

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:

Rus, N., 2015. Preveritev zasnove prizidku Plezalnega centra Ljubljana z vidika osončenosti in osvetljenosti. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M., somentorica Dovjak, M.): 37 str.

Datum arhiviranja: 20-07-2015

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:

Rus, N., 2015. Preveritev zasnove prizidku Plezalnega centra Ljubljana z vidika osončenosti in osvetljenosti. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M., co-supervisor Dovjak, M.): 37 p.

Archiving Date: 20-07-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVO

Kandidatka:

NEŽA RUS

**PREVERITEV ZASNOVE PRIZIDKU PLEZALNEGA
CENTRA LJUBLJANA Z VIDIKA OSONČENOSTI IN
OSVETLJENOSTI**

Diplomska naloga št.: 176/B-GR

**EXAMINATION OF THE DESIGN OF THE LJUBLJANA
CLIMBING CENTRE EXTENSION IN TERMS OF
INSOLATION AND ILLUMINATION**

Graduation thesis No.: 176/B-GR

Mentor:

doc. dr. Mitja Košir

Predsednik komisije:

doc. dr. Mitja Košir

Somentorica:

doc. dr. Mateja Dovjak

Ljubljana, 29. 05. 2015

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
-----------------------	-------------------------	----------------	---------------

IZJAVE

Spodaj podpisana, Neža Rus, izjavljam, da sem avtorica diplomskega dela z naslovom Preveritev zasnove prizidka z vidika osončenosti in osvetljenosti.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 14. 5. 2015.

Neža Rus

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK:	628.9.021:725.89(497.4)(043.2)
Avtorica:	Neža Rus
Mentor:	doc. dr. Mitja Košir
Somentorica:	doc. dr. Mateja Dovjak
Naslov:	Preveritev zasnove prizidka z vidika osončenosti in osvetljenosti
Tip dokumenta:	diplomska naloga-univerzitetni študij
Obseg in oprema:	37 str., 12 pregl., 18 sl.

Ključne besede: dnevna svetloba, osvetljenost, osončenost, psihofiziološki učinki, energija sončnega sevanja, senčenje

Izvleček:

V svoji diplomski nalogi sem preverila idejno zasnovo prizidka Plezalnega centra Ljubljana z vidika osončenosti in osvetljenosti. V prvem delu naloge sem v programu Autodesk Ecotect Analysis 2011 modelirala obravnavani objekt in izračunala osvetljenost prostora in osončenost izbranih površin. Izračunala sem tudi energijo sončnega sevanja, ki jo prejme objekt. Rezultate sem komentirala na podlagi priporočil standardov in določb v pravilnikih. V drugem delu naloge sem preučila še psihofiziološke vplive, ki jih ima svetloba na človeka. Za namembnost obravnavanega objekta so zanimive ugotovitve, da dobra osvetljenost ugodno vpliva tako na izvrševanje dolgotrajnih vizualnih nalog (plezanje) kot tudi na psihofiziološko učinkovitost telesa. V zadnjem delu naloge sem na podlagi ugotovitev in rezultatov zasnovala predlog konstrukcije, ki bi odpravil težave s čezmerno osvetljenostjo in osončenostjo. Prvotni model sem z ukrepi, kot sta zmanjšanje transmisivnosti zasteklitve in zmanjšanje površine zasteklitve, nekoliko spremenila in ponovno analizirala osončenost in osvetljenost v objektu. Predlagane ukrepe sem na podlagi rezultatov analiz komentirala in obrazložila tudi z vidika dobrega psihofizičnega počutja uporabnikov.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**UDK:** 628.9.021:725.89(497.4)(043.2)**Author:** Neža Rus**Supervisor:** Assist. Prof. Mitja Košir, PhD**Cosupervisor:** Assist. Prof. Mateja Dovjak, PhD**Title:** Examination of the Design of the Ljubljana Climbing Centre Extension in Terms of Insolation and Illumination**Document type:** Graduation Thesis – University studies**Scope and tools:** 37 p., 12 tab., 18 fig.**Keywords:** daylight, illumination, insolation, psychophysiological effects, energy of solar radiation, shading**Abstract:**

The thesis examines the conceptual design of the Ljubljana Climbing Centre extension in terms of insolation and illumination. In the first part of the thesis, I modelled the facility in Autodesk Ecotect Analysis 2011 and calculated its illumination as well as the insolation of selected surfaces. I also calculated the energy of solar radiation received by the facility. My comments on the results were based on the standards and provisions of the regulations. In the second part, I examined the psychophysiological effects of light on people. Certain findings were proven interesting for the purpose of the facility, such as the fact that good illumination has a beneficial effect on the execution of long-lasting visual tasks (climbing) and on the psychophysiological efficiency of the body. In the last part of the thesis, I designed a construction proposal based on my findings and results that would resolve the problems of excessive illumination and insolation. By reducing the transmissivity and the surface of the glazing, I slightly modified the original model and re-analysed the insolation and illumination in the facility. Based on the analysis, I commented on the suggested measures and explained them in terms of psychophysical well-being of users.

ZAHVALA

Za usmerjanje, pomoč, nasvete in komentarje pri nastajanju diplomske naloge se najlepše zahvaljujem mentorju doc. dr. Mitju Koširju in somentorici doc. dr. Mateji Dovjak. Zahvaljujem se tudi absolventki arhitekture, Katarini Kejžar, ki mi je posredovala svoje načrte prizidka Plezalnega centra Ljubljana in mi jih zaupala v obravnavo.

Hvala Veri za lektoriranje, Urši za prevod v angleščino ter knjižničarkam in referatu za prijazne nasvete.

Hvala tudi vsem domačim, prijateljem in sošolcem za spodbudo, potrpežljivost ter vesele in brezskrbne ure v času študija.

KAZALO VSEBINE

ZAHVALA	V
1 UVOD	1
2 NAMEN IN CILJI	3
3 TEORETIČNO OZADJE	4
3.1 Svetloba	4
3.2 Osvetljenost	4
3.3 Osončenost.....	4
4 METODA DELA	5
4.1 Predstavitev objekta.....	5
4.2 Predstavitev simulacijskega orodja in opis izvedbe simulacij.....	6
4.3 Preučevanje možnega psihofizičnega odziva uporabnika na dnevno svetlobo s pomočjo obstoječih študij	7
5 REZULTATI.....	9
5.1 Psihofiziološki vpliv svetlobe na človeka	9
5.2 Faktor dnevne svetlobe in osvetljenost, izračunana po celotni prostornini objekta	18
5.3 Količina energije sončnega sevanja, ki jo prejme prostor.....	23
5.4 Predstavitev možnih ukrepov za zmanjšanje osvetljenosti	26
6 ZAKLJUČEK.....	36
VIRI	38

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Vplivi svetlobe na človeka (nadgrajen vir [10]).....	10
Preglednica 2: Pregledane študije in vplivi, ki jih obravnavajo (Vir: [6], [7], [8], [23], [24], [25], [26])	12
Preglednica 3: Osvetljenost v ravnini xy na višini z=17 m (tik pod streho) [lx]	18
Preglednica 4: Primerjava osvetljenosti ravnine xy na višini z=0,8 m (standardna horizontalna delovna ravnina) izražene v lx in s KDS	19
Preglednica 5: Osvetljenost (v vertikalni ravnini); v ravnini xz pri y=17,5 m (zgoraj) in v ravnini yz pri x=24 m (spodaj) [lx]	20
Preglednica 6: Osvetljenost notranje fasade CČS [lx]	21
Preglednica 7: Osvetljenost notranje fasade PCL (zgoraj), osvetljenost plezalnih sten, ki potekajo po konstrukcijskih elementih vertikalne nosilne konstrukcije strehe prizidka PCL (spodaj).....	22
Preglednica 8: Povprečna dnevna prejeta količina energije sončnega sevanja izbranih površin med letom [Wh/m ²]	24
Preglednica 9: Vpliv transmisivnosti na osvetljenost in odstotek prejete energije sončnega sevanja	26
Preglednica 10: Količnik dnevne svetlobe v ravnini xy, na višini z=0,8 m [%].....	31
Preglednica 11: KDS v ravnini xz na razdalji y=17.5 m (zgoraj) ter v ravnini yz na razdalji x=24 m (spodaj) [%].....	32
Preglednica 12: Osvetljenost stene Centra četrtnih skupnosti [lx]	33

KAZALO SLIK

Slika 1: Prikaz situacije na ortofoto posnetku iz zraka, nadgrajeni vir Katarina Kejžar, idejni projekt.....	5
Slika 2: 3D-model celotnega kompleksa: levo Center četrtna skupnosti, v sredini lesen zastekljen prizidek PCL, desno obstoječi PCL.	6
Slika 3: Lesen zastekljen prizidek. Konstrukcija iz 4 simetričnih lesenih podpor in centralnega stebra, sosednja objekta sta odstranjena iz prikaza.	6
Slika 4: Graf, ki prikazuje rastoče raziskovanje področja nevizualnih učinkov svetlobe na človeka, članki objavljeni med leti 1997 in 2014 v bazi Science Direct [22]	10
Slika 5: Količina prejete sončne energije na strehi prizidka [Wh/m ²].....	23
Slika 6: Količina prejete sončne energije na tleh prizidka [Wh/m ²].....	24
Slika 7: Primerjava povprečne dnevne prejete energije sončnega sevanja na izbranih površinah med celim letom [Wh/m ²].....	24
Slika 8: Povprečni dnevni odstotek prejete energije v prostoru glede na prejeto energijo na strehi med celim letom [%].....	25
Slika 9: Simulacija senc za 21. 3. ob 12.00 (osončeni deli notranjosti stavbe so prikazani s svetlo sivo barvo).....	27
Slika 10: Simulacija senc za 21. 6. ob 12.00 (osončeni deli notranjosti stavbe so prikazani s svetlo sivo barvo).....	27
Slika 11: 3D-model celotnega kompleksa s senčili, pogled s severa.....	28
Slika 12: 3D-model prizidka s senčili, pogled z juga, sosednja objekta sta odstranjena iz pogleda.....	28
Slika 13: 3D-model prizidka s senčili, pogled na streho, sosednja objekta sta odstranjena iz pogleda.....	29
Slika 14: Simulacija senc 21. 3. ob 12.00, predlog rešitve, (osončeni deli notranjosti stavbe so prikazani s svetlo sivo barvo)	29
Slika 15: Simulacija senc 21. 6. ob 12.00, predlog rešitve, (osončeni deli notranjosti stavbe so prikazani s svetlo sivo barvo)	30
Slika 16: Primerjava odstotkov prejete energije sončnega sevanja izhodišča in predloga	34
Slika 17: Primerjava količine prejete energije sončnega sevanja na izbranih površinah v predlogu in izhodišču [Wh/m ²].....	34
Slika 18: Količina prejete sončne energije na tleh predloga prizidka [Wh/m ²].....	35

