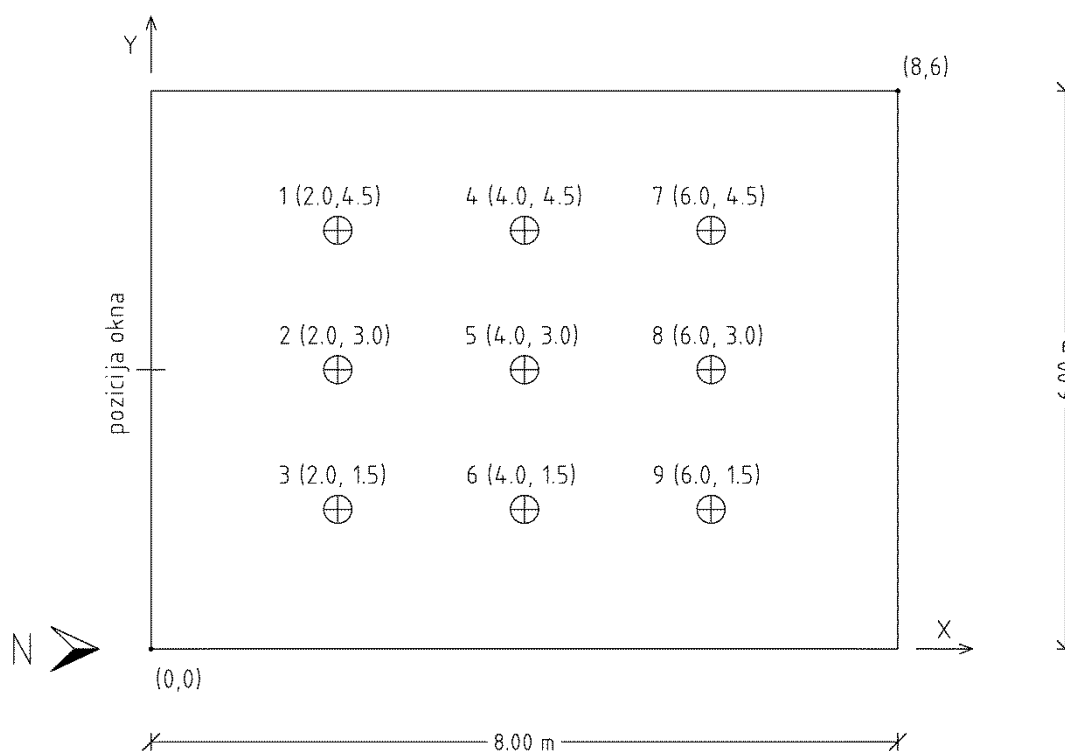
Hkrati s horizontalno, smo računali tudi vertikalno osvetljenost v devetih točkah v prostoru (slika 3). Točke so usmerjene proti zasteklitvi in so skozi vse simulacije stalne, na koordinatah ki jih prikazuje slika 4. Nahajajo se na višini 1,2 m nad tlemi – višina odgovarja položaju oči osebe, ki sede opravlja pisarniško delo.



Slika 3: Prikaz simuliranih parametrov

Poleg samih vrednosti v točkah, nas je zanimalo tudi kakšna so razmerja med horizontalno in vertikalno osvetljenostjo, saj smo želeli primerjati rezultate pridobljene v študiji dnevne osvetljenosti predstavljene v Študiji dnevne osvetljenosti pisarniškega prostora glede na vizualne in biološke vplive [2]. Tako smo opazovali tudi vrednosti horizontalne osvetljenosti na oddaljenosti 0,50 m od vertikalnih točk – oddaljenost odgovarja položaju rok pri opravi. Ker so trojice točke komplanarne jih v nadaljevanju opazujemo na ravninah (slika 4):

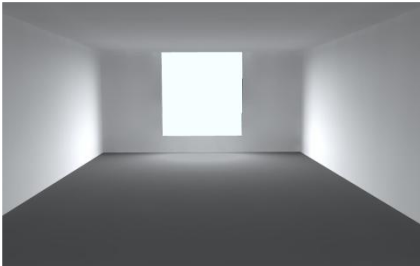
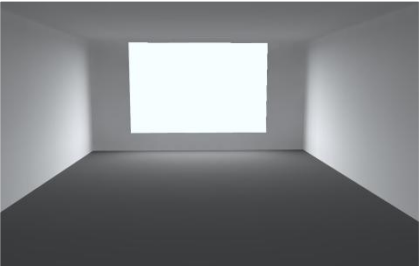
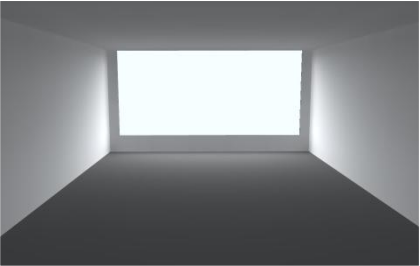
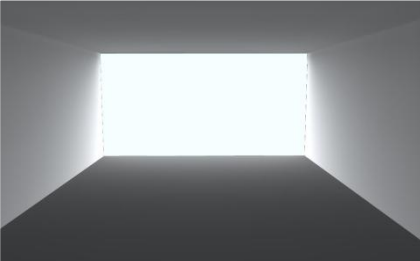
- prva ravnina je na oddaljenosti 2,0 m od zasteklitve (zajema točke 1,2 in 3),
- druga ravnina je na oddaljenosti 4,0 m od zasteklitve (zajema točke 4, 5 in 6),
- tretja ravnina je na oddaljenosti 6,0 m od zasteklitve (zajema točke 7, 8 in 9).



Slika 4: Pozicije točk za izračun vertikalne osvetljenosti (točke so na višini $z = 1,2$ m)

Zgoraj opisani postopek simuliranja smo ponovili za vse možne konfiguracije (glej dodatek A za prikaz ostalih konfiguracij). Izmed vseh štirih površin zasteklitve smo od vsake izbrali tisto, ki je podala najvišjo vrednost povprečne osvetljenosti prostora. V vseh primerih se je izkazalo, da je to primer z enim samim večjim oknom, centralno pozicioniranim na steno in z najvišjim možnim parapetom (0,50 m). Osnovne podatke in grafični prikaz izbranih konfiguracij prikazuje preglednica 7.

Preglednica 7: Osnovni podatki analize

Prikaz	Oznaka	Obseg zasteklitve stene	Povprečna osvetljenost prostora [lux]	Povečanje obsega zasteklitve [%]
	Primer 1	33,3 % oz. 6,0 m ²	301	/
	Primer 2	53,3 % oz. 9,6 m ²	478	60
	Primer 3	75,0 % oz. 13,5 m ²	648	125
	Primer 4	100,0 % oz. 18,0 m ²	726	200

3 REZULTATI

V tem poglavju primarno predstavljamo le rezultate izbranih primerov, ki jih prikazuje preglednica 7 in jih primerjamo s konfiguracijami z več okni (6 oken oz. 5 oken pri Primeru 1), ostale rezultate pa je možno videti v dodatku A. Za vse primere so najprej prikazani rezultati horizontalne osvetljenosti, sledijo rezultati vertikalne osvetljenosti, na koncu pa opazujemo še distribucijo svetlobe. Pri distribuciji smo izbrane primere (eno veliko okno) primerjali s primeri, ko imamo več oken iste skupne površine.

3.1 Horizontalna osvetljenost

3.1.1 Primer 1

Primer 1 je izhodiščni primer zasteklitve. Površina zasteklitve znaša 6,0 m² oz. 12,5 % tlorisne površine in upošteva Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja na delovnih mestih [2]. Pozicija zasteklitve je na južni strani (levo).

Preglednica 8: Rezultati horizontalne osvetljenosti za Primer 1

1	2	3	4	5	6	7	8	
180	254	193	133	93	68	54	49	F
833	533	285	163	106	72	56	52	E
2325	888	381	190	118	77	59	54	D
2325	890	381	189	119	77	59	55	C
839	537	286	162	107	72	56	52	B
180	251	194	133	94	68	54	49	A
1114	559	287	162	106	72	56	52	

Povprečna osvetljenost prostora: 301 lx
 Kraj/datum/čas: Ljubljana/21.03./12:00
 Tip neba: CIE oblačno nebo

Skala

> 750	500 - 750	300 - 500	200 - 300	< 200	lux
-------	-----------	-----------	-----------	-------	-----

Komentar:

Tu gre za primer, ko upoštevamo minimalne zahteve iz pravilnika, ki obravnava osvetljenost delovnih prostorov (zasteklitev naj obsega 1/8 tlorisa). Kot je razvidno iz Preglednice 8, je minimalni nivo osvetljenosti (200 lx) v povprečju dosežen le na prvih treh metrih od zasteklitve.

Tega pasu teoretično ni potrebno dodatno osvetljevati za samo uporabo prostora. Preostalemu delu prostora moramo svetlobo zagotoviti z drugimi ukrepi oz. jih umetno osvetljevati do vrednosti, ki so odvisne od tega kakšnemu opravilu ga bomo namenili.

Za opravljanje tipičnih pisarniških vizualnih del (nad 500 luksov) je primernih le 8 m² oz. 16,7 odstotkov prostora. Od tega je na 6 m² osvetljenost dovolj visoka za bolj natančna vizualna dela, vendar tam zaradi bližine zasteklitve obstaja možnost toplotnega neudobja in bleščanja.

Oglejmo si še rezultate, ko imamo namesto enega velikega okna pet enakomerno razporejenih oken, iste skupne površine (preglednica 9).

Preglednica 9: Horizontalna osvetljenost za Primer 1 - pet oken

1	2	3	4	5	6	7	8	
669	381	214	131	91	64	51	47	F
1141	549	269	151	99	67	53	49	E
1198	602	300	164	105	71	55	52	D
1193	603	301	163	106	71	55	52	C
1141	546	269	152	100	67	53	49	B
676	381	214	132	91	64	50	47	A
1003	510	261	149	99	67	53	49	

Povprečna osvetljenost prostora:

274 lx

Kraj/datum/čas:

Ljubljana/21.03./12:00

Tip neba:

CIE oblačno nebo

Skala

> 750	500 - 750	300 - 500	200 - 300	< 200	lux
-------	-----------	-----------	-----------	-------	-----

Razlika je na prvih treh pasovih opazna že na prvi pogled, saj je tu osvetljenost bolj enakomerno razporejena. Na račun relativno majhnega zmanjšanja povprečne osvetljenosti (okoli 10 %), smo pridobili boljšo distribucijo svetlobe in s tem dodatna 2 m² (polji 1-A in 1-F), kjer je osvetljenost zadostna za pisarniško delo.

Če smo zelo natančni, lahko rečemo tudi, da so v tem primeru prvi trije pasovi v celoti vsaj minimalno osvetljeni (200 luksov), za razliko od primera z enim oknom, ko so bili štirje kvadranti tik pod omenjeno mejo.

3.1.2 Primer 2:

Pri primeru 2 upoštevamo pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj [3]. Površina zasteklitve znaša 9,6 m² oz. 20 % tlorisne površine prostora. Pozicija zasteklitve je na južni strani (levo).

Preglednica 10: Rezultati horizontalne osvetljenosti za Primer 2

1	2	3	4	5	6	7	8	
579	532	338	217	149	107	85	77	F
2139	924	455	254	165	113	88	82	E
2672	1181	544	285	181	119	92	86	D
2672	1181	545	285	182	119	92	85	C
2147	923	455	254	166	113	88	82	B
582	532	340	217	150	107	85	77	A
1798	879	446	252	165	113	88	81	

Povprečna osvetljenost prostora: 478 lx
 Kraj/datum/čas: Ljubljana/21.03./12:00
 Tip neba: CIE oblačno nebo

Skala

> 750	500 - 750	300 - 500	200 - 300	< 200	lux
-------	-----------	-----------	-----------	-------	-----

Komentar:

Pri povečanju obsega zasteklitve za 60 %, se povprečna osvetljenost, glede na primer 1, poveča za 59 %. Minimalni nivo je dosežen na prvih štirih pasovih, oz. na prvi polovici prostora. Za drugo polovico moramo zagotoviti dodaten vir svetlobe.

