

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:

Mavsar, S., 2014. Izračun osvetlitve različno oblikovanih prostorov. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M., somentorica Dovjak, M.): 32 str.

Datum arhiviranja: 21-10-2014

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:

Mavsar, S., 2014. Izračun osvetlitve različno oblikovanih prostorov. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M., co-supervisor Dovjak, M.): 32 pp.

Archiving Date: 21-10-2014

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

**VISOKOŠOLSKI STROKOVNI  
ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE  
STOPNJE OPERATIVNO  
GRADBENIŠTVO**

Kandidatka:

**SANDRA MAVSAR**

**IZRAČUN OSVETLITVE RAZLIČNO OBLIKOVANIH  
PROSTOROV**

Diplomska naloga št.: 55/OG-MO

**CALCULATION OF ILLUMINANCE OF DIFFERENTLY  
SHAPED SPACES**

Graduation thesis No.: 55/OG-MO

**Mentor:**

doc. dr. Mitja Košir

**Predsednik komisije:**

**Somentorica:**

doc. dr. Mateja Dovjak

Ljubljana, 24. 06. 2014

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

**IZJAVA O AVTORSTVU DELA**

Podpisana Sandra Mavsar izjavljam, da sem avtorica diplomskega dela z naslovom »Izračun osvetlitve različno oblikovanih prostorov«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 10. 6. 2014

Sandra Mavsar

## **BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM**

<b>UDK:</b>	<b>535.3:721(497.4)(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Sandra Mavsar</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Mitja Košir</b>
<b>Somentor:</b>	<b>asist. dr. Mateja Dovjak</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Izračun osvetlitve različno oblikovanih prostorov</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Diplomska naloga – VSŠ</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>32 str., 24 pregl., 20 sl., 8 graf., 1 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>Osvetljenost z dnevno svetlobo, dnevni prostor, odbojnost notranjih površin, tip zasteklitve, orientacija prostora, nevizualni učinki, minimalna osvetljenost</b>

### **Izvleček:**

V diplomski nalogi sem, ob upoštevanju pravilnikov in standardov, s pomočjo programa VELUX Daylight Visualizer analizirala kako oblika dnevnega prostora in oblika okenskih odprtin vplivata na osvetljenost prostora z dnevno svetlobo. Preverila sem tudi kako na osvetljenost v prostoru vplivajo različni parametri, kot so odbojnosti notranjih površin, tip zasteklitve in orientacija prostora. V prostorih mora biti dosežena minimalna predpisana osvetljenost, ki sem jo tudi preverila. Količina osvetljenosti z dnevno svetlobo vpliva tudi na psihofiziološke učinke, zato sem preverila ali je dosežena vrednost za doseganje teh učinkov. Ugotovila sem, da je definirana zadostna količina osvetljenosti dosežena samo v primeru sončnega vremena in, da je najmanj ugodna oblika tlorisa prostora za doseganje zadostne količine osvetljenosti globok in ozek prostor z okensko odprtino na krajši stranici. Pomembna ugotovitev te diplomske naloge je, da je vrednost osvetljenosti prostorov premajhna.

---

**BIBLIOGRAPHIC–DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDK:** 535.3:721(497.4)(043.2)  
**Author:** Sandra Mavsar  
**Supervisor:** Assist. Prof. Mitja Košir, Ph.D.  
**Cosupervisor:** Assist. Mateja Dovjak, Ph.D  
**Title:** Calculation of illuminance of differently shaped spaces  
**Document type:** Graduation Thesis – Higher professional studies  
**Scope and tools:** 32 p., 24 tab., 20 fig., 8 graph., 1 ann.  
**Keywords:** Daylight illuminance, living room, reflectance of interior surfaces, glazing type, space orientation, non-visual effects, minimal illuminance

**Abstract:**

In this graduation thesis I analyzed, by using VELUX Daylight Visualizer software, how shape of space and shape of window influence on daylight illuminance, by considering minimal requirements of rule books and standards discussing daylight illuminance. I checked what affects have different parameters on illuminance of space. The concerned parameters are reflectivity of interior surfaces, glazing type and space orientation. Spaces have to assure minimal prescribed illuminance which I checked in thesis. Because amount of illuminance impact on psychophysiological effects, I checked if this spaces assure enough illuminance for induce this effects. I came to conclusion that there is not enough daylight illuminance in space except in case of sunny sky and that least suitable space is long and narrow space with window on shorter side. Important conclusion of this thesis is that daylight illuminance of spaces is too small.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju dr. Mitji Koširju in somentorici asist. dr. Mateji Dovjak za čas, pomoč in usmerjanje pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi moji družini, ki mi je omogočila študij in mi ves čas stala ob strani in me podpirala.

**KAZALO VSEBINE**

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1	Hipoteza.....	1
1.2	Okvir izvedene analize .....	2
1.3	Razlaga osnovnih pojmov .....	2
1.4	Pregled literature.....	2
1.5	Zakonodajni okvir .....	4
1.6	Opis programske opreme.....	5
<b>2</b>	<b>METODA .....</b>	<b>6</b>
<b>3</b>	<b>REZULTATI.....</b>	<b>10</b>
3.1	Izhodiščne simulacije.....	10
3.2	Vpliv odbojnosti notranjih površin.....	13
3.3	Vpliv tipa zasteklitve .....	14
3.4	Vpliv orientacije prostora .....	16
3.5	Doseganje minimalne osvetljenosti prostora.....	18
<b>4</b>	<b>OCENA NEVIZUALNIH UČINKOV .....</b>	<b>23</b>
4.1	Nevizualni učinki .....	23
4.2	Groba ocena nevizualnih bioloških učinkov.....	24
<b>5</b>	<b>PRIMERJAVA REZULTATOV .....</b>	<b>27</b>
5.1	Primerjava rezultatov zaradi različnih oblik tlorisa prostora .....	27
5.2	Primerjava rezultatov zaradi različne odbojnosti površin .....	28
5.3	Primerjava rezultatov zaradi različnega tipa zasteklitve .....	28
5.4	Primerjava rezultatov zaradi različne orientacije prostora .....	28
5.5	Nevizualni učinki .....	29
<b>6</b>	<b>UGOTOVITVE IN ZAKLJUČKI .....</b>	<b>30</b>



## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Oblike in dimenzije prostorov .....	6
Preglednica 2: Oblike in dimenzije okenskih odprtín .....	7
Preglednica 3: Izhodiščna preglednica z rezultati .....	11
Preglednica 4: Povprečne vrednosti osvetljenosti prostorov (Eav) v luksih .....	12
Preglednica 5: Najmanj in najbolj ugodna oblika okenske odprtine za vsako obliko dnevnega prostora. .....	12
Preglednica 6: Relativne razlike zaradi najslabše odbojnosti površin.....	14
Preglednica 7: Relativne razlike zaradi najboljše odbojnosti površin.....	14
Preglednica 8: Relativne razlike zaradi enojni zasteklitve .....	16
Preglednica 9: Relativne razlike zaradi trojne zasteklitve.....	16
Preglednica 10: Relativne razlike zaradi orientacije prostora .....	17
Preglednica 11: Najnižja in najvišja vrednost povprečne osvetljenosti .....	18
Preglednica 12: Izbrani primeri za oceno nevizualnih učinkov .....	24
Preglednica 13: Izračun vertikalnih vrednosti osvetljenosti, primer 1 .....	24
Preglednica 14: Izračun vertikalnih vrednosti osvetljenosti, primer 2 .....	25
Preglednica 15: Izračun vertikalnih vrednosti osvetljenosti, primer 3 .....	25
Preglednica 16: Izračun vertikalnih vrednosti osvetljenosti, primer 5 .....	26
Preglednica 17: Izračun vertikalnih vrednosti osvetljenosti, primer 5 .....	26
Preglednica 18: Povprečne vrednosti osvetljenosti .....	27
Preglednica 19: Izbrani rezultati .....	27

**KAZALO GRAFIKONOV**

Grafikon 1: Povprečne vrednosti osvetljenosti za vsako obliko dnevnega prostora za najbolj in najmanj ugodno obliko okenske odprtine za najmanjšo odbojnost površin. ....	13
Grafikon 2: Povprečne vrednosti osvetljenosti za vsako obliko dnevnega prostora za najbolj in najmanj ugodno obliko okenske odprtine za največjo odbojnost površin. ....	13
Grafikon 3: Povprečne vrednosti osvetljenosti za vsako obliko dnevnega prostora z najbolj in najmanj ugodno obliko okenske odprtine za enojno zasteklitev.....	15
Grafikon 4: Povprečne vrednosti osvetljenosti za vsako obliko dnevnega prostora z najbolj in najmanj ugodno obliko okenske odprtine za dvojno zasteklitev. ....	15
Grafikon 5: Povprečne vrednosti osvetljenosti za vsako obliko dnevnega prostora z najmanj in najbolj ugodno obliko okenske odprtine za trojno zasteklitev.....	15
Grafikon 6: Povprečne vrednosti osvetljenosti za vsako obliko dnevnega prostora z najbolj in najmanj ugodno obliko okenske odprtine za prostore orientirane na jug .....	17
Grafikon 7: Povprečne vrednosti osvetljenosti za vsako obliko dnevnega prostora z najbolj in najmanj ugodno obliko okenske odprtine za prostore orientirane na vzhod.....	17
Grafikon 8: Relativna odstopanja v vrednostih osvetljenosti v odvisnosti od oblike prostora 3,6 m x 5,5 m .....	28

## KAZALO SLIK

Slika 1: Počutje stanovalcev študentskega doma glede na orientacijo njihove sobe. (Vir slike: [12]) ...	3
Slika 2: Glavni parametri izračunani na osmih različnih točkah v prostoru. (Vir slike: [13]) .....	3
Slika 3: Primer prikaza osvetljenosti ob CIE oblačnem vremenu. (Vir slike:[2]).....	4
Slika 4: Poročilo simulacije za prostor 3,6 m x 5,5 m z okensko odprtino 1,45 m x 2,75 m.....	11
Slika 5: Osvetljenost prostora, primer 1 .....	19
Slika 6: Rezultati simulacij, primer 1 .....	19
Slika 7: Osvetljenost prostora, primer 2.....	20
Slika 8: Rezultati simulacij, primer 2.....	20
Slika 9: Osvetljenost prostora, primer 3.....	20
Slika 10: Rezultati simulacij, primer 3.....	21
Slika 11: Osvetljenost prostora, primer 4.....	21
Slika 12: Rezultati simulacij, primer 4.....	21
Slika 13: Osvetljenost prostora, primer 5.....	22
Slika 14: Rezultati simulacij, primer 5.....	22
Slika 15: Vidni spekter svetlobe (Vir slike: [21]) .....	23
Slika 16: Pozicije izbranih točk, primer 1 .....	24
Slika 17: Pozicije izbranih točk, primer 2 .....	25
Slika 18: Pozicije izbranih točk, primer 2 .....	25
Slika 19: Pozicije izbranih točk, primer 3 .....	25
Slika 20: Pozicije izbranih točk, primer 4 .....	26

»Ta stran je namenoma prazna«

## 1 UVOD

Svetloba je bistvenega pomena za življenje.[1] Svetloba v dnevni prostorih je zelo pomemben dejavnik saj je od nje odvisno počutje in zdravje človeka, energijska učinkovitost objekta in naravno osvetljevanje prostorov.[2, 3] Dnevna svetloba je bila že v preteklosti odločilen faktor pri projektiranju stavb. Spreminja se glede na uro, letni čas in vreme. To vpliva na različno jakost in kvaliteto svetlobe v prostoru. Pri večini stavb je glavni vir vstopa naravne svetlobe v prostor okno. Primarni namen okna je dostop naravne svetlobe v prostor, omogočanje kontakta z zunanostjo ter tudi zajem sončne energije.[4]

V diplomski nalogi se bom ukvarjala z analizo količine in razporeditve osvetljenosti z dnevno svetlobo v različno oblikovanih tipičnih bivalnih prostorih. Za analizo sem si izbrala dnevni prostor v stanovanju. Ker je količina in razporeditev dnevne svetlobe odvisna od oblike in velikosti prostora, oblike, velikosti in orientacije okenskih odprtih, tipa zasteklitve in odbojnosti površin, bom navedene parametre vključila kot vplivne dejavnike pri opravljeni analizi. Za vsako različno oblikovan dnevni prostor želim najti najbolj in najmanj optimalno obliko okenske odprtine in preveriti kako na količino svetlobe v prostoru vpliva obdelava površin, orientacija prostora in vrsta zasteklitve.

Poleg vizualnega zaznavanja dnevna svetloba vpliva tudi na psihofiziološko delovanje človeškega organizma. Naravna svetloba vpliva na cikel budnosti in spanja, telesno temperaturo, izločanje hormonov, kognitivne funkcije in imunski odziv, razpoloženje, vedenje, deluje kot učinkovito terapevtsko sredstvo in omogoča tvorbo vitamina D. [5] Raziskave so pokazale, da ljudje v povprečju 80 do 90 odstotkov časa preživimo v zaprtem okolju. [6] Premajhna izpostavljenost naravni svetlobi pa ima dokazano negativen vpliv na zdravje in razvoj človeka. [1]

### 1.1 Hipoteza

Na podlagi Pravilnika o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj [7], standarda SIST EN 12464-1:2011: svetloba in razsvetljevanje [8] in Študije dnevne osvetljenosti pisarniškega prostora glede na vizualne in biološke vplive [2] predpostavljam naslednje hipoteze:

- 1. Neposredna osvetlitev je dosežena, če skupna površina obdelanih zidarskih odprtih, namenjena osvetlitvi, dosega najmanj 20 odstotkov površine teh delov stanovanja.[7] Pri tem pa prostori namenjeni bivanju in spanju niso ožji od 1,9 metra in v primeru osvetlitve le s krajše strani, ne ožji od polovice dolžine. [7]*
- 2. Če so izpolnjeni zgoraj navedeni pogoji je prostor dovolj osvetljen z naravno svetlobo pri tem pa je dosežena minimalna zahteva povprečne osvetlitve v dnevnem prostoru, ki je 300lx. Ta hipoteza je smiselno povzeta po standardu SIST EN 12464-1:2011; predvidevam, da se v dnevnem prostoru opravlja vizualno nezahtevno delo. [8]*
- 3. Predvidevam, da če je izpolnjen pogoj iz prve hipoteze, bo izpolnjen pogoj pomemben za sprožanje nevizualnih učinkov dnevne svetlobe na organizem. Pogoj je izpolnjen, če je dosežena vrednost 1000lx ob očesu.[2]*

## 1.2 Okvir izvedene analize

Na podlagi Pravilnika o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj [7] sem najprej določila površino in oblike dnevnega prostora. Pravilnik predpisuje, da dnevni prostor ne sme biti manjši od  $20\text{m}^2$ . [9] Najprej sem izbrala oblike dnevnih prostorov in oblike okenskih odprtin. Površina ene okenske odprtine je približno  $4\text{m}^2$ , kar je 20 odstotkov neto tlorisne površine dnevnega prostora. [7] Obliko okenskih odprtin sem izbrala glede na razmerja med stranicami.

Pripravila sem izhodiščne konfiguracije prostorov in odprtin ter za vse možne variante simulirana osvetljenost. Za vse obravnavane kombinacije dnevnih prostorov in okenskih odprtin sem določila povprečno osvetljenost ( $E_{av}$ ), najmanjšo osvetljenost ( $E_{min}$ ), največjo osvetljenost ( $E_{max}$ ) ter razmerje med povprečno in najmanjšo osvetljenostjo ( $E_{av}/E_{min}$ ). Na podlagi pridobljenih rezultatov sem izbrala določene primere za katere sem v nadaljnjih simulacijah spreminjala dodatne parametre. Ti parametri so orientacija prostora, odbojnost notranjih površin in optične lastnosti zasteklitev.

Za izvedbo simulacij sem uporabila program VELUX Daylight Visualizer. Z njim sem izvedla 25 izhodiščnih simulacij in 70 nadaljnjih simulacij za analizo vpliva dodatnih parametrov.

Preverila sem tudi ali obravnavani prostori dosegajo priporočeni nivo vertikalne osvetljenosti ( $\geq 1000\text{lx}$ ) z vidika vpliva dnevne svetlobe na psihofiziološke zahteve človeka. [2]

## 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. [5]

**Lux (lx)** = enota za merjenje osvetljenosti

**Odbojnost površine** = zmožnost odboja svetlobe. Merilo odbojnosti površine je delež določene vpadne svetlobe, ki jo površina odbija. Meri se v odstotkih, pri čemer je vrednost za zrcalo 100% in nič za primer brez kakršnegakoli odboja. [10]

**Prepustnost svetlobe LT** = odstotek vidnega sončnega sevanja, ki prodre skozi določeno zasteklitev. [11]

**Horizontalna osvetljenost** = pove kolikšna količina svetlobe pade na horizontalno površino.

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

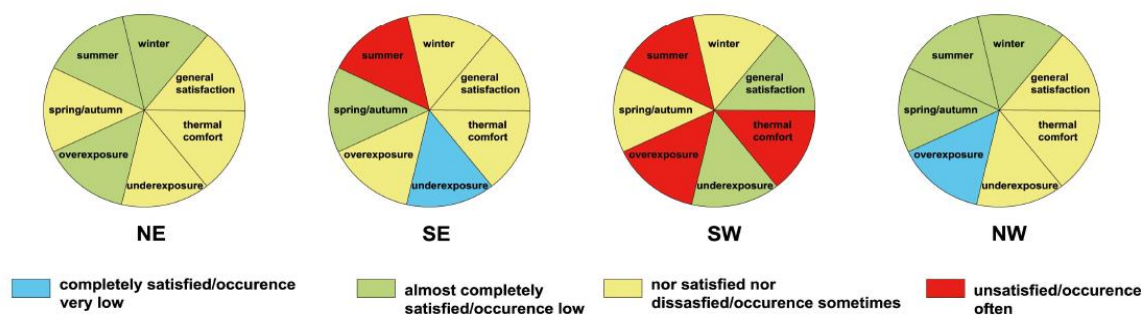
## 1.4 Pregled literature

Na področju osvetljenosti prostorov z naravno svetlobo je že bilo narejenih nekaj raziskav.

V članku Pomembnosti orientacije zgradbe pri določitvi količine dnevne svetlobe so avtorji A. Jovanovic, P. Pejic, S. Djoric-Veljkovic, J. Karamarkovi in M. Djeli [12] predstavili študijo, ki prikazuje razliko med počutjem stanovalcev v študentskem domu v Srbiji zaradi količine dnevne svetlobe in standardi, ki določajo količino dnevne svetlobe in sončne energije za ugodno bivanje v študentskem domu. Rezultati študije prikazujejo kako različna orientacija sob v študentskem domu vpliva na počutje stanovalcev-študentov.

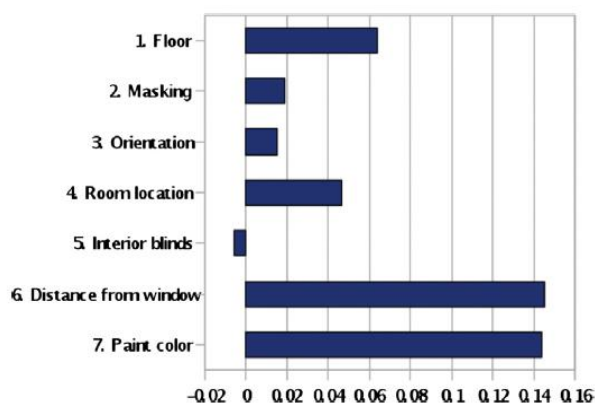
Izvedena študija je pokazala, da študentje, ki imajo sobe orientirane na jugozahodno stran so večinoma zadovoljni s količino dnevne svetlobe. Študentje, ki imajo sobe orientirane na jugovzhodno stran so večinoma zadovoljni s količino dnevne svetlobe razen v poletnem obdobju, ko je količina dnevne svetlobe prevelika. Študentje s sobami orientiranimi na jugozahod so povsem zadovoljni s količino svetlobe skoraj večino leta. Prav tako so zadovoljni študentje s sobami orientiranimi na severozahod, razen v popoldanskih urah v poletnih mesecih, ko morajo uporabiti žaluzije. [12]

Zaključek študije [12] (Slika 1) je, da so študentje v sobah z južno orientacijo zadovoljni s količino dnevne svetlobe skoraj celo leto, razen v poletnih mesecih, ker je sončna svetloba premočna in tudi oddaja veliko toplotne energije. Severno orientirane sobe predstavljajo največji problem v jesenskih mesecih, ker imajo le-te premajhno količino dnevne svetlobe, kar je neugodno za delo in bivanje. Prav tako so prostori hladnejši, saj v jesenskih mesecih še ne ogrevajo študentskega doma. [12]



Slika 1: Počutje stanovalcev študentskega doma glede na orientacijo njihove sobe. (Vir slike: [12])

V članku Modeliranje ne-vizualnih učinkov dnevne svetlobe v stanovanjskem okolju[13] so avtorji Andersen, M., Gochenour S.J. in Lockley S.W prikazali kako različni parametri vplivajo na osvetljenost v prostoru. V študiji je izvedena analiza s sedmimi različnimi parametri. Ti so: tla, zakrivanje, orientacija, lokacija prostora, notranje žaluzije, oddaljenost od okna in barva zidu. V študiji [13] je bilo ugotovljeno, da na količino svetlobe v prostoru najbolj vplivata oddaljenost od okna in barva zidu. (Slika 2) Oddaljenost od okna je najbolj pomemben faktor, ki vpliva na količino svetlobe. Ko je uporabnik obrnjen stran od okna, pa je najpomembnejši faktor barva zidu oz. odbojnost površine. Ta je zelo pomembna za zagotovitev minimalne dovoljene osvetljenosti ob največji izpostavljenosti dnevni svetlobi.