1 UVOD

Gradbeniška stroka se s svetlobo in osvetljenostjo objektov in prostorov doslej ni veliko ukvarjala. V zadnjem obdobju se kaže, da je prav svetloba za uporabnika ena izmed najpomembnejših komponent pri nakupu oz. načrtovanju objekta. [1] V Sloveniji in drugod je bilo v zvezi s tem izvedenih več socioloških raziskav (Grum, Temeljotov Salaj, 2010; Opoku, Muhmin 2010; Rahman et al. 2014). [2], [3], [4], [5] V raziskavi Grum in Temeljotov Salaj iz leta 2010 je več kot 80% anketirancev (N=1006) umestilo zadostno količino naravne svetlobe v sam vrh lestvice kriterijev za nakup stanovanja. Tako enotni niso bili pri nobenem drugem kriteriju. Izredno pomembnost so naravni svetlobi pripisali tudi z visoko oceno 3,68 na lestvici od 1 do 5. [2]

Pomembni vlogi svetlobe pritrjujejo tudi zadnje raziskave na področju bioloških, fizioloških in psiholoških vplivov svetlobe na človeka. [6], [7], [8]

Dobra osvetljenost ima pomembno funkcijo in vpliv na uspešnost in učinkovitost pri izvajanju vseh vrst vizualnih nalog. K temu pripomore fiziologija očesa in vizualnega sistema. Čez 90% informacij iz okolja namreč dobimo s pomočjo vida, ki tako predstavlja enega najpomembnejših aparatov človeškega zaznavnega sistema. [9]

Kot načrtovalci grajenega okolja lahko na osvetljenost in osončenost vplivamo predvsem z umestitvijo objekta v prostor, ustrezno orientacijo, optimalno razporeditvijo prostorov po tlorisu, oblikovanjem odprtin (velikost, vrsta zasteklitve), načrtovanjem senčil. Pri tem moramo upoštevati naklon zemljišča, gostoto naseljenosti, zazelenitev okolice ipd.

Pri odločitvah si pomagamo s podatki o prejetem sončnem sevanju na nekem območju. Ključno je, da razumemo in predvidimo navidezno pot Sonca glede na načrtovan objekt in pričakovano količino prejetega sončnega sevanja ter s tem povezanih parametrov (število ur osončenosti, količnik dnevne svetlobe, predvidimo, kaj bo senčeno in kaj ne). [1]

Z ustreznimi konstrukcijskimi rešitvami moramo zagotoviti zadostno količino in kakovost svetlobe v notranjih prostorih stavbe. S tem neposredno vplivamo na psihofiziološke potrebe človeka, njegovo boljše delovanje in počutje. To pomeni, da moramo za opravljanje določene aktivnosti zadovoljiti vse bistvene dejavnike za človekovo vizualno udobje in tudi vse dejavnike, ki imajo na človeka nevizualne učinke. Ti se kažejo v učinkovitosti in občutju varnosti (zaznavanje globine, prostora, oblik, teksture površin, občutek varnosti, ki ga imamo ob zadostni osvetljenosti). Bistveni vplivni parametri so: porazdelitev svetlosti, osvetljenost, usmerjenost svetlobe v notranjih prostorih, spremenljivost svetlobe (količina in barva

svetlobe), barvni videz in barva svetlobe, bleščanje, migotanje. [10] Preprečiti oz. uravnati moramo bleščanje in ustrezno senčiti preveč osvetljene in osončene dele. [11]

V Uredbi EU 305/2011 je zapisana Osnovna zahteva Pravilnika o gradnji objektov št. 3, Higiena zdravje, okolje, ki obravnava bistveno zahtevo po takšnem načrtovanju in gradnji objektov, da skozi celoten življenjski cikel ne bodo ogrožali higiene ali zdravja uporabnikov, je eden izmed temeljnih pravnih aktov, ki obravnavajo področje osvetljenosti. [12], [13] Svetloba v delovnem in bivalnem okolju stavb predstavlja velik in pomemben del zdravja in udobja. Na podlagi te zahteve se v Sloveniji pripravljajo zakonski in podzakonski akti, ki posredno in neposredno urejajo področje osončenosti in osvetljenosti za bivalno in delovno okolje. [11], [14]

Osvetljenost in osončenost morata biti preverjena in v projektni dokumentaciji določena po določenih Pravilnika o projektni dokumentaciji [12] in Pravilnika o učinkoviti rabi energije s tehnično smernico; PURES 2010 in TSG-1-004. [15]

Pri projektiranju si lahko pomagamo tudi s priporočili iz standardov o svetlobi in razsvetljavi. [11] V našem konkretnem primeru je merodajen standard SIST EN 12193 (Svetloba in razsvetljava-Razsvetljava športnih objektov pri tekmovanju in treningu za posamezne športe). Za dvorane športnega plezanja prve kategorije (mednarodna tekmovanja) je predlagana osvetljenost $E = 500 \text{ lx}$. [16]

Ideja za diplomsko nalogo je nastala med druženjem s soplezalci. Ugotovili smo, da bi v Plezalnem centru Ljubljana (v nadaljevanju PCL) potrebovali več prostora. Za potrebe diplomske naloge sem uporabila načrte absolventke arhitekture, ki se je lotila idejne zasnove prizidka, potem pa načrte posredovala meni. Zasnovo sem preverila s tehničnega vidika osončenosti in osvetljenosti objekta. Ta vidik je pomemben predvsem zaradi same namembnosti objekta. Kot je načrtovano, bo prizidek v celoti namenjen dvorani za športno plezanje. Ker je plezanje precej vizualen šport, je zelo pomembno, da so vse stene in vsi oprimki dovolj dobro osvetljeni, saj le tako lahko športnik doseže dober rezultat. Poleg tega ustrezna osvetljenost pomembno vpliva na psihofizično stanje ljudi. Če je dobro načrtovana, so tudi delovni oz. v našem primeru športni rezultati boljši. V dvorani plezalci povprečno preživijo do 3 ure, po dvakrat do trikrat tedensko. [17] Pomembno je, da v času, ki ga namenijo za sprostitev in rekreacijo, čim bolj izkoristijo naravno svetlobo, ki je sicer npr. v delovnem okolju ne dobijo dovolj.

2 NAMEN IN CILJI

V svoji diplomski nalogi bom z vidika osončenosti in osvetljenosti preverila zasnovo prizidka Plezalnega centra Ljubljana. Ugotovila bom, če se osvetljenost sklada s priporočili in standardi kot tudi, kakšen bo predvidoma psihofiziološki vpliv osvetljenosti na uporabnike, predvsem glede na čas izpostavljenosti.

Glede na namen diplomske naloge sem si zastavila cilje:

1. Preučiti psihofiziološki vpliv dnevne svetlobe na organizem s pomočjo obstoječih študij.
2. Izračunati količnik dnevne svetlobe in osvetljenost z dnevno svetlobo po celotni prostornini objekta in rezultate prikazati v kritičnih/merodajnih ravninah.
3. Izračunati prejeto količino energije sončnega sevanja v prostoru.
4. Podati predlog senčenja in ga ovrednotiti.

Predvidevam, da je načrtovan objekt premalo osenčen in bo potrebno razmisliti o ustreznem načinu senčenja. Osvetljenost bo predvidoma precej previsoka. Učinki svetlobe se bodo izkazali kot pozitivni tudi z vidika delovanja človeškega organizma in jih bo kot take smiselno aktivneje vključiti v načrtovanje objekta.

3 TEORETIČNO OZADJE

3.1 Svetloba

Vidni pas elektromagnetnega sevanja valovne dolžine od 380 nm do 780 nm naše oko zazna kot svetlobo. [18]

Vir naravne oz. dnevne svetlobe je Sonce. Ker sončno sevanje prehaja skozi atmosfero različno uspešno, lahko dnevno svetlobo razdelimo na komponente:

- Difuzno oz. nebesno svetlobo: najpogostejši vir naravne svetlobe v objektih, saj tja z neba prihaja, potem ko je bila difuzirana oz. sipana zaradi plinov, vodnih kapljic in drugih delcev v našem ozračju.
 - Direktno sončno sevanje ali sončna svetloba: o njej govorimo ob jasnem vremenu, prihaja neposredno od Sonca. Na severni polobli se pojavi na V, Z in J strani stavb.
 - Svetloba zgornjih dveh komponent, potem ko se je odbila od zemlje ali ostalih bližnjih naravnih ali umetnih ovir.
- [9], [11]

3.2 Osvetljenost

Svetlobni tok na enoto površine je osvetljenost. Odvisna je od gostote svetlobnega toka in vpadnega in odbojnega kota, pod katerim tok osvetljuje površino. Oznaka za osvetljenost je E, enota lux [lx]. [11]

1 lx je osvetljenost, ki ga povzroči svetlobni tok 1 lm (lumen) na površini 1 m². [18]