Osvetljenost nad 500 luksov je zagotovljena na 14 m² in se je v primerjavi z izhodiščnim primerom izboljšala za 75 %. Natančnejšim vizualnim delom lahko namenimo osrednje območje prvih dveh pasov, vendar moramo biti zaradi bližine zasteklitve pozorni na toplotno neugodje in bleščanje

Primerjajmo rezultate iz preglednice 10 z rezultati, ko imamo šest manjših oken iste skupne površine (preglednica 11):

Preglednica 11: Horizontalna osvetljenost za Primer 2 - šest oken

1	2	3	4	5	6	7	8	
1465	689	355	209	141	100	80	73	1
1677	821	412	234	154	105	83	78	2
1679	857	441	248	162	110	86	81	3
1686	863	438	248	162	110	86	80	4
1678	823	412	233	154	106	83	78	5
1461	682	356	211	142	101	80	73	6
1608	789	402	231	152	105	83	77	

Povprečna osvetljenost prostora:

431 lx

Kraj/datum/čas:

Ljubljana/21.03./12:00

Tip neba:

CIE oblačno nebo

Skala

> 750	500 - 750	300 - 500	200 - 300	< 200	lux
-------	-----------	-----------	-----------	-------	-----

Podobno kot pri primeru 1 se v povprečju osvetljenost zmanjša za okoli 10 %. S povečanjem števila oken smo »pridelali« dva dodatna kvadranta, ki omogočata opravljanje bolj zahtevnih vizualnih del. Vendar pa smo na ta račun izgubili dva kvadranta v osrednjem delu tretjega pasu, ki sta bila prej zadosti osvetljena za opravljanje tipičnih pisarniških del (nad 500 luksov).

3.1.3 Primer 3:

Pri primeru 3 smo povečali površino zasteklitve na 28,1 % tlorisa in tako znaša 13,5 m². Pozicija zasteklitve je na južni strani (levo).

Preglednica 12: Rezultati horizontalne osvetljenosti za Primer 3

1	2	3	4	5	6	7	8	
1888	950	513	305	206	146	115	105	F
2697	1235	609	340	223	152	120	111	E
2801	1349	667	367	238	160	125	116	D
2803	1349	668	367	239	160	124	116	C
2700	1236	610	341	224	152	120	111	B
1892	954	513	306	207	146	115	106	A
2464	1179	597	338	223	153	120	111	

Povprečna osvetljenost prostora: 648 lx
 Kraj/datum/čas: Ljubljana/21.03./12:00
 Tip neba: CIE oblačno nebo

Skala

> 750	500 - 750	300 - 500	200 - 300	< 200	lux
-------	-----------	-----------	-----------	-------	-----

Komentar:

Pri povečanju zasteklitve na 75 % stene imamo minimalne pogoje osvetljenosti zagotovljene na prvih petih pasovih od zasteklitve. Glede na osnovni primer smo povečali zasteklitev za 125 %, kar se pozna v povečanju povprečne osvetljenosti za 115 %.

Osvetljenost nad 500 luksov je zagotovljena na 18 m² oz. na prvih treh pasovih in se je v primerjavi z izhodiščnim primerom izboljšala za 125 %. Prva dva pasova lahko v celoti namenimo bolj zahtevnim vizualnim delom. Za večji del prostora (62,5 %) ne rabimo zagotavljati dodatnih virov svetlobe, saj je na prvih petih pasovih dosežen minimalni pogoj osvetljenosti (200 luksov).

Primerjava s konfiguracijo z več okni (preglednica 13), ne pokaže opaznejših razlik, saj so nivoji povprečne osvetljenosti precej podobni primeru z enim velikim oknom. Predvsem v prvem in drugem pasu dobimo nekoliko boljše oz. enakomernejšo distribucijo svetlobe. To se izkaže kot pozitivno, saj manjše razlike pomenijo manjše možnosti za bleščanje.

Preglednica 13: Horizontalna osvetljenost za Primer 3 - šest oken

1	2	3	4	5	6	7	8	
2094	966	505	298	200	141	112	102	1
2380	1152	581	326	215	148	116	108	2
2411	1224	622	349	229	154	121	113	3
2414	1216	621	350	229	155	121	112	4
2381	1153	581	326	215	148	116	108	5
2091	972	507	298	201	141	112	103	6
2295	1114	570	325	215	148	116	108	

Povprečna osvetljenost prostora:

611 lx

Kraj/datum/čas:

Ljubljana/21.03./12:00

Tip neba:

CIE oblačno nebo

Skala

> 750	500 - 750	300 - 500	200 - 300	< 200	lux
-------	-----------	-----------	-----------	-------	-----

3.1.4 Primer 4:

Primer 4 prikazuje dogajanje ob zasteklitvi celotne stene, površina zasteklitve tako znaša 18,0 m². Pozicija zasteklitve je na južni strani (levo).

Preglednica 14: Rezultati horizontalne osvetljenosti za Primer 4

1	2	3	4	5	6	7	8	
2426	1121	586	346	234	165	130	119	F
2794	1331	669	378	250	172	136	126	E
2848	1406	716	404	265	180	141	130	D
2848	1407	716	404	265	180	141	130	C
2795	1331	670	379	251	172	135	126	B
2430	1119	586	347	236	165	130	119	A
2690	1286	657	377	250	172	135	125	

Povprečna osvetljenost prostora: 712 lx
 Kraj/datum/čas: Ljubljana/21.03./12:00
 Tip neba: CIE oblačno nebo

Skala

> 750	500 - 750	300 - 500	200 - 300	< 200	lux
-------	-----------	-----------	-----------	-------	-----

Komentar:

Ta primer je bil zaradi preproste simulacije (le ena) izveden bolj kot ne iz zanimanja kaj se zgodi, če zasteklimo celotno steno. Opazimo, da se pri 200 % povečanju zasteklitve, osvetljenost poveča za 136 %.

V primerjavi s Primerom 3, vidimo da glede na omejitve standarda SIST EN 12464-1:2004 [6] nismo »pridelali« opaznih razlik, saj je osvetljenost v identičnih mejah pri obeh primerih. Bistvenega izboljšanja ne dosežemo, saj smo tu dodali zasteklitev predvsem na parapetu. Ta predel nima velikega vpliva na prodiranje svetlobe v globino prostora, predvsem pa ne na osvetljenost delovne ravnine.

3.2 Vertikalna osvetljenost

Vertikalno osvetljenost v vseh primerih opazujemo na devetih statičnih točkah v prostoru. Točke so postavljene v treh ravninah, na oddaljenosti 2 m, 4 m, in 6 m od zasteklitve (glej sliko 4 v poglavju 2.1.2). Rezultati, ki dosegajo zadostne nivoje osvetljenosti, so v sledečih preglednicah (12 do 15) označeni z barvami – zelena za vertikalno osvetljenost nad 1000 luksov ter modra za horizontalno osvetljenost nad 500 luksov.

3.2.1 Primer 1:

Preglednica 15: Rezultati vertikalne osvetljenosti točk za Primer 1

Točka	Vertikalna [lux]	Horizontalna [lux]	Razmerje V/H
1	674	535	1,26
2	1105	951	1,16
3	672	540	1,25
4	326	163	2,00
5	393	194	2,03
6	327	161	2,03
7	182	71	2,56
8	198	77	2,56
9	182	70	2,59

V prvi ravnini se razmerje V/H giblje okoli vrednosti 1,2. V drugi ravnini okoli 2,0 in v tretji okoli 2,6.

3.2.2 Primer 2:

Preglednica 16: Rezultati vertikalne osvetljenosti točk za Primer 2

Točka	Vertikalna [lux]	Horizontalna [lux]	Razmerje V/H
1	1123	927	1,21
2	1458	1214	1,20
3	1127	931	1,21
4	523	253	2,07
5	590	288	2,05
6	524	255	2,05
7	286	112	2,57
8	307	117	2,64
9	285	112	2,54

V prvi ravnini se razmerje V/H giblje okoli vrednosti 1,2. V drugi ravnini okoli 2,1 in v tretji okoli 2,6.

3.2.3 Primer 3:

Preglednica 17: Rezultati vertikalne osvetljenosti točk za Primer 3

Točka	Vertikalna [lux]	Horizontalna [lux]	Razmerje V/H
1	1509	1235	1,22
2	1679	1363	1,23
3	1513	1239	1,22
4	700	340	2,06
5	768	370	2,07
6	700	341	2,05
7	388	151	2,58
8	407	158	2,57
9	386	151	2,56

V prvi ravnini se razmerje V/H giblje okoli vrednosti 1,2. V drugi ravnini okoli 2,1 in v tretji okoli 2,6.

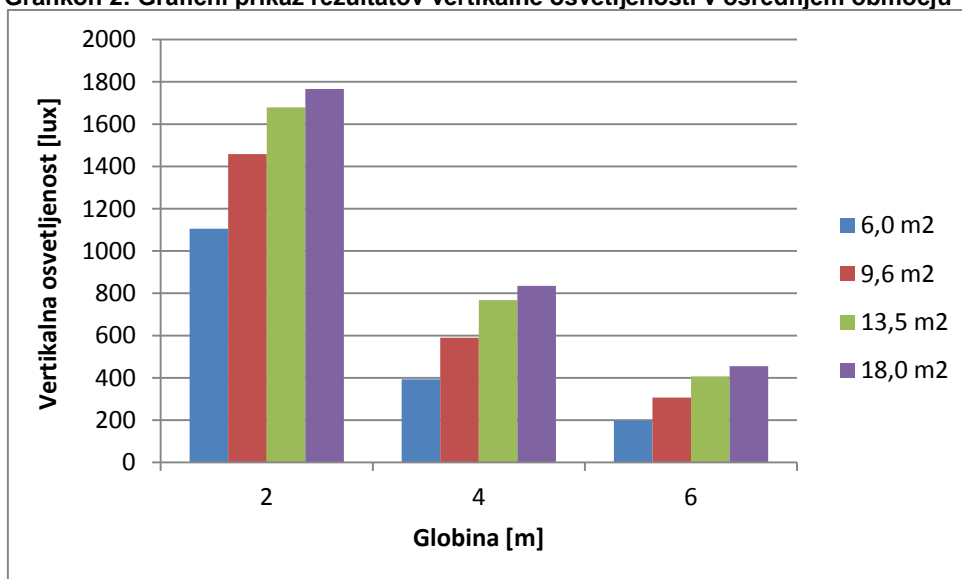
3.2.4 Primer 4:

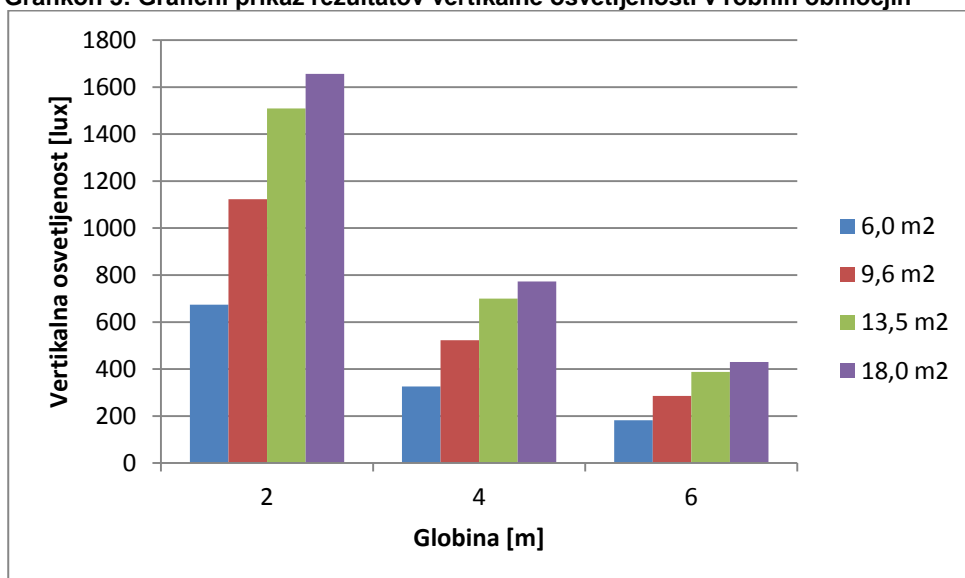
Preglednica 18: Rezultati vertikalne osvetljenosti točk za Primer 4

Točka	Vertikalna [lux]	Horizontalna [lux]	Razmerje V/H
1	1656	1331	1,24
2	1766	1418	1,25
3	1659	1331	1,25
4	773	380	2,03
5	835	408	2,05
6	772	382	2,02
7	430	169	2,55
8	455	178	2,56
9	427	169	2,53

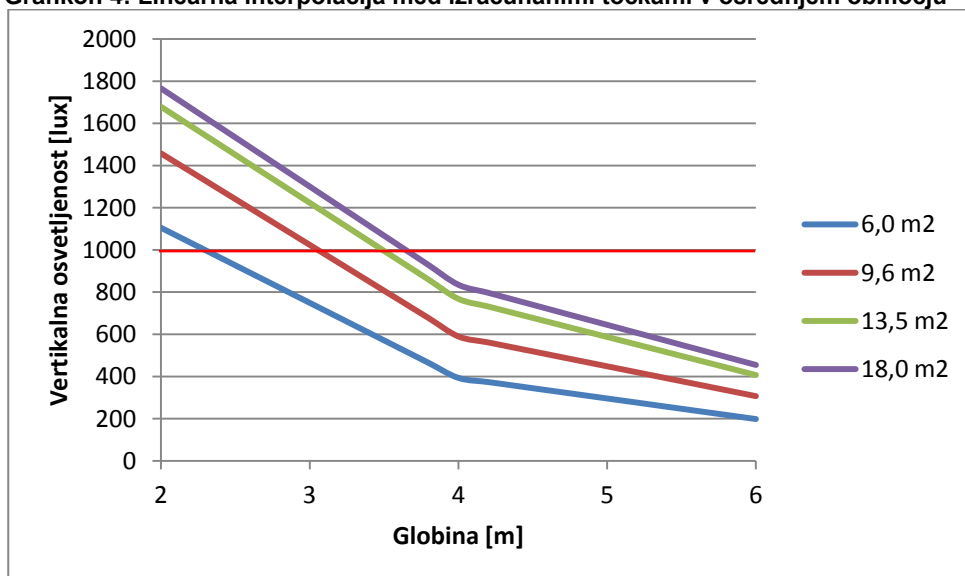
V prvi ravnini se razmerje V/H giblje okoli vrednosti 1,2. V drugi ravnini okoli 2,0 in v tretji okoli 2,5.