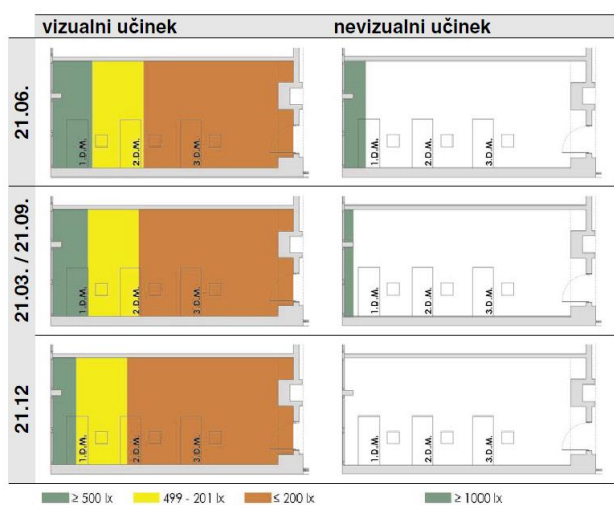


Slika 2: Glavni parametri izračunani na osmih različnih točkah v prostoru. (Vir slike: [13])

V članku Študija dnevne osvetljenosti pisarniškega prostora glede na vizualne in biološke vplive [2] so avtorji Kristl Ž., Košir M., Dovjak M. in Krainer, A [2] analizirali vpliv vizualnih in nevizualnih učinkov v pisarniškem prostoru.

V študiji so se osredotočili na osvetljenost v horizontalni in vertikalni ravnini ter razmerje med njima. Meritve so izvajali štiri različne dni v letu ob oblačnem in jasnem vremenu.

Preverjali so osvetljenost na treh delovnih mestih v severno orientirani pisarni in ugotovili, da ni nikjer dosežena ali presežena vrednost 1000lx (Slika 3), ki je minimalna ugotovljena vrednost za sprožanje nevizualnih učinkov. Prav tako so ugotovili, da samo okenske odprtine ne zagotavlja, da bo prostor zadovoljivo osvetljen z gledišča sprožanja nevizualnih učinkov dnevne svetlobe. [2]



Slika 3: Primer prikaza osvetljenosti ob CIE oblačnem vremenu. (Vir slike:[2])

### 1.5 Zakonodajni okvir

Pri izdelavi diplomske naloge sem se oprla na Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj in sicer na 12. člen, ki določa najmanjšo svetlo višino stanovanjskih prostorov, ki je za dnevni prostor 2,5 m.

13. člen tega Pravilnika določa širino prostorov. Ta ne sme biti ožja od 1.9 m in v primeru osvetlitve le s krajše strani ne ožja od polovice svoje dolžine.

14. člen govori o osvetljenosti stanovanja. Ta člen določa, da mora biti površina obdelanih zidarskih odprtin namenjena osvetlitvi, velikosti minimalno 20 odstotkov neto tlorisne površine dela stanovanja, ki ga obravnavamo.

Pri določitvi odbojnosti notranjih površine sem upoštevala priporočila standarda SIST EN 12464-1:2011: Svetloba in razsvetljava, 4. člen: odbojnost površine. Za strop je predpisana odbojnost od 0,7 do 0,9, za stene od 0,5 do 0,8 in za tla od 0,2 do 0,4.

Za prepustnost svetlobe za enojno, dvojno in trojno zasteklitev sem upoštevala podatke iz kataloga podjetja Reflex in sicer 80 odstotkov propustnosti za enojno zasteklitev, 70 odstotkov za dvojno zasteklitev in 50 odstotkov za trojno zasteklitev. [14]



## 1.6 Opis programske opreme

Za izvedbo analize sem uporabila enostaven program za izračun načrtovanje osvetljenosti prostorov z dnevno svetlobo-VELUX Daylight Visualizer. Program je prosto dostopen za vse uporabnike na spletni strani podjetja Velux ([http://www.velux.si/za\\_stroko/tehnichni\\_info\\_in\\_oro\\_dja/daylight\\_visualizer/prenos](http://www.velux.si/za_stroko/tehnichni_info_in_oro_dja/daylight_visualizer/prenos)). Program omogoča modeliranje 3D prostora v katerega lahko vstavimo poljubno vertikalno ali strešno okno. VELUX Daylight Visualizer je razvilo podjetje LUXION.[15]

V programu lahko določimo geometrijo objekta, pozicioniramo odprtine, določimo lastnosti površin (tla, strop, stene), vstavimo pohištvo, določimo orientacijo in lego prostora in izberemo pogled, ki bo uporabljen pri izračunu rezultatov. [16]

Vhodni podatki, ki sem jih uporabila za analizo so: geometrija dnevnega prostora, lokacija (Ljubljana) in orientacija objekta, geometrija in pozicioniranje okna, odbojnost površin, propustnost zasteklitve (enojna, dvojna in trojna zasteklitev), tip neba (CIE oblačno nebo), datum (21.3.) , ura (12.00) in tip izhodnih podatkov (osvetljenost, merjena v lux-ih). Rezultati simulacij so podani grafično. Program lahko oblikuje tudi poročilo simulacij v katerem so podane povprečne, najmanjše in največje vrednosti ter razmerja med njimi.

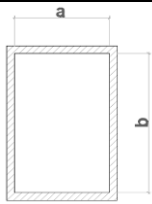
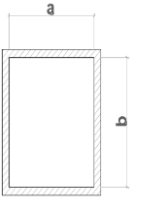
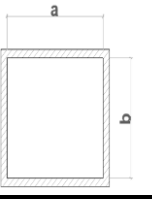
## 2 METODA

V nadaljevanju sem izvedla analize s pomočjo katerih sem preverila zastavljeni hipotezi zapisani v poglavju 1.Uvod. Metoda, ki sem jo uporabila za izračun osvetlitve različno oblikovanih prostorov je sestavljena iz osmih korakov:

- 1.KORAK:** Določitev dimenzij in oblik dnevnega prostora
- 2.KORAK:** Določitev dimenzij in oblik okenskih odprtin
- 3.KORAK:** Izračun vpliva oblike okenskih odprtin na osvetljenost v prostoru
- 4.KORAK:** Izbor prostorov za nadaljnjo analizo
- 5.KORAK:** Izvedba analize vpliva dodatnih parametrov
- 6.KORAK:** Kontrola doseganja minimalne dovoljene osvetljenosti
- 7.KORAK:** Ocena nevizualnih učinkov
- 8.KORAK:** Primerjava rezultatov

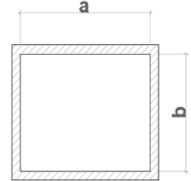
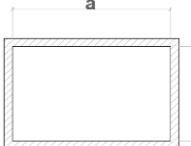
Na začetku sem najprej določila dimenzije dnevnega prostora. Oprla sem se na zahtevo, ki govori, da mora imeti dnevni prostor minimalno  $20\text{m}^2$  tlorisne površine.[5] Odločila sem se, da bom izvajala simulacije na petih različnih oblikah tlorisa dnevnega prostora. Za izhodiščno obliko prostora sem izbrala tloris kvadratne oblike (4,5 m x 4,5 m). Nato sem določila dva tlorisa pravokotnih oblik pri čemer je prvi prostor dolg in ozek (3,6 m x 5,5 m), drugi pa širok in kratek (5,5 m x 3,6 m). Dimenzijo krajše stranice, ki znaša 3,6 m sem določila glede na najmanjšo še dovoljeno širino prostora. [5] Za preostali dve obliki prostora sem izbrala dimenzije 4,0 m x 5,0 m in 5,0 m x 4,0 m. Tako sem dobila tlorisno površino vsakega prostora približno  $20\text{m}^2$ . (Preglednica 1) Ker višina dnevnega prostora ne sme biti manjša kot 2,5 m [3], sem za vse prostore izbrala višino 2,75 m.

Preglednica 1: Oblike in dimenzije prostorov

Oblika dnevnega prostora	Stranica a	Stranica b	Površina a x b
	3,6 m	5,5 m	$20\text{ m}^2$
	4,0 m	5,0 m	$20\text{ m}^2$
	4,5 m	4,5 m	$20\text{ m}^2$



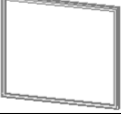


Preglednica se nadaljuje...

Nadaljevanje preglednice 1

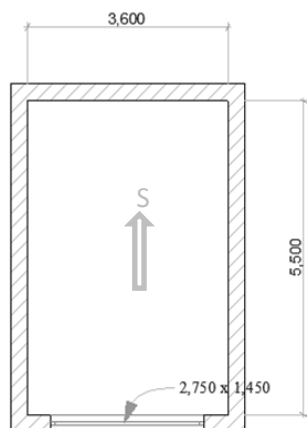
	5,0 m	4,0 m	20 m <sup>2</sup>
	5,5 m	3,6 m	20 m <sup>2</sup>

Podobno sem določila tudi pet različnih oblik okenskih odprtin. Za izhodišče sem ponovno izbrala okensko odprtino kvadratne oblike. Na to sem določila okna pravokotnih oblik, pri čemer je eno horizontalno in drugo vertikalno orientirano. Ostali dve obliki oken sta med temi dimenzijami in imata razmerje stranic  $1 : \sqrt{2}$  oz.  $\sqrt{2} : 1$ . Tako sem dobila dimenzije oken 2,75 m x 1,45 m, 2,4 m x 1,7 m, 2,0 m x 2,0 m, 1,7 m x 2,4 m in 1,45 m x 2,75 m. Vsa okna imajo tlorisno površino 4 m<sup>2</sup>, kar je 20 odstotkov neto tlorisne površine dnevnega prostora. [7] Višine parapetov sem izbrala tako da je okenska odprtina pozicionirana na sredini stranice. (Preglednica 2)

Preglednica 2: Oblike in dimenzije okenskih odprtin

Oblika odprtine	Višina okenske odprtine (h)	Širina okenske odprtine (š)	Površina h x š	Višina parapeta
	2,75 m	1,45 m	4 m <sup>2</sup>	0
	2,4 m	1,7 m	4 m <sup>2</sup>	0,18 m
	2 m	2 m	4 m <sup>2</sup>	0,375 m
	1,7 m	2,4 m	4 m <sup>2</sup>	0,53 m
	1,45 m	2,75 m	4 m <sup>2</sup>	0,65 m

Na sliki 3 je prikazan primer tlorisa prostora z vstavljenjo okensko odprtino. (Slika 3)



Slika 3: Primer tlorisa prostora 3,6 m x 5,5 m z okensko odprtino 2,75 m x 1,45 m

Za vsako obliko dnevnega prostora sem preverila kako vpliva vsaka oblika okenske odprtine na osvetljenost. Tako sem dobila 25 različnih simulacij. Iskala sem podatke o povprečni ( $E_{av}$ ), najmanjši ( $E_{min}$ ) in največji osvetljenosti ( $E_{max}$ ) ter razmerje med povprečno in najmanjšo osvetljenostjo ( $E_{av}/E_{min}$ ).

Za odbojnost površin tal, stropa in stene sem izbrala srednjo med najmanjšo in največjo dovoljeno priporočeno vrednostjo v standardu SIST EN 12464-1:2011. Predpisane vrednosti sem omenila v poglavju 1.5 Zakonodajni okvir. Tako sem si izbrala 80 odstotno odbojnost stropa, 65 odstotno odbojnost stene in 30 odstotno odbojnost tal. Upoštevala sem dvojno zasteklitev okna, ki ima 70 odstotno prepustnost svetlobe. [14] Pri izbiri tipa zasteklitve upoštevam predpostavko, da so okna čista.

Za izračun izhodiščnih rezultatov sem upoštevala CIE oblačno nebo, datum 21.3. in uro 12.00.

Na podlagi pridobljenih rezultatov bom v nadaljevanju, za vsako obliko dnevnega prostora, izbrala najbolj ugodno in najmanj ugodno obliko okenske odprtine. Za najbolj ugodno sem izbrala tisto obliko okenske odprtine pri kateri je vrednost povprečne osvetljenosti v prostoru največja. Za najmanj ugodno obliko sem izbrala tisto obliko okenske odprtine pri kateri je vrednost povprečne osvetljenosti najmanjša. Tako sem dobila za vsako obliko dnevnega prostora dve obliki okenskih odprtin, kar pomeni, da bom nadaljnje simulacije, pri katerih bom spreminjala dodatne parametre izvajala na desetih različnih primerih prostorov.

Parametri, ki sem jih izbrala za nadaljnjo analizo so:

- odbojnost notranje površine (najmanjša in največja priporočena),
- tip zasteklitve (enojna, dvojna in trojna) in
- orientacija (jug in vzhod).

Pri vsakem izmed desetih izhodiščnih primerov prostorov sem spreminjala zgoraj navedene parametre ter tako pridobila rezultate za še dodatnih 70 simulacij.

Najprej sem se lotila simulacij, kjer sem spreminjala odbojnost površin. Za vsako obliko dnevnega prostora in vsako obliko okenske odprtine sem izvedla simulacije z najmanjšo priporočeno odbojnostjo površin. Vsi ostali parametri so ostali enaki kot pri izhodiščnih simulacijah. Za najmanjšo

odbojnost sem v programu VELUX Daylight Visualizer izbrala vrednosti - za strop 0,7 (70 odstotna odbojnost), za stene 0,5 (50 odstotna odbojnost) in za tla 0,2 (20 odstotna odbojnost). To sem ponovila še za največjo dovoljeno odbojnost površin. Za največjo odbojnost stropa sem izbrala vrednost 0,9 (90 odstotna odbojnost), za stene 0,8 (80 odstotna odbojnost) in 0,4 (40 odstotna odbojnost) za tla.

Nato sem izvedla simulacije, kjer sem spreminjala optične lastnosti zasteklitev oken. Izvedla sem simulacije z enojno, dvojno in trojno zasteklitvijo.

Zanimala me je tudi količina osvetlitve pri različno orientiranih prostorih. Pri izhodiščnih simulacijah sem upoštevala CIE oblačno nebo, ker pa je pri uporabi tega modela neba osvetljenost prostorov neodvisna od orientacije sem pri simulacijah vpliva orientacije prostora upoštevala CIE sončno nebo, pri katerem je zajet vpliv pozicije sonca ne nebu. Tako sem s temi simulacijami lahko analizirala vpliv orientacije prostora na osvetljenost izbranih prostorov.

Preverila sem tudi ali prostori dosegajo zagotovljeno vrednost predvidene povprečne minimalne osvetljenosti (300lx). Na podlagi rezultatov simulacij sem izbrala nekaj primerov s katerimi sem najbolje zajela cel razpon rezultatov..

Naredila sem še grobo oceno nevizualnih učinkov. Pri tej oceni sem se oprla na že izvedene študije. [2, 17] Tudi tukaj sem izbrala nekaj primerov s katerimi sem najbolje zajela cel razpon rezultatov. Preverila sem ali je v prostorih dosežena minimalna vertikalna osvetljenost 1000lx, ki je pogoj za aktivacijo nevizualnih učinkov dnevne svetlobe.

### 3 REZULTATI

V tem poglavju bom predstavila rezultate, ki sem jih dobila s simulacijami v programu VELUX Daylight Visualizer. Vsi rezultati so predstavljeni v preglednicah in grafikonih, ki so bili narejeni s pomočjo programa MS Office Excel.

Rezultate bom podala v obliki grafikonov na katerih je za vsako obliko prostora in okenskih odprtih podana vrednost osvetljenosti v luksih

Vrednosti osvetljenosti prostorov so izračunane v horizontalni ravnini, ki je pozicionirana 0,85m nad nivojem finalne obdelave tal.

Preverila sem tudi drugo hipotezo iz poglavja 1.1 Hipoteza. Preverila sem ali dnevni prostori dosegajo minimalno predpisano osvetljenosti 300lx .

Prav tako sem preverila tretjo hipotezo iz poglavja 1.1 Hipoteza. Za sprožanje neviualnih učinkov mora biti dosežena primerna vertikalna osvetljenost ob očesu ( $\geq 1000lx$ ).

#### 3.1 Izhodiščne simulacije

Glede na oblike dnevnih prostorov in okenskih odprtih lahko sklepam, da bodo rezultati potrdili sledeča pričakovanja:

- za ozek in dolg prostor (3,6 m x 5,5 m) je najbolj ugodno visoka in ozka okenska odprtina (2,7 m x 1,45 m),
- za širok in kratek prostor (5,5 m x 3,6 m) je najbolj ugodna nizka in široka okenska odprtina (1,45 m x 2,75 m) ter
- za prostor kvadratne tlorisne oblike (4,5 m x 4,5 m) je najbolj ugodna kvadrata oblika okenske odprtine (2,0 m x 2,0 m).

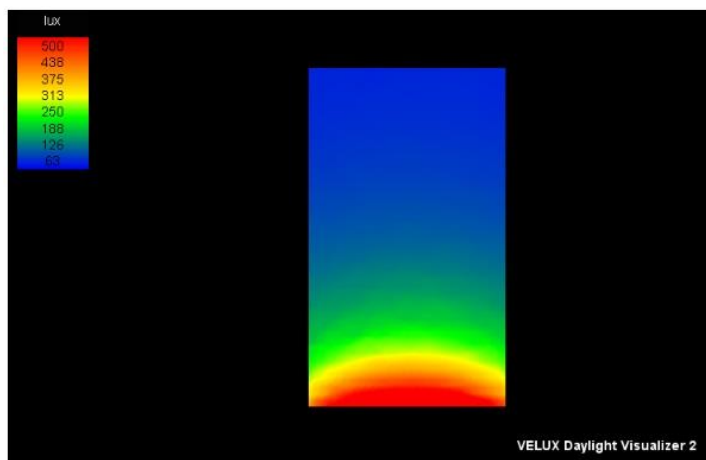
V programu sem najprej določila obliko prostora. Nato je bilo potrebno določiti orientacijo prostora. Za izhodiščno tabelo so vsi prostori orientirani na jug. Vsi prostori so locirani v Ljubljani. V prostor sem pozicionirala okensko odprtino.

Iz poročila, ki sem ga dobila v programu, sem razbrala vrednosti, ki sem jih iskala. Na sliki 4 je prikazan primer izdelanega poročila simulacije za primer prostora tlorisne oblike 3,6 m x 5,5 m z okensko odprtino 1,45 m x 2,75 m. Poročila za vse izvedene simulacije so v dodatku A1.

#### Calculation on zones

Project name: tabela1\_s  
Simulation type: Illuminance

#### Zone 0



Average illuminance	Dav	129.91
Median illuminance	Dm	74.02
Minimum illuminance	Dmin	26.62
Maximum illuminance	Dmax	721.80
Uniformity 1	Dmin/Dav	1 : 4.88 (0.20)
Uniformity 2	Dmin/Dmax	1 : 27.12 (0.04)

Slika 4: Poročilo simulacije za prostor 3,6 m x 5,5 m z okensko odprtino 1,45 m x 2,75 m

V preglednici 3 so rezultati pridobljeni z izvedenimi simulacijami za izhodiščnih 25 različnih kombinacij.

Preglednica 3: Izhodiščna preglednica z rezultati

Oblika okenske odprtine/ Oblika prostora	Vrednosti	2,75 m x 1,45 m	2,4 m x 1,7 m	2,0 m x 2,0 m	1,7 m x 2,4 m	1,45 m x 2,75 m
3,6 m x 5,5 m	Eav (lx)	129,96	138,9	135,19	129,93	129,91
	Emin (lx)	31,46	33,19	31,16	29,67	26,62
	E <sub>max</sub> (lx)	742,03	770,24	771,31	734,63	721,8
	Eav/Emin	4,13	4,18	4,34	4,38	4,88
4,0 m x 5,0 m	Eav (lx)	134,73	142,97	139,38	143,25	135,38
	Emin (lx)	39,67	40,77	38,54	38,8	35,76
	E <sub>max</sub> (lx)	739,9	778,12	773,32	755,15	721,41
	Eav/Emin	3,4	3,5	3,62	3,69	3,79
4,5 m x 4,5 m	Eav (lx)	137,19	145,41	141,51	146,92	140
	Emin (lx)	43,35	47,3	45,46	45,97	43,33
	E <sub>max</sub> (lx)	727,68	782,82	776,44	748,92	710,43
	Eav/Emin	3,16	3,07	3,11	3,2	3,24
5,0 m x 4,0 m	Eav (lx)	140,63	148,2	146,69	150,79	145,07
	Emin (lx)	43,16	50,51	50,96	52,5	49,31
	E <sub>max</sub> (lx)	731,38	759,51	750,82	746,82	693,93
	Eav/Emin	3,26	2,93	2,88	2,87	2,94

Preglednica se nadaljuje...

## Nadaljevanje preglednice 3

5,5 m x 3,6 m	Eav (lx)	143,07	152,36	150,86	156,3	149,11
	Emin (lx)	35,88	41,2	42,94	49,79	52,6
	E <sub>max</sub> (lx)	724,8	774,59	775,53	758,13	709,39
	Eav/Emin	3,99	3,7	3,51	3,14	2,83

**Komentar:**

Iz preglednice 3 lahko povzamemo, da je najbolj ugodna oblika prostora za vse oblike oken širok in plitek prostor 5,5 m x 3,6 m. Za vse oblike prostorov je najbolj ugodno okno pravokotne oblike z razmerjem stranic  $\sqrt{2} : 1 = 2,4 \text{ m} \times 1,7 \text{ m}$ , razen za ozek in globok prostor, kjer je najbolj ugodna oblika z razmerjem stranic  $1 : \sqrt{2} = 1,7 \text{ m} \times 2,4 \text{ m}$ . Najmanj ugodna oblika okenske odprtine za vse oblike prostorov je visoka in ozka pravokotna okenska odprtina z dimenzijami stranic 2,75 m x 1,45 m, razen za globok in ozek prostor kjer je najmanj ugodna nizka in dolga oblika okenske odprtine. Kot je bilo pričakovano je najbolj neugoden prostor za vse oblike okenskih odprtin dolg in ozek prostor.

