

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:

Ravnikar, B., 2016. Analiza svetlobnega udobja v srednji šoli Domžale. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M.): 65 str.

Datum arhiviranja: 20-09-2016

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:

Ravnikar, B., 2016. Analiza svetlobnega udobja v srednji šoli Domažle. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M.): 65 pp.

Archiving Date: 20-09-2016

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 GRADBENIŠTVO
KONSTRUKCIJSKA SMER**

Kandidat:

BLAŽ RAVNIKAR

**ANALIZA SVETLOBNEGA UDOBJA V SREDNJI
ŠOLI DOMŽALE**

Diplomska naloga št.: 3515/KS

**THE ANALYSIS OF VISUAL COMFORT IN THE HIGH
SCHOOL DOMŽALE**

Graduation thesis No.: 3515/KS

Mentor:

doc. dr. Mitja Košir

Ljubljana, 16. 09. 2016

STRAN ZA POPRAVKE

IZJAVE

Spodaj podpisani/-a študent/-ka Blaž Ravnikar, vpisna številka 26104919, avtor/-ica pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Analiza svetlobnega udobja v Srednji šoli Domžale.

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/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a 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: _____

Podpis študenta/-ke:

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	628.9:699.8(497.4Domžale)(043.2)
Avtor:	Blaž Ravnikar
Mentor:	doc. dr. Mitja Košir
Somentor:	/
Naslov:	Analiza svetlobnega udobja v Srednji šoli Domžale
Tip dokumenta:	diplomsko delo
Obseg in oprema:	65 str., 6 pregl., 45 sl., 8 graf., 5 pril.
Ključne besede	svetlobno udobje, naravna svetloba, osvetlitev prostorov, šole

Izvleček:

V diplomski nalogi je obravnavano področje zagotavljanja svetlobnega udobja in osredotočeno na čim večjo možnost uporabe dnevne – naravne svetlobe. Teoretični del na podlagi strokovne literature, standardov in normativov opisuje vse potrebne zahteve za zagotavljanje zadostne in regulirane osvetljenosti prostorov za različne namene. Empirična raziskava obravnava primer sedmih prostorov v srednji šoli v Domžale, za katero so bile izvedene meritve in simulacije s programskim orodjem DIALux 4.12.0.1 in VELUX Daylight Visualizer 2.6.7. Pri tem so natančneje prikazani postopki meritev in programska oprema za analizo osvetljenosti prostorov. V nadaljevanju so sistematično podani raznovrstni ukrepi za izboljšanje svetlobnega udobja s pomočjo dnevne svetlobe za vsak analiziran prostor posebej. Rezultati so predstavljeni tabelarično, grafično, slikovno in opisno ter so kritično ovrednoteni glede na priporočene vrednosti minimalne osvetljenosti tovrstnih prostorov (300 lx). Uvedba svetlobnih polic v prostorih prvega nadstropja najbolj vpliva na izboljšanje stanja, delno pripomorejo k temu tudi bele stene v vseh prostorih. Kjer je to iz konstrukcijskega in oblikovnega vidika mogoče, se namestijo dodatne okenske odprtine. V prostorih mansarde je z uvedbo strešnih oken v kombinaciji z ustreznimi senčili mogoče ustvariti skoraj idealne pogoje svetlobnega udobja, obenem pa tovrsten poseg ne kvari obstoječe arhitekturne zasnove.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDK:	628.9:699.8(497.4Domžale)(043.2)
Author:	Blaž Ravnikar
Supervisor:	assist. Prof. Mitja Košir, Ph.D
Cosupervisor:	/
Title:	The analysis of the visual comfort in the high school Domžale
Document type:	Thesis
Scope and tools:	65 p., 6 tab., 45 fig., 8 graph., 5 ann.
Key words:	Visual comfort, natural light, lighting of spaces, school

Abstract:

In this thesis the sphere of assuring visual comfort is discussed with the focus on how to best use daily or natural light. With the help of technical literature, standards and criteria in the theoretical part all the necessary demands to assure enough and modified lighting of spaces for different purposes are described. The empirical research focuses on the example of the high school Domžale, for which the measurements and simulations with the programming equipment DIALux 4.12.0.1 and VELUX Daylight Visualizer 2.6.7 are performed. The procedures of measurement and programming equipment for analysis of lighting of spaces are shown in detail. Further on different measures to improve visual comfort with the help of daily light for each analyzed space are systematically presented. The results are shown in tables, graphs, pictures and descriptions, and are critically evaluated regarding the recommended values of minimal lighting of such spaces (300lx). The use of light shelves in the spaces of the first floor helps most in improving the situation, partially also white walls in all spaces aid in the improvement. Where this is possible – from the point of construction and design - there are additional window openings arranged. With the implementation of the roof windows in combination with appropriate shades it is possible to create almost ideal conditions of visual comfort in the attic. At the same time this sort of change does not hurt the existing architectural plan.

ZAHVALA

Za pomoč in podporo pri nastajanju diplomskega dela se iskreno zahvaljujem mentorju prof. dr. Mitji Koširju, svoji družini in prijateljem, ki so mi pomagali pri meritvah na terenu in spoznavanju specifične računalniške programske opreme. Obenem se zahvaljujem tudi direktorju Srednje šole Domžale mag. Primožu Škoficu, ki mi je omogočil, da sem izvajal meritve v prostorih.

KAZALO VSEBINE

Izjave	I
Bibliografsko – dokumentacijska stran in izvleček	II
Bibliographic-documentalistic information and abstract	III
Zahvala	IV
1 UVOD	1
2 ZAKONODAJA	2
3 TEORETIČNI DEL	4
3.1 Pomen dnevne svetlobe	4
3.2 Svetloba in pomen svetlobnega udobja	8
3.3 Zagotavljanje ustrezne osvetljenosti prostorov	13
3.4 Uporaba sončne zaščite	16
3.4.1 Vrste sistemov za nadzor osvetljenosti v prostoru.....	17
3.5 Dodatna umetna razsvetljava.....	20
4 METODOLOGIJA	22
4.1 Opis obravnavane lokacije in objekta.....	22
4.2 Opis zbiranja podatkov	23
4.3 Opis merilnega inštrumenta	24
4.4 Opis programskega orodja.....	25
4.5 Vhodni podatki.....	27
5 MERITVE POVPREČNE OSVETLJENOSTI PROSTOROV	27
5.1 Analiza meritev učilnice 33	29
5.2 Analiza meritev učilnice 34	31
5.3 Analiza meritev v zbornici	33
5.4 Analiza meritev učilnice 301.....	35
5.5 Analiza meritev učilnice 303.....	37
5.6 Analiza meritev učilnice 308.....	39
5.7 Analiza meritev učilnice 310.....	41
5.8 Primerjava in izbira programskega orodja	43

6	ANALIZA SVETLOBNEGA UDOBJA ZA REFERENČNE DNEVE	44
6.1	Analiza obstoječega svetlobnega udobja za učilnici 33, 34 in zbornico	45
6.2	Analiza svetlobnega udobja za učilnice 301, 303, 308 in 310.....	45
6.3	Sinteza meritev in ugotovitve	46
7	ANALIZA UKREPOV ZA IZBOLJŠANJE OSVETLJENOSTI PROSTOROV	47
7.1	Ukrep 1	48
7.2	Ukrep 2.....	50
7.3	Ukrep 3.....	52
7.4	Ukrep 4.....	54
7.5	Sinteza meritev in ovrednotenje ukrepov	56
8	SKLEP	62
	VIRI.....	64

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Povprečna izmerjena transmisivnost okenskih površin	27
Preglednica 2: Podatki za reflektivnost površin	27
Preglednica 3: Primerjava meritev	43
Preglednica 4: Povprečne horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] obstoječega stanja	46
Preglednica 5: Vrednosti horizontalne osvetlitve vseh ukrepov glede na referenčne dneve .	58
Preglednica 6: Odstotek izboljšave osvetljenosti s pomočjo ukrepov	60

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 34	30
Grafikon 2: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 34	32
Grafikon 3: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v zbornici	34
Grafikon 4: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 301	36
Grafikon 5: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 303	38
Grafikon 6: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 308	40
Grafikon 7: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 310	42
Grafikon 8: Primerjava meritev	43

KAZALO SLIK

Slika 1: Efekt dnevne naravne svetlobe (Concrete and light: www.designbinge.tumblr.com) .	4
Slika 2: Estetske kvalitete naravne svetlobe (OUL Edge gallery: www.archdaily.com)	5
Slika 3: Kruithof diagram (EDUCATE, 2016).....	12
Slika 4: Energetska učinkovitost senčila glede na lego (UL FGG KSKE v Kristl, 2011)	16
Slika 5: Distribucija svetlobe pri uporabi svetlobnih polic (Dwfcontract, 2010).....	18
Slika 6: Svetlobna polica kot arhitekturni element (Wikimedia commons, 2007).....	18
Slika 7: Oblika sodobnega pomičnega refleksijskega senčila (optical functioning: http://www.retrosolar.de).....	19
Slika 8: Efekt pomičnih refleksijskih senčil v prostoru (optical functioning: http://www.retrosolar.de).....	19
Slika 9: Ortofoto posnetek lokacije (Atlas okolja, 2016).....	22
Slika 10: Shematska predstavitev obravnavanih prostorov	22
Slika 11: Raster merjenih točk osvetljenosti v učilnici	23
Slika 12: Merilni inštrument Metrel MI 3105 Eurotest XA.....	24
Slika 13: Merilni inštrument Alphatek TEK 1336.....	24
Slika 14: Delovno okolje programa DIALux 4.12.0.1 (Dial, 2016)	26
Slika 15: Delovno okolje programa VELUX Daylight Visualizer 2.6.7 (Velux, 2016a)	26
Slika 16: Prikaz postopka merjenja glede na točke v prostoru.....	28
Slika 17: Učilnica 33.....	29
Slika 18: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 33	30
Slika 19: Učilnica 34.....	31
Slika 20: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 34	32
Slika 21: Zbornica	33
Slika 22: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v zbornici.....	34
Slika 23: Učilnica 301.....	35
Slika 24: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 301	36
Slika 25: Učilnica 303.....	37
Slika 26: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 303	38
Slika 27: Učilnica 308.....	39
Slika 28: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 308	40
Slika 29: Učilnica 310.....	41
Slika 30: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 310	42
Slika 31: 3D-model obstoječega stanja	44
Slika 32: Analiza obstoječega svetlobnega udobja za učilnici 33, 34 in zbornico (23. 9., 12:00)	45

Slika 33: Analiza obstoječega svetlobnega udobja za učilnice 301, 303, 308 in 310 (23. 9., 12:00)	45
Slika 34: Prikaz Ukrepa 1 na 3D-modelu.....	48
Slika 35: Analiza Ukrepa 1 za učilnici 33, 34 in zbornico (23. 9., 12:00).....	49
Slika 36: Analiza Ukrepa 1 za učilnice 301, 303, 308 in 310 (23. 9., 12:00).....	49
Slika 37: Prikaz Ukrepa 2 na 3D-modelu.....	50
Slika 38: Analiza Ukrepa 2 za učilnici 33, 34 in zbornico (23. 9., 12:00).....	51
Slika 39: Analiza Ukrepa 2 za učilnice 301, 303, 308 in 310 (23. 9., 12:00).....	51
Slika 40: Prikaz Ukrepa 3 na 3D-modelu.....	52
Slika 41: Analiza Ukrepa 3 za učilnici 33, 34 in zbornico (23. 9., 12:00).....	53
Slika 42: Analiza Ukrepa 3 za učilnice 301, 303, 308 in 310 (23. 9., 12:00).....	53
Slika 43: Prikaz Ukrepa 4 na 3D-modelu.....	54
Slika 44: Analiza Ukrepa 4 za učilnici 33, 34 in zbornico (23. 9., 12:00).....	55
Slika 45: Analiza Ukrepa 3 za učilnice 301, 303, 308 in 310 (23. 9., 12:00).....	55

1 UVOD

Svetloba predstavlja enega izmed pogojev za življenje, v zadnjem času pa tudi enega najbolj proučevanih fenomenov v okviru grajenega okolja. Njenega pomena na človekovo bivanje, delovanje in vsesplošno psihofizično stanje so se sicer zavedali že v preteklosti, danes pa z uporabo raznovrstnih izboljšanih pristopov in tehnologij stremimo k temu, da ustvarjamo čim boljše bivalno udobje oziroma ugodje, kakor v strokovni literaturi tudi pojmujeemo tovrsten pristop.

V splošnem ločimo med dvema tipoma svetlobe: naravno in umetno. Naravna je človeku primarna, zato stremimo k temu, da jo čim bolj uspešno vpeljemo v prostor. Oblikovanje svetlobe tesno povezuje arhitekturo, gradbeništvo in elektroinženirstvo ter obravnava osvetljevanje interierjev ter eksterierjev v skladu s tehničnimi, estetskimi, okoljevarstvenimi in psihološkimi zahtevami. Le-to prispeva tudi k racionalni rabi energije v stavbah ter bistveno vpliva na človekovo počutje in razpoloženje. Temni prostori ustvarjajo turobno in nespodbudno okolje, prav tako pa lahko pretiran in nekontroliran dotok naravne svetlobe deluje moteče (Perger, 2016).

S sodobnimi programskimi orodji je mogoče zelo natančno definirati količino in razporeditev svetlobe v prostorih tekom celega leta že v fazi načrtovanja objektov. Kadar se lotimo prenov, smo seveda omejeni, kljub temu pa obstajajo sodobni tehnični pristopi, s katerimi lahko stanje izboljšamo in potrebe po naravni dnevni svetlobi približamo zahtevanim in predpisanim z zakonodajo. Še posebej so na udaru objekti družbenega pomena, kot so šole in vrtci, pa tudi delovna mesta, kjer je potreba po dnevni svetlobi največja.

V diplomski nalogi smo s pomočjo meritev in obdelave podatkov s primernimi programskimi orodji analizirali svetlobno udobje obstoječih učilnic Srednje šole Domžale. Pridobljene rezultate in izračune smo podali tabelarično ter v obliki shem in grafikonov, ki jasno prikazujejo distribucijo dnevne naravne svetlobe po celotni globini prostora na določeni delovni ravnini. Vrednosti smo primerjali s priporočenimi ter v nadaljevanju izvedli ukrepe za izboljšavo svetlobnega ugodja v posameznem prostoru. Namen naloge je opozoriti na pomemben vidik načrtovanja in prenove objektov, ki posledično zadeva tudi gradbeno prakso. Razumevanje tovrstnih dejavnikov obenem predstavlja tudi izboljšano interdisciplinarnost med vsemi strokami, ki so vključene v proces načrtovanja in gradnje objektov.

2 ZAKONODAJA

Hierarhično je naštetja zakonodaja s področja svetlobnega udobja v stavbah, ki smo jo uporabili v nalogi. Omenjeno področje je obsežno. Zakonodaja izhaja iz evropske ravni in se upošteva na nacionalnem nivoju kot zakoni, pravilniki, smernice in standardi. Na kratko smo povzeli tudi bistvene zahteve in jih v nadaljevanju opisali, upoštevali in preverili, ali so izpolnjene v primeru analizirane stavbe. Upoštevali smo naslednje dokumente:

- Uredba REG 305/2011,
- Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta in sveta o energetske učinkovitosti stavb,
- Zakon o graditvi objektov ZGO-1,
- Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnem mestu (Ur. l. RS, št. 89/99, 39/05),
- Navodila za graditev osnovnih šol v Republiki Sloveniji 2007,
- SIST EN 12464-1 : 2011.

Trenutno v slovenskem prostoru ne obstajajo veljavni normativi posebej za gradnjo osnovnih šol, ki bi predpisovali tudi priporočeno količino dnevne svetlobe v učilnicah. Do 9. 9. 1999 je bil v veljavi Pravilnik o normativih za graditev in opremo osnovnih šol (Uradni list SRS, št. 21/68, 12/71 in 5/80), novi dokument pa je v fazi priprave. V nadaljevanju zato navajamo vsebino tistih dokumentov, ki poleg drugih vsebin vsebujejo tudi smernice in normative, ki smo jih upoštevali kot mejne priporočene ukrepe in tudi mejne vrednosti v okviru empiričnega dela naloge.

Uredba REG 305/2011

opisuje zagotavljanje zdravega notranjega okolja za prebivalce in uporabnike stavb. Pri samem načrtovanju moramo med drugimi zahtevami upoštevati tudi osvetlitev prostorov (Kristl, 2011).

Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta in sveta o energetske učinkovitosti stavb

opisuje izračun za porabo energije stavb. Predvideva dobro osvetljenost prostorov z dnevno svetlobo ter s tem manjšo porabljeno energijo (Kristl, 2011).

Zakon o graditvi objektov ZGO-1

V njem so predpisane vse zahteve, ki jih potrebujemo v fazi projektiranja objektov.

Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnem mestu

(Ur. l. RS, št 89/99, 39/05)

Sedmo poglavje opisuje *Razsvetljavo v delovnih prostorih* z naravno svetlobo. »Delovni prostori morajo biti osvetljeni z naravno svetlobo. V prostorju je potrebno zagotoviti vidni stik z okolico. Velikost, razpored ter kakovost površin za osvetljevanje delovnih mest z naravno svetlobo moramo zagotoviti v skladu s standardi.«

»Velikost površin za osvetljevanje delovnih mest z naravno svetlobo mora znašati najmanj 1/8 tlorisne površine prostora.«

»Višina in širina okna mora znašati najmanj 1,0 m. Parapet ne sme presegati višine 1,5 m. Prozorna površina okna v odvisnosti od globine prostora mora znašati najmanj 1,5 m² pri globini prostora nad 4,0 m.«

Navodila za graditev osnovnih šol v Republiki Sloveniji 2007

Navodila opisujejo predvsem lociranje šole na parceli ter orientacijo prostorov. Zemljišče šole mora biti locirano tako, da je osončeno. Šolsko stavbo orientiramo tako, da so matične učilnice obrnjene južno ali jugovzhodno (do 10°). Stokovne učilnice obrnemo na severno stran. Poleti, ko je sonce visoko, moramo z ukrepi, kot so senčila, napušči, preprečiti prekomerno osvetljenost in bleščavost v prostorih. Za vse prostore v šoli je pomembna celodnevna zadostna osvetljenost (Kristl, 2011).

SIST EN 12464-1 : 2011

določa priporočene minimalne vrednosti za izobraževalne ustanove (učilnice: 300 lx)
(Table 55.3.6, str. 39).

Zakonodaja je podrobneje predstavljena v podpoglavjih teoretičnega sklopa glede na obravnavano tematiko.

3 TEORETIČNI DEL

Svetloba močno vpliva na naše bivanje in vedenje. Človek iz okolja pridobiva impulze, ki se že tisočletja nalagajo v obliki nezavednega vedenja, ki ga imenujemo bioritem (Novljan, 2012). Potreba po dnevi svetlobi oziroma sončnem obsevanju je tako rekoč v naravi vseh živih bitji že od nekdaj, saj predstavlja enega izmed pogojev za nastanek in obstoj življenja. Za človeka ima nadvse pomembno vlogo pri delovanju biološkega ritma, sintezi vitamina D in njegovi vsesplošni učinkovitosti (Perger, 2016). Le-ta je zjutraj drugačna kot opoldan ali zvečer, prav tako se razlikuje glede na to, v katerem kraju se nahajamo. Potrebe po naravni svetlobi se razlikujejo glede na namembnost prostora, v določeni meri pa tudi glede na našo subjektivno presojo. Zatorej tudi velja, da je nevtralna do topla svetloba (kadar naravno dopolnjujemo z umetno) najbolj ugodna, ker nam daje občutek udobja, zavetja, prijaznosti in sprejetja (Novljan, 2012). V končni fazi pa nikakor ne smemo pozabiti na estetski vidik, saj lahko prav z dnevno svetlobo ustvarjamo zanimive in obenem »dinamične« ambiente (Slika 1).



Slika 1: Efekt dnevne naravne svetlobe (Concrete and light:
www.designbinge.tumblr.com).

3.1 Pomen dnevne svetlobe

Poleg funkcionalnega vidika, ima dnevna svetloba v stavbarstvu tudi estetski pomen, saj s poudarjanjem njenih elementov in ustvarjanjem igre senc soustvarja arhitekturo. Vloga naravne svetlobe je bila morda v preteklosti zaradi nizke cene energije in uvedbe fluorescentnih svetilk nekoliko zanemarjena, dandanašnje tendence pa se gibljejo k stroгим merilom pri zaščiti okolja in oblikovanju energetske varčnih stavb. Kristl (2011) navaja, da po

izračunih kar polovico primarne energije porabimo za umetno razsvetljavo, ter da je zato dnevna svetloba postala bistven predmet obravnav pri snovanju stavb s pasivnim ogrevanjem in ohlajevanjem. V nadaljevanju zato navaja osnovne cilje dnevnega osvetljevanja:

- primerna spektralna sestava svetlobe,
- zadostna in ustrezna osvetljenost prostora,
- enakomernost osvetlitve po celotni globini prostora,
- preprečitev motečega efekta bleščanja zaradi pretirane svetlosti ali zaradi odseva od površin,
- primerni svetlobni kontrasti v prostoru,
- ugodno razmerje direktne in difuzne svetlobe,
- estetske kvalitete svetlobe, kakor prikazuje Slika 2.



Slika 2: Estetske kvalitete naravne svetlobe (OUL Edge gallery: www.archdaily.com).

Sončno sevanje

Za razumevanje vpliva dnevne svetlobe je potrebno razumeti delovanje sonca, kot vira dnevne svetlobe. Sončno sevanje, ki dosega zemljino atmosfero, obravnavamo kot nespremenljivo, njegovo količino pa poimenujemo solarna konstanta. Ob stiku sončnega sevanja s površino zemlje, se približno 25 % le-tega odbije nazaj v vesolje, 25 % ga absorbira atmosfera, preostalih 50 % pa doseže zemljino površje kot direktno in difuzno sevanje (Kristl, 2011).

Svetloba je elektromagnetno valovanje točno določenih valovnih dolžim (λ med 380 in 760 nm), ki ga zaznamo z očmi. Oddajajo ga na primer telesa z dovolj visoko temperaturo (v primeru, da gre za sevalo), oziroma telesa z vzbujenimi atomskimi delci (Medved, 2008a).

Sončni spekter je sestavljen iz 2 % ultravijolične svetlobe (UV), 47 % vidne svetlobe in 51 % infrardeče svetlobe (IR). Merimo jo z nanometri (nm). UV-svetloba je človeškemu očesu nevidna, pri dolgotrajni izpostavljenosti pa škoduje materialom. Tako imenovana vidna svetloba je edini sončni vir, ki ga zazna človeško oko (Kristl, 2011).

Dnevna svetloba sestoji iz direktne in difuzne svetlobe. Direktna predstavlja neposredno sončno sevanje, je močna in povzroča ostre sence, njena smer pa se tekom dneva in letnih časov spreminja ter je odvisna tudi od geografske lege. V nasprotju pa difuzno svetlobo oddaja nebesna hemisfera v obliki sipanja delčkov v atmosferi. Difuzna oziroma indirektna svetloba prihaja iz več smeri hkrati, njen učinek pa razlikujemo glede na jasno ali oblačno nebo. Svetloba jasnega neba je še vedno močna in razmeroma ostra, medtem ko je svetloba oblačnega neba mehkejša, saj jo vodni delci absorbirajo in ponovno sipajo v ozračje. Slednja oblika svetlobe je zatorej prijetnejša in je hladnejše spektralne barve. Tovrstna svetloba je odvisna od količine oblakov (Kristl, 2011). V nadaljevanju podajamo tiste osnovne fizikalne količine, ki so pomembne za obravnavo predvsem količine dnevne – naravne svetlobe v stavbah.

Osnovne fizikalne količine

- **Svetlobni tok** ϕ je fotometrična veličina, ki prikazuje količino oddane energije svetlobnega vira v časovni enoti. Svetlobni tok merimo v luminih (lm). To je dogovorjena enota, ki povezuje svetlobni in sevalni tok. Tako moč sevalnega toka 1 W pri valovni dolžini 555 nm odgovarja svetlobnemu toku 628 lm (Medved, 2008a).
- **Svetilnost** predstavlja razmerje med svetlobnim tokom, ki ga izseva vir svetlobe ali ploskovni element tega vira v stožec.

$$I = \frac{dP}{d\Omega} \quad (1)$$

Svetilnost svetila, ki seva enakomerno v polni prostorski kot, je enaka svetlobnemu toku deljenemu s 4π .

Mednarodni sistem enot za merjenje svetilnosti predpisuje v fizikalnem merilu izpeljano enoto vat/steradian (oznaka W ali W/sr), za merjenje svetilnosti v

fiziološkem merilu pa osnovno enoto kandela (oznaka cd). Kandela je določena kot svetilnost, ki jo v dani smeri izseva izvor enobarvnega valovanja s frekvenco $540 \cdot 10^{12}$ hercev, ki v vsak steradian prostorskega kota izseva $1/683$ W moči v fizikalnem merilu.

Za izotropni izvir, ki seva na vse strani enako, tako velja:

$$I = \frac{P}{4\pi} \quad (2)$$

4π je namreč polni prostorski kot, kar pomeni, da je svetilnost neodvisna od smeri. Pri takšnem izviru je svetlobni tok določen s svetilnostjo kot:

$$P = 4\pi I \quad (3)$$

Anizotropni izvir ne seva na vse strani enako, kar pomeni, da je njegova svetilnost odvisna od smeri. Svetlobni tok v tem primeru podaja enačba:

$$\int I d\Omega = 2\pi \left[1 - \left(\frac{\alpha}{2} \right) \right] I, \quad (4)$$

kjer je α vpadni kot.

- **Svetlost** je merilo za občutek, ki ga neka površina povzroča na naših očeh (temno – svetlo). Je edina svetlobno tehnična veličina, ki jo lahko ocenimo z očmi. Definirana je s sledečo enačbo (Bizjak, 2016):

$$L = \frac{d^2\Phi}{dA \cdot \cos\gamma \cdot d\Omega}, \quad (5)$$

pri čemer je $d\Phi$ del svetlobnega toka v prostorskem kotu $d\Omega$. dA je del površine tega snopa, ki vsebuje izbrano točko, in γ kot med normalo te ploskve in smerjo snopa. Kadar je opazovana točka del ploskve, ki sveti s podano svetilnostjo, računamo:

$$L = \frac{dI}{dA \cdot \cos\gamma} \quad (6)$$

Kadar pa je opazovana točka del ploskve, ki je osvetljena, računamo po naslednji formuli:

$$L = \frac{dE}{\cos \gamma \cdot d\Omega} \quad (7)$$

- **Osvetljenost** (*angl. Illuminance*) je merilo za količino svetlobnega toka, ki pada na neko ploskev. Definirana je kot:

$$E = \frac{d\Phi_v}{dA_e}, \quad (8)$$

pri čemer Φ_v predstavlja svetlobni tok, A_e pa vpadno površino.

Osvetljenost je merilo za jakost vpadajoče svetlobe in pada obratno sorazmerno s kvadratom oddaljenosti. Osvetljenost, ki ga daje točkast izvor s svetilnostjo I na ravnini, ki je nagnjena, je enaka:

$$E = \frac{I}{r^2} \cos \alpha \quad (9)$$

I predstavlja svetilnost izvora, izraženo v kandelah (cd), r razdaljo do izvora in α kot, pod katerim pada svetloba na ravnino (kot med pravokotnico in smerjo vpadanja svetlobe).