Grafikon 2: Grafični prikaz rezultatov vertikalne osvetljenosti v osrednjem območju



Grafikon 3: Grafični prikaz rezultatov vertikalne osvetljenosti v robnih območjih

Izvedemo linearno interpolacijo med točkami v sredinskem delu območja (ravnina $y = 3,0$). To sicer ni najbolj natančna metoda, vendar nam poda razmeroma dober vpogled v potek vertikalne osvetljenosti po globini prostora.

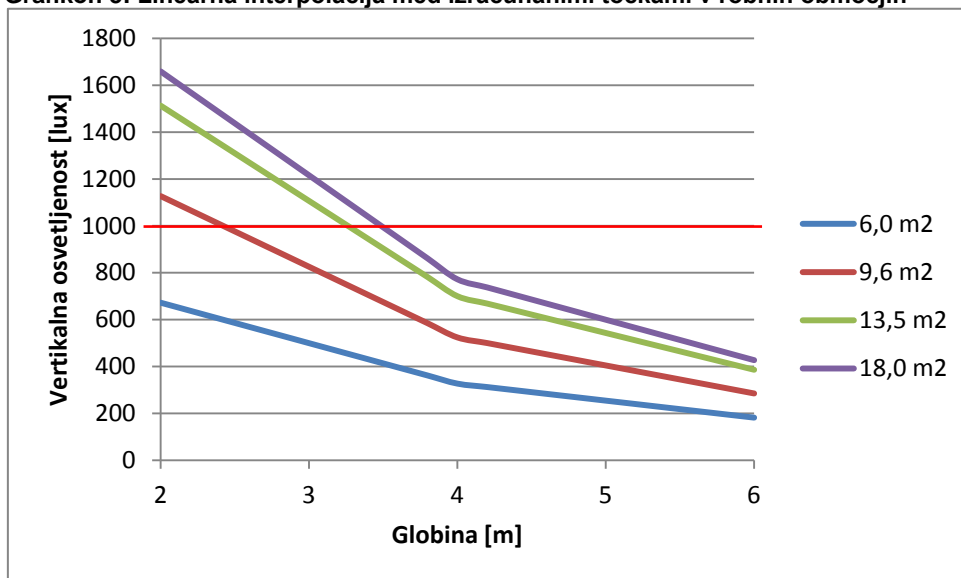
Grafikon 4: Linearna interpolacija med izračunanimi točkami v osrednjem območju

Največji skok je opazen pri povečanju zasteklitve osnovnega primera za 60 % (Primer 2), kjer se v povprečju vertikalna osvetljenost zviša za 45,7 %. Med Primeroma 3 in 4 podobno kot pri horizontalni osvetljenosti, iz enakih razlogov (parapet), ni opaziti večjih razlik – Primer 4 ima v povprečju za 8,6 % višjo vertikalno osvetljenost.

Podobno kot za sredinsko območje, lahko interpoliramo vrednosti v robnem območju (ravnina $y = 1,5$ ali $4,5$ – v vseh primerih, kjer obravnavamo vertikalno osvetljenost sta vrednosti enaki, zaradi simetričnosti zasteklitve). Opazimo večja odstopanja kot pri sredinskem območju med posameznimi površinami zasteklitve, še posebej v začetnih pasovih. Ugotovimo, da za razliko od sredinskega območja, tu osnovni primer ne doseže

zadostne osvetljenosti niti na prvih dveh pasovih. Razlog tiči v temu, da je okno ožje in ne omogoča distribucije svetlobe preko zadostne širine, ki bi omogočila zadostno osvetljenost tega predela.

Grafikon 5: Linearna interpolacija med izračunanimi točkami v robnih območjih



Kot je omenjeno zgoraj so nas zanimala tudi razmerja med vertikalno in horizontalno osvetljenostjo, da smo lahko primerjali rezultate z že izvedeno študijo [5]. Študija na Katedri za stavbe in konstrukcijske elemente UL FGG (KSKE) je obravnavala podobne oddaljenosti delovnih mest od zasteklitve (odstopanja maksimalno ± 18 cm). Ugotovili smo, da se rezultati približno ujemajo le za prvo ravnino (oddaljenost 2,0 m od zasteklitve). Razmerje V/H v našem primeru znaša 1,20 (1,15 KSKE). V drugi ravnini je odstopanje precej večje – 2,00 (1,60 KSKE) in prav tako tudi v tretji ravnini – 2,60 (1,77 KSKE).

Prostor, ki so ga obravnavali na KSKE je višji za slabih 30 odstotkov (višina 3,88 m). Od tu izvirajo odstopanja v razmerju V/H, saj je višina tisti parameter, ki poveča vpadni kot svetlobe. S tem se predvsem poveča količina svetlobe, ki pade na horizontalne površine. Zato so v primeru višjega prostora razmerja V/H nižja.

3.3 Distribucija svetlobe






Primeri z enim velikim oknom so se sicer izkazali kot najboljši kar se tiče povprečne osvetljenosti. Na račun tega pa smo izgubili enakomerno distribucijo po prostoru (najbolj izrazito pri Primeru 1), ki lahko zaradi povečanih kontrastov negativno vpliva na počutje (bleščanje).

Kljub temu, da so izgube povprečne osvetljenost zaradi povečevanja števila oken na prvi pogled velike (še posebej, če primerjamo kvadrante prvih pasov v tabelah), se izkaže da temu ni tako. Resda so maksimumi precej nižji, vendar zato pridobimo na večjih možnostih izkoriščanja prostora.

Če opazujemo povprečne osvetljenosti po pasovih, vidimo da se ta bistveno ne spremeni in v vseh analiziranih primerih ostane v enakih mejah glede zahtev za vizualna dela. V vseh primerih se izkaže, da so zmanjšanja povprečne osvetljenosti nižja od desetih odstotkov. Podobno kot pri analizi horizontalne osvetljenosti, smo izbrali tiste izmed konfiguracij, ki so podale najboljšo povprečno osvetljenost prostora.

3.3.1 Primer 1:

Preglednica 19: Vpliv večanja števila oken na osvetljenost pri Primeru 1



Prikaz	Število oken	Povprečna osvetljenost [lx]	Povprečno zmanjšanje osvetljenosti	Zmanjšanje maksimuma
	1	301	/	/
	2	292	3,0 %	7,6 %
	3	289	4,0 %	16,7 %
	4	280	7,0 %	22,2 %
	5	274	9,0 %	28,5 %

Komentar:

Razlike v nivojih osvetljenosti in distribuciji svetlobe so opazne v prvih dveh pasovih. Spremembe v posameznih kvadrantih so odvisne od lege zasteklitve. V ostalih pasovih so razlike komaj opazne. Distribucija se spreminja skladno s pričakovanji – več kot je oken, bolj enakomerna je.



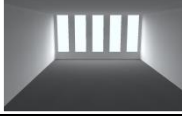

3.3.2 Primer 2:

Preglednica 20: Vpliv večanja števila oken na osvetljenost pri Primeru 2

Prikaz	Število oken	Povprečna osvetljenost [lx]	Povprečno zmanjšanje osvetljenosti	Zmanjšanje maksimuma
	1	478	/	/
	2	456	4,6 %	3,5 %

Preglednica se nadaljuje...

...nadaljevanje preglednice 20

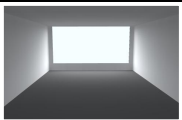

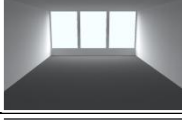



	3	463	3,1 %	7,1 %
	4	450	5,9 %	11,0 %
	5	440	7,9 %	15,6 %
	6	431	9,8 %	19,9 %

Komentar:

Opazimo, da je dogajanje zelo podobno kot pri Primeru 1.

3.3.3 Primer 3:

Preglednica 21: Vpliv večanja števila oken na osvetljenost pri Primeru 3

Prikaz	Število oken	Povprečna osvetljenost [lx]	Povprečno zmanjšanje osvetljenosti	Zmanjšanje maksimuma
	1	648	/	/
	2	633	2,3 %	1,3 %
	3	627	3,2 %	2,8 %
	4	622	4,0 %	5,5 %
	5	616	4,9 %	7,2 %
	6	611	5,7 %	9,0 %

Komentar:

Pričakovano zelo majhna odstopanja od začetnega primera, saj so tudi vmesna »rebra« med okni zelo majhna (10 do 30 cm) in nimajo velikega vpliva na zmanjšanje povprečne osvetljenosti. Tudi distribucija svetlobe se ni bistveno spreminjala.

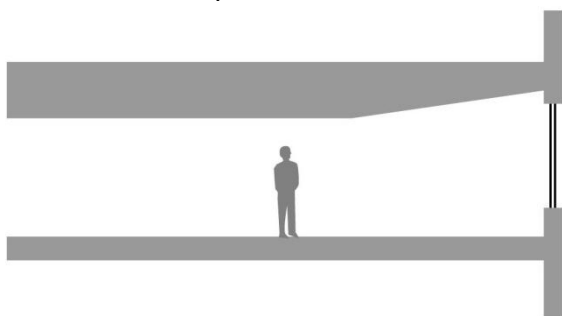
4 UGOTOVITVE IN ZAKLJUČKI

Izbrani prostor je relativno globok. Zato smo v pasovih, ki so bolj oddaljeni od zasteklitve, pričakovali nezadostne nivoje horizontalne osvetljenosti na delovni ravnini. Enaka pričakovanja smo imeli tudi za vertikalno osvetljenost. Glede na v uvodu postavljene hipoteze je na podlagi izvedenih izračunov in analiz v okviru diplomske naloge možno zaključiti sledeče:

1. Minimalni obseg zasteklitve (12,5 % tlorisa) zadosti minimalnim standardom za horizontalno osvetljenosti delovne površine na vsaj polovici globine prostora.

Ta trditev ne drži, saj pri nobeni konfiguraciji osvetljenost ne doseže vrednosti nad 200 luksov, dlje od treh metrov globine prostora. Osvetljenost nad 500 luksov je v povprečju dosežena samo na prvih dveh pasovih. Ugotavljamo, da z upoštevanjem minimalnega pogoja, ki ga podaja pravilnik [2] ne dosežemo zelenih rezultatov pri predvideni zasnovi zasteklitve. Vendar pa se izkaže, da takšnih vrednosti nismo dosegli niti pri 100 % zasteklitvi stene.

Zaradi tega bi morali za boljši izkoristek dnevne svetlobe načrtovati drugačno pozicijo zasteklitve (npr. na stranskih stenah). Delno izboljšanje bi lahko dosegli tudi s povečanjem reflektivnosti površin ali izvedbo spremenljive višine stropu ob zasteklitvi (slika 5). Poudariti je potrebno, da je globina do katere seže primerna osvetljenost prostora z dnevno svetlobo, odvisna tako od površine zasteklitve kot tudi od višine prostora.



A sloping ceiling at perimeter raises the window head without increasing floor-to-floor height

Slika 5: Izvedba spremenljive višine stropu v bližini zasteklitve (vir slike [9])

2. Površina zasteklitve, ki obsega 75 % stene, zagotavlja zadostno vertikalno osvetljenost (> 1000 lx) v prvi polovici prostora.

Tudi ta trditev ne drži. Iz Grafikona 4 vidimo, da je v osrednjem predelu prostora meja 1000 lx na približno 3,5 metrih globine. Da bi dosegli zadostno vertikalno osvetljenost na večji globini, bi bil poleg povišanja okna/prostora, smiseln ukrep izvedbe stropa s spremenljivo višino tik ob oknu. Dodatno je potrebno omeniti tudi, da je zagotavljanje primerne nivoje osvetljenosti na vertikalni ravnini odvisno od vidnega dela neba kar je bilo omenjeno tudi že v člankih [2] [7]. Drugače povedano bližje kot je neka točka oknu večji del neba je v »vidnem kotu« te točke, s tem pa je tudi osvetljenost na tej točki višja.