Na podlagi rezultatov iz izhodiščne preglednice sem za vsak prostor izbrala najmanj in najbolj ugodno obliko okenske odprtine. Za najmanj ugodno obliko okenske odprtine sem izbrala tisto, ki v prostoru povzroči najmanjšo povprečno osvetljenost in obratno za najbolj ugodno obliko okenske odprtine – sem izbrala tisto, ki povzroči največjo povprečno osvetljenost. Primerjala sem povprečne vrednosti osvetljenosti prostorov. (Preglednica 4)

Preglednica 4: Povprečne vrednosti osvetljenosti prostorov (Eav) v luksih  
(z rdečo barvo so označene najmanjše povprečne vrednosti, z modro so označene največje povprečne vrednosti)

Oblika okenske odprtine (h:v) / Oblika dnevnega prostora (a:b)	2,75 m x 1,45 m	2,4 m x 1,7 m	2,0 m x 2,0 m	1,7 m x 2,4 m	1,45 m x 2,75 m
3,6 m x 5,5 m	129,96	138,9	135,19	129,93	129,91
4,0 m x 5,0 m	134,73	142,97	139,38	143,25	135,38
4,5 m x 4,5 m	137,19	145,41	141,51	146,92	140
5,0 m x 4,0 m	140,63	148,2	146,69	150,79	145,07
5,5 m x 3,6 m	143,07	152,36	150,86	156,3	149,11

Tako sem za vsak prostor dobila najmanj in najbolj ugodno obliko okenske odprtine, kar prikazuje preglednica 5.

Preglednica 5: Najmanj in najbolj ugodna oblika okenske odprtine za vsako obliko dnevnega prostora.

Oblika prostor	Najmanj ugodna okenska odprtina	Najbolj ugodna okenska odprtina
3,6 m x 5,5 m	1,45 m x 2,75 m	2,4 m x 1,7 m
4,0 m x 5,0 m	2,75 m x 1,45 m	1,7 m x 2,4 m
4,5 m x 4,5 m	2,75 m x 1,45 m	1,7 m x 2,4 m
5,0 m x 4,0 m	2,75 m x 1,45 m	1,7 m x 2,4 m
5,5 m x 3,6 m	2,75 m x 1,45 m	1,7 m x 2,4 m

Rezultati, ki sem jih predvidela pred začetkom simulacij so:

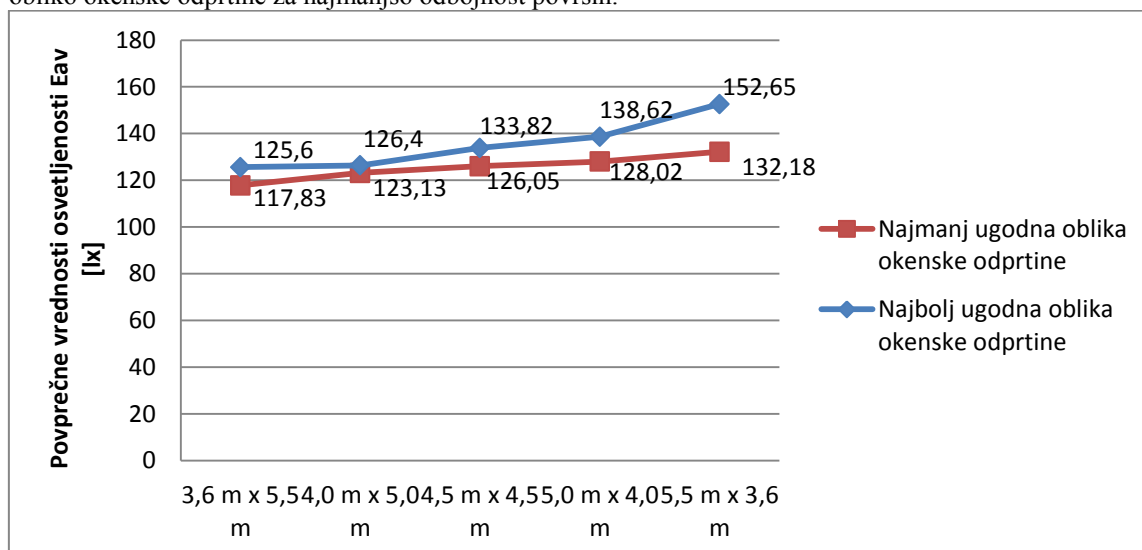
- pri najvišji odbojnosti notranjih površin bo osvetljenost v prostoru večja,
- več svetlobe bo v prostoru z enojno zasteklitvijo
- v primeru uporabe CIE oblačnega neba ne bo prihajalo do razlike v osvetljenosti med prostoroma orientiranima južno in vzhodno. V primeru CIE sončnega neba bo osvetljenost ob 12.00 v prostoru večja, če je prostor orientiran na jug.



### 3.2 Vpliv odbojnosti notranjih površin

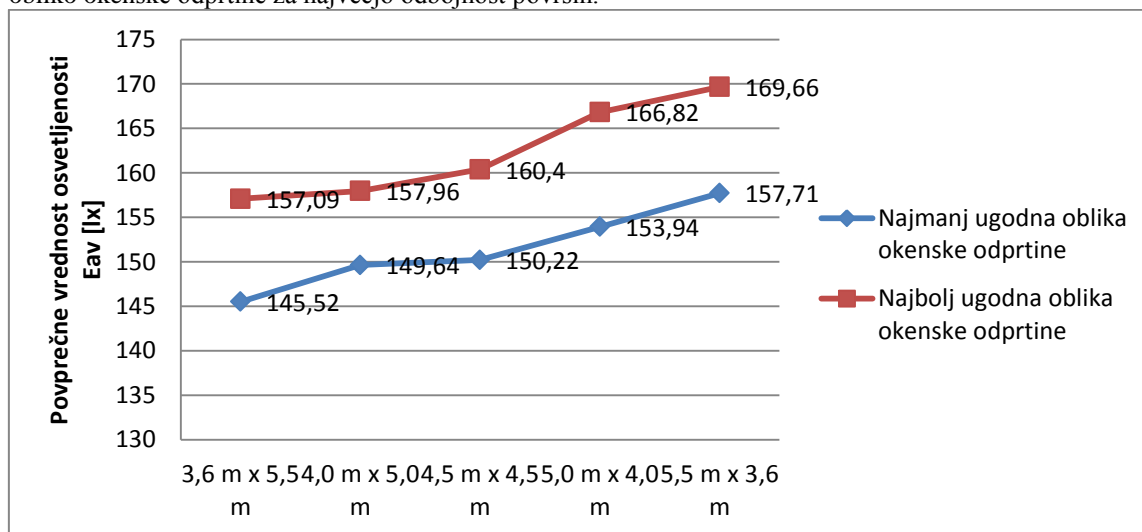
Grafikon 1 prikazuje povprečne vrednosti osvetljenosti za vsako obliko dnevnega prostora z najbolj in najmanj ugodno obliko okenske odprtine za najmanjšo upoštevano odbojnost notranjih površin (strop: 0,7, tla: 0,2, stene: 0,5).

Grafikon 1: Povprečne vrednosti osvetljenosti za vsako obliko dnevnega prostora za najbolj in najmanj ugodno obliko okenske odprtine za najmanjšo odbojnost površin.



Grafikon 2 prikazuje povprečne vrednosti osvetljenosti za vsako obliko dnevnega prostora za najbolj in najmanj ugodno obliko okenske odprtine za največjo upoštevano odbojnost površin (strop: 0,9, tla: 0,4, stene: 0,8).

Grafikon 2: Povprečne vrednosti osvetljenosti za vsako obliko dnevnega prostora za najbolj in najmanj ugodno obliko okenske odprtine za največjo odbojnost površin.



Vpliv odbojnosti notranjih površin na povprečno osvetljenost je prikazan v preglednicah 6 in 7. V preglednicah 6 in 7 so predstavljena tudi relativna odstopanja od povprečne osvetljenosti izhodiščnih primerov, kjer so bile za odbojnost notranjih površin izbrane srednje vrednosti le teh.

Preglednica 6: Relativne razlike zaradi najslabše odbojnosti površin

	Rezultati izhodiščnih primerov (lx)		Povprečna vrednost osvetljenosti zaradi najslabše odbojnosti notranjih površin (lx)		Relativne razlike	
	Najmanj ugodna oblika okenske odprtine	Najbolj ugodna oblika okenske odprtine	Najmanj ugodna oblika okenske odprtine	Najbolj ugodna oblika okenske odprtine	Najmanj ugodna oblika okenske odprtine	Najbolj ugodna oblika okenske odprtine
<b>Oblika dnevnega prostora</b>						
<b>3,6 m x 5,5 m</b>	129,91	138,9	145,52	157,09	-9%	-10%
<b>4,0 m x 5,0 m</b>	134,73	143,25	149,64	157,96	-9%	-12%
<b>4,5 m x 4,5 m</b>	137,19	146,92	150,22	160,4	-8%	-9%
<b>5,0 m x 4,0 m</b>	140,63	150,79	153,94	166,82	-9%	-8%
<b>5,5 m x 3,6 m</b>	143,07	156,3	157,71	169,66	-8%	-2%

Preglednica 7: Relativne razlike zaradi najboljše odbojnosti površin

	Rezultati izhodiščnih primerov (lx)		Povprečne vrednosti osvetljenosti zaradi najboljše odbojnosti notranjih površin (lx)		Relativne razlike	
	Najmanj ugodna oblika okenske odprtine	Najbolj ugodna oblika okenske odprtine	Najmanj ugodna oblika okenske odprtine	Najbolj ugodna oblika okenske odprtine	Najmanj ugodna oblika okenske odprtine	Najbolj ugodna oblika okenske odprtine
<b>Oblika dnevnega prostora</b>						
<b>3,6 m x 5,5 m</b>	129,91	138,9	117,83	125,6	12%	13%
<b>4,0 m x 5,0 m</b>	134,73	143,25	123,13	126,4	11%	9%
<b>4,5 m x 4,5 m</b>	137,19	146,92	126,05	133,82	9%	9%
<b>5,0 m x 4,0 m</b>	140,63	150,79	128,02	138,62	9%	11%
<b>5,5 m x 3,6 m</b>	143,07	156,3	132,18	152,65	10%	9%

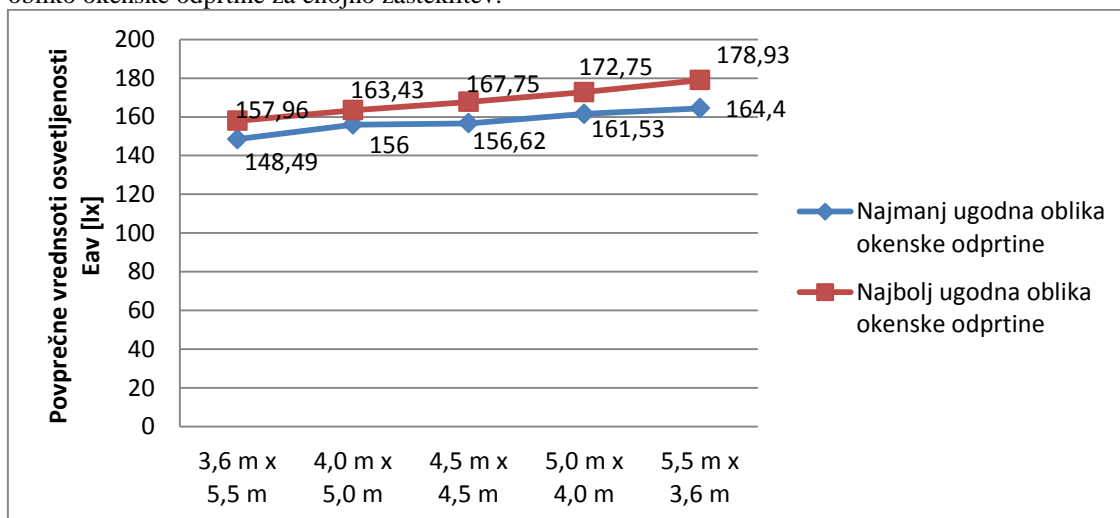
**Komentar:**

Iz obeh grafikonov je očitno, da so najvišje povprečne vrednosti v primeru širokega in plitkega prostora 5,0 m x 3,6 m pri najbolj ugodni obliki okenske odprtine (1,7 m x 2,4 m). Prav tako vidimo, da so najnižje povprečne vrednosti pri obeh grafikonih v primeru ozkega in globokega prostora 3,6 m x 5,5 m pri najmanj ugodni obliki okenske odprtine (1,45 m x 2,75 m). Najmanjša odbojnost notranjih površin zmanjša osvetljenost v prostoru tako v primeru najbolj ugodne oblike okenske odprtine kot v primeru najmanj ugodne oblike okenske odprtine. (Preglednica 6) Povzamemo lahko, da se v vseh primerih zmanjša za približno 9 odstotkov. Največja odbojnost notranjih površin pa povzroči povečanje vrednosti povprečne osvetljenosti. (Preglednica 7) Tukaj lahko povzamemo približno povečanje za 10 odstotkov.

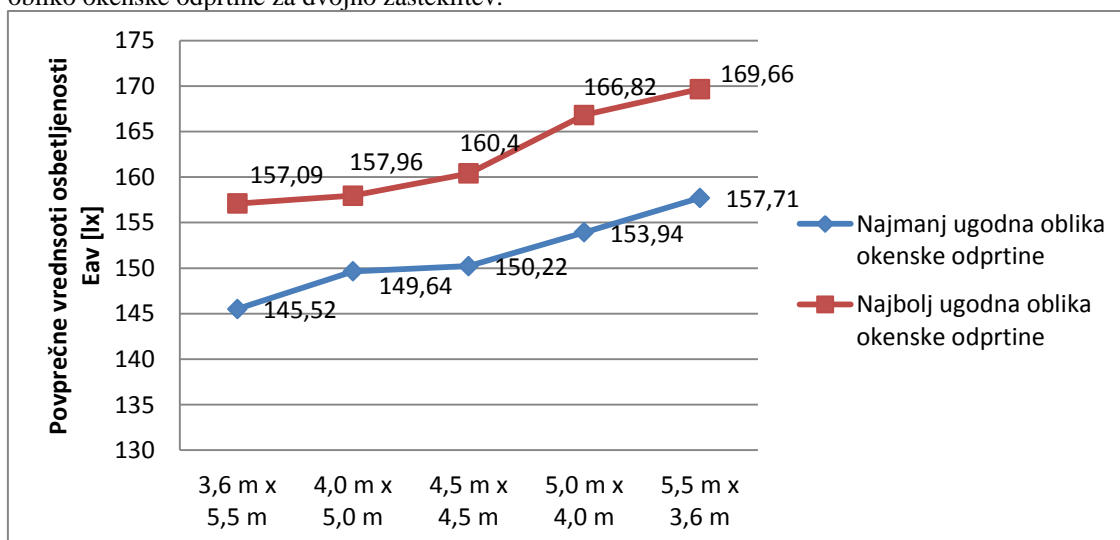
**3.3 Vpliv tipa zasteklitve**

Parameter, ki sem ga spreminjala pri tipu zasteklitve je propustnost stekla za vidni del svetlobe. Grafikoni prikazujejo rezultate, ki sem jih dobila pri enojni (LT=80%), dvojni (LT=70%) in trojni (LT=50%) zasteklitvi. (Grafikon 3, Grafikon 4, Grafikon 5).

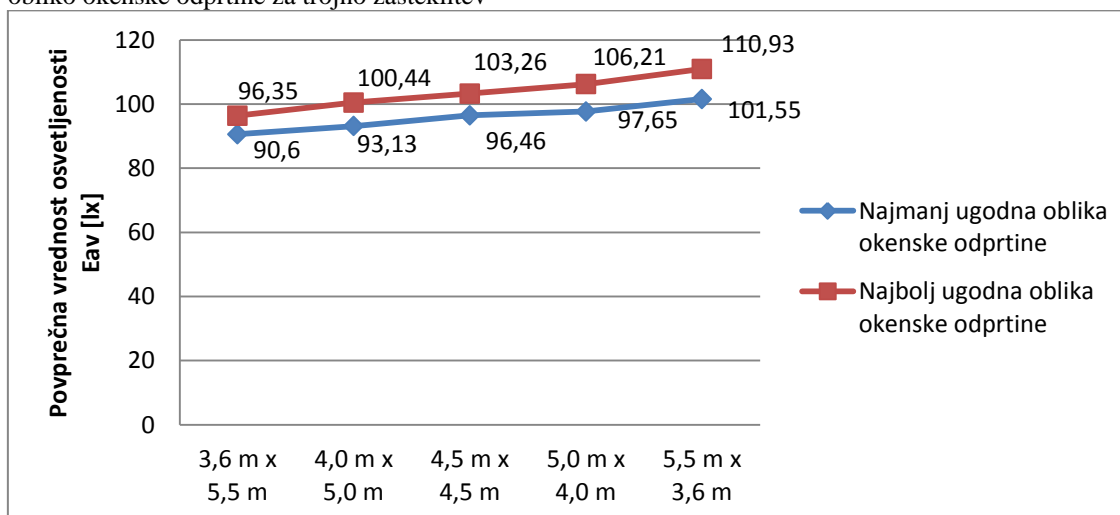
Grafikon 3: Povprečne vrednosti osvetljenosti za vsako obliko dnevnega prostora z najbolj in najmanj ugodno obliko okenske odprtine za enojno zasteklitev.



Grafikon 4: Povprečne vrednosti osvetljenosti za vsako obliko dnevnega prostora z najbolj in najmanj ugodno obliko okenske odprtine za dvojno zasteklitev.



Grafikon 5: Povprečne vrednosti osvetljenosti za vsako obliko dnevnega prostora z najmanj in najbolj ugodno obliko okenske odprtine za trojno zasteklitev.



V preglednicah 8 in 9 so prikazana relativna odstopanja od izhodiščnih primerov, kjer je zasteklitve dvojna, zaradi vpliva tipa zasteklitve.

Preglednica 8: Relativne razlike zaradi enojni zasteklitve

	Rezultati izhodiščnih primerov (lx)		Povprečne vrednosti osvetljenosti pri enojni zasteklitvi (lx)		Relativne razlike	
	Najmanj ugodna oblika okenske odprtine	Najbolj ugodna oblika okenske odprtine	Najmanj ugodna oblika okenske odprtine	Najbolj ugodna oblika okenske odprtine	Najmanj ugodna oblika okenske odprtine	Najbolj ugodna oblika okenske odprtine
<b>Oblika dnevnega prostora</b>						
<b>3,6 m x 5,5 m</b>	129,91	138,9	148,49	157,96	14%	14%
<b>4,0 m x 5,0 m</b>	134,73	143,25	156	163,43	16%	14%
<b>4,5 m x 4,5 m</b>	137,19	146,92	156,62	167,75	14%	14%
<b>5,0 m x 4,0 m</b>	140,63	150,79	161,53	172,75	15%	15%
<b>5,5 m x 3,6 m</b>	143,07	156,3	164,4	178,93	15%	14%

Preglednica 9: Relativne razlike zaradi trojne zasteklitve

	Rezultati izhodiščnih primerov (lx)		Povprečne vrednosti osvetljenosti zaradi trojne zasteklitve (lx)		Relativne razlike	
	Najmanj ugodna oblika okenske odprtine	Najbolj ugodna oblika okenske odprtine	Najmanj ugodna oblika okenske odprtine	Najbolj ugodna oblika okenske odprtine	Najmanj ugodna oblika okenske odprtine	Najbolj ugodna oblika okenske odprtine
<b>Oblika dnevnega prostora</b>						
<b>3,6 m x 5,5 m</b>	129,91	138,9	90,6	96,35	-30%	-31%
<b>4,0 m x 5,0 m</b>	134,73	143,25	93,13	100,44	-31%	-30%
<b>4,5 m x 4,5 m</b>	137,19	146,92	96,46	103,26	-30%	-30%
<b>5,0 m x 4,0 m</b>	140,63	150,79	97,65	106,21	-31%	-30%
<b>5,5 m x 3,6 m</b>	143,07	156,3	101,55	110,93	-29%	-29%

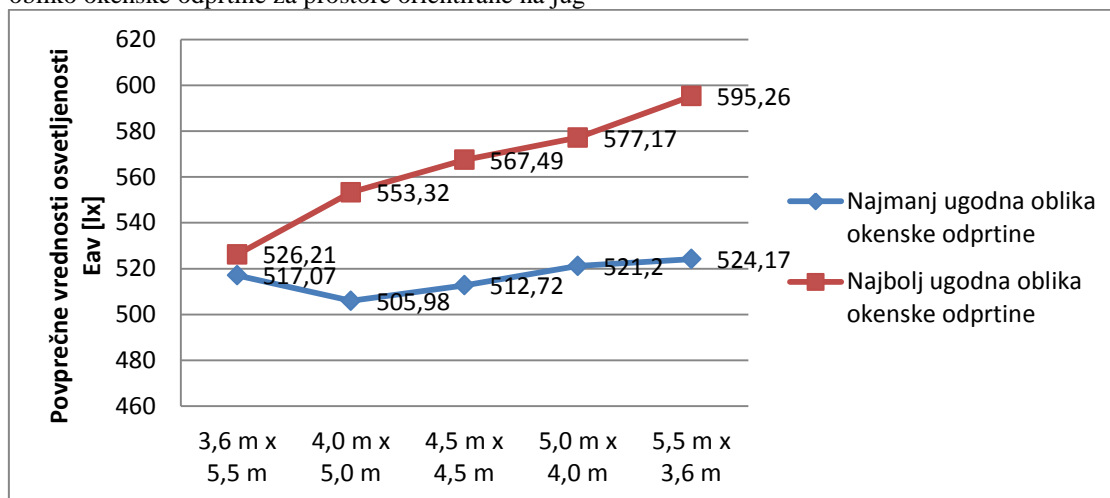
#### Komentar:

Za vsako obliko dnevnega prostora je povprečna vrednost osvetljenosti višja pri najbolj ugodni obliki okenske odprtine. Za vse tri tipe zasteklitve sem dobila najvišjo povprečno vrednost osvetljenosti pri plitvem in širokem prostoru (5,5 m x 3,6 m) in sicer v primeru najbolj ugodne oblike okenske odprtine (1,7 m x 2,4 m). Zamenjava dvojne zasteklitve z enojno povzroči večjo osvetljenosti prostora (pri vseh primerih za približno 14 odstotkov) ne glede na obliko okenske odprtine. V prostorih je veliko manjša osvetljenost, če dvojno zasteklitve zamenjamo s trojno. Osvetljenost se v vseh primerih zmanjša za približno 30 odstotkov.