Osvetljenost lahko opišemo tudi s količnikom dnevne svetlobe. Količnik dnevne svetlobe je odstotni delež osvetljenosti v notranjem prostoru, glede na zunanji, neosenčen prostor. [11]

3.3 Osončenost

Osončenost je pravzaprav osvetljenost s sončno svetlobo oz. izpostavljenost Soncu. Lahko jo podamo z energijo sončnega sevanja ali s trajanjem Sončevega obsevanja. Čas, ko Sonce sije na površino, imenujemo tudi trajanje osončenosti. Enota za energijo sončnega sevanja je Wh/m² oz. J/m². [11], [19]

4 METODA DELA

4.1 Predstavitev objekta

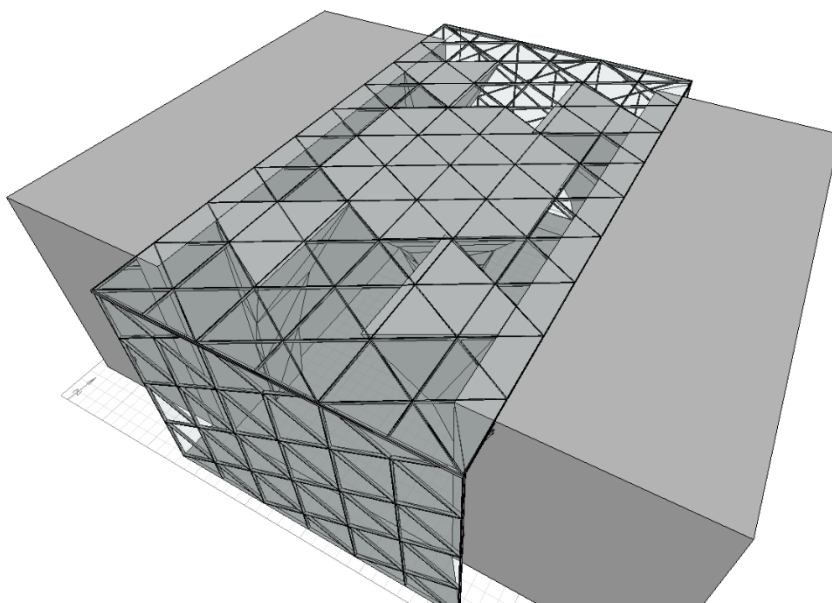
Obravnavani objekt je načrtovan poleg obstoječega armiranobetonskega (v nadaljevanju AB) objekta PCL v Štepanjskem naselju.



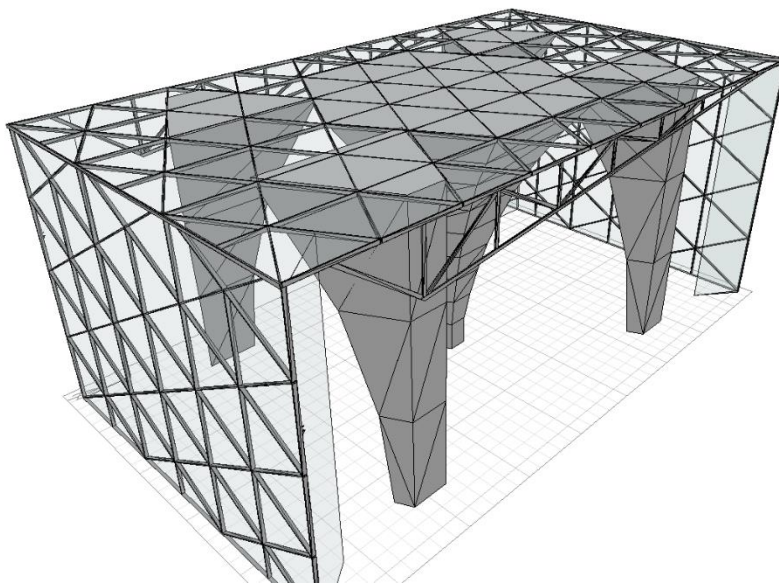
Slika 1: Prikaz situacije na ortofoto posnetku iz zraka, nadgrajeni vir Katarina Kejžar, idejni projekt

Prizidek PCL je načrtovan kot stekleni objekt, ki se naslanja na dva simetrična AB-objekta (eden od njiju je obstoječi PCL, drugi pa načrtovani Center četrtnе skupnosti (v nadaljevanju CČS, Slika 1)). Tako streha kot stranici naj bi bili stekleni, nosilna konstrukcija steklene kritine pa bi bili leseni palični nosilci, lesen centralni steber in 4 podpore. Streha bo enokapna z minimalnim naklonom. Načrtovani objekt je relativno velikih dimenzij (višina 17 m, dolžina 35 m, razdalja med AB-objektoma 20 m), celoten tloris je en sam prostor, ki ni podkleten. Za določanje osvetljenosti in osončenosti so pomembne predvsem geometrijske karakteristike objekta, zato se z materiali in nosilnostjo praktično nisem ukvarjala. Objekt sem modelirala v programu Autodesk Ecotect Analysis 2011.

Sliki 2 in 3 predstavljata uporabljeni simulacijski 3D-model objekta.



Slika 2: 3D-model celotnega kompleksa: levo Center četrtna skupnosti, v sredini lesen zastekljen prizidek PCL, desno obstoječi PCL.



Slika 3: Lesen zastekljen prizidek. Konstrukcija iz 4 simetričnih lesenih podpor in centralnega stebra, sosednja objekta sta odstranjena iz prikaza.

4.2 Predstavitev simulacijskega orodja in opis izvedbe simulacij

Za orodje svojih izračunov in simulacij sem izbrala program Autodesk Ecotect Analysis 2011 (v nadaljevanju Ecotect). Program je prosto dostopen na spletu. Kompatibilen je s številnimi drugimi programi za modeliranje (AutoCAD, Google SketchUp ...). Tako sem načrte, ki sem jih dobila od arhitektke, najprej nekoliko priredila in poenostavila s programom Google

SkechUp, nato pa model izvozila v Ecotect. V njem sem shemo konstrukcije še dopolnila in popravila za potrebe izračuna osvetljenosti in osončenosti. Pri tem sem bila pozorna predvsem na to, da sem ohranila geometrijo objekta. Po nekaj testnih analizah sem določila pomanjkljivosti programa in uporabljenega modela, prilagodila in izbrala nastavitve, ki bi kar najbolj merodajno prikazale realno stanje.

Objekt je relativno velikih dimenzij, zato simulacijska računska mreža ni pretirano gosta, a sem ocenila, da je vseeno dovolj natančna. Vsaka celica računske simulacijske mreže je velika 0.66 m v smeri x, 0.88 m v smeri y in 0.73 m v smeri z.

V prvem delu analiz sem izračunala osvetljenost z dnevno svetlobo in količnik dnevne svetlobe (v nadaljevanju KDS) po celotni prostornini objekta. Projektno osvetljenost neba program sam določi s pomočjo formule Tregenza. Analizo sem izvajala za primer standardnega oblačnega neba in povprečno čiste okenske/steklene površine. Zahtevala sem rezultate srednje natančnosti, ki se izračunajo na podlagi natančnejšega izračuna, upoštevajoč transmisivnost zasteklitev ter dejanski in ne standardni odboj. Rezultati so prikazani z obarvano računsko mrežo v treh ortogonalnih ravninah xy, xz in yz. V večini primerov sem jih prikazala po osvetljenosti in ne KDS. V SIST EN 12193 [16] je namreč priporočilo za osvetljenost in ne za KDS.

V drugem delu sem računala osončenost s prejeto količino energije sončnega sevanja na izbrani ploskvi. Izbrala sem si površino strehe, tal in obeh notranjih fasadah sosednjih objektov. Izračunala sem prejeto količino energije sončnega sevanja glede na povprečno dnevno izpostavljenost soncu čez vse leto. Podatke sem dobila iz t. i. vremenske datoteke za Ljubljano, podatkov o lokaciji (koordinate), orientaciji (azimut) in legi (nadmorska višina) objekta ter sončeve poti, ki jo le-ta opravi čez objekt. Te podatke sem pridobila od arhitekta in iz projektne dokumentacije za obstoječi objekt PCL. Pri izračunih sem upoštevala tudi odboj svetlobe, ki ga prispevajo tla. Geometrijski vidik osvetljenosti oz. senčenja sem pridobila s simulacijo senc za merodajne dni (21. 3. in 21. 6.)

4.3 Preučevanje možnega psihofizičnega odziva uporabnika na dnevno svetlobo s pomočjo obstoječih študij

Preučevanja psihofizičnih odzivov na dnevno svetlobo sem se lotila s pomočjo baze Science Direct. Ključne besede so bile: »light and health, light and well being, daylight and alertness ipd.« Članke sem iskala v angleškem jeziku. Na podlagi pregleda izvlečkov sem izbrala članke, ki so se mi zdeli najustreznejši za snov, ki jo obravnavam. Poskušala sem najti čim novejša članke in zajeti čim več različnih avtorjev. V nadaljnjo analizo sem vključila

raziskave, objavljene med leti 2012 in 2014. V člankih sem se osredotočila na metodologijo preiskovanja učinkov in glavne rezultate. Te sem klasificirala glede na učinke, ki jih dnevna svetloba povzroča na organizem.

5 REZULTATI

5.1 Psihofiziološki vpliv svetlobe na človeka

Naravna svetloba ima na človeški organizem številne pozitivne vplive. Pozitivno deluje tako na fiziološko kot psihološko stanje organizma. Po fotoreceptorskih celicah v očesu (čepki, paličice, ganglijske celice) dobivamo v možgane signale, ki potem usmerjajo naše delovanje. Svetlobni impulz aktivira fotoreceptorske celice v očesu in sproži vizualni in nevizualni učinek (cirkadiani ritem, počutje). Za sprožanje vizualnih učinkov so pomembni parametri intenziteta svetlobe, kontrasti, barve, spektralna distribucija, razporeditev svetlobe po prostoru in trajanje osvetljenosti. Sprožanje nevizualnih učinkov pa povzročijo intenziteta, spektralna distribucija, čas in trajanje izpostavljenosti. [9], [10]

Parametri za vizualne učinke morajo biti zagotovljeni med gledanjem. Za nevizualne učinke pa parametri niso odvisni od časa gledanja, temveč jih moramo zagotavljati med budnostjo in spanjem.