3. Enakomernejšo distribucijo svetlobe po prostoru dosežemo pri večjem številu oken, kot pri enem samem velikem oknu.

To seveda drži, saj se takšni predlogi zagotavljanja enakomernejše distribucije pojavljajo tudi v literaturi [1] [6]. Tu smo to le računsko dokazali. Kar se tiče distribucije svetlobe, je težko podajati nekakšne zaključke in predloge, saj bi se bilo s tem problemom najbolj smiselno ukvarjati med samim načrtovanjem postavitve notranje opreme in delovnih mest. Vselej pa naj bo distribucija čim bolj enakomerna, da se izognemo negativnim učinkom, ki se lahko pojavijo ob neenakomerni distribuciji.

Med drugim smo ugotovili tudi to, da so razlike v osvetljenosti pri obsegu zasteklitve stene (pri 75 % in 100 %) razmeroma nizke (cca. 10 %). Ker je glavni razlog za takšno obnašanje višina parapeta, je pri načrtovanju realnega delovnega prostora, smiselno razmisliti o smotrnosti zastekljevanja nižjih predelov stene z namenom doseganja višje osvetljenosti.

Ugotovili smo, da je zadostne nivoje horizontalne in vertikalne osvetljenosti z dnevno svetlobo za analizirani prostor težko doseči. Nekaj manevrskega prostora okoli doseganja višjih nivojev je sicer še na voljo (zasteklitev stranske stene, izvedba svetlobnih jaškov, višji stropi). Res je tudi, da so rezultati izračunani za datum 21. marec in pri oblačnem nebu, zato bi bili rezultati v zimskem času slabši, v poletnem času pa boljši. Seveda se situacija pri jasnem vremenu popolnoma spremeni, saj v tem primeru dominanten vpliv odigra pozicija sonca na nebu.

Med izdelavo diplomske naloge sem se naučil in se začel zavedati kako pomemben vpliv ima dnevna svetloba na človeka in njegovo delovanje. Zavedam se da je v praksi verjetno še težje doseči zadovoljive vrednosti osvetljenosti, vendar kljub temu računam na čedalje večje zavedanje in upoštevanje dnevne svetlobe pri projektiranju stavb.

VIRI

- [1] Kristl, Ž. 2011. Dnevna svetloba – skripta. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 71 str.
- [2] Kristl, Ž., Košir, M., Dovjak, M., Krainer, A. 2011 Študija dnevne osvetljenosti pisarniškega prostora glede na vizualne in biološke vplive = Study of daylight office space regarding visual and biological influences. *Gradb. vestn.*, 60, 3: 84-91, ilustr.
- [3] Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja na delovnih mestih. Uradni list RS št. 89/1999
- [4] Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj. Uradni list RS št. 125/2003
- [5] DIAL GmbH 2013. Programska oprema DIALux 4.11
<http://www.dial.de/DIAL/en/dialux-international-download.html> (Pridobljeno 5. 9. 2013.)
- [6] SIST EN 12464-1:2004 Svetloba in razsvetljava – Razsvetljava na delovnem mestu – 1. del: Notranji delovni prostori.
- [7] Košir, M., Krainer, A., Dovjak, M., Kristl, Ž. 2001. Automatically controlled daylighting for visual and nonvisual effects. *Light. res. technol.*, 43, 4: 439-455, ilustr.
- [8] Daylight Design Variations Book. 2013.
<http://sts.bwk.tue.nl/daylight/varbook/> (Pridobljeno 5. 9. 2013.)
- [9] Daylighting Pattern Guide. 2013.
<http://patternguide.advancedbuildings.net/> (Pridobljeno 5.9. 2013.)
- [9] O'Connor, J., Lee, E., Rubinstein, F., Selkowitz, S. 1997. Tips for Daylighting with Windows. California, The California Institute for Energy Efficiency: 107 str.

SEZNAM PRILOG

DODATEK A: PREOSTALI PRIMERI ANALIZE OSVETLJENOSTI	A1
A.1 Spreminjanje površine in pozicije oken	A1
A.2 Prikaz osvetljenosti prostora in distribucije svetlobe	A7

»Ta stran je namenoma prazna«

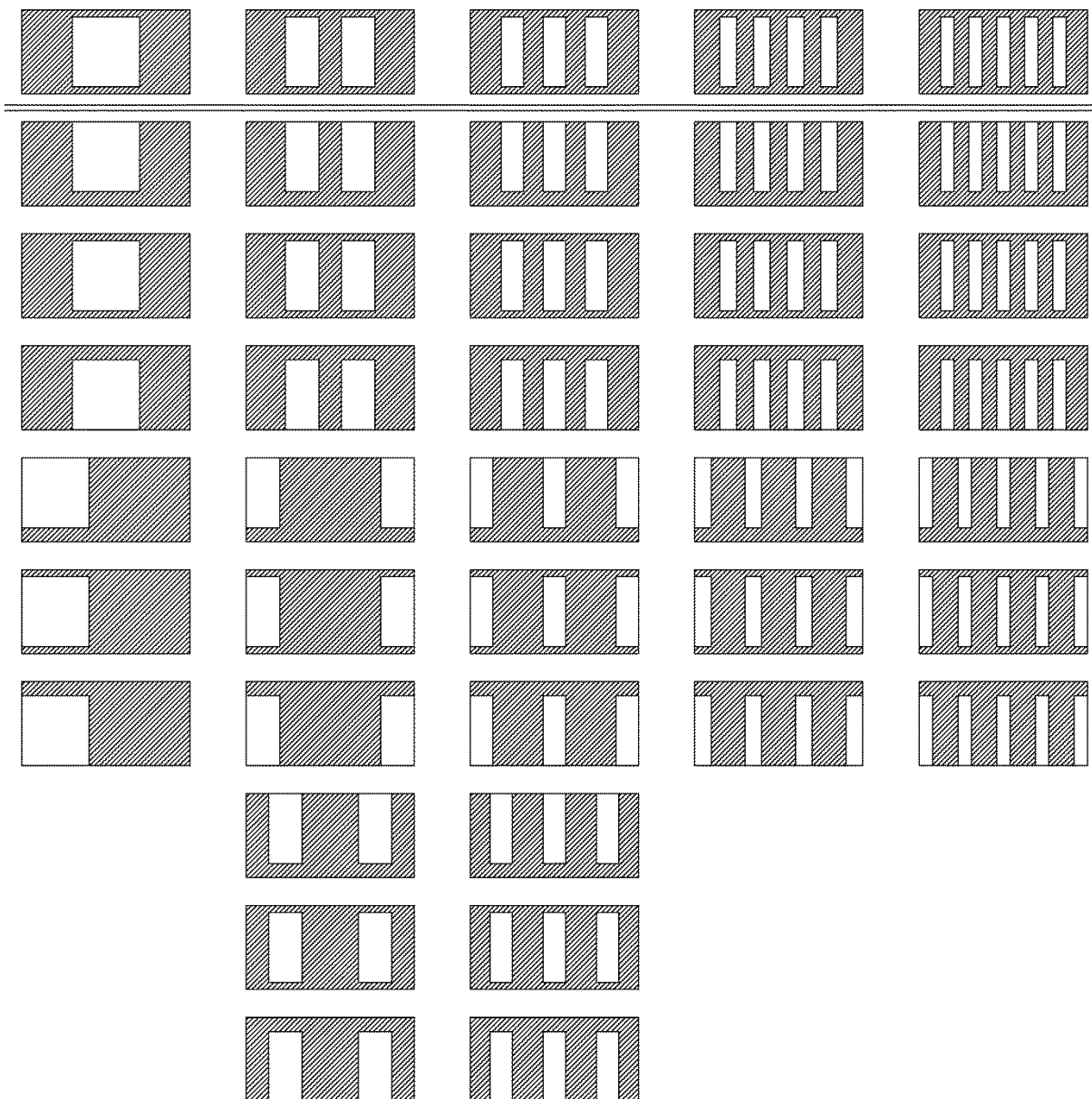
DODATEK A: PREOSTALI PRIMERI ANALIZE OSVETLJENOSTI

A.1 Spreminjanje površine in pozicije oken

Preglednice A1, A2 in A3 prikazujejo način izbire dimenzij oken pri različnih površinah, ki smo jih uporabili v simulacijah. Števila, ki so se obarvala zeleno, so bolj primerna za izbiro, saj gre za cela števila. Končno izbrano višino in širine oken pa označuje obarvan pas. Slike A1, A2 in A3 prikazujejo način premikanja oken po ravnini stene in so skladne z izbranimi podatki iz tabel.

Preglednica A 1: Izbira višine in širine oken pri površini zasteklitve 6,0 m²

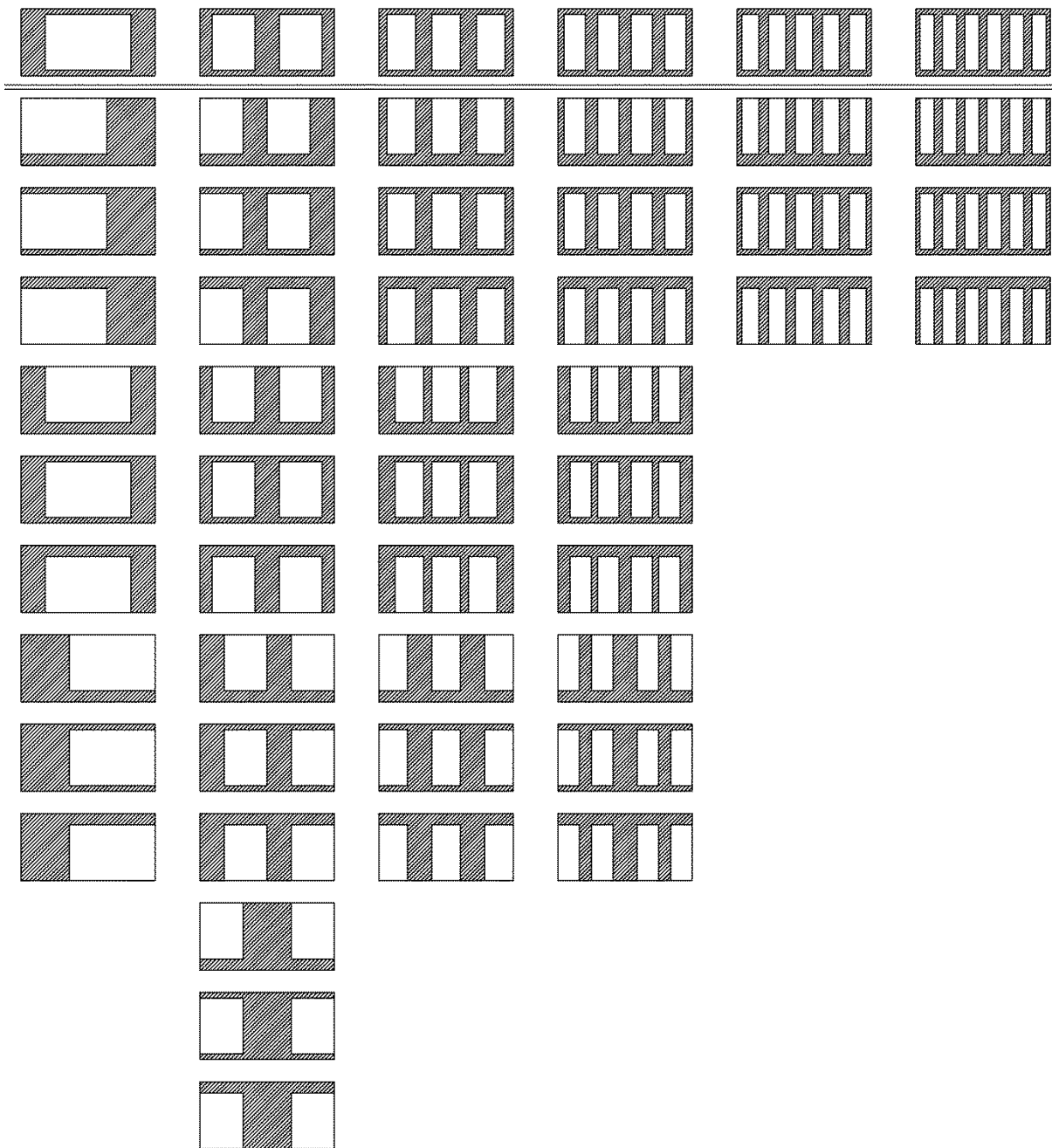
Površina zasteklitve:		6,00 m ² (33,3 %)				
število oken						
	1	2	3	4	5	6
Višina (cm)	Širina (cm)					
10						
20					600	500
30				500	400	333,33
40			500	375	300	250
50		600	400	300	240	200
60		500	333,33	250	200	166,67
70		428,57	285,71	214,29	171,43	142,86
80		375	250	187,5	150	125
90		333,33	222,22	166,67	133,33	111,11
100	600	300	200	150	120	100
110	545,45	272,73	181,82	136,36	109,09	90,91
120	500	250	166,67	125	100	83,33
130	461,54	230,77	153,85	115,38	92,31	76,92
140	428,57	214,29	142,86	107,14	85,71	71,43
150	400	200	133,33	100	80	66,67
160	375	187,5	125	93,75	75	62,50
170	352,94	176,47	117,65	88,24	70,59	58,82
180	333,33	166,67	111,11	83,33	66,67	55,56
190	315,79	157,89	105,26	78,95	63,16	52,63
200	300	150	100	75	60	50
210	285,71	142,86	95,24	71,43	57,14	47,62
220	272,73	136,36	90,91	68,18	54,55	45,45
230	260,87	130,43	86,96	65,22	52,17	43,48
240	250	125	83,33	62,5	50	41,67
250	240	120	80	60	48,0	40
260	230,77	115,38	76,92	57,69	46,15	38,46
270	222,22	111,11	74,07	55,56	44,44	37,04
280	214,29	107,14	71,43	53,57	42,86	35,71
290	206,90	103,45	68,97	51,72	41,38	34,48
300	200	100	66,67	50	40	33,33