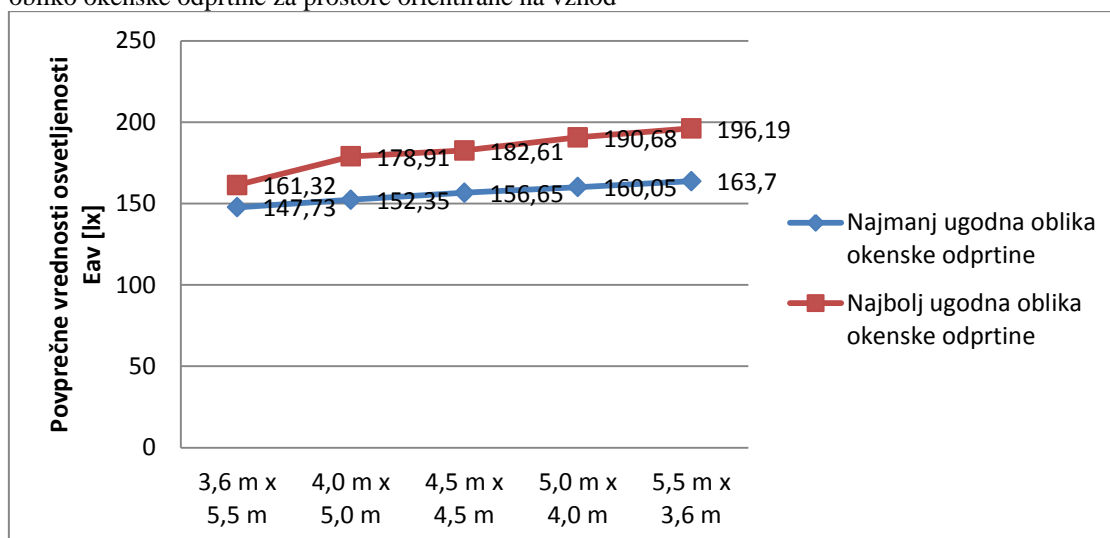
#### 3.4 Vpliv orientacije prostora

Grafikoni prikazujejo simulacije s prostori orientiranimi na jug in vzhod. (Grafikon 6, Grafikon 7) Uporabljeni tip neba je CIE sončno nebo, zato rezultati niso direktno primerljivi z ostalimi simulacijami. Je pa možno na podlagi teh izračunov sklepati vpliv orientacije na osvetljenost prostorov v realnih primerih.

Grafikon 6: Povprečne vrednosti osvetljenosti za vsako obliko dnevnega prostora z najbolj in najmanj ugodno obliko okenske odprtine za prostore orientirane na jug



Grafikon 7: Povprečne vrednosti osvetljenosti za vsako obliko dnevnega prostora z najbolj in najmanj ugodno obliko okenske odprtine za prostore orientirane na vzhod



V naslednji preglednici so prikazane primerjave med spremembami osvetljenosti pri različni orientaciji prostorov. (Preglednica 10)

Preglednica 10: Relativne razlike zaradi orientacije prostora

Oblika dnevnega prostora	Povprečni vrednosti osvetljenosti, orientacija jug (lx)		Povprečne vrednosti osvetljenosti, orientacija vzhod (lx)		Relativne razlike	
	Najmanj ugodna oblika okenske odprtine	Najbolj ugodna oblika okenske odprtine	Najmanj ugodna oblika okenske odprtine	Najbolj ugodna oblika okenske odprtine	Najmanj ugodna oblika okenske odprtine	Najbolj ugodna oblika okenske odprtine
3,6 m x 5,5 m	517,07	526,21	147,73	161,32	71%	69%
4,0 m x 5,0 m	505,98	553,32	152,35	178,91	70%	68%
4,5 m x 4,5 m	512,72	567,49	156,65	182,61	69%	68%
5,0 m x 4,0 m	521,2	577,17	160,05	190,68	69%	67%
5,5 m x 3,6 m	524,17	595,26	163,7	196,19	69%	67%

**Komentar:**

Tudi pri orientaciji prostora je oblika grafikona podobna kot pri odbojnosti površin in tipu zasteklitve. Dokaj podobne vrednosti sem dobila pri obliki dnevnega prostora 3,6 m x 5,5 m (dolg in ozek prostor) za najbolj in najmanj ugodno obliko okenske odprtine v primeru južne in vzhodne orientacije prostora. Prav tako je najvišja povprečna vrednost osvetljenosti pri plitvem in širokem prostoru (5,5 m x 3,6 m) z najbolj ugodno obliko okenske odprtine (1,7 m x 2,4 m). Ob uporabi CIE sončnega neba se pojavijo velike razlike pri povprečnih vrednostih osvetljenosti zaradi orientacije prostora. Če isti prostor orientiramo na vzhod namesto na jug se povprečna osvetljenosti v prostoru zmanjša za približno 69 odstotkov v obeh primerih oblike okenske odprtine.

**3.5 Doseganje minimalne osvetljenosti prostora**

Za minimalno zahtevano osvetljenost za dnevne prostore sem po standardu SIST EN 12464-1:2011 povzela 300lx. Standard se sicer nanaša na delovna okolja vendar sem za dnevno sobo privzela, da se v njej odvija vizualno nezahtevno delo ter tako smiselno uporabila temu primerno priporočeno osvetljenost. Že iz grafikonov iz prejšnjih podpoglavij je razvidno da so povprečne vrednosti osvetljenost veliko manjše od zastavljene minimalne vrednosti. Glede na to lahko sklepam, da minimalna osvetljenost ni dosežena po celotnem prostoru. Glede na rezultate prikazane v grafikonih 1, 2, 3, 4, 5, 6 in 7 sem poiskala najmanjšo in največjo vrednost povprečne osvetljenosti prostora. Najmanjša povprečna vrednost osvetljenosti je v primeru dolgega in ozkega prostora (3,6 m x 5,5 m) z najmanj ugodno obliko okenske odprtine (1,45 m x 2,75 m) pri trojni zasteklitvi. Da lahko primerjam tipe zasteklitev sem izbrala še primer pri katerem sem uporabila enojno zasteklitev. Najvišja povprečna vrednost pa je v primeru širokega in plitkega prostora (5,5 m x 3,6 m) z najbolj ugodno obliko okenske odprtine (1,7 m x 2,4 m) pri orientacije prostora na jug. Tega primera pa ne morem primerjati z ostalimi, saj je simulacija izvedena v primeru CIE sončno nebo in ne kot v ostalih primerih s CIE oblačno nebo. Izbrala sem si še primera s kvadratno tlorisno obliko prostora (4,5 m x 4,5 m) z najmanj (2,75 m x 1,45 m) in najbolj (1,7 m x 2,4 m) ugodno obliko okenske odprtine.

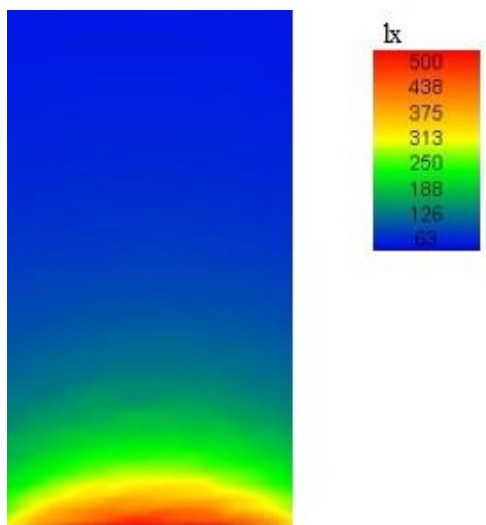
V grafikonih 1, 2, 3, 4, 5, 6 in 7 sem poiskala najnižjo in najvišjo vrednost povprečne osvetlitve. (Preglednica 6) Najnižjo povprečno vrednost sem dobila v primeru trojne zasteklitve okna in najvišjo v primeru orientacije prostora na jug.

Preglednica 11: Najnižja in najvišja vrednost povprečne osvetljenosti

Primer	Oblika prostora	Oblika okenske odprtine	Povprečna osvetljenost (lx)	Parameter
1	3,6 m x 5,5 m	1,45 m x 2,75 m	90,6	Trojna zasteklitev
2	3,6 m x 5,5 m	1,45 m x 2,75 m	148,49	Enojna zasteklitev
3	5,5 m x 3,6 m	1,7 m x 2,4 m	595,26	Orientacija jug
4	4,5 m x 4,5 m	2,75 m x 1,45 m	137,19	Najmanj ugodna oblika okenske odprtine
5	4,5 m x 4,5 m	1,7 m x 2,4 m	146,92	Najbolj ugodna oblika okenske odprtine

Slike 5, 7, 9, 11 in 13 prikazujejo osvetljenosti v horizontalni ravnini pridobljene s programom VELUX Daylight Visualizer. Na skali je vidno, da vrednosti nad 300lx zadostuje le del prostora obarvan z rdečimi, oranžnimi in rumenimi odtenki.

### Primer 1:



Slika 5: Osvetljenost prostora, primer 1

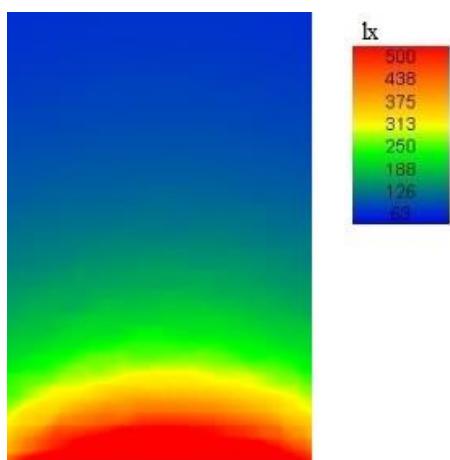
#### Zone 0 (lux)

Mean	90,68
Median	50,82
Minimum	17,30
Maximum	495,48
Uniformity 1	0,19 (min/mean)
Uniformity 2	0,03 (min/max)
Above 300,00	5%

Slika 6: Rezultati simulacij, primer 1

#### Komentar:

Pri primeru 1, pri uporabi trojne zasteklitve, je dobro vidno, da minimalna zastavljena povprečna osvetljenost 300lx ni dosežena. Poročilo iz programa VELUX Daylight Visualizer podaja podatek o doseženi vrednosti le na 5 odstotkih površine prostora. (Slika 7)

**Primer 2:**

Slika 7: Osvetljenost prostora, primer 2

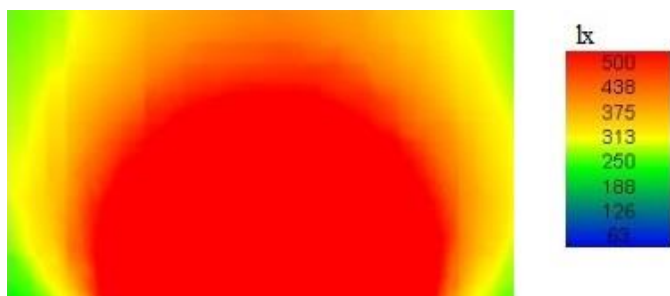
**Zone 0 (lux)**

Mean	148,80
Median	84,86
Minimum	31,71
Maximum	825,87
Uniformity 1	0,21 (min/mean)
Uniformity 2	0,04 (min/max)
Above 300,10	14%

Slika 8: Rezultati simulacij, primer 2

**Komentar:**

Tudi pri enojni zasteklitvi minimalna zastavljena povprečna osvetljenost ni dosežena. Dosežena je na 14 odstotkih celotne površine prostora ob okenski odprtini, kar je nekaj več kot pri trojni zasteklitvi (Primer 1).

**Primer 3:**

Slika 9: Osvetljenost prostora, primer 3



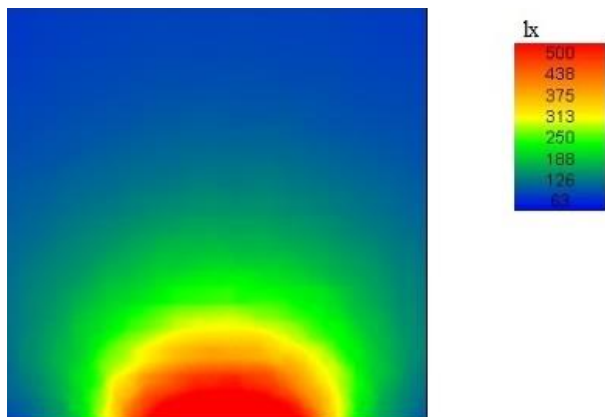
Zone 0 (lux)	
Mean	595,47
Median	429,60
Minimum	192,07
Maximum	2.156,67
Uniformity 1	0,32 (min/mean)
Uniformity 2	0,09 (min/max)
Above 300,00	82%

Slika 10: Rezultati simulacij, primer 3

**Komentar:**

Pri uporabi CIE sončnega neba je vrednost 300 lx presežena na 82 odstotkih površine prostora. Upoštevati moram, da je uporabljen drugačen tip neba, kar močno vpliva na dosežene vrednosti povprečne osvetljenosti v prostoru

**Primer 4:**



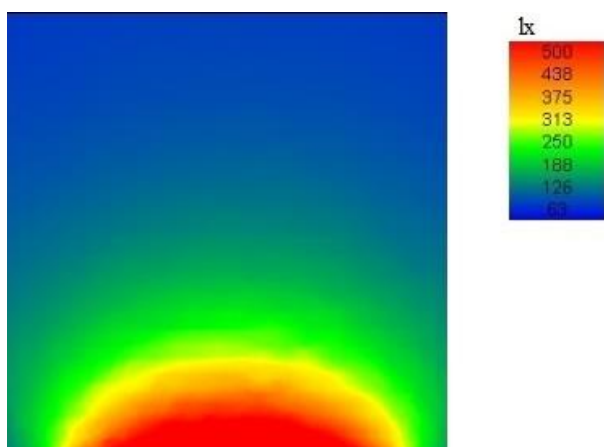
Slika 11: Osvetljenost prostora, primer 4

Zone 0 (lux)	
Mean	136,70
Median	94,92
Minimum	44,49
Maximum	741,95
Uniformity 1	0,33 (min/mean)
Uniformity 2	0,06 (min/max)
Above 300,00	8%

Slika 12: Rezultati simulacij, primer 4

**Komentar:**

Pri uporabi oblačnega tipa neba vrednost 300lx v prostoru ni dosežena. Dosežena je le ob okenski odprtini in sicer na 8 odstotkih celotne površine prostora. (Slika 12)

**Primer 5:**

Slika 13: Osvetljenost prostora, primer 5

**Zone 0 (lux)**

Mean	145,26
Median	95,85
Minimum	45,86
Maximum	745,35
Uniformity 1	0,32 (min/mean)
Uniformity 2	0,06 (min/max)
Above 300,00	11%

Slika 14: Rezultati simulacij, primer 5

**Komentar:**

Tudi v tem primeru vrednost 300lx ni dosežena. Nad 300lx je osvetljenega le 11 odstotkov prostora. (Slika 14)

Iz teh primerov lahko sklepam, da je vrednost 300lx v večini prostora dosežena ali presežena le pri sončnem tipu neba. Če primerjam primer 3 in 4, lahko vidim, da oblika okenske odprtine ne povzroči velike spremembe pri distribuciji osvetljenosti prostora. Izbira primerne oblike zasteklitve je torej ključna za primerno distribucijo osvetljenosti pri določeni obliki prostora. Iz tega lahko sklepam, da je izredno težko ali celo nemogoče doseči povprečno osvetljenost 300lx na celotni površini delovne ravnine pri osvetlitvi le z ene strani.

## 4 OCENA NEVIZUALNIH UČINKOV

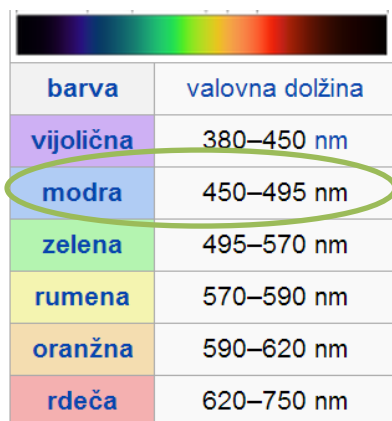
### 4.1 Nevizualni učinki

Nevizualni učinki svetlobe vplivajo na psihološko in fiziološko delovanje človeškega telesa. [18, 19] Posebne zakonodaje, ki bi določala količino osvetljenosti v povezavi s sprožanjem nevizualnih učinkov ni. O tem govorijo le raziskave in članki. V delovnem okolju boljša osvetljenost povzroča večjo storilnost, boljše delovne rezultate in zmanjšanje števila delovnih nesreč. [2] Večina študij se ukvarja s vplivom dnevne svetlobe na uporabnika delovnega okolja. Študije v bivalnem okolju so redke. V diplomski nalogi se posvečam bivalnemu okolju. Knoop[19] navaja, da izpostavljenost topli beli svetlobi deluje na organizem sproščujoče, kar je pomembno predvsem v bivalnem okolju. Pomankanje dnevne svetlobe ima negativen vpliv na zdravje in udobje. [18, 19]

Nevizualne biološke učinke svetlobe delimo na:

- cirkadiane - indirektne (to so nadziranje biološke ure, dnevnih in sezonskih ritmov) in
- ne-cirkadiane – direktne (povzročajo stimulatívni ali zaviralni učinek, vplivajo na razpoloženje, budnost, tveganje za nesrečo)
- tvorbo vitamina D
- neraziskane vplive

Nevizualni biološki učinek svetlobe je povezan z intenziteto in valovno dolžino svetlobe, ki dejansko pade v oko. Ta se sprošča pri valovni dolžini svetlobe v območju modrega spektra. [18, 20]. (Slika: 7)



Slika prikazuje vidni spekter svetlobe, ki je barvna lestev od vijolične do rdeče. Zgoraj je prikazana barvna lestev, spodaj pa tabela, ki povezuje barvo s valovno dolžino. Barva modra je obkrožena s zeleno črto.

barva	valovna dolžina
vijolična	380–450 nm
modra	450–495 nm
zelena	495–570 nm
rumena	570–590 nm
oranžna	590–620 nm
rdeča	620–750 nm

Slika 15: Vidni spekter svetlobe (Vir slike: [21])

Nevizualni učinek svetlobe so torej pojavi v območju modrega spektra in pri doseženi vrednosti 1000lx ob očesu. [2]

Kot sem že omenila je količina in razporeditev svetlobe odvisna od časa v letu, lokacije, časa v dnevu, velikosti in oblike prostora, velikosti, oblike in pozicije okenske odprtine, odbojnosti površin, orientacije prostora in tipa zasteklitve. Ugotovila sem že ali je v prostorih dosežena minimalna zahtevana osvetlitev (300lx), sedaj bom ocenila ali je dosežena vrednost 1000lx ob očesu. Predpostavljam, da uporabnik prostora v obravnavanih primerih prostora sedi in gleda proti okenski odprtini.

## 4.2 Groba ocena nevizualnih bioloških učinkov

Nevizualne učinke sem ocenila na petih primerih. (Preglednica 12) Izbrala sem primere iz preglednice 6.

Preglednica 12: Izbrani primeri za oceno nevizualnih učinkov

Primer	Oblika dnevnega prostora	Oblika okenske odprtine	Izbrani parametri
1	3,6 m x 5,5 m	1,45 m x 2,75 m	Tip zasteklitve: trojna
2	3,6 m x 5,5 m	1,45 m x 2,75 m	Tip zasteklitve: enojna
3	5,5 m x 3,6 m	1,7 m x 2,4 m	Orientacija prostora: jug
4	4,5 m x 4,5 m	2,7 m x 1,45 m	Osnovni
5	4,5 m x 4,5 m	1,7 m x 2,4 m	Osnovni

Izbrala sem tri točke v prostoru:

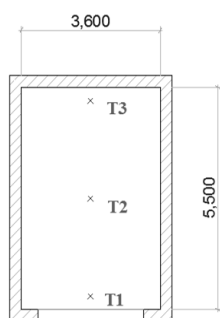
- točka T1 je v bližini okenske odprtine
- točka T2 je na sredini prostora
- točka T3 je v zadnji tretjini prostora

Horizontalne vrednosti (H) sem že izračunala, določiti sem jih morala še v izbranih točkah (T). Na podlagi horizontalnih vrednosti in globine točk v prostoru lahko določim vertikalne vrednosti (V). Te dobim iz razmerja H/V. Razmerje H/V sem povzela po članku Študija dneвне osvetljenosti pisarniškega prostora glede na vizualne in biološke vplive. [2] Povzeta vrednost H/V je 1,5.