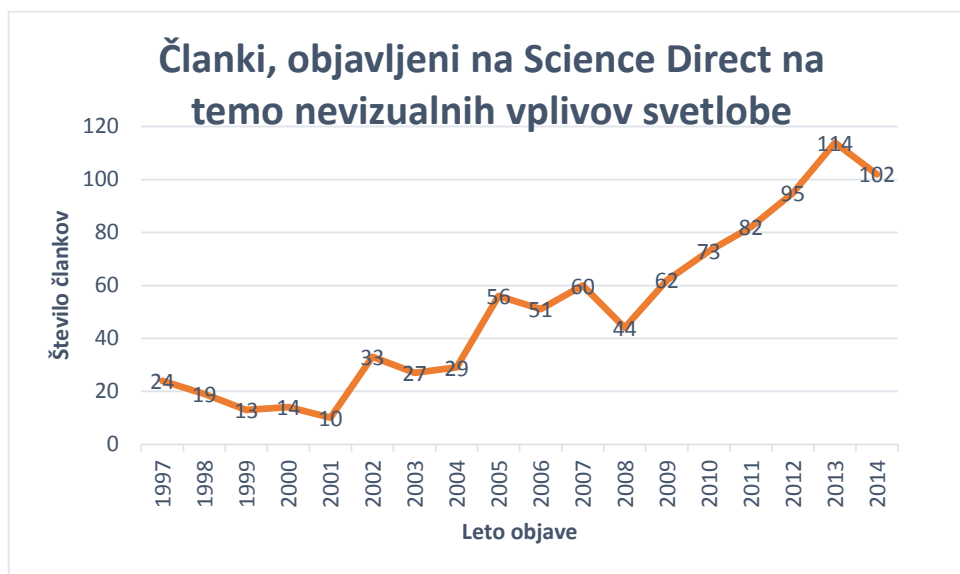
Svetloba nam omogoča zaznavanje barv. Po njej dobimo občutek udobja in lažje zaznamo dinamiko gibanja. Vse to vpliva na čustveni in psihološki nivo človekovega delovanja, njegovo razpoloženje, produktivnost in zdravje. Tako lahko zaključimo, da so vizualni in nevizualni učinki medsebojno odvisni.

Naravna svetloba po posebnih fotosenzornih ganglijskih celicah uravnava človekov cirkadian, tj. biološko uro. Od prejete svetlobe je odvisno, kdaj in koliko časa bo naše telo izločalo hormone, kot so melatonin (spalni hormon), kortizol (hormon stresa) in serotonin (hormon sreče). Ti določajo raven energičnosti, budnosti, aktivnosti oz. stopnjo mirovanja, pasivnosti našega telesa. Tako vplivajo na naše obnašanje in počutje. [10]

Svetloba se lahko torej neposredno uporabi za aktiviranje človeškega telesa, zmanjšanje občutka zaspanosti čez dan, povečanje ostrine vida, vse to pa vodi k večji produktivnosti, boljšim delovnim oz. v našem primeru športnim rezultatom. [9] Pomemben doprinos k zdravju dnevna svetloba prispeva tudi s tem, ko pomaga pri nastajanju vitamina D v telesu. [10]

Ker je namen diplomske naloge tudi raziskati vpliv svetlobe na psihofizično stanje uporabnikov, sem v spletni bazi Scince Direct poiskala in pregledala članke na to tematiko. Področje vizualnih učinkov dnevne svetlobe na organizem je dobro preučevano. Prve študije se pojavijo že v prvi polovici 20. stoletja, iz leta 1950 je na to temo v bazi Science Direct moč najti 156 člankov. [20] Področje nevizualnih učinkov je slabše preučevano, saj gre za

predmet raziskav šele od leta 2002, ko je David Berson, Brown University, odkril 3. vrsto ganglijskih celic. [10], [21]



Slika 4: Graf, ki prikazuje rastoče raziskovanje področja nevizualnih učinkov svetlobe na človeka, članki objavljeni med leti 1997 in 2014 v bazi Science Direct [22]

Na osnovi pregleda literature sem povzela vplive dnevne svetlobe na organizem in definirala preučevane parametre.

Preglednica 1: Vplivi svetlobe na človeka (nadgrajen vir [10])

VPLIVI SVETLOBE NA ČLOVEKA			
Vizualni	Psihološki, čustveni	Cirkadiani	Necirkadiani
<ul style="list-style-type: none"> Zaznavanje barv, teksture, globine Bleščanje, kontrasti Osvetljenost površine, senca Dojemanje časa Opravljena naloga, idr. 	<ul style="list-style-type: none"> Razpoloženje Produktivnost, zadovoljstvo z delom Obnašanje Natančnost Kreativnost Ostalo 	<ul style="list-style-type: none"> Hormonsko ravnoesje (melatonin, serotonin, kortizol ...), koncentracija nevrotransmitorjev Budnost, energičnost Temperatura jedra telesa Krvni tlak, idr. 	<ul style="list-style-type: none"> Odsotnost od dela Varnost pri delu Spodbujeno simpatično živčevje Zdravstveni zapleti (zobni karies ...) Vitamin D Ostalo

Zaradi uskladitve cirkadiana z dnem je dobro, da izpostavljenost dnevni svetlobi predvsem zjutraj traja dlje, od nekaj 10 minut, do 1 do 2 uri. Čez dan priporočenih dnevnih odmerkov še ni, le za potrebe sinteze vitamina D se priporoča 15 minut do 3 ure na dan, med 10. in 14. uro, 3–4-krat na teden. [10]

Vse te vplive sem s pomočjo člankov podrobneje raziskala in poskušala izpostaviti predvsem tiste, ki bi se lahko v večji meri nanašali na obravnavani objekt in dejavnost v njem. Rezultati v naslednji preglednici so obarvani glede na vpliv, ki ga zajemajo: modra–vizualni učinki, rumena–psihološki, čustveni učinki, rdeča–cirkadiani vpliv in zelena–necirkadiani vpliv.

Poudarjene (odebeljene) točke so posebej zanimive v kontekstu športnega udejstvovanja v obravnavani dvorani. Ker tja glavnina obiskovalcev pride popoldne, v okviru rekreacije/sprostitve po napornem dnevu, sem se osredotočila na študije, ki preučujejo vpliv dnevne svetlobe na mentalno utrujenost, trajanje osvetljenosti in delovne/športne rezultate, ki sledijo.

Preglednica 2: Pregledane študije in vplivi, ki jih obravnavajo (Viri: [6], [7], [8], [23], [24], [25], [26])

AVTOR, LETO	ŠTUDIJA	METODA	REZULTATI
Sahin et al. (2014)	Daytime light exposure: Effects on biomarkers, measures of alertness and performance	Študija na 13 prostovoljcih, ki so jih obsevali z različnimi vrstami svetlobe (modra, rdeča ...) in jih preverjali pri hitrostnih nalogah izbirnega tipa z računalnikom, in računalniških nalogah, ki so preverjale opazovanje, sledenje in iskanje.	<ul style="list-style-type: none"> Rdeča svetloba poveča učinkovitost reševanja nalog podnevi in ponoči. Rdeča svetloba krepi natančnost, modra kreativnost. Ob rdeči svetlobi se telo pripravi na nevarnost.
Koshiha et al. (2014)	Susceptible period of socio-emotional development affected by constant exposure to daylight	Opazovali so 24 opic (marmozetov) v 3 skupinah z različnimi odmerki izpostavljenosti svetlobi (24 ur/dan, 0 ur/dan, 12 ur/dan), ki so bile izolirane od ostalih. S sociološkimi testi, srečanji z ostalimi opicami ugotavljajo vplive svetlobe na obnašanje.	<ul style="list-style-type: none"> Opice, stalno izpostavljene svetlobi, so bolj budne, že zelo zgodaj so nagnjene k vedenjskim motnjam, hiperaktivnosti, uporništvu, avtizmu. Obe nenormalni osvetlitvi povzročata nespečnost, depresijo, slabo mentalno razvitost, agresijo, maničnost, hormonsko neravnovesje (kortikosteroidov, ki zavirajo izločanje urina). Manj pokončne drže, manj komunikacije (verbalne in neverbalne) z ostalimi opicami pri subjektih z nenormalno osvetlitvijo.

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 2

<p>Bellia et al. (2013)</p>	<p>Lighting in educational environments: An example of complete analysis of effects of daylight and electric light on occupants</p>	<p>Meritve CCT, SPD, svetilnosti in osvetljenosti v predavalnici, na površini mize ob različnih pozicijah, pri različnih vremenskih pogojih. Primerjava z vrednostmi osvetljenosti, ki so potrebne in privzete za sprostitev določene količine hormonov (melatonina).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pri odprtem oknu na sončen dan v jutranjih urah pride svetloba kratkih valovnih dolžin (dopoldne jo zaznavamo kot »hladno«, popoldne kot vedno bolj »toplo«). Pri zaprtem oknu ali na oblačen dan ni takih razlik. • Predvidene vrednosti melatonina na oblačen dan so višje od tistih, predvidenih za sončen dan.
<p>Cohen et al. (2012)</p>	<p>Ambient illuminance, retinal dopamine release and refractive development in chicks</p>	<p>Opazovali so 166 piščancev v več skupinah, 12 ur pod različno osvetljenostjo (50, 500 in 10000 lx), pri polovici so preverjali razvoj očesa, pri drugi polovici pa sproščanje dopamina.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Pri nizki in srednji osvetljenosti po 1 do 2 urah še ni razlike v sproščanjem dopamina. • Po 6 do 7 urah je pri vseh treh osvetljenostih zaznati velike razlike pri sproščanju dopamina. • Skupina, ki je bila stalno izpostavljena svetlobi, je utrpela trajne poškodbe na očesu, razvoj se ustavi in posledično nastopi kratkovidnost. • Skupina, osvetljena 5 ur na dan, je najmanj kratkovidna.

