

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:

Slobodnik, J., 2016. Vpliv naklona zasteklitve na osvetljenost prostorov. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M.): 29 str.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5894/>

Datum arhiviranja: 27-09-2016

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:

Slobodnik, J., 2016. Vpliv naklona zasteklitve na osvetljenost prostorov. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M): 29 pp.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5894/>

Archiving Date: 27-09-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

**UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVO**

Kandidat:

JAN SLOBODNIK

**VPLIV NAKLONA ZASTEKLITVE NA OSVETLJENOST
PROSTOROV**

Diplomska naloga št.: 259/B-GR

**THE INFLUENCE OF GLAZING INCLINATION ON
DAYLIGHT CONDITIONS**

Graduation thesis No.: 259/B-GR

Mentor:

doc. dr. Mitja Košir

Ljubljana, 20. 09. 2016

STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Spodaj podpisani študent Jan Slobodnik, vpisna številka 26109527, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Vpliv naklona zasteklitve na osvetljenost prostorov

IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

- a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
- b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: _____

Datum: _____

Jan Slobodnik

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK:	551.521.16: 628.9.021(043.2)
Avtor:	Jan Slobodnik
Mentor:	doc. dr. Mitja Košir
Naslov:	Vpliv naklona zasteklitve na osvetljenost prostorov
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	29 str., 18 pregl., 4 sl., 8 graf., 1 pril.
Ključne besede:	osvetljenost, vertikalno okno, strešno okno, količnik dnevne svetlobe KDS, enakomernost osvetljenosti

Izvleček

V diplomskem delu smo, ob upoštevanju minimalnih zahtev pravilnikov in standardov, ki obravnavajo osvetljevanje stanovanjskih prostorov z dnevno svetlobo, v programu DIALux analizirali vpliv spreminjanja naklona zasteklitve na osvetljenost hipotetičnega prostora (povprečna osvetljenost, količnik dnevne svetlobe KDS, količnik enakomernosti osvetljenosti U_0). Pri vsakem naklonu okna smo osvetljenost preverili za tri različne smeri (S, J, V) in tri tipe neba (CIE jasno, kombinirano in oblačno nebo). Hkrati smo za vsako spremembo naklona z natančnostjo $\pm 0,10$ odstotne točke določili površino transparentnega dela odprtine, ki omogoča ekvivalentno osvetljenost v primerjavi z izhodiščem. Z analizami opravljenih simulacij smo pokazali, da za doseg zadostnega nivoja osvetlitve prostora, strešne okenske odprtine ne potrebujejo tako velikih površin v primerjavi z vertikalno pozicioniranimi. Za optimizacijo Pravilnika o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj predlagamo zahteve, ki bi ločeno upoštevale vpliv vertikalne in strešne zasteklitve.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDK: 551.521.16: 628.9.021(043.2)

Author: Jan Slobodnik

Supervisor: doc. dr. Mitja Košir

Title: The influence of glazing inclination on daylight conditions

Document type: Graduation Thesis – University studies

Scope and tools: 29 p., 18 tab., 4 fig., 8 graph., 1 ann.

Keywords: illuminance, vertical window, roof window, daylight factor DF, illumination uniformity

Abstract

In this thesis, taking into account the minimum requirements of regulations and standards that address lighting of residential premises with daylight, software DIALux was used to analyze the impact of glazing inclination on the illuminance of a hypothetical space (average illuminance, daylight factor DF, illumination uniformity ratio U_0). For each window inclination, illuminance was calculated for three different orientations (N, S, E) and three sky types (CIE Clear, Averaged Intermediate and Overcast). Furthermore, we have determined with an accuracy of ± 0.10 percentage points, the appropriate glazing area for each window inclination that results in equivalent illuminance as in the case of the baseline. By analyzing the simulation results, we have shown that in order to achieve a sufficient level of illumination, roof window openings do not require such large areas as vertically positioned ones. To optimize the Rules on Minimum Technical Requirements for the Construction of Residential Buildings and Dwellings, we propose requirements that would separately take into account the impact of vertical and roof glazing.

ZAHVALA

Za vso pomoč, potrpežljivost in strokovno svetovanje pri nastajanju diplomskega dela se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Mitji Koširju.

Iskrena hvala dragi mami, očetu in teti za vso podporo in finančno pomoč pri študiju.

Zahvaljujem se tudi puncu, ki mi je vedno stala ob strani.

KAZALO VSEBINE

1 UVOD	1
1.1 Namen diplomske naloge	1
1.2 Hipoteze.....	1
2 IZHODIŠČA	2
2.1 Razlaga osnovnih pojmov	2
2.2 Zakonodajni okvir	3
2.3 Opis programske opreme.....	4
2.4 Pregled literature	4
3 METODA	7
3.1 Definiranje geometrije prostora in določitev dimenzij okenske odprtine.....	7
3.2 Postopek izračuna in predstavitve rezultatov	9
3.2.1 Izračun vpliva naklona zasteklitve na osvetljenost prostora v programu DIALux	10
3.2.2 Določitev površine transparentnega dela odprtine, ki omogoča ekvivalentno osvetljenost v primerjavi z izhodiščem	13
4 REZULTATI	14
4.1 Izračun vpliva naklona zasteklitve na osvetljenost prostora v programu DIALux.....	14
4.1.1 Primer 1	14
4.1.2 Primer 4	15
4.1.3 Primer 7	16
4.1.4 Izbrani rezultati za vse naklone zasteklitve	17
4.2 Določitev površine transparentnega dela odprtine, ki omogoča ekvivalentno osvetljenost v primerjavi z izhodiščem	22
5 UGOTOVITVE IN ZAKLJUČKI	26
VIRI	28

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Priporočene vrednosti refleksijskih koeficientov, podanih v SIST EN 12464-1:2011 [6]	3
Preglednica 2: Minimalni povprečni dnevni faktor osvetljenosti.....	4
Preglednica 3: Primer prikaza KDS_{av} za vse tri tipe oken (vir preglednice: [17]).....	5
Preglednica 4: Koristi dnevne osvetljenosti (vir preglednice: [19])	6
Preglednica 5: Prikaz prerezov prostora z različnimi nakloni oken	8
Preglednica 6: Podatki o obravnavanem prostoru	9
Preglednica 7: Priporočene vrednosti mrežnih točk [6].....	10
Preglednica 8: Vrste neba v programu DIALux [10].....	10
Preglednica 9: Primer povzetka rezultatov za Primer 1.....	11
Preglednica 10: Primer izpisa za Primer 1.....	12
Preglednica 11: Primer izpisa za Primera 1 in 2.....	12
Preglednica 12: Rezultati pravokotne moči osvetljenosti za Primer 1 (00°)	14
Preglednica 13: Rezultati pravokotne moči osvetljenosti za Primer 4 (45°)	15
Preglednica 14: Rezultati pravokotne moči osvetljenosti za Primer 7 (90°)	16
Preglednica 15: Izbrani rezultati za različne naklone zasteklitve	17
Preglednica 16: Prikaz rezultatov v obliki indeksov	21
Preglednica 17: Prikaz geometrije/površin okenskih odprtín za dosego osvetljenosti ekvivalentne izhodiščni.....	23
Preglednica 18: Relativne razlike površin in KDS-ja.....	24

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Prostorski prikaz osvetljenosti prostora	13
Grafikon 2: Prikaz nivoja osvetljenosti pri CIE oblačnem in jasnem tipu neba za vse vrste naklonov (21.3, ob 12.00)	18
Grafikon 3: Povprečne vrednosti osvetljenosti pri CIE jasnem nebu za orientaciji S/J	19
Grafikon 4: Prikaz površinske distribucije svetlobe pri CIE jasnem tipu neba z upoštevanjem direktne komponente sončnega sevanja.....	20
Grafikon 5: Prikaz površinske distribucija svetlobe pri CIE oblačnem tipu neba.....	20
Grafikon 6: Prikaz gibanja indeksa s stalno osnovo za CIE oblačen in jasen tip neba.....	22
Grafikon 7: Grafični prikaz sprememb površine P in KDS-ja v primerjavi za izhodiščno situacijo.....	24
Grafikon 8: Grafični prikaz gibanja enakomernosti osvetljenosti U_0	25

KAZALO SLIK

Slika 1: Konceptualni prikaz nekaterih osnovnih pojmov (vir slike: [2]).....	3
Slika 2: Prikaz simulacijskega modela telovadnice (vir slike: [18])	5
Slika 3: Perspektivni prikaz geometrije in osnovnih dimenzij analiziranega prostora.....	7
Slika 4: Lastnosti definirane delovne ravnine	9

» Ta stran je namenoma prazna«

1 UVOD

Dinamična narava dnevne svetlobe skozi dan oziroma leto, predstavlja številne izzive pri oblikovanju stavb, ki poskušajo izkoristiti čim več tega bogatega naravnega vira za izpolnjevanje zahtev osvetljenosti prostorov. Načrtovanje kvalitetne naravne osvetlitve pomeni med drugim preiščeno načrtovanje okenskih odprtín. Okno ne predstavlja le »šibkega člana« stavbnega ovoja, pri katerem je pomembna samo toplotna prehodnost, temveč je njegova lokacija v ovoju stavbe del energijske učinkovitosti, vizualne podobe stavbe in načina osvetljevanja notranjih prostorov. [12]

Ljudje večji del informacij zaznamo in dojemamo vizualno, torej preko naših oči, zato je izbira osvetlitve prostora zelo pomembna. Raziskave namreč dokazujejo, da naravna svetloba ugodno deluje na človeka, saj poveča njegovo produktivnost in udobje ter zagotavlja mentalno in vizualno stimulacijo, potrebno za urejene cirkadiane ritme (menjava spanja in budnosti, nihanje telesne temperature, krvnega tlaka itd.) [13] Primerno sinhronizacijo cirkadianih ritmov je možno doseči tudi z umetnimi viri, vendar ima naravna svetloba v konvencionalno oblikovanem okolju zaradi primerne spektralne sestave in primerne usmerjenosti (svetloba skozi okno vpada poševno na prejemnika) prednost pred umetno. [14, 15]

V splošnem lahko predvidevamo, da z dobro zasnovo prostorov večino potreb po svetlobi zagotovimo z dnevno svetlobo, kjer dnevna osvetlitev ne omogoča stalne in enakomerne razsvetljave, jo je treba zagotoviti z umetno ali uporabiti kombinacijo obeh. Poleg premalo svetlobe pa lahko predstavlja velik problem prekomerna osvetljenost, saj lahko povzroča prekomerno segrevanje, prekomerno osvetljenost, bleščanje, metanje motečih senc v prostor. Te težave se rešuje z namestitvijo zunanje ali notranje sončne zaščite. [16]

1.1 Namen diplomske naloge

V diplomski nalogi želimo analizirati vpliv spreminjanja naklona zasteklitve na osvetljenost prostora. Za vsako spremembo naklona bomo poskušali določiti površino transparentnega dela odprtine, ki omogoča ekvivalentno osvetljenost v primerjavi z izhodiščem. V sklopu analize bomo hkrati preverili, kako na osvetljenost pri različnih naklonih vpliva sprememba orientacije prostora. Parametrično študijo bomo izvedli pri konstantnih pogojih kot so: lokacija, datum in čas, tip zasteklitve, odbojnost notranjih površin in dimenzije prostora.

Zanima nas tudi kakšno je zakonodajno stanje v Sloveniji in drugje po Evropi, ki predpisuje količino potrebne dnevne svetlobe v prostorih. Z upoštevanjem trenutno veljavnih minimalnih tehničnih zahtev evropskih standardov pri izdelavi diplomske naloge, bomo na podlagi analize izsledkov podali kritično oceno.

1.2 Hipoteze

1. *Bolj kot je osvetljena horizontalna površina, večja je enakomerost distribucije svetlobe po prostoru.*
2. *Z nagibanjem strešnih oken, je za dosego enakovredne osvetljenosti prostora v primerjavi z izhodiščem potrebna vedno manjša površina zasteklitve*
3. *Določila Pravilnika o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stab in stanovanj [5], ki določajo, da je neposredna osvetlitev dosežena, če skupna površina obdelanih zidarskih odprtín namenjenih osvetlitvi, dosega najmanj 20% neto tlorisne površine prostora, niso primerna za določevanje površine strešnih odprtín.*

2 IZHODIŠČA

Prostor, ki smo ga obravnavali, se nahaja v Ljubljani. Najprej smo definirali preprosto geometrijo in materiale. Dimenzije so 7/5/3 [m], tla so lesena (parket), strop in stene so obdelane s finim ometom bele barve. Za prepuščanje naravne svetlobe v prostor smo dodali okno dimenzij 4/1,75 [m]. Površina zasteklitve odgovarja 20% neto tlorisne površine (upoštevali smo 14. člen Pravilnika o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj) [5]. Okno smo nato po korakih za 15° nagibali v vertikalni smeri, dokler ni ležalo povsem horizontalno.

Pri vsakem naklonu okna smo osvetljenost preverili za tri različne orientacije prostora in sicer za smeri S, J in V. Postopek smo izvedli za CIE (Commission Internationale de 'Eclairage – Mednarodna komisija za razsvetljavo) oblačen, kombiniran in jasen tip neba

Za vsako spremembo naklona smo nato z natančnostjo $\pm 0,10$ odstotne točke, določili površino transparentnega dela odprtine, ki omogoča ekvivalentno osvetljenost v primerjavi z izhodiščem. Pri tem smo se navezovali na količnik dnevne svetlobe KDS kot merilo kvalitete dnevne naravne osvetlitve.

S programom DIALux [9] smo tako za različne naklone okna, orientacijo prostora in tipe neba izvedli 84 izhodiščnih simulacij in nato pri iskanju optimalne velikosti odprtine, še nadaljnih 20 simulacij osvetljenosti prostora na standardni delovni ravnini.

2.1 Razlaga osnovnih pojmov

Svetloba = transversalno, elektromagnetno sevanje z valovnimi dolžinami od približno 380-400 nm do približno 760-780 nm, ki so vidne za človeško oko. Spektralne barve so v takih razmerjih, da nobena od njih fiziološko ne prevlada nad drugo. Ta del sevanja se imenuje optično sevanje. [3]

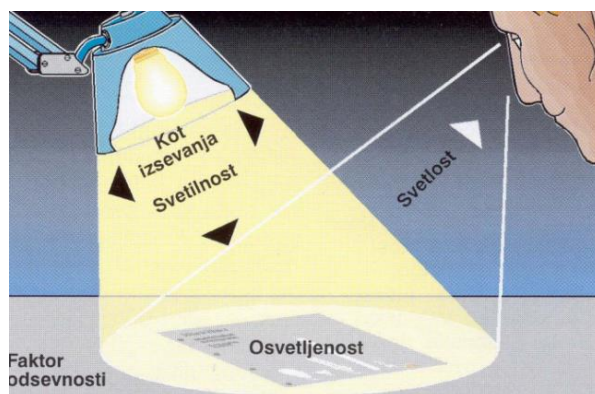
Svetlost (L) = edina svetlobnotehnična veličina, ki jo človeško oko zaznava direktno (Slika 1). Predstavlja količnik svetlobe, ki jo naše oko zazna iz določenega zornega kota. Enota je kandela na kvadratni meter cd/m^2 . [2]

Svetlobni tok (P) = predstavlja moč sevanja, ki ga oddaja vir svetlobe v vseh smereh. Enota za svetlobni tok je lumen (lm). [3]

Delovna ravnina = navidezna horizontalna površina, na kateri se praviloma opravlja neko delo (standardna delovna ravnina je 0,85 m od tal)

Količnik dnevne svetlobe (KDS) = je kazalnik, s katerim ocenjujemo kakovost naravne osvetlitve. Je v odstotkih izraženo razmerje med osvetlitvijo izbrane točke v prostoru in osvetljenostjo zunanje vodoravne nesenčene ravnine. [4]

Osvetljenost (E) = 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 (Slika 1). Enota osvetljenosti je lux (lx). Dobimo jo z vpadom svetlobnega toka 1 lumna na ploskev 1 m^2 . [1]



Slika 1: Konceptualni prikaz nekaterih osnovnih pojmov (vir slike: [2])

2.2 Zakonodajni okvir

Področje regulative predpisuje s Pravilnikom o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj, UR.1. RS, št. 125/03, predpisuje minimalno površino oken namenjenih osvetlitvi. Skupna površina obdelanih zidarskih odprtin (pri tem se upošteva samo tisti del odprtine, ki je več kakor 0,5 metra nad gotovim podom) obravnavanega prostora, mora dosegati najmanj 20% njegove tlorisne površine. [5]

14. člen tega Pravilnika omejuje globino prostora, kadar je del stanovanja naravno osvetljen le z ene strani. V primeru neposredne naravne osvetlitve, njegova globina ne sme meriti več kot tri svetle višine prostora. Skupna globina neposredno in posredno osvetljenega prostora, ki sta osvetljena le z ene strani, ne sme meriti več kot tri svetle višine neposredno osvetljenega prostora.

Prvi odstavek 12. člena predpisuje minimalno svetlo višino stanovanjskih prostorov, ki znaša 2,5 metra. [5]

Pri določanju odbojnosti glavnih površin interierja smo upoštevali priporočila standarda SIST EN 12464-1:2011. Svetloba in razsvetljava, 4. člen: odbojnost površine. [6]

Preglednica 1: Priporočene vrednosti refleksijskih koeficientov, podanih v SIST EN 12464-1:2011 [6]

SIST EN 12464-1:2011	
Strop	0,7 do 0,9
Stene	0,5 do 0,8
Tla	0,2 do 0,4
Delovne površine	0,2 do 0,7

Standard SIST EN 12464-1:2011 predpisuje tudi priporočene vrednosti za osvetljenost na delovnih mestih oz. v delovnih prostorih. Odločili smo se, da za minimalno zahtevano vrednost privzamemo 300 lx, saj se le-ta navezuje na vizualno manj zahtevna opravila. [6] Čeprav naš prostor po namenu in dimenzijah bolj služi stanovanjskim potrebam, pa v njem večinoma opravljamo vizualno nezahtevna opravila, zato smo s tem smiselno uporabili enako priporočilo.

Za priporočila oziroma minimalne zahteve glede količnika dnevne svetlobe KDS (preglednica 2), smo se oslonili na britanski standard BS 8206-2:2008. Lighting for buildings – Part 2: Code of practice for daylighting. [7]

Preglednica 2: Minimalni povprečni dnevni faktor osvetljenosti

Tip prostora	Minimalni povprečni količnik dnevne svetlobe (%)
Spalnica	1
Dnevna soba	1,5
Kuhinja	2

Oprišli smo se tudi na faktor enakomernosti osvetljenosti U_0 , ki je definiran kot razmerje med minimalno in povprečno osvetljenostjo, izmerjeno v določenem prostoru. Standard SIST EN 12464-1:2011 predpisuje različne vrednosti glede na namembnost prostora, v primeru, da le-ta ni izrecno definirana, dovoljuje uporabo splošnega priporočila: $U_0 \geq 0,4$. [6]

V splošnem velja, da je distribucija svetlobe po prostoru tem enakomernejša, bolj kot se s faktorjem U_0 približamo vrednosti 1,0.

2.3 Opis programske opreme

DIALux (verzija 4.12) [9] je programska oprema, ki omogoča preprost in učinkovit izračun, vizualizacijo, načrtovanje in dokumentiranje projekta umetne razsvetljave in dnevne osvetljenosti. Pri analizah smo se omejili na dnevno oz. naravno svetlobo. Za izračun dnevne osvetljenosti je potrebno določiti parametre kot so: lokacija objekta, čas in datum, geometrija prostora, oblika in lastnosti odprtih površin, površinski parametri, lastnosti materialov itd.. Program izračuna in predstavi rezultate simulacije v obliki grafičnih izhodnih podatkov, ki so statični (slika) ali numeričnih rezultatov (preglednica). Osvetljenost se izračuna na vseh površinah elementov ter na delovni ravnini, ki jo sami določimo. Možna je tudi izvedba ocene porabe električne energije zaradi uporabe umetne razsvetljave v notranjih prostorih. Prosto je dostopen na spletni strani <http://www.dial.de/DIAL/en/dialux-international-download.html>.