Na slikah 16, 17, 18, 19 in 20 so pozicije izbranih točk v prostoru. Za te izbrane točke so v preglednicah 13, 14, 15, 16 in 17 podatki o vrednosti osvetljenosti, izbrano razmerje in s pomočjo programa MS Office Excel izračunane vertikalne vrednosti osvetljenosti. Vertikalne vrednosti sem izračunala z naslednjo formulo:

$$V = H \times 1,5$$

### Primer 1:

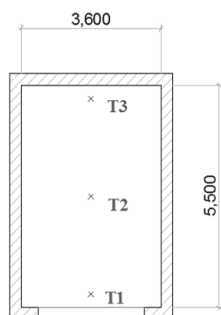


Slika 16: Pozicije izbranih točk, primer 1

Preglednica 13: Izračun vertikalnih vrednosti osvetljenosti, primer 1

Točka	Horizontalna vrednost H (lx)	Razmerje H/V	Izračunana vertikalna vrednost V (lx)
T1	830,2	1,5	1245,3
T2	51,0		76,5
T3	18,9		28,35

**Primer 2:**

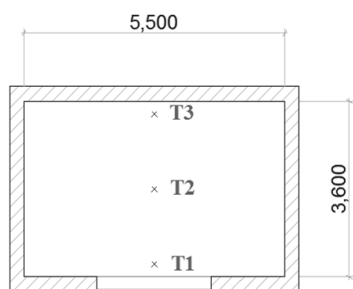


Slika 17: Pozicije izbranih točk, primer 2

Preglednica 14: Izračun vertikalnih vrednosti osvetljenosti, primer 2

Točka	Horizontalna vrednost H (lx)	Razmerje H/V	Izračunana vertikalna vrednost V (lx)
T1	1370,3	1,5	2055,45
T2	81,8		122,7
T3	34,0		51

**Primer 3:**

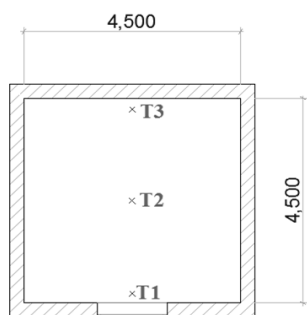


Slika 18: Pozicije izbranih točk, primer 2

Preglednica 15: Izračun vertikalnih vrednosti osvetljenosti, primer 3

Točka	Horizontalna vrednost H (lx)	Razmerje H/V	Izračunana vertikalna vrednost V (lx)
T1	2679,6	1,5	4019,4
T2	841,4		1262,1
T3	380,5		570,75

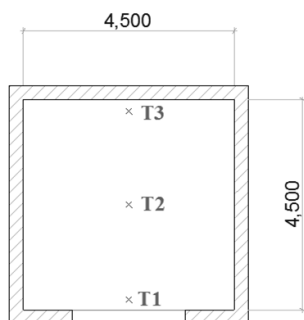
**Primer 4:**



Slika 19: Pozicije izbranih točk, primer 3

Preglednica 16: Izračun vertikalnih vrednosti osvetljenosti, primer 5

Točka	Horizontalna vrednost H (lx)	Razmerje H/V	Izračunana vertikalna vrednost V (lx)
T1	1176,2	1,5	1764,3
T2	99,3		148,95
T3	49,9		74,85

**Primer 5:**

Slika 20: Pozicije izbranih točk, primer 4

Preglednica 17: Izračun vertikalnih vrednosti osvetljenosti, primer 5

Točka	Horizontalna vrednost H (lx)	Razmerje H/V	Izračunana vertikalna vrednost V (lx)
T1	1266,1	1,5	1899,15
T2	112,0		168,0
T3	50,8		76,2

## Legenda:

Izračunane vertikalne vrednosti osvetljenosti večje od 1000lx.

**Komentar:**

Pri vseh primerih sem dobila največje vrednosti osvetljenosti v točki T1, to je točka v bližini okenske odprtine. Vrednost 1000lx je v vseh primerih v tej točki presežena. V točki T2 (na sredini prostora) je ta vrednost dosežena samo v tretjem primeru, to je v primeru orientacije prostora na jug ob upoštevanju CIE sončno nebo. V nobenem primeru pa ni vrednost dosežena v točki T3 (v zadnji tretjini prostora). Primerjam lahko prvi in drugi primer, kjer sem spreminjala tip zasteklitve. V obeh primerih je pogoj za sprožanje nevizualnih učinkov izpolnjen samo v bližini okenske odprtine. Vidim pa lahko, da je v primeru enojne zasteklitve vrednost 1000lx presežena za veliko več kot v primeru trojne zasteklitve. Razlika med primeroma 4 in 5 je samo v obliki okenske odprtine. Če zamenjam najmanj ugodno obliko okenske odprtine z najbolj ugodno, se osvetljenost v prostoru ne spremeni veliko. Tudi tukaj so pogoji za sprožanje nevizualnih učinkov v obeh primerih izpolnjeni le v bližini okenske odprtine. Iz teh podatkov lahko vidim tudi, da so kriteriji za sprožanje nevizualnih učinkov doseženi v vseh primerih samo ob okenski odprtini, razen ob CIE sončno nebo (Primer 3) kjer so doseženi tudi v sredini prostora.

## 5 PRIMERJAVA REZULTATOV

Najprej sem naredila primerjave med različnimi oblikami tlorisov prostora. Preverila sem kako vpliva oblika tlorisa prostora na osvetljenost prostora. To sem preverila v primeru najbolj ugodne oblike okenske odprtine in v primeru najmanj ugodne oblike okenske odprtine. Podatki v preglednici 18 so pridobljeni iz preglednice 4.

Preglednica 18: Povprečne vrednosti osvetljenosti

Oblika prostora	Najbolj ugodna oblika okenske odprtine	Najmanj ugodna oblika okenske odprtine
3,6 m x 5,5 m	129,91 lx	138,9 lx
4,0 m x 5,0 m	134,73 lx	143,25 lx
4,5 m x 4,5 m	137,19 lx	146,92 lx
5,0 m x 4,0 m	140,63 lx	150,79 lx
5,5 m x 3,6 m	143,07 lx	156,3 lx

Za ostale primerjave sem kot izhodiščno varianto upoštevala prostor s kvadratno obliko tlorisa prostora (4,5 m x 4,5 m) z najbolj ugodno obliko okenske odprtine (1,7 m x 2,4 m).

Na podlagi rezultatov predstavljenih v poglavju 3. Rezultati sem izvedla primerjave med:

1. različno odbojnostjo površin:
  - najmanjša in največja
2. različnimi tipi zasteklitve:
  - enojna in dvojna
  - dvojna in trojna
  - enojna in trojna
3. različno orientacijo prostora:
  - jug in vzhod

V spodnji preglednici so izbrani rezultati iz prejšnjih poglavij za kvadratno obliko tlorisa prostora z najbolj ugodno obliko okenske odprtine. (Preglednica 18)

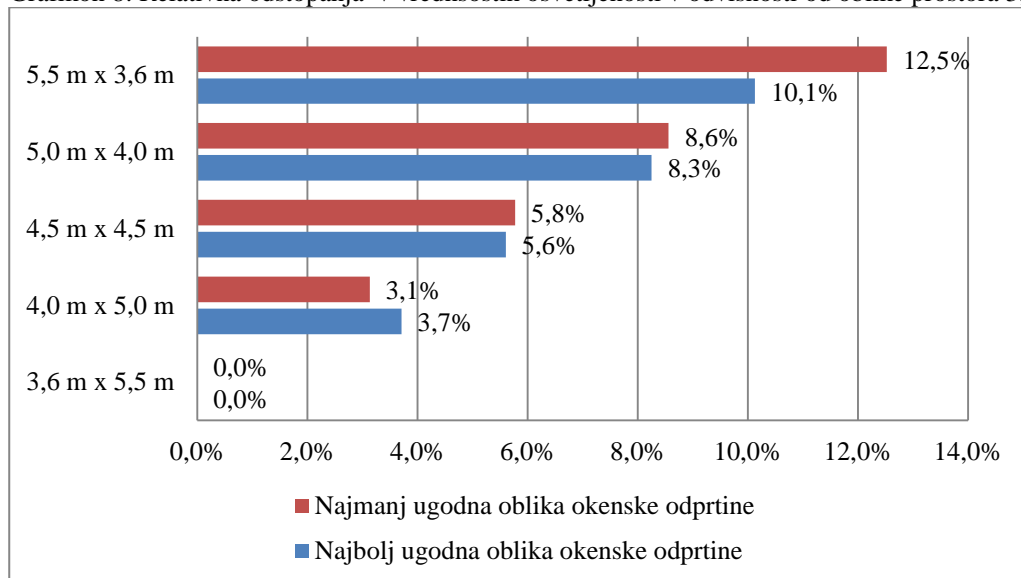
Preglednica 19: Izbrani rezultati

Odbojnost površin		Tip zasteklitve			Orientacija prostora	
Najmanjša	Največja	Enojna	Dvojna	Trojna	Jug	Vzhod
133,82 lx	160,4 lx	167,75 lx	146,92 lx	103,26 lx	567,49 lx	182,61 lx

### 5.1 Primerjava rezultatov zaradi različnih oblik tlorisa prostora

Že iz povprečnih vrednosti lahko sklepam, da se pri manjšanju dolžine in večanju širine prostora poveča osvetljenost v prostoru. Če primerjam vse oblike prostorov z ozkim in globokim prostoroma (3,6 m x 5,5 m) vidim, da se osvetljenost prostora poveča tako v prostoru z najbolj ugodno obliko okenske odprtine kot v prostoru z najmanj ugodno obliko okenske odprtine. Pri prostoru oblike 4,0 m x 5,0 m se osvetljenost poveča za približno 3 odstotke, pri prostoru kvadratne oblike se ta poveča za 6 odstotkov, pri prostoru oblike 5,5 m x 4,0 m se poveča za 8 odstotkov in pri plitkem in širokem prostoru (5,5 m x 3,6 m) se ta poveča za 11 odstotkov. Rezultate sem predstavila v obliki grafikona. (Grafikon 8) Na podlagi primerjave lahko sklepam, da so globoki prostori neugodni z gledišča osvetljenosti z dnevno svetlobo, če se odprtine nahajajo le na krajši stranici.

Grafikon 8: Relativna odstopanja v vrednostih osvetljenosti v odvisnosti od oblike prostora 3,6 m x 5,5 m



## 5.2 Primerjava rezultatov zaradi različne odbojnosti površin

Kot sem že navedla, sem tukaj primerjala samo eno obliko prostora s tem, da sem naredila primerjavo med različnimi odbojnostmi notranjih površin. Primerjala sem rezultate iz preglednice 18 in ugotovila, da povzroči največja odbojnost notranjih površin za 16,6 odstotka večjo osvetljenost prostora kot najmanjša odbojnost notranjih površin. Sklepam lahko podoben trend pri vseh oblikah prostora.

## 5.3 Primerjava rezultatov zaradi različnega tipa zasteklitve

Tukaj sem primerjala povprečne osvetljenosti med enojno in dvojno zasteklitvijo, dvojno in trojno ter enojno in trojno zasteklitvijo. Če enojno zasteklitev zamenjam za dvojno, se osvetljenost v prostoru zmanjša za približno 12 odstotka. Prav tako se osvetljenost v prostoru zmanjša, če dvojno zasteklitev zamenjam za trojno, in sicer za približno 29 odstotkov. Če enojno zasteklitev zamenjam s trojno pa se osvetljenost zmanjša za približno 39 odstotkov. Zmanjšanje osvetljenosti prostora z dnevno svetlobo je direktno povezano s prepustnostjo zasteklitve za vidni del svetlobe (LT). Relativno zmanjšanje osvetljenosti je proporcionalno zmanjšanju LT vrednosti.

## 5.4 Primerjava rezultatov zaradi različne orientacije prostora

Te primerjave so narejene ob upoštevanju CIE sončnega neba. Pri orientaciji prostora na vzhod je osvetljenost manjša za približno 68 odstotkov kot pri orientaciji prostora na jug. Sklepam lahko, da se podobno zmanjša osvetljenost v vseh primerih ne glede na obliko prostora. Poudariti pa je potrebno, da na osvetljenost prostorov pri sončnem vremenu močno vpliva pozicija sonca na nebu, ta pa se spreminja čez celoten dan. Tako bo prostor orientiran vzhodno zjutraj bolje osvetljen kot južno orientiran prostor, sredi dneva bo najbolje osvetljen južno orientiran prostor, zvečer pa zahodno orientiran prostor.



## **5.5 Nevizualni učinki**

Pr nevizualnih učinkih primerjava rezultatov ni smiselna, ker so odstopanja zaradi različnih izbranih parametrov dokaj majhna. Vrednost vertikalne osvetljenosti 1000lx je v vseh primerih dosežena in presežena v bližini okenskih odprtih. Pri primeru, kjer sem upoštevala CIE sončno nebo in južno orientacijo prostora pa je ta vrednost dosežena tudi globlje v prostoru. Sklepam lahko torej, da lahko nevizualne učinke dosežemo samo v primeru sončnega vremena, v primeru oblačnega vremena pa, ne glede na izbiro ostalih parametrov, količina osvetljenosti ni dovolj visoka za sprožanje le teh.

## 6 UGOTOVITVE IN ZAKLJUČKI

Kot sem pričakovala oblika prostora in oblika okenskih odprtin vplivata na osvetljenost prostora. Predvidela sem tudi, da se bo vrednost osvetljenosti v prostorih spreminjala s spreminjanjem izbranih parametrov. Te izbrani parametri so bili odbojnost notranjih površin, tip zasteklitve in orientacija prostora. Pričakovati je bilo, da bo pri večji odbojnosti površin prostor bolj osvetljen. Prav tako sem predvidela, da bo prostor najbolj osvetljen pri enojni zasteklitvi in najmanj pri trojni. Pri orientaciji prostora pa sem pričakovala večjo osvetljenost prostorov orientiranih na jug.

S pomočjo teh primerjav sem določila najbolj ugodno obliko dnevnega prostora z gledišča doseganja največje osvetljenosti z dnevno svetlobo, najbolj ugodno obliko okenske odprtine za vsako obliko dnevnega prostora ter kako vplivajo različni parametri na osvetljenost.

Na podlagi hipotez iz poglavja 1. Uvod pridem do naslednjih zaključkov:

1. *Neposredna osvetlitev je dosežena, če skupna površina obdelanih zidarskih odprtin, namenjena osvetlitvi, dosega najmanj 20 odstotkov površine teh delov stanovanja.[7] Pri tem pa prostori namenjeni bivanju in spanju niso ožji od 1,9 metra in v primeru osvetlitve le s krajše strani, ne ožji od polovice dolžine. [7]*

V vseh simuliranih variantah okenske odprtine dosegajo 20 odstotkov tlorisne površine prostora.

Osvetlitev je pri izračunu osvetljenosti ob uporabi CIE oblačnega tipa neba, srednjih vrednosti izbranih parametrov (srednja vrednost odbojnosti notranjih površin, dvojna zasteklitev) in južni orientaciji prostora v vseh primerih med vrednostjo 129,91lx in 156,3lx. Do razlik in odstopanj prihaja zaradi medsebojnega vpliva oblike tlorisa prostora in oblike okenskih odprtin. Ob spreminjanju izbranih parametrov (odbojnost notranjih površin in tipa zasteklitve) se te razlike povečajo. Pri prostorih z najmanjšo odbojnostjo površin se osvetljenost prostora zmanjša. Obratno se zgodi pri prostorih z največjo odbojnostjo notranjih površin, kjer se osvetljenost poveča. Pri primerjavi različnih tipov zasteklitev (enojna, dvojna in trojna zasteklitev) sem prišla do predvidenega zaključka in sicer, da je največja osvetljenost v prostorih z enojno zasteklitvijo. Pri dvojni zasteklitvi je osvetljenost 12 odstotkov manjša in pri trojni 39 odstotkov manjša.

Zaključim lahko, da je plitek in širok prostor (5,5 m x 3,6 m) z okensko odprtino 1,7 m x 2,4 m najbolj osvetljen. Najmanj pa je osvetljen globok in ozek prostor (3,6 m x 5,5 m) z okensko odprtino 1,45 m x 2,75 m. In sicer je osvetljenost v plitkem in širokem prostoru za približno 10 odstotkov manjša od osvetljenosti v globokem in ozkem prostoru.

2. *Če so izpolnjeni zgoraj navedeni pogoji je prostor dovolj osvetljen z naravno svetlobo pri tem pa je dosežena minimalna zahteva povprečne osvetlitve v dnevnem prostoru, ki je 300lx. Ta hipoteza je smiselno povzeta standardu SIST EN 12464-1:2011; predvidevam, da se v dnevnem prostoru opravlja vizualno nezahtevno delo. [8]*

Ta hipoteza v večini primerov ne drži. Vrednost 300 lx je dosežena in lahko tudi presežena le v ožjem pasu ob okenski odprtini. Izvedene simulacije so pokazale, da ni pri nobenem primeru, ne glede na izbiro parametrov, osvetljenost 300lx dosežena na več kot 14 odstotkih površine.

Hipoteza se je potrdila samo ob uporabi CIE sončnega tipa neba, kjer je zahteva dosežena na 82 odstotkih površine prostora.

Iz teh primerjav lahko sklepam, da je dosežena minimalna osvetlitev prostora samo v primeru sončnega vremena. Z namestitvijo večjega števila okenskih odprtin bi se osvetljenost v prostoru povečala in bi lahko tudi dosegla vrednost minimalne osvetlitev prostora.

*3. Predvidevam, da če je izpolnjen pogoj iz prve hipoteze, bo izpolnjen pogoj pomemben za sprožanje nevizualnih učinkov dnevne svetlobe na organizem. Pogoj je izpolnjen, če je dosežena vrednost 1000lx ob očesu.[2]*

To hipotezo lahko potrdim predvsem v primeru sončnega vremena. V primeru oblačnega vremena so nevizualni učinki sicer doseženi, vendar samo ob okenski odprtini. Na osnovi Študije dnevne osvetljenosti pisarniškega prostora glede na vizualne in biološke vplive [2] pričakujem, da bi bili dejanski rezultati večji od izračunanih.

Sklepam lahko, da bi bili nevizualni učinki doseženi v večjem delu prostora, če bi arhitektura prostora dopuščala več okenskih odprtin. Tako bi dosegli večjo osvetljenost po celotnem prostoru in s tem tudi nevizualne učinke. Rešitev je lahko tudi postavitve notranje opreme dnevnega prostora, ob kateri se uporabnik zadržuje večino časa, ob okensko odprtino. Recimo postavitve sedežne garniture ob okensko odprtino bi veliko vplivala na doseganje nevizualnih učinkov saj bi bil uporabnik večino časa v sedečem položaju in v območju kjer je dosežene vrednost 1000lx. Pri sončnem vremenu moramo vedeti, da se položaj Zemlje tekom dneva spreminja in s tem pozicija Sonca glede na prostor. Osvetljenost prostora je torej odvisna od časa v dnevu in orientacije prostora. Največjo osvetljenost v prostoru bi dosegli ob vgradnji enojne zasteklitve. Tudi pri trojni zasteklitvi je vrednost za sprožanje nevizualnih učinkov ob okenski odprtini dosežena, vendar bi bila, z zamenjavo trojne zasteklitve z enojno, ta vrednost dosežena na večjem območju.

S pomočjo te diplomske naloge sem videla kako zelo na osvetljenost v prostoru vpliva oblika prostora in oblika okenskih odprtin. Zanimivo se mi je zdelo tudi kako lahko s spreminjanjem odbojnosti notranjih površin in optičnih lastnosti zasteklitve vplivamo na količino osvetljenosti prostora, zaradi tega se bi pri projektiranju stavb morali bolj osredotočiti tudi na to. Predvsem pa me je presentila ugotovitev, da je v večini prostorov premalo dnevne svetlobe in da je zaradi tega onemogočeno doseganje nevizualnih učinkov. Naučila sem se kako dnevna svetloba vpliva na človeka in njegovo delovanje. Prav tako bi se morali pri projektiranju osredotočiti na število in velikost okenskih odprtin, saj bi se z večanjem števila in velikosti bolj približali zahtevam doseganja nevizualnih učinkov.