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 2

Crowley, Eastman. (2014)	Phase advancing human circadian rhythms with morning bright light, afternoon melatonin, and gradually shifted sleep: can we reduce morning bright – light duration?	50 mladim prostovoljcem so najprej 14 dni z natančnim urnikom spanja uravnavali ritem, potem so eno leto z različnimi večernimi odmerki melatonina in jutranjimi odmerki svetlobe s testom sline in aktigrafa preverjali rezultate.	<ul style="list-style-type: none"> • Manjše neujemanje cirkadiana in urnika spanja vodi v motnje spanja, kronično zaspanost, znižano sposobnost zaznavanja podnevi, težave s prebavo. • Večje neujemanje cirkadiana in urnika spanja povzroča težave s presnovo, tveganja za bolezni srca in ožilja ter sladkorno bolezen tipa 2. • Stalno večje neujemanje cirkadiana in urnika spanja → tveganje za raka.
--------------------------------	---	---	--

se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 2

Smolders et al. (2012)	A higher illuminance induces alertness even during office hours: Findings on subjective measures, task performance and heart rate measures	32 študentov so 1 uro za izpostavili jutranji/večerni osvetljenosti z 200 oz. 1000 lx. Potem so izpolnjevali vizualne teste in merili srčni utrip.	<ul style="list-style-type: none"> • Pri višji osvetljenosti manj zaspanosti, energičnost, živahnost, sreča. • Trajanje spanca je neodvisno od intenzitete svetlobe čez dan. • Budnost traja dlje pri tistih, ki so bili svetlobi izpostavljeni zvečer. • Večja uspešnost pri testih je pri večji svetlobi (na začetku bolj površni, pri daljših nalogah pa bolj uspešni). • Pri večji svetlobi pospešen srčni utrip. • Prijetnejša je nižja osvetljenost. • Uporabniki so obe osvetljenosti označili kot enako primerni za delo.
Smolders, de Kort. (2014)	Bright light and mental fatigue: Effects on alertness, vitality, performance and physiological arousal	28 študentov so izpostavili 106 odmerkom osvetljenosti s 1000 oz. 200 lx. Rezultate so preverjali po samoocenjevalnih testih in izpolnjevanju nalog, ena skupina je bila pred osvetljevanjem mentalno utrujena, druga ne.	<ul style="list-style-type: none"> • Višja osvetlitev → manj zaspanosti. • Večja razlika pred in po osvetljevanjem in po njem pri utrujenih subjektih kot pri spočitih (ne glede na odmerek svetlobe). • Dolgotrajne naloge → reakcijski čas pri manjši svetlobi se povečuje, pri večji ostane enak.

se nadaljuje...

... nadaljevanje Preglednice 2

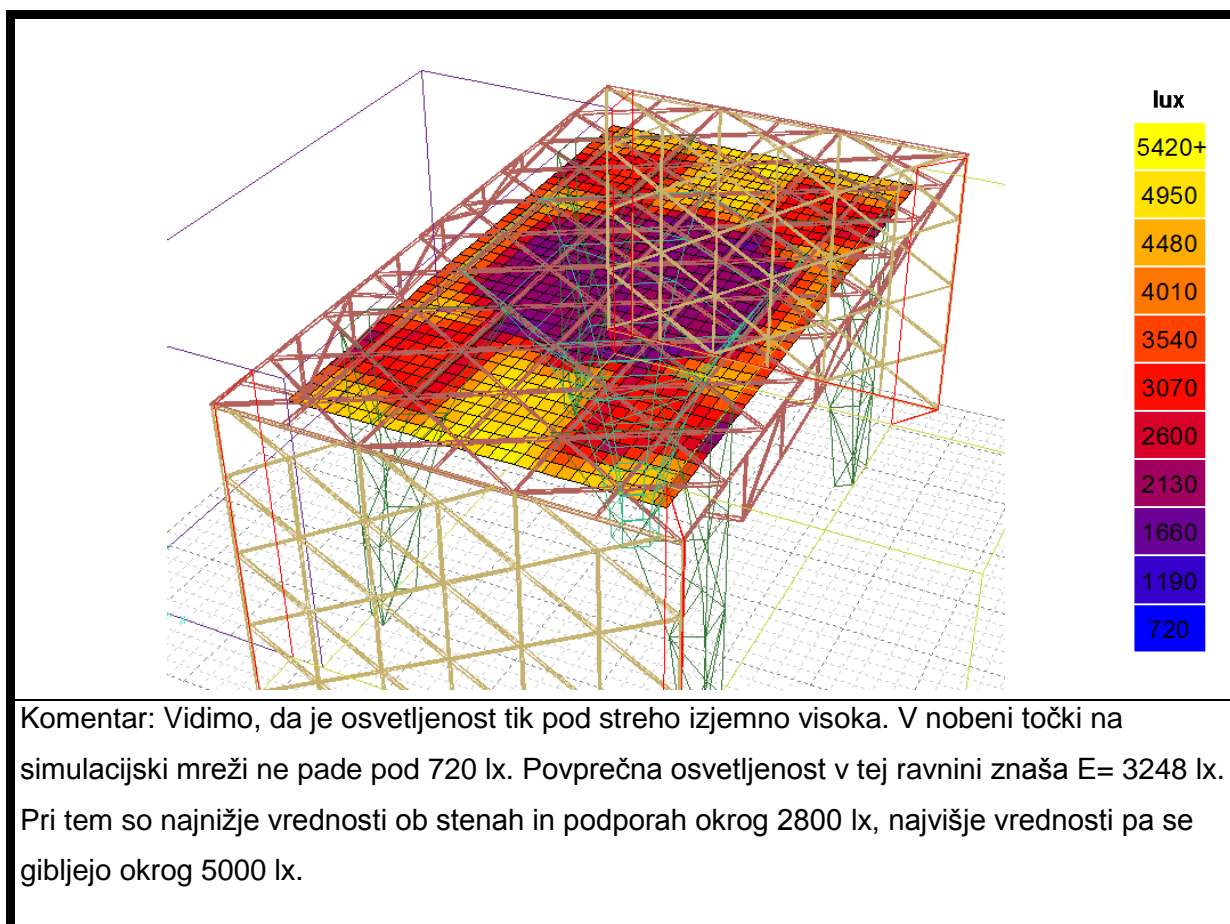
			<ul style="list-style-type: none">• Višja osvetlitev → manj zaspanosti• Nižja osvetljenost → daljši reakcijski čas• Utrujeni testiranci so bolje reševali naloge pri večji svetlobi, spočiti pa pri manjši.• V začetni fazi so naloge bolje opravljali tisti z nižjo osvetljenostjo. Proti koncu naloge je koncentracija teh popuščala, bolj osvetljeni pa so ohranjali nivo pravih odgovorov.• Višja osvetljenost → pospešen srčni utrip, več potenja• Višjo osvetljenost dojemali kot bolj spodbudno za akcijo, manjšo pa kot prijetnejšo.• Utrujeni potrebujejo in si želijo več svetlobe.• Testiranci verjamejo, da višja osvetljenost bolj aktivno vpliva na počutje kot nižja.• Kratkotrajne naloge → krajši reakcijski čas pri manjši svetlobi
--	--	--	--

V Preglednici 2 sem prikazala pregledane študije, ki dokazujejo vplive dnevne svetlobe na organizem. Pregledala sem 7 študij, od tega je glavna študij preučevala več učinkov hkrati. Nekatere učinke je precej težko ločiti med seboj, saj so vsa preiskovana področja in vplivi medsebojno zelo prepletena in povezana. Vse študije dokazujejo pozitiven vpliv dnevne svetlobe. Glede na namembnost objekta se mi je zdela zanimiva ugotovitev, da je učinek svetlobe različen glede na psihofizično stanje (stopnja utrujenosti, spočitosti telesa), v katerem pride človek na svetlobo in glede na vrsto oz. trajanje naloge, ki jo opravlja pod to svetlobo [7]. Smolders et al. leta 2014 s študijo »*Bright light and mental fatigue: Effects on alertness, vitality, performance and physiological arousal*« na populaciji študentov z Nizozemske (N=28) dokaže, da se je za kratkotrajne naloge izkazala boljše nižja raven osvetljenosti, za dolgotrajne pa višja raven osvetljenosti. Z vidika športnorekreacijskih objektov je ta ugotovitev pomembna, saj lahko športnik za neko aktivnost v času treninga porabi zelo veliko časa (čas izpostavljenosti je daljši). V primeru kratkotrajne aktivnosti bi lahko zagotovili nižjo raven osvetljenosti. Pri samem projektiranju bi bilo to koristno upoštevati.