V sistemu SI je enota za merjenje osvetljenosti uporabljena enota luks (oznaka lx), ki predstavlja 1 lm na m². Osvetljenost je tudi tista količina, ki jo največkrat računamo ali merimo. Predpisi, ki obravnavajo razsvetljavo, podajajo potrebne vrednosti osvetljenosti v prostoru (Bizjak, 2016).

3.2 Svetloba in pomen svetlobnega udobja

Ljudje sprejemamo več kot 80 % informacij o svoji okolici z vidnim zaznavanjem (Medved, 2008a). Obstajajo številne študije in raziskave na temo kako svetloba vpliva na človeka. Pri tem je potrebno poudariti psihološki in zdravstveni vidik. Medved (2008a) navaja naslednje bistvene vplive:

Psihološki vidik osvetlitve:

- usmerjanje pri gibanju in orientaciji v prostoru,
- svetloba usmerja tudi pozornost in pripomore k razločevanju informacij,
- določa stopnjo individualnosti / intimnosti z bolj ali manj osvetljenimi prostori,
- dnevna svetloba ohranja človekov občutek za čas,

- odpravlja občutek strahu in tesnobe v okolju, kjer je pričakovati nevarnost (dolgi in temačni prehodi),
- zadostna svetloba oziroma ustrezna osvetlitev je mnogokrat pogoj za izbiro oziroma nakup stanovanja ali gradnjo hiše.

Zdravstveni vidik osvetlitve:

- svetloba pripomore k vsesplošnem dobrem počutju, duševnem zdravju in vitalnosti,
- spodbuja zadovoljstvo, optimizem, zaupanje in storilnost,
- sončno obsevanje pripomore k tvorjenju vitamina D v človeškem telesu,
- pomanjkanje dnevne svetlobe lahko povzroči psihosomatska obolenja, kot so motnje zbranosti, utrujenost, nespečnost, depresija,
- pretirano in nekontrolirano izpostavljanje neposrednem sončnem obsevanju lahko povzroči glavobole, vrtoglavico ali celo bolezni, kot sta sončarica in kožni rak.

Predpisana količina in kvaliteta svetlobe predstavljata najslabše še dovoljene pogoje, ki ustrezajo določeni situaciji oziroma namembnosti prostora. Kristl (2011) navaja izmerjeno srednjo vrednost KDS 0,9 % kot merilo za psihološko ustrezno osvetlitev prostora z dnevno svetlobo. Vrednost se nanaša na merjenje v horizontalni referenčni ravnini (0,85 m nad tlemi, v polovici globine prostora in na oddaljenosti 1 m od stranskih sten). V najneugodnejši referenčni točki mora ta vrednost znašati najmanj 0,75 % (DIN 5034, 1. del; v Kristl, 2011).

Pri izpolnjevanju zahtev za vzpostavljanje svetlobnega udobja Medved (2008b) navaja v nadaljevanju predstavljene inženirske kriterije:

- **Trajanja osončenja**, ki predstavlja minimalno število ur v izbranem dnevu v letu, ko v prostor lahko prihaja direktno sončno sevanje. Kriterij izhaja iz zdravilnih učinkov sončnega sevanja.

Medved (2008) navaja, da pri navpičnih oknih predstavlja omejitev ravnina fasade, ki zoži prostorski kot na 180° (-90° in $+90^{\circ}$ od normale okna). Iz praktičnih razlogov je točka, katere trajanje osončenja določamo, postavljena na okno (na sredino ali na spodnji rob okna). Pogosto je zahtevano trajanje osončenja vsaj 2 uri 19. februarja, ponekod pa je predpisano minimalno skupno trajanje osončenja v daljšem časovnem obdobju – na primer vsaj 25 % v šestih zimskih mesecih (med septembrom in marcem).

Košir, Kreiner in Kristl (2012) v svojem prispevku »Analiza osončenosti stavb v skladu z zahtevami PURES 2010« navajajo zahteve glede zadostne osončenosti stavbnega ovoja načrtovanih stavb, ki opravljajo toplotno-energijsko funkcijo. Točne zahteve so navedene v TSG4 v poglavju 2.2, 3. alineja: "Sončnemu sevanju izpostavljena površina zunanega ovoja stavbe (zbiralna površina), ki opravlja toplotno energijsko funkcijo (zunanje stene in streha), mora biti osončena od povprečne višine 1 m nad terenom navzgor, v času: zimskega solsticija (21. 12.) najmanj 2 uri, upošteva se horizontalna projekcija vpadnega kota sonca v območju $\pm 30^\circ$ odstopanj od smeri jug, ekvinokcija (21. 3. in 21. 9.) najmanj 4 ure, upošteva se horizontalna projekcija vpadnega kota sonca v območju $\pm 60^\circ$ odstopanj od smeri jug, poletnega solsticija (21. 6.), najmanj 6 ur, upošteva se horizontalna projekcija vpadnega kota sonca v območju $\pm 110^\circ$ odstopanj od smeri jug."

Kot razlagajo Košir in sodelavci (2012), tehnična smernica zahteva preverjanje osončenosti stavbnega ovoja v štirih kritičnih dnevih. Za vsakega od omenjenih datumov so v tehnični smernici navedene zahteve, ki so definirane v poglavju 2.2, 3. alineja.

Zahteve, ki jih navaja smernica TSG4, niso namenjene preverjanju osončenosti prostorov in zasteklitev z vidika zahtev po dnevni svetlobi, ampak zagotavljanja zadostnega izkoriščanja energije sončnega sevanja (Košir et al., 2012).

- **Nivo osvetlitve** delovnih in ostalih površin v prostoru, ki pogojuje zahtevnost opravil v prostoru. Primerno osvetlitev zagotavljamo z dnevno, električno ali kombinirano osvetlitvijo. Merilo za merjenje nivoja osvetlitve je gostota svetlobnega toka na kvadratni meter osvetljene površine (lm/m^2 , lx). Nivo osvetlitve se preverja tako za dnevno kot za električno razsvetljavo. Največkrat se analiza izdelava za delovno površino 0,85 m nad tlemi in 1 m od notranjih sten ali opreme s pomočjo poenostavljenih metod ali z računalniškim orodjem.

Nivo osvetlitve splošne razsvetljave v prostoru naj bo vsaj 1/3 zahtevanega nivoja osvetlitve na delovnem mestu. Nivo osvetlitve delov prostora, kjer ne pričakujemo stalne prisotnosti ljudi (na primer hodnikov), pa vsaj 1/3 nivoja splošne osvetlitve.

- **Količnik dnevne svetlobe** (*ang. Daylighting factor DF*) kot merilo kakovosti osvetlitve z dnevno svetlobo.

Količnik dnevne svetlobe (KDS) je kazalnik, s katerim ocenjujemo kakovost naravne osvetlitve. Izražen je kot razmerje med osvetlitvijo točke P na delovni ravnini v

prostoru $E_{p,v}$ in osvetljenostjo zunanje vodoravne nesenčene ravnine E_v . Najpogosteje uporabljamo kot vir dnevne svetlobe CIE standardno oblačno nebo. CIE (*Commission internationale de l'éclairage*) označuje kratico za mednarodno komisijo, ki se ukvarja s problemi osvetljevanja. KDS določimo za točko na delovni površini, ki je običajno 0,85 m nad tlemi pri osvetlitvi zunanje vodoravne nesenčene površine 5000 lx. Preverjamo najmanjši KDS_{min} in povprečni KDS_{av} v prostoru.

- **Enakomernost osvetlitve** po globini prostora, kar pomeni zagotavljanje enake osvetlitve vseh delovnih mest v prostoru. Velike razlike osvetljenosti površin v prostoru namreč zmanjšajo svetlobno ugodje. Primerno enakomernost osvetljenosti po globini prostora je posebej težko doseči pri osvetlitvi z dnevno svetlobo in pri uporabi vertikalnih zasteklitev.

Enakomernost osvetlitve ocenjujemo z razmerjem med najnižjim nivojem osvetlitve E_{min} delovnega mesta in povprečnim nivojem osvetljenosti vseh delovnih mest E_{av} . V praksi jo lahko izboljšamo z naslednjimi ukrepi:

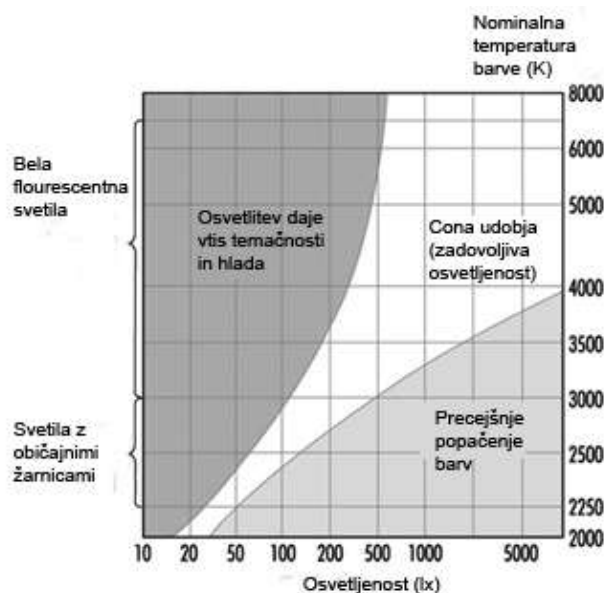
- z razporeditvijo oken na več vzporednih sten in vgradnjo svetlobnikov ali strešnih oken,
 - s preusmerjanjem svetlobnega toka proti stropu in v globino prostora z refleksijskimi žaluzijami,
 - s prizmatičnimi elementi in holografskimi filmi,
 - z visoko odbojnimi obokenskimi površinami, ki jih namestimo na zunanji ali notranji strani okna (svetlobne police).
- **Preprečevanja bleščanja** z uravnavanjem prehoda dnevne svetlobe skozi zasteklitev in primerno izbiro svetilk z namenom preprečitve, da bi v centralnem polju vida zaznali prevelik svetlobni tok. Bleščanje je namreč eden najbolj pogostih vzrokov, ki kvari svetlobno ugodje. Povzročitelj bleščanja je lahko dnevna svetloba ali umetna razsvetljava, vendar naj bi ljudje zaznali bleščanje svetilk kot bolj moteče.

Ločimo med neposrednim, odsevnim in kontrastnim bleščanjem. Neposredno bleščanje nastane pri prehodu sončnega sevanja skozi okna pri nizkih višinah sonca ali kot posledica svetlobnega toka, ki ga svetilka odda v kot med 55° in 90° , merjeno od normale na delovno površino. Tovrstno bleščanje uravnavamo z izbiro ustreznih okenskih senčil, pri umetni razsvetljavi pa z uporabo ohišja svetilk. Odsevno bleščanje nastane kot posledica odboja svetlobnega toka od osvetljenih površin v

osrednje vidno polje, pri čemer še sprejemljive svetlosti znašajo od 1000 do 2000 cd/m². Tovrsten tip bleščanja zmanjšamo z uporabo difuznih površin. Kontrastno bleščanje izhaja iz človekove fizične sposobnosti istočasnega opazovanja različno svetlih površin, ki predstavlja težavo, čeprav je človeško oko sposobno prilagajanja (Medved, 2008b).

- **Barvna temperatura svetlobe**, ki jo izbiramo glede na nivo osvetlitve, z namenom ustvarjanja prijetnega občutka bivanja in pogojev za delo.

S stališča svetlobnega ugodja je pomembna tudi soodvisnost med barvo svetlobe in nivojem osvetlitve površin, ki ga ponazarja Kruithof diagram na Slika 3.



Slika 3: Kruithof diagram (EDUCATE, 2016).

Računanje naravne osvetlitve

Količina dnevne svetlobe se neprestano spreminja in je odvisna od geografske širine, lokalnih podnebnih razmer in čistosti ozračja. Velike spremembe so tudi glede na uro v dnevu, letni čas in vremenske razmere. Količina neke svetlobe, ki vstopa v prostor, je odvisna tudi od okolice, pri čemer obravnavamo orientacijo, relief in morebitne zunanje ovire (Kristl, 2011).

Za načrtovanje naravne osvetlitve stavb najpogosteje uporabljamo naslednje značilne tipe neba:

- **CIE jasno nebo**; glavni vir svetlobnega toka jasnega neba predstavlja Sonce. Ker na nebu ni oblakov, se razmeroma malo direktnega svetlobnega toka spremeni v difuzni svetlobni tok,

- **CIE enakomerno oblačno nebo oz. megleno nebo;** je izotropno, torej je svetlost takega neba neodvisna od višine nad horizontom; zenit in horizont imata enako svetlost,
- **CIE oblačno nebo;** svetlost tega standardnega neba ni odvisna od azimuta točke na nebu, je pa odvisna od kota med opazovano točko na nebu in horizontom (elevacije); najsvetlejši je zenit, najtemnejši horizont. CIE oblačno nebo predstavlja osnovni model in edini model za določitev količnika dnevne svetlobe,
- **povprečno nebo** predstavlja najbolj realno obliko neba. Uporablja se za izračun rabe energije za dodatno električno razsvetljavo (Medved, 2008a).

3.3 Zagotavljanje ustrezne osvetljenosti prostorov

Kadar prostor oziroma predmeti niso pravilno osvetljeni, vidimo popačeno sliko. Vizualna predstavitev temelji na nivoju osvetljenosti, na kar pa ne vpliva samo dotok svetlobe, temveč tudi materiali, od katerih se svetloba odbija ali ki jo vpijajo. V splošnem stremimo k čim bolj enakomerni porazdelitvi svetlobe v prostoru, s povečano količino tam, kjer jo najbolj potrebujemo (npr. delovno mesto). Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo (2016) navaja krajevno in časovno enakomernost. Krajevna enakomernost osvetljenosti prikazuje razmerje med osvetljenostjo najslabše osvetljenega mesta v prostoru in srednjo osvetljenostjo prostora. Zmerni kontrasti (razlike v svetlosti) v vidnem polju so iz psiholoških in fizioloških vzrokov sicer nujni, a v primeru, da je svetloba precej neenakomerno razporejena po prostoru, so človekove vidne sposobnosti zmanjšane, utrujenost pa se poveča. Sodobna gradnja objektov stremi v prvi meri k zadoščanju ustreznih potreb po naravni osvetlitvi, kar v nadaljevanju tega poglavja tudi navajamo.

Ustrezno zasnovane in zadostne okenske odprtine na zgradbah

Novljan (2012) razlaga, da so okenske odprtine na zgradbah pravzaprav povezava med notranjim in zunanjim svetom in da smo ljudje še vedno bitja zunanosti ne glede na nekaj sto let civilizacije, ki nam je omogočila ali nas celo prisilila, da večino časa preživimo v zaprtih prostorih. V življenju marsikaj počnemo v skladu s tem, kakšna svetloba je zunaj.

Pri izbiri in umestitvi oken v objekt so pomembni višina parapeta, višina okenske preklade ter obenem ovire v prostoru (npr. predelne stene, preklade). Prav tako odločilno vlogo ima izbira tipa zasteklitve ter načina preprečevanja prekomerne neposredne sončne obsevanosti prostora oziroma efekta bleščanja. Moteč efekt bleščanja preprečimo z namestitvijo ustreznih senčil.

Šolske učilnice so prostori, kjer je dnevna svetloba ključnega pomena tako za opravljanje učnega procesa (Koti, 2009; v Eržen in Košir, 2016) kot tudi za učno uspešnost šolarjev (Heschong, 2003; v Eržen in Košir, 2016).

Standard SIST EN 12464-1 sicer navaja 300 lx kot priporočeno minimalno osvetljenost delovne površine klasičnih učilnic in 500 lx za specializirane učilnice, vendar se v praksi vse bolj uporabljajo vrednosti, ki celo presegajo 500 lx in so tako skladne s priporočili organizacije Illuminating Engineering Society (Eržen in Košir, 2016).

Avtorja Košir in Eržen (2016) sta med eksperimentalnim delom, opisanem v članku »Dinamične metrike za oceno dnevne osvetljenosti in njihova uporaba pri analizi učilnic v slovenskih osnovnih šolah« izpostavila dodaten, nezanemarljiv dejavnik: arhitekturno zasnovo stavbnega ovoja. Omenjeni dejavnik, kot navajata avtorja, potencialno močno vpliva na dnevno osvetljenost prostorov. Tako primerna arhitekturna zasnova (npr. uporaba nadsvetlob, svetlobnih polic, deljenih zasteklitev itd.) lahko pri enakih WWR faktorjih (window to wall ratio – razmerje med površino oken in fasade) drastično izboljša osvetljenost ter s tem kvaliteto vizualnega okolja (Koti, 2009 v Eržen in Košir, 2016) in energetske učinkovitost.

Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj (Uradni list RS št. 1/2011: str. 133, 14. čl, 5 tč.) jasno predpisuje, da »mora vsak prostor imeti najmanj eno odprtino za naravno osvetlitev prostora, ki omogoča bivanje v dnevnem času ter je projektirana in grajena tako, da znaša višina parapeta največ 90 cm nad gotovim podom in omogoča pogled v zunanji prostor. Naravna osvetlitev mora biti dosežena neposredno ali posredno.« Drugi člen istega pravilnika navaja, da je »neposredna osvetlitev dosežena tedaj, ko skupna površina obdelanih zidarskih odprtih dosega najmanj 20 % neto tlorisne površine teh delov stanovanja.« Pri tem »se upošteva samo tisti del odprtine, ki je več kot 50 cm nad gotovim podom« (Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj, Uradni list RS št. 1/2011: str. 133, 14. čl, 3. tč). V primeru, da je dotok naravne svetlobe v dele stanovanja usmerjen prek svetlobnih jaškov, morajo biti le-ti projektirani tako, da na del dna jaška vsaj enkrat na leto posije sonce. Prostori, ki so osvetljeni prek svetlobnih jaškov, ne morejo služiti za neposredno osvetljevanje drugih prostorov (Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj, Uradni list RS št. 1/2011: str. 133, 14. čl, 8. tč).

Delovna mesta morajo biti še posebej dobro osvetljena, pri čemer mora delodajalec zagotoviti, da so delovni prostori zadostno osvetljeni tudi z naravno svetlobo. Pravilnik o

zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih (Uradni list RS, št. 89/1999, str. 13473) v 7. točki določa:

- da mora biti razpored, velikost, število in kakovost površin za osvetljevanje z naravno svetlobo v skladu s standardi, ki predpisujejo osvetljenost delovnih mest, obenem pa morajo omogočati delavcem vidni stik z okoljem (Uradni list RS, št. 89/1999, str. 13473, 29. čl., 7. čl., 1. al.),
- da mora velikost omenjenih površin v posameznem delovnem prostoru znašati najmanj 1/8 talne površine prostora (Uradni list RS, št. 89/1999, str. 13473, 29. čl., 7. čl., 2. al.),
- da mora posamezna prosojna površina v odvisnosti od prostora znašati najmanj 1 m² pri globini prostora 4 m in najmanj 1,5 m² pri globini prostora 4 m (Uradni list RS, št. 89/1999, str. 13473, 29. čl., 7. čl., 3. al.) in
- da morata višina in širina okna znašati najmanj 1 m, pri čemer parapet ne sme biti višji od 1,5 m (Uradni list RS, št. 89/1999, str. 13473, 29. čl., 7. čl., 4. al.).

Omejitve navedenega pravilnika ne veljajo za delovne prostore, v katerih tehnološki proces ne dopušča dotoka naravne svetlobe ter za prodajne prostore in skladišča, ki ležijo pod zemeljskim nivojem. Omiljeni pogoji veljajo za delovne prostore s talno površino nad 2000 m², ki imajo svetlobne jaške (Uradni list RS, št. 89/1999, str. 13473, 30. čl.).

Največ omejitvenih pogojev določa Pravilnik o normativih in minimalnih tehničnih pogojih za prostor in opremo vrtca (Uradni list RS, št. 73/00, 75/05, 33/08, 126/08, 47/10 in 47/13), ki v točki 49 določa zahteve po naravni osvetlitvi:

- vsi prostori, ki so namenjeni vzgojni dejavnosti otrok, kot tudi tisti, v katerih zaposleni opravljajo svoje delo, morajo biti osvetljeni z naravno osvetlitvijo,
- skupna površina obdelanih zidarskih odprtin, namenjenih za osvetljevanje, mora dosegati najmanj 20 % neto tlorisne površine prostora, pri čemer se upošteva samo tisti del površine, ki sega nad mejo 50 cm nad gotovim tlakom,
- globina prostorov ne sme presegati dveh in pol višin od tal do izmerjenega zgornjega roba okna ali pa mora biti prostor osvetljen z dveh smeri.

Posebne zahteve pri gradnji vrtcev se nahajajo tudi v samostojnem členu, ki navaja zahteve glede okenskih odprtin (Uradni list RS, št. 73/00, 75/05, 33/08, 126/08, 47/10 in 47/13; 47. čl.). Najpomembnejše, ki zadevajo gradnjo objektov v povezavi z vpeljavo naravne svetlobe, so:

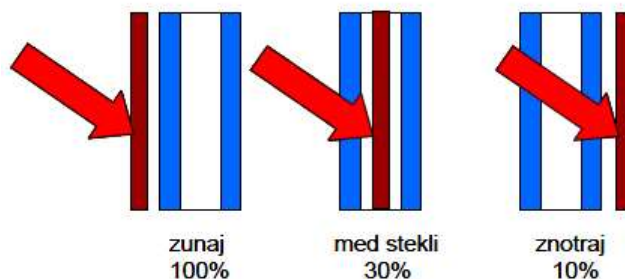
- okenski parapeti v pritličnih igralnicah smejo segati največ 60 cm nad tlemi, v nadstropju najmanj 90 cm,
- spodnji rob okenskih kril, ki se odpirajo v prostor, morajo biti vsaj 1,25 m nad tlemi,
- vsaj 30 % oken vsake igralnice mora imeti možnost odpiranja z nagibom okrog spodnje osi,
- v športni igralnici morajo biti okna dodatno zavarovana pred različnimi udarci.

3.4 Uporaba sončne zaščite

Bleščanje predstavlja največji problem, ki kvari svetlobno udobje. Da se izognemo bleščanju, ki ga povzroča neposreden vpad sončnih žarkov, je uporaba senčil nujna.

Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj, Uradni list RS št. 1/2011 na str. 133 v 14. členu v točki 6 predpisuje, da morajo imeti vse odprtine za naravno osvetlitev tudi vgrajene elemente za preprečitev prekomernega vpliva sončnih žarkov in za zatemnitev. Enako velja tudi za vrtce. Pravilnik o normativih in minimalnih tehničnih pogojih za prostor in opremo vrtca (Uradni list RS, št. 73/00, 75/05, 33/08, 126/08, 47/10 in 47/13) poleg tega predpisuje, da se je potrebno pri opremi vrtca izogibati površinam, ki povzročajo bleščanje.

Perger (2016) navaja, da so senčila še posebej pomembna, saj preprečujejo prekomerno pregrevanje stavbe, regulirajo svetlobne razmere (bleščanje, prekomerno svetlost) in omogočajo splošno zatemnitev prostora. Proti pregrevanju so najučinkovitejša zunanja senčila, ki lahko poleg drugih arhitekturnih elementov, soustvarjajo videz fasade, medtem ko so notranja senčila namenjena uravnavanju osvetlitve, vzpostavljanju zasebnosti in oblikovanju posebnih učinkov v interierju. Slika 4 prikazuje energetska učinkovitost senčila glede na lego.



Slika 4: Energetska učinkovitost senčila glede na lego (UL FGG KSKE v Kristli, 2011).

3.4.1 Vrste sistemov za nadzor osvetljenosti v prostoru

Protisončne zaščite so z vidika zagotavljanja svetlobnega udobja nujno potrebne. V nadaljevanju predstavljam pregled najpomembnejših:

Zunanja fiksna senčila: nadstrešek, balkon, fiksni brisoleji

Nadstrešek kot obliko sončne zaščite uporabljamo za vse odprtine na južni strani. Sestavni elementi so lahko iz lamel ali ploščati. Preprečuje direktno sevanje, omogoča pa dotok difuzne svetlobe. V območju nadstreška ne pride do pregrevanja, saj zrak kroži. (Kristl, 2011).

Balkon ima podobno vlogo kot nadstrešek. V primeru prevelike konzole balkona je dotok svetlobe omejen, ravno tako lahko pride do pregrevanja (Kristl, 2011).

Fiksni brisoleji delujejo v kombinaciji horizontalnega in vertikalnega izzidka. Preprečujejo dotok direktnega sevanja ter omogočajo dotok difuzne svetlobe in drugega direktnega sončnega sevanja. Horizontalna postavitve lamel je primerna za južno izpostavljenost soncu, vertikalna postavitve lamel pa tedaj, ko imamo izpostavljenost soncu iz jugovzhodne ali jugozahodne smeri (Prevodnik, 2015).

Zunanja pomična senčila

Zunanja pomična senčila so zelo uporabna, saj njihove elemente premikamo glede na zunanje razmere. To so žaluzije, naoknice, rulete, horizontalne in vertikalne lamele. Če uporabljamo senčila večjih dimenzij, jih moramo nadzorovati avtomatsko. Sistem nam omogoča, da razmere v prostoru reguliramo (Kristl, 2011).

Notranja senčila

Notranja senčila uporabljamo z namenom zastiranja (ustvarjanja intimnosti), hkrati pa preprečujemo bleščanje v prostoru. Notranja senčila predstavljajo žaluzije, roloji, rulete, paneli, screeni in zavese (Kristl, 2011).

Prizmatični bloki

Prizmatični bloki zaradi svoje fizikalne lastnosti materiala in lomljenja svetlobe skozenj, omogočajo dotok svetlobe globlje v prostor (Kristl, 2011).

Žaluzije

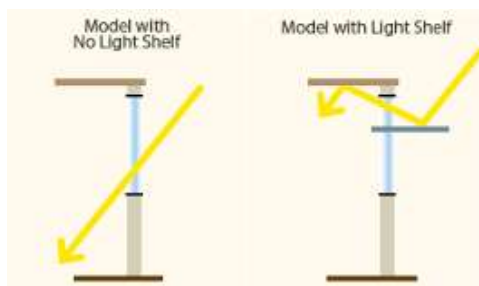
Žaluzije ovirajo dotok direktnega sončnega sevanja, dovoljujejo pa dotok difuzne svetlobe in preprečujejo pogled navzven. Glede na način namestitve oziroma poteka ločimo horizontalne in vertikalne lamele, glede na material oziroma nanos pa se kot najbolj učinkovite izkažejo reflektivne žaluzije (Kristl, 2011).

Zasteklitev kot senčilo

Kot posebno vrsto protisončne zaščite lahko obravnavamo tudi t. i. »pametna oziroma selektivna okna«. Zasteklitveni materiali le-teh imajo spremenljive optične lastnosti, s katerimi nadzirajo prehod svetlobe in toplote v stavbo. Odvisno od tipa, se te lastnosti lahko spreminjajo samodejno ali s pomočjo šibkega električnega toka. Glede na fizikalne lastnosti ločimo fotokromna stekla, termokromna, gasokromna in elektrokromna stekla. Z vidika energetske varčne rabe v stavbah se najbolje izkažejo fotokromna stekla, ki omogočajo skoraj optimalno in samodejno prilagajanje sončnemu sevanju (Kristl, 2011).