Slika A 1: Prikaz premikanja zasteklitve po steni pri površini zasteklitve $6,0 \text{ m}^2$

Preglednica A 2: Izbira višine in širine oken pri površini zasteklitve 9,6 m²

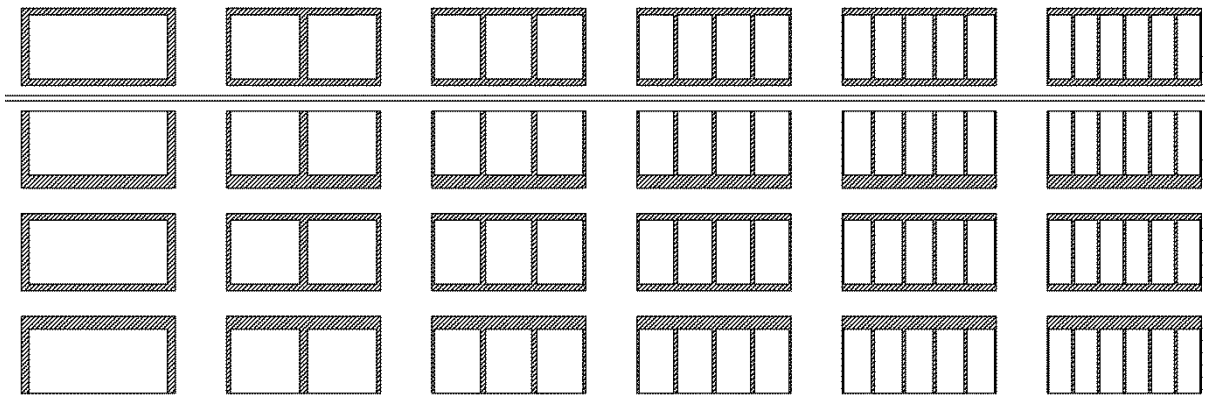
Površina zasteklitve:		9,60 m ² (53,3 %)				
število oken						
	1	2	3	4	5	6
Višina (cm)	Širina (cm)					
10						
20						
30						533,30
40				600	480	400
50				480	384	320
60			533,30	400	320	
70			457,10	342,90		
80		600	400			
90		533,30	355,60			
100		480	320			
110		436,40				
120		400				
130		369,20				
140		342,90				
150						
160	600	300	200	150	120	100
170	564,70	282,40	188,20	141,20	112,90	94,10
180	533,30	266,70	177,80	133,30	106,70	88,90
190	505,30	252,60	168,40	126,30	101,10	84,20
200	480	240	160	120	96	80
210	457,10	228,60	152,40	114,30	91,40	76,20
220	436,40	218,20	145,50	109,10	87,30	72,70
230	417,40	208,70	139,10	104,30	83,50	69,60
240	400	200	133,30	100	80	66,70
250	384	192	128	96	76,8	64
260	369,20	184,60	123,10	92,30	73,80	61,50
270	355,60	177,80	118,50	88,90	71,10	59,30
280	342,90	171,40	114,30	85,70	68,60	57,10
290	331	165,50	110,30	82,80	66,20	55,20
300	320	160	106,70	80	64	53,30



Slika A 2: Prikaz premikanja zasteklitve po steni pri površini zasteklitve 9,6 m²

Preglednica A 3: Izbira višine in širine oken pri površini zasteklitve 13,5 m²

Površina zasteklitve:					13,50 m ² (75,0 %)	
število oken						
	1	2	3	4	5	6
Višina (cm)	Širina (cm)					
10						
20						
30						
40						562,50
50					540	450
60				562,50	450	
70				482,14		
80			562,50			
90			500			
100			450			
110						
120		562,50				
130		519,23				
140		482,14				
150						
160						
170						
180						
190						
200						
210						
220						
230	586,96	293,48	195,65	146,74	117,39	97,83
240	562,50	281,25	187,5	140,63	112,5	93,75
250	540	270	180	135	108	90
260	519,23	259,62	173,08	129,81	103,85	86,54
270	500	250	166,67	125	100	83,33
280	482,14	241,07	160,71	120,54	96,43	80,36
290	465,52	232,76	155,17	116,38	93,10	77,59
300	450	225	150	112,50	90	75



Slika A 3: Prikaz premikanja zasteklitve po steni pri površini zasteklitve 13,5 m²

A.2 Prikaz osvetljenosti prostora in distribucije svetlobe

Naslednje preglednice in grafikoni prikazujejo konfiguracije, ki so podale najboljše rezultate osvetljenosti. Od vsakega primera (Primer 1, 2 in 3) torej prikazujemo konfiguracije z enim, dvema, tremi, štirimi, petimi in šestimi (Primer 2 in 3) okni.

Preglednica A 4: Horizontalna osvetljenost za Primer 1 (1 okno)

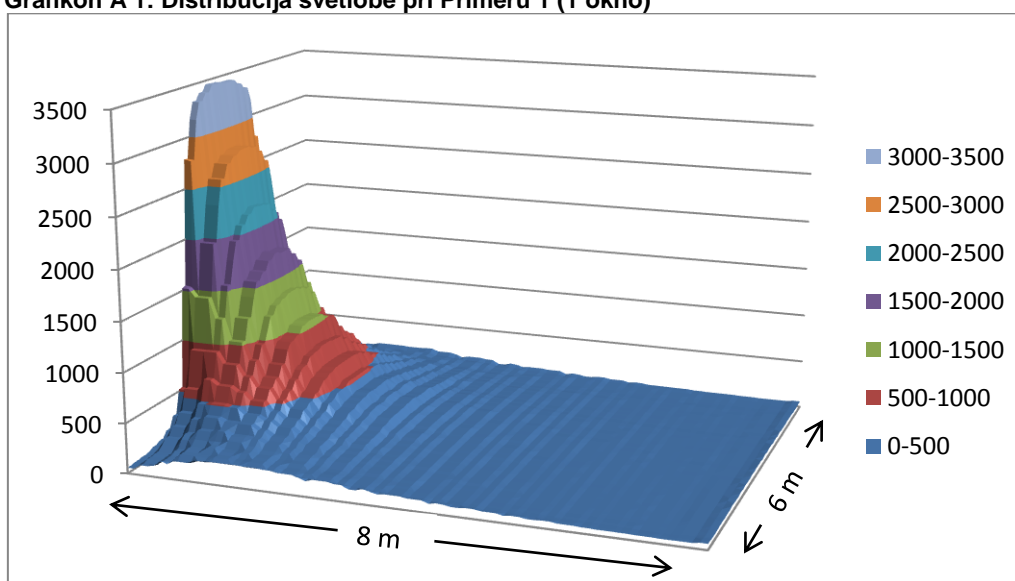
1	2	3	4	5	6	7	8	
180	254	193	133	93	68	54	49	F
833	533	285	163	106	72	56	52	E
2325	888	381	190	118	77	59	54	D
2325	890	381	189	119	77	59	55	C
839	537	286	162	107	72	56	52	B
180	251	194	133	94	68	54	49	A
1114	559	287	162	106	72	56	52	

Povprečna osvetljenost prostora: 301 lx
 Kraj/datum/čas: Ljubljana/21.03./12:00
 Tip neba: CIE oblačno nebo

Skala

> 750	500 - 750	300 - 500	200 - 300	< 200	lux
-------	-----------	-----------	-----------	-------	-----

Grafikon A 1: Distribucija svetlobe pri Primeru 1 (1 okno)



Preglednica A 5: Horizontalna osvetljenost za Primer 1 (2 okni)

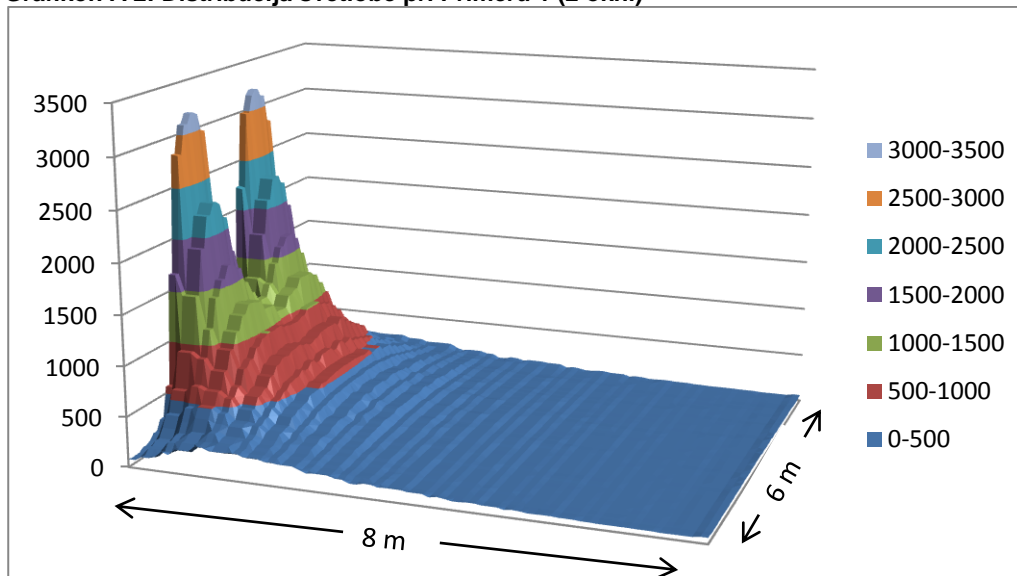
1	2	3	4	5	6	7	8	
278	314	208	134	92	66	53	48	F
1424	592	285	158	103	70	55	51	E
1541	725	341	179	114	74	57	53	D
1543	730	343	178	114	74	57	53	C
1422	596	287	157	104	70	55	51	B
276	312	208	134	93	66	53	48	A
1081	545	279	157	103	70	55	51	

Povprečna osvetljenost prostora: 292 lx
 Kraj/datum/čas: Ljubljana/21.03./12:00
 Tip neba: CIE oblačno nebo

Skala

> 750	500 - 750	300 - 500	200 - 300	< 200	lux
-------	-----------	-----------	-----------	-------	-----

Grafikon A 2: Distribucija svetlobe pri Primeru 1 (2 okni)



Preglednica A 6: Horizontalna osvetljenost za Primer 1 (3 okna)