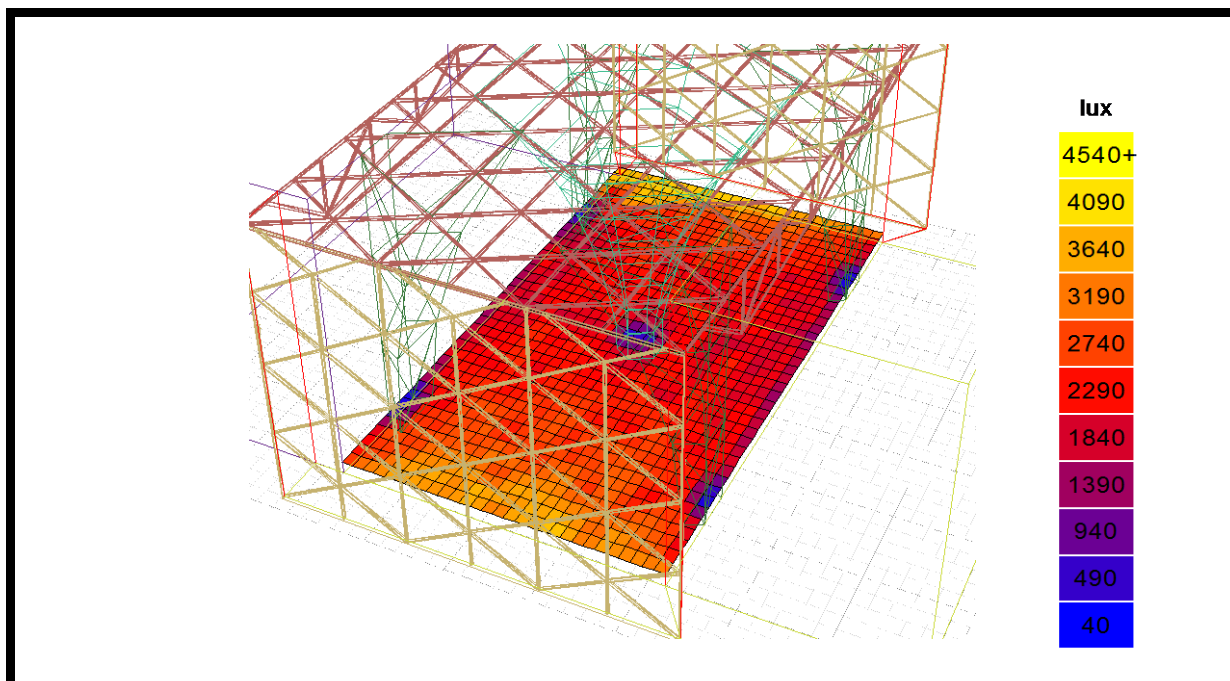
5.2 Faktor dnevne svetlobe in osvetljenost, izračunana po celotni prostornini objekta

V treh ortogonalnih ravninah izračunano osvetljenost sem primerjala s priporočilom iz SIST EN 12193: $E = 500 \text{ lx}$. [16] Rezultati so prikazani v Preglednicah 3, 4, 5, 6 in 7.

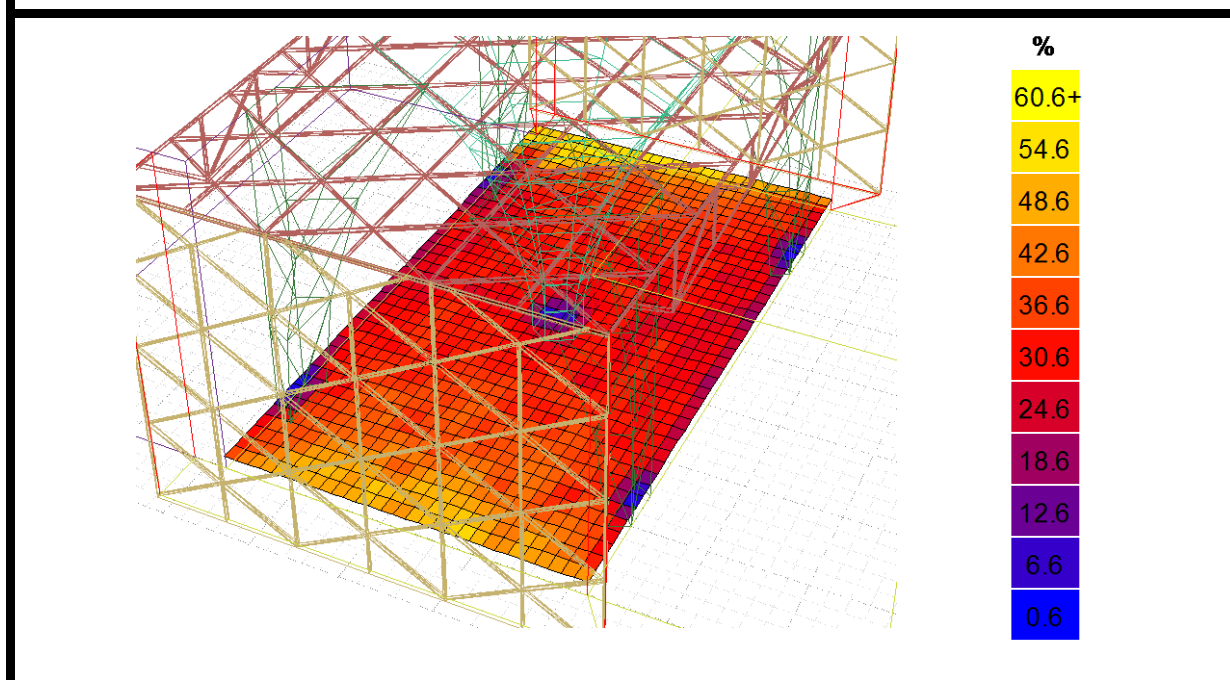
Preglednica 3: Osvetljenost v ravnini xy na višini $z=17 \text{ m}$ (tik pod streho) [lx]



Preglednica 4: Primerjava osvetljenosti ravnine xy na višini z=0,8 m (standardna horizontalna delovna ravnina) izražene v lx in s KDS

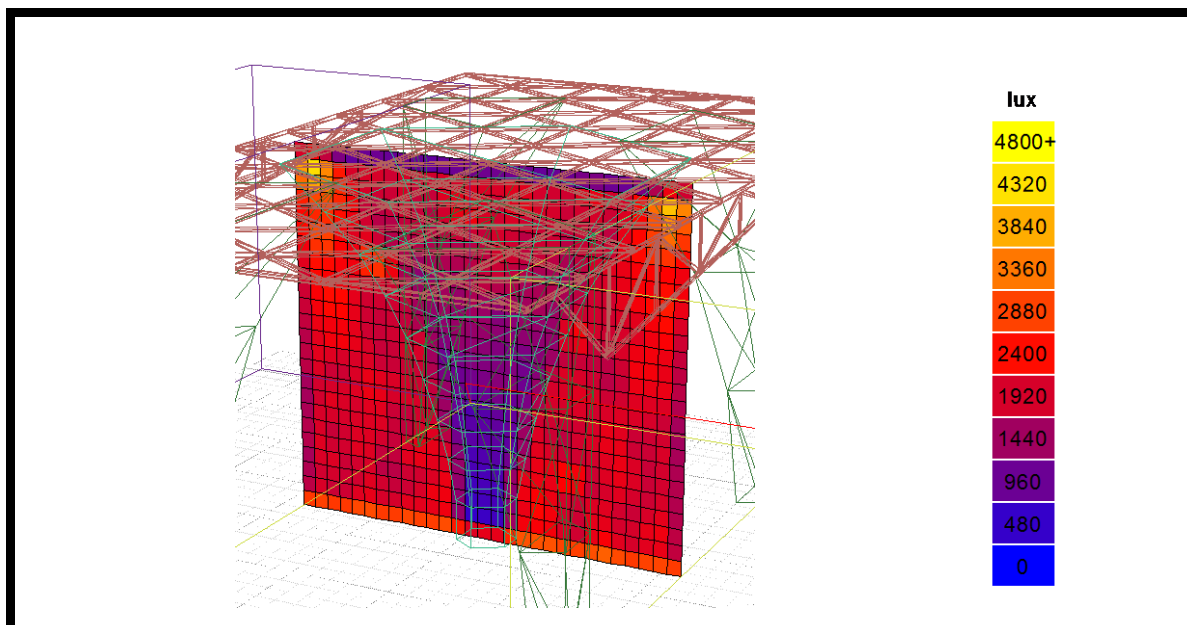


Komentar: Osvetljenost je na t. i. delovni ravnini v primerjavi z ravnino tik pod streho nekoliko manjša, a še vedno mnogo prevelika. Povprečna osvetljenost v tem primeru je $E = 2406 \text{ lx}$. Vidimo, da so rezultati smiselni, saj je osvetljenost delov ob zaprtih stranicah nekoliko nižja (temnejša barva, okrog 1300 lx), najvišje vrednosti so okrog 3800 lx .

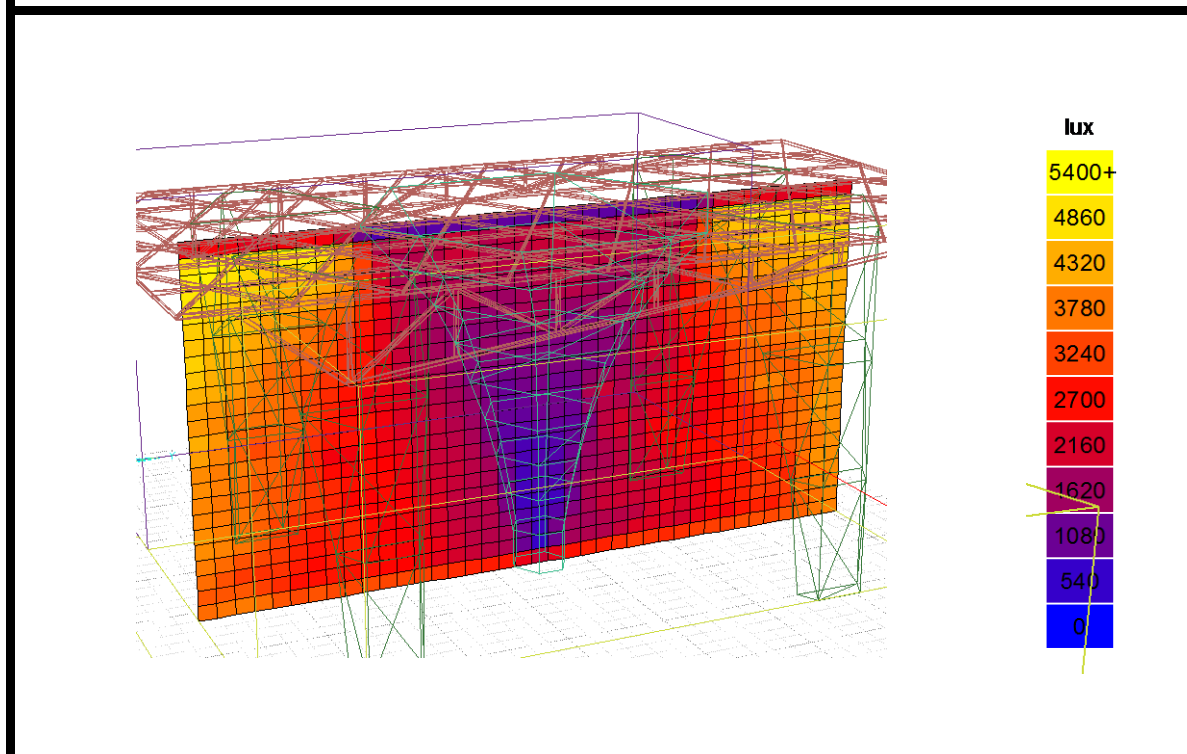


Komentar: Tudi izračun vrednosti KDS nam pokaže izjemno dobro osvetljenost prostora. Povprečna vrednost KDS je $33,72 \%$. Priporočen KDS za bivalne in delovne prostore znaša nekaj odstotkov. [27] Ravnino senči vertikalna konstrukcija.