## VIRI

- [1] Garbas, T. 2009. Primerjalna študija psihofiziološkega vpliva naravne svetlobe na uporabnika notranjega grajenega okolja. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani. Zdravstvena fakulteta. (samozaložba T. Garbas)
- [2] Kristl, Ž., Košir, M., Dovjak, M., Krainer, A. 2011. Študija dnevne osvetljenosti pisarniškega prostora glede na vizualne in biološke vplive. *Gradb. vestn.* 60, 3: 84-92.
- [3] Članek dom in vrt Načrtujte naravno svetlobo. 2010.  
<http://www.dominvrt.si/clanek/rubrika/notranja-ureditev/nacrtujete-naravno-svetlobo.html>  
(Pridobljeno: 18. 03. 2014)
- [4] Philips, D. 2000. *Lighting modern buildnigs*. Oxford. Arcitectual press: 20 str.
- [5] Kristl, Ž. 2011. *Dnevna svetloba – skripta*. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 71 str.
- [6] Evans, G. W., McCoy, J. M., 1998. When buildings don't work: The role of architecture in human health, *Env. Pschy.* 18: 85-94
- [7] Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj. Uradni list RS št. 125/2003
- [8] SIST EN 12464-1:2004 Svetloba in razsvetljava – Razsvetljava na delovnem mestu – 1. del: Notranji delovni prostori.
- [9] Ivanšek, F. 1988. Enodružinska hiša: od prosto stoječe hiše k nizki zgoščeni zazidavi. Ljubljana. *Ambient*: 67-68
- [10] Izberite po zmogljivosti – naučite se več: Odbojnost svetlobe. 2014.  
<http://www.armstrong.si/commlgeu/eu1/sl/si/performance-light-reflectance.html> (Pridobljeno: 06. 05. 2014)
- [11] Uporaba stekla v gradbeništvu. 2013.  
<http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT155.htm> (Pridobljeno: 06. 05. 2014)
- [12] A. Jovanovic, P. Pejic, S. Djoric-Veljkovic, J. Karamarkovi, M. Djeli. 2014. Importance of building orientation in determining daylighting quality in student dorm rooms: physical and simulated daylighting parameters and values compared to subjective survey results. *Energy and Buildings*. 158-170
- [13] Andersen, M., Gochenour S.J., Lockley S.W. 2013. Modelling 'non-visual' effects of daylighting in a residential environment. *Building and Environment*. 70 :138-149
- [14] Hajdinjak, R. 2009. *Gradimo s steklom*. Gornja Radgona, Reflex d.o.o.: 359 str.
- [15] VELUX Daylight Visualizer. 2009.  
[http://www.velux.si/za\\_stroko/tehnici\\_info\\_in\\_rodja/daylight\\_visualizer](http://www.velux.si/za_stroko/tehnici_info_in_rodja/daylight_visualizer) (Pridobljeno: 07. 05. 2014)
- [16] Priročnik za uporabo: VELUX Daylight Visualizer 2.5.9.2010.  
<http://kske.fgg.uni-lj.si/programi/VELUX%20Daylight%20Visualizer%202-5-9.pdf> (Pridobljeno: 07. 05. 2014)
- [17] Lovšin, J. 2013. Vpliv odprtih na osvetljevanje prostorov. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba J. Lovšin)
- [18] Bommel, W.J.M. 2006. Non-visual biological effect of lighting and the practical meaning of lighting for work. *Applied ergonomics* .37, 4: 461-466.
- [19] Knoop, M. 2006. Dynamic lighting for well-being in work places.  
[http://www.sdr.si/arhiv/p06/pdf/m\\_knoop.pdf](http://www.sdr.si/arhiv/p06/pdf/m_knoop.pdf) (Pridobljeno: 29. 05. 2014)
- [20] Veitch, J. A. 2007. Lighting - to your good health.  
[http://www.researchgate.net/publication/44092122\\_Lighting\\_-\\_to\\_your\\_good\\_health\\_Lyset\\_og\\_det\\_gode\\_helbred](http://www.researchgate.net/publication/44092122_Lighting_-_to_your_good_health_Lyset_og_det_gode_helbred) (Pridobljeno: 29. 05. 2014)
- [21] Vidni spekter. 2013. [http://sl.wikipedia.org/wiki/Vidni\\_spekter](http://sl.wikipedia.org/wiki/Vidni_spekter) (Pridobljeno: 28. 05. 2014)

## **SEZNAM PRILOG**

### **PRILOGA A: POROČILA SIMULACIJ ZA IZHODIŠČNO PREGLEDNICO**



»Ta stran je namenoma prazna«

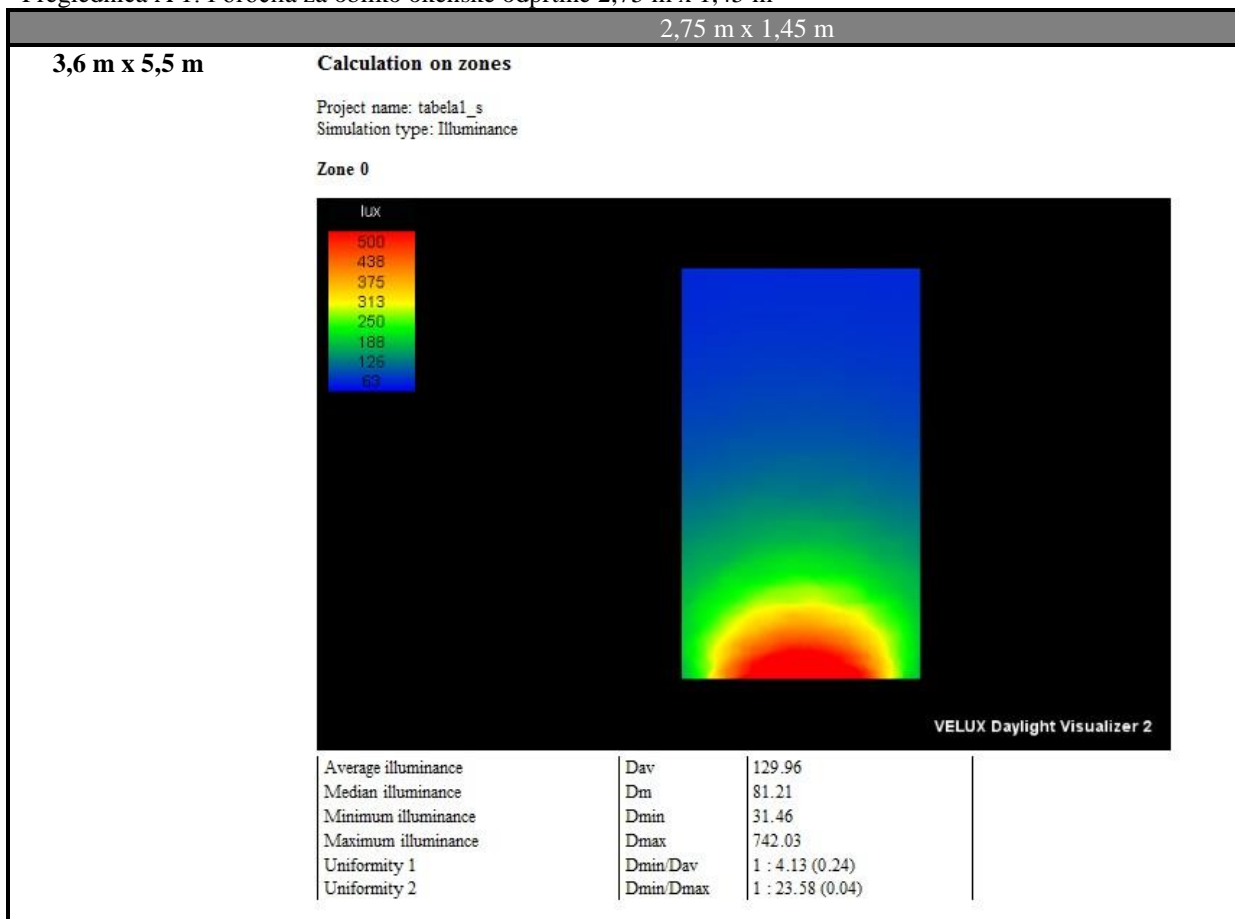




## A POROČILA SIMULACIJ ZA IZHODIŠČNO PREGLEDNICO

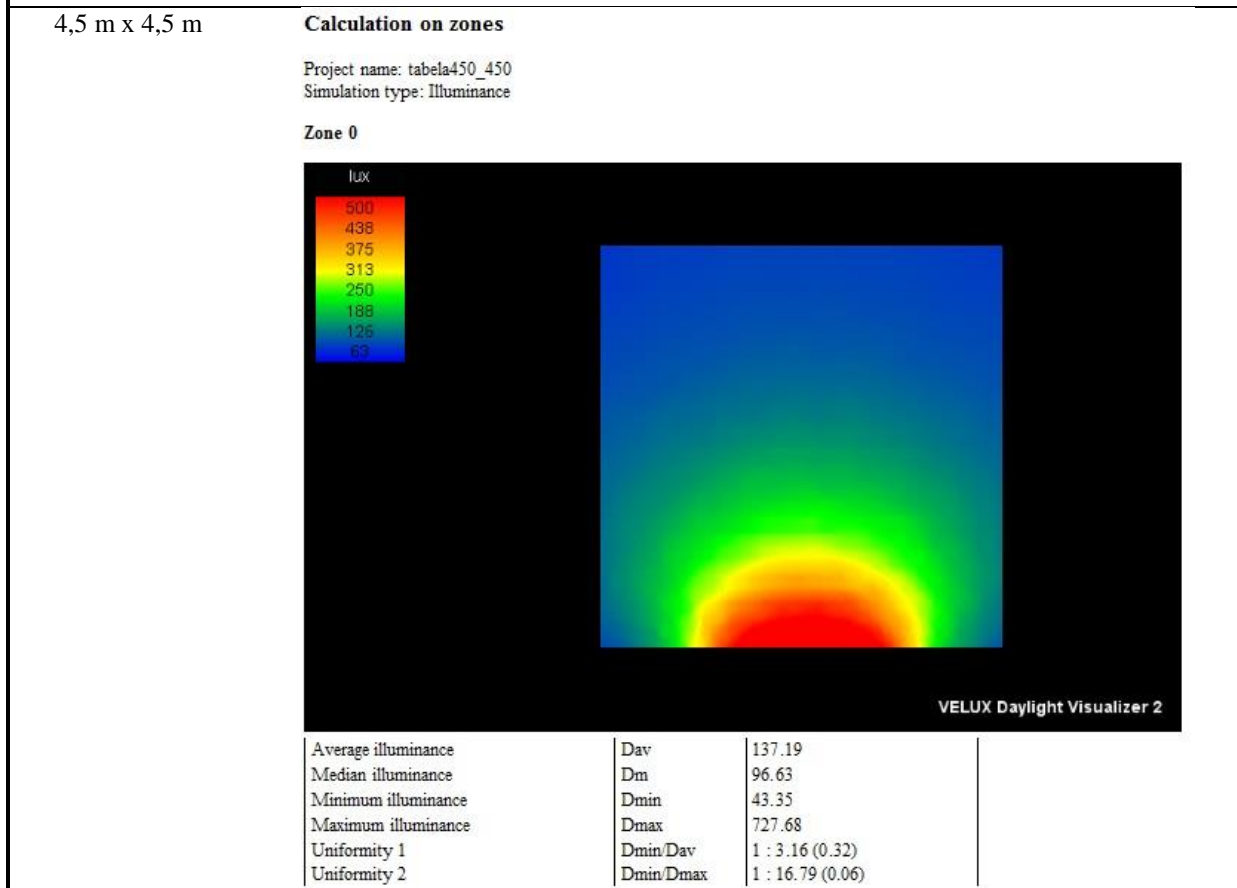
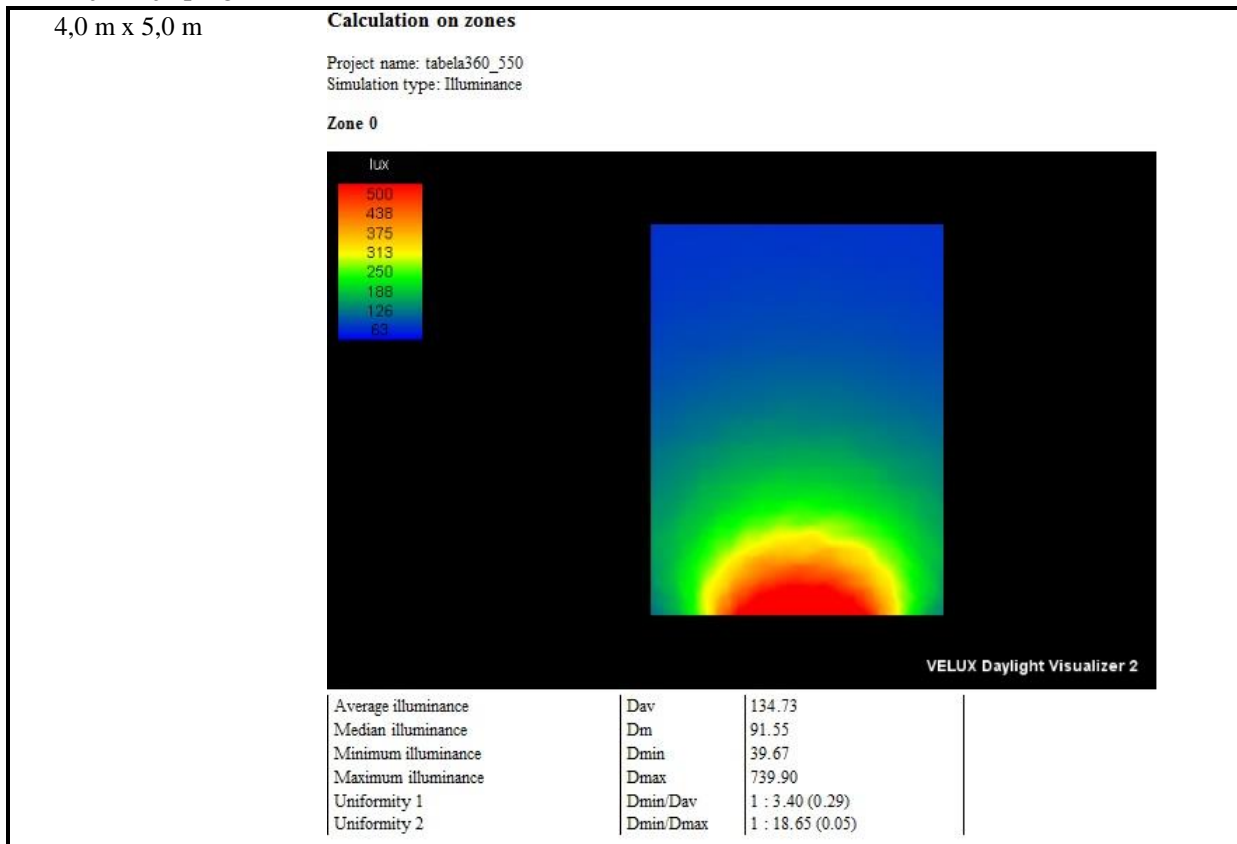
V naslednjih preglednicah so prikazana poročila simulacij iz programa VELUX Daylight Visualizer. V vsaki preglednici so vse oblike dnevnih prostorov z eno obliko okenske odprtine. (Preglednica A 1, Preglednica A 2, Preglednica A 3, Preglednica A 4, Preglednica A 5)

Preglednica A 1: Poročila za obliko okenske odprtine 2,75 m x 1,45 m



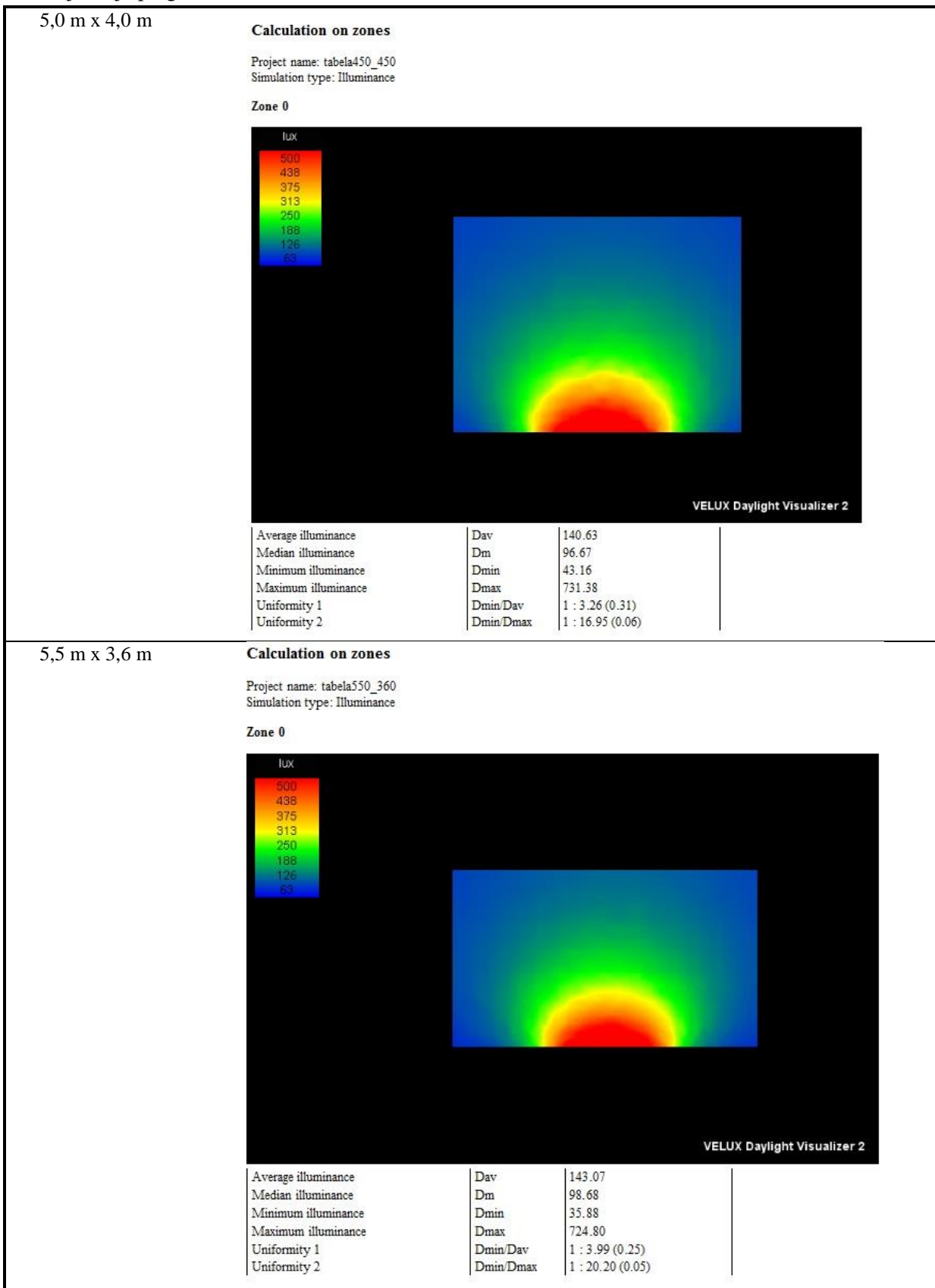
Preglednica se nadaljuje...

Nadaljevanje preglednice A 1

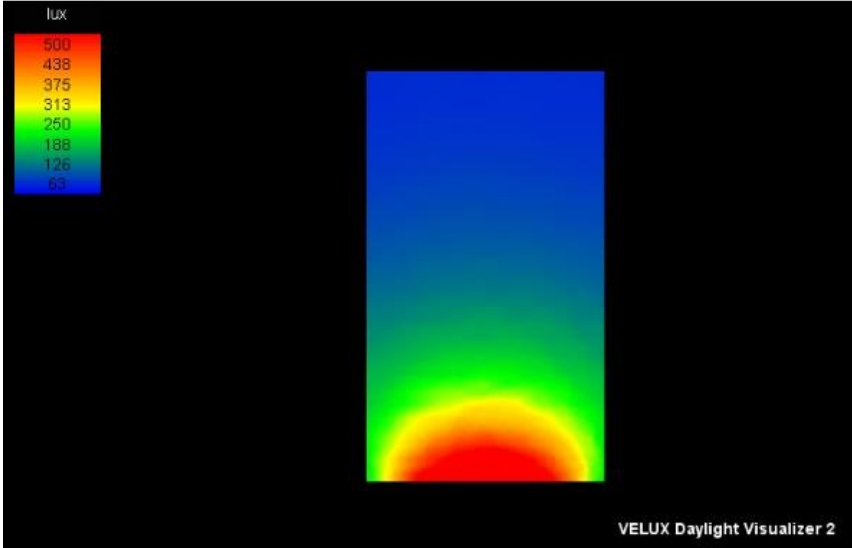
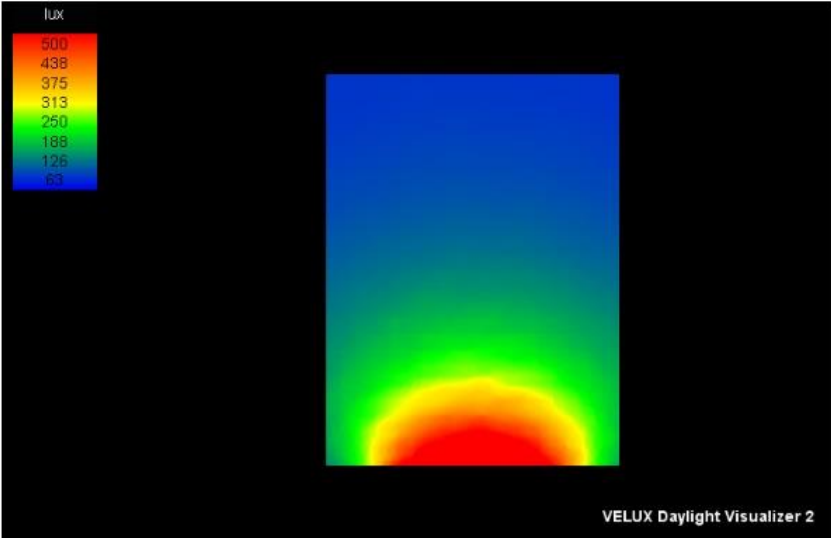


Preglednica se nadaljuje...