Svetlobna polica

Svetlobna polica deluje kot senčilo, oziroma omogoča povečanje dotoka svetlobe v prostor, kakor to prikazuje Slika 5. Omogočajo, da dnevna svetloba prodre v prostor tudi do dvakrat globlje. Zgornja površina police je impregnirana z visoko reflektivnim materialom za doseganje čim večje odbojnosti s police v strop in nazaj v tla (Kristl, 2011). S premišljenim oblikovanjem stavbe lahko svetlobne police predstavljajo zanimiv arhitekturni element na fasadi (Slika 6).



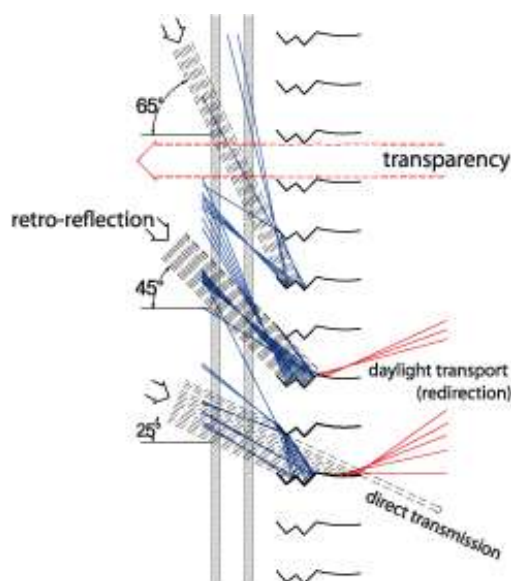
Slika 5: Distribucija svetlobe pri uporabi svetlobnih polic (Dwfcontract, 2010).



Slika 6: Svetlobna polica kot arhitekturni element (Wikimedia commons, 2007).

Sodobna pomična in refleksijska senčila

Napredna različica sodobnih pomičnih senčil predstavljajo avtomatizirana refleksijska senčila, ki so regulirana v kontekstu celotnega sistema nadzora razmer v stavbi. Le-ta se premikajo glede na zaznavanje razmer v okolju in stavb, zaradi svoje posebne oblike lamel, ki je prikazana na Slika 7, pa kontrolirano prepuščajo svetlobo v prostor. K širitvi ugodne razpršene svetlobe pripomorejo tudi posebni reflektivni nanosi. Sistem se dobro izkaže kot zaščita pred nizkim vpadnim kotom sončnih žarkov pozimi in visokim vpadnim kotom poleti. Preprečujejo pregrevanje stavbe in nezaželen učinek bleščanja zaradi neposrednega vpada sončnih žarkov.



Slika 7: Oblika sodobnega pomičnega refleksijskega senčila (optical functioning: <http://www.retrosolar.de>).

Za razliko od klasičnih senčil prostora ne zatemnijo (Slika 8) ter tako s psihološkega vidika uporabniku dajejo občutek neposrednega stika z okoljem (Perger, 2016).



Slika 8: Efekt pomičnih refleksijskih senčil v prostoru (optical functioning: <http://www.retrosolar.de>).

3.5 Dodatna umetna razsvetljava

V veliki večini primerov distribucija dnevne svetlobe ni enakomerna po vsej globini prostora, zato jo je nujno dopolnjevati z umetno razsvetljavo. Le-ta se izkaže kot nujno potrebna predvsem pri objektih, ki jih prenavljamo, saj smo omejeni s posegi, ki bi sicer izboljšali dotok dnevne svetlobe. V šolah, vrtcih ali na delovnem mestu je potrebno zagotoviti ustrezno osvetljenost celotnega prostora, kar je tudi podnevi težko doseči samo z dotokom naravne svetlobe. Potrebna dodatna umetna razsvetljava ne samo ustrezno osvetljuje prostor in ustvarja ugodno atmosfero, temveč tudi zagotavlja dobre vidne pogoje na delovni ravnini. Svetlobni viri morajo biti razporejeni tako, da je omogočeno uspešno opravljanje vseh vidnih nalog in da uporabniki prostora pri tem ne utrujajo oči. V zadnjem času vse bolj obravnavan parameter predstavlja tudi energetska varčnost svetilk. Pri kombinaciji dnevne in naravne svetlobe je potrebno paziti tudi na moteč »efekt dvojne svetlobe«, ki ga preprečimo že z uporabo svetlobnih virov, katerih barvna temperatura znaša več kot 3000 K.

Kakor pri regulaciji dnevne svetlobe moramo tudi pri umeščanju umetne razsvetljave paziti, da ne prihaja do bleščanja. Priporočljivo je, da svetloba pada na šolske klopi z leve strani. Za šolske prostore uporabljamo svetilke z enakomerno distribucijo svetlobe, tako da je le-ta 40 do 60 % usmerjena v spodnji oziroma 60 do 40 % v zgornji polprostor (Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo, 2016). Načrtovanje elektroinstalacij in s tem pozicij svetil je tako nujno že fazi načrtovanja celotnega objekta. Za natančno analizo svetlobe v prostoru je potrebno določiti tip svetilk, način distribucije svetlobe (direktno, indirektno) in barvno toploto svetlobe, izraženo v enotah K. Za šolske prostore najpomembnejšo vlogo odigra t. i. splošna razsvetljava, medtem ko je lokalna oziroma dopolnilna osvetlitev v rabi tedaj, ko želimo osvetliti samo nek določen del prostora (npr. površino v laboratoriju). V takšnem primeru uporabimo usmerjeno svetlobo.

Strožji normativi veljajo predvsem za vrtce in delovna mesta, kar je z vidika varnosti in zdravja povsem jasno. Pravilnik o normativih in minimalnih tehničnih pogojih za prostor in opremo vrtca (Uradni list RS, št. 73/00, 75/05, 33/08, 126/08, 47/10 in 47/13) v 49. členu navaja, da mora biti umetna razsvetljava igralnic enakomerna in razpršena. Pri svetilkah morajo biti senčniki izbrani tako, da se neposreden vir svetlobe ne nahaja v otrokovem vidnem polju in da mora biti uporabljeno takšno steklo, ki ob morebitni eksploziji ne poškoduje otrok. Spodnji rob svetilke mora biti najmanj 2,5 m od tal, medtem ko morajo biti svetlobna telesa v igralnici zavarovana pred udarci z žogo. V splošnem omenjeni pravilnik predpisuje tudi potrebno osvetljenost igralnic (300 lx), prostorov za nego (500 lx) in delovnih površin (350 lx).

Priporočena vrednost splošne šolske razsvetljave znaša med 300–500 lx (Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo, 2016), nujno je dodatno osvetliti tudi tablo. Osnovno umetno razsvetljavo klasičnega šolskega razreda je potrebno razporediti po naslednjem ključu:

- paralelna namestitev svetilk glede na okna, in sicer zunaj osi nizov klopi (nizi svetilk pomaknjeni proti oknom),
- prvi niz svetilk (priporočeno v obliki svetlobnega traku) namestimo nad levim robom niza sedežev, in sicer na strani oken,
- drugi oziroma tretji niz svetilk (svetlobni trak) namestimo nad levim robom notranjih nizov sedežev (namestitev nad sedeži ni zaželena, ker povzroča refleksno bleščanje),
- uporaba svetilk, ki povzročajo bleščanje, ni dovoljena (Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo, 2016).

Zgornja vodila je mogoče upoštevati le deloma, saj dandanes zaradi palete najrazličnejših pedagoških poučevanj, sedeži in klopi niso vedno enako razporejeni, prav tako tudi razredi nimajo več klasične oblike, ampak jih je mogoče združevati, deliti ter jim tudi spreminjati namembnost. V tovrstnih prostorih se lahko tako količina dnevne svetlobe močno zmanjša, posledično pa postane prostor premalo osvetljen. Šolski prostori se tako vse bolj osvetljujejo po vzoru osvetljevanja delovnih prostorov z veliko površino, pri katerih priporočeni nivo osvetljenosti znaša tudi 1000 lx. Na takšen način imajo tudi mesta, ki so najbolj oddaljena od okenskih površin tudi ustrezen nivo osvetljenosti (Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo, 2016). Posebne zahteve po nivoju osvetlitve in smeri vpada svetlobe so običajno definirane tudi za posebne prostore v šoli, kot so računalniška učilnica, večja predavalnica, konferenčna dvorana, laboratoriji, knjižnice in čitalnice, stopnišča in hodniki, prostori za pripravo hrane ter zunanje površine.

4 METODOLOGIJA

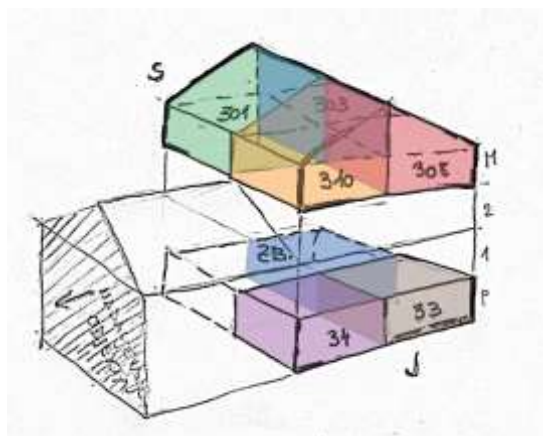
4.1 Opis obravnavane lokacije in objekta

Meritve smo izvajali v Srednji šoli Domžale, ki se nahaja v katastrski občini Domžale (št. 1959), na parceli št. 4583 in št. 4587. Lokacijo obravnavanega objekta prikazuje Slika 9. Na južni strani poleg srednje šole je lociran dom za starejše občane. Oddaljenost objekta je takšna, da ne vpliva na osvetljenost prostorov učilnic v pritličju in tretjem nadstropju (mansardi). Etažnost obravnavanega objekta je P+1N+2N+M.



Slika 9: Ortofoto posnetek lokacije (Atlas okolja, 2016).

Obravnavali bomo sedem prostorov: šest učilnic in zbornico. Prostori se vertikalno ujemajo in so postavljeni na severno in južno stran, kakor prikazuje Slika 10. V obravnavo smo namreč želeli vzeti takšne prostore, ki se medsebojno razlikujejo glede na lego (smer neba) in glede na etažo, v kateri se nahajajo. V pritličju obravnavamo učilnico 33 (južna usmeritev), učilnico 34 (južna usmeritev) in zbornico (severna usmeritev). V mansardi pa obravnavamo učilnici 301 in 303 s severno usmeritvijo ter učilnici 308 in 310 z južno usmeritvijo.



Slika 10: Shematska predstavitev obravnavanih prostorov.

4.2 Opis zbiranja podatkov

Postopek zbiranja podatkov osvetljenosti posameznega prostora je potekal na sledeči način. Vsak obravnavani prostor smo izmerili po štirikrat. Meritve so bile opravljene v različnih dnevih in različnih urah, kadar je šlo za ponavljanje meritev pa vedno ob isti uri in z enakimi pogoji. Meritve so potekale slab mesec, in sicer v septembru 2013 med 9. in 17. uro. Ves čas merjenja smo stremeli k temu, da so bili pogoji merjenja kar se da enaki, a kljub temu vedno ni bilo tako. Takrat je bilo potrebno počakati na konstantne pogoje osvetljenosti in meritev opraviti ponovno. Merili smo pri konstantni oblačnosti, to je pri približku standardnega CIE oblačnega neba. Kakor navaja Kristl (2011), je pri tem tipu neba distribucija svetlobe enakomerna. Tako je svetlost neba v zenitu trikrat večja od svetlosti na horizontu. Nebo je enakomerno oblačno. Atmosfera je dokaj čista. Nimamo vpliva direktne svetlobe, ampak le difuzne. Meritve smo iz praktičnih razlogov izvajali na delovni površini šolske klopi, kar znaša 72,50 cm od tal.

Vsak posamezni prostor smo razdelili na raster, kakor prikazuje Slika 11. Izmerjene točke so med seboj oddaljene v obliki mreže 1 x 1 m z izjemo pasu 2,00 m vzdolž okenskih odprtin, kjer so bile izmere narejene na vsakih 0,50 m, gledano pravokotno na okenski niz. Le pri okenskih odprtinah so bile izmere narejene na 0,50 m do globine dveh metrov v prostor. Jakost osvetljenosti pri okenski odprtini je bistveno večja in pada z globino prostora, podobno kot logaritemski graf. Meritve smo opravljali z inštrumentom za merjenje osvetljenosti, lux-metrom, na višini 72,50 cm od tal, kar predstavlja površino šolske mize.



Slika 11: Raster merjenih točk osvetljenosti v učilnici.

4.3 Opis merilnega inštrumenta

Za merjenje osvetljenosti prostora v notranjosti E_{in} smo uporabili Metrelov multifunkcijski inštrument MI 3105 Eurotest XA (Slika 12), ki je v osnovi namenjen za merjenje karakteristik električnih inštalacij (merjenje DC izolacijske upornosti, merjenje neprekinjenosti zaščitnega vodnika PE, merjenje upornosti itd.) in ima dodano sondo za merjenje osvetljenosti. Zgornja vrednost meritve je omejena na 9000 lx.



Slika 12: Merilni inštrument Metrel MI 3105 Eurotest XA.

Za merjenje zunanje horizontalne osvetljenosti E_{out} smo uporabili Alphatek TEK 1336 (Slika 13), ki je omogočal višjo skalo. Zgornja vrednost meritve je omejena na 5×10^6 lx.



Slika 13: Merilni inštrument Alphatek TEK 1336.

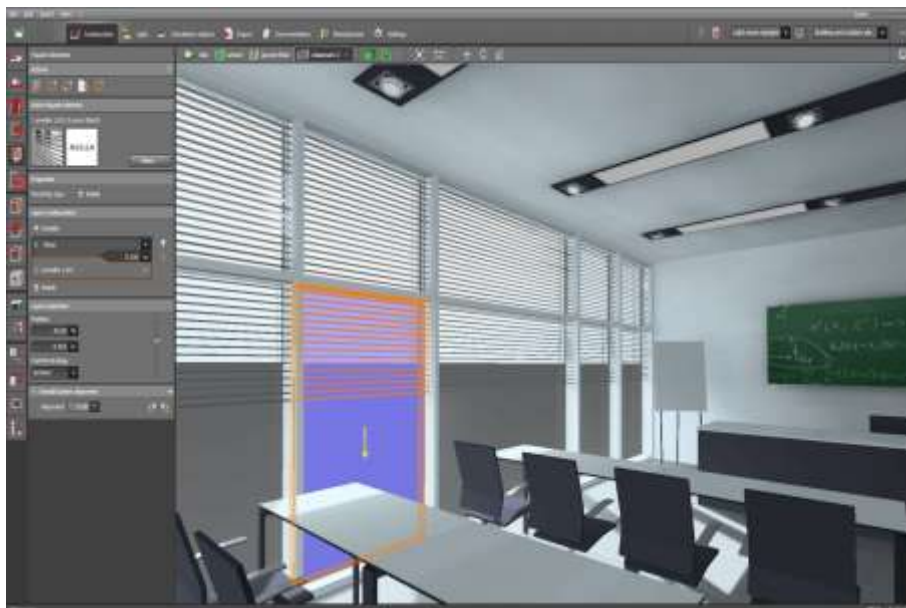
Metrelov inštrument smo uporabljali za notranjo osvetljenost E_{in} prostorov, saj je dopustna zgornja omejitev presegala zunanjo horizontalno osvetljenost E_{out} . Zato smo Alphatekov inštrument uporabljali izključno za zunanje meritve.

Ko smo izvajali meritve v prostoru, smo morali zagotoviti naravne pogoje. Svetila v prostorih so bila ugasnjena, tako da ni bilo vpliva umetnega vira svetlobe. Prostore je osvetljevala samo naravna difuzna svetloba. Zunanja okenska senčila so bila dvignjena, da smo zagotovili maksimalno osvetljenost prostora. Vrata v prostor so bila zaprta, da je svetloba v prostor prihajala samo skozi okenske odprtine. Zunanje meritve smo izvajali na ploščadi pred Srednjo šolo Domžale (Slika 9). Prostor je ustrezen, saj ni nobenih zunanjih ovir (kot npr. sosednji objekti, drevesa, relief), ki bi motile izmere.

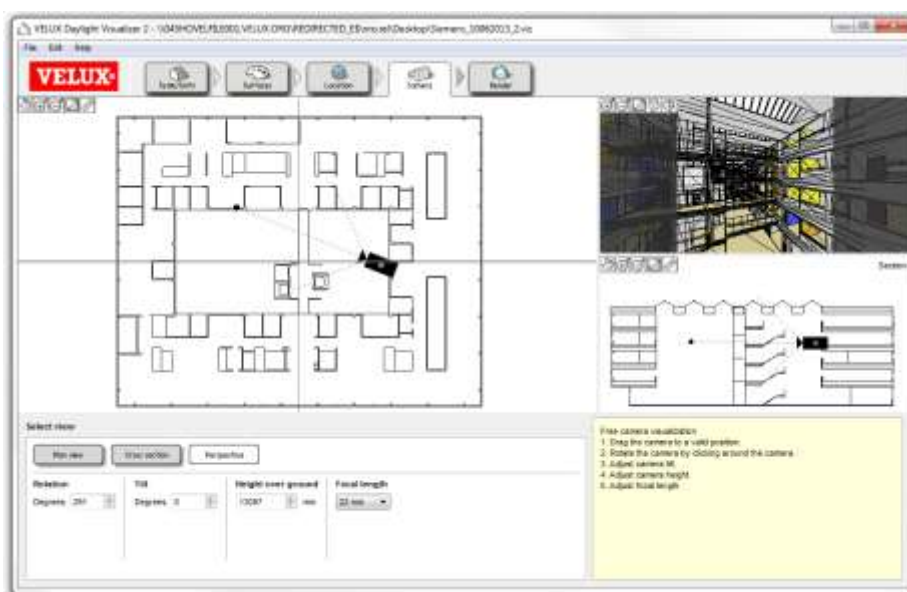
4.4 Opis programskega orodja

Rezultate meritev smo preverili in analizirali z dvema programskima orodjema, ki sta prosto dostopna vsem uporabnikom (VELUX, 2016a in Dial, 2016). To sta DIALux 4.12.0.1 (v nadaljevanju DIALux) ter VELUX Daylight Visualizer 2.6.7. (v nadaljevanju Velux DVIZ).

Z obema programoma lahko modeliramo in analiziramo osvetljenost, medtem ko Velux DVIZ omogoča zgolj izračun osvetljenosti z naravno svetlobo, DIALux omogoča tudi simulacijo umetne razsvetljave. Objekte lahko konstruiramo v samem programu ali pa uvozimo iz katerega drugega CAD programa, kot sta npr. Autocad ali SketchUp. Pri obeh programih je postopek modeliranja in analize precej podoben. Najprej konstruiramo prostor, predmete v prostoru, vse odprtine ter ovire in svetila v primeru, da analiziramo tudi umetno svetlobo. Pri samem modeliranju izberemo kompatibilne materiale, ki prikazujejo dejansko stanje. Izberemo ustrezno geometrijsko lokacijo in fizikalne lastnosti materialov. Programata omogočata celo vrsto analiz in različnih prikazov rezultatov. Bistvena razlika med programoma se izkaže v regulaciji analize glede na dan in uro. Z DIALuxom je mogoče izvesti analizo za referenčne dneve, medtem ko Velux DVIZ omogoča analizo glede na poljuben dan in uro. Referenčni dnevi se nanašajo na naslednje datume: 21. 3. (spomladansko enakonočje), 21. 6. (poletni sončev obrat), 23. 9. (jesensko enakonočje) in 21. 12. (zimski sončev obrat). Delovno okolje omenjenih programov prikazujeta Slika 14 in Slika 15.



Slika 14: Delovno okolje programa DIALux 4.12.0.1 (Dial, 2016).



Slika 15: Delovno okolje programa VELUX Daylight Visualizer 2.6.7 (Velux, 2016a).

Z omenjenima programoma smo v diplomski nalogi analizirali povprečno dnevno osvetljenost posameznih prostorov v Srednji šoli Domžale pri enakih pogojih ter večkratnih meritvah. V nadaljevanju smo se odločili za uporabo programa Velux DVIZ, ki je enostavnejši za uporabo. K vzroku za odločitev je prispevalo tudi manjše odstopanje rezultatov v primerjavi z ročnimi meritvami.

4.5 Vhodni podatki

V nadaljevanju predstavljamo postopke pridobivanja podatkov in meritev za vsak prostor posebej. Meritve smo opravljali več dni, vedno ob istem času. Najprej smo izmerili jakost svetlobe zunaj brez motečih dejavnikov (npr. drevesa, okoliške stavbe), ki bi utegnili ovirati meritve. Za nadaljnje izračune smo potrebovali tudi transmisivnost okenskih zasteklitev vsakega prostora in reflektivnost notranjih površin. Podatke navajamo v Preglednica 1.

Transmisivnost smo izmerili tako, da smo za vsako okno posebej izmerili osvetljenost pri odprtem in zaprtem oknu. Vsako meritev smo opravljali trikrat in na koncu izračunali povprečja. Vse vrednosti se gibljejo okrog 60 %, pri čemer lahko na rezultate vpliva tudi čistost oken. Oken v učilnicah pred meritvijo namreč nismo očistili.

Preglednica 1: Povprečna izmerjena transmisivnost okenskih površin.

	Učilnica 33	Učilnica 34	Zbornica	Učilnica 301	Učilnica 303	Učilnica 308	Učilnica 310
Transmisivnost Povprečje (%)	60	62	59	54	60	67	60

Preglednica 2: Podatki za reflektivnost površin.

	Strop	Stena	Tla
Refleksivnost	0,70–0,90	0,50–0,80	0,20–0,40

Vir: Kristl (2011: 17).

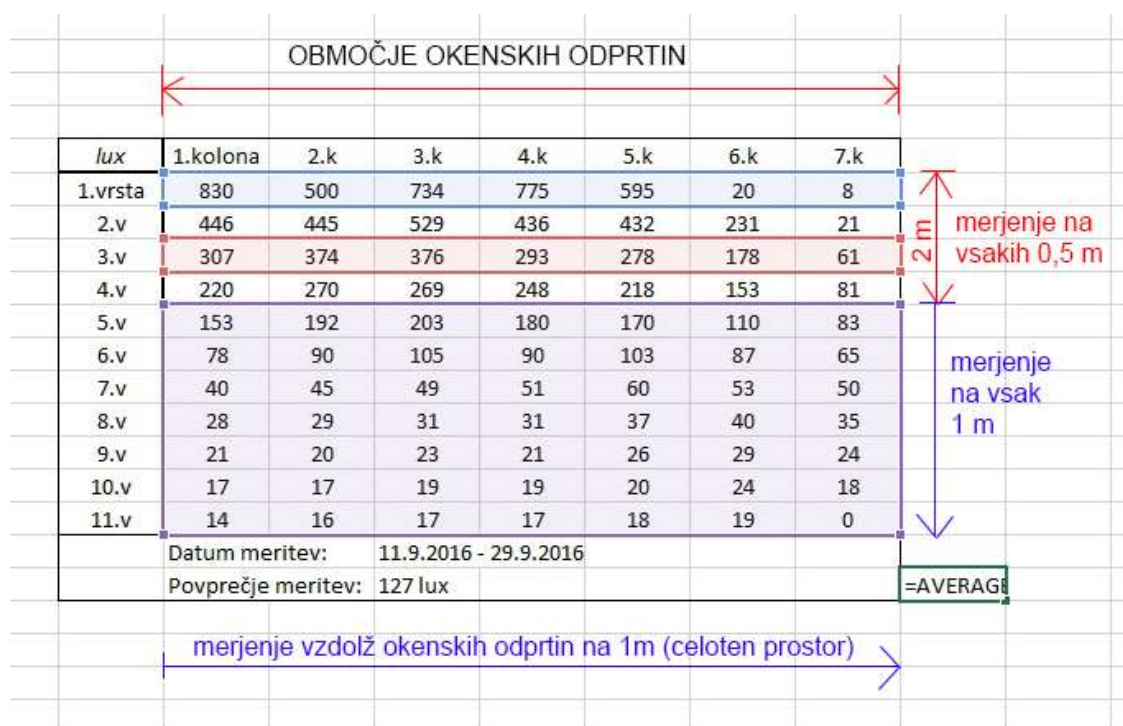
Za nadaljnjo analizo smo glede na zastopane materiale obravnavanih prostorov upoštevali naslednje vrednosti reflektivnosti: 0,85 za strop, 0,80 za stene in 0,40 za tla.

5 MERITVE POVPREČNE OSVETLJENOSTI PROSTOROV

V nadaljevanju predstavljamo meritve, izvedene z inštrumentom Metrel MI 3105 Eurotest XA za vsak prostor posebej. Na vsaki točki smo meritev izvajali štirikrat. Pri analizi meritev smo izločili tiste, ki so bistveno odstopale od ostalih. V nadaljevanju za vsak prostor navajamo, katere meritve smo izločili. Za vsak prostor posebej navajamo tudi sliko in grafikon povprečne horizontalne osvetljenosti, ki za vsako točko v mreži prikazujejo povprečje

izbranih meritev. Beli pravokotniki na slikah predstavljajo večje omare, ki so bile napolnjene z učnimi pripomočki in jih za to ni bilo mogoče prestaviti ter na tistem delu izvesti meritev.

Meritve za posamezne točke v prostoru smo izvajali v rastru območja celotne posamezne učilnice, kar podrobneje prikazuje Slika 16.



Slika 16: Prikaz postopka merjenja glede na točke v prostoru.

Prva vrsta označuje območje, ki se nahaja vzdolž okenskih odprtín in je v vseh grafičnih prikazih v nadaljevanju označena s številko "1". Meritve, pravokotne na smer okna, so se izvajale po sledečem zaporedju: prvo merjenje smo opravili blizu okenskih odprtín. Te meritve smo izvajali na vsakega pol metra do končne oddaljenosti dveh metrov od okenskih odprtín proti globini prostora. Nato smo vse nadaljnje meritve v globino prostora izvajali v razmiku enega metra. Vse tiste meritve, ki smo jih izvajali v smeri vzdolž okenskih odprtín, pa smo merili v razmiku enega metra. Ker je intenziteta osvetljenosti pravokotna na okna do razdalje približno ene tretjine v globino prostora znatno večja v primerjavi z ostalimi, smo za povprečje meritve osvetljenosti na tem območju upoštevali vsako drugo meritev. Če bi upoštevali aritmetično povprečje celotnega območja, rezultati ne bi bili pravilni. Tako smo lahko ovrednotili povprečno osvetljenost prostora.