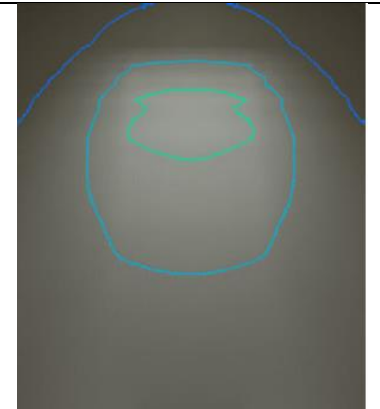
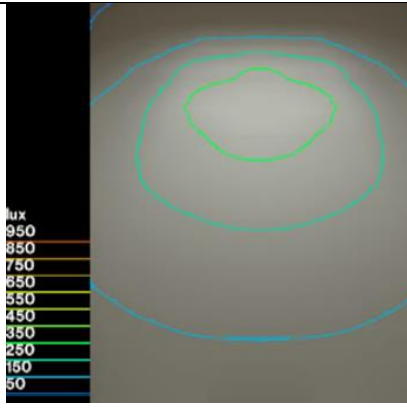
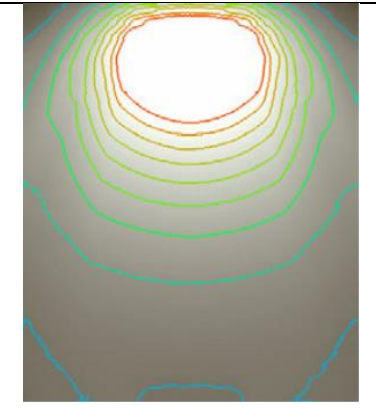
Ker lahko v programu DIALux [9], pri oblikovanju obravnavanega prostora, vpišemo le okna, ki ležijo v horizontalni oz. vertikalni ravnini, sem si pri izdelavi 3D modelov dodatno pomagal s programom Archicad 18 [11]. Gre za programsko opremo podjetja Graphisoft, primarno namenjeno arhitekturnemu BIM projektiranju, za uporabo študentske licence pa je potrebna brezplačna registracija na portalu <http://www.myarchicad.com>.

2.4 Pregled literature

Preden sem se lotil lastnih analiz, sem izvedel manjši pregled že obstoječe tuje literature, predvsem znanstvenih člankov, na temo osvetljenosti prostorov z naravno svetlobo. Članki, ki so se mi zdeli zanimivi, so na kratko povzeti v nadaljevanju.

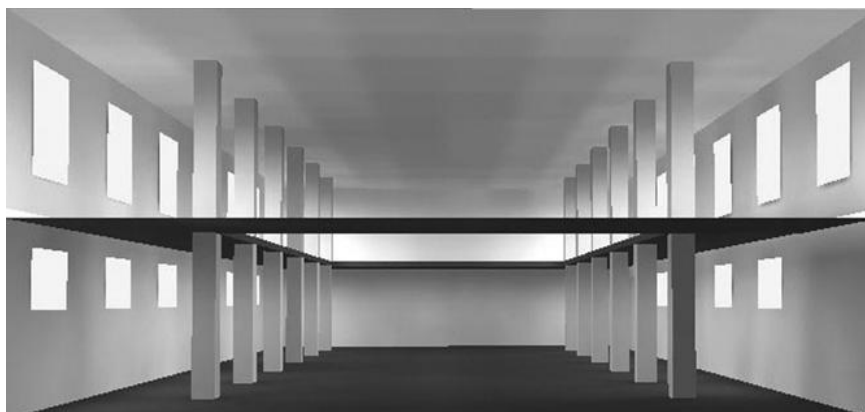
V članku »Impact of three window configurations on daylight conditions« [17], so raziskovalci na Danskem inštitutu za gradnjo in urbani razvoj, predstavili rezultate študije vpliva treh različnih konfiguracij okenskih odprtih (Preglednica 3) na osvetlitev prostora z naravno svetlobo. Kot orodje za analizo je bil uporabljen sistem Radiance Lighting Simulation System, vključen v program AutoCAD Desktop. Študija je bila izvedena v treh identičnih prostorih, z južno orientacijo okenskih odprtih, tako za oblačno kot jasno vreme.

Preglednica 3: Primer prikaza KDS_{av} za vse tri tipe oken (vir preglednice: [17])

Mansardno okno	Navadno, vertikalno okno	Navadno, strešno okno
		
		
$KDS_{av} = 0,83\%$	$KDS_{av} = 1,37\%$	$KDS_{av} = 2,85\%$

Povprečni količnik dnevne svetlobe, izmerjen na delovni ravni 0,7 m od tal, je bil pri strešnem oknu dvakrat večji v primerjavi z vertikalnim oknom in več kot trikrat večji v primerjavi z mansardnim. V splošnem je videti, da strešno okno ponuja, v primerjavi z vertikalnim oz. mansardnim, višjo stopnjo vizualnega ugodja, saj je svetloba sestavljena tudi iz bistveno večjega razpona vrednosti količnika dnevne svetlobe. Izsledki študije so torej pokazali, da konfiguracija okna občutno vpliva tako na intenzivnost kot na distribucijo dnevne svetlobe po prostoru.

Avtorja članka »Dynamic simulation and analysis of daylighting factors for gymnasiums in mid-latitude China« [18], Yang Zhao in Hongyuan Mei, sta s študijo osvetljenosti dvonastropne športne telovadnice (slika 2), ocenila relativni vpliv različnih dejavnikov pri načrtovanju osvetlitve notranjih prostorov z dnevno svetlobo.



Slika 2: Prikaz simulacijskega modela telovadnice (vir slike: [18])

S pomočjo programa DIALux sta ugotovila, da so najpomembnejši faktorji, ki vplivajo na kvaliteto osvetljenosti geografska širina lokacije, datum, položaj okna na ovoju stavbe, koeficient prepustnosti zasteklitve, višina stavbe ter njena globina. Med dejavnike, ki predstavljajo manjši vendar v splošnem še vedno pomemben vpliv, pa so med drugim uvrstili reflektivnost površin (zasteklitev, stena, strop, tla), orientacijski koeficient, redukcijski faktor zaradi zunanjih ovir ter čistost površin. Prav tako sta prišla do spoznanja, da je za doseg ekvivalentne osvetljenosti prostora, potrebna skoraj polovica manjša površina oken, ki ležijo na stropu prostora, v primerjavi s stenskimi.

V članku »Effect of daylighting on student health and performance« [19] so avtorji M. Elmira, N. Lukman in M. Surat predstavili študijo vpliva dnevne svetlobe na zdravje, psihično počutje in uspešnost učencev v šolah (preglednica 4). Namen prispevka je bil predvsem zagotoviti arhitektom, gradbenikom in raziskovalcem dodatne informacije pri razumevanju pomembnosti učinka dnevne svetlobe na učence.

Preglednica 4: Koristi dnevne osvetljenosti (vir preglednice: [19])

Improved			Reduced	
Health	Psychological	Learning achievement	Health	Psychological
Vitamin D	Mood	Learning	Headache	Depression
Student's vision	Cheerful	Math	Cancer	Fatigue
Calcium absorption	Student attendance	Student attendance	Stomach ulcers	Seasonal affective disorder
Bone formation	Sleep	Test score	High blood pressure	Violent behaviour
Biological clock			Stress	Stress
			Microbes	Security

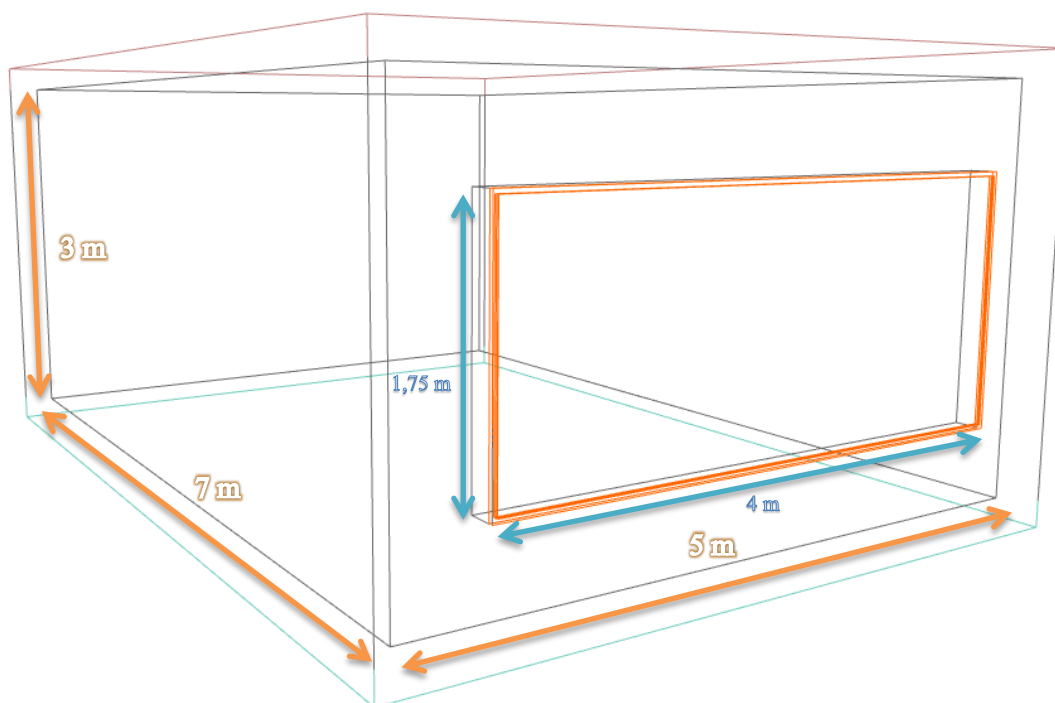
Gre za članek, ki povzema raziskave opravljene na različnih šolah po ZDA na isto temo. Izsledki so pokazali, da se tako učenci kot učitelji veliko boljše počutijo v naravno osvetljenih prostorih, okolje je manj stresno, prav tako je večja kvaliteta poučevanja. Zanimiva je tudi primerjava večletnih rezultatov testov branja in matematike med učenci v šolah, ki kot vir osvetlitve notranjih prostorov uporabljajo v večini naravno svetlobo, napram tistim, ki uporabljajo le umetno razsvetljavo. Pri učencih, ki so pri pouku v naravno osvetljenih učilnicah, se je pokazal 8 oziroma kar 13 odstotkov večji učni napredek pri predmetih.

3 METODA

V tem poglavju bomo podrobneje opisali metodo, uporabljeno za izračun simulacij osvetlitve notranjega prostora. Analizo, s pomočjo katere smo preverili zastavljeni hipotezi predstavljeni v uvodnem poglavju, smo zaradi lažjega sledenja izračunov in večje preglednosti rezultatov sistematično sestavili po korakih.

3.1 Definiranje geometrije prostora in določitev dimenzij okenske odprtine

Definirali smo prostor za analizo v tlorisni izmeri 35 m^2 (širina 5 m in globina 7 m), višine 3 m (slika 3). Razmerje med globino in višino prostora je bilo 2,3:1. Pri oblikovanju prostora smo se oprli na 12. in 14. člen Pravilnika o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj, ki sta podrobneje opisana v poglavju 1.4..



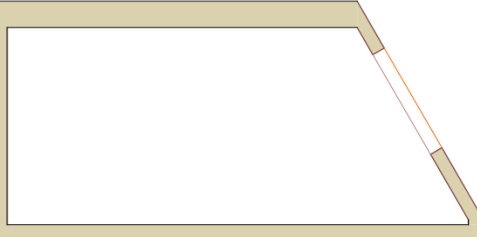
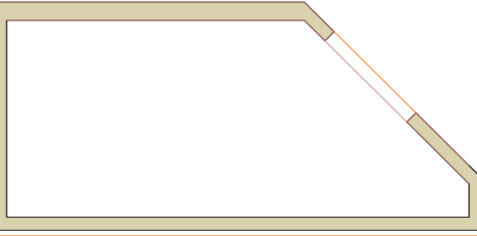
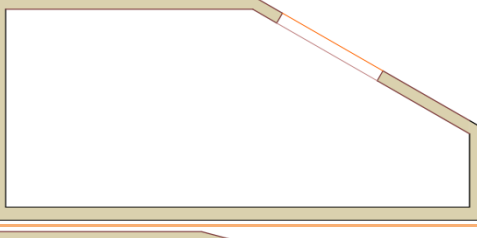
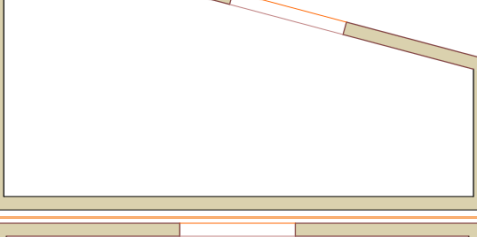



Slika 3: Perspektivni prikaz geometrije in osnovnih dimenzij analiziranega prostora

Pri določitvi dimenzij okenske odprtine smo se odločili za pravokotno obliko (dolžina 4 m in višina 1,75 m). Hkrati smo bili pozorni, da je tlorisna površina ustrezala točno dvajsetim odstotkom neto tlorisne površine obravnavanega prostora. [5]

Sledila je izdelava sedmih 3D modelov z različnimi nakloni oken v programu Archicad. Izhodiščna pozicija je bila vertikalna (00°), nato pa smo po korakih, za 15° nagibali okno, dokler le-to ni ležalo povsem horizontalno. Z istočasnim pomikanjem okenske odprtine proti notranjosti, smo se tako iz izhodiščne vertikalne lege pomaknili v horizontalno lego z oknom nad središčem prostora (preglednica 5).

Preglednica 5: Prikaz prerezov prostora z različnimi nakloni oken

Prerez prostora	Oznaka	Naklon zasteklitve
	Primer 1	00°
	Primer 2	15°
	Primer 3	30°
	Primer 4	45°
	Primer 5	60°
	Primer 6	75°
	Primer 7	90°

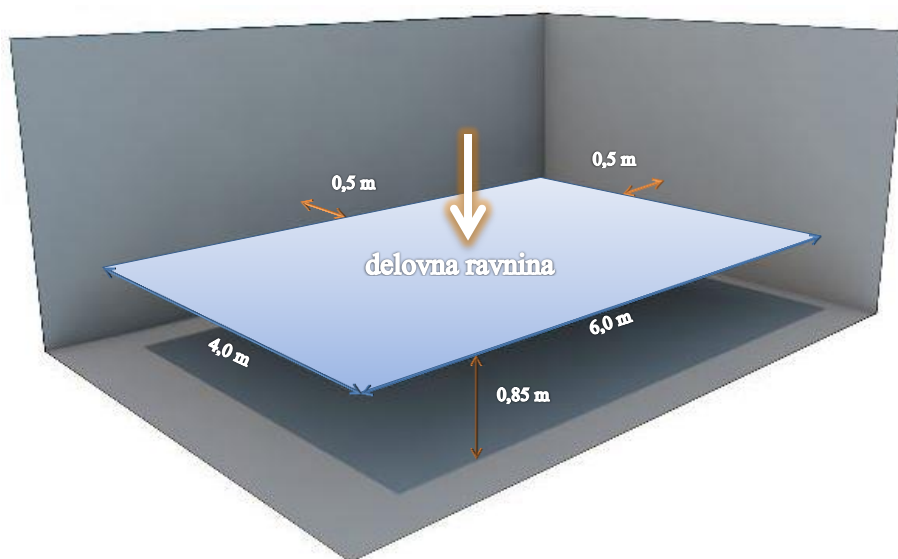
3.2 Postopek izračuna in predstavitve rezultatov

Vse simulacije so bile opravljene pri konstantnih robnih pogojih, ki so navedeni v preglednici 6.

Preglednica 6: Podatki o obravnavanem prostoru

OSNOVNI PODATKI	
Lokacija	Ljubljana (46,0° S in 14,5° V)
Datum	21. marec
Čas	12.00
Lastnosti oken	
Refleksijski koeficient	6%
Prozornost	65%
Hrapavost površin	0%
Lastnosti sten	
Refleksijski koeficient	70%
Prozornost	0%
Hrapavost površin	0%
Lastnosti tal	
Refleksijski koeficient	30%
Prozornost	0%
Hrapavost površin	0%
Lastnosti stropa	
Refleksijski koeficient	80%
Prozornost	0%
Hrapavost površin	0%

Površina za izračun oz. standardna delovna ravnina, je bila dvignjena na višino 0,85m od tal in odmaknjena 0,5m od sten prostora. Pas okoli sten predstavlja neposredno okolico in ga lahko po standardu SIST EN 12464-1:2011 [6] izključimo iz izračuna. Njene dimenzije so bile 4 x 6 m (slika 4), zanimala pa nas je pravokotna moč osvetljenosti na tej ravnini.



Slika 4: Lastnosti definirane delovne ravnine

Za izpis rezultatov simulacij osvetljenosti prostora je bila uporabljena mreža 40 x 60 (skupaj 2400) točk, tako je bil razmak med posameznimi točkami 0,1 m. Izbira je v skladu s priporočili standarda SIST EN 12464-1:2011 [6] podanih v preglednici 7, ki navaja količino in razmak mrežnih točk na delovni ravnini, glede na dolžino prostora:

Preglednica 7: Priporočene vrednosti mrežnih točk [6]

Dolžina prostora (m)	Maksimalna dolžina med točkami (m)	Minimalna količina točk
0,40	0,15	3
0,60	0,20	3
1,00	0,20	5
2,00	0,30	6
5,00	0,60	8
10,00	1,00	10
25,00	2,00	12
50,00	3,00	17
100,00	5,00	20

3.2.1 Izračun vpliva naklona zasteklitve na osvetljenost prostora v programu DIALux

V programu DIALux [9] lahko izbiramo med tremi projektnimi vrstami neba in sicer oblačnim, kombiniranim in jasnim (preglednica 8). Pri jasnem vremenu smo izkoristili dodatno možnost izračuna direktne komponente sončnega sevanja, saj nas je zanimala dejanska moč sonca kot svetlobnega vira.

Preglednica 8: Vrste neba v programu DIALux [10]

	Oblačno nebo	Kombinirano nebo	Jasno nebo
CIE ime	Oblačno nebo (Overcast sky)	Kombinirano vmesno nebo (Averaged intermediate sky)	Jasno nebo (Clear sky)
Vreme	Popolnoma oblačno nebo, rotacijsko, simetrično porazdeljena svetilnost	Povprečne vremenske razmere	Jasno, brez oblakov
Možnost direktnega sončnega sevanja	Ne	Ne	Da

Prvotna orientacija okna je bila proti jugu, dodatno pa smo preverili še severno in vzhodno. Njena sprememba bo vidna le pri CIE kombiniranem in CIE jasnem nebu ter pri izračunu osvetljenosti, pri rezultatih količnika dnevne svetlobe KDS orientacija nima vpliva.

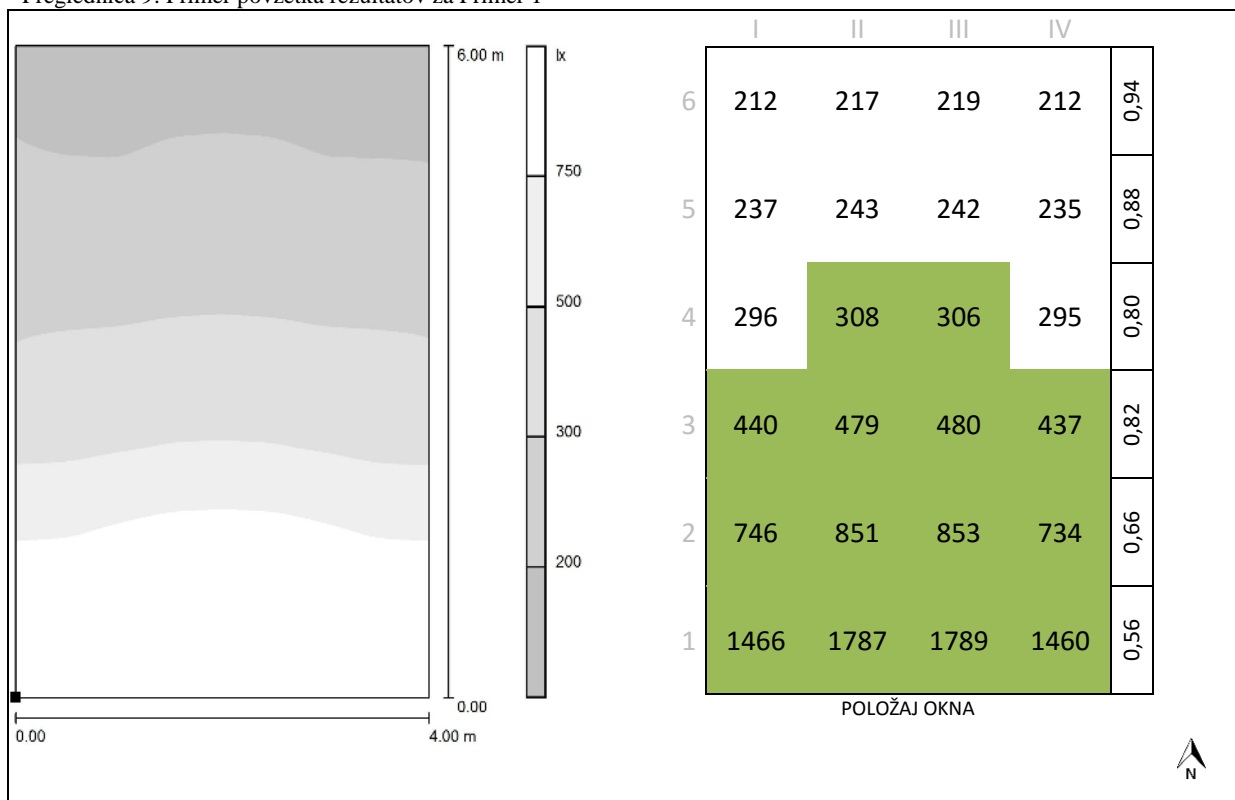
Da bi naredili analize bolj pregledne, smo najprej na kratko ločeno predstavili in analizirali primere predstavljene v preglednici 5. Za potrebe diplomske naloge, smo se v prvem delu omejili le na simulacije izvedene pri CIE oblačnem nebu, ki je tudi osnovni model svetlosti neba pri določevanju kakovosti naravne osvetlitve prostorov v stavbah.