Preglednica 5: Osvetljenost (v vertikalni ravnini); v ravnini xz pri $y=17,5$ m (zgoraj) in v ravnini yz pri $x=24$ m (spodaj) [lx]



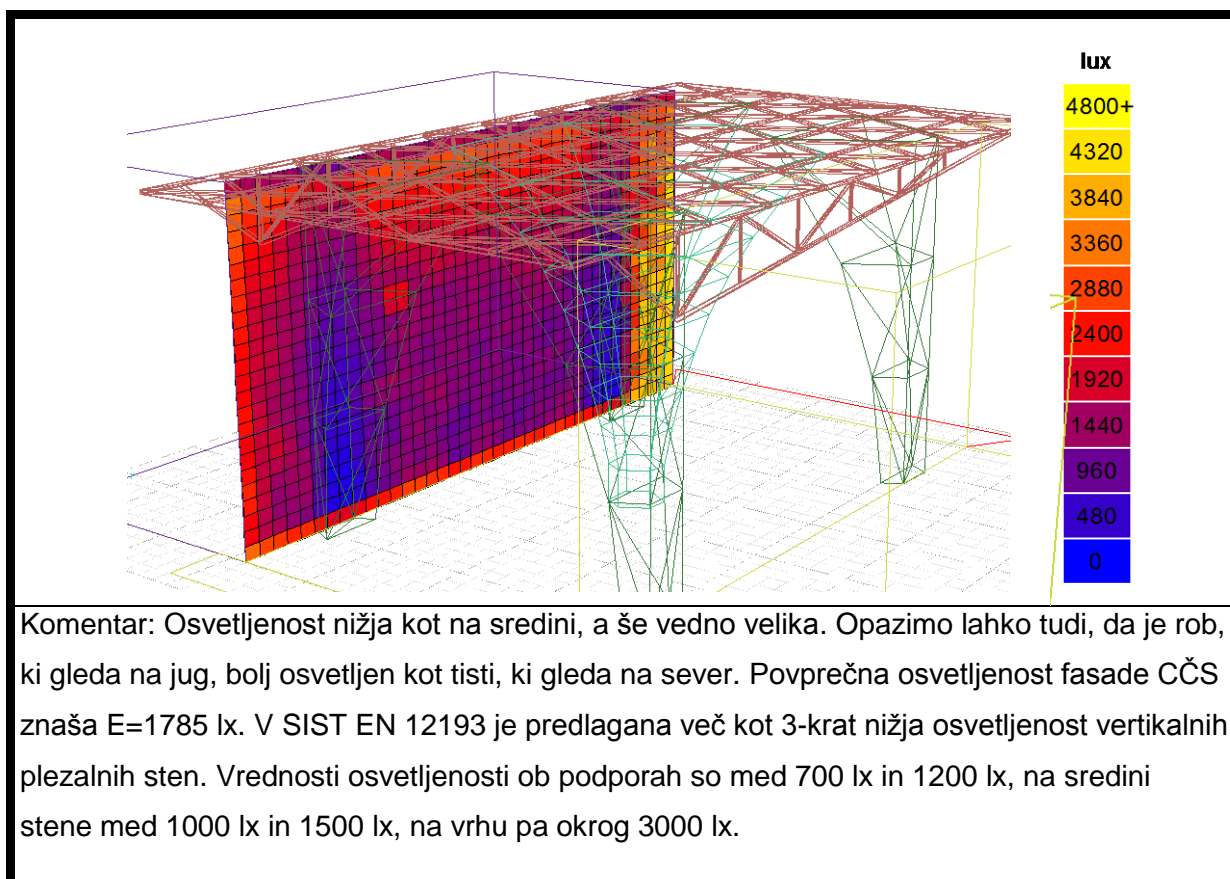
Komentar: Osvetljenost v ravnini xz približno na sredini objekta doseže zelo visoke vrednosti. Povprečna vrednost znaša $E=1847$ lx. Povprečje je v primerjavi s povprečji v drugih ravninah nekoliko nižje, ker je ravnina xz edina zaprta s 3 strani.



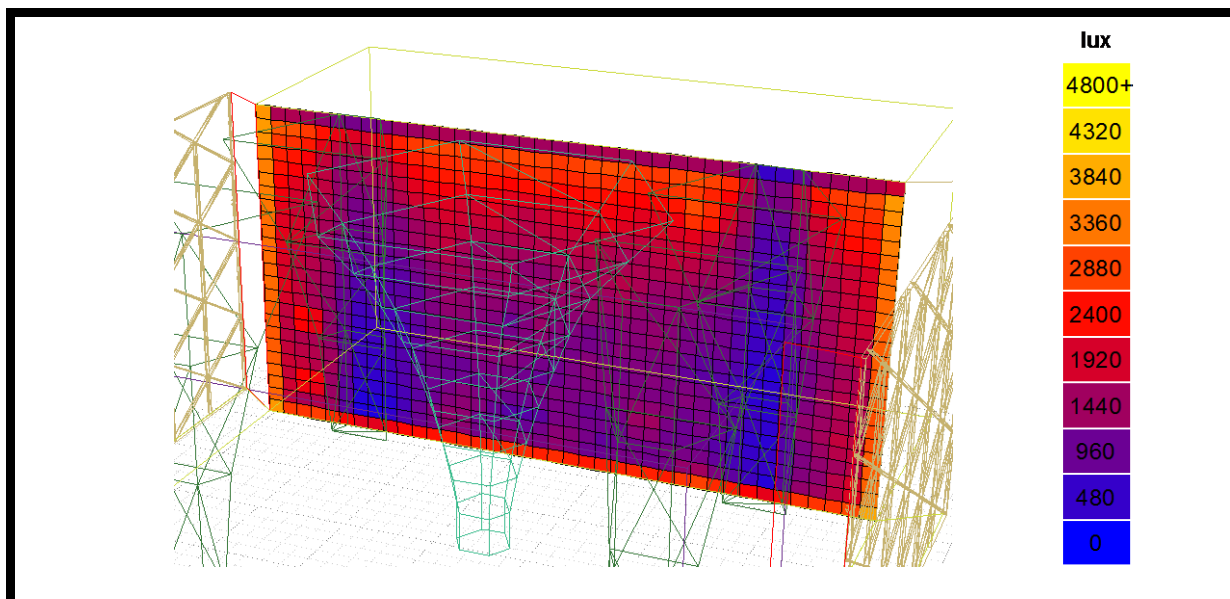
Komentar: Velika osvetljenost v srednji ravnini yz. Vidimo, da svetloba prihaja od zgoraj in od strani. Ravnino senči le vertikalna konstrukcija. Ob vogalih zgoraj je osvetljenost okrog 4500 lx, spodaj ob stebru okrog 2000 lx, vmes med 2500 lx in 3500 lx. Povprečje 2697 lx.

Izračun osvetljenosti po celotni prostornini prizidka PCL je pokazal enak trend v vseh ravninah, in sicer izjemno visoke vrednosti osvetljenosti. Na podlagi teh izsledkov sem se odločila preveriti še osvetljenost samih plezalnih sten, ki bodo postavljene na elementih vertikalne konstrukcije in obeh notranjih fasadah sosednjih objektov. Objekt bo v največji meri namenjen plezanju, zato so se mi zdeli ti podatki še posebej zanimivi.