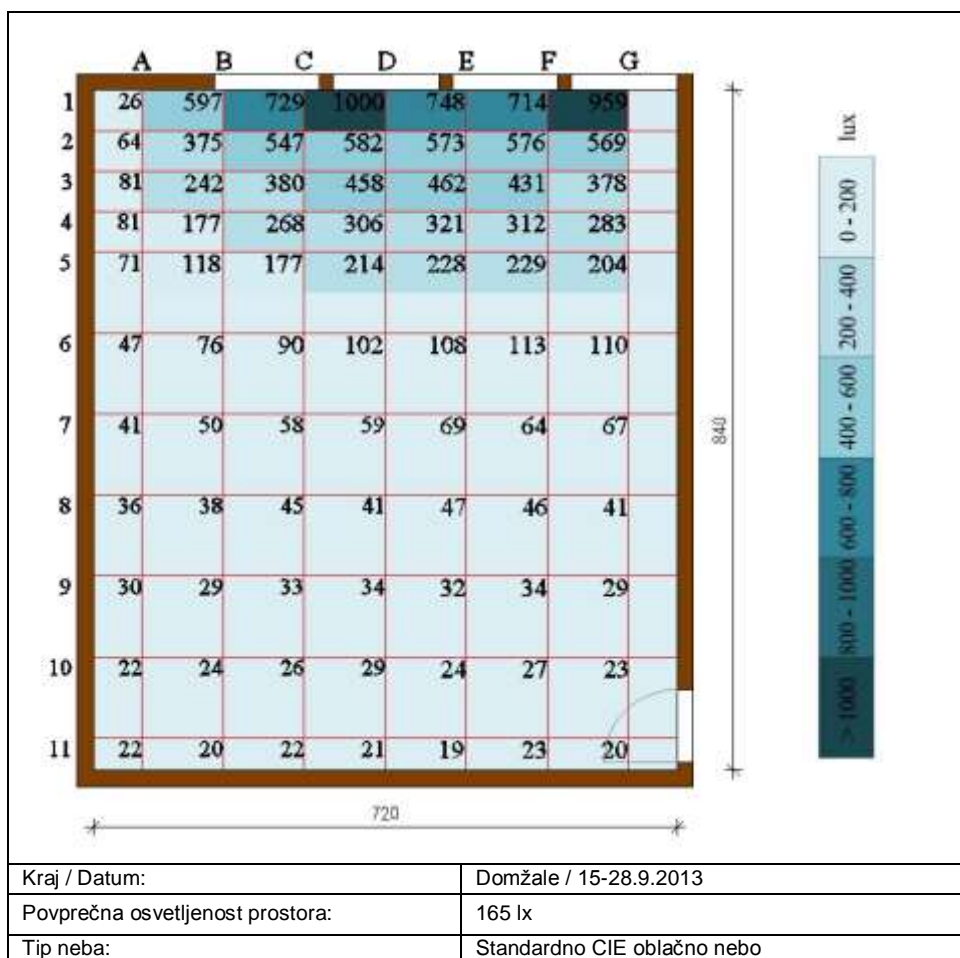
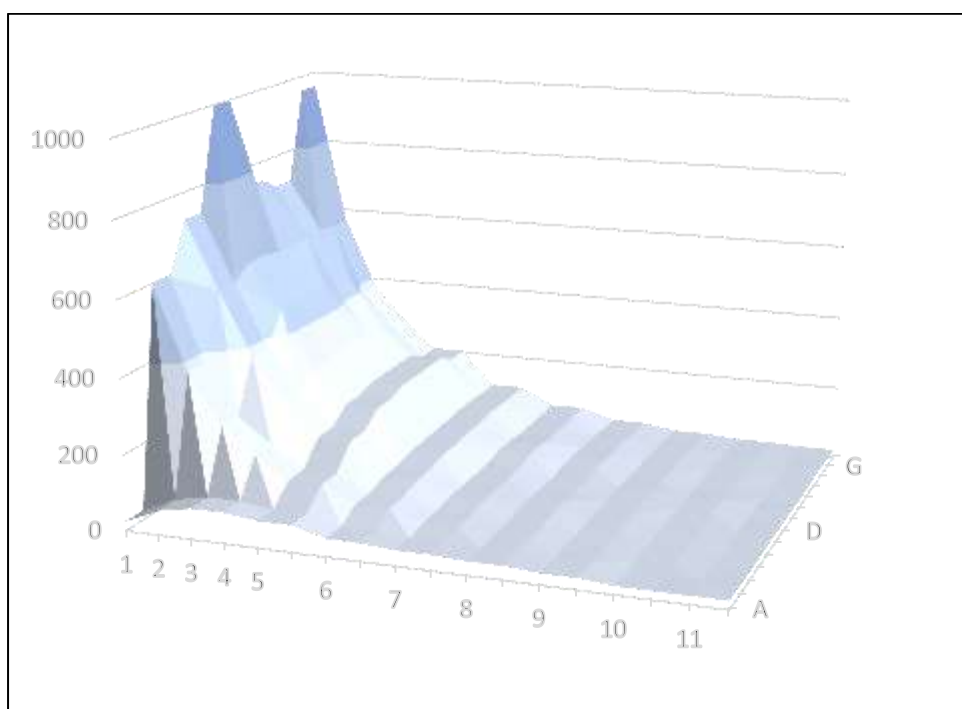
5.1 Analiza meritev učilnice 33

Učilnica 33 leži v pritličju, kjer so okenske odprtine obrnjene na južno stran. Prostor je kvadratne oblike. Širina prostora znaša 7,20 m, dolžina 8,40 m in višina 3,00 m. Stene prostora kot tudi strop so betonski in pobarvani z rožnato barvo. Tla so iz linoleja svetlo rumenkasto rjave barve. Višina parapeta je 0,90 m. Na južni strani so vgrajena štiri dvodelna okna dimenzije 1,30 x 2,10 m.



Slika 17: Učilnica 33

Slika 18: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 33 in Grafikon 1: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 3 prikazujeta horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 33. Izmed vseh štirih meritev smo izločili drugo meritev, saj je bila v poprečju zunanja horizontalna osvetljenost večja za 60 % od ostalih meritev. Vse ostale zunanje horizontalne meritve so precej enakovredne. Meritve smo opravljali v septembru. Povprečna izmerjena osvetljenost posameznih točk v učilnici 33 je 165 lx. Grafikoni posameznih izvedenih meritev se nahajajo v PRILOGA A.

Slika 18: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 33.Grafikon 1: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 33.

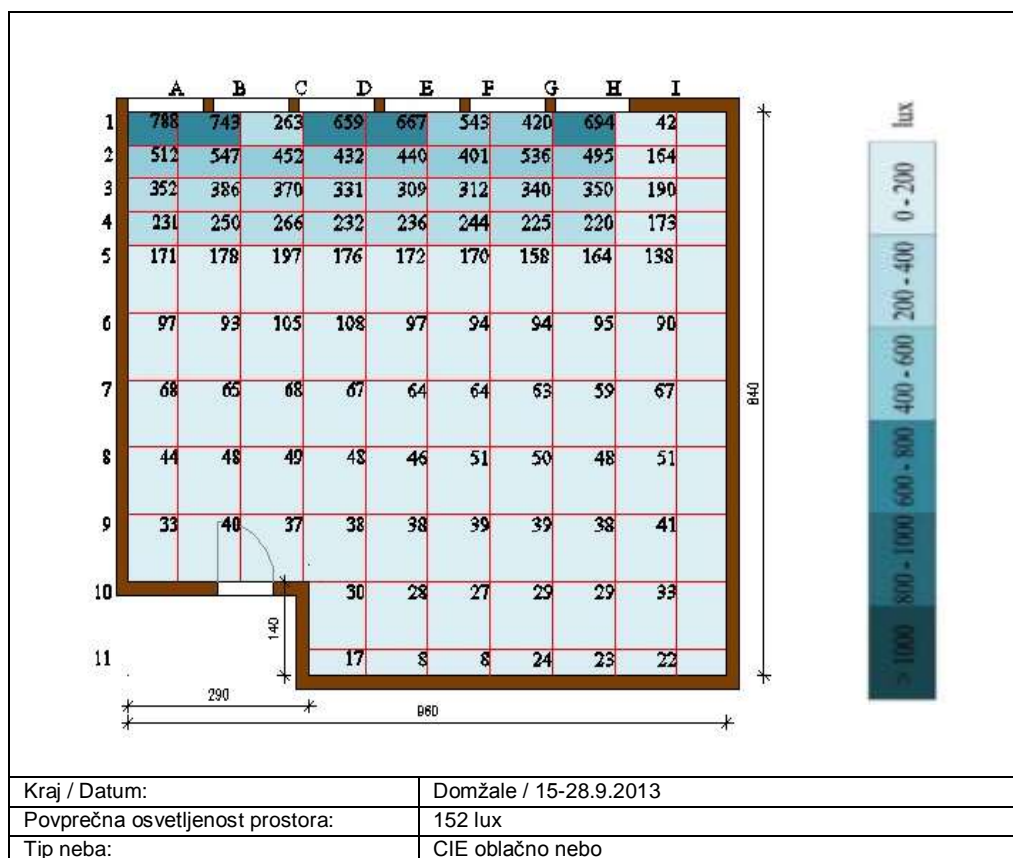
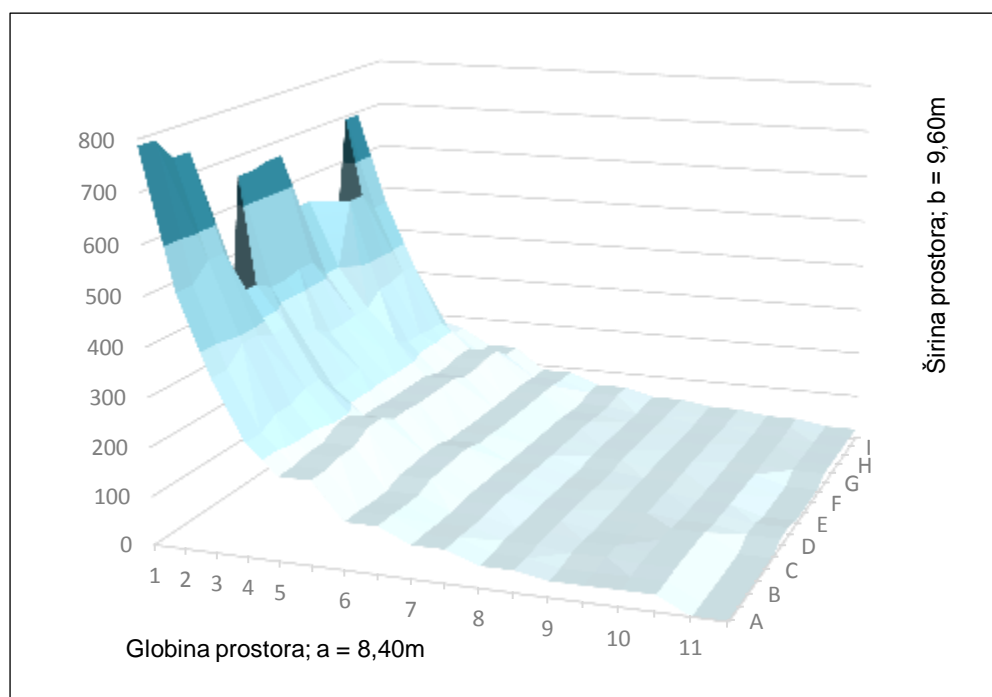
5.2 Analiza meritev učilnice 34

Učilnica 34 leži v pritličju, kjer so okenske odprtine obrnjene na južno stran. Prostor je pravokotne oblike. Širina prostora je 8,40 m, dolžina 9,60 m ter višina 3,00 m. Stene prostora kot tudi strop so betonski in pobarvani z rumeno barvo. Tla so iz linoleja svetlo rumenkasto rjave barve. Višina parapeta je 0,90 m. Na južni strani je vgrajenih šest dvodelnih oken dimenzije 1,20 x 2,10 m.



Slika 19: Učilnica 34.

Slika 19 in Grafikon 2: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 34 prikazujeta horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 34. Vse štiri zunanje meritve horizontalne osvetljenosti so si zelo podobne, zato nismo izločili nobene meritve. Meritve smo opravljali v septembru. Povprečna izmerjena osvetljenost posameznih točk v učilnici 34 je 152 lx. Grafikoni posameznih meritev se nahajajo v PRILOGA A.

Slika 20: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 34.Grafikon 2: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 34.

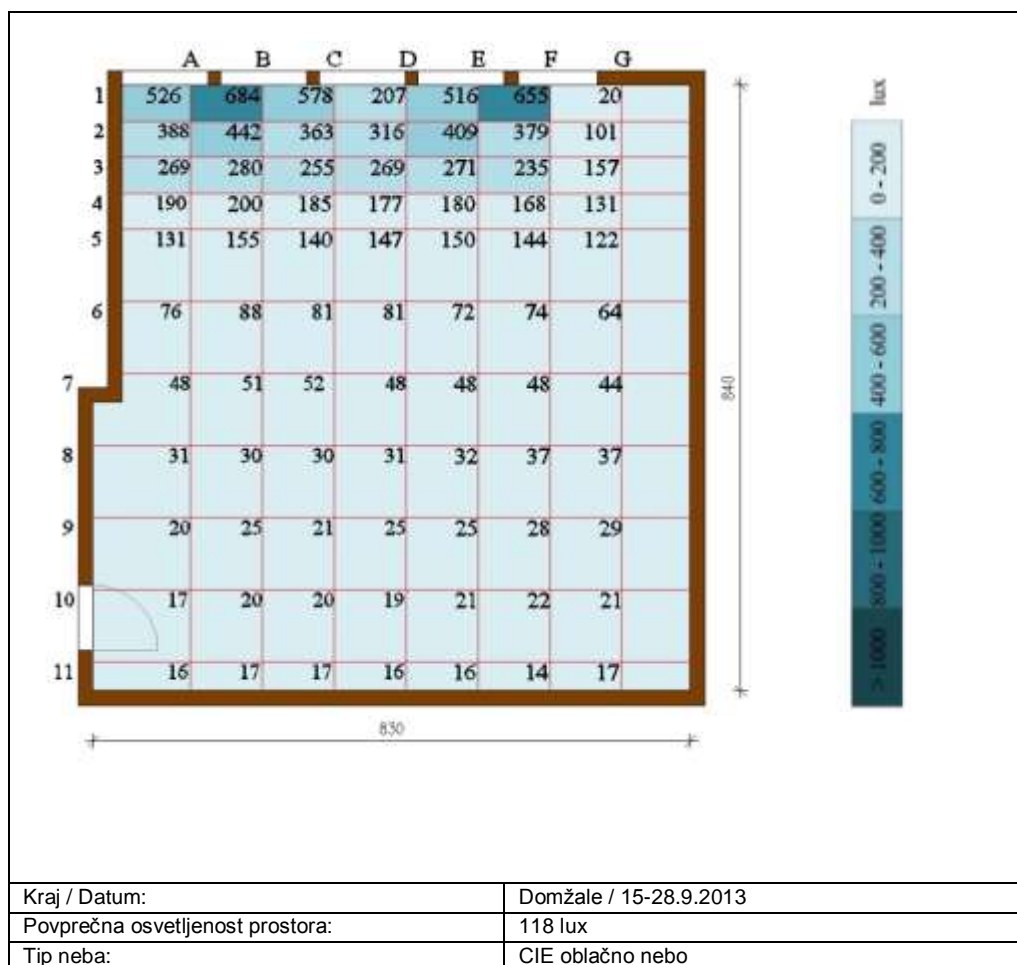
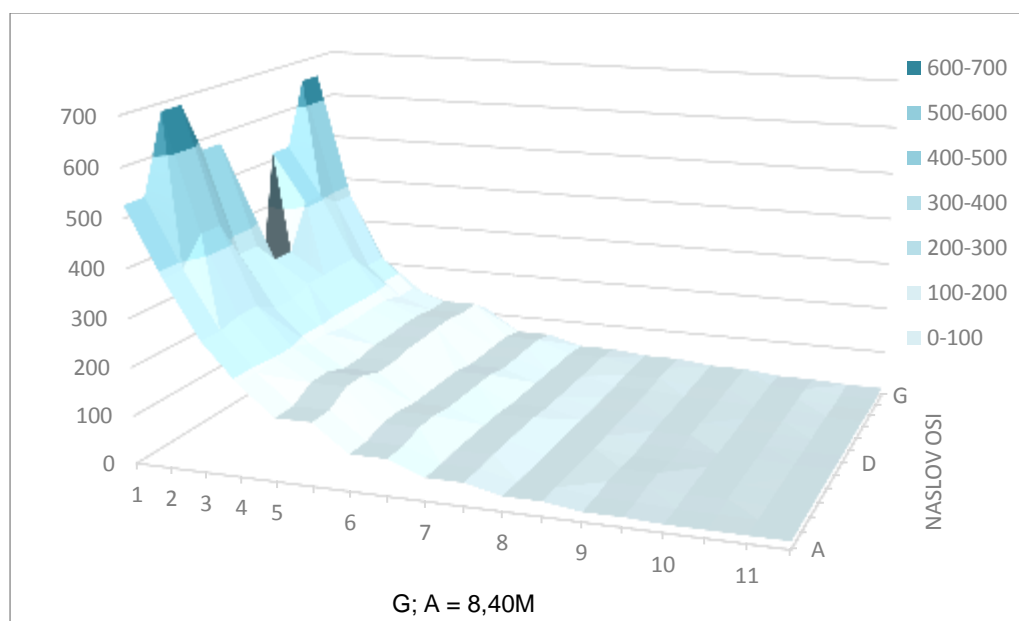
5.3 Analiza meritev v zbornici

Zbornica leži v pritličju, kjer so okenske odprtine obrnjene na severno stran. Prostor je pravokotne oblike. Širina prostora je 8,40 m, dolžina 7,90 m in višina 3,00 m. Stene prostora kot tudi strop so betonski in pobarvani z belo barvo. Tla so iz linoleja svetlo rumenkasto rjave barve. Višina parapeta je 0,90 m. Na severni strani je vgrajenih pet dvodelnih oken dimenzije 1,20 x 2,10 m.



Slika 21: Zbornica.

Slika 21 in Grafikon 3: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v zbornici prikazujeta horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v zbornici. Izmed vseh štirih meritev smo izločili prvo in drugo, saj v poprečju zunanja horizontalna osvetljenost odstopa od 50 % do 83 %. Obe ostali zunanji horizontalni meritvi sta približno enakovredni. Meritve smo opravljali v septembru. Povprečna izmerjena osvetljenost posameznih točk v zbornici je 118 lx. Grafikoni posameznih meritev se nahajajo v PRILOGA A.

Slika 22: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v zbornici.Grafikon 3: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v zbornici.

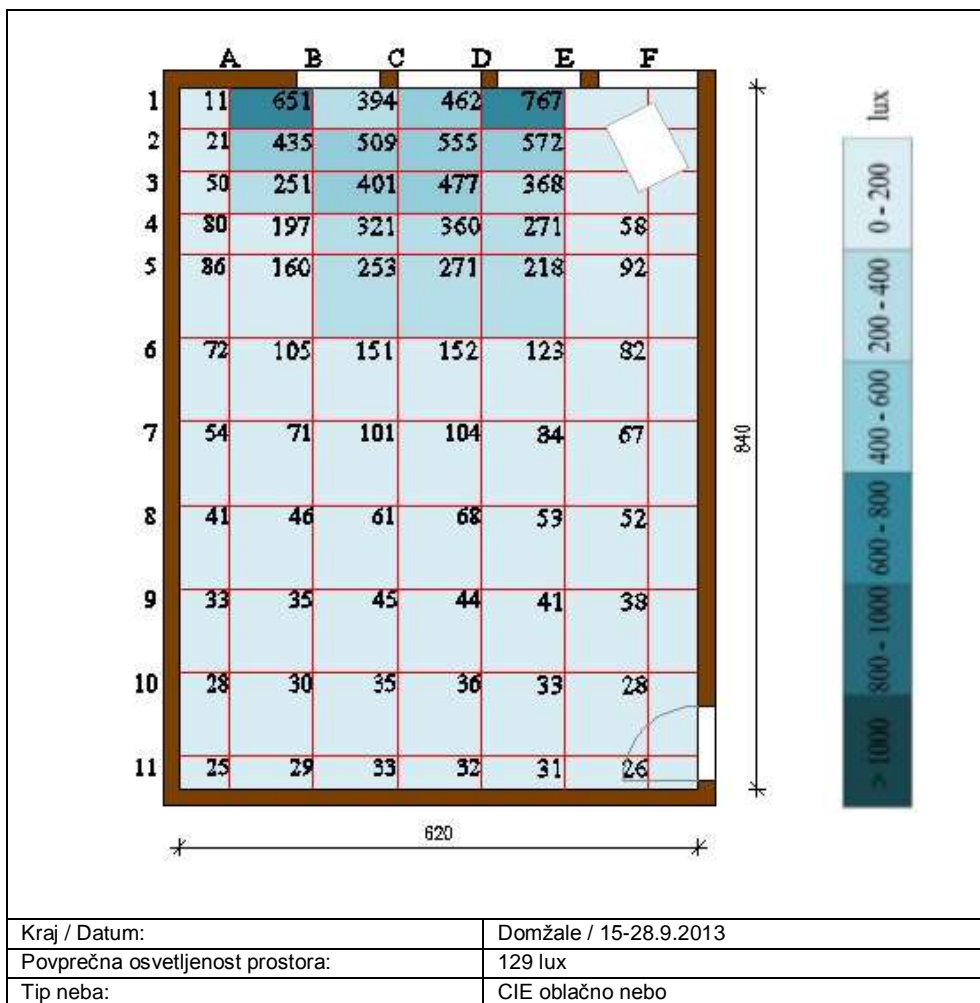
5.4 Analiza meritev učilnice 301

Učilnica 301 leži v tretjem nadstropju, kjer so okenske odprtine obrnjene na severno stran. Tloris prostora je pravokotne oblike, streha strop pa je pod naklonom (mansarda). Širina prostora je 6,20 m, dolžina 8,40 m. Višina prostora v najvišji točki je 4,00 m, v najnižji točki (kolenčni zid) pa 2,54 m. Stene prostora so betonske in pobarvane s svetlo rumeno krem barvo do polovice in nato do vrha v beli barvi. Strop je lesen iz lamel svetlo rjave barve. Tla so iz linoleja svetlo rumenkasto rjave barve. Višina parapeta je 0,90 m. Na severni strani so vgrajena štiri dvodelna okna. Skrajno desni je dimenzije 1,20 x 1,80 m, vsi ostali pa 1,00 x 1,80 m.

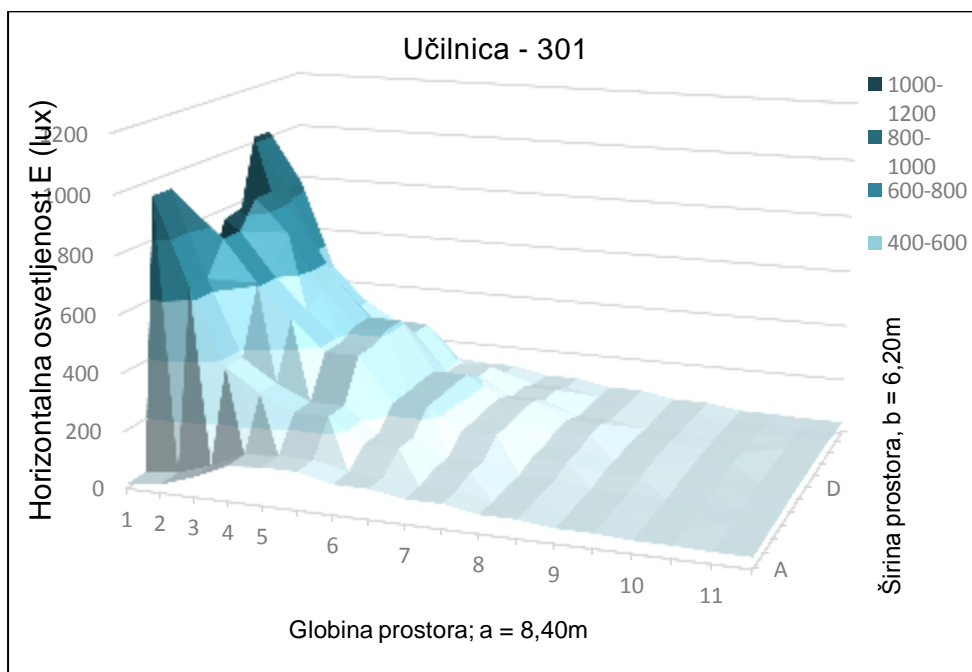


Slika 23: Učilnica 301.

Slika 24 in Grafikon 4: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 301 prikazujeta horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 301. Vse štiri zunanje meritve horizontalne osvetljenosti so zelo podobne, zato nismo izločili nobene meritve. Meritve smo opravljali v septembru. Povprečna izmerjena osvetljenost posameznih točk v učilnici 301 je 129 lx. Grafikoni posameznih meritev se nahajajo v PRILOGA A.



Slika 24: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 301.



Grafikon 4: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 301.

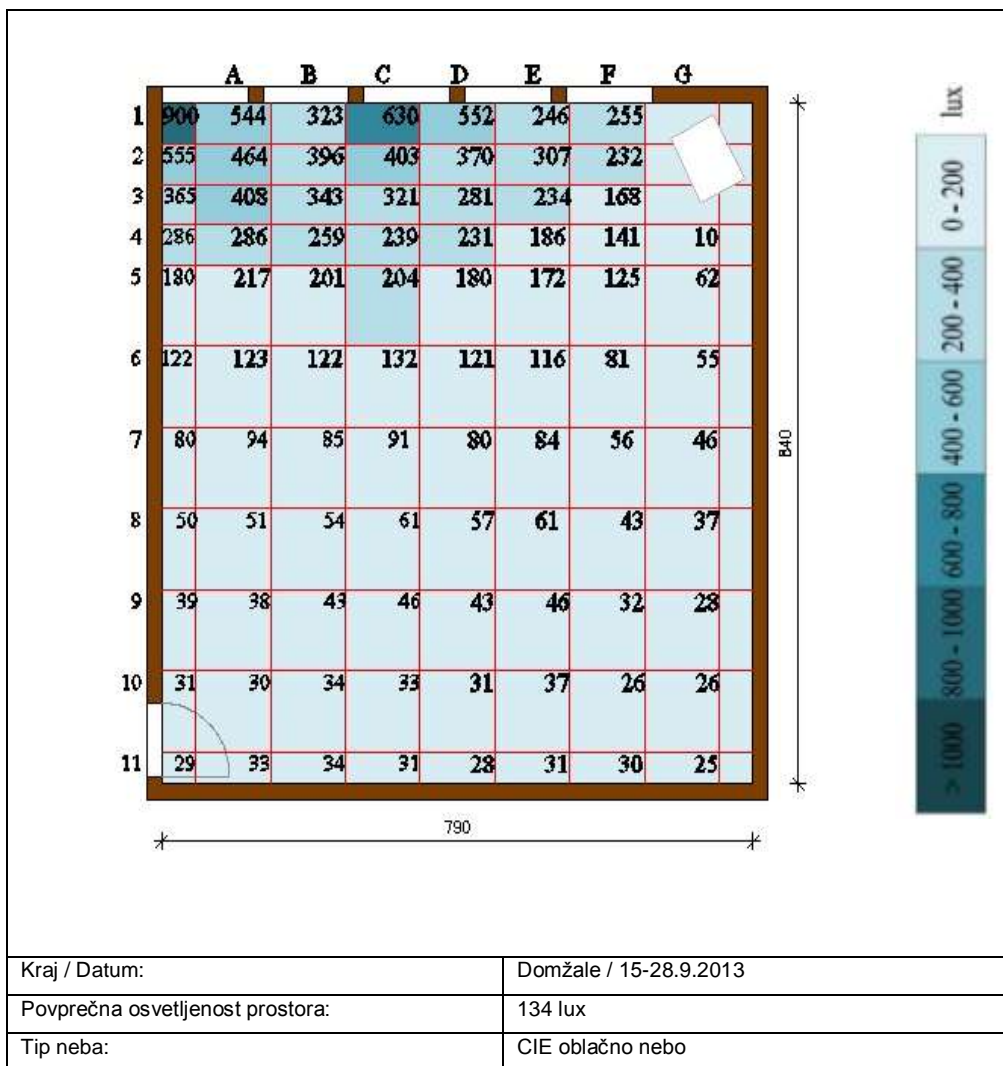
5.5 Analiza meritev učilnice 303

Učilnica 303 leži v tretjem nadstropju, kjer so okenske odprtine obrnjene na severno stran. Tloris prostora je pravokotne oblike, streha strop pa je pod naklonom (mansarda). Širina prostora je 7,90 m, dolžina 8,40 m. Višina prostora v najvišji točki je 4,45 m, v najnižji točki pa 2,54 m. Stene prostora so betonske in pobarvane s svetlo rumeno krem barvo do polovice in nato do vrha v beli barvi. Strop je iz lesenih lamel svetlo rjave barve. Tla so iz linoleja svetlo rumenkasto rjave barve. Višina parapeta je 0,90 m. Na severni strani je vgrajenih pet dvodelnih oken dimenzije 1,20 x 1,80 m.