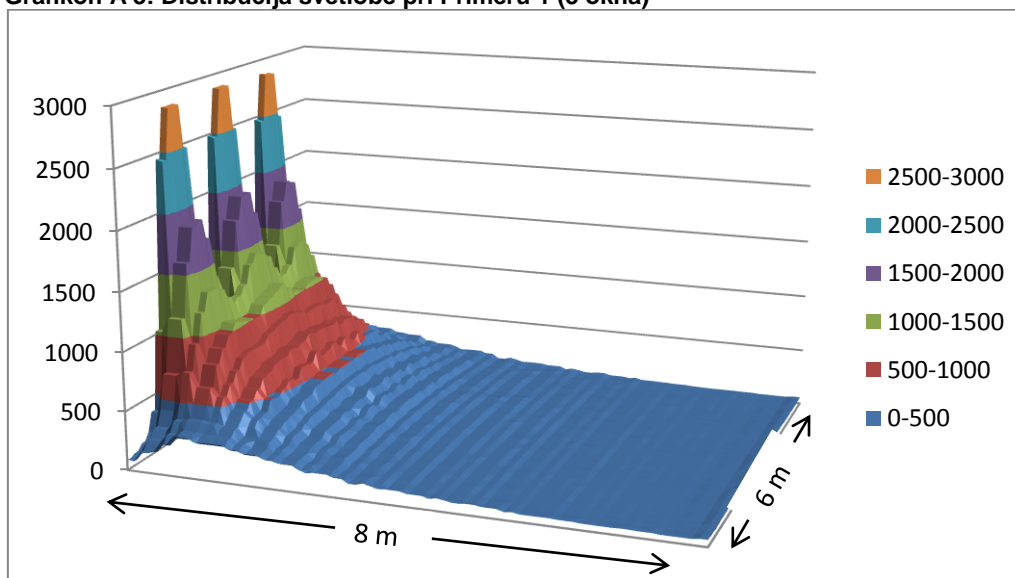
1	2	3	4	5	6	7	8	
419	355	211	133	91	65	53	47	F
1510	573	278	155	101	69	54	52	E
1324	666	319	171	109	73	56	53	D
1323	664	318	172	110	73	56	52	C
1510	575	278	155	102	69	54	51	B
421	354	213	133	92	65	52	48	A
1085	531	270	153	101	69	54	51	

Povprečna osvetljenost prostora: 289 lx
 Kraj/datum/čas: Ljubljana/21.03./12:00
 Tip neba: CIE oblačno nebo

Skala

> 750	500 - 750	300 - 500	200 - 300	< 200	lux
-------	-----------	-----------	-----------	-------	-----

Grafikon A 3: Distribucija svetlobe pri Primeru 1 (3 okna)



Preglednica A 7: Horizontalna osvetljenost za Primer 1 (4 okna)

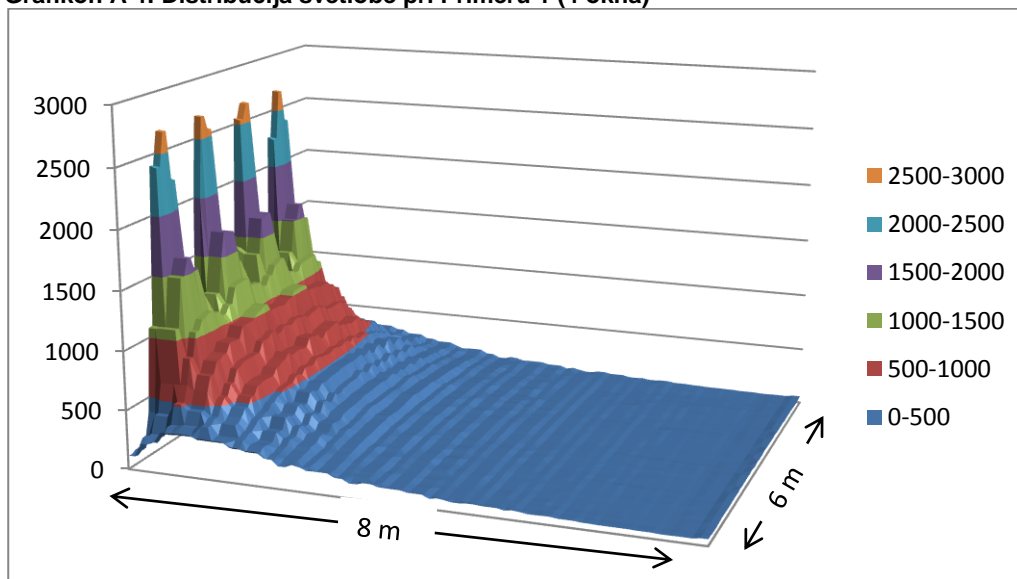
1	2	3	4	5	6	7	8	
572	370	213	133	90	65	51	47	F
1213	558	274	154	100	69	53	49	E
1325	631	309	167	107	72	56	52	D
1315	628	311	167	108	72	56	53	C
1219	559	274	153	100	69	54	50	B
571	371	215	132	90	65	50	47	A
1036	520	266	151	99	69	53	50	

Povprečna osvetljenost prostora: 280 lx
 Kraj/datum/čas: Ljubljana/21.03./12:00
 Tip neba: CIE oblačno nebo

Skala

> 750	500 - 750	300 - 500	200 - 300	< 200	lux
-------	-----------	-----------	-----------	-------	-----

Grafikon A 4: Distribucija svetlobe pri Primeru 1 (4 okna)



Preglednica A 8: Horizontalna osvetljenost za Primer 1 (5 oken)

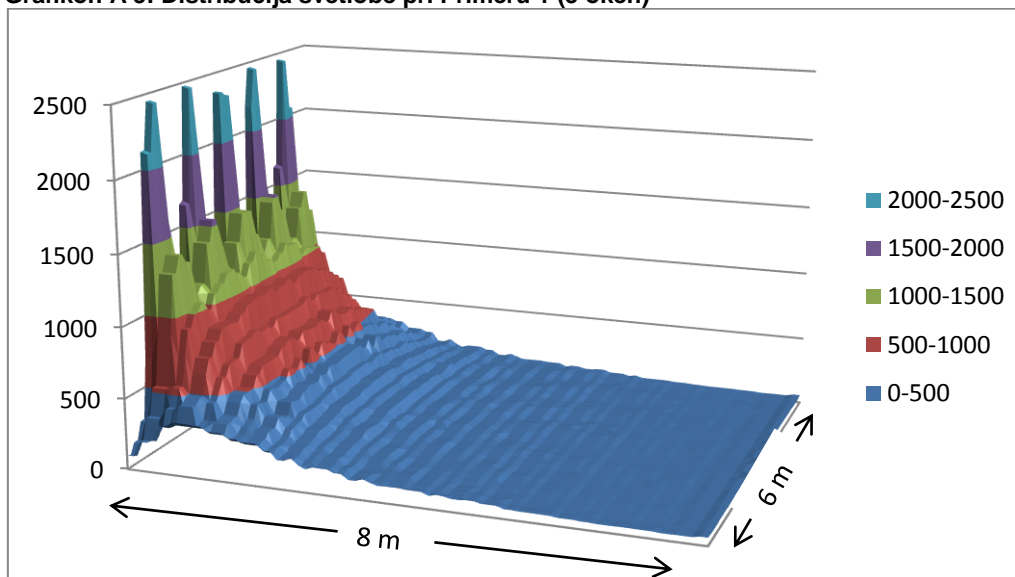
1	2	3	4	5	6	7	8	
669	381	214	131	91	64	51	47	F
1141	549	269	151	99	67	53	49	E
1198	602	300	164	105	71	55	52	D
1193	603	301	163	106	71	55	52	C
1141	546	269	152	100	67	53	49	B
676	381	214	132	91	64	50	47	A
1003	510	261	149	99	67	53	49	

Povprečna osvetljenost prostora: 274 lx
 Kraj/datum/čas: Ljubljana/21.03./12:00
 Tip neba: CIE oblačno nebo

Skala

> 750	500 - 750	300 - 500	200 - 300	< 200	lux
-------	-----------	-----------	-----------	-------	-----

Grafikon A 5: Distribucija svetlobe pri Primeru 1 (5 oken)



Preglednica A 9: Horizontalna osvetljenost za Primer 2 (1 okno)

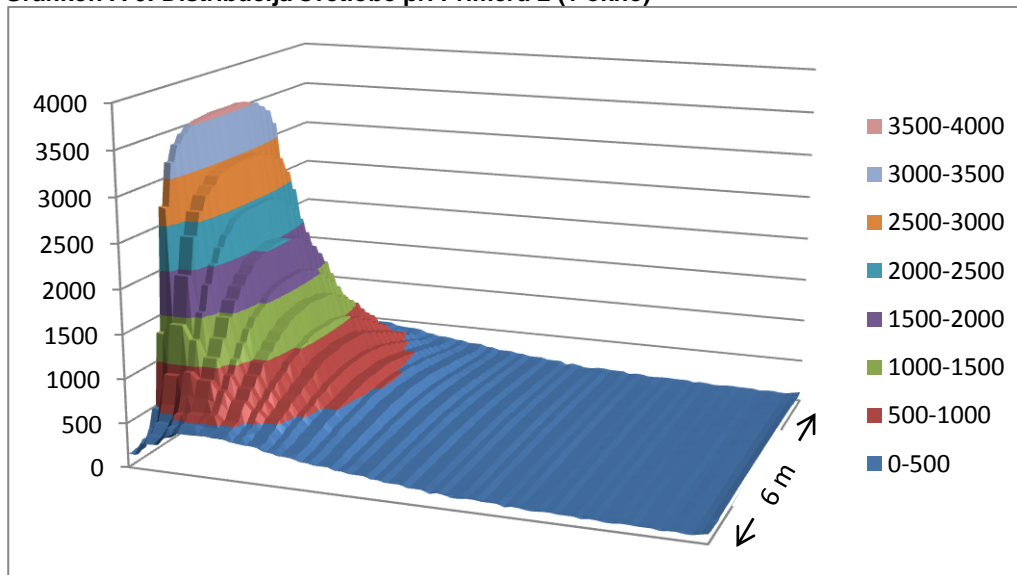
1	2	3	4	5	6	7	8	
579	532	338	217	149	107	85	77	F
2139	924	455	254	165	113	88	82	E
2672	1181	544	285	181	119	92	86	D
2672	1181	545	285	182	119	92	85	C
2147	923	455	254	166	113	88	82	B
582	532	340	217	150	107	85	77	A
1798	879	446	252	165	113	88	81	

Povprečna osvetljenost prostora: 478 lx
 Kraj/datum/čas: Ljubljana/21.03./12:00
 Tip neba: CIE oblačno nebo

Skala

> 750	500 - 750	300 - 500	200 - 300	< 200	lux
-------	-----------	-----------	-----------	-------	-----

Grafikon A 6: Distribucija svetlobe pri Primeru 2 (1 okno)

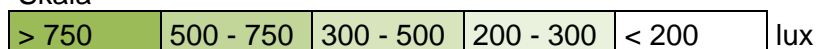


Preglednica A 10: Horizontalna osvetljenost za Primer 2 (2 okni)

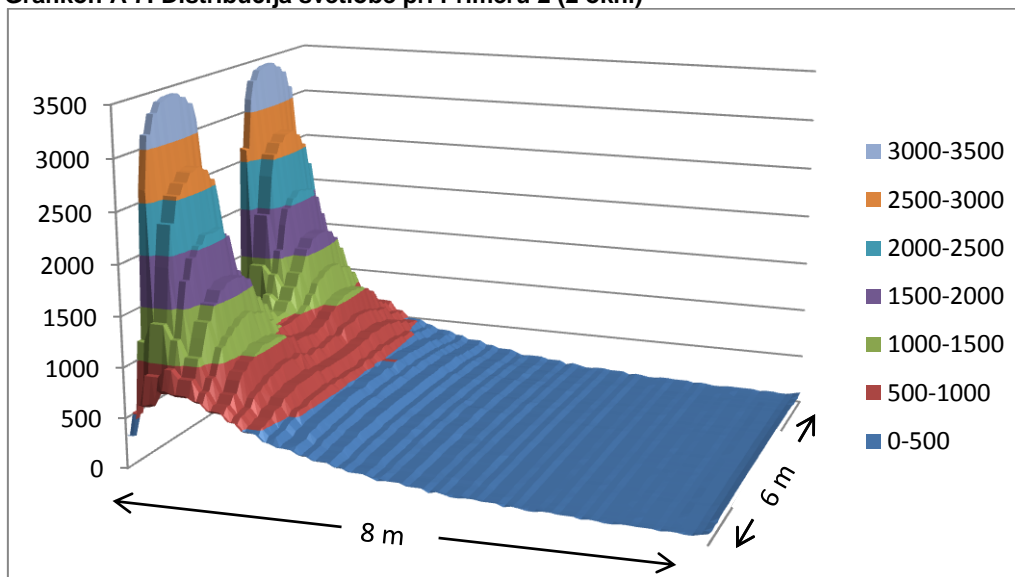
1	2	3	4	5	6	7	8	
1357	717	375	218	147	104	81	75	F
2376	937	437	241	157	108	85	79	E
1435	847	452	256	167	113	88	82	D
1435	852	451	256	168	113	88	83	C
2375	937	438	242	158	108	85	79	B
1356	713	376	219	147	104	81	74	A
1722	834	422	239	157	108	85	79	

Povprečna osvetljenost prostora: 456 lx
 Kraj/datum/čas: Ljubljana/21.03./12:00
 Tip neba: CIE oblačno nebo

Skala



Grafikon A 7: Distribucija svetlobe pri Primeru 2 (2 okni)



Preglednica A 11: Horizontalna osvetljenost za Primer 2 (3 okna)