Naj omenim, da smo za predstavitev izračunov simulacij uporabili metodo, kot študent Jure Lovšin v diplomski nalogi »Vpliv odprtih na osvetljevanje prostorov« [20]. Na podlagi vseh izračunanih 2400 točk na standardni delovni ravnini, smo tako z vstavitvijo rezultatov v MS Excel, izračunali povprečno

osvetljenost (v luksih) prostora za vsak kvadratni meter delovne ravnine posebej. Vsakega, ki je ustrezal zahtevam standarda SIST EN 12464-1:2011 [5], smo označili (obarvali). Desni pas števil označuje količnik enakomernosti osvetljenosti U_0 prostora po pasovih širine enega metra. Preglednico smo dodatno opremili s podatkom o minimalni zahtevani in dejanski povprečni vrednosti osvetljenosti ter drugimi osnovnimi podatki analize (preglednica 10).

Program DIALux [9] omogoča poleg predstavitve rezultatov v obliki preglednice, tudi grafičen prikaz osvetljenosti v obliki izolinij oziroma lestvice sivin. Pri obeh je lahko mogoče nazorno razbrati distribucijo svetlobe na obravnavani delovni ravnini, za prikaz pa smo uporabili lestvico sivin (preglednica 9).

Preglednica 9: Primer povzetka rezultatov za Primer 1



Minimalna zahteva osvetljenosti:

300 lx

Povprečna osvetljenost prostora:

606 lx

Kraj/Datum/Čas:

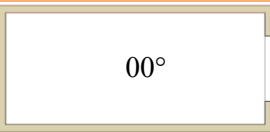
Ljubljana/21.marec/12.00

Tip neba:

CIE oblačno nebo

V nadaljevanju smo se odločili, da rezultate simulacij za vseh sedem vrst naklonov združimo v skupno preglednico (preglednica 10). Poleg CIE oblačnega neba, smo tokrat v analizo vključili še CIE jasno nebo, z upoštevanjem možnosti direktnega sončnega sevanja. Zanimala sta nas torej oba ekstrema, tako prijetna difuzna svetloba, ki izrisuje »mehke« sence v prostoru, kot neposredna svetloba, kjer razlike v svetlosti običajno delujejo bolj »trdo«.

Preglednica 10: Primer izpisa za Primer 1

Naklon zasteklitve	Oznaka	Orientacija								
		S			J			V		
 00°	Primer 1	A ₁ [%]	B ₁ [lx]	C ₁ [lx]	A ₂ [%]	B ₂ [lx]	C ₂ [lx]	A ₃ [%]	B ₃ [lx]	C ₃ [lx]
		4,05	606	636	4,05	606	7915	3,99	587	958

LEGENDA

A_{1,2,3} = Povprečni količnik dnevne svetlobe za oblačno vreme, KDS_{av} [%]

B_{1,2,3} = Povprečna osvetljenost prostora pri oblačnem vremenu, E_{av} [lx]

C_{1,2,3} = Povprečna osvetljenost prostora pri jasnem vremenu z neposredno svetlobo, E_{av,nep.} [lx]


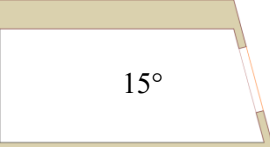
Poleg samih vrednosti osvetljenosti v posameznih točkah, nas je bolj zanimalo predvsem spreminjanje količine osvetljenosti glede na izhodiščni primer. Za lažjo primerjavo istovrstnih podatkov, smo tako sestavili dodatno preglednico (preglednica 11) z relativnimi vrednostmi in sicer v obliki indeksov s stalno osnovo (za osnovo smo vzeli rezultate izhodiščnega primera). Indeksi jasno prikazujejo rast količine osvetljenosti za vsako spremembo naklona. Preprost obrazec, ki je bil uporabljen za izračun:

$$I_{j/0} = \frac{Y_j}{Y_0} \quad (1)$$

Y_j...podatek, ki ga primerjamo (Primeri 2,3,4,5,6,7)

Y₀...podatek na katerega primerjamo oz. osnova indeksa (Primer 1)

Preglednica 11: Primer izpisa za Primera 1 in 2

Naklon zasteklitve	Oznaka	Orientacija								
		S			J			V		
 00°	Primer 1	A ₁ [%]	B ₁ [lx]	C ₁ [lx]	A ₂ [%]	B ₂ [lx]	C ₂ [lx]	A ₃ [%]	B ₃ [lx]	C ₃ [lx]
		1	1	1	1	1	1	1	1	1
 15°	Primer 2	A ₁ [%]	B ₁ [lx]	C ₁ [lx]	A ₂ [%]	B ₂ [lx]	C ₂ [lx]	A ₃ [%]	B ₃ [lx]	C ₃ [lx]
		2,47	2,54	1,93	2,47	2,54	2,69	2,51	2,61	3,03

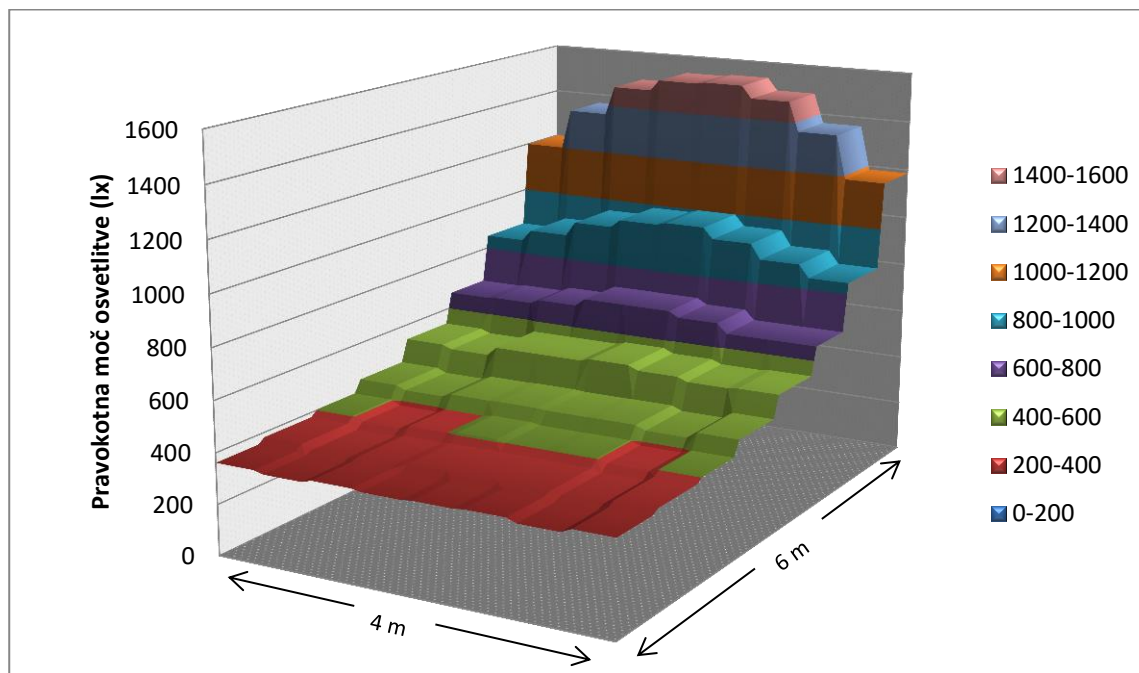
LEGENDA

A_{1,2,3} = Povprečni količnik dnevne svetlobe za oblačno vreme, KDS_{av} [%]

B_{1,2,3} = Povprečna osvetljenost prostora pri oblačnem vremenu, E_{av} [lx]

C_{1,2,3} = Povprečna osvetljenost prostora pri jasnem vremenu z neposredno svetlobo, E_{av,nep.} [lx]

Dobljene rezultate izvedenih simulacij smo naknadno prenesli še v program MS Excel, s pomočjo katerega smo oblikovali 3D - površinske grafikone. Uporabili smo jih v primerih, kjer smo hoteli nazorno prikazati razlike v prostorski distribuciji svetlobe ob različnih robnih pogojih.



Grafikon 1: Prostorski prikaz osvetljenosti prostora

3.2.2 Določitev površine transparentnega dela odprtine, ki omogoča ekvivalentno osvetljenost v primerjavi z izhodiščem

Za potrebe drugega dela analize in argumentiranja hipotez, predstavljenih v poglavju 1.1, smo izvedli še okoli dvajset dodatnih simulacij osvetlitve prostora. Izhodiščni podatki so ostali enaki, ker smo za merilo kvalitete dnevne naravne osvetlitve izbrali količnik dnevne svetlobe KDS, smo uporabili le model CIE oblačnega neba. Prav tako svetlost prostora ni bila odvisna od orientacije. Ponovno smo preverjali količino osvetlitve za vseh sedem vrst naklona, pri vsakem koraku, pa smo z natančnostjo $\pm 0,10$ odstotne točke, določili površino transparentnega dela odprtine, ki omogoča ekvivalentno osvetljenost v primerjavi z izhodiščem (enako povprečno vrednost KDS). Pri iskanju optimalne geometrije zasteklitve, smo uporabili metodo s poskušanjem.

Parametri, ki smo jih izbrali za analizo rezultatov so:

- sprememba površine P in
- spreminjanje količnika KDS,
- enakomernost osvetljenosti ($U_0 = D_{\min}/D_{av}$).

4 REZULTATI

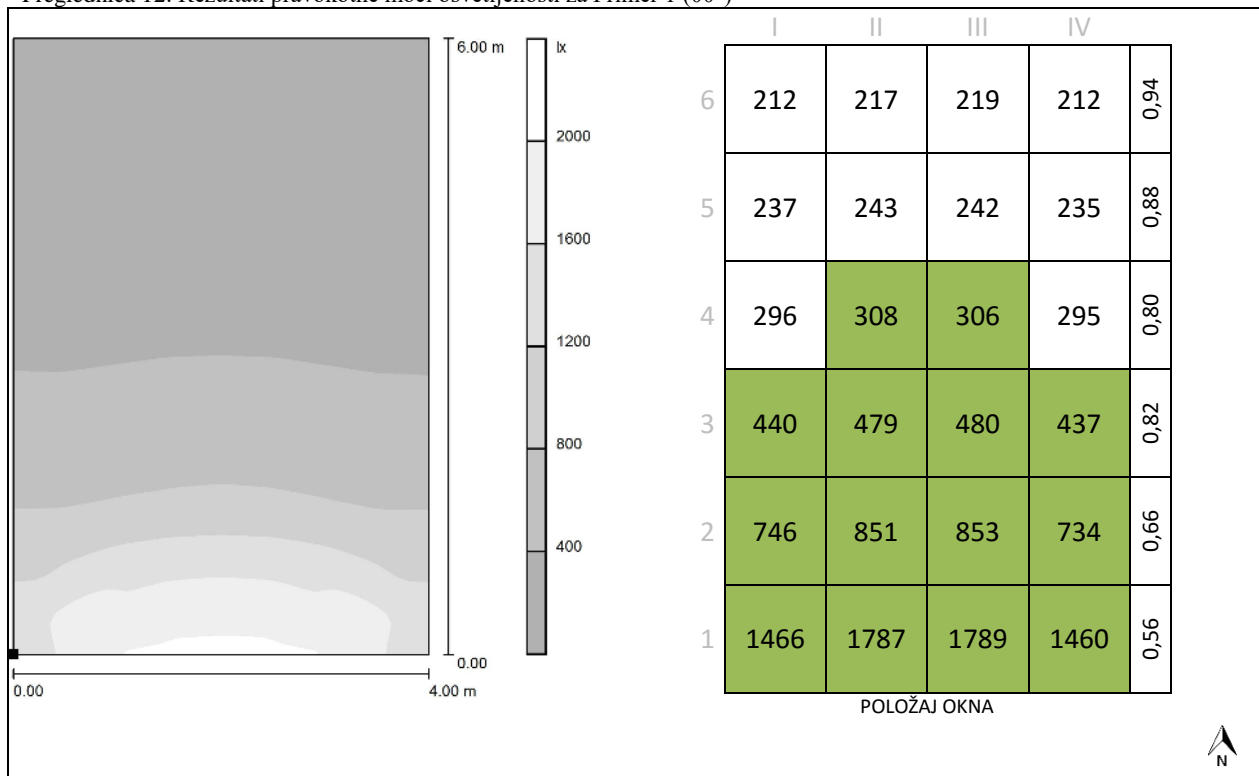
V tem poglavju bomo primarno predstavili izhodiščne rezultate izbranih primerov, ki smo jih dobili z uporabo programske opreme DIALux pri različnih naklonih okna z 20% površino uporabne tlorisne površine prostora. Vsi ostali rezultati analiz so zbrani v Dodatku A.

4.1 Izračun vpliva naklona zasteklitve na osvetljenost prostora v programu DIALux

4.1.1 Primer 1

Gre za izhodiščni primer analize, kjer smo obravnavali položaj zasteklitve povsem v vertikalni poziciji. Tako nam je lahko služil kot referenca in vodilo pri nadaljnjih izbirah simulacij oz. za sklicevanje rezultatov. Položaj okna je na južni strani (spodaj).

Preglednica 12: Rezultati pravokotne moči osvetljenosti za Primer 1 (00°)



Minimalna zahteva osvetljenosti:

300 lx

Povprečna osvetljenost prostora:

606 lx

Kraj/Datum/Čas:

Ljubljana/21.marec/12.00

Tip neba:

CIE oblačno nebo

KOMENTAR:

Že po hitrem pregledu rezultatov lahko opazimo, da smo ob upoštevanju vseh zahtev navedenih v Pravilniku o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj [5] oziroma priporočil, omenjenih v poglavju 1.4 Zakonodajni okvir, že v samem začetku dosegli zadostno količino osvetlitve v prostoru. Povprečna osvetljenost celotnega prostora je namreč znašala $E_{av} = 606$ lx, kar je več kot dovolj za potrebe običajnega vizualnega dela v stanovanjskih prostorih.

Minimalno priporočilo za vizualno nezahtevna opravila po standardu SIST EN 12464-1:2011 [6], je bilo preseženo ravno za dvakrat. Za 10 m², bi bilo potrebno v določenih delih dneva uporabiti dodaten vir osvetlitve, če bi želeli doseči osvetljenost enako ali višjo od 300 lx.

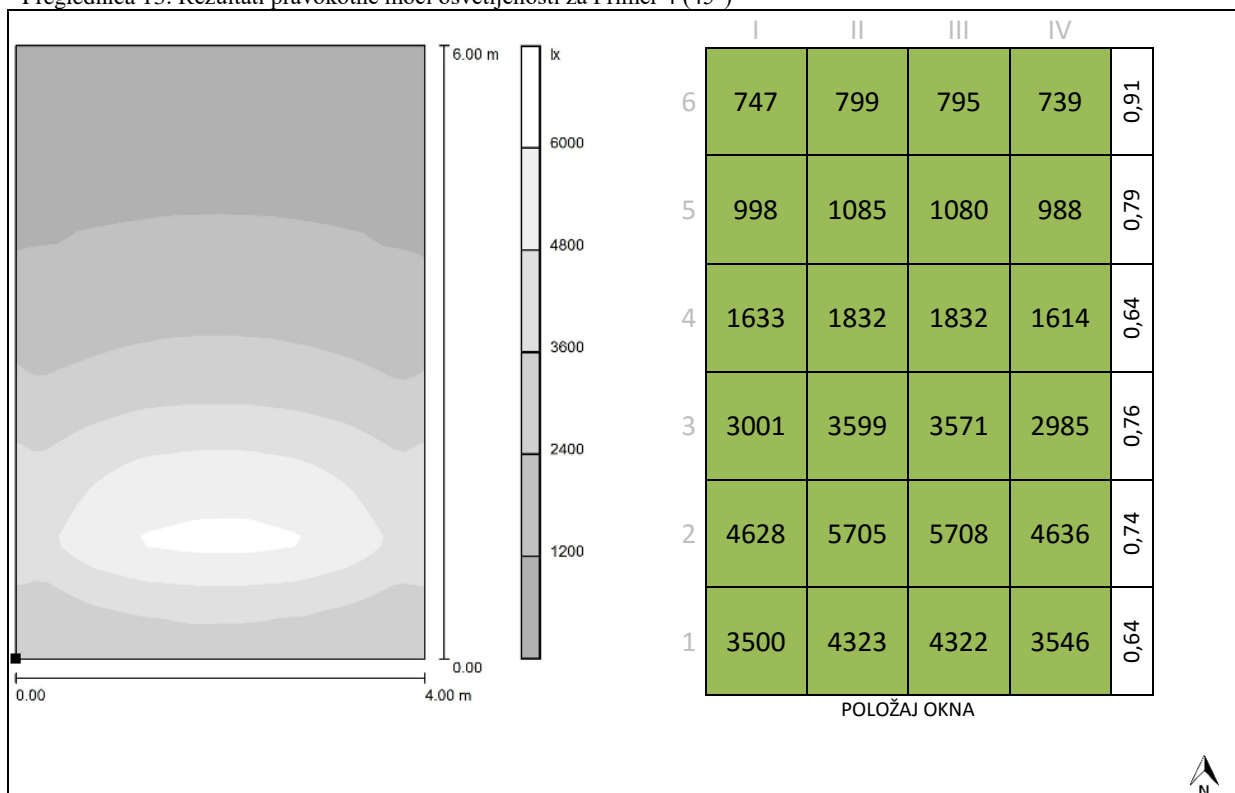
Najbolj enakomerno je svetloba razporejena v notranjem pasu prostora ($U_0=0,94$), nato enakomernost proti oknu začne upadati. Zaradi največje relativne razlike med minimalno in povprečno količino osvetljenosti v pasu pri oknu, ki znašata $E_{min}=2295$ lx in $E_{av}=4120$ lx, je tukaj najslabša distribucija svetlobe.

Potrebno je omeniti še pas ob oknu, kjer bi se morali v izogib prevelikemu bleščanju in toplotnemu neugodju v bližini stekla poslužiti okenskih senčil.

4.1.2 Primer 4

V tem primeru je svetloba vstopala v prostor skozi okensko odprtino naklonu 45°, kar je ravno na meji med vertikalno in horizontalno ravnino. Položaj okna je na južni strani (spodaj).