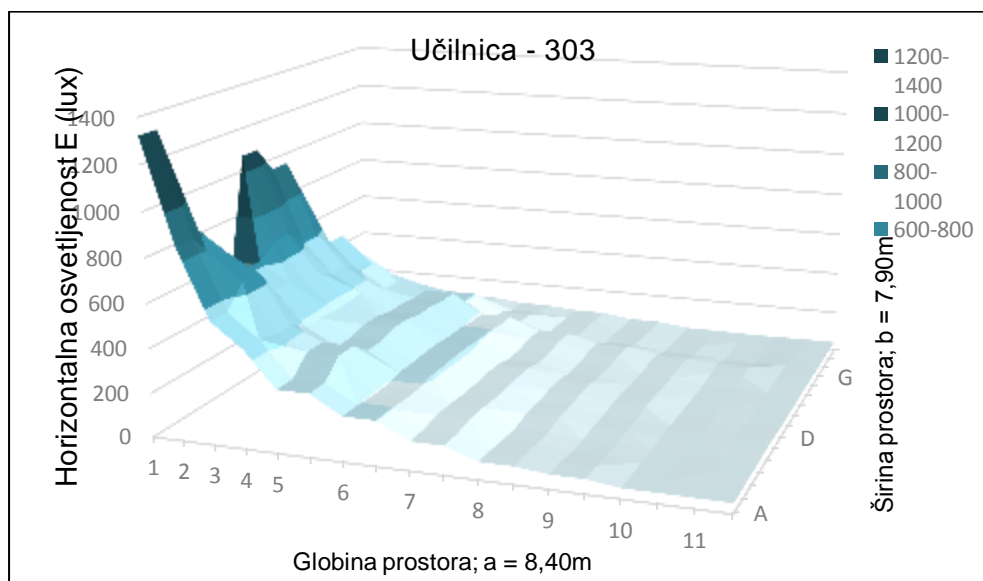


Slika 25: Učilnica 303.

Slika 26 in Grafikon 5 prikazujeta horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 303. Izmed vseh štirih meritev smo izločili prvo meritev, saj je v poprečju zunanja horizontalna osvetljenost večja do 150 %. Vse ostale zunanje horizontalne meritve so si dokaj enakovredne. Meritve smo opravljali v septembru. Povprečna izmerjena osvetljenost posameznih točk v učilnici 303 je 134 lx. Grafikoni posameznih meritev se nahajajo v PRILOGA A.



Slika 26: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 303.



Grafikon 5: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 303.

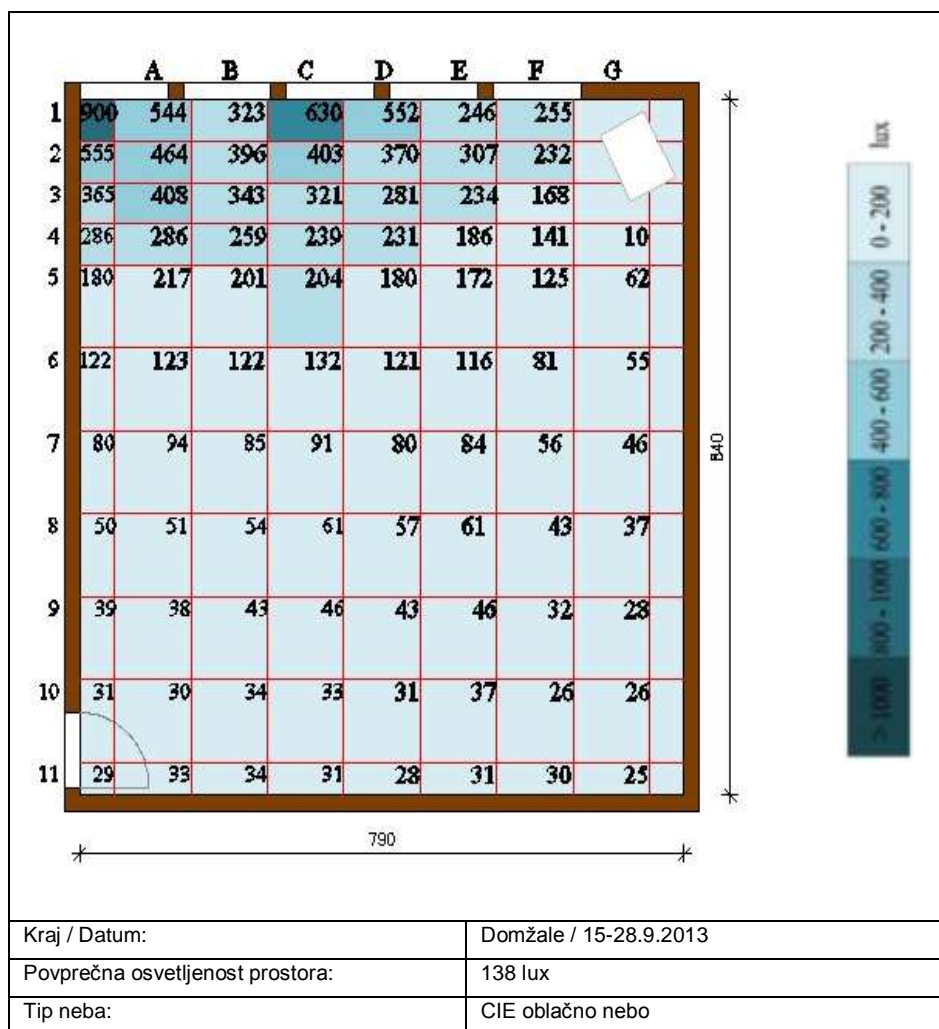
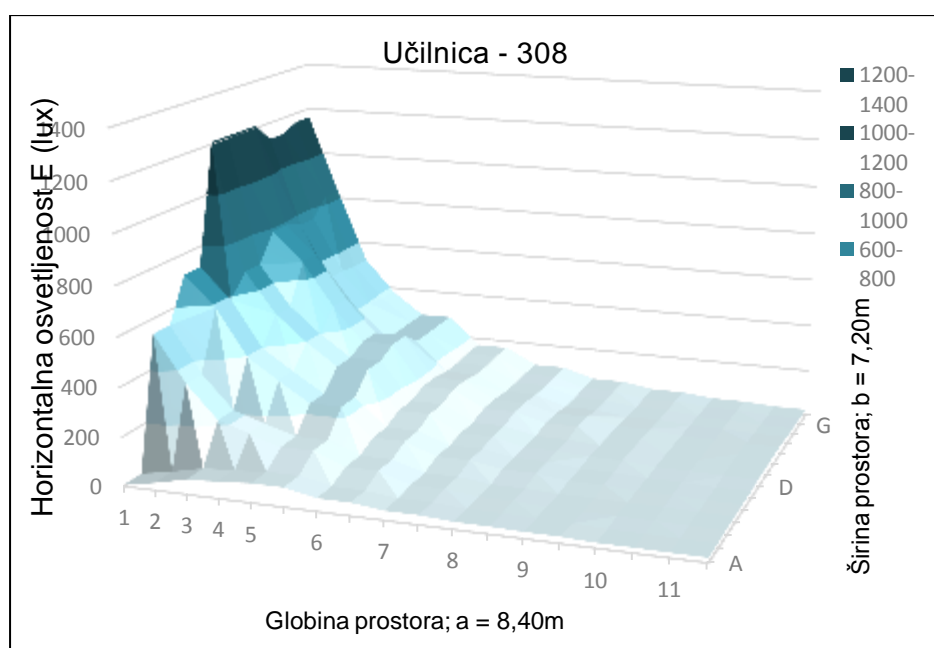
5.6 Analiza meritev učilnice 308

Učilnica 308 leži v tretjem nadstropju, kjer so okenske odprtine obrnjene na južno stran. Tloris prostora je pravokotne oblike, streha strop pa je pod naklonom (mansarda). Širina prostora je 7,90 m, dolžina 8,40 m. Višina prostora v najvišji točki je 4,30 m, v najnižji točki pa 2,55 m. Stene prostora so betonske in pobarvane s svetlo rumeno krem barvo do polovice in nato do vrha v beli barvi. Strop je iz lesenih lamel svetlo rjave barve. Tla so iz linoleja svetlo rumenkasto rjave barve. Višina parapeta je 0,90 m. Na južni strani so vgrajena štiri dvodelna okna dimenzije 1,30 x 1,80 m.



Slika 27: Učilnica 308.

Slika 28 in Grafikon 6 prikazujeta horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 308. Izmed vseh štirih meritev smo izločili tretjo meritev, saj je v poprečju zunanja horizontalna osvetljenost večja za 50 %. Vse ostale zunanje horizontalne meritve so približno enakovredne. Meritve smo opravljali v septembru. Povprečna izmerjena osvetljenost posameznih točk v učilnici 308 je 138 lx. Grafikoni posameznih meritev se nahajajo v PRILOGA A.

Slika 28: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 308.Grafikon 6: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 308.

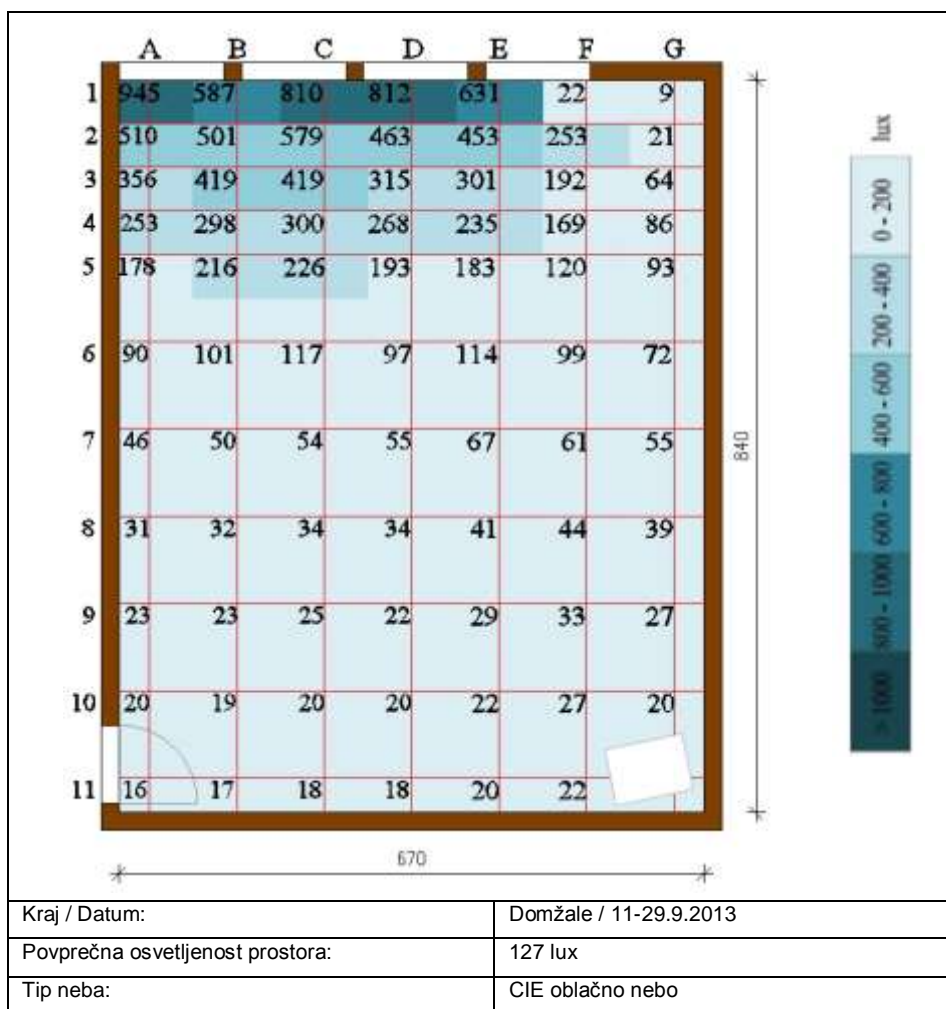
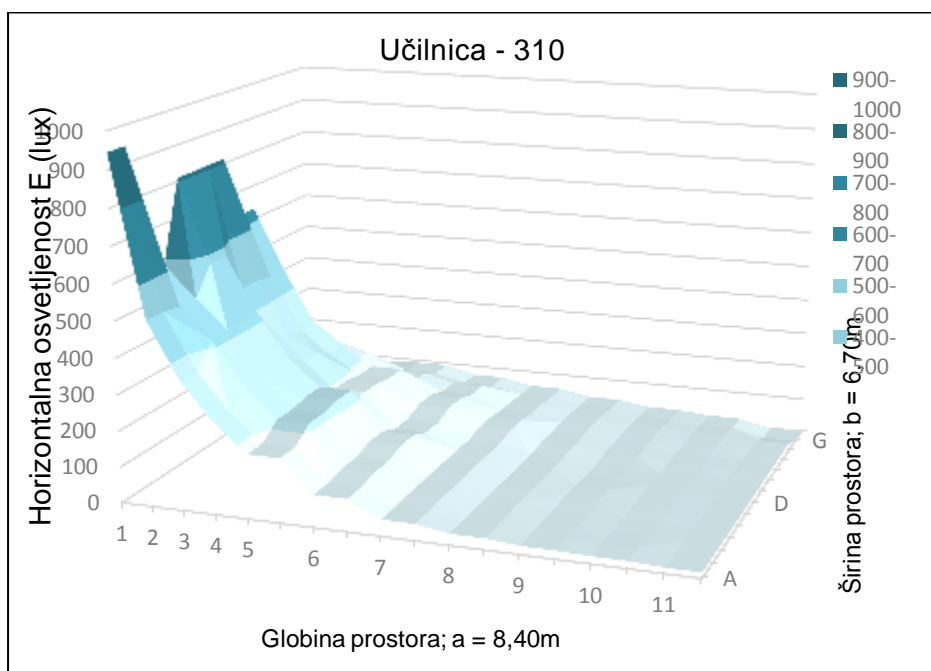
5.7 Analiza meritev učilnice 310

Učilnica 310 leži v tretjem nadstropju, kjer so okenske odprtine obrnjene na južno stran. Tloris prostora je pravokotne oblike, streha strop pa je pod naklonom. Širina prostora je 6,70 m, dolžina 8,40 m. Višina prostora v najvišji točki je 4,15 m, v najnižji točki pa 2,55 m. Stene prostora so betonske in pobarvane s svetlo zeleno barvo. Strop je iz lesenih lamel svetlo rjave barve. Tla so iz linoleja svetlo rumenkasto rjave barve. Višina parapeta je 0,90 m. Na južni strani so vgrajena štiri dvodelna okna dimenzije 1,20 x 1,80 m.



Slika 29: Učilnica 310.

Slika 30 in Grafikon 7 prikazujeta horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 310. Izmed vseh štirih meritev smo izločili drugo meritev, saj je v poprečju zunanja horizontalna osvetljenost večja za 50 %. Vse ostale zunanje horizontalne meritve so precej enakovredne. Meritve smo opravljali v septembru. Povprečna izmerjena osvetljenost posameznih točk v učilnici 310 je 127 lx. Grafikoni posameznih meritev se nahajajo v PRILOGA A.

Slika 30: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 310.Grafikon 7: Prikaz horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] v učilnici 310.

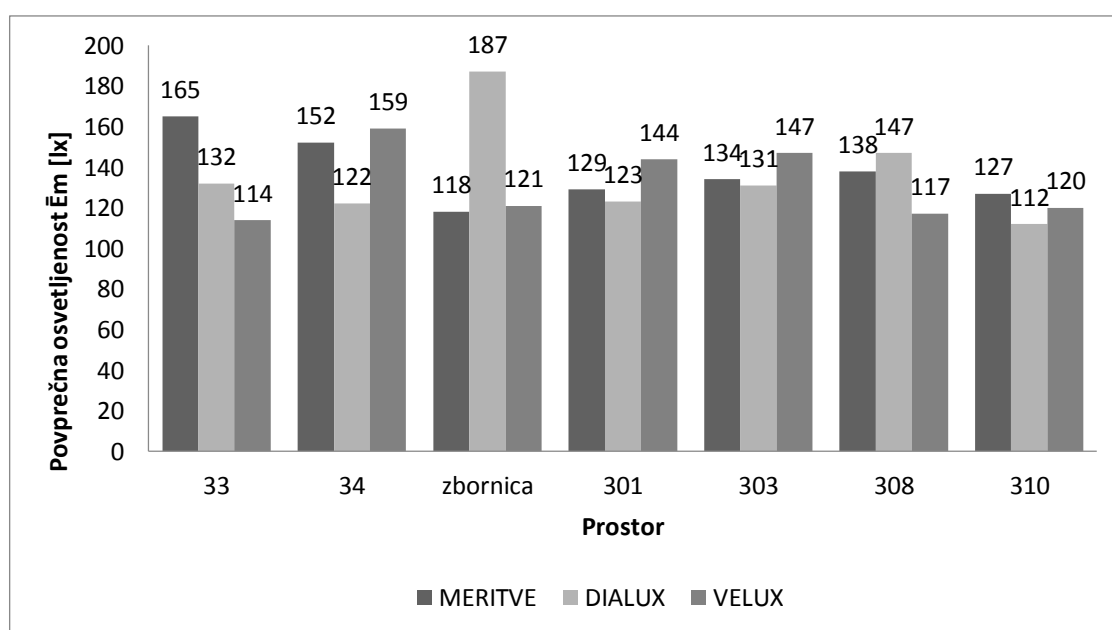
5.8 Primerjava in izbira programskega orodja

V nadaljevanju navajamo primerjalno tabelo ročnih meritev in meritev, izvedenih z različnim programskim orodjem. Prikazana so odstopanja med simulirano in izmerjeno osvetljenostjo.

Preglednica 3: Primerjava meritev.

Učilnica / Usmeritve	MERITVE Ē _m [lx]	DIALUX Ē _m [lx]	ODSTOPANJE %	VELUX Ē _m [lx]	ODSTOPANJE %
33 - J	201	132	34	114	43
34 - J	187	122	35	159	14
Zbornica - S	143	187	23	121	15
301 - S	157	123	21	144	8
303 - S	159	131	17	147	8
308 - J	167	147	12	117	29
310 - J	156	112	28	120	23
Povprečje			24 %		20 %

Kakor je razvidno iz Preglednica 3 in Grafikon 8, prihaja do večjih odstopanj v meritvah učilnic 33 in 34 ter zbornice. Ročne meritve in izračuni, izvedeni s programom Velux DVIZ, se medsebojno bolje ujemajo, medtem ko izračuni, izvedeni s programom DIALux, v povprečju bolj odstopajo, ko jih primerjamo z ročnimi meritvami. Pri izvajanju ročnih meritev smo bili omejeni zaradi poteka pouka, zato meritve niso potekale vedno ob povsem isti uri, kakor je to bilo merjeno z računalniškimi simulacijami.



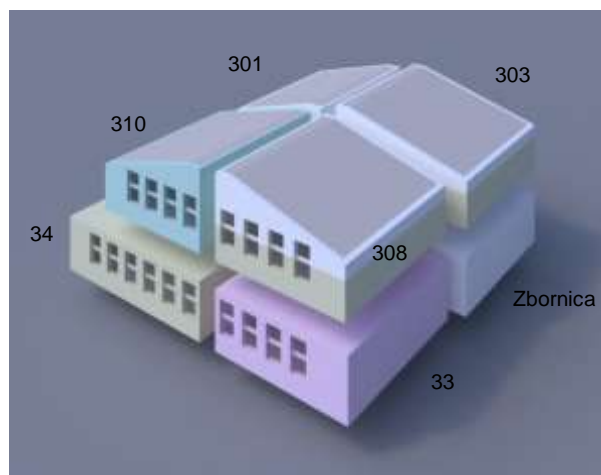
Grafikon 8: Primerjava meritev.

Na podlagi navedenih rezultatov v nadaljevanju upoštevamo podatke, pridobljene s programom Velux DVIZ. Čeprav bi bile tudi ročne meritve lahko merodajne, smo uporabili računalniške zaradi eventualnih človeških napak ter predvsem zaradi fleksibilnosti pri preverjanju ukrepov in stanja v različnih dnevih v letu. Meritve so bile izvedene z namenom preverjanja obstoječega stanja in hkrati smo preverili ujemanje dejanskega stanja s simuliranim.

6 ANALIZA SVETLOBNEGA UDOBJA ZA REFERENČNE DNEVE

V nadaljevanju smo analizirali svetlobno ugodje vseh prostorov glede na pridobljene rezultate s programom Velux DVIZ kot tudi s programom DIALux. V diagramih navajamo rezultate, pridobljene s programom Velux DVIZ, ki smo jih uporabili tudi kot izhodišče v nadaljnji obravnavi. Rezultati, pridobljeni s programom DIALux, pa so kot dodatek v PRILOGA B. Analiza za standardno CIE oblačno nebo je potekala za referenčne dneve v časovnem razponu od 10. in 15. ure. Glede na to, da so ročne meritve potekale v določenem časovnem obdobju v septembru, je primerjava ročnih meritev s simuliranimi najbolj merodajna za referenčni dan jesenskega enakonočja (23. 9.) Skladno s tem v nadaljevanju navajamo analize obstoječega stanja za omenjeni referenčni dan, medtem ko so analize za vse ostale referenčne dneve narejene za ukrepe, ki sledijo v nadaljevanju. Sintezno preglednico podajamo ob zaključku tega poglavja.

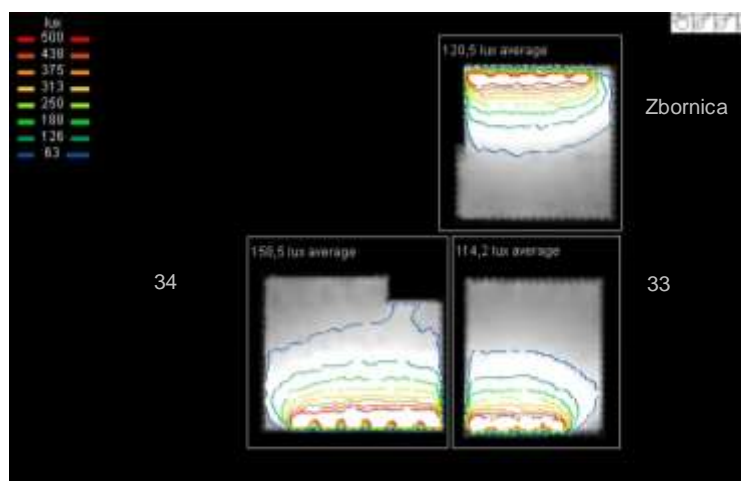
Za začetek smo oblikovali obstoječi 3D model, ki ga prikazuje Slika 31. Upoštevali smo vse vhodne podatke (dimenzije prostora, materiale stenski, talnih in stropnih oblog, transmisivnost oken, barvo prostorov, obliko in dimenzije okenskih odprtin). Model je služil za nadaljnjo analizo v programu Velux DVIZ.



Slika 31: 3D model obstoječega stanja.

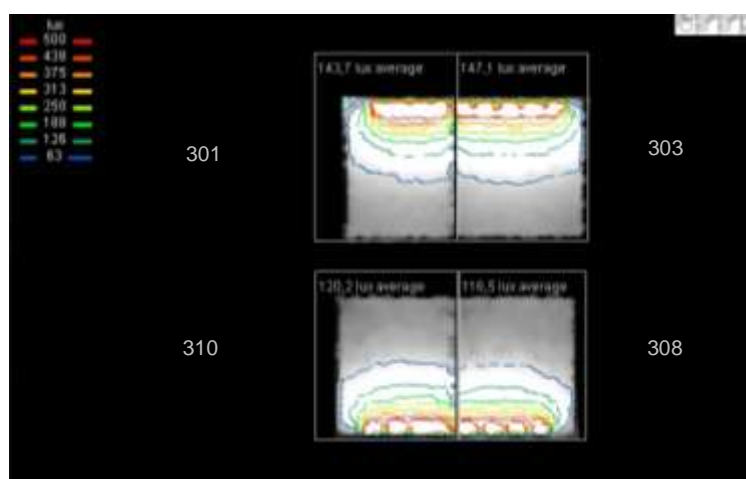
Svetlobno udobje obstoječega stanja smo analizirali za vsak prostor posebej, pri čemer so rezultati navedeni skupaj glede na etažo, v kateri se prostori nahajajo. Vse analize so izvedene za CIE standardno oblačno nebo, datum in ura pa sta navedena v imenu slike za vsako analizo posebej.

6.1 Analiza obstoječega svetlobnega udobja za učilnici 33, 34 in zbornico



Slika 32: Analiza obstoječega svetlobnega udobja za učilnici 33, 34 in zbornico
(23. 9., 12:00).

6.2 Analiza svetlobnega udobja za učilnice 301, 303, 308 in 310



Slika 33: Analiza obstoječega svetlobnega udobja za učilnice 301, 303, 308 in 310
(23. 9., 12:00).

6.3 Sinteza meritev in ugotovitve

Skupne povprečne vrednosti osvetljenosti za posamezne referenčne dneve so združene v Preglednica 4.

Preglednica 4: Povprečne horizontalne osvetljenosti \bar{E} [lx] obstoječega stanja.

Standardno CIE nebo (\bar{E}_m [lx], analiza meritve: 12:00)					
Referenčni dan	21. 3.	21. 6.	23. 9.	21. 12.	povprečje vredn. ref. dni
Obstoječe stanje					
Učilnica 33 (J)	120	144	114	55	108
Učilnica 34 (J)	90	174	159	73	124
Zbornica (S)	100	158	121	66	111
Učilnica 301	100	156	144	62	116
Učilnica 303 (S)	105	144	147	61	114
Učilnica 308 (J)	97	150	117	57	105
Učilnica 310 (J)	98	157	120	57	108

Iz Preglednica 4 je razvidno, da letni čas močno vpliva na osvetljenost prostorov. Povsem jasno je, da vrednosti ne dosegajo predpisanih glede na smernice in normative, ki smo jih navedli v teoretičnem delu. Minimalna povprečna osvetljenost učilnice bi morala znašati 300 lx (SIST EN 12464-1:2011), zato bomo v nadaljevanju izvedli ukrepe za izboljšanje naravne osvetlitve obravnavanih prostorov.