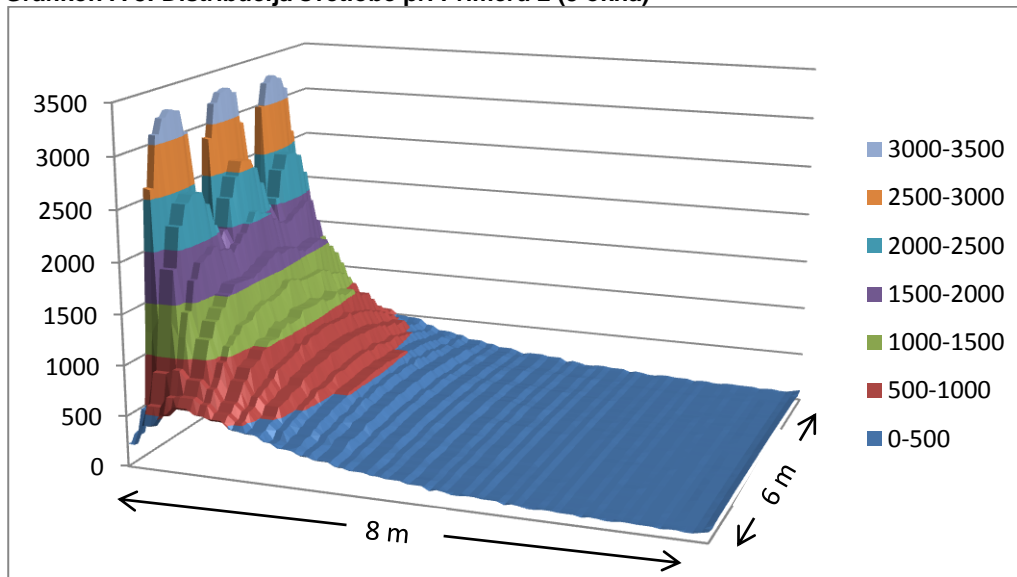
1	2	3	4	5	6	7	8	
1029	629	354	217	148	105	83	75	F
2149	904	441	247	161	110	86	80	E
2064	1011	494	270	173	116	90	83	D
2067	1010	495	269	174	115	90	83	C
2152	903	440	246	161	110	86	80	B
1034	627	355	216	148	105	82	75	A
1749	847	430	244	161	110	86	80	

Povprečna osvetljenost prostora: 463 lx
 Kraj/datum/čas: Ljubljana/21.03./12:00
 Tip neba: CIE oblačno nebo

Skala

> 750	500 - 750	300 - 500	200 - 300	< 200	lux
-------	-----------	-----------	-----------	-------	-----

Grafikon A 8: Distribucija svetlobe pri Primeru 2 (3 okna)

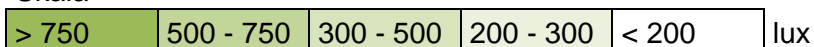


Preglednica A 12: Horizontalna osvetljenost za Primer 2 (4 okna)

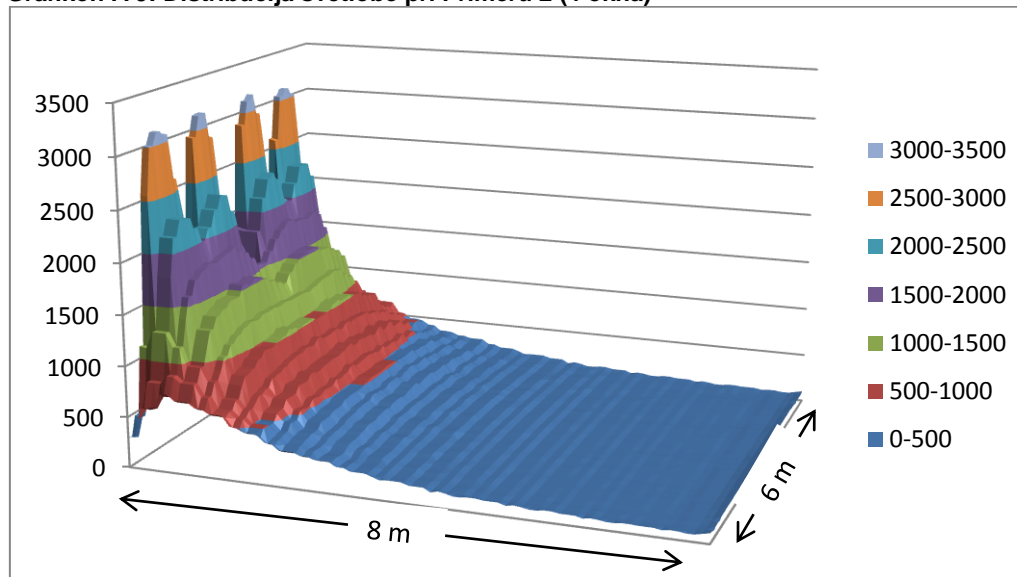
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1261	666	358	214	145	104	81	75	F
	1926	889	434	241	158	109	85	78	E
	1852	934	470	260	169	114	89	82	D
	1846	929	473	261	169	114	89	83	C
	1921	896	435	242	159	108	85	79	B
	1258	664	361	214	145	104	81	74	A
	1677	830	422	239	158	109	85	79	

Povprečna osvetljenost prostora: 450 lx
 Kraj/datum/čas: Ljubljana/21.03./12:00
 Tip neba: CIE oblačno nebo

Skala



Grafikon A 9: Distribucija svetlobe pri Primeru 2 (4 okna)



Preglednica A 13: Horizontalna osvetljenost za Primer 2 (5 oken)

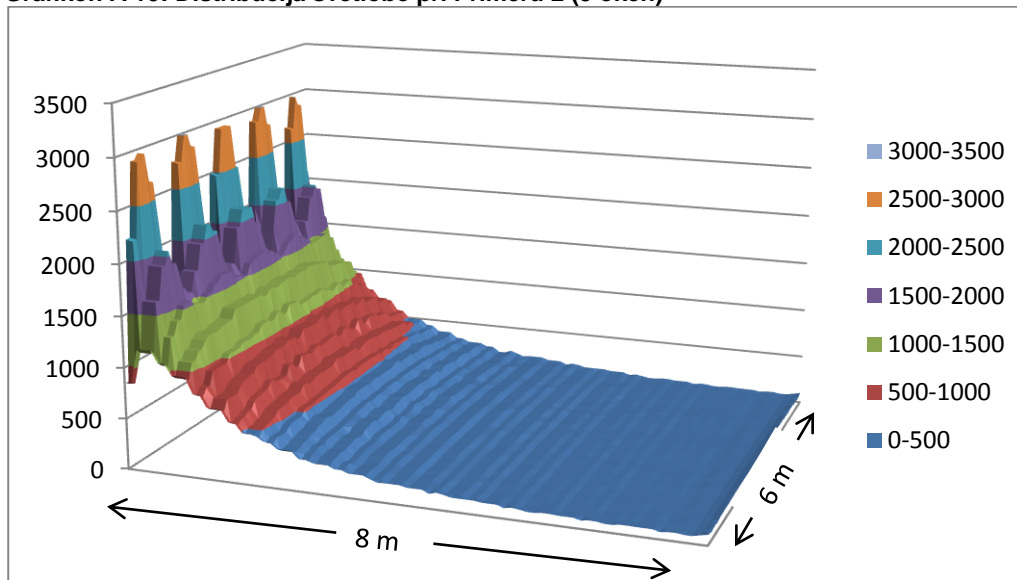
1	2	3	4	5	6	7	8	
1616	707	364	212	144	103	80	74	F
1530	838	422	236	156	107	84	77	E
1787	880	449	251	164	111	88	82	D
1789	876	449	252	165	112	87	82	C
1530	836	422	237	157	107	84	77	B
1612	709	366	213	145	103	80	74	A
1644	808	412	234	155	107	84	78	

Povprečna osvetljenost prostora: 440 lx
 Kraj/datum/čas: Ljubljana/21.03./12:00
 Tip neba: CIE oblačno nebo

Skala

> 750	500 - 750	300 - 500	200 - 300	< 200	lux
-------	-----------	-----------	-----------	-------	-----

Grafikon A 10: Distribucija svetlobe pri Primeru 2 (5 oken)



Preglednica A 14: Horizontalna osvetljenost za Primer 2 (6 oken)

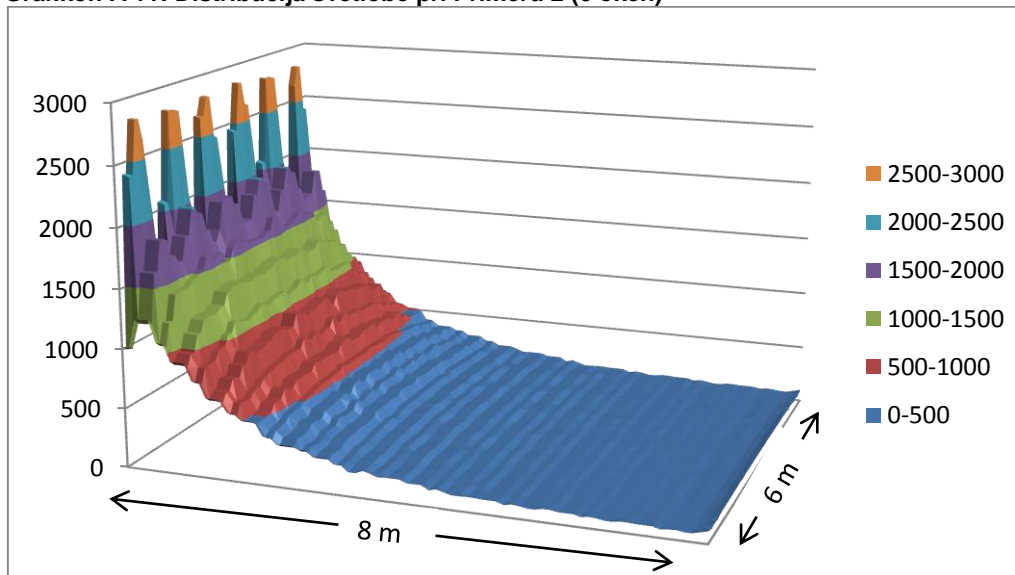
	1	2	3	4	5	6	7	8	
	1465	689	355	209	141	100	80	73	F
	1677	821	412	234	154	105	83	78	E
	1679	857	441	248	162	110	86	81	D
	1686	863	438	248	162	110	86	80	C
	1678	823	412	233	154	106	83	78	B
	1461	682	356	211	142	101	80	73	A
	1608	789	402	231	152	105	83	77	

Povprečna osvetljenost prostora: 431 lx
 Kraj/datum/čas: Ljubljana/21.03./12:00
 Tip neba: CIE oblačno nebo

Skala

> 750	500 - 750	300 - 500	200 - 300	< 200	lux
-------	-----------	-----------	-----------	-------	-----

Grafikon A 11: Distribucija svetlobe pri Primeru 2 (6 oken)



Preglednica A 15: Horizontalna osvetljenost za Primer 3 (1 okno)

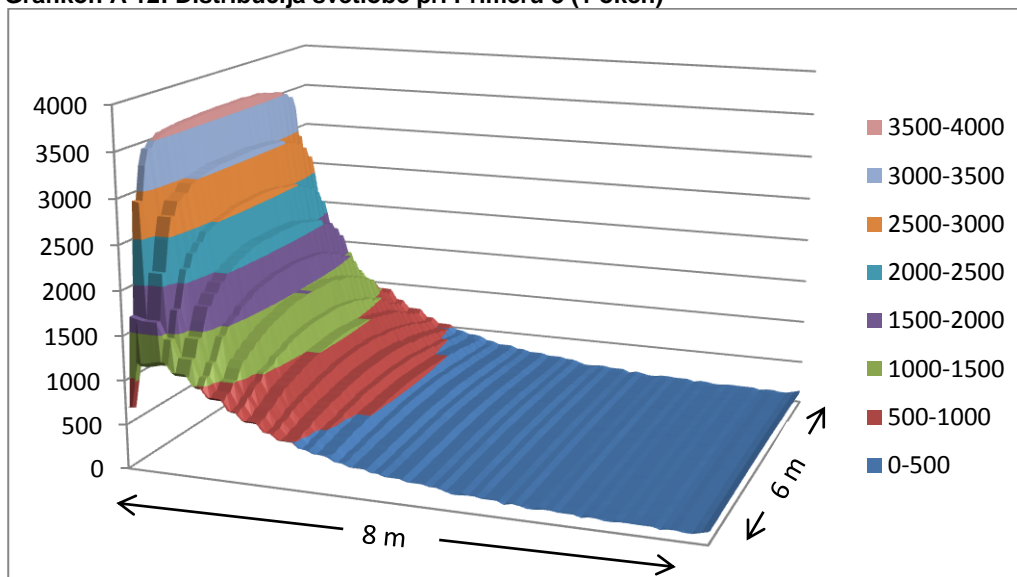
1	2	3	4	5	6	7	8	
1888	950	513	305	206	146	115	105	F
2697	1235	609	340	223	152	120	111	E
2801	1349	667	367	238	160	125	116	D
2803	1349	668	367	239	160	124	116	C
2700	1236	610	341	224	152	120	111	B
1892	954	513	306	207	146	115	106	A
2464	1179	597	338	223	153	120	111	