Preglednica 13: Rezultati pravokotne moči osvetljenosti za Primer 4 (45°)



Minimalna zahteva osvetljenosti:

300 lx

Povprečna osvetljenost prostora:

2653 lx

Kraj/Datum/Čas:

Ljubljana/21.marec/12.00

Tip neba:

CIE oblačno nebo

KOMENTAR:

Če smo že v prvem primeru opazili, da izhodiščna površina zasteklitve 7 m² omogoča zadostne nivoje osvetljenost v večini točk prostora, s tem primerom to le še potrjujemo. Povprečna osvetljenost

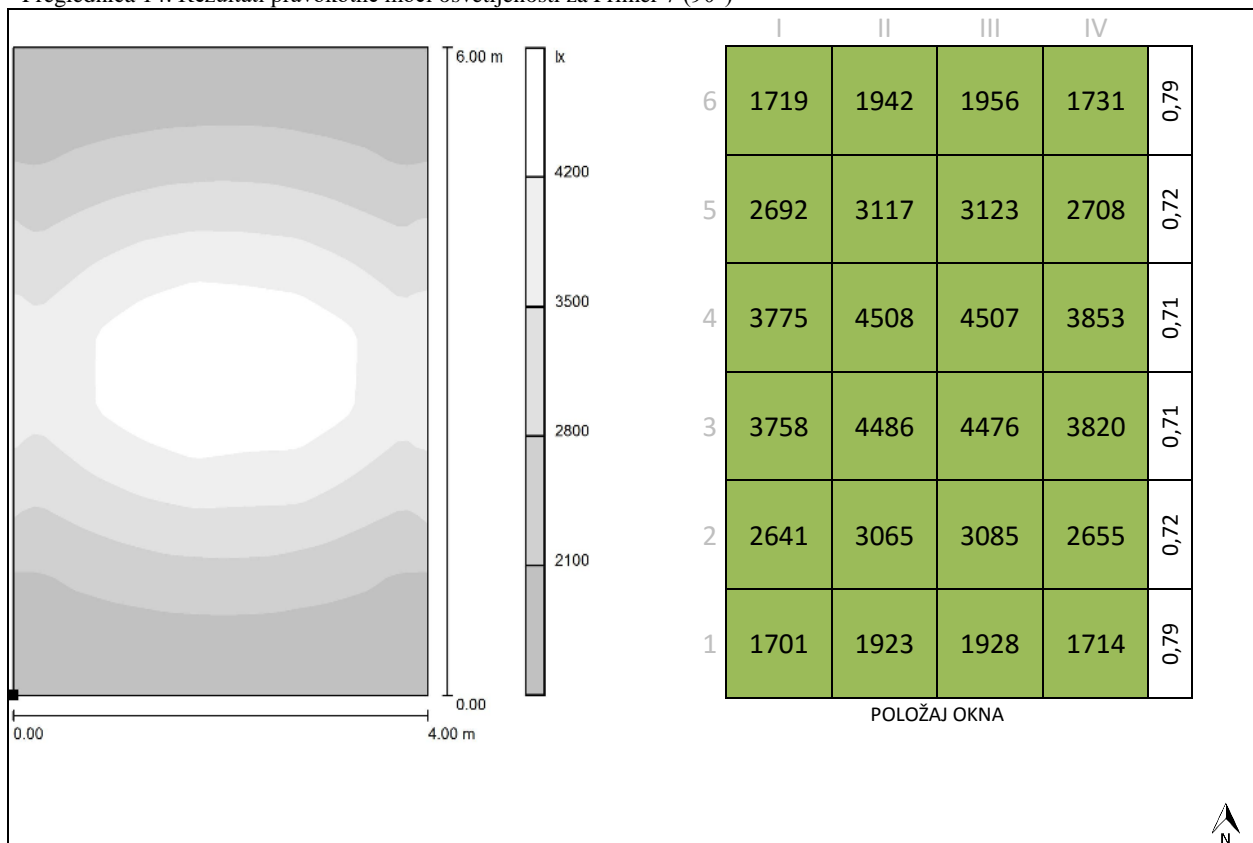
celotnega prostora se je namreč v primerjavi z izhodiščnim primerom povečala za 4,4 krat (2047 lx), v tretjem pasu od okna kar za 7,2 krat (2830 lx). Najmanjša sprememba je bila v pasu ob južni steni, kjer se je osvetljenost povečala za približno 2,4 krat (2297 lx). Za potrebe vizualno nezahtevnih opravil, bi tako za osvetljevanje celotnega stanovanjskega prostora zadoščala samo dnevna naravna svetloba.

Ponovno smo najboljšo distribucijo svetlobe dosegli v notranjem pasu prostora ($U_0=0,91$). Obratno je bilo prvem in tretjem pasu od strešnega okna, kjer se je količnik enakomernosti osvetlitve zmanjšal za približno 1,4 krat, na vrednost $U_0=0,64$. Ker strešno okno enakomerneje zajema več točk v prostoru, prihaja do manjših razlik osvetljenosti med južnim pasom prostora v primerjavi s pasom ob severni steni, kot v primeru vertikalne zasteklitve. Medtem ko je bila razlika v izhodiščnem primeru za 7,6 krat, je bila pri strešnem oknu le za 5,1 krat.

4.1.3 Primer 7

V tretjem obravnavanem primeru smo analizirali rezultate osvetljenosti, kjer dnevna svetloba vstopi v prostor skozi povsem horizontalno usmerjeno strešno okno. Položaj okna je nad središčem prostora.

Preglednica 14: Rezultati pravokotne moči osvetljenosti za Primer 7 (90°)



Minimalna zahteva osvetljenosti:

300 lx

Povprečna osvetljenost prostora:

2953 lx

Kraj/Datum/Čas:

Ljubljana/21.marec/12.00

Tip neba:

CIE oblačno nebo

KOMENTAR:




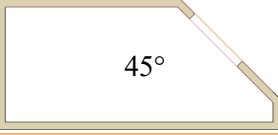
Povprečna osvetljenost prostora se je v primerjavi z vertikalno pozicioniranim oknom povečala za 4,9 krat (2347 lx) in 1,1 krat (300 lx), ko je bilo okno v naklonu 45°. Do največje spremembe v primerjavi z izhodiščem prišlo v četrtem pasu od južne stene, in sicer za 13,8 krat (3859 lx), v primerjavi z drugim primerom pa v petem pasu, kjer se je vrednost povečala za 2,8 krat (1873 lx). Najmanjši spremembi sta bili, v primerjavi z obema primeroma, v prvem oziroma tretjem pasu ob južni steni. Vrednosti so se spremenile za 1,1x (191 lx) oziroma 1,3 krat (846 lx). Če smo pozorni na drugi in tretji obravnavani primer, lahko opazimo, da se je na račun pomika strešnega okna proti središču prostora, povprečna osvetljenost v prvih dveh pasovih ob južni steni pri horizontalno pozicioniranem oknu zmanjšala in sicer za 2,2 krat v prvem in 1,8 krat v drugem pasu. Najboljšo distribucijo svetlobe smo dosegli na robnih pasovih prostora ($U_0=0,79$), najslabšo pa v pasovih v središču prostora ($U_0=0,71$).

V vseh obravnavanih primerih smo opazovali, kako se je količnik enakomernosti svetlobe spreminjal le v posameznih pasovih prostora, ločeno pa je predstavljena tudi analiza rezultatov, kjer smo se osredotočili na distribucijo svetlobe po celotnem prostoru. Le-ta je predstavljena z grafikonom 8 v poglavju 3.2.

4.1.4 Izbrani rezultati za vse naklone zasteklitve

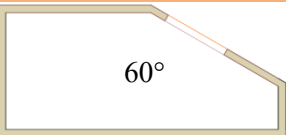
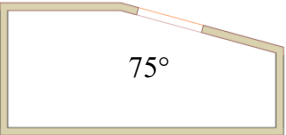

V preglednici 15 so predstavljeni rezultati analiz za vseh sedem vrst naklonov izvedenih za tri različne orientacije prostora (S, J, V), pri CIE oblačnem in jasnem tipu neba z upoštevanjem direktne komponente sončnega sevanja.

Preglednica 15: Izbrani rezultati za različne naklone zasteklitve

Naklon zasteklitve	Oznaka	Orientacija								
		S			J			V		
 00°	Primer 1	A ₁ [%]	B ₁ [lx]	C ₁ [lx]	A ₂ [%]	B ₂ [lx]	C ₂ [lx]	A ₃ [%]	B ₃ [lx]	C ₃ [lx]
		4,05	606	636	4,05	606	7915	3,99	587	958
 15°	Primer 2	A ₁ [%]	B ₁ [lx]	C ₁ [lx]	A ₂ [%]	B ₂ [lx]	C ₂ [lx]	A ₃ [%]	B ₃ [lx]	C ₃ [lx]
		10	1539	1225	10	1538	21274	10	1534	2898
 30°	Primer 3	A ₁ [%]	B ₁ [lx]	C ₁ [lx]	A ₂ [%]	B ₂ [lx]	C ₂ [lx]	A ₃ [%]	B ₃ [lx]	C ₃ [lx]
		15	2191	1491	15	2191	24816	15	2199	7428
 45°	Primer 4	A ₁ [%]	B ₁ [lx]	C ₁ [lx]	A ₂ [%]	B ₂ [lx]	C ₂ [lx]	A ₃ [%]	B ₃ [lx]	C ₃ [lx]
		18	2653	1745	18	2653	27060	18	2649	9721

Preglednica se nadaljuje...

...nadaljevanje preglednice 15

 60°	Primer 5	A ₁ [%]	B ₁ [lx]	C ₁ [lx]	A ₂ [%]	B ₂ [lx]	C ₂ [lx]	A ₃ [%]	B ₃ [lx]	C ₃ [lx]
		20	2957	2896	20	2965	24831	20	2956	11402
 75°	Primer 6	A ₁ [%]	B ₁ [lx]	C ₁ [lx]	A ₂ [%]	B ₂ [lx]	C ₂ [lx]	A ₃ [%]	B ₃ [lx]	C ₃ [lx]
		20	3017	8560	20	3017	20193	20	3016	11062
 90°	Primer 7	A ₁ [%]	B ₁ [lx]	C ₁ [lx]	A ₂ [%]	B ₂ [lx]	C ₂ [lx]	A ₃ [%]	B ₃ [lx]	C ₃ [lx]
		20	2953	14183	20	2953	13806	20	2957	10529

LEGENDA

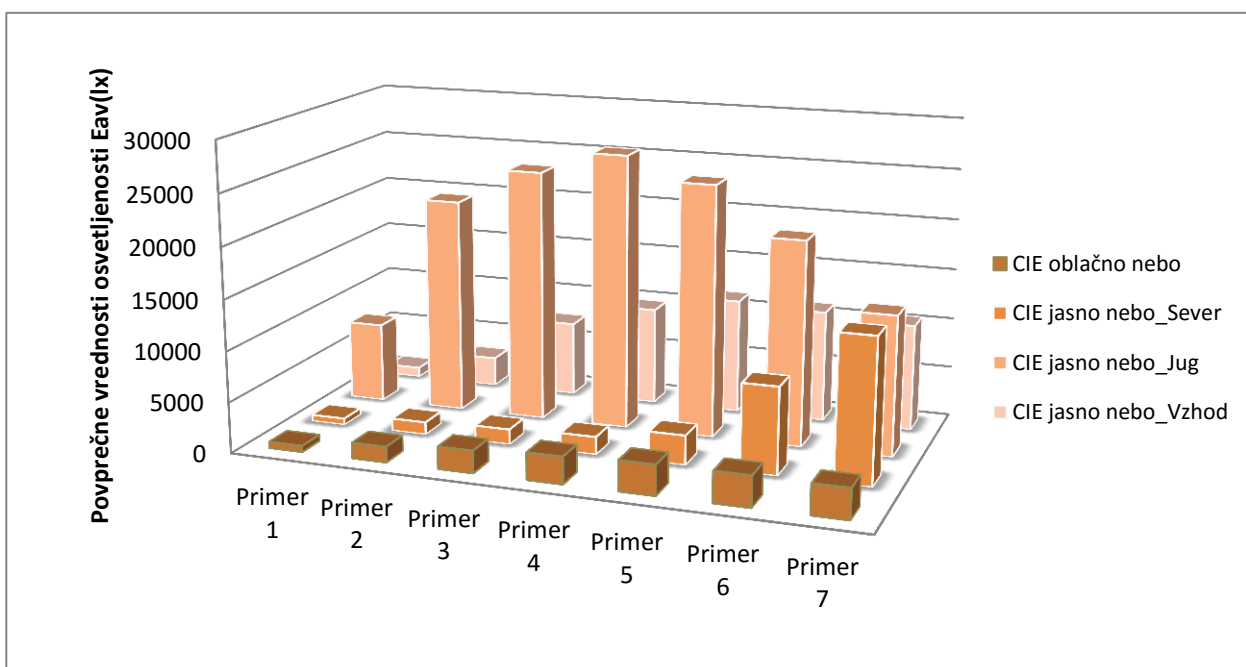
A_{1,2,3} = Povprečni količnik dnevne svetlobe za oblačno vreme, KDS_{av} [%]

B_{1,2,3} = Povprečna osvetljenost prostora pri oblačnem vremenu, E_{av-oblačno} [lx]

C_{1,2,3} = Povprečna osvetljenost prostora pri jasnem vremenu z neposredno svetlobo, E_{av-nep.} [lx]

KOMENTAR:

Če se na začetku osredotočimo le na rezultate pri CIE oblačnem tipu neba, lahko opazimo, da so le-ti skoraj popolnoma neodvisni od orientacije prostora. Pojavljajo se malenkostne razlike, ki so posledica numeričnih metod izračuna. Drugače velja za CIE jasno nebo, ki je povsem brez oblakov in katerega distribucija svetlobe močno zavisi od nebesne usmeritve zasteklitve. Spreminjanje povprečnega nivoja osvetljenosti smo prikazali z grafikonom 2.

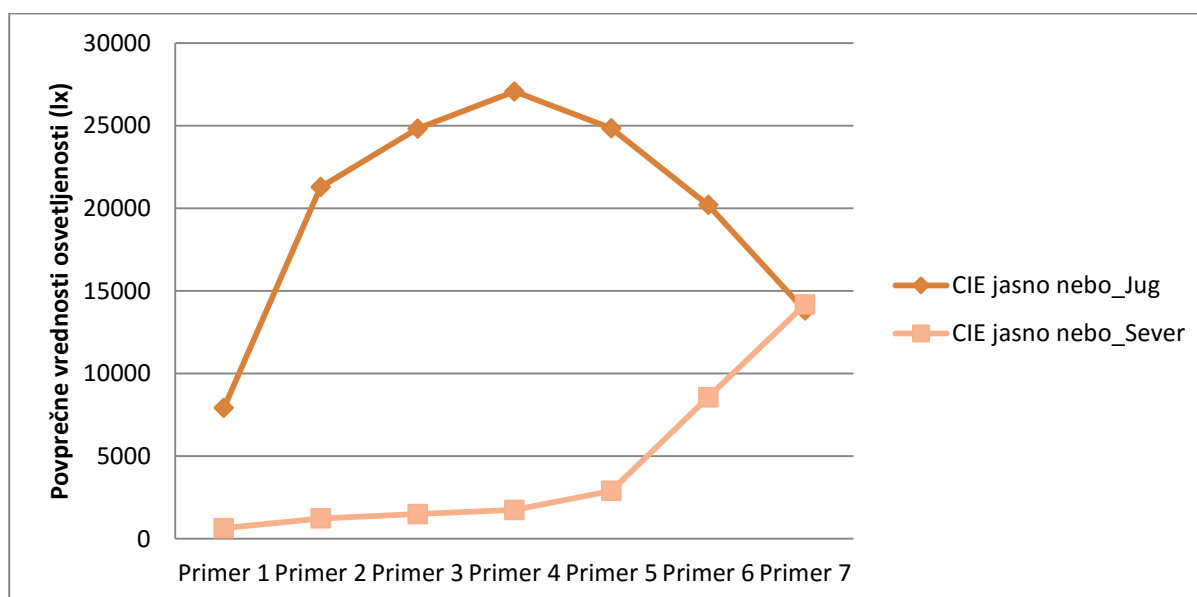


Grafikon 2: Prikaz nivoja osvetljenosti pri CIE oblačnem in jasnem tipu neba za vse vrste naklonov (21.3, ob 12.00)

KOMENTAR:

Iz grafikona 2 je razvidno, da so najvišje vrednosti osvetljenosti dosežene v primeru CIE jasnega neba, pri južno orientirani zasteklitvi. Najmanj svetlobe v povprečju je vstopilo v prostor v Primeru 1, kjer je bilo okno še vedno v izhodiščni legi. V Primeru 4, kjer je okno za 45° nagnjeno od vertikale, smo pri jasnem vremenu in južni orientaciji dosegli 27060 lx, kar je bila tudi maksimalno izmerjena vrednost. Le pri severni orientaciji zasteklitve se je izkazalo, da lahko ob CIE oblačnem tipu neba dosežemo večjo povprečno osvetljenost prostora. To velja za primere, kjer je bil naklon transparentnega dela odprtine med 15° in 60°. Omeniti je potrebno, da bi se vrednosti pri CIE jasnem tipu neba zaradi premikanja sonca po nebu, močno spreminjale v odvisnosti od časa v dnevu in dneva v letu.

Grafikon 3 prikazuje rezultate pri CIE jasnem nebu pri nasprotno orientiranih zasteklitvah.

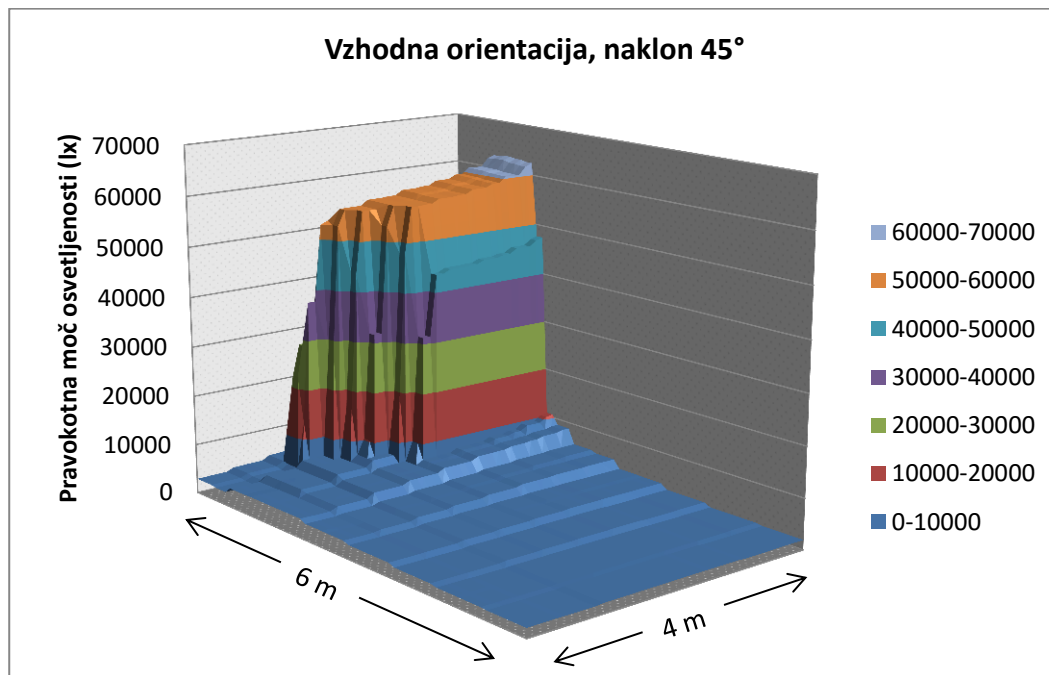


Grafikon 3: Povprečne vrednosti osvetljenosti pri CIE jasnem nebu za orientaciji S/J

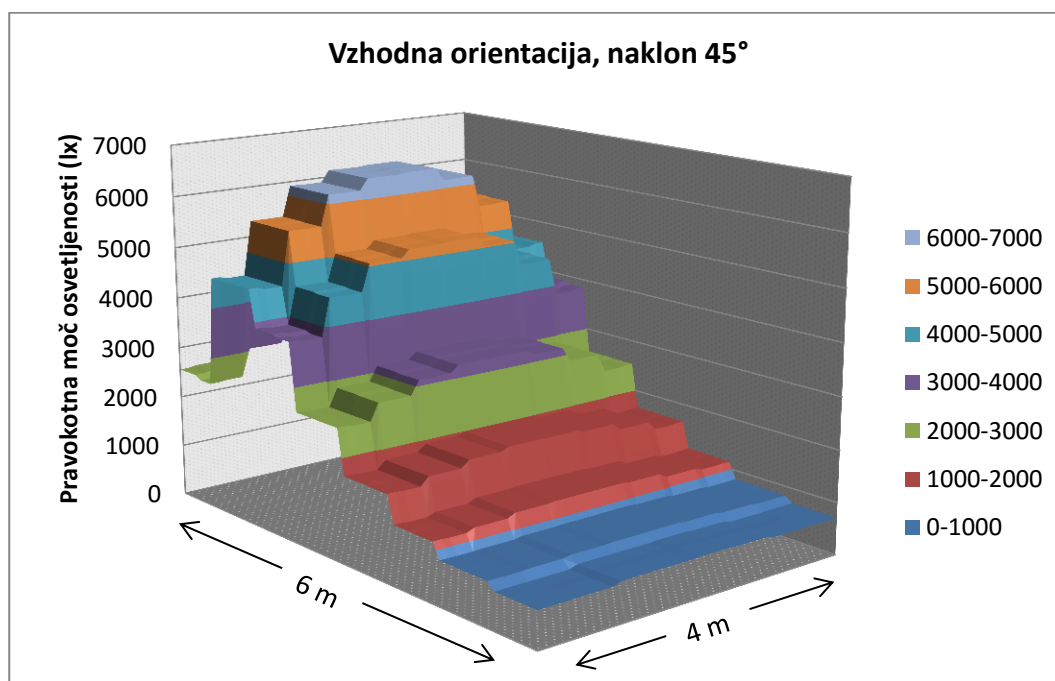
KOMENTAR:

Jasno je razvidno, kako je bil pri manjših naklonih okenske odprtine na severni steni onemogočen prehod direktne komponente sončnega sevanja v prostor. Največja razlika je opazna v Primeru 4, kjer je pri južni orientaciji zasteklitve možno zaznati kar 15,5x večjo količino svetlobe. V Primeru 7, kjer je okno povsem v horizontalni ravnini, je prišlo do zanemarljivih razlik.