V splošnem je mogoče na podlagi Preglednica 4 prostore medsebojno tudi primerjati. Spomladi (21. 3.) je učilnica 33, katere okenske odprtine se nahajajo na jugu, najbolj osvetljena, medtem ko je isti prostor pozimi (21. 12.) v primerjavi z ostalimi najslabše osvetljen. Najbolj ugodno stanje za vse prostore je poleti (21. 6.) in razmeroma tudi jeseni (23. 9.). Z vidika letih časov je tako smiselno primerjati povprečne osvetljenosti vseh referenčnih dni, saj lahko na tak način dobimo realno sliko, kaj se dogaja z dotokom naravne svetlobe skozi celo leto. Povprečne vrednosti služijo zgolj za primerjavo med posameznimi prostori, ni pa jih mogoče primerjati s predpisanimi. Največji dotok naravne svetlobe celo leto ima učilnica 34, katere okenske odprtine se nahajajo na jugu, najslabše osvetljena pa je učilnica 308. Povprečne vrednosti za ostale prostore glede na celo leto so si razmeroma podobne.

Če na podlagi vhodnih podatkov primerjamo učilnici 308 (najslabše osvetljena) in 34 (najbolje osvetljena), ugotovimo naslednje:

- obe imata okenske odprtine orientirane na jug,
- površina učilnice 34 znaša 80,64 m², učilnice 308 pa 66,36 m²,
- delež okenskih odprtin glede na tlorisno površino v učilnici 34 znaša 18 %, v učilnici 308 pa le 14 %,
- obe učilnici imata enako globino (8,40 m), vendar ima učilnica 34 bistveno daljšo tisto steno, na kateri so nameščene okenske odprtine (9,6 m); ta v učilnici 308 znaša le 7,90 m,
- višina prostora učilnice 34 (3 m) je bistveno nižja kot učilnice 308; prostor učilnice 308 je v kolenčnem zidu visok 2,55 m in v najvišji točki 4,30 m,
- primerjamo lahko tudi transmisivnost obstoječih oken, ki gre v prid učilnici 308 (67 %), medtem ko je v učilnici 34 nekoliko slabša (62 %). Zaradi razmeroma nizkega odstopanja vrednosti in možnih napak pri merjenju, je nastala razlika lahko zgolj posledica različne čistosti oken v trenutku merjenja.

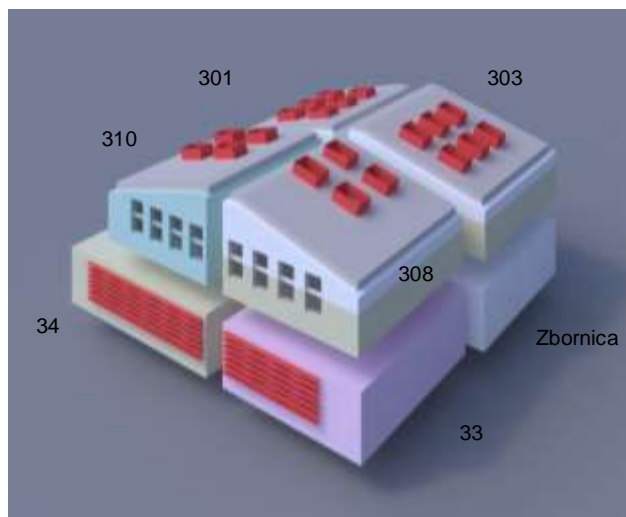
Na podlagi zgoraj navedenega je povsem jasno, da oblika prostora oziroma velikost površine, skozi katere prihaja svetloba v prostor, bistveno pripomore k izboljšanju osvetljenosti le-tega. Obenem je potrebno izbrati tudi ustrezna okna, ki bodo prepuščala dovolj svetlobe. Osvetljenost mansardne učilnice 308 je slabša zato, ker ima nekoliko nižji odstotek okenskih odprtin, k slabši osvetljenosti pa pripomore tudi napušč, ki se nahaja v zgornji etaži (mansardi). Na podoben način bi lahko medsebojno primerjali še ostale prostore. S to primerjavo smo želeli pokazati, da je količina dnevne naravne svetlobe odvisna od mnogih parametrov, ki so razloženi v teoretičnem delu, ter da je potrebno pri snovanju novih zgradb upoštevati prav vse ključne dejavnike. Glede na to, da analiziramo obstoječe stanje, bomo za konkreten primer v naslednjem poglavju preverili vpliv ukrepov, s katerimi lahko izboljšamo količino dotoka naravne svetlobe.

7 ANALIZA UKREPOV ZA IZBOLJŠANJE OSVETLJENOSTI PROSTOROV

Na podlagi ugotovitev smo se odločil za izvedbo ukrepov, ki naj bi povečali količino dnevne naravne svetlobe v prostoru. Po izvedenih ukrepih smo prostore ponovno analizirali za vse referenčne dneve. Zaradi velike količine podatkov tudi v tem poglavju kot v prejšnjem navajamo analize za 23. september, ki so primerljive tudi s podatki, merjenimi na terenu. Vse ostale analize se nahajajo v PRILOGA C, PRILOGA D in PRILOGA E.

Zaradi količine potrebnih podatkov za prikaz smo različne ukrepe za posamezne prostore združevali v skupne analize in jih navajamo v nadaljevanju.

7.1 Ukrep 1



Slika 34: Prikaz Ukrepa 1 na 3D modelu.

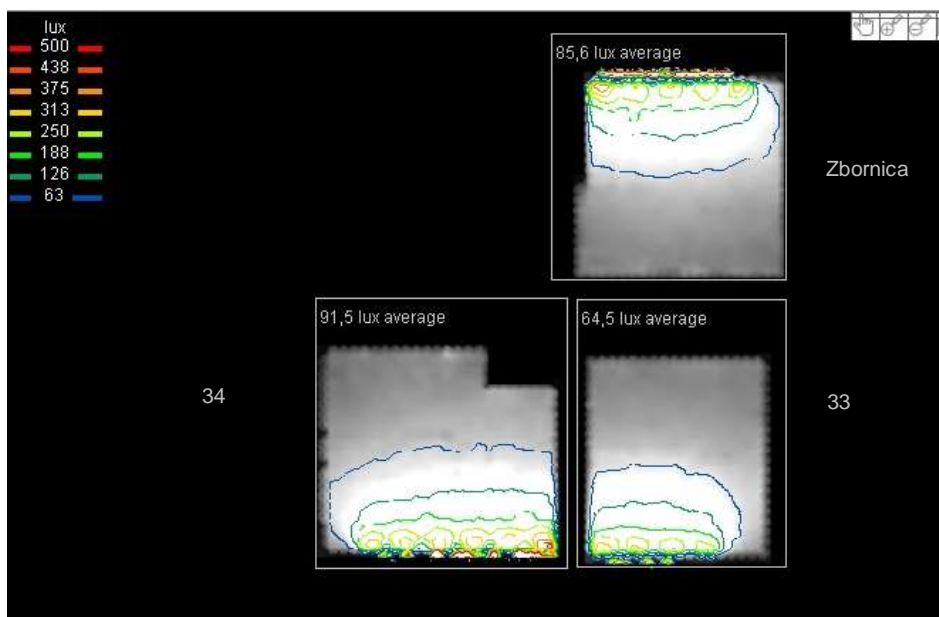
Vse izvedene ukrepe za posamezne prostore navajamo združene v »Ukrep 1«.

Brisoleji v pritličju: (material: aluminij – z veliko reflektivnostjo – 0,9).

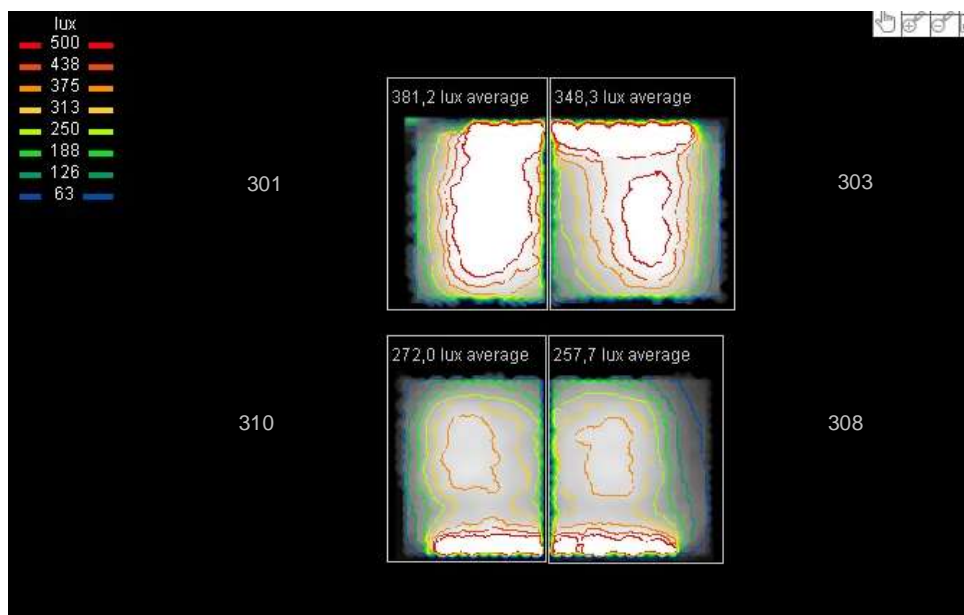
- zbornica: 7 x po višini na severno stran, dimenzije brisoleja: dolžina 6,70 m, širina 0,30 m, zgornji radij ukrivljenosti 25 st., spodnji radij ukrivljenosti 45 st.,
- učilnica 33: 7 x po višini na južno stran, dimenzije brisoleja: dolžina: 5,30 m, širina: 0,30 m, zgornji radij ukrivljenosti 25 st., spodnji radij ukrivljenosti 45 st.,
- učilnica 34: 7 x po višini na južno stran, dimenzije brisoleja: dolžina: 5,30 m, širina: 0,30 m, zgornji radij ukrivljenosti 25 st., spodnji radij ukrivljenosti 45 st.

Svetlobni jaški: namestili smo jih v prostore mansarde, dimenzije 130/90 cm in višine 60 cm (učilnice 301, 303, 308, 310).

Slika 35 in Slika 36 prikazujeta analizo za referenčni dan 23. 9., CIE standardno oblačno nebo (spodnji in zgornji prostori).

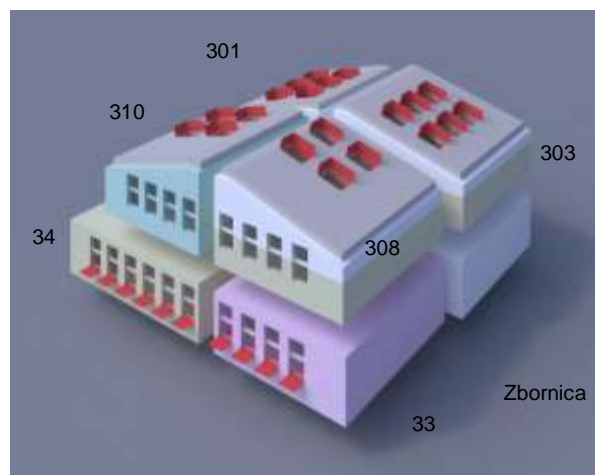


Slika 35: Analiza Ukrepa 1 za učilnici 33, 34 in zbornico (23. 9., 12:00).



Slika 36: Analiza Ukrepa 1 za učilnice 301, 303, 308 in 310 (23. 9., 12:00).

7.2 Ukrep 2



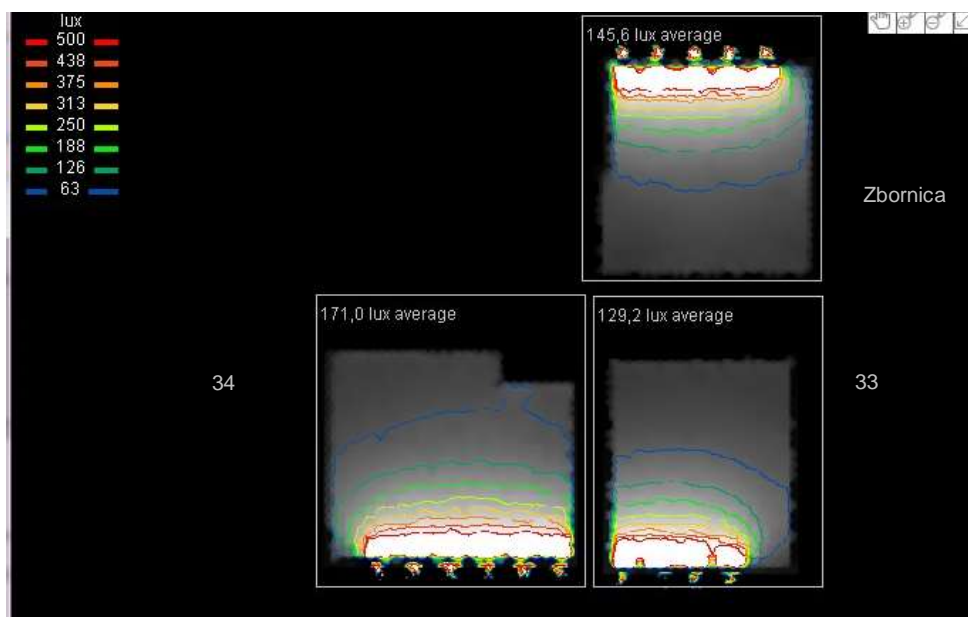
Slika 37: Prikaz Ukrepa 2 na 3D modelu

Vse izvedene ukrepe za posamezne prostore navajamo združene v »Ukrep 2«.

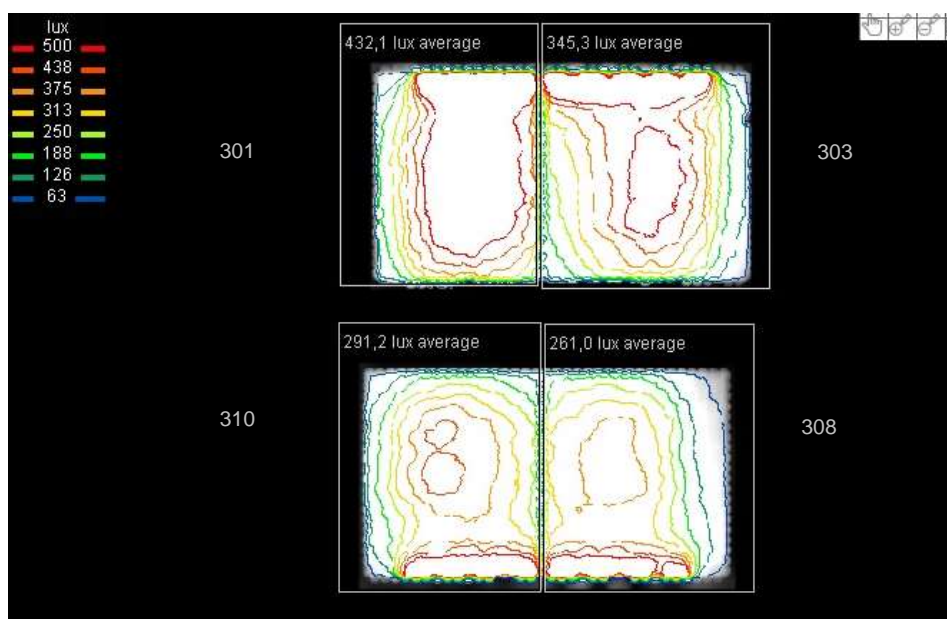
Svetlobne police: nameščali smo jih po vseh prostorih pritličja (material: aluminij – z veliko reflektivnostjo – 0,9). Dimenzije svetlobne police znašajo 90/90 cm. Nameščene so pravokotno na fasado, in sicer na spodnji rob okenske odprtine na zunanji strani (učilnica 33, 34 in zbornica).

Svetlobni jaški z odprto stranico: namestili smo jih v prostore mansarde (učilnice 301, 303, 308 in 310) in so dimenzije 130/90 cm in višine 60 cm. Dotok svetlobe je bil tako na južni in vzhodni strani prost. Material: aluminij – z veliko reflektivnostjo – 0,9.

Slika 38 in Slika 39 prikazujeta analizo za referenčni dan 23. 9., CIE standardno oblačno nebo (spodnji in zgornji prostori).

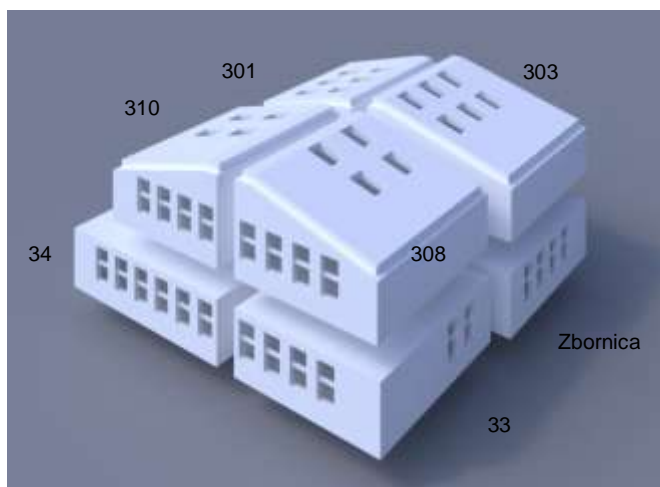


Slika 38: Analiza Ukrepa 2 za učilnici 33, 34 in zbornico (23. 9., 12:00)



Slika 39: Analiza Ukrepa 2 za učilnice 301, 303, 308 in 310 (23. 9., 12:00)

7.3 Ukrep 3



Slika 40: Prikaz Ukrepa 3 na 3D modelu.

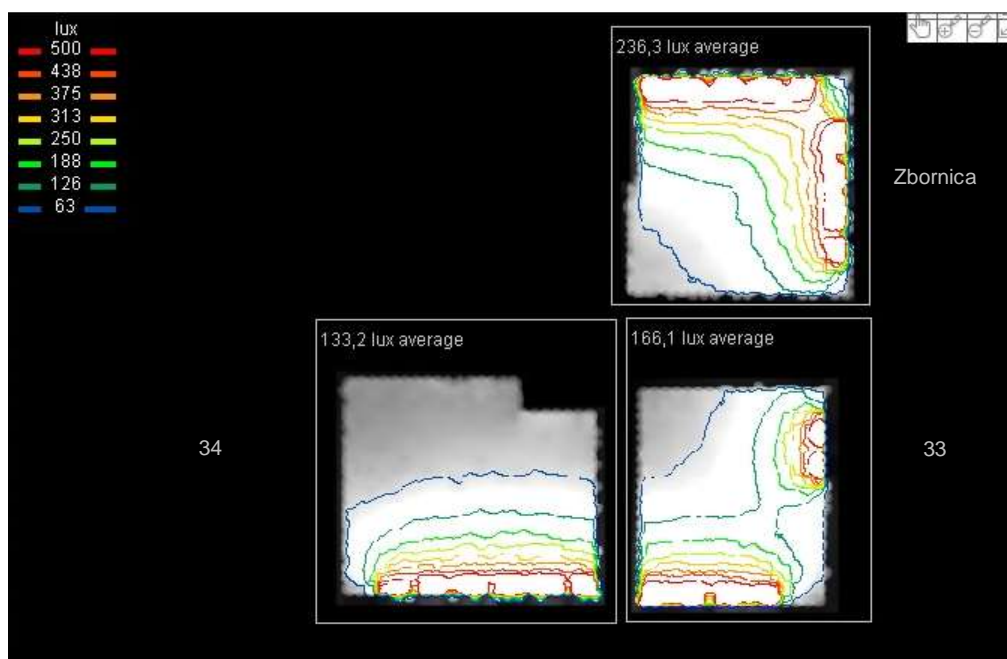
Vse izvedene ukrepe za posamezne prostore navajamo združene v »Ukrep 3«.

Dodatna vertikalna okna smo v prostore pritličja umestili tam, kjer je bilo to mogoče. V zbornico smo namestili 4 dodatna okna, v učilnico 33 pa dve. Umeščali smo okna enakih dimenzij, kot so obstoječa. V učilnici 34 dodatnih oken ni bilo mogoče namestiti.

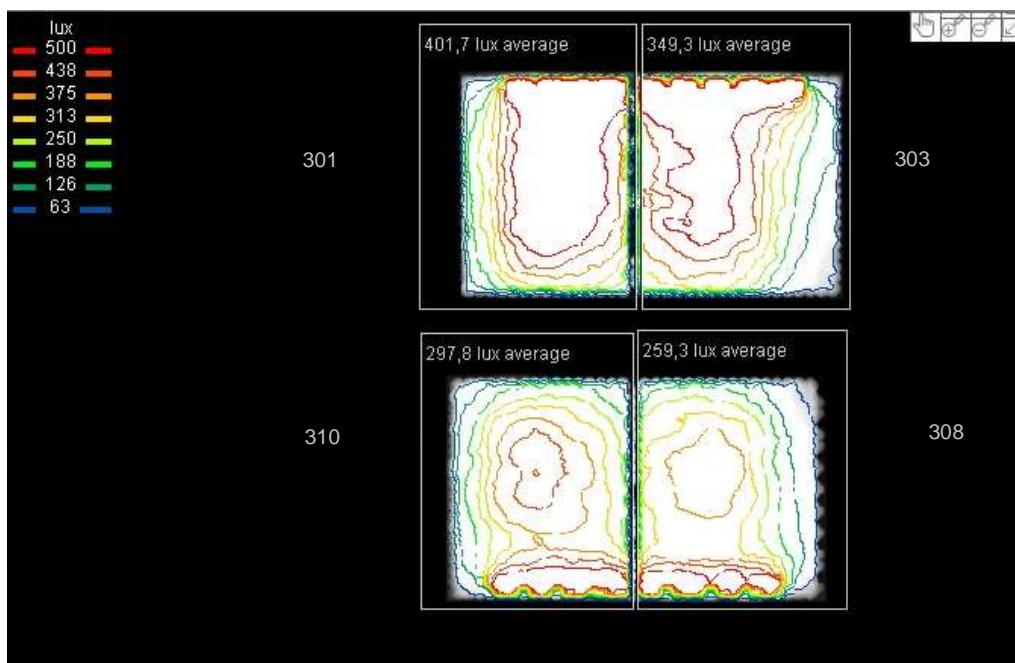
Bele stene in bel strop: v vseh prostorih pritličja in mansarde.

Dodatna strešna okna: umestili smo dodatna strešna okna dimenzij 130/90 cm v vse prostore mansarde (učilnica 301, 303, 308 in 310). Umeščena so bila okna brez sončne zaščite.

Slika 41 in Slika 42 prikazujeta analizo za referenčni dan 23. 9., CIE standardno oblačno nebo (spodnji in zgornji prostori).

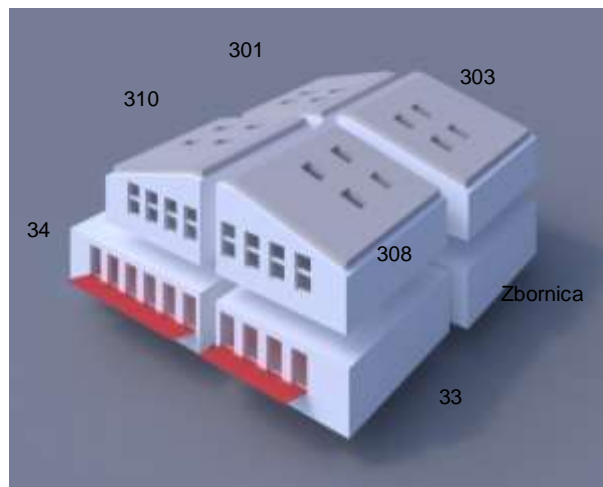


Slika 41: Analiza Ukrepa 3 za učilnici 33, 34 in zbornico (23. 9., 12:00).



Slika 42: Analiza Ukrepa 3 za učilnice 301, 303, 308 in 310 (23. 9., 12:00).

7.4 Ukrep 4



Slika 43: Prikaz Ukrepa 4 na 3D modelu.

Vse izvedene ukrepe za posamezne prostore navajamo združene v »Ukrep 4«.

Svetlobne police vzdolž celotnega niza oken: nameščali smo jih za vse merjene prostore v pritličju. Posamezna svetlobna polica globine 90 cm sega od začetka do konca celotnega niza oken, kakor to prikazuje Slika 43. Nameščene so pravokotno na fasado, in sicer na spodnji rob okenske odprtine na zunanji strani. Ukrep je izveden za učilnici 33, 34 in zbornico.

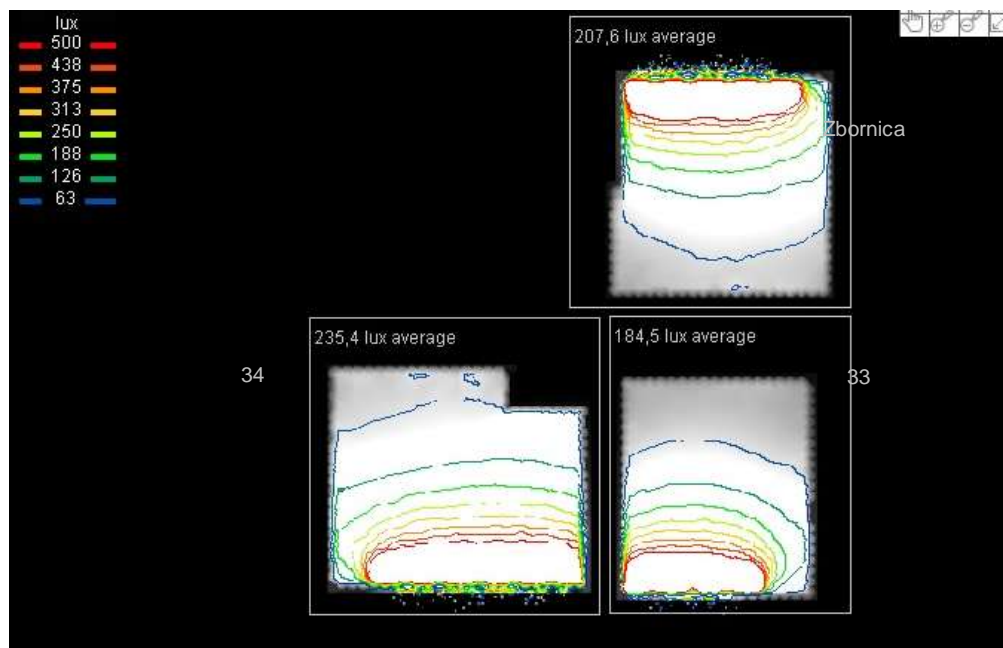
Bele stene in bel strop: v vseh prostorih pritličja (učilnici 33, 34 in zbornica).

Bele stene: v vseh prostorih mansarde (učilnice 301, 303, 308 in 310). Strop ostaja nespremenjen (lesen).