Povprečna osvetljenost prostora: 648 lx
 Kraj/datum/čas: Ljubljana/21.03./12:00
 Tip neba: CIE oblačno nebo

Skala

> 750	500 - 750	300 - 500	200 - 300	< 200	lux
-------	-----------	-----------	-----------	-------	-----

Grafikon A 12: Distribucija svetlobe pri Primeru 3 (1 okno)



Preglednica A 16: Horizontalna osvetljenost za Primer 3 (2 okni)

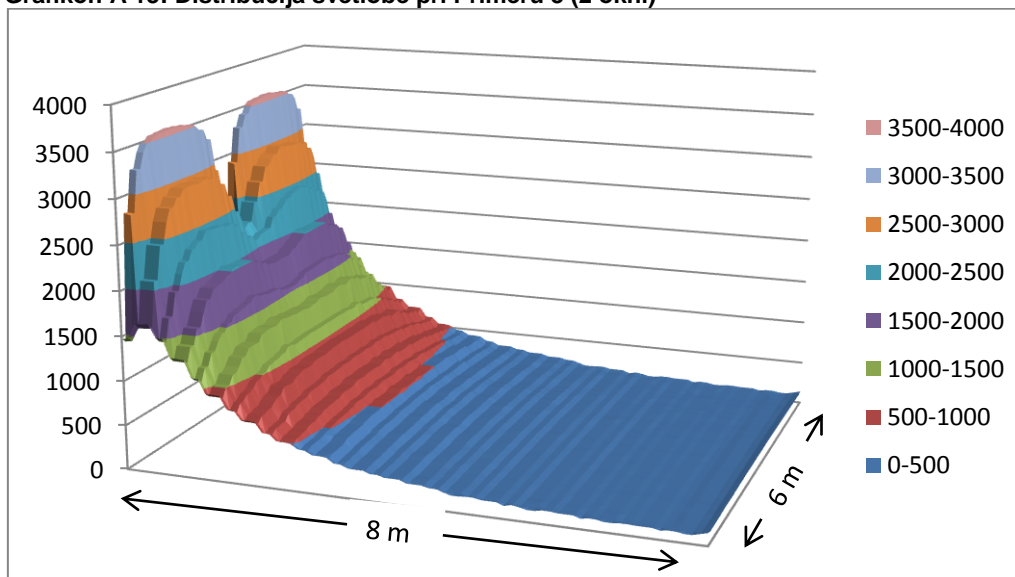
1	2	3	4	5	6	7	8	
2142	999	517	303	203	144	113	104	F
2674	1214	595	333	219	150	118	110	E
2398	1234	632	356	232	157	123	114	D
2400	1236	632	355	232	157	122	114	C
2674	1214	597	334	220	150	118	110	B
2147	997	517	304	205	144	113	104	A
2406	1149	582	331	219	150	118	109	

Povprečna osvetljenost prostora: 633 lx
 Kraj/datum/čas: Ljubljana/21.03./12:00
 Tip neba: CIE oblačno nebo

Skala

> 750	500 - 750	300 - 500	200 - 300	< 200	lux
-------	-----------	-----------	-----------	-------	-----

Grafikon A 13: Distribucija svetlobe pri Primeru 3 (2 okni)



Preglednica A 17: Horizontalna osvetljenost za Primer 3 (3 okna)

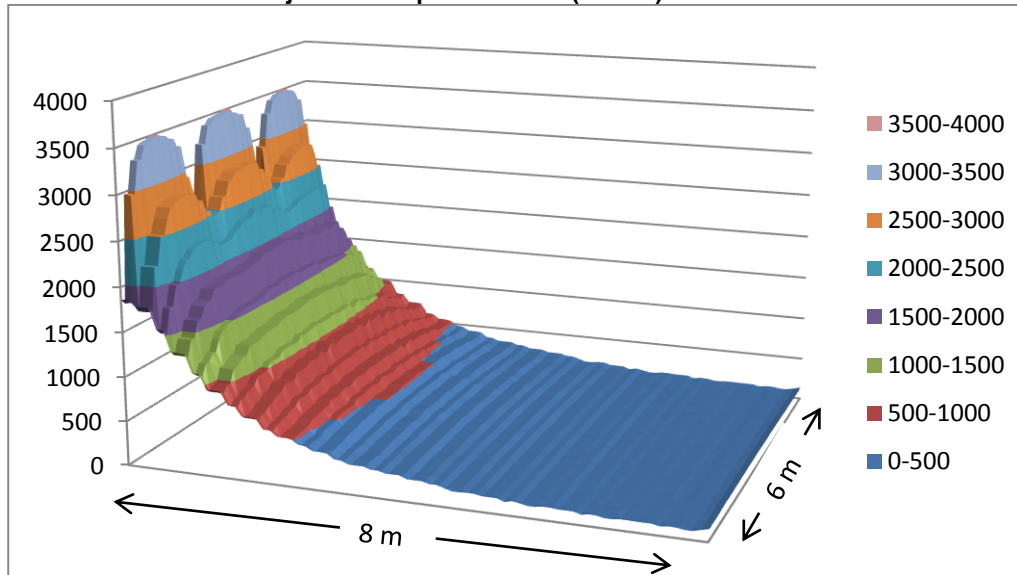
1	2	3	4	5	6	7	8	
2186	988	511	302	203	143	113	104	F
2456	1177	589	331	218	149	118	110	E
2495	1239	631	353	230	156	122	114	D
2494	1241	630	353	231	156	122	114	C
2455	1180	591	331	219	150	118	110	B
2190	992	513	303	204	143	113	104	A
2379	1136	578	329	218	150	118	109	

Povprečna osvetljenost prostora: 627 lx
 Kraj/datum/čas: Ljubljana/21.03./12:00
 Tip neba: CIE oblačno nebo

Skala

> 750	500 - 750	300 - 500	200 - 300	< 200	lux
-------	-----------	-----------	-----------	-------	-----

Grafikon A 14: Distribucija svetlobe pri Primeru 3 (3 okna)



Preglednica A 18: Horizontalna osvetljenost za Primer 3 (4 okna)

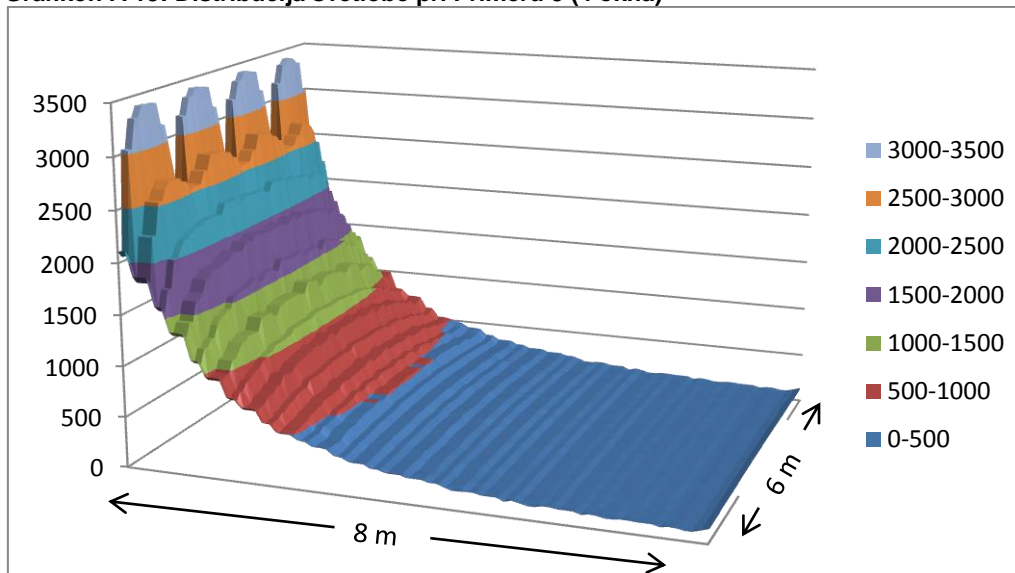
1	2	3	4	5	6	7	8	
2188	984	511	301	203	143	113	104	F
2373	1177	589	331	218	149	118	110	E
2483	1238	628	353	230	156	122	114	D
2483	1235	628	353	231	156	122	114	C
2374	1174	589	331	218	149	118	110	B
2170	982	512	301	203	143	113	104	A
2345	1132	576	328	217	149	118	109	

Povprečna osvetljenost prostora: 622 lx
 Kraj/datum/čas: Ljubljana/21.03./12:00
 Tip neba: CIE oblačno nebo

Skala

> 750	500 - 750	300 - 500	200 - 300	< 200	lux
-------	-----------	-----------	-----------	-------	-----

Grafikon A 15: Distribucija svetlobe pri Primeru 3 (4 okna)



Preglednica A 19: Horizontalna osvetljenost za Primer 3 (5 oken)

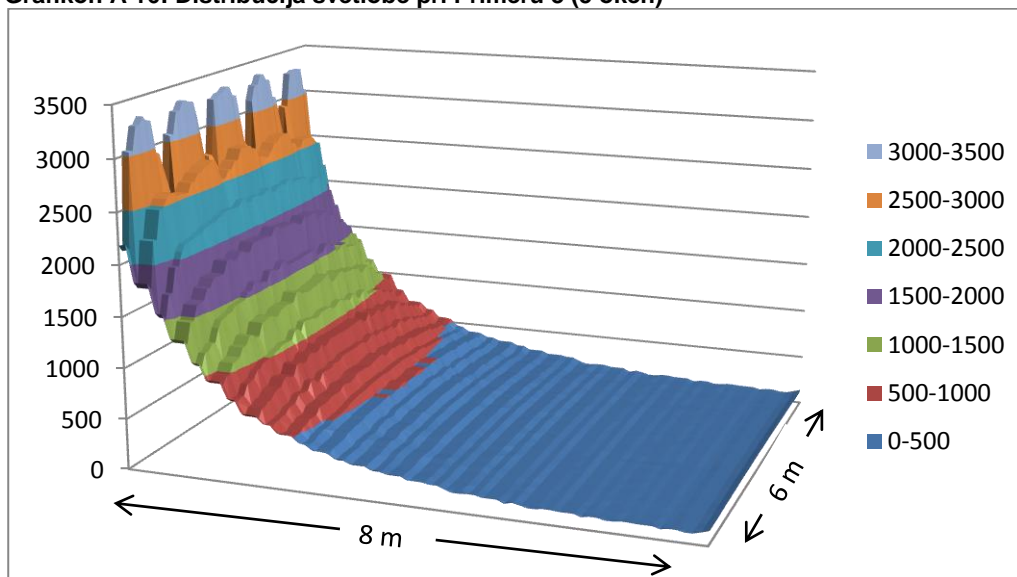
1	2	3	4	5	6	7	8	
2139	974	506	301	201	142	113	104	F
2388	1158	585	327	216	149	117	109	E
2419	1233	625	351	229	155	121	113	D
2420	1227	625	351	229	156	121	113	C
2401	1163	584	326	216	149	117	109	B
2141	977	509	300	203	142	113	104	A
2318	1122	573	326	216	149	117	109	

Povprečna osvetljenost prostora: 616 lx
 Kraj/datum/čas: Ljubljana/21.03./12:00
 Tip neba: CIE oblačno nebo

Skala

> 750	500 - 750	300 - 500	200 - 300	< 200	lux
-------	-----------	-----------	-----------	-------	-----

Grafikon A 16: Distribucija svetlobe pri Primeru 3 (5 oken)



Preglednica A 20: Horizontalna osvetljenost za Primer 3 (6 oken)

1	2	3	4	5	6	7	8	
2094	966	505	298	200	141	112	102	F
2380	1152	581	326	215	148	116	108	E
2411	1224	622	349	229	154	121	113	D
2414	1216	621	350	229	155	121	112	C
2381	1153	581	326	215	148	116	108	B
2091	972	507	298	201	141	112	103	A
2295	1114	570	325	215	148	116	108	

Povprečna osvetljenost prostora: 611 lx
 Kraj/datum/čas: Ljubljana/21.03./12:00
 Tip neba: CIE oblačno nebo

Skala

> 750	500 - 750	300 - 500	200 - 300	< 200	lux
-------	-----------	-----------	-----------	-------	-----

Grafikon A 17: Distribucija svetlobe pri Primeru 3 (6 oken)