Grafikona 4 in 5 prikazujeta razliko v distribuciji svetlobe v prostoru med CIE oblačnim in jasnim tipom neba, z upoštevanjem direktne komponente sončnega sevanja. Oba izhajata iz rezultatov analize opravljene pri vzhodni orientaciji transparentnega dela odprtine pod naklonom 45°.



Grafikon 4: Prikaz površinske distribucije svetlobe pri CIE jasnem tipu neba z upoštevanjem direktne komponente sončnega sevanja




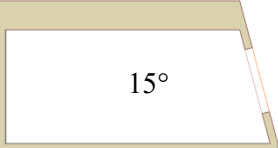

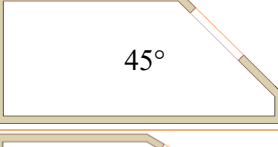
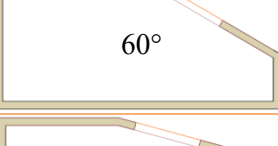
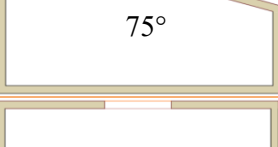

Grafikon 5: Prikaz površinske distribucija svetlobe pri CIE oblačnem tipu neba

KOMENTAR:

Pri osvetljevanju prostora z naravno svetlobo je poleg intenzivnosti, smeri ali npr. barve svetlobe, potrebno upoštevati tudi njeno razpršenost. Direktni sončni žarki se v primeru CIE oblačnega neba (grafikon 5), pri prehodu skozi oblake razpršijo, zato skozi transparentni del okenske odprtine v prostor prihaja približno enak delež svetlobe iz različnih smeri. Posledično ob takem tipu neba dosežemo boljšo distribucijo svetlobe po prostoru.

Preglednica 16 je bila sestavljena za lažjo primerjavo istovrstnih podatkov rezultatov analiz osvetljenosti pri strešnih oknih, v primerjavi z vertikalno pozicioniranim oknom. Iz nje je razvidno, da se trend povečanja osvetljenosti prostora zaradi naklona odprtine ustali pri 60° naklonu in se od tu najprej s premikom okna v horizontalno pozicijo ne bistveno spreminja.

Preglednica 16: Prikaz rezultatov v obliki indeksov

Naklon zasteklitve	Oznaka	Orientacija								
		S			J			V		
 00°	Primer 1	A ₁ [%]	B ₁ [lx]	C ₁ [lx]	A ₂ [%]	B ₂ [lx]	C ₂ [lx]	A ₃ [%]	B ₃ [lx]	C ₃ [lx]
		1	1	1	1	1	1	1	1	1
 15°	Primer 2	A ₁ [%]	B ₁ [lx]	C ₁ [lx]	A ₂ [%]	B ₂ [lx]	C ₂ [lx]	A ₃ [%]	B ₃ [lx]	C ₃ [lx]
		2,47	2,54	1,93	2,47	2,54	2,69	2,51	2,61	3,03
 30°	Primer 3	A ₁ [%]	B ₁ [lx]	C ₁ [lx]	A ₂ [%]	B ₂ [lx]	C ₂ [lx]	A ₃ [%]	B ₃ [lx]	C ₃ [lx]
		3,70	3,62	2,34	3,70	3,62	3,14	3,76	3,75	7,75
 45°	Primer 4	A ₁ [%]	B ₁ [lx]	C ₁ [lx]	A ₂ [%]	B ₂ [lx]	C ₂ [lx]	A ₃ [%]	B ₃ [lx]	C ₃ [lx]
		4,44	4,38	2,74	4,44	4,38	3,42	4,51	4,51	10,15
 60°	Primer 5	A ₁ [%]	B ₁ [lx]	C ₁ [lx]	A ₂ [%]	B ₂ [lx]	C ₂ [lx]	A ₃ [%]	B ₃ [lx]	C ₃ [lx]
		4,94	4,88	4,55	4,94	4,88	3,14	5,01	5,04	11,90
 75°	Primer 6	A ₁ [%]	B ₁ [lx]	C ₁ [lx]	A ₂ [%]	B ₂ [lx]	C ₂ [lx]	A ₃ [%]	B ₃ [lx]	C ₃ [lx]
		4,94	4,98	13,46	4,94	4,98	2,55	5,01	5,14	11,55
 90°	Primer 7	A ₁ [%]	B ₁ [lx]	C ₁ [lx]	A ₂ [%]	B ₂ [lx]	C ₂ [lx]	A ₃ [%]	B ₃ [lx]	C ₃ [lx]
		4,94	4,87	22,30	4,94	4,87	1,74	5,01	5,04	10,99

LEGENDA

A_{1,2,3} = Povprečni količnik dnevne svetlobe za oblačno vreme, KDS_{av} [%]

B_{1,2,3} = Povprečna osvetljenost prostora pri oblačnem vremenu, E_{av-oblačno} [lx]

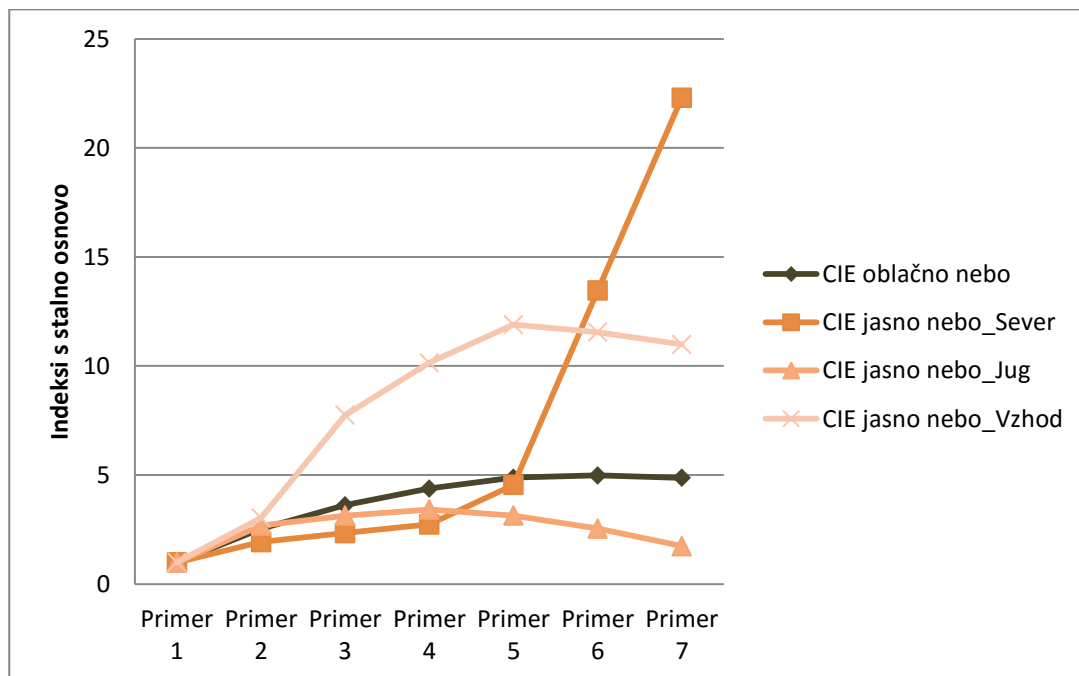
C_{1,2,3} = Povprečna osvetljenost prostora pri jasnem vremenu z neposredno svetlobo, E_{av-nep.} [lx]

KOMENTAR:

Najmanjše relativne spremembe v količini osvetljenosti prostora v primerjavi s Primerom 1 zasledimo pri južno orientirani zasteklitvi in CIE jasnem tipu neba (stolpec C₂). Najbližje izhodiščni povprečni vrednosti osvetlitve smo se približali v Primeru 7, kjer je bila večja le za 1,74 x, indeks 3,42 v Primeru 4, pa prikazuje največji relativni skok v obravnanem stolpcu. Do največjih razlik je prišlo v stolpcu C₁,

ki predstavlja rezultate za enak tip neba, vendar severno orientirani okenski odprtini. Indeksi so se gibali od 1,93 za Primer 2, pa vse do 22,30 za Primer 7.

Spodnji grafikon 6 prikazuje gibanje indeksa s stalno osnovo za CIE oblačno in jasno nebo.



Grafikon 6: Prikaz gibanja indeksa s stalno osnovo za CIE oblačen in jasen tip neba

KOMENTAR:








S pomočjo grafikona 6 vidimo, da trend konstantnega naraščanja indeksa velja le za CIE jasno nebo in oknom pozicioniranim na severni steni prostora. Najbližje enakemu trendu se približamo v primeru CIE oblačnega tipa neba, ki velja vse do zadnjega preskoka naklona, kjer nato vrednost indeksa pade iz 4,98 na 4,87, kar predstavlja 2,1% manjšo količino prejete dnevne naravne svetlobe. V primeru vzhodne orientacije zasteklitve, vrednost indeksa narašča vse do naklona 60°, z južno pozicijo pa je omogočena njegova rast le do naklona 45°.

Ne smemo pozabiti, da grafikon 6 predstavlja gibanje indeksov glede na izhodiščni Primer 1 in čeprav četrta krivulja za CIE jasno nebo in položajem okna na južni steni, na grafikonu leži najnižje, to ne pomeni, da v tem primeru dosegamo tudi najnižje povprečne vrednosti količine prejete svetlobe.

4.2 Določitev površine transparentnega dela odprtine, ki omogoča ekvivalentno osvetljenost v primerjavi z izhodiščem

S predhodnimi analizami opravljenih simulacij smo pokazali, da za dosego zadostnega nivoja osvetlitve prostora, strešne okenske odprtine ne potrebujejo tako velikih površin v primerjavi z vertikalno pozicioniranimi. Z izvedbo dodatnih analiz pa smo naredili še korak naprej, saj smo za vsako spremembo naklona z natančnostjo $\pm 0,10$ odstotne točke, poiskali površino strešne zasteklitve, ki vsakič omogoča enak nivo osvetljenosti prostora. Rezultati so zbrani v preglednici 19.

Preglednica 17: Prikaz geometrije/površin okenskih odprtih za dosego osvetljenosti ekvivalentne izhodiščni

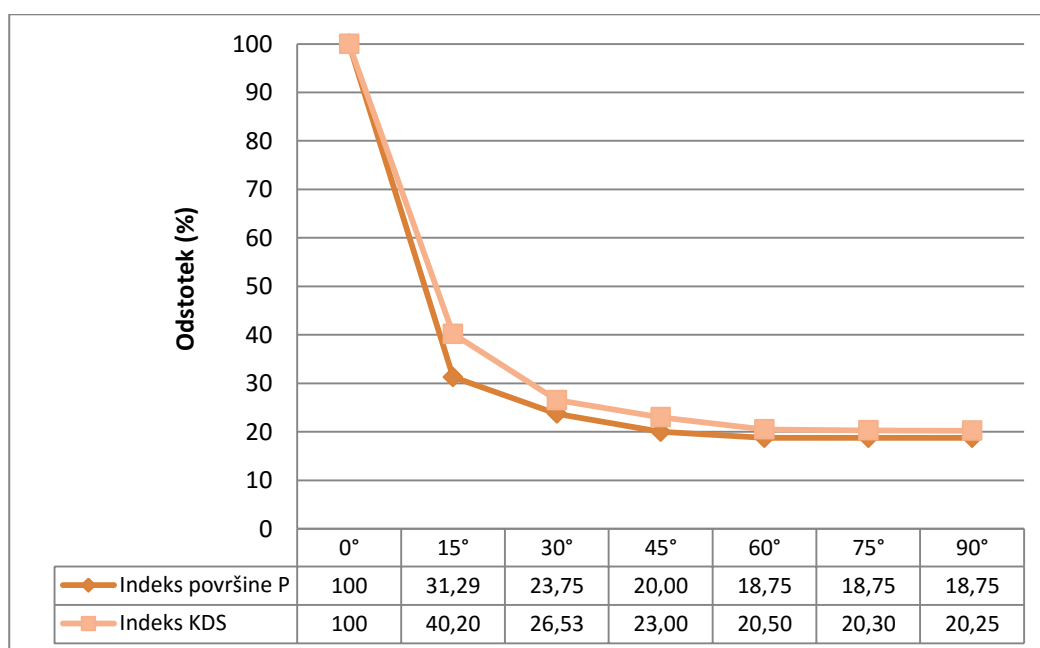
Naklon	Oblika okenske odprtine	a = višina odprtine [m]	b = širina odprtine [m]	Površina $P = a \times b$ [m ²]	Delež glede na površino tal [%]	KDS _{av} [%]
00°		1,75	4,00	7,00	20,00	4,05
15°		1,75	1,25	2,19	6,26	4,02
30°		1,75	0,95	1,66	4,74	3,98
45°		1,75	0,80	1,40	4,00	4,14
60°		1,75	0,75	1,31	3,74	4,10
75°		1,75	0,75	1,31	3,74	4,06
90°		1,75	0,75	1,31	3,74	4,05

Začetna površina zasteklitve je znašala 7 m², kar je 20 odstotkov neto tlorisne površine obravnavanega prostora (35 m²). [5] Ob upoštevanju minimalne tehnične zahteve pravilnika, je v izhodiščnem primeru povprečni količnik dnevne svetlobe KDS znašal 4,05%. Privzeta priporočila britanskega standarda BS 8206-2:2008 [7] predpisujejo, da za stanovanjske prostore zadošča že minimalni količnik KDS = 1-2%, s čimer smo upravičili uporabo izhodiščnega primera za referenco.

Preglednica 18 in grafikon 7 s pomočjo indeksov prikazujeta, kako so se spreminjale vrednosti površine transparentnega dela odprtine in količnik dnevne svetlobe KDS sorazmerno z nagibanjem okna iz izhodiščne v horizontalno ravnino. Indeksi so tokrat izraženi v odstotkih.

Preglednica 18: Relativne razlike površin in KDS-ja

Naklon	Začetna površina $P = a \times b$ [m ²]	Končna površina $P = a \times b$ [m ²]	Indeks površine $a \times b$ [%]	Začetni KDS_{av} [%]	Končni KDS_{av} [%]	Indeks KDS_{av} [%]
00°	7,00	7,00	100	4,05	4,05	100
15°	7,00	2,19	31,29	10	4,02	40,20
30°	7,00	1,66	23,75	15	3,98	26,53
45°	7,00	1,40	20,00	18	4,14	23,00
60°	7,00	1,31	18,75	20	4,10	20,50
75°	7,00	1,31	18,75	20	4,06	20,30
90°	7,00	1,31	18,75	20	4,05	20,25



Grafikon 7: Grafični prikaz sprememb površine P in KDS-ja v primerjavi za izhodiščno situacijo

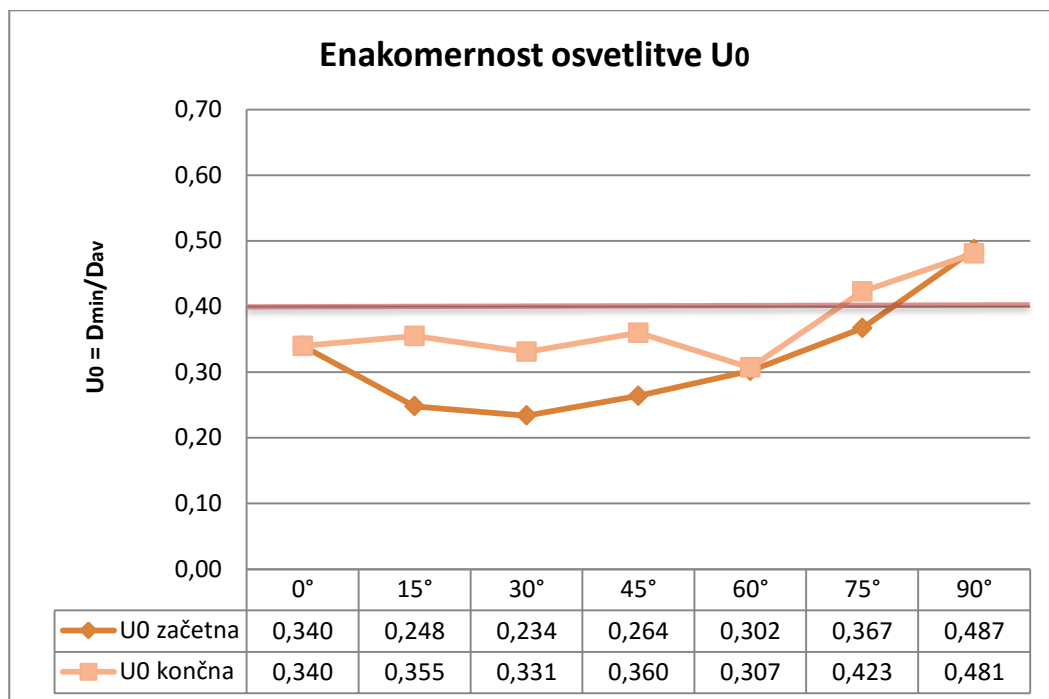
KOMENTAR:

Z naklonom okenske odprtine za 15°, je bilo potrebno za doseg ekvivalentne količine osvetljenosti v primerjavi z izhodiščno, velikost površine zmanjšati na 2,19 m², kar predstavlja le 31,29% izhodiščne površine in hkrati tudi največji padec vrednosti. Ob naslednjem zasuku okna na 30° je za enak KDS zadoščala površina 1,66 m². Površino smo v tem koraku zmanjšali za 27,20%, oziroma 76,25% v primerjavi z izhodiščnimi 7 m². Le še pri dveh dodatnih naklonih je bilo potrebno za doseg enakega količnika osvetljenosti spremeniti površino zasteklitve. Indeks površine se je tako najprej spustil na 20%, pri naklonu 60° pa se je ustalil pri vrednosti 18,75%, ki predstavlja površino velikosti 1,31 m².

Z grafikonom 7 nazorneje prikazujemo tudi očitno povezavo med površino zasteklitve in količnikom dnevne svetlobe KDS v prostoru, saj sta se indeksa razlikovala le za 1,5% oz. maksimalno 7,7%.

Grafikon 8 za vsak naklon posebej prikazuje, kako so se vrednosti enakomernosti osvetlitve spreminjale ob konstantni površini zasteklitve in kako ob ustrezno zmanjšanih površinah, za omogočanje ekvivalentne osvetljenosti v primerjavi z izhodiščem. Pri vrednosti 0,40 je dodana

horizontalna črta, ki prikazuje splošno priporočilo standarda SIST EN 12464-1:2011 za razsvetljavo prostora, katerega namembnost ni izrecno določena. [6]



Grafikon 8: Grafični prikaz gibanja enakomernosti osvetljenosti U_0

KOMENTAR:

Pri izhodiščni površini zasteklitve 7 m^2 je bil dosežen tako najmanjši kot tudi največji količnik enakomernosti osvetlitve. Najslabšo distribucijo smo zaznali pri naklonu 30° , medtem ko je bila najboljša enakomernost dosežena v primeru, ko je okenska odprtina ležala povsem v horizontalni ravnini, direktno nad središčem obravnavanega prostora. Na račun zmanjšanja površine zasteklitve za $81,25\%$, smo uspeli zadostiti pogoj še v primeru 75° naklona. Zaradi razmeroma globokega prostora, osvetljenega samo z ene strani, so se vsi količniki enakomernosti osvetlitve v ostalih primerih gibali pod minimalno predpisano zahtevo $0,40$.

5 UGOTOVITVE IN ZAKLJUČKI

V splošnem je narava dnevne svetlobe zelo spremenljiva (glede na dnevni čas, letni čas, vreme, itd.), vendar lahko zaradi cikličnega ponavljanja svetlobnih vzorcev s pomočjo simulacij precej dobro predvidimo njen potek.