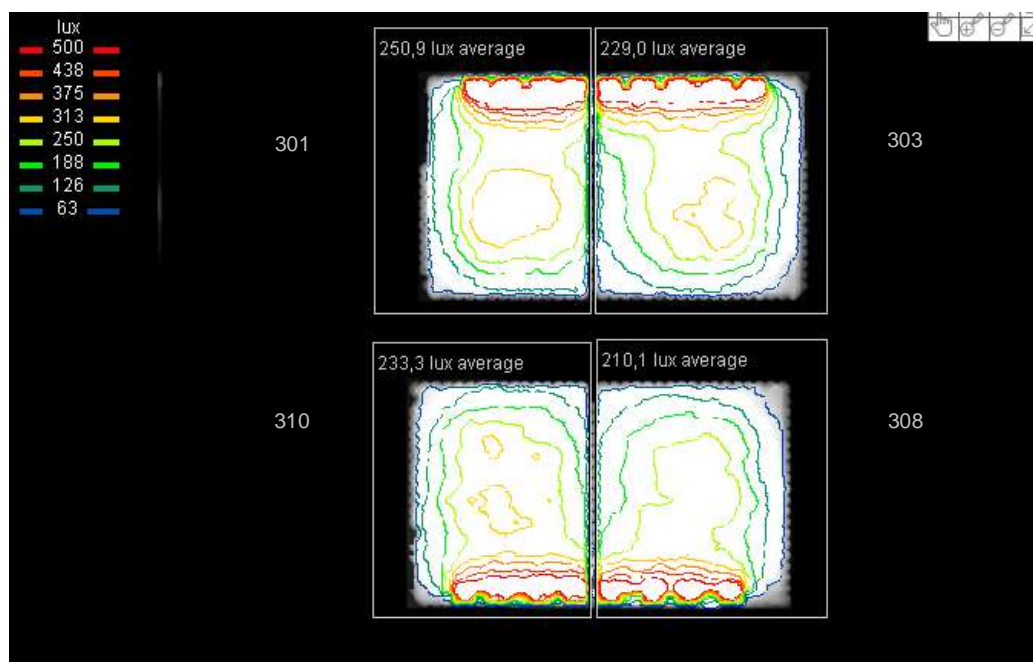
Povečava obstoječih vertikalnih okenskih odprtin: okenske odprtine smo povečali samo na račun vmesnega profila (dvodelno okno), saj s povečavo nismo želeli prekomerno vplivati na videz fasade. Ukrep smo izvajali v prostorih pritličja.

Dodatna strešna okna: umestili smo dodatna strešna okna dimenzij 130/90 cm v vse prostore mansarde (učilnica 301, 303, 308 in 310). Umeščena so bila okna brez sončne zaščite.

Slika 44 in Slika 45 prikazujeta analizo za referenčni dan 23. 9., CIE standardno oblačno nebo (spodnji in zgornji prostori).



Slika 44: Analiza Ukrepa 4 za učilnici 33, 34 in zbornico (23. 9., 12:00).



Slika 45: Analiza Ukrepa 3 za učilnice 301, 303, 308 in 310 (23. 9., 12:00).

7.5 Sinteza meritev in ovrednotenje ukrepov

Sinteza analiz posameznih prostorov je ključnega pomena in se nahaja v Preglednica 5. Tudi v tem primeru je nujno primerjati maksimalne vrednosti osvetljenosti prostorov z naravno svetlobo kot tudi povprečne vrednosti, preračunane za celo leto. Ukrep 1 bomo v celoti izločili, saj obstoječe stanje učilnic 33, 34 in zbornice še poslabša. Razlog je ta, da programska analiza na modelu ne omogoča namestitve sodobnih avtomatsko premičnih senčil, ki poleg tega zaradi svoje specifične oblike delujejo tako, da svetlobo usmerjajo (odbijajo) v prostor glede na točno določen dan in uro. V našem primeru je program pri analizi omenjene elemente zaznal zgolj kot fiksna senčila, katerih funkcija je zastiranje oziroma preprečevanje prekomernega prehoda sončnih žarkov v prostor. Specialni programi za izračun vpliva uporabe avtomatsko premičnih senčil so v lasti proizvajalcev in niso prosto dostopni. Na tržišču obstajajo tovrstni specializirani programi zgolj v okviru komercialnih proizvodov in zato ostajajo last podjetja, ki le-te tudi zastopa.

Z vidika povprečnih celoletnih vrednosti smo analizirali ukrepe za vsak prostor posebej.

- Učilnica 33:

Kot najbolj ugoden se je izkazal Ukrep 4 s povprečno vrednostjo 161 lx, ki narekuje prebarvanje vseh sten in stropov prostora v belo barvo, povečavo obstoječih okenskih odprtih in namestitve svetlobnih polic vzdolž celotne fasade.

Kot manj ugoden se je izkazal Ukrep 3 (149 lx), ki narekuje ohranjanje obstoječih okenskih odprtih in namestitve dodatnih dveh okenskih odprtih na vzhodni strani prostora.

Glede na to, da je potrebno upoštevati omejitve pri gradnji ali prenovi (npr. prostorski akti) in skladnost arhitekturne zasnove, se moramo pri tovrstnih ukrepih odločiti za tiste, ki bodo optimalni, ko primerjamo vse vidike. Če bi v danem primeru na celotnem objektu povečali okenske odprtine, tako da ohranimo še vedno smiselni ritem fasade, potem bi bil ta ukrep (Ukrep 4) ugoden. V primeru, da zaradi katerega koli izmed omenjenih razlogov odprtih ne bi mogli povečati, se morda kot dobra rešitev izkaže Ukrep 3, po katerem se namestita dodatni dve okenski odprtini na vzhodni strani in je obenem skladen tudi s potezo, ki je najbolj priporočljiva za zbornico in je razložena v nadaljevanju.

Glede na to, da se z nobenim od navedenih ukrepov nismo približali vrednosti 300 lx, bi bilo potrebno z vidika zagotavljanja svetlobnega udobja izvesti Ukrep 3 in Ukrep 4, ki obsegata: spremembo obstoječih sten in stropa v belo barvo, povečanje obstoječih okenskih odprtih, umestitev dodatnih dveh oken na vzhodni strani in namestitev svetlobnih polic vzdolž fasade. Kombinacija vseh teh ukrepov bi zagotovo zadostila zahtevanim parametrom, po vsej verjetnosti pa se ne bi izkazala kot ugodna niti s finančnega niti z arhitekturnega vidika.

- **Učilnica 34:**

Najbolj ugoden se je izkazal Ukrep 4 (202 lx), ki narekuje spremembo barve sten in stropa v belo, povečavo obstoječih okenskih odprtih in namestitev svetlobnih polic vzdolž celotne fasade. V omenjenem prostoru namestitev dodatnih okenskih odprtih ni mogoča.

Glede na to, da imamo pri prejšnji učilnici (učilnica 33) več možnih ukrepov, ki jih lahko uporabimo, bi se v praksi odločili skladno s tistimi, ki so mogoči pri obravnavani učilnici 34, kjer pa so le-ti omejeni.

- **Zbornica:**

Za zbornico je najugodnejši Ukrep 3 (206 lx), ki narekuje spremembo barve sten in stropa v belo in zelo ugodno namestitev štirih dodatnih okenskih odprtih na vzhodni strani prostora (fasade). Glede na to, da s tem ukrepom ne zadostimo priporočenim vrednostim, bi bilo smotrno istočasno upoštevati tudi vsaj del Ukrepa 4, ki umešča tudi svetlobne police po celotni dolžini prostora. Z združitvijo obeh ukrepov bi v zbornici zagotovili bistveno boljšo osvetljenost z naravno svetlobo.

Preglednica 5: Vrednosti horizontalne osvetlitve vseh ukrepov glede na referenčne dneve.

Standardno CIE nebo (\bar{E}_m [lx], analiza meritve: 12:00)					
Referenčni dan	21. 3.	21. 6.	23. 9.	21. 12.	povprečje
Obstoječe stanje					
Učilnica 33	120	144	114	55	108
Učilnica 34	90	174	159	73	124
Zbornica	100	158	121	66	111
Učilnica 301	100	156	144	62	116
Učilnica 303	105	144	147	61	114
Učilnica 308	97	150	117	57	105
Učilnica 310	98	157	120	57	108
Ukrep 1					
Učilnica 33	52	78	65	30	56
Učilnica 34	69	99	92	39	75
Zbornica	57	89	86	35	67
Učilnica 301	318	473	381	181	338
Učilnica 303	267	428	348	167	303
Učilnica 308	215	306	258	125	226
Učilnica 310	222	337	272	134	241
Ukrep 2					
Učilnica 33	111	168	129	63	118
Učilnica 34	138	189	171	73	143
Zbornica	120	178	146	71	129
Učilnica 301	344	523	432	203	376
Učilnica 303	288	424	345	166	306
Učilnica 308	207	312	261	123	226
Učilnica 310	236	350	291	136	253
Ukrep 3					
Učilnica 33	135	213	166	82	149
Učilnica 34	114	167	133	66	120
Zbornica	194	279	236	113	206
Učilnica 301	343	485	402	195	356
Učilnica 303	248	418	349	163	295
Učilnica 308	217	325	259	122	231
Učilnica 310	243	354	298	149	261
Ukrep 4					
Učilnica 33	150	222	185	88	161
Učilnica 34	182	281	235	111	202
Zbornica	167	247	208	98	180
Učilnica 301	211	292	251	120	219
Učilnica 303	188	283	229	111	203
Učilnica 308	166	264	210	101	185
Učilnica 310	198	280	233	114	206

- **Učilnica 301:**

Ukrep 3 (356 lx) se je sicer v povprečju izkazal kot najbolj ugoden. Le-ta narekuje bele stene in strop ter namestitvev strešnih oken. Kljub omenjenemu dejstvu se izkaže kot ugoden, saj je mogoče z njim doseči priporočene vrednosti, vsekakor pa bi bilo potrebno posebno pozornost posvetiti izbiri svetlobne zašite za strešna okna.

Ukrep 2 s svetlobnimi jaški v tem primeru ni bil izbran, saj bi osvetljenost 21. junija znašala 523 lx, kar bi bilo v praksi zelo veliko glede na to, da naravno svetlobo

dejansko vedno kombiniramo z umetno. Eventualno bi bil ta ukrep mogoč tedaj, ko bi natančno proučili, kakšne vrste in dimenzije svetlobnih jaškov bi umestili ter v kakšnem številu in razporeditvi.

- **Učilnica 303:**

Ukrep 2 predstavlja najbolj ugodno rešitev za učilnico 303. V povprečju zagotavlja osvetljenost 306 lx, kar zadošča standardu. Ukrep 2 narekuje namestitev svetlobnih jaškov z dvema odprtima stranicama. Glede na vse predhodne ukrepe ta poteza ni skladna z vidika enotnosti, ki mora veljati za celotno stavbo. Ob tehtnem razmisleku ugotovimo, da tudi vrednosti Ukrepa 3 niso majhne (295 lx) in so zato primerljive z Ukrepom 2. Poleg tega Ukrep 2 ne obsega barvanja sten in stropa v belo barvo, zato bi bilo najbolj smiselno upoštevati še ta poseg in se v osnovi odločiti za Ukrep 3, ki je najbolj skladen ob primerjavi z ostalimi prostori.

- **Učilnica 308:**

Tudi v tem primeru je najbolj ugoden Ukrep 3 (231 lx), ki pa kljub temu ne zadošča priporočenim vrednostim osvetlitve tovrstnega prostora. Glede na to, da se tudi pri vseh ostalih učilnicah podstrešja nagibamo k Ukrepu 3, ki poleg belih sten in stropa zajema umestitev strešnih oken, bi lahko v tem konkretnem primeru povečali število strešnih oken in tako stanje še izboljšali.

- **Učilnica 310:**

Skladno s predhodno razlago, bi se tudi v tem primeru odločili za Ukrep 3, ki sicer tudi tej učilnici v takšni obliki, kot je bila konstruirana ne omogoča zadostne osvetlitve (261 lx), bi pa vrednosti zagotovo približali zahtevanim z namestitvijo večjega števila ali večjih strešnih oken.

Iz analiz je bilo ugotovljeno, da bolj kot kar koli predstavljajo okna tisti najpomembnejši medij prehoda dnevne naravne svetlobe v prostor. Pri natančnem določanju osvetljenosti prostora je seveda potrebno dosledno upoštevati parametre proizvajalcev kot tudi pravilno razporeditev odprt in nujno namestitev ustrezne sončne zaščite za preprečevanje motečega efekta bleščanja in navsezadnje tudi z namenom zaščite prostorov pred prekomernim pregrevanjem.

V nadaljevanju bomo obravnavali vsak posamezen prostor ter medsebojno primerjali obstoječe stanje z ukrepom, ki se je za ta prostor izkazal kot najboljši. Glede na vse

predhodne komentarje, ki se nanašajo na povprečje vrednosti osvetlitve štirih referenčnih dni, bomo enako storili tudi v tem primeru. Odstotki izboljšave so prikazani v Preglednica 6.

Preglednica 6: Odstotek izboljšave osvetljenosti s pomočjo ukrepov.

Standardno CIE nebo (\bar{E}_m [lx], analiza meritve: 12:00)			
Referenčni dan	Povprečje vrednotenja referenčnih dni obstoječega stanja	Povprečje vrednotenja referenčnih dni za najboljši ukrep	% izboljšave
Obstoječe stanje			
Učilnica 33 (J)	108	161	149
Učilnica 34 (J)	124	202	63
Zbornica (S)	111	206	85
Učilnica 301 (S)	116	376	324
Učilnica 303 (S)	114	306	268
Učilnica 308 (J)	105	231	220
Učilnica 310 (J)	108	261	241

Najbolj se je izboljšalo stanje v učilnici 301 (za 324 %), kjer so se kot najboljši ukrep izkazale bele stene in strop ter namestitve strešnih oken. Enak ukrep je najbolj vplival tudi na preostale učilnice v mansardi. V učilnici 303 se je stanje izboljšalo za 268 %, v učilnici 310 za 241 % in v učilnici 308 za 220 %, pri čemer normativom zadoščata le osvetljenosti v učilnici 301 (376 lx) in v učilnici 303 (306 lx). Ob namestitvi bodisi večjih bodisi dodatnih strešnih oken bi tudi stanje v učilnici 308 in 310 zadoščalo predpisanim. Ukrep se izkaže kot zelo ugoden, saj se lahko z dodatno uvedbo enakih elementov še bolj približamo idealnim vrednostim, ki za prostore šol vse bolj narekujejo vrednost 300 lx (Eržen in Košir, 2016).

Izboljšave v prostoru pritličja so bistveno manjše. Najbolj se je izboljšalo stanje v učilnici 33 (za 149 %), ki pa z osvetljenostjo 161 lx še vedno ne zadošča priporočenim vrednostim. V učilnici 33 se je kot najboljši ukrep izkazala istočasna povečava okenskih odprtih (z odstranitvijo vmesnega PVC profila), bele stene in strop ter namestitve svetlobnih polic vzdolž celotnega niza oken. Stanje bi lahko izboljšali še z delnim upoštevanjem tretjega ukrepa (namestitve dveh novih oken na vzhodni strani), ki pa je sicer z vidika oblikovne zasnove vprašljivo.

Zelo malo pa sta se stanja izboljšali v pritlični učilnici 34 (le za 63 %) in v zbornici (le za 85 %). V učilnici 34 dodatne okenske odprtine niso izvedljive, uvedba izključno belih sten in

stropov ter svetlobnih polic pa ne zadošča zahtevam po priporočeni osvetljenosti. Ta prostor je tisti, ki bi potreboval največ dodatne umetne razsvetljave.

V zbornici smo istočasno sicer namestili dodana okna vzdolž celotne vzhodne fasade ter pobarvali stene in strop z belo barvo, vendar ukrepa z doseženimi 206 lx ne zadoščata zahtevani osvetljenosti. Stanje bi lahko sicer še izboljšali z istočasno umestitvijo svetlobnih polic vzdolž celotnega niza oken, vendar bi v tem primeru to predstavljal samostojen element na sicer oblikovno izčiščeni fasadi, kar pomeni, da tovrsten ukrep ne bi bil ustrezen. Iz tega razloga bi se tudi v tem primeru odločili za uvedbo izdatnejše umetne razsvetljave.

8 SKLEP

V tem diplomskem delu so predstavljeni različni vidiki zagotavljanja zadostne dnevne osvetlitve prostorov in posledično svetlobnega udobja. Pri uporabi raznovrstnih pristopov v praksi je vsekakor potrebno upoštevati vse vidike hkrati in obenem tudi ostale omejitvene dejavnike, ki se pojavijo izven konteksta zagotavljanja ustrezne količine svetlobe v prostorih z različno namembnostjo.

Pri prenovi objektov smo v realnosti precej omejeni, kadar razmišljamo o izboljšanju naravne osvetlitve prostorov. Pri gradbenih posegih nas namreč omejujejo prostorski akti, glavno vlogo pa vsekakor odigra tudi oblikovno-arhitekturni vidik. Umeščanje dodatnih in poljubnih okenskih odprtin na že zasnovano fasado lahko v celoti uniči neko dovršeno arhitekturno celoto, obenem pa velikokrat zaradi konstrukcijske zasnove objekta to ni izvedljivo. Enako lahko z oblikovnega in tudi tehničnega vidika negativno vpliva na obstoječ objekt tudi neustrezna izbira senčil ali drugih elementov za regulacijo dotoka dnevne svetlobe.

Pri načrtovanju in gradnji objektov je v zadnjem času vse bolj v ospredju globalna usmeritev, ki narekuje racionalno rabo energije, k čemer veliko pripomore uporaba naravnih virov, zato se nagibamo k temu, da čim boljše izkoristimo možnost dotoka dnevne naravne svetlobe. Kljub temu prostorov ne moremo osvetljevati zgolj z naravno svetlobo. Umetna razsvetljava poskrbi, da se približamo standardom in obenem omogoči, da so prostori lahko v rabi tudi ponoči, oziroma da je njihova raba neovirana tudi tedaj, ko podnevi primanjkuje ustrezne količine svetlobe za opravljanje točno določenega dela.

Na podlagi izvedene raziskave smo ugotovili, da so prostori obravnavanega objekta srednje šole v Domžalah nezadostno osvetljeni z naravno svetlobo. Z uporabo različnih metod smo želeli prikazati pomembnost analiz osvetljenosti v praksi. V nadaljevanju smo uporabili različne ukrepe za izboljšanje stanja, jih na koncu kritično ovrednotili in razložili, kateri ukrepi so se izkazali kot najboljši in kateri kot neugodni. Raziskave ne moremo posplošiti niti za primer obravnavanega objekta, saj bi praviloma morali vključiti natančne parametre vseh materialov in vgrajenih tipov oken ter prav tako analizirati tudi umestitve protisončnih zaščit, ki pa so običajno vezane tudi na drugo programsko opremo v lasti podjetja. Presoja o ustreznosti vsekakor ne more ostati zgolj tehnične narave, saj lahko tovrstni ukrepi pomenijo zelo velike spremembe estetskega videza stavbe. Poleg tega faktorja bi bilo potrebno vključiti tudi dejavnik varčne rabe energije v stavbah in analizirati prostore tudi z umestitvijo dodatne umetne razsvetljave.

Naravna svetloba ima velik vpliv na zdravje, koncentracijo in pozornost učencev in delavcev, kar obsega fiziološke in psihološke parametre. Prostore šol, vrtcev in delovnih mest bi morali zato še natančneje proučevati že v fazi zasnove. Zaradi tendenc, ki jih narekuje sodobna gradnja, bi morali biti v ta proces vključeni istočasno arhitekti, gradbeniki, elektro in strojni inženirji. Interdisciplinarni pristop je na tem področju namreč zelo pomemben.

VIRI

Atlas okolja. 2016.

http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso (Pridobljeno 10. 5. 2016.)

Bizjak, G. 2016. Fizikalne osnove svetlobe in fotometrija. Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko: 34 str.

http://lrf.fe.uni-lj.si/e_eir/eir08i.pdf (Pridobljeno 15. 8. 2016.)

Dial. 2016. Lighting design software DIALux.

<https://www.dial.de/en/dialux/>. (Pridobljeno 12. 7. 2016.)

Dwfcontract. 2010. Light Shelves.

<https://www.dwfcontract.com/Drapery--Window-Covering-Blog/bid/33615/Light-Shelves>
(Pridobljeno 15. 5. 2016.)

Eržen, J., Košir, M. 2016. Dinamične metrike za oceno dnevne osvetljenosti in njihova uporaba pri analizi učilnic v slovenskih osnovnih šolah. *Gradbeni vestnik*. 65, 2: 41–53.

European Design in University Curricula and Architectural Training in Europe. 2016. *Parameters od Visual Comfort*.

<https://www.educate-sustainability.eu/kb/print/787> (Pridobljeno 7. 7. 2016.)

Košir, M., Krainer, A., Kristl, Ž. 2012. Analiza osončenosti stavb v skladu z zahtevami PURES 2010. *Gradbeni vestnik*. 8, 6: 183–193.

Kristl, Ž. 2011. Dnevna svetloba. Skripta za predmet Dnevna svetloba, Stavbarstvo, II. stopnja. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente: 71 str.

Laboratorij za razsvetljavo in fotometrijo. 2016. Razsvetljava v šolah. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za elektrotehniko, Laboratorij za razsvetljavo: 46 str.

http://lrf.fe.uni-lj.si/e_razsvetljava/razsvetljivavsolah.pdf (Pridobljeno 15. 8. 2016.)

Medved, S. 2008a. Fizikalne osnove in viri svetlobe: Gradbena fizika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo: 8 str.

Medved, S. 2008b. Svetlobno ugodje in raba energije: Gradbena fizika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo: 6 str.

Novljan, T. 2012. Svetloba vpliva na nas, bolj kot se zavedamo. Mladina. 13. 7. 2012.
<http://www.mladina.si/114018/tomaz-novljan-svetloba-na-nase-vedenje-vpliva-bolj-kot-se-zavedamo/> (Pridobljeno 17. 4. 2016.)

Perger, N. 2016. Arhitekt svetuje: osvetlitev prostora. Hausbau. 7: 98–99.

Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj. 2011.
Uradni list RS št. 1/2011: str.133.

Pravilnik o normativih in minimalnih tehničnih pogojih za prostor in opremo vrtca. 2013.
Uradni list RS, št. 73/00, 75/05, 33/08, 126/08, 47/10 in 47/13.

Pravilnik o zahtevah za zagotavljanje varnosti in zdravja delavcev na delovnih mestih. 1999.
Uradni list RS, št. 89/1999, str. 13473.

SIST EN 12464-1:2011. 1. December 2011. Slovenski inštitut za standardizacijo.

Velux. 2016a. Daylight Visualizer.
http://viz.velux.com/daylight_visualizer/about (Pridobljeno 13. 7. 2016.)

Wikimedia commons. 2007. Exterior light shelves: Green office building.
https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Exterior_Light_Shelves_Green_Office_Building,_Denver_Colorado.jpg (Pridobljeno 17. 3. 2016.)

SEZNAM PRILOG

PRILOGA A: Rezultati ročnih meritev.....	A1
PRILOGA B: Rezultati simulacije v DIALux (povprečne meritve osvetljenosti – izolinije).....	B1
PRILOGA C: Analiza osvetljenosti obstoječega stanja in ukrepov (21. 3., 12:00).....	C1
PRILOGA D: Analiza osvetljenosti obstoječega stanja in ukrepov (21. 6., 12:00).....	D1
PRILOGA E: Analiza osvetljenosti obstoječega stanja in ukrepov (21. 12., 12:00).....	E1

PRILOGA A: Rezultati ročnih meritev

Učilnica 33: povprečje 165 lux

<i>lux</i>	1.kolona	2. k.	3. k.	4. k.	5. k.	6. k.	7. k.
1.vrsta	26	597	729	1000	748	714	959
2. v.	85	375	547	582	573	576	569
3. v.	103	242	380	458	462	431	378
4. v.	101	177	268	306	321	312	283
5. v.	87	118	177	214	228	229	204
6. v.	60	76	90	102	108	113	110
7. v.	51	50	58	59	69	64	67
8. v.	44	38	45	41	47	46	41
9. v.	36	29	33	34	32	34	29
10. v.	28	24	26	29	24	27	23
11. v.	28	20	22	21	19	23	20
Datum meritev:		15. 9. 2013–18. 9. 2013					
Povprečje meritev:		165 lux					

Učilnica 34: povprečje 152 lux

<i>lux</i>	1.kolona	2. k.	3. k.	4. k.	5. k.	6. k.	7. k.	8. k.	9. k.
1.vrsta	788	743	263	659	667	543	420	694	42
2. v.	512	547	452	432	440	401	536	495	164
3. v.	352	386	370	331	309	312	340	350	190
4. v.	231	250	266	232	236	244	225	220	173
5. v.	171	178	197	176	172	170	158	164	138
6. v.	97	93	105	108	97	94	94	95	90
7. v.	68	65	68	67	64	64	63	59	67
8. v.	44	48	49	48	46	51	50	48	51
9. v.	33	40	37	38	38	39	39	38	41
10. v.	33	37	37	30	28	27	29	29	33
11. v.				17	8	8	24	23	22
Datum meritev:		15. 9. 2013–28. 9. 2013							
Povprečje meritev:		152 lux							

Zbornica: povprečje 118 lux

lux	1.kolona	2. k.	3. k.	4. k.	5. k.	6. k.	7. k.
1. vrsta	526	684	578	207	516	655	20
2. v.	388	442	363	316	409	379	101
3. v.	269	280	255	269	271	235	157
4. v.	190	200	185	177	180	168	131
5. v.	131	155	140	147	150	144	112
6. v.	76	88	81	81	72	74	64
7. v.	48	51	52	48	48	48	44
8. v.	31	30	30	31	32	37	37
9. v.	20	25	21	25	25	28	29
10. v.	17	20	20	19	21	22	21
11. v.	16	17	17	16	16	14	17
Datum meritev:		28. 9. 2013–30. 9. 2013					
Povprečje meritev:		118 lux					

Učilnica 301: povprečje 129 lux

lux	1.kolona	2. k.	3. k.	4. k.	5. k.	6. k.
1.vrsta	11	651	394	462	767	0
2. v.	21	435	509	555	572	0
3. v.	50	251	401	477	368	0
4. v.	80	197	321	360	271	58
5. v.	86	160	253	271	218	92
6. v.	72	105	151	152	123	82
7. v.	54	71	101	104	84	67
8. v.	41	46	61	68	53	52
9. v.	33	35	45	44	41	38
10. v.	28	30	35	36	33	28
11. v.	25	29	33	32	31	26
Datum meritev:		11. 9. 2013–29. 9. 2013				
Povprečje meritev:		129 lux				

Učilnica 303: povprečje 134 lux

lux	1.kolona	2. k.	3. k.	4. k.	5. k.	6. k.	7. k.	8. k.
1.vrsta	900	544	323	630	552	246	255	0
2. v.	555	464	396	403	370	307	232	0
3. v.	365	408	343	321	281	234	168	0
4. v.	286	286	259	239	231	186	141	10
5. v.	180	217	201	204	180	172	125	62
6. v.	122	123	122	132	121	116	81	55
7. v.	80	94	85	91	80	84	56	46
8. v.	50	51	54	61	57	61	43	37
9. v.	39	38	43	46	43	46	32	28
10. v.	31	30	34	33	31	37	26	26
11. v.	29	33	34	31	28	31	30	25
Datum meritev:		11. 9. 2013–29.9. 2013						
Povprečje meritev:		134 lux						