### Nadaljevanje preglednice A 1

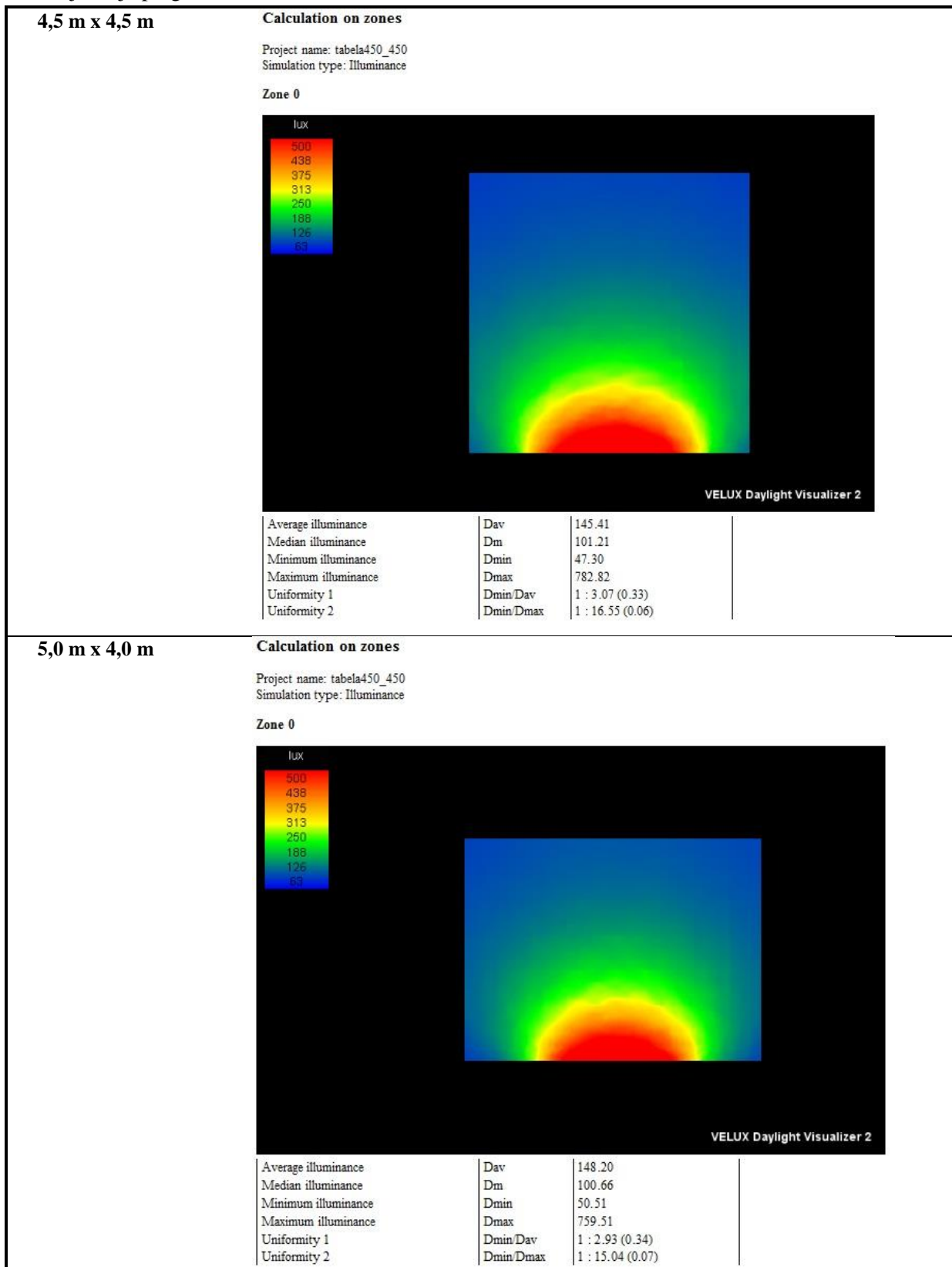


Preglednica A 2: Poročila za oblike okenskih odprtine 2,4 m x 1,7 m

2,4 m x 1,7 m																			
<p><b>3,6 m x 5,5 m</b></p> <p><b>Calculation on zones</b></p> <p>Project name: tabela1_s                      Simulation type: Illuminance</p> <p><b>Zone 0</b></p>  <p style="text-align: right;">VELUX Daylight Visualizer 2</p> <table border="1"> <tr> <td>Average illuminance</td> <td>Dav</td> <td>138.90</td> </tr> <tr> <td>Median illuminance</td> <td>Dm</td> <td>84.75</td> </tr> <tr> <td>Minimum illuminance</td> <td>Dmin</td> <td>33.19</td> </tr> <tr> <td>Maximum illuminance</td> <td>Dmax</td> <td>770.24</td> </tr> <tr> <td>Uniformity 1</td> <td>Dmin/Dav</td> <td>1 : 4.18 (0.24)</td> </tr> <tr> <td>Uniformity 2</td> <td>Dmin/Dmax</td> <td>1 : 23.21 (0.04)</td> </tr> </table>	Average illuminance	Dav	138.90	Median illuminance	Dm	84.75	Minimum illuminance	Dmin	33.19	Maximum illuminance	Dmax	770.24	Uniformity 1	Dmin/Dav	1 : 4.18 (0.24)	Uniformity 2	Dmin/Dmax	1 : 23.21 (0.04)	
Average illuminance	Dav	138.90																	
Median illuminance	Dm	84.75																	
Minimum illuminance	Dmin	33.19																	
Maximum illuminance	Dmax	770.24																	
Uniformity 1	Dmin/Dav	1 : 4.18 (0.24)																	
Uniformity 2	Dmin/Dmax	1 : 23.21 (0.04)																	
<p><b>4,0 m x 5,0 m</b></p> <p><b>Calculation on zones</b></p> <p>Project name: tabela400_500                      Simulation type: Illuminance</p> <p><b>Zone 0</b></p>  <p style="text-align: right;">VELUX Daylight Visualizer 2</p> <table border="1"> <tr> <td>Average illuminance</td> <td>Dav</td> <td>142.67</td> </tr> <tr> <td>Median illuminance</td> <td>Dm</td> <td>94.17</td> </tr> <tr> <td>Minimum illuminance</td> <td>Dmin</td> <td>40.77</td> </tr> <tr> <td>Maximum illuminance</td> <td>Dmax</td> <td>778.12</td> </tr> <tr> <td>Uniformity 1</td> <td>Dmin/Dav</td> <td>1 : 3.50 (0.29)</td> </tr> <tr> <td>Uniformity 2</td> <td>Dmin/Dmax</td> <td>1 : 19.08 (0.05)</td> </tr> </table>	Average illuminance	Dav	142.67	Median illuminance	Dm	94.17	Minimum illuminance	Dmin	40.77	Maximum illuminance	Dmax	778.12	Uniformity 1	Dmin/Dav	1 : 3.50 (0.29)	Uniformity 2	Dmin/Dmax	1 : 19.08 (0.05)	
Average illuminance	Dav	142.67																	
Median illuminance	Dm	94.17																	
Minimum illuminance	Dmin	40.77																	
Maximum illuminance	Dmax	778.12																	
Uniformity 1	Dmin/Dav	1 : 3.50 (0.29)																	
Uniformity 2	Dmin/Dmax	1 : 19.08 (0.05)																	

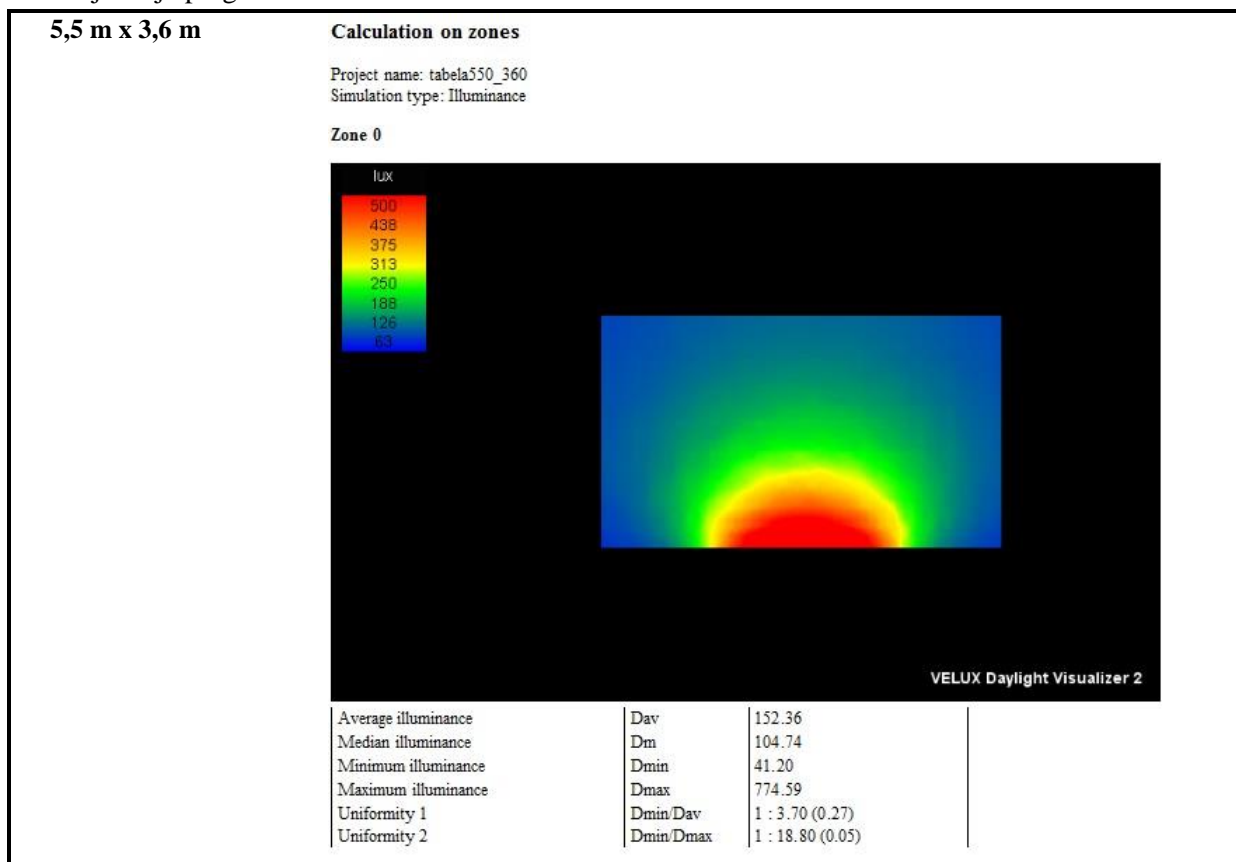
Preglednica se nadaljuje...

Nadaljevanje preglednice A 2

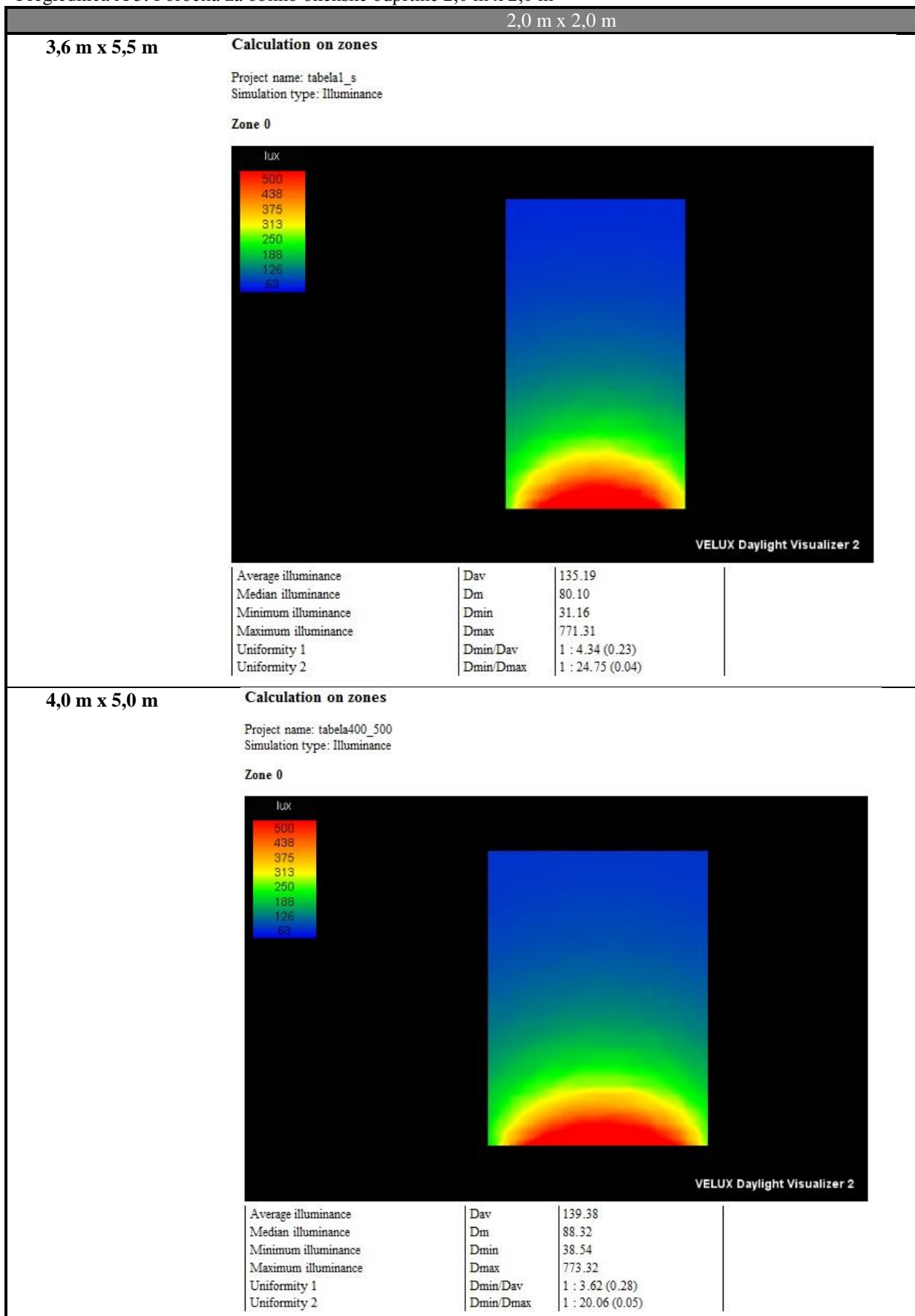


Preglednica se nadaljuje...

## Nadaljevanje preglednice A 2

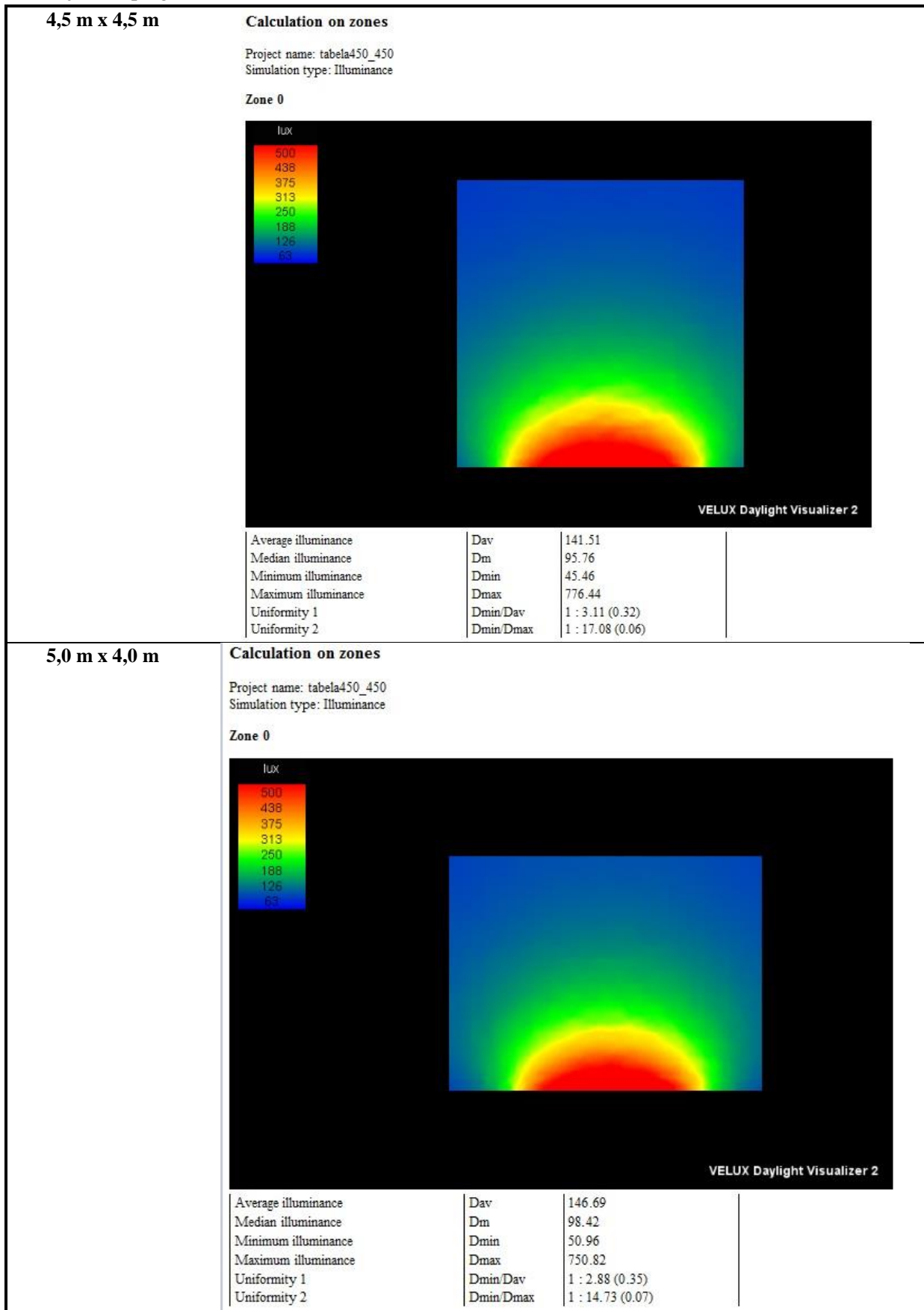


Preglednica A 3: Poročila za obliko okenske odprtine 2,0 m x 2,0 m



Preglednica se nadaljuje...

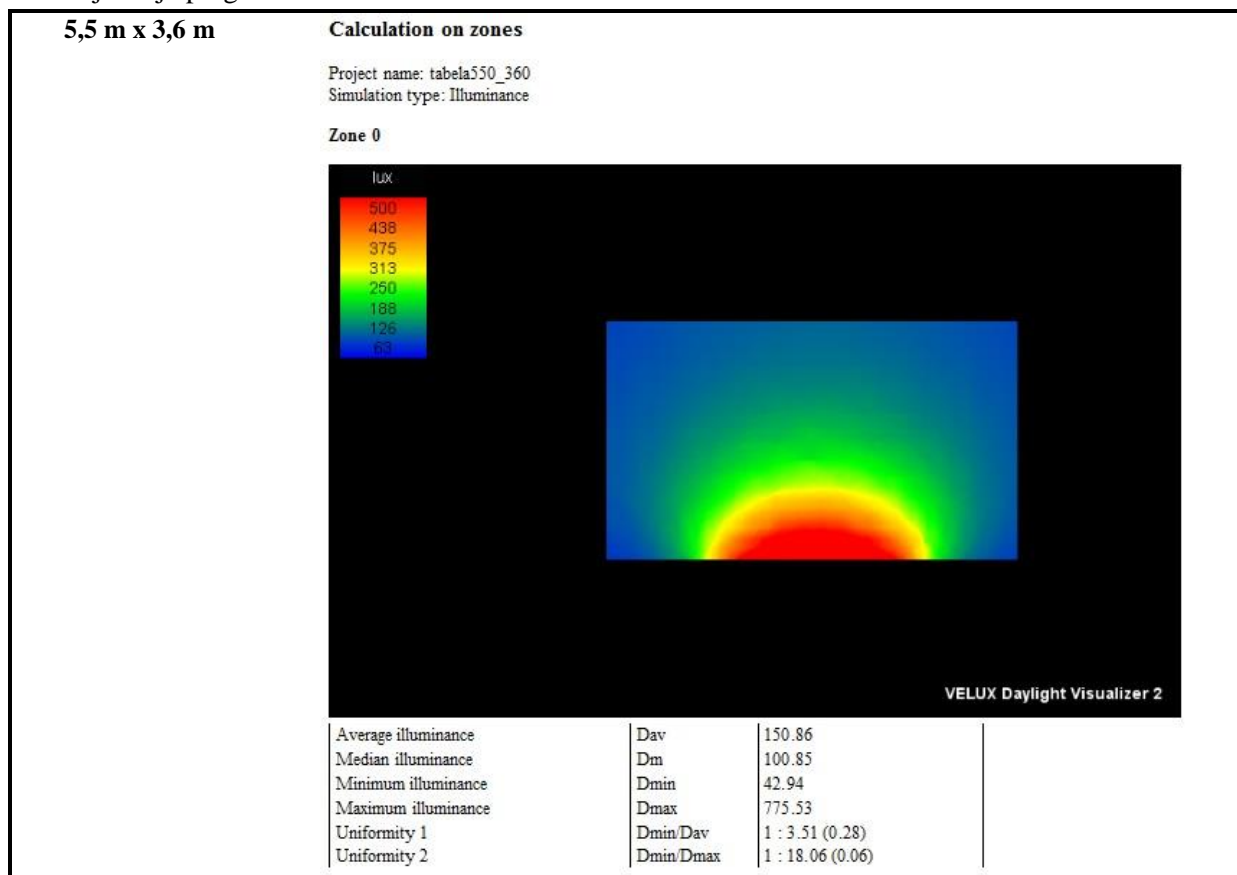
Nadaljevane preglednice A 3.