V diplomskem delu smo se namenili analizirati vpliv spreminjanja naklona zasteklitve na osvetljenost hipotetičnega prostora (povprečna osvetljenost, količnik dnevne svetlobe KDS). Pri vsakem naklonu okna smo osvetljenost preverili za tri različne smeri neba (S, J, V) in tri tipe neba (CIE jasno, kombinirano in oblačno nebo). Hkrati smo za vsako spremembo naklona z natančnostjo $\pm 0,10$ odstotne točke določili površino transparentnega dela odprtine, ki omogoča ekvivalentno osvetljenost v primerjavi z izhodiščem. Vse simulacije so bile opravljene pri konstantnih robnih pogoji ki so: datum (21.3), čas (12.00) in lokacija (Ljubljana).

Pri analizi rezultatov smo se zaradi obsega diplomskega dela omejili le na CIE oblačno nebo. Glede na hipoteze, predstavljene v poglavju 1.2, lahko pridemo na podlagi analiz rezultatov do naslednjih zaključkov:

Bolj kot je osvetljena horizontalna površina, večja je enakomernost distribucije svetlobe po prostoru.

Hipoteza se je izkazala za napačno tako ob konstantni kot ustrezno zmanjšani površini zasteklitve, za dosego ekvivalentne osvetljenosti v primerjavi z izhodiščem. Na račun zmanjšanja površine zasteklitve smo dosegli večjo enakomernost.

Razporeditev svetlobe je odvisna od mnogih spremenljivk, med drugim od časa v letu, časa v dnevu in lokacije obravnavanega prostora, zato bi se rezultati bistveno spremenili, če bi pri simulaciji uporabili druge robne pogoje. Posledica neenakomernosti distribucije po prostoru je tudi uporaba razmeroma globokega prostora. Enostranski vir svetlobe ne more zadovoljivo osvetliti celotne površine prostora.

Z nagibanjem strešnih oken je za dosego enakovredne osvetljenosti prostora v primerjavi z izhodiščem potrebna vedno manjša površina zasteklitve.

Trditev se je izkazala za pravilno vse do naklona 60° . Od tega naklona naprej je bila za dosego enakovredne osvetljenosti v primerjavi z izhodiščem potrebna enaka velikost transparentnega dela odprtine in sicer $1,31 \text{ m}^2$.

Določila Pravilnika o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj [5], določajo, da je neposredna osvetlitev dosežena, če skupna površina obdelanih zidarskih odprtin namenjenih osvetlitvi, dosega najmanj 20% neto tlorisne površine prostora, niso primerna za določevanje površine strešnih odprtin.

Tretjo hipotezo smo v celoti potrdili. Že ob prvem nagibu zasteklitve za 15° iz izhodiščne vertikalne lege je zadoščala za dosego ekvivalentne vrednosti količnika dnevne svetlobe KDS ($\pm 0,10$ odstotne točke) velikost površine $2,19 \text{ m}^2$, kar predstavlja 6,26% neto tlorisne površine prostora.

Za optimizacijo Pravilnika o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj predlagamo zahteve, ki bi ločeno upoštevale vpliv vertikalne in strešne zasteklitve.

Pregledali smo tudi trenutno veljavno zakonodajo s področja naravnega osvetljevanja notranjih prostorov v nekaterih drugih članicah Evropske unije, kjer nas je zanimalo ali so kje ločena priporočila za vertikalno pozicionirana oz. strešna okna. Ob pregledu povzetkov pravilnikov osmih članic (Danska, Francija, Nemčija, Italija, Poljska, Švedska, Velika Britanija in Regija Bruselj – glavno mesto), je bilo mogoče razbrati, da so to storili le v eni državi in sicer na Danskem. Tamkajšnja zakonodaja predpisuje, da je zadostna raven dnevne svetlobe v prostoru dosežena, če zastekljena površina vertikalno pozicioniranega oziroma strešnega okna znaša 10% oziroma 7% površine tal. [8]

Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj [5] v 14. členu predpisuje, da je najmanj ena odprtina za naravno osvetlitev prostora, ki omogoča bivanje v dnevnem času, projektirana in grajena tako, da znaša višina parapeta največ 0,90 metra nad gotovim podom in omogoča pogled v zunanji prostor. S tem se omejuje uporabnost strešnih oken, ki so vgrajena v streho zelo visoko in ne zagotavljajo pogleda v zunanost.

V diplomskem delu smo pokazali, da je načrtovanje dnevnega osvetljevanja notranjih površin zelo kompleksno področje, saj je za vsak posamezen primer potrebna temeljita analiza spremenljivk. Upoštevali smo le nekatere, zato obstaja veliko možnosti nadgradnje in razširitve študije. V nadaljevanju raziskovalnega dela bi bilo smiselno vključiti dodatne parametre, ki bi zaobljeli tudi različno geografsko lokacijo, dnevni in letni čas, geometrijo prostorov, tip zasteklitve, reflektivnost površin itd.

Na koncu moramo poudariti, da vsi rezultati, predstavljeni v tej diplomski nalogi, temeljijo izključno na računalniških simulacijah, vsak program pa ima svoje omejitve in omejeno natančnost v primerjavi z realnostjo. Za bolj verodostojne zaključke bi bilo potrebno delo dopolniti z meritvami na dejanskem modelu.

VIRI

- [1] Kristl, Ž. 2011. Dnevna svetloba – skripta. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 71 str.
- [2] Voršič, J. 2012. Splošna energetika. Razsvetljava – Svetlobnotehnične veličine.
http://www.powerlab.uni-mb.si/Slo/download/Predavanja/Razsvetljava/_3.svetlobnotehni%C4%8Dne%20veli%C4%8Dine.pdf
(Pridobljeno 23. 03. 2016)
- [3] Slovar tehničnih pojmov in nasveti. 2013
<https://naturalportal.wordpress.com/2013/02/28/slovar-tehnicnih-pojmov-in-nasveti/> (Pridobljeno: 23. 03. 2016)
- [4] Medved, S. 2010. Gradbena fizika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo: 320 str.
- [5] Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj, Ur.l. RS, št. 125/03
- [6] SIST EN 12464-1:2011. Svetloba in razsvetljava – Razsvetljava na delovnem mestu – 1. del: Notranji delovni prostori.
- [7] BS 8206-2:2008. Lighting for buildings – Part 2: Code of practice for daylighting.
- [8] Indoor Air Quality, Thermal Comfort and Daylight. 2015.
http://bpie.eu/wp-content/uploads/2015/10/BPIE_IndoorAirQuality2015.pdf (Pridobljeno 20.03.2016)
- [9] DIALux 4.12. 2016. Programska oprema za izračun osvetljenosti. DIAL GmbH
- [10] Priročnik za uporabo: DIALux manual. 2013.
https://www.stahl.de/fileadmin/Dateien/lighting_software/2013/Manual49_en.pdf (Pridobljeno 01. 03. 2016)
- [11] Archicad 18. 2014. Programska oprema namenjena BIM projektiranju. GRAPHISOFT SE
- [12] Članek energija doma Okno ima lahko pozitiven vpliv na energijsko učinkovitost stavbe. 2010.
<http://www.energijadoma.si/novice/arhiv-novic/okno-ima-lahko-pozitiven-vpliv-na-energijsko-ucinkovitost--s> (Pridobljeno: 23. 03. 2016)
- [13] Prednosti naravne svetlobe. 2014.
http://www.archlighting.com/technology/the-benefits-of-natural-light_o (Pridobljeno: 23. 03. 2016)
- [14] Bellia, L., Pedace, A., Barbato, G. 2013. Lighting in educational environments: An example of a complete analysis of the effects of daylight and electric light on occupants, Building and Environment, Elsevier, l. 68, str. 50-65.

- [15] Kristl, Ž., Košir, M., Dovjak, M., Krainer, A. 2011. Študija dnevne osvetljenosti pisarniškega prostora glede na vizualne in biološke vplive, *Gradbeni vestnik*, l. 60, št. 3, str. 84–91.
- [16] Naravna osvetljenost prostora. 2014.
<http://www.casnik.si/index.php/2014/01/04/naravna-osvetljenost-prostora/> (Pridobljeno 21. 03. 2016.)
- [17] Dubois, M., Grau, K., Traberg-Borup, S., idr. 2003. Impact of three window configurations on daylight conditions. Hørsholm, Aalborg University København, Danish Building and Urban Research: 38 f.
- [18] Zhao, Y., Mei, H. 2013. Dynamic simulation and analysis of daylight factors for gymnasiums in mid-latitude China. 63: 56-68.
- [19] Mirrahimi, S., Lukman, N., Surat, M. 2013. Effect of daylighting on student health and performance: 127-132.
- [20] Lovšin, J. 2013. Vpliv odprtih na osvetljevanje prostorov. Diplomsko delo. Univerza v Ljubljani. Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba J. Lovšin)

SEZNAM PRILOG

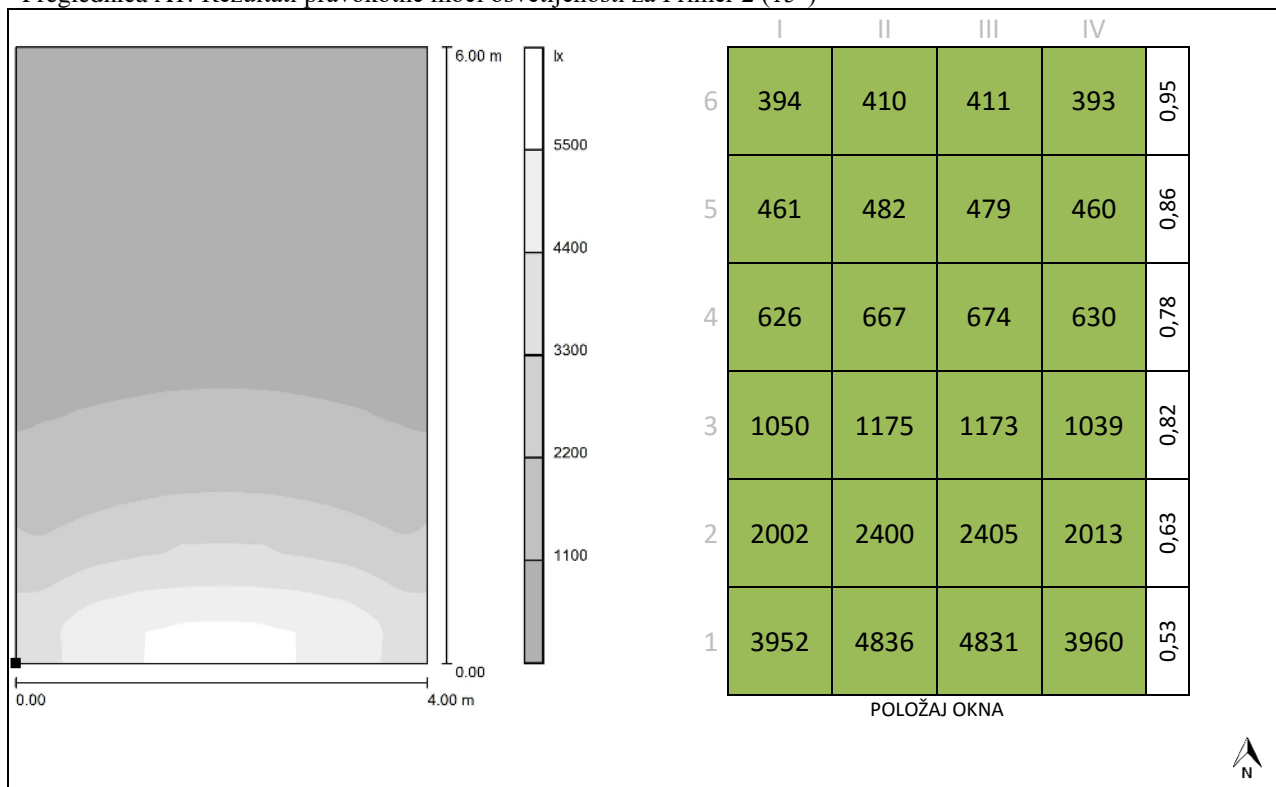
DODATEK A: Preostala poročila rezultatov analiz

- A.1 Prikaz osvetljenosti prostora in distribucije svetlobe za preostale primere
- A.2 Rezultati analiz predstavljeni ločeno za vsako spremembo naklona

A.1 Prikaz osvetljenosti prostora in distribucije svetlobe preostalih primerov

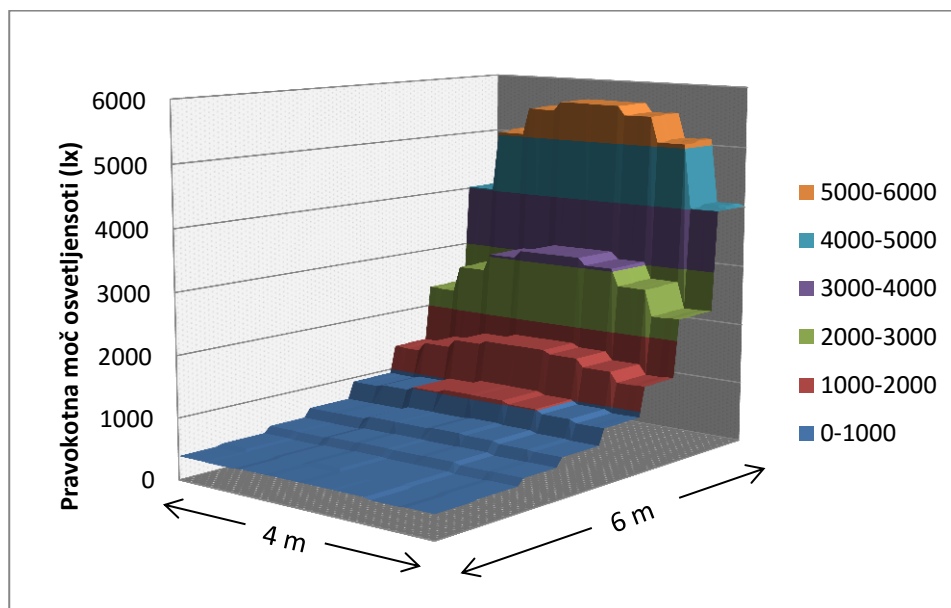
Primer 2

Preglednica A1: Rezultati pravokotne moči osvetljenosti za Primer 2 (15°)



Minimalna zahteva osvetljenosti:
 Povprečna osvetljenost prostora:
 Kraj/Datum/Čas:
 Tip neba:

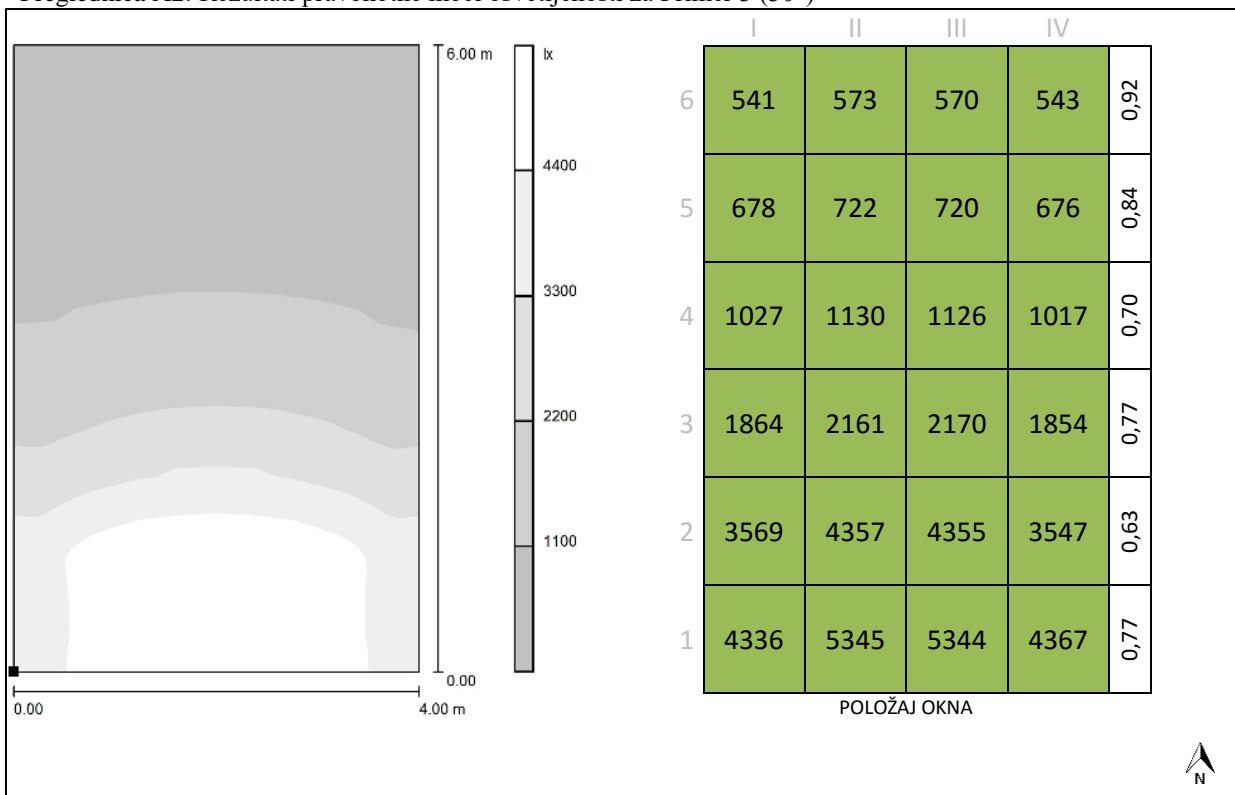
300 lx
 1539 lx
 Ljubljana/21.marec/12.00
 CIE oblačno nebo



Grafikon A1: Površinska distribucija svetlobe pri Primeru 2 (15°)

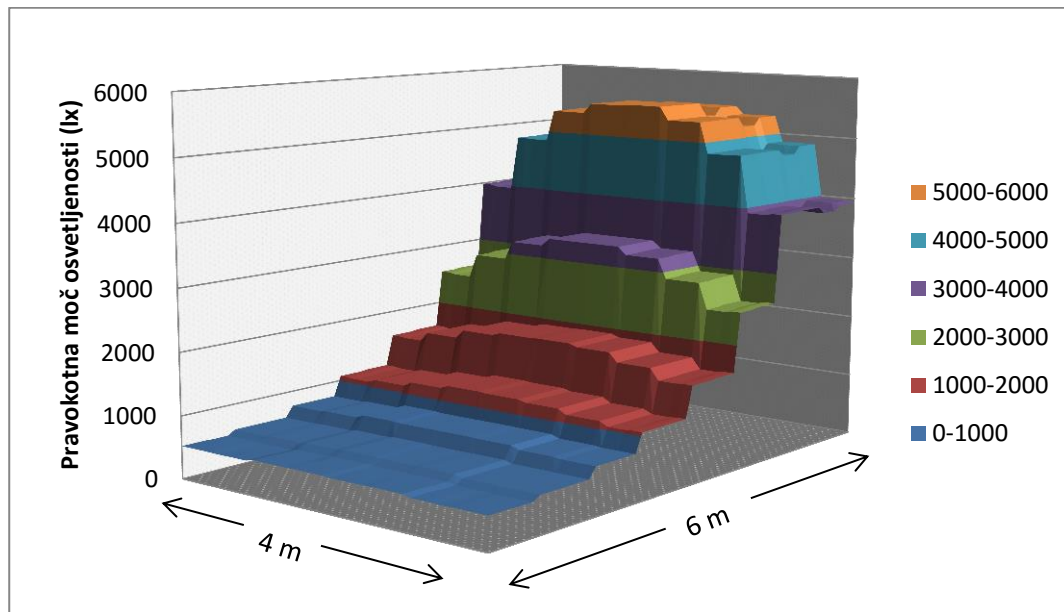
Primer 3

Preglednica A2: Rezultati pravokotne moči osvetljenosti za Primer 3 (30°)



Minimalna zahteva osvetljenosti:
 Povprečna osvetljenost prostora:
 Kraj/Datum/Čas:
 Tip neba:

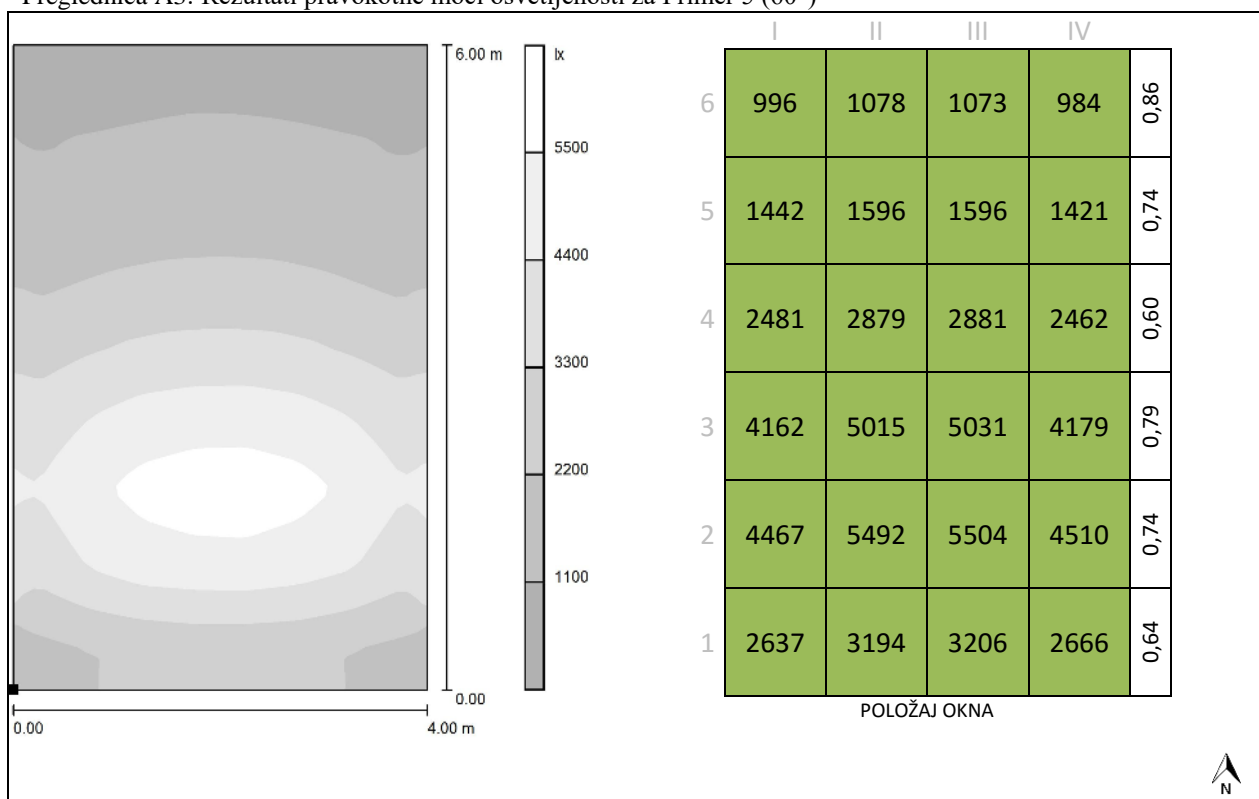
300 lx
 2191 lx
 Ljubljana/21.marec/12.00
 CIE oblačno nebo



Grafikon A2: Površinska distribucija svetlobe pri Primeru 3 (30°)

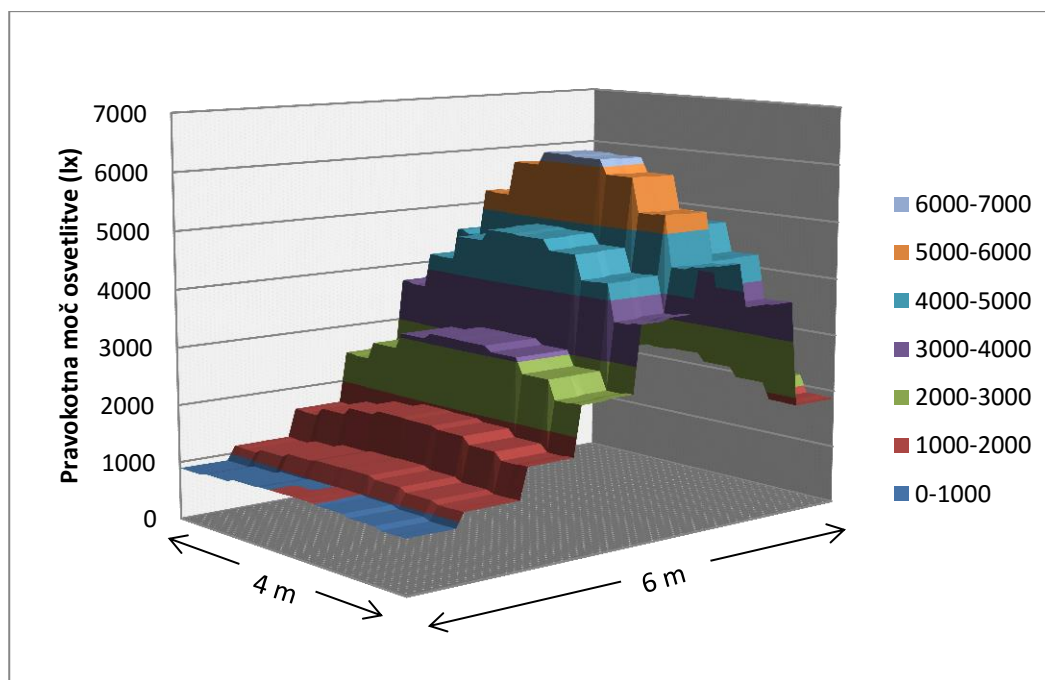
Primer 5

Preglednica A3: Rezultati pravokotne moči osvetljenosti za Primer 5 (60°)



Minimalna zahteva osvetljenosti:
 Povprečna osvetljenost prostora:
 Kraj/Datum/Čas:
 Tip neba:

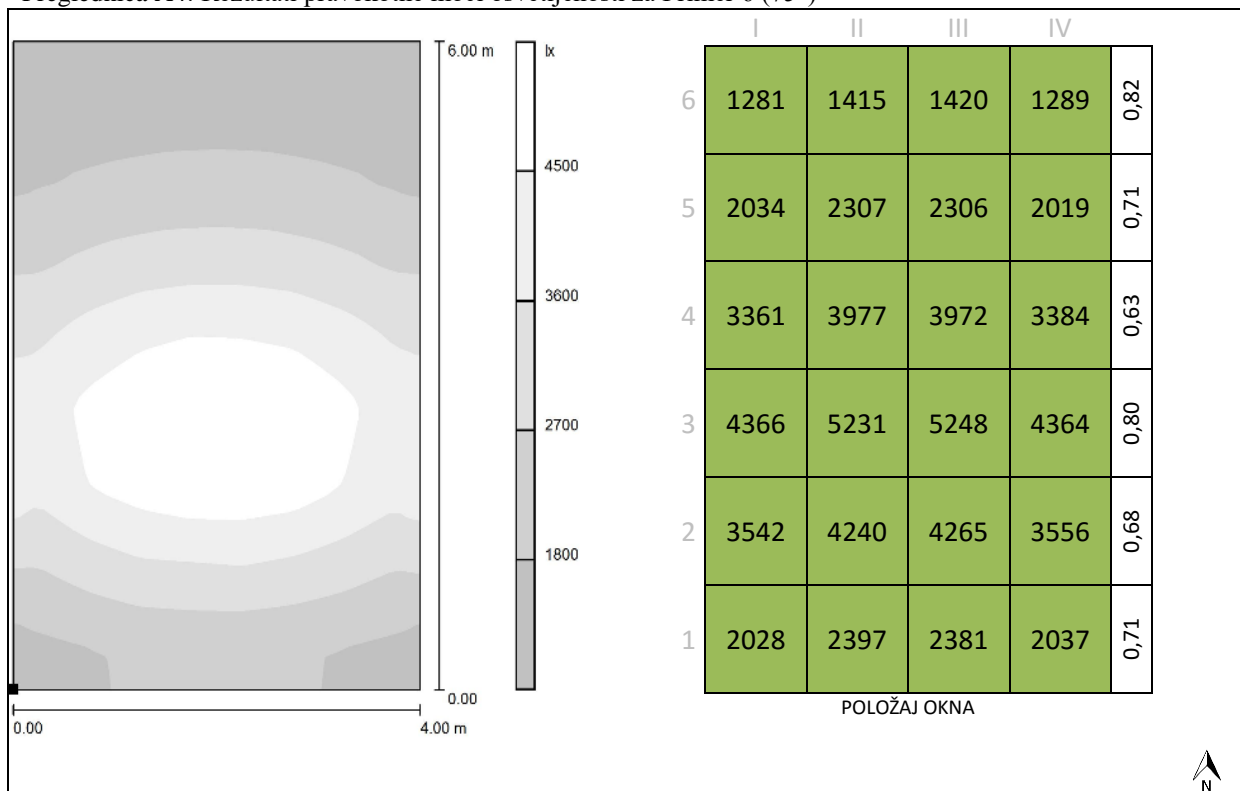
300 lx
 2957 lx
 Ljubljana/21.marec/12.00
 CIE oblačno nebo



Grafikon A3: Površinska distribucija svetlobe pri Primeru 5 (60°)

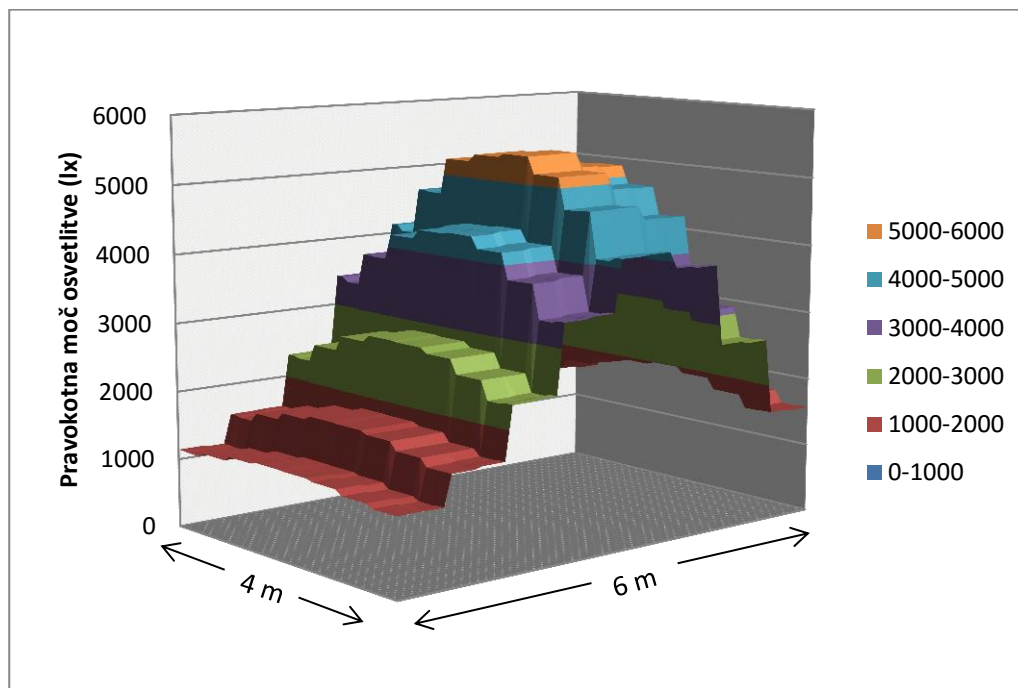
Primer 6

Preglednica A4: Rezultati pravokotne moči osvetljenosti za Primer 6 (75°)



Minimalna zahteva osvetljenosti:
 Povprečna osvetljenost prostora:
 Kraj/Datum/Čas:
 Tip neba:

300 lx
 3017 lx
 Ljubljana/21.marec/12.00
 CIE oblačno nebo



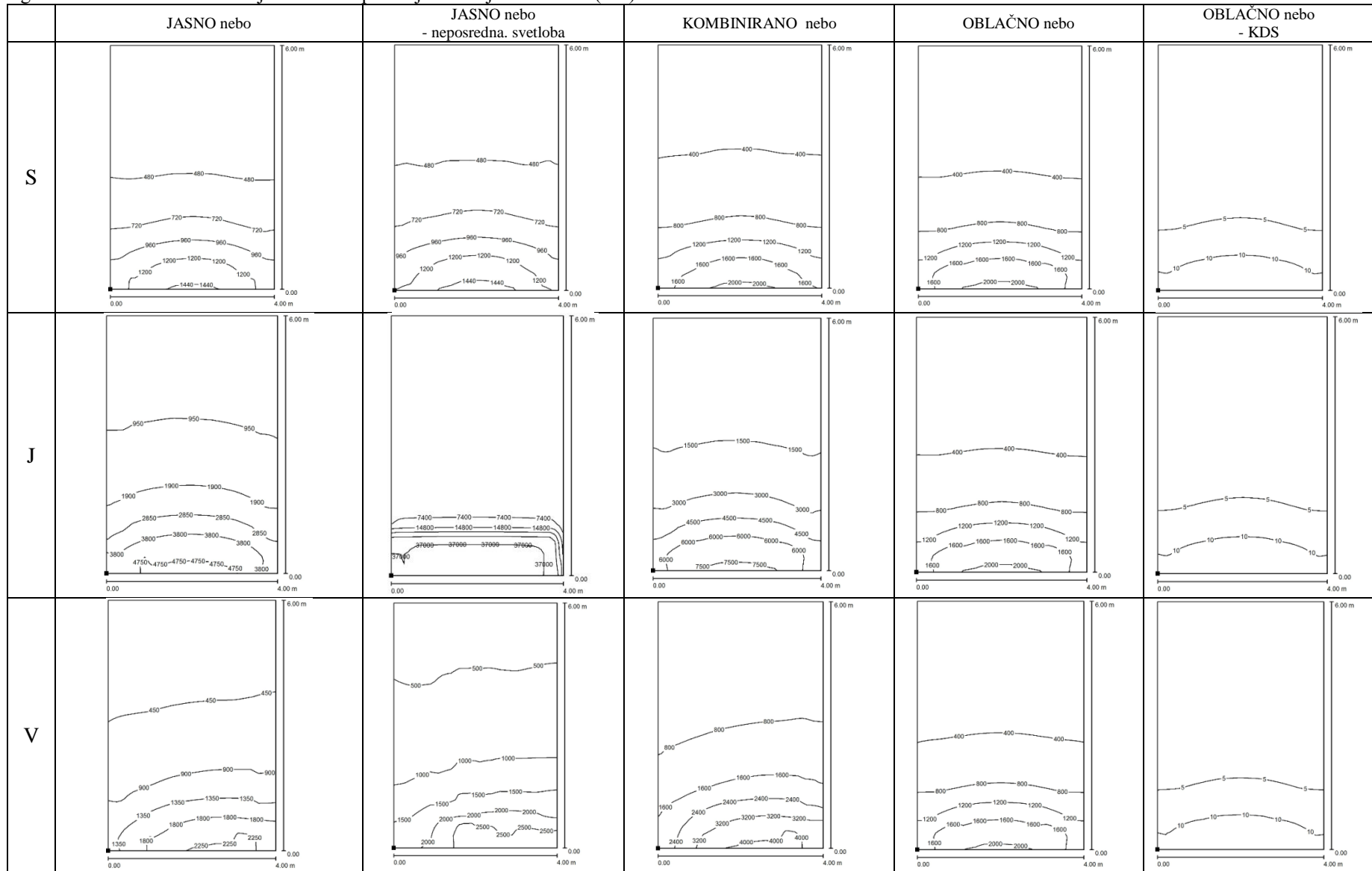
Grafikon A4: Površinska distribucija svetlobe pri Primeru 6 (75°)

A.2 Rezultati analiz predstavljeni ločeno za vsako spremembo naklona

Preglednica A5: Rezultati analize za Primer 1 (00°)

		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
JASNO nebo	S	582	287	1487	0,493	0,193
	J	1688	607	5137	0,36	0,118
	V	764	294	2379	0,384	0,123
		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
JASNO nebo -neposredna svetloba	S	636	352	1534	0,553	0,229
	J	7915	1223	38172	0,154	0,032
	V	958	396	2748	0,416	0,144
		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
KOMBINIRANO nebo	S	665	276	2102	0,416	0,131
	J	2383	756	7965	0,317	0,095
	V	1227	388	4261	0,317	0,091
		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
OBLAČNO nebo	S	606	206	2133	0,34	0,096
	J					
	V					
		Dm [%]	Dmin [%]	Dmax [%]	Dmin / Dm	Dmin / Dmax
OBLAČNO nebo - KDS	S	4,05	1,38	14	0,34	0,096
	J					
	V					

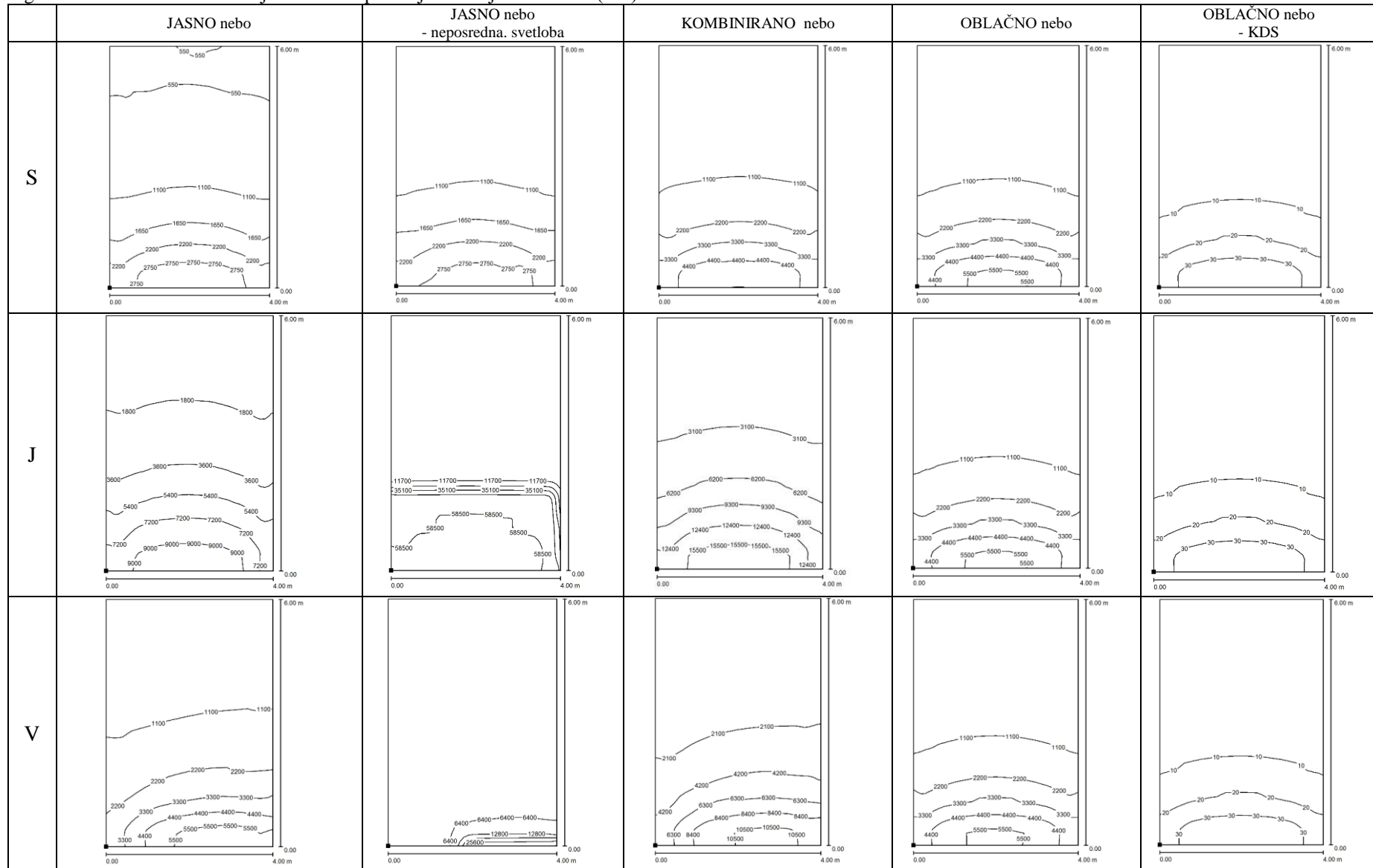
Preglednica A6: Prikaz distribucije svetlobe s pomočjo izolinij za Primer 1 (00°)



Preglednica A7: Rezultati analize za Primer 2 (15°)

		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
JASNO nebo	S	1175	511	3111	0,435	0,164
	J	3681	1179	9773	0,32	0,121
	V	1775	593	5996	0,334	0,099
		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
JASNO nebo -neposredna svetloba	S	1225	575	3176	0,469	0,181
	J	21274	2494	60696	0,117	0,041
	V	2898	942	32444	0,325	0,029
		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
KOMBINIRANO nebo	S	1564	457	5534	0,292	0,082
	J	5557	1524	16902	0,274	0,090
	V	3049	804	10984	0,264	0,073
		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
OBLAČNO nebo	S	1538	381	5653	0,248	0,067
	J					
	V					
		Dm [%]	Dmin [%]	Dmax [%]	Dmin / Dm	Dmin / Dmax
OBLAČNO nebo - KDS	S	10	2,55	38	0,248	0,067
	J					
	V					