Učilnica 308: povprečje 138 lux

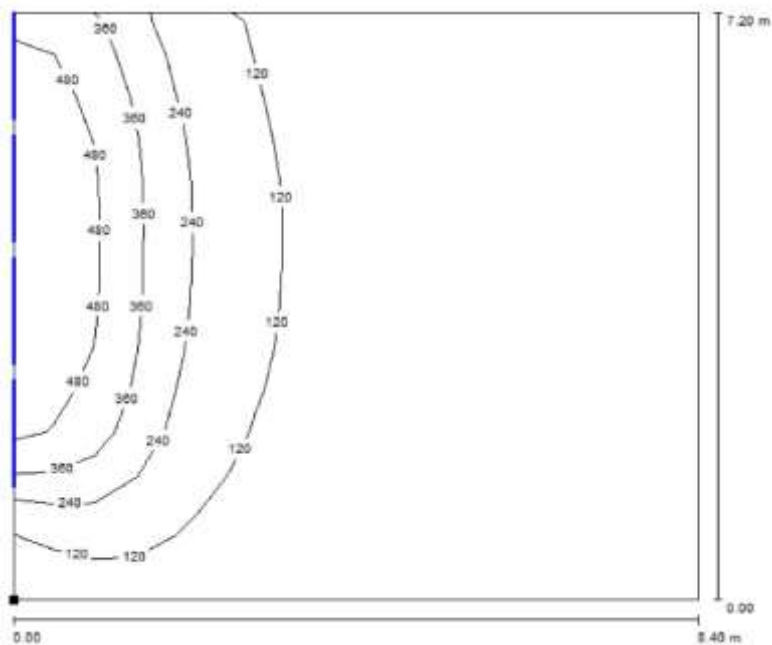
lux	1.kolona	2. k.	3. k.	4. k.	5. k.	6. k.	7. k.
1.vrsta	7	399	480	799	790	681	834
2. v.	25	244	388	442	496	491	572
3. v.	47	158	278	338	415	348	361
4. v.	53	128	218	263	309	256	247
5. v.	58	101	157	191	217	182	182
6. v.	39	64	81	101	111	105	108
7. v.	28	35	48	55	68	62	67
8. v.	21	25	33	36	44	39	42
9. v.	19	20	25	30	30	30	29
10. v.	16	20	21	24	23	22	21
11. v.	15	18	20	23	23	20	18
Datum meritev:		11. 9. 2013–28. 9. 2013					
Povprečje meritev:		138 lux					

Učilnica 310: povprečje 127 lux

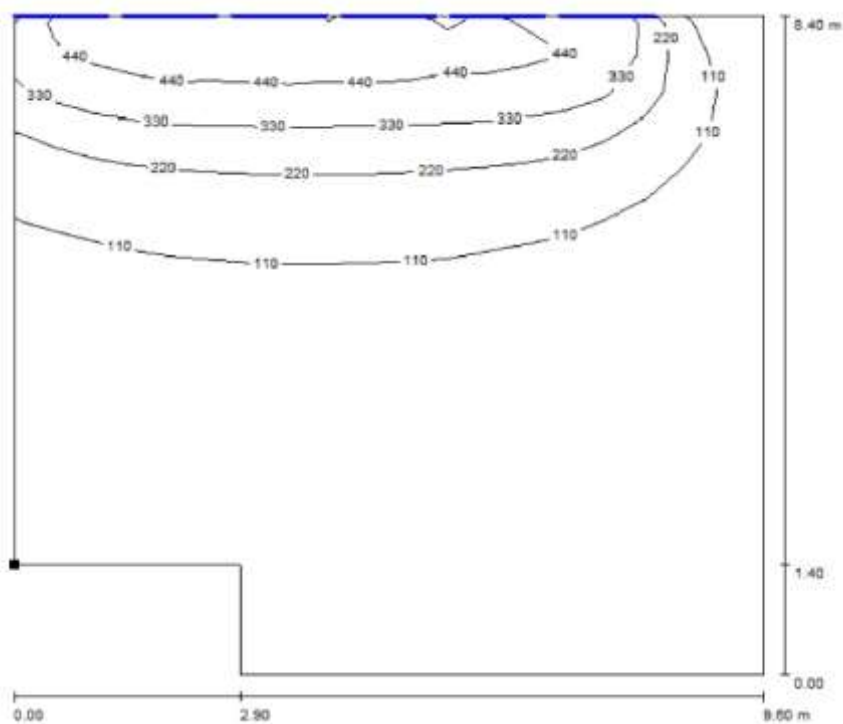
<i>lux</i>	1.kolona	2. k.	3. k.	4. k.	5. k.	6. k.	7. k.
1.vrsta	830	500	734	775	595	20	8
2. v.	446	445	529	436	432	231	21
3. v.	307	374	376	293	278	178	61
4. v.	220	270	269	248	218	153	81
5. v.	153	192	203	180	170	110	83
6. v.	78	90	105	90	103	87	65
7. v.	40	45	49	51	60	53	50
8. v.	28	29	31	31	37	40	35
9. v.	21	20	23	21	26	29	24
10. v.	17	17	19	19	20	24	18
11. v.	14	16	17	17	18	19	0
Datum meritev:		11. 9. 2013–29. 9. 2016					
Povprečje meritev:		127 lux					

PRILOGA B: Rezultati simulacije v DIALux (povprečne meritve osvetljenosti – izolinije)

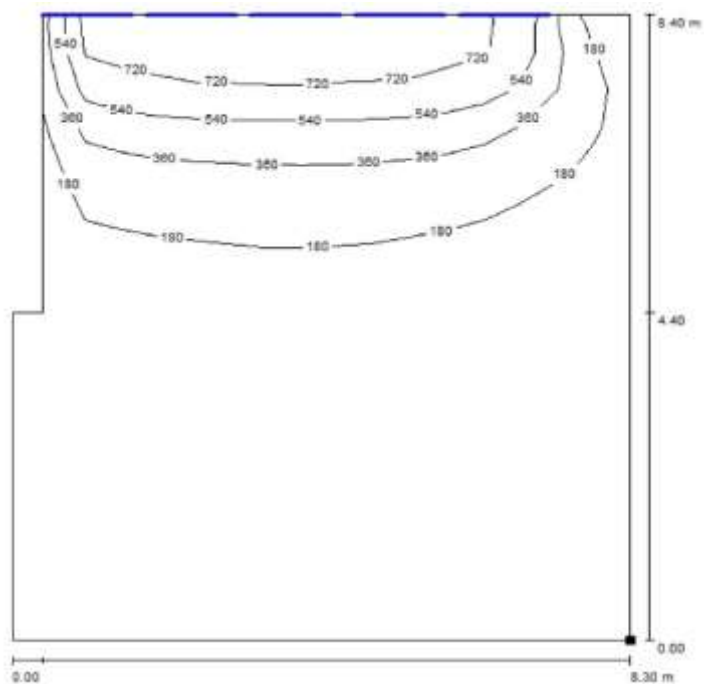
Učilnica 33: povprečje 132 lux



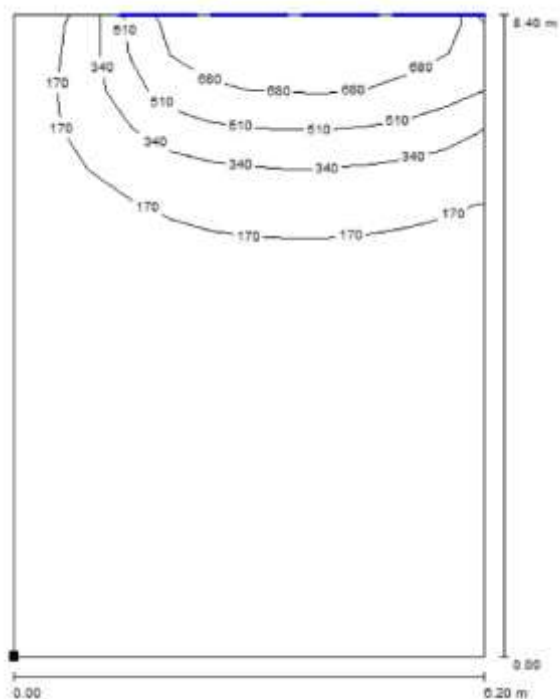
Učilnica 34: povprečje 122 lux



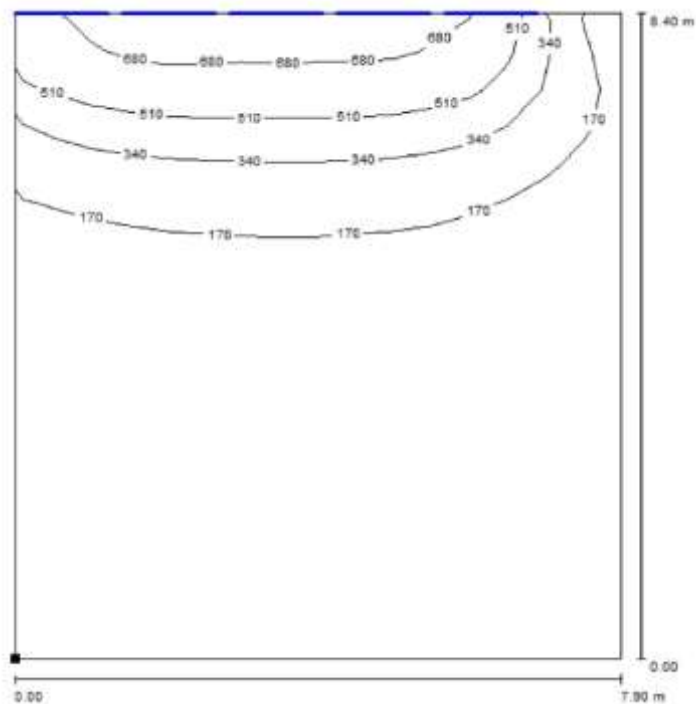
Zbornica: povprečje 187 lux



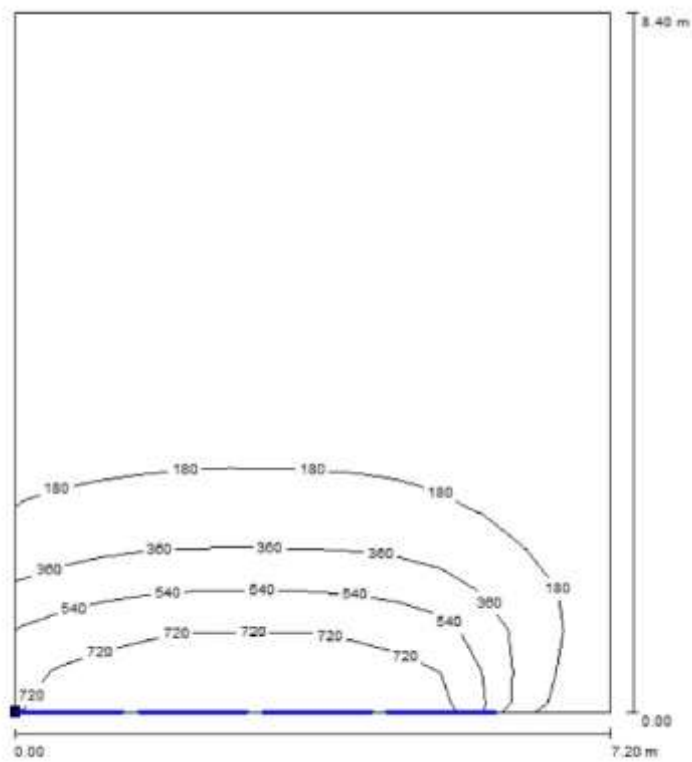
Učilnica 301: povprečje 123 lux



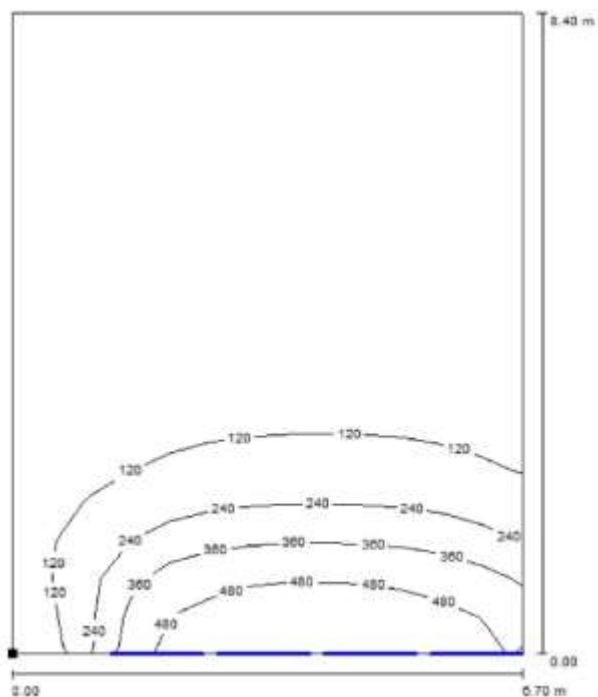
Učilnica 303: povprečje 131 lux



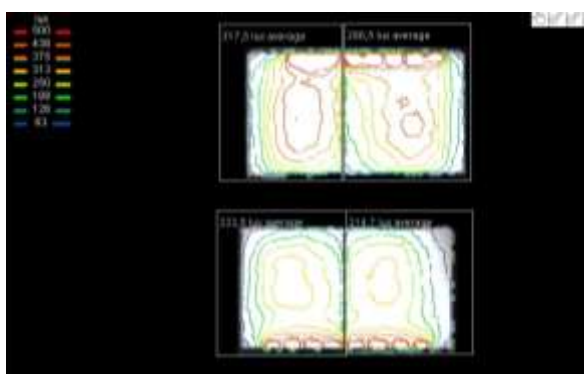
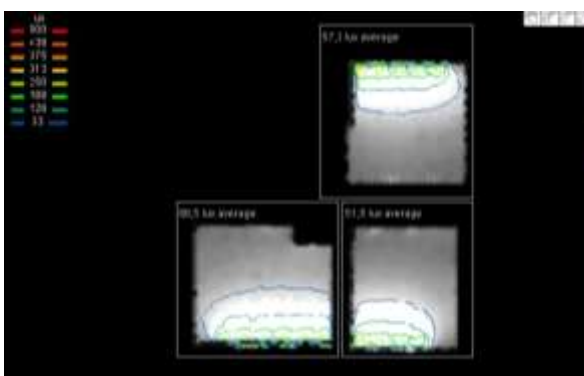
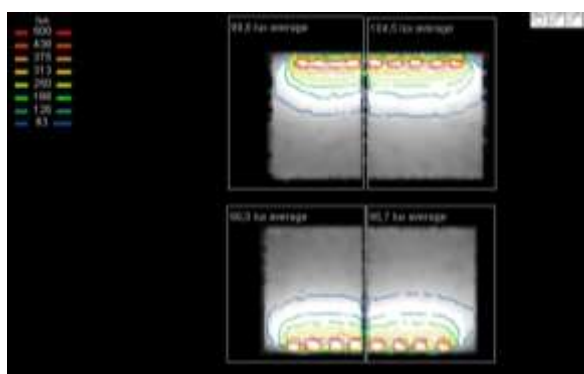
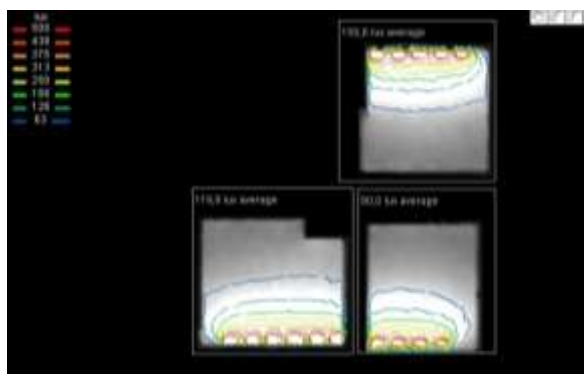
Učilnica 308: povprečje 147 lux

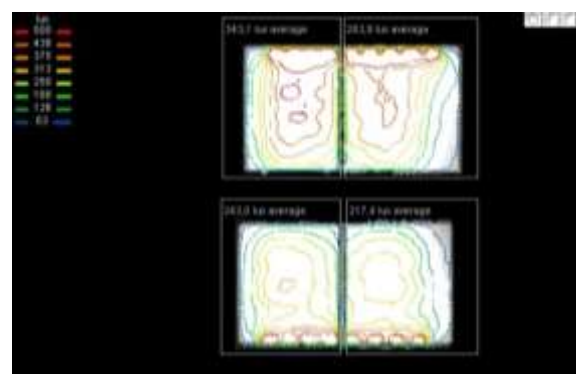
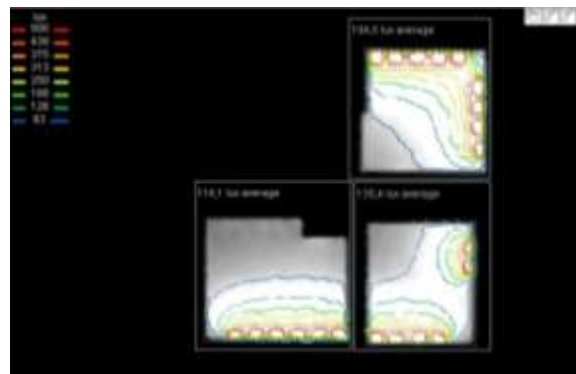
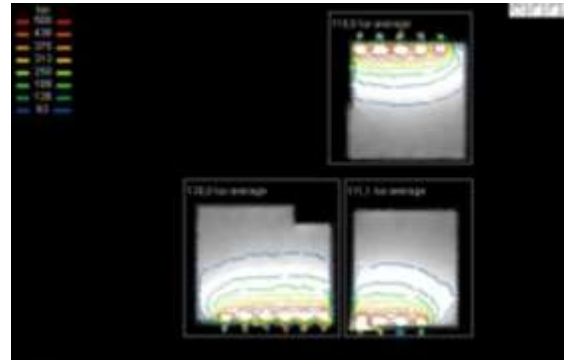
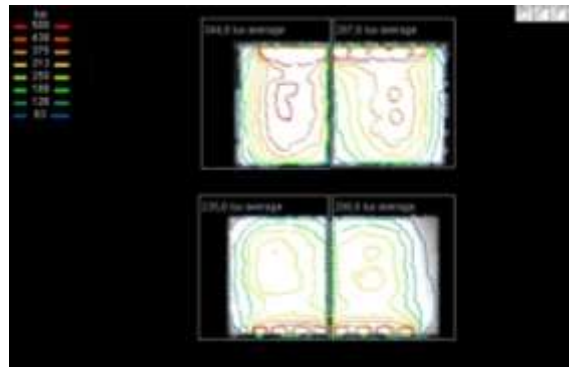


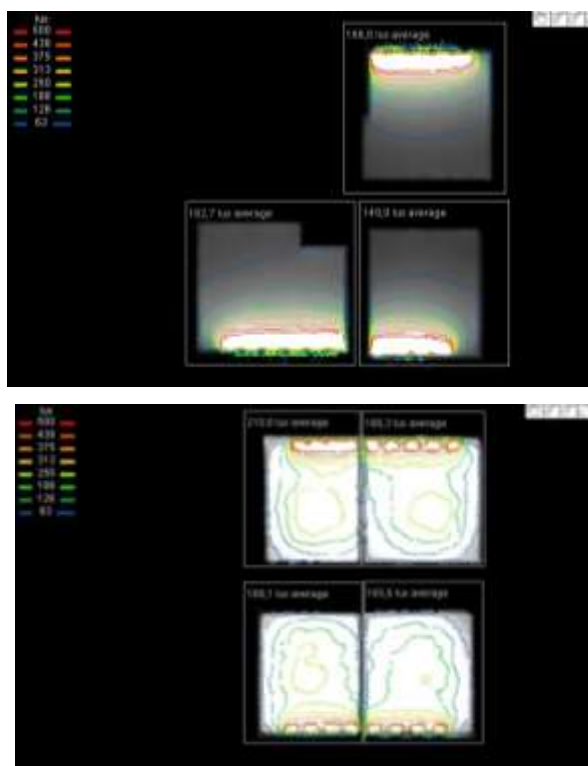
Učilnica 310: povprečje 112 lux



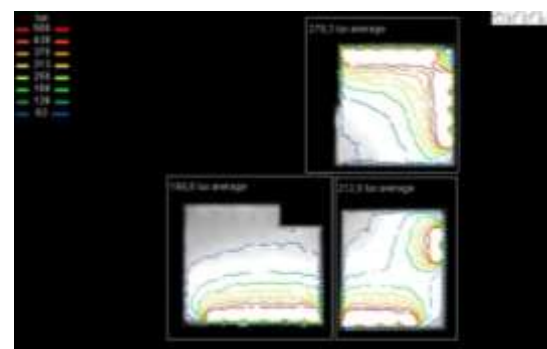
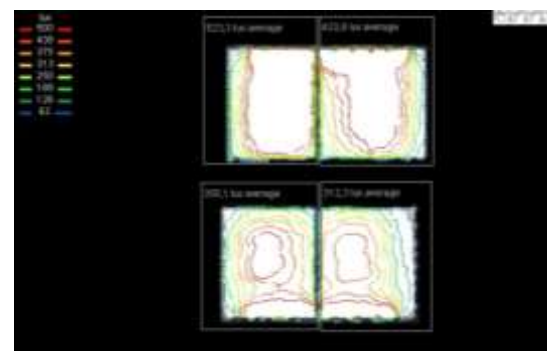
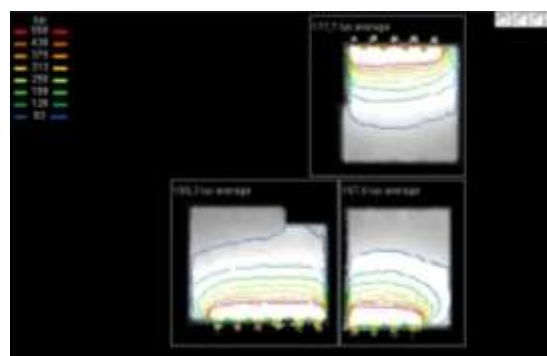
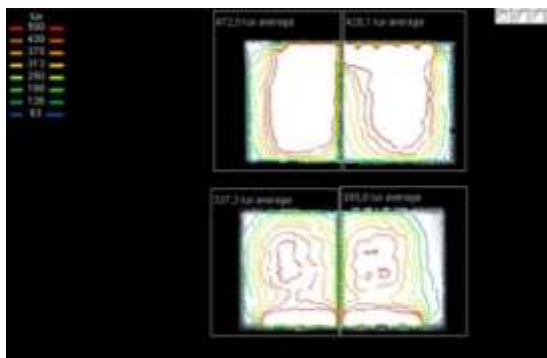
PRILOGA C: Analiza osvetljenosti obstoječega stanja in ukrepov (21. 3., 12:00)

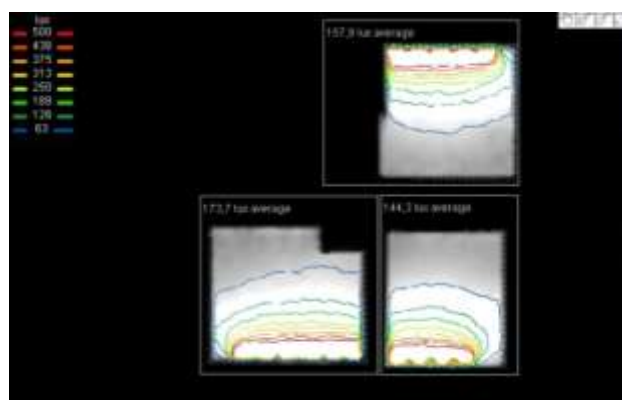
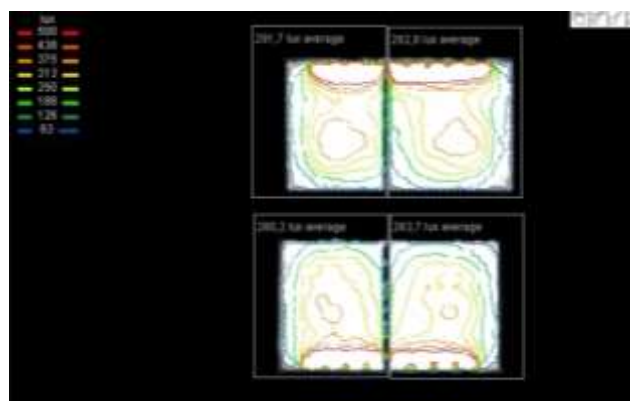
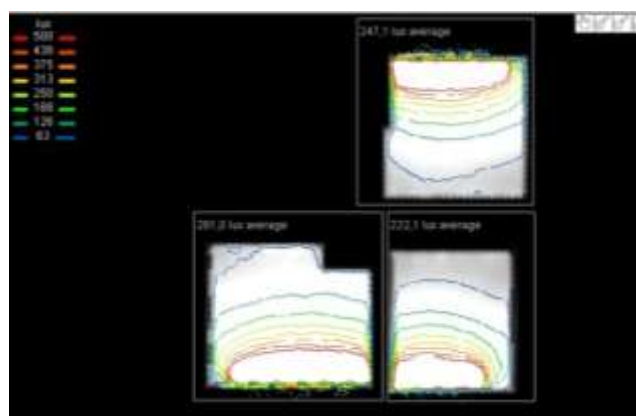
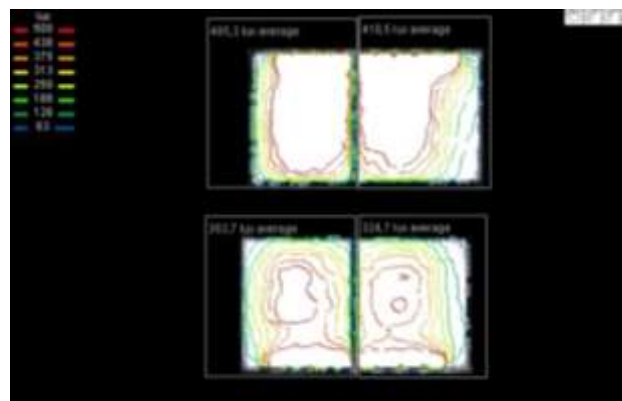


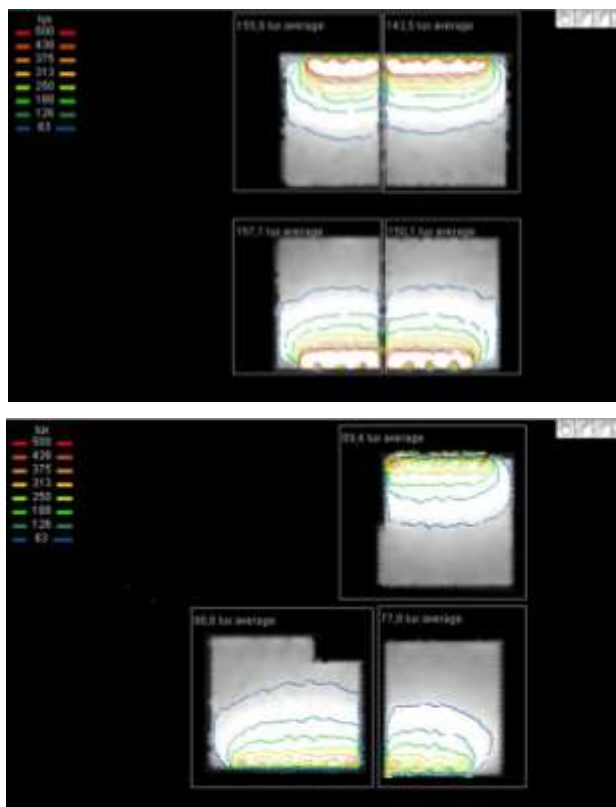




PRILOGA D: Analiza osvetljenosti obstoječega stanja in ukrepov (21. 6., 12:00)







PRILOGA E: Analiza osvetljenosti obstoječega stanja in ukrepov (21. 12., 12:00)