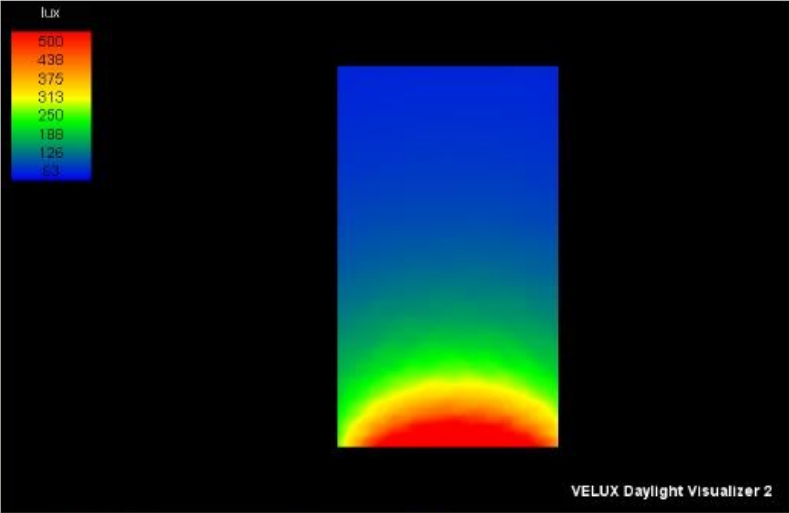
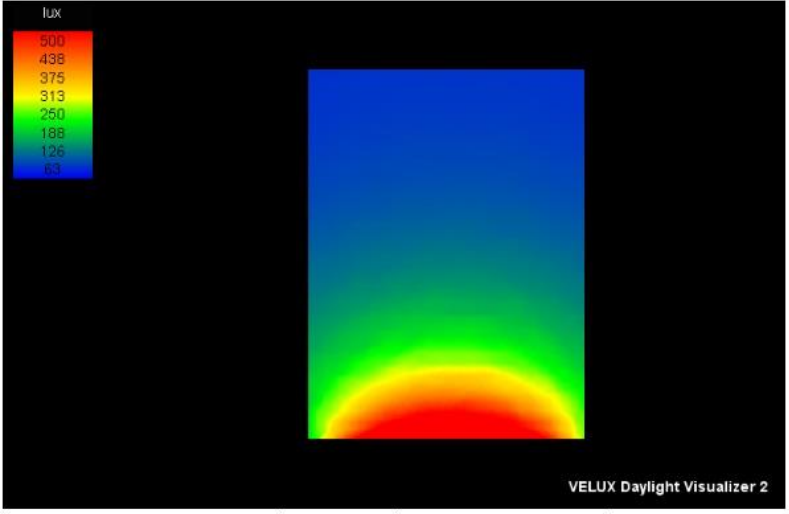
Preglednica se nadaljuje...



### Nadaljevanje preglednice A 3

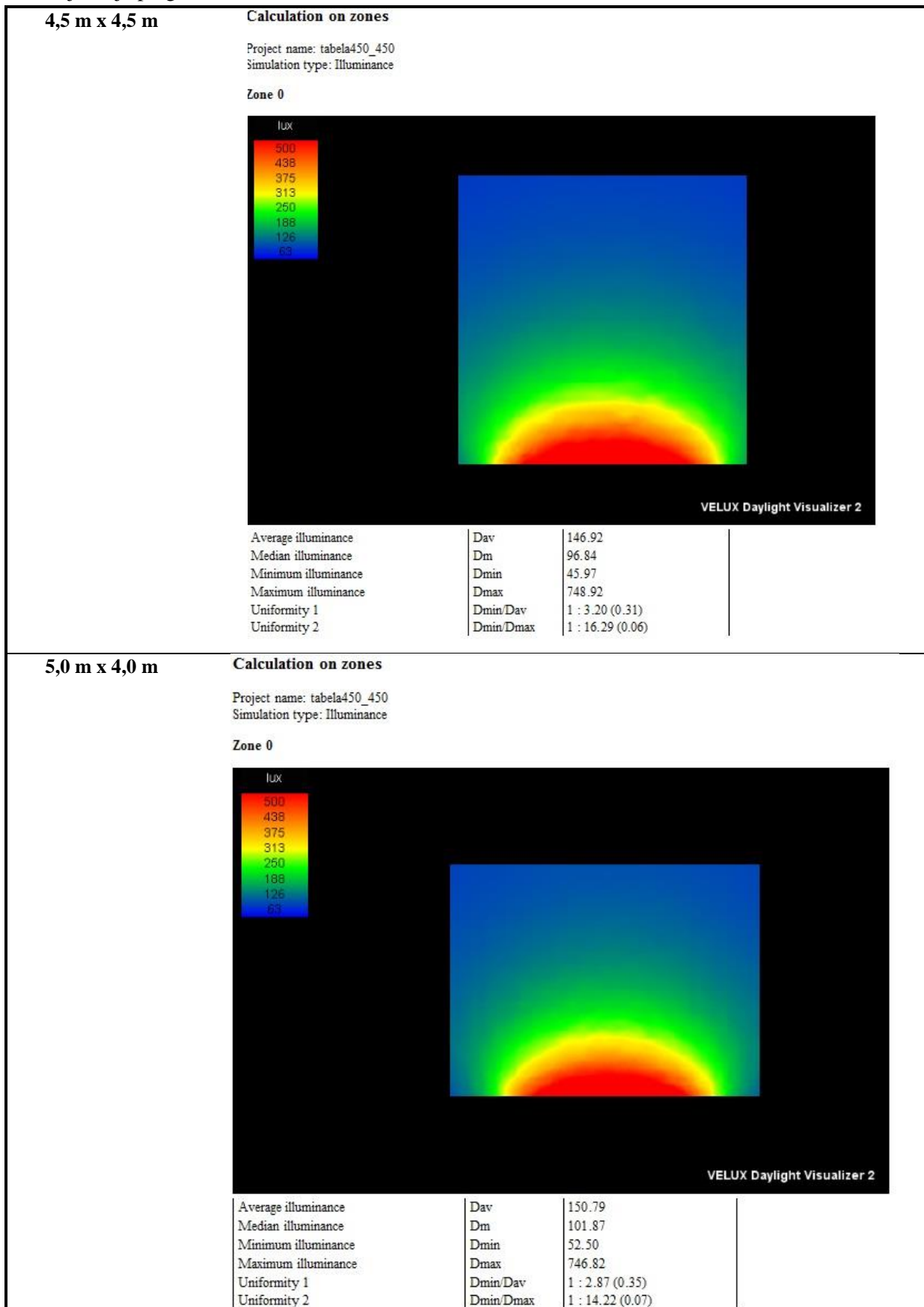


Preglednica A 4: Poročila za oblike okenske odprtine 1,7 m x 2,4 m

1,7 m x 2,4 m																			
<p><b>3,6 m x 5,5 m</b></p>	<p><b>Daylight Visualizer</b></p> <p><b>Calculation on zones</b></p> <p>Project name: tabela1_s                      Simulation type: Illuminance</p> <p><b>Zone 0</b></p>  <table border="1"> <tr> <td>Average illuminance</td> <td>Dav</td> <td>129.93</td> </tr> <tr> <td>Median illuminance</td> <td>Dm</td> <td>74.84</td> </tr> <tr> <td>Minimum illuminance</td> <td>Dmin</td> <td>29.67</td> </tr> <tr> <td>Maximum illuminance</td> <td>Dmax</td> <td>734.63</td> </tr> <tr> <td>Uniformity 1</td> <td>Dmin/Dav</td> <td>1 : 4.38 (0.23)</td> </tr> <tr> <td>Uniformity 2</td> <td>Dmin/Dmax</td> <td>1 : 24.76 (0.04)</td> </tr> </table>	Average illuminance	Dav	129.93	Median illuminance	Dm	74.84	Minimum illuminance	Dmin	29.67	Maximum illuminance	Dmax	734.63	Uniformity 1	Dmin/Dav	1 : 4.38 (0.23)	Uniformity 2	Dmin/Dmax	1 : 24.76 (0.04)
Average illuminance	Dav	129.93																	
Median illuminance	Dm	74.84																	
Minimum illuminance	Dmin	29.67																	
Maximum illuminance	Dmax	734.63																	
Uniformity 1	Dmin/Dav	1 : 4.38 (0.23)																	
Uniformity 2	Dmin/Dmax	1 : 24.76 (0.04)																	
<p><b>4,0 m x 5,0 m</b></p>	<p><b>Calculation on zones</b></p> <p>Project name: tabela400_500                      Simulation type: Illuminance</p> <p><b>Zone 0</b></p>  <table border="1"> <tr> <td>Average illuminance</td> <td>Dav</td> <td>143.25</td> </tr> <tr> <td>Median illuminance</td> <td>Dm</td> <td>89.72</td> </tr> <tr> <td>Minimum illuminance</td> <td>Dmin</td> <td>38.80</td> </tr> <tr> <td>Maximum illuminance</td> <td>Dmax</td> <td>755.15</td> </tr> <tr> <td>Uniformity 1</td> <td>Dmin/Dav</td> <td>1 : 3.69 (0.27)</td> </tr> <tr> <td>Uniformity 2</td> <td>Dmin/Dmax</td> <td>1 : 19.47 (0.05)</td> </tr> </table>	Average illuminance	Dav	143.25	Median illuminance	Dm	89.72	Minimum illuminance	Dmin	38.80	Maximum illuminance	Dmax	755.15	Uniformity 1	Dmin/Dav	1 : 3.69 (0.27)	Uniformity 2	Dmin/Dmax	1 : 19.47 (0.05)
Average illuminance	Dav	143.25																	
Median illuminance	Dm	89.72																	
Minimum illuminance	Dmin	38.80																	
Maximum illuminance	Dmax	755.15																	
Uniformity 1	Dmin/Dav	1 : 3.69 (0.27)																	
Uniformity 2	Dmin/Dmax	1 : 19.47 (0.05)																	

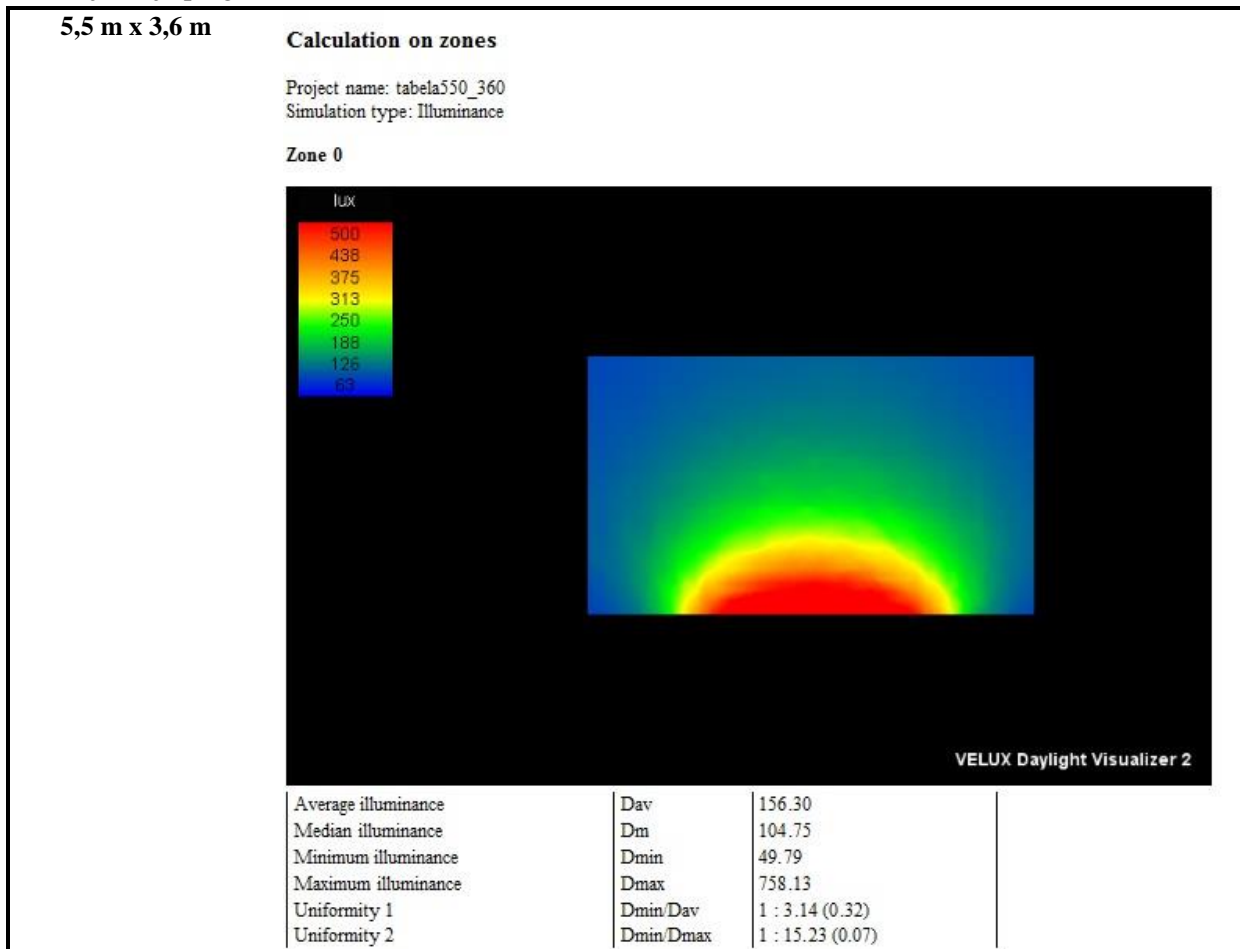
Preglednica se nadaljuje...

Nadaljevanje preglednice A 4

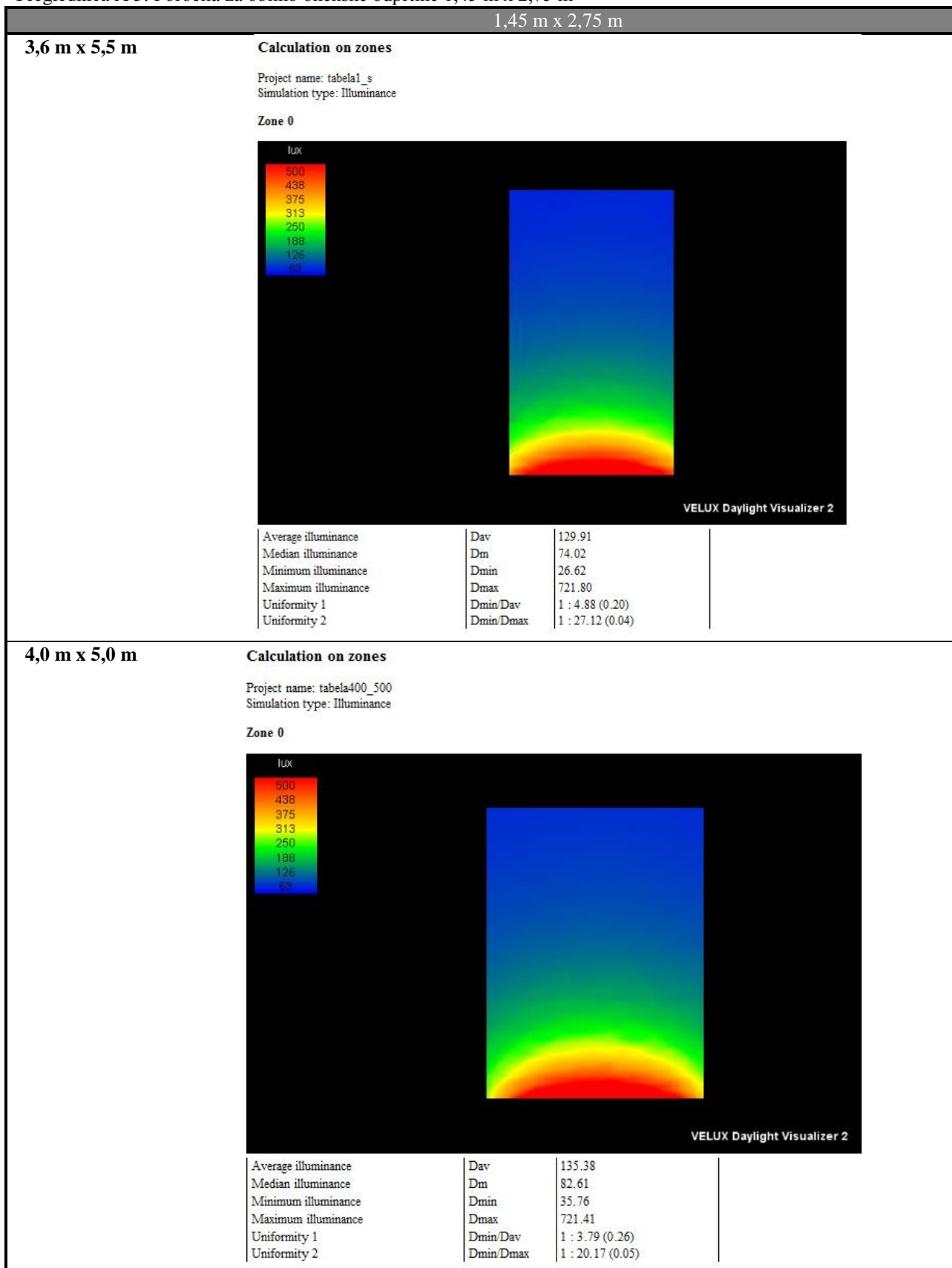


Preglednica se nadaljuje...

## Nadaljevanje preglednice A 4

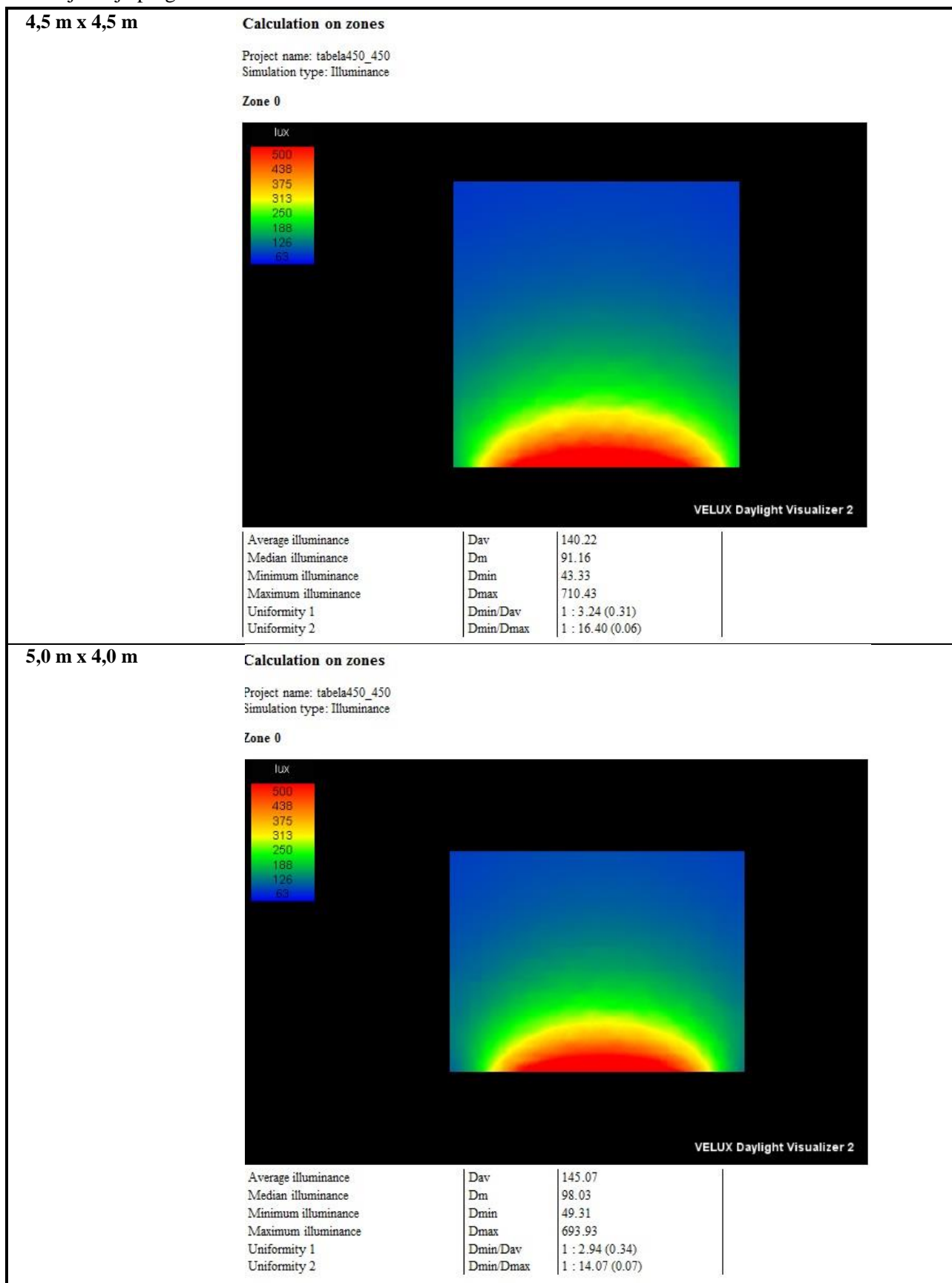


Preglednica A 5: Poročila za obliko okenske odprtine 1,45 m x 2,75 m



Preglednica se nadaljuje...

## Nadaljevanje preglednice A 5



Preglednica se nadaljuje...

### Nadaljevanje preglednice A 5