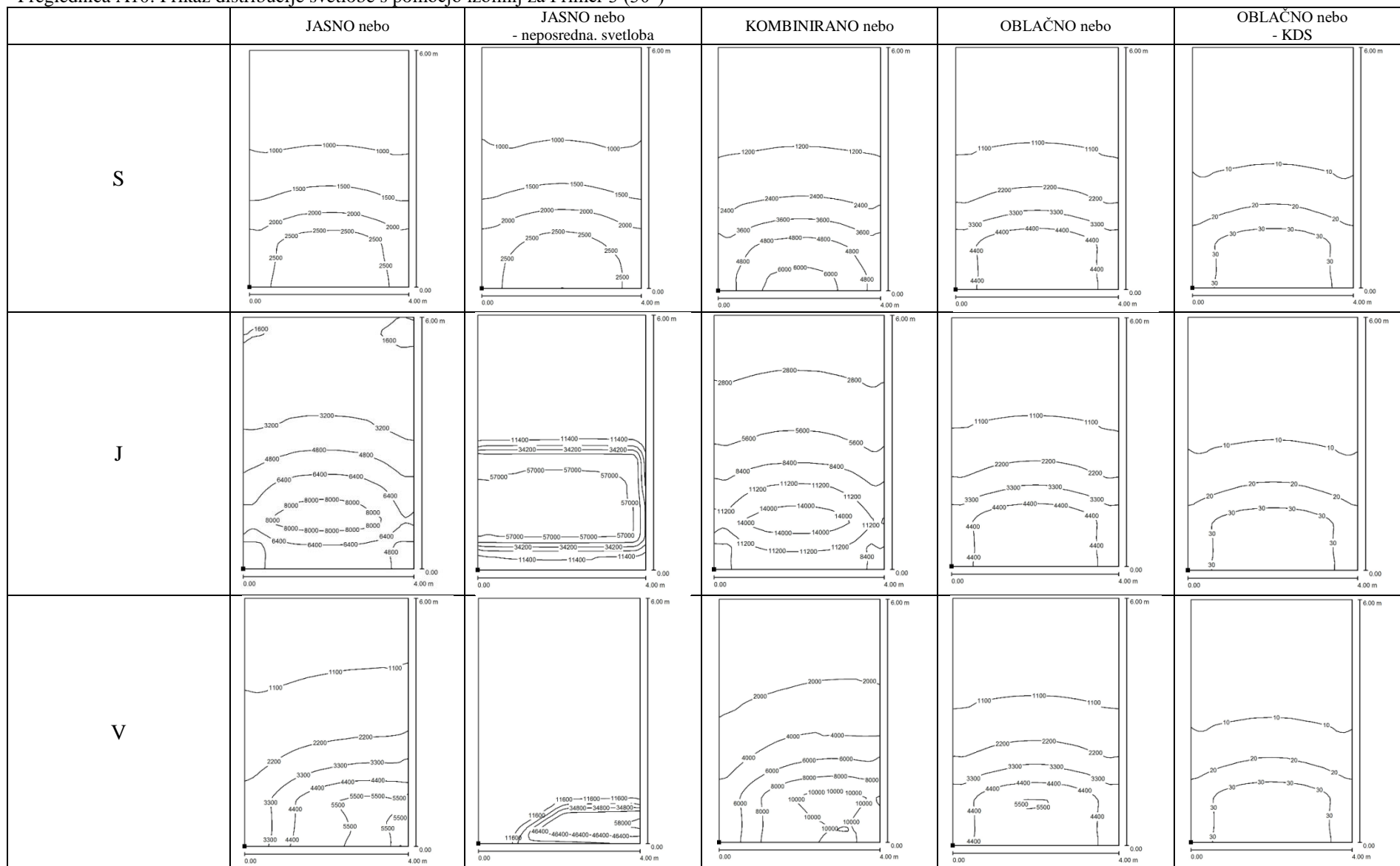
Preglednica A8: Prikaz distribucije svetlobe s pomočjo izolinij za Primer 2 (15°)



Preglednica A9: Rezultati analize za Primer 3 (30°)

		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
JASNO nebo	S	1452	629	2999	0,433	0,21
	J	4286	1479	9068	0,345	0,163
	V	2330	741	5815	0,318	0,127
		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
JASNO nebo -neposredna svetloba	S	1491	695	3004	0,466	0,231
	J	24816	3176	59825	0,128	0,053
	V	7428	1364	59356	0,184	0,023
		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
KOMBINIRANO nebo	S	2288	599	6330	0,262	0,095
	J	6850	1974	15966	0,288	0,124
	V	4166	1042	10786	0,25	0,097
		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
OBLAČNO nebo	S	2191	514	5541	0,234	0,093
	J					
	V					
		Dm [%]	Dmin [%]	Dmax [%]	Dmin / Dm	Dmin / Dmax
OBLAČNO nebo - KDS	S	15	3,43	37	0,236	0,093
	J					
	V					

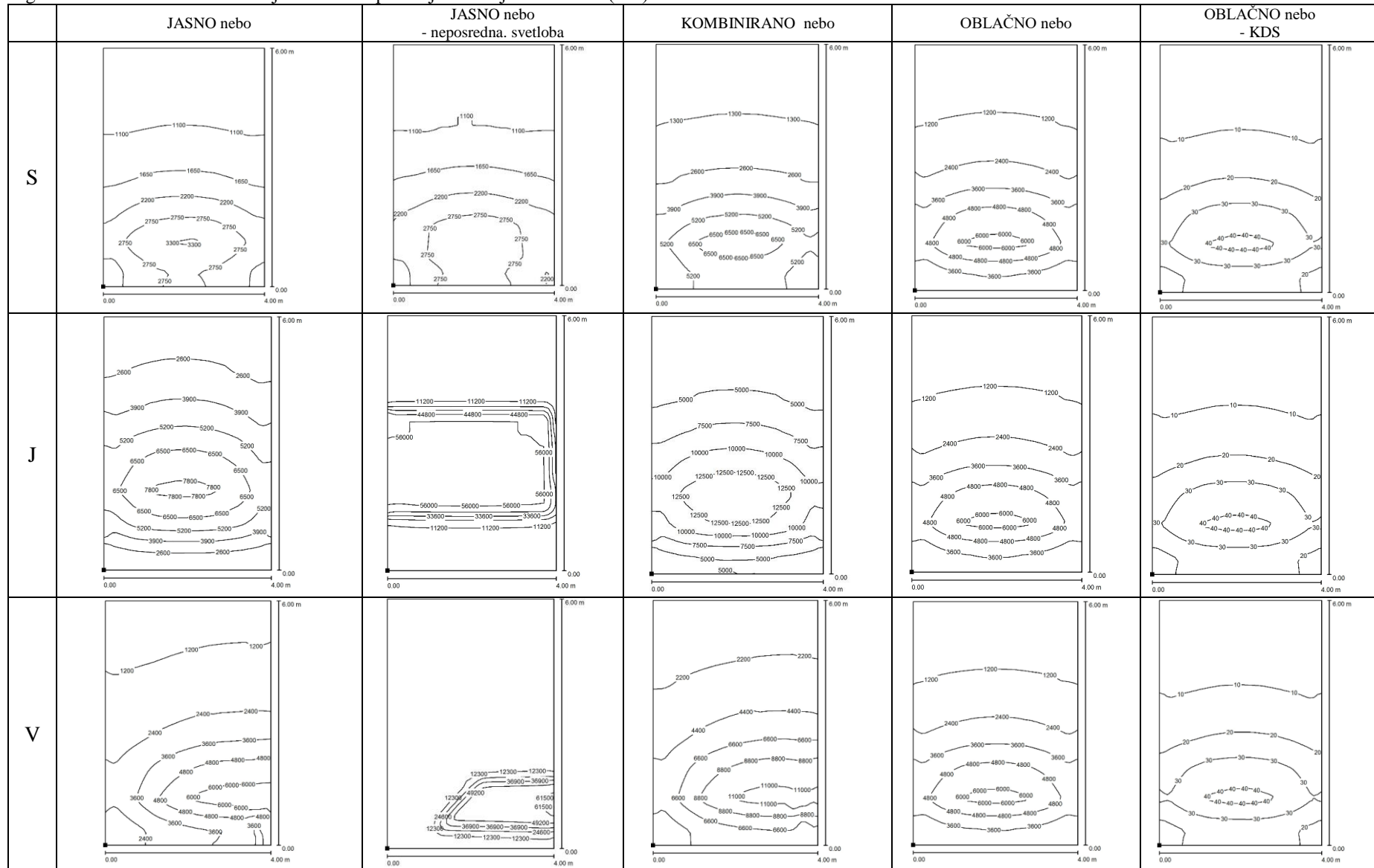
Preglednica A10: Prikaz distribucije svetlobe s pomočjo izolinij za Primer 3 (30°)



Preglednica A11: Rezultati analize za Primer 4 (45°)

		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
JASNO nebo	S	1707	759	3388	0,445	0,224
	J	4322	1839	8185	0,426	0,225
	V	2649	921	6698	0,348	0,137
		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
JASNO nebo -neposredna svetloba	S	1745	830	3399	0,476	0,244
	J	27060	3394	59001	0,125	0,058
	V	9721	1837	62963	0,189	0,029
		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
KOMBINIRANO nebo	S	3012	829	7326	0,275	0,113
	J	7216	2523	14598	0,35	0,173
	V	4843	1370	11873	0,283	0,115
		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
OBLAČNO nebo	S	2653	696	6390	0,262	0,109
	J					
	V					
		Dm [%]	Dmin [%]	Dmax [%]	Dmin / Dm	Dmin / Dmax
OBLAČNO nebo - KDS	S	18	4,65	43	0,264	0,109
	J					
	V					

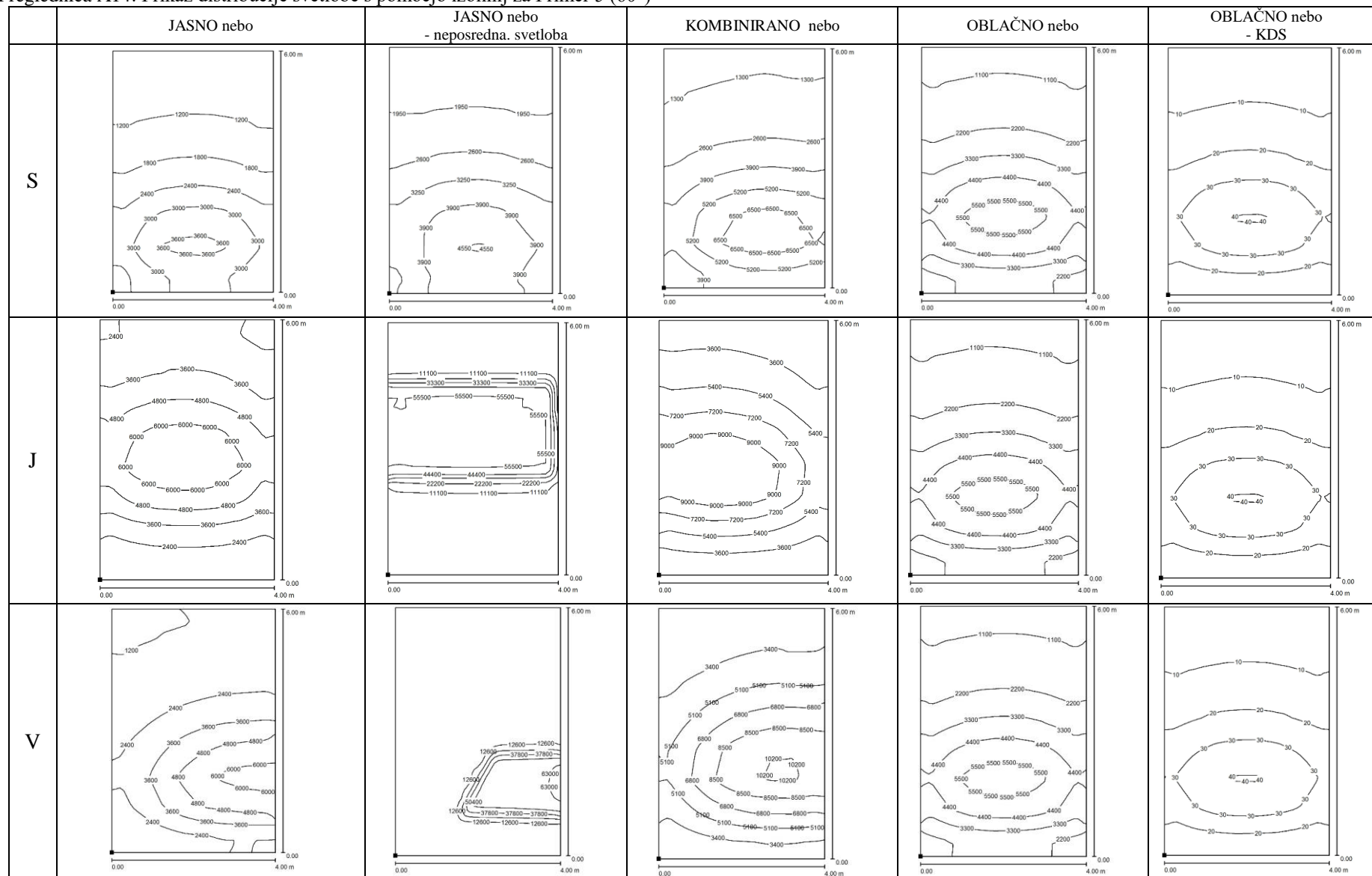
Preglednica A12: Prikaz distribucije svetlobe s pomočjo izolinij za Primer 4 (45°)



Preglednica A13: Rezultati analize za Primer 5 (60°)

		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
JASNO nebo	S	2035	867	3813	0,426	0,227
	J	4018	1337	7003	0,333	0,191
	V	2817	1040	6665	0,369	0,156
		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
JASNO nebo -neposredna svetloba	S	2896	1606	4650	0,554	0,345
	J	24831	2670	57900	0,108	0,046
	V	11402	2380	65205	0,209	0,036
		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
KOMBINIRANO nebo	S	3545	1029	7321	0,29	0,141
	J	5918	2122	10882	0,359	0,195
	V	5399	1987	10404	0,368	0,191
		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
OBLAČNO nebo	S	2965	892	6151	0,302	0,145
	J					
	V					
		Dm [%]	Dmin [%]	Dmax [%]	Dmin / Dm	Dmin / Dmax
OBLAČNO nebo - KDS	S	20	5,96	41	0,302	0,145
	J					
	V					

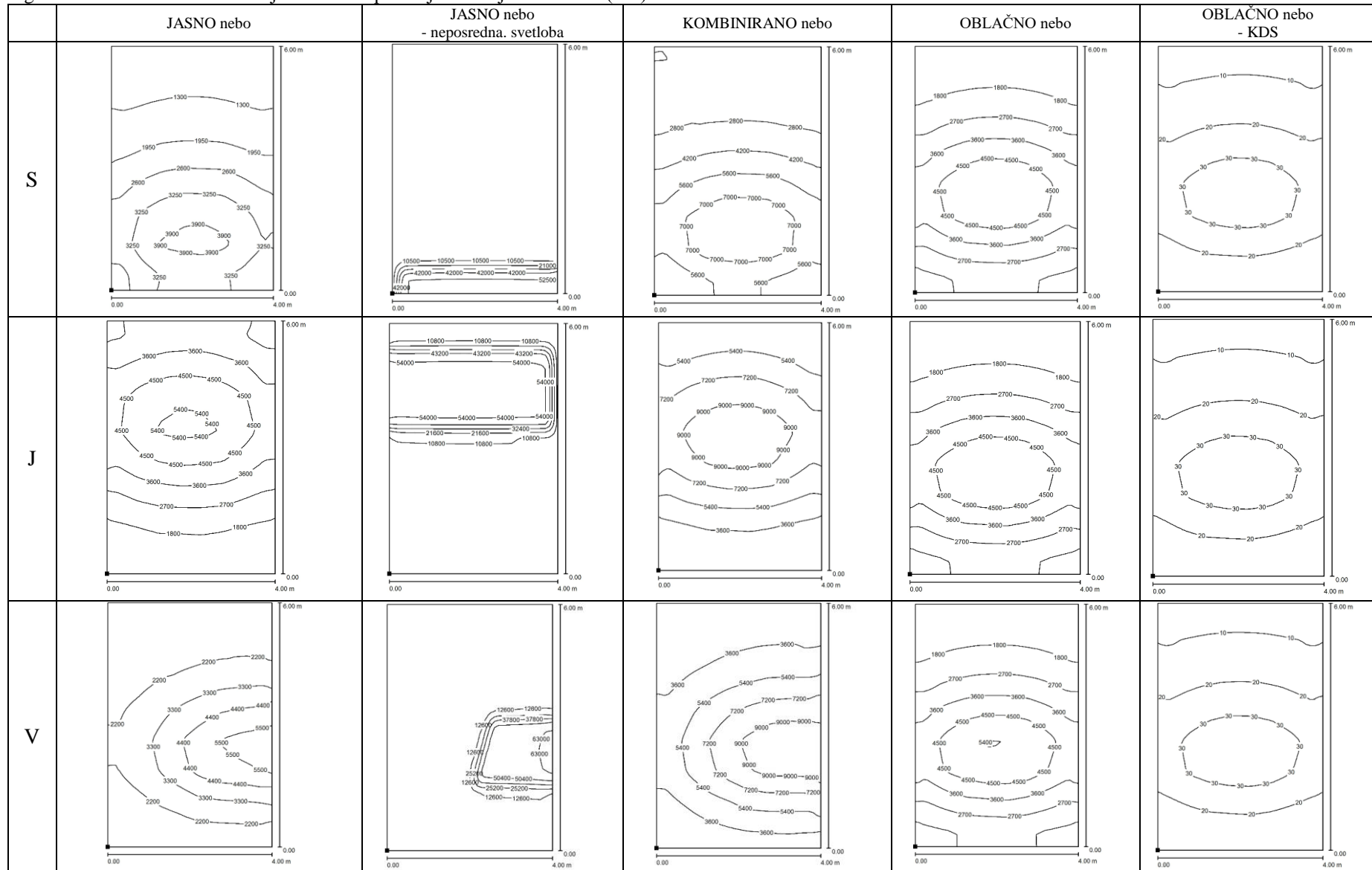
Preglednica A14: Prikaz distribucije svetlobe s pomočjo izolinij za Primer 5 (60°)



Preglednica A15: Rezultati analize za Primer 6 (75°)

		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
JASNO nebo	S	2346	936	4169	0,399	0,225
	J	3392	1135	5628	0,335	0,202
	V	2735	1087	6156	0,397	0,177
		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
JASNO nebo -neposredna svetloba	S	8560	1994	54217	0,233	0,037
	J	20193	2272	56237	0,112	0,040
	V	11062	2735	65497	0,247	0,042
		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
KOMBINIRANO nebo	S	4491	1386	8108	0,309	0,171
	J	6164	2047	10577	0,332	0,194
	V	5205	1889	10550	0,363	0,179
		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
OBLAČNO nebo	S	3017	1106	5404	0,367	0,205
	J					
	V					
		Dm [%]	Dmin [%]	Dmax [%]	Dmin / Dm	Dmin / Dmax
OBLAČNO nebo - KDS	S	20	7,39	36	0,367	0,205
	J					
	V					

Preglednica A16: Prikaz distribucije svetlobe s pomočjo izolinij za Primer 6 (75°)



Preglednica A17: Rezultati analize za Primer 7 (90°)

		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
JASNO nebo	S	2714	1070	4261	0,394	0,251
	J	2705	1075	4265	0,397	0,252
	V	2612	1188	5413	0,455	0,22
		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
JASNO nebo -neposredna svetloba	S	14183	2331	55046	0,164	0,042
	J	13806	2407	54948	0,174	0,044
	V	10529	3257	65602	0,309	0,050
		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
KOMBINIRANO nebo	S	5125	1825	8248	0,356	0,221
	J	5111	1833	8259	0,359	0,222
	V	5004	2179	9302	0,436	0,234
		Em [lx]	Emin [lx]	Emax [lx]	Emin / Em	Emin / Emax
OBLAČNO nebo	S	2953	1437	4850	0,487	0,296
	J					
	V					
		Dm [%]	Dmin [%]	Dmax [%]	Dmin / Dm	Dmin / Dmax
OBLAČNO nebo - KDS	S	20	9,61	32	0,487	0,296
	J					
	V					

Preglednica A18: Prikaz distribucije svetlobe s pomočjo izolinij za Primer 7 (90°)