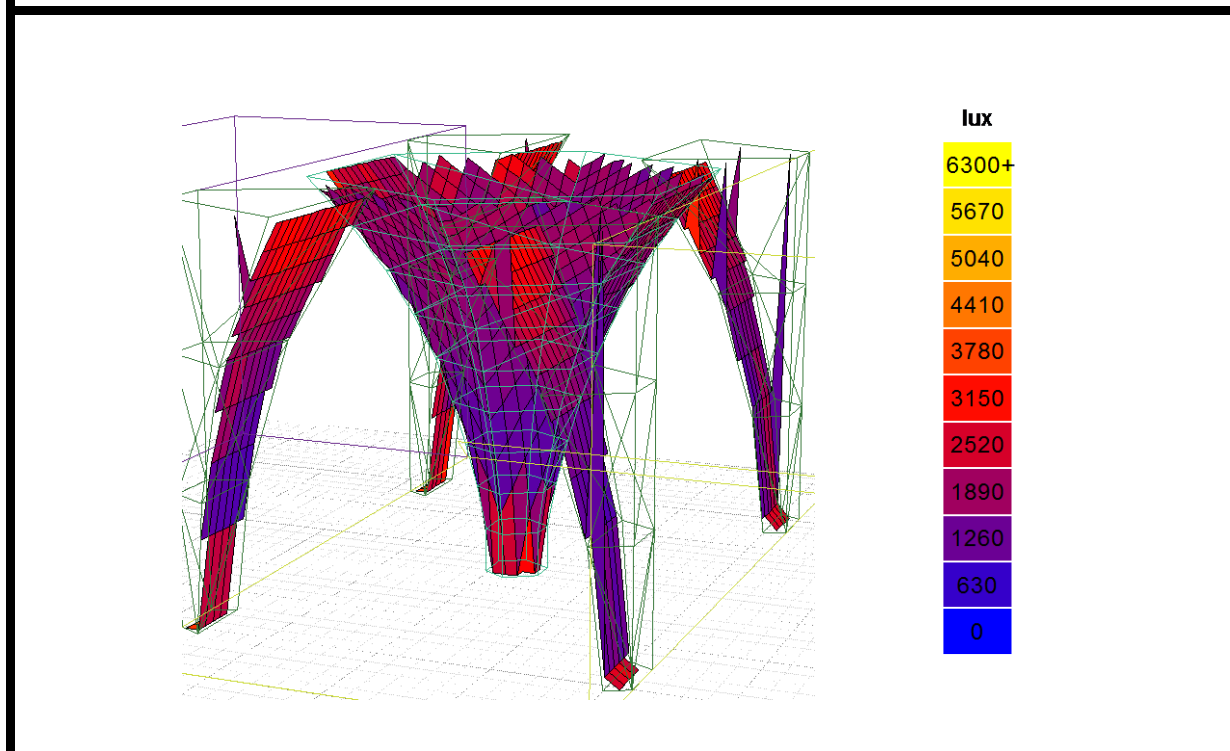
Preglednica 6: Osvetljenost notranje fasade CČS [lx]



Preglednica 7: Osvetljenost notranje fasade PCL (zgoraj), osvetljenost plezalnih sten, ki potekajo po konstrukcijskih elementih vertikalne nosilne konstrukcije strehe prizidka PCL (spodaj)



Komentar: Na notranji fasadi PCL je osvetljenost še za odtenek nižja kot na CČS, kar je smiselno, saj je PCL na zahodni strani. Povprečna osvetljenost notranje fasade PCL znaša $E=1647$ lx, ob podporah med 500 lx in 800 lx, na sredini stene okrog 1200 lx, zgoraj 2500 lx.



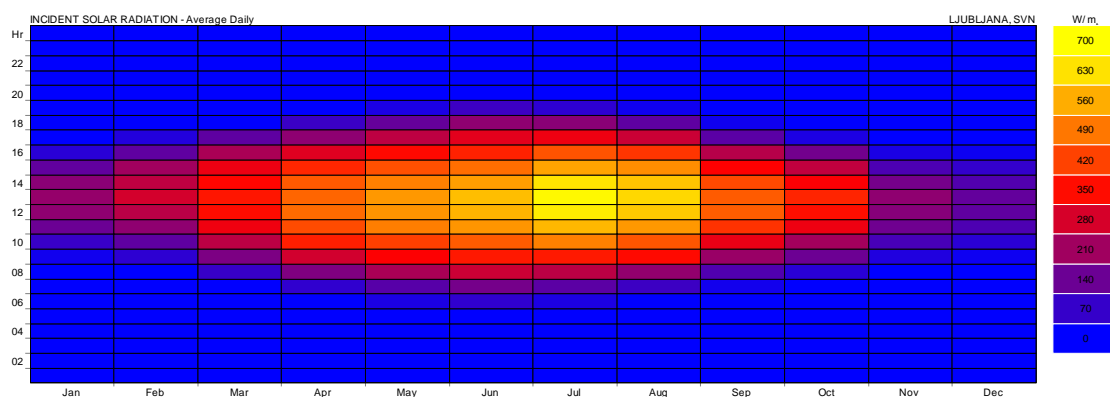
Komentar: Tudi osvetljenost plezalnih sten na elementih vertikalne konstrukcije je izjemno visoka, čeprav nižja kot v srednjih vertikalnih ravninah. Takšen rezultat je bil pričakovan, saj zaradi previsne oblike plezalne stene senčijo svoje spodnje predele. Povprečna osvetljenost plezalnih sten znaša $E=1907$ lx, najnižje vrednosti so okrog 700 lx, najvišje pa 3000 lx.

Iz vseh prikazanih rezultatov lahko ugotovimo, da se je izhodiščna hipoteza izkazala za resnično. Objekt je res preveč osvetljen in nujno je potrebno razmisliti o ustreznem senčenju. Najbolj enostavna rešitev se zdi uporaba zasteklitve z nižjo transmisivnostjo za vidni del svetlobe.

5.3 Količina energije sončnega sevanja, ki jo prejme prostor

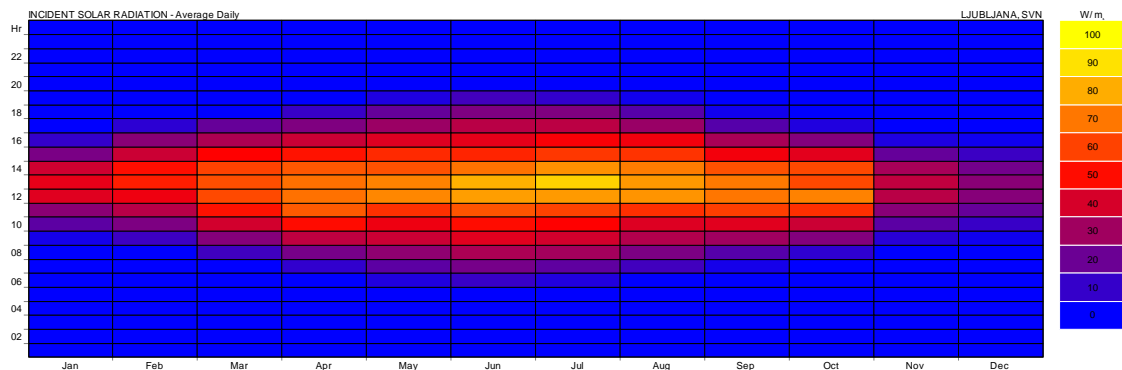
S programom Ecotect je možno izračunati tudi prejeto energijo sončnega sevanja na izbrani površini. To sem izkoristila tako, da sem izbrala nekaj karakterističnih površin in s pomočjo rezultatov poskušala priti do uporabnih ugotovitev. Zanimala me je predvsem razlika med prejetim sončnim sevanjem notranjih površin (tla, fasadne površine) in zunanjim potencialom (na zunanji strani strehe). Takšna primerjava predstavlja indikator za potencialno pregrevanje stavbe, ki je posledica visokih solarnih dobitkov v poletnem času. Za karakteristične površine sem izbrala površino strešne zasteklitve (potencial), tal in površini obeh notranjih fasad sosednjih armiranobetonskih objektov. V prvi fazi sem računala s povsem enako transmisivnimi stekli kot pri prejšnjih računih, tj. 70 %.

Sliki 5 in 6 prikazujeta količino prejete sončne energije na strehi oz. tleh prizidka. Na horizontalni osi so nanizani meseci v letu, na vertikalni pa ure v dnevu. Barve predstavljajo urno povprečje prejete energije sončnega sevanja za povprečen dan v mesecu. Vidimo, da je količina prejete sončne energije na strehi prizidka do 7-krat višja kot na tleh. Največ energije streha prejme med 12. in 14. uro v juliju, najmanj pa decembra. To je razumljivo, saj je takrat sonce najnižje in je vpadni kot sončnih žarkov najmanjši. Razpon med obdobjema, ko objekt prejme največ in najmanj energije, je velik (približno 5-kratnik). Tako je zaradi lege objekta, saj je ta razpon odvisen le od vpadnega kota sončnega sevanja.



Slika 5: Količina prejete sončne energije na strehi prizidka [Wh/m^2]

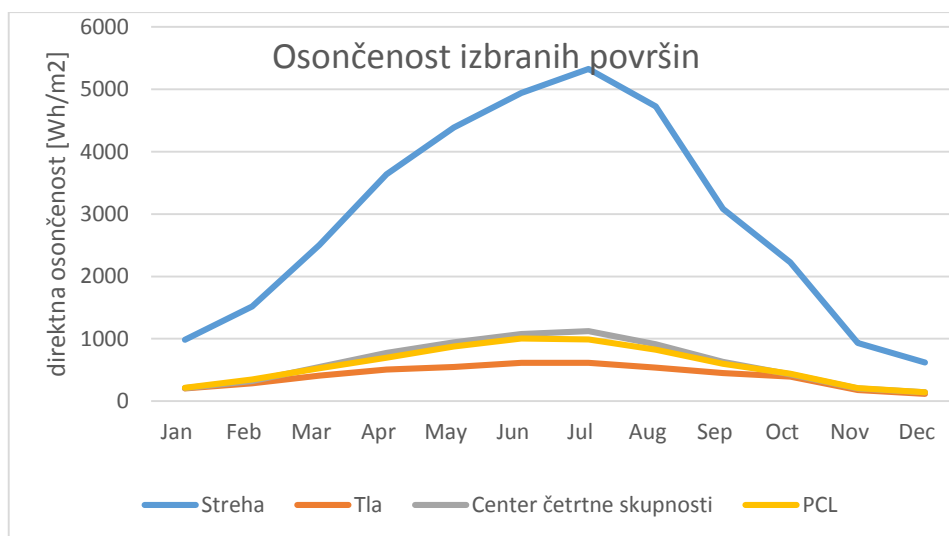
Na sliki 6 vidimo, da je razpon med največjo prejeto količino sončne energije in najmanjšo količino prejete sončne energije manjši (2-kratnik). Iz tega sklepamo, da so tla precej enakomerno in dobro osenčena. Julijski višek traja manj časa in tudi ni tako izrazit.



Slika 6: Količina prejete sončne energije na tleh prizidka [Wh/m²]

Preglednica 8: Povprečna dnevna prejeta količina energije sončnega sevanja izbranih površin med letom [Wh/m²]

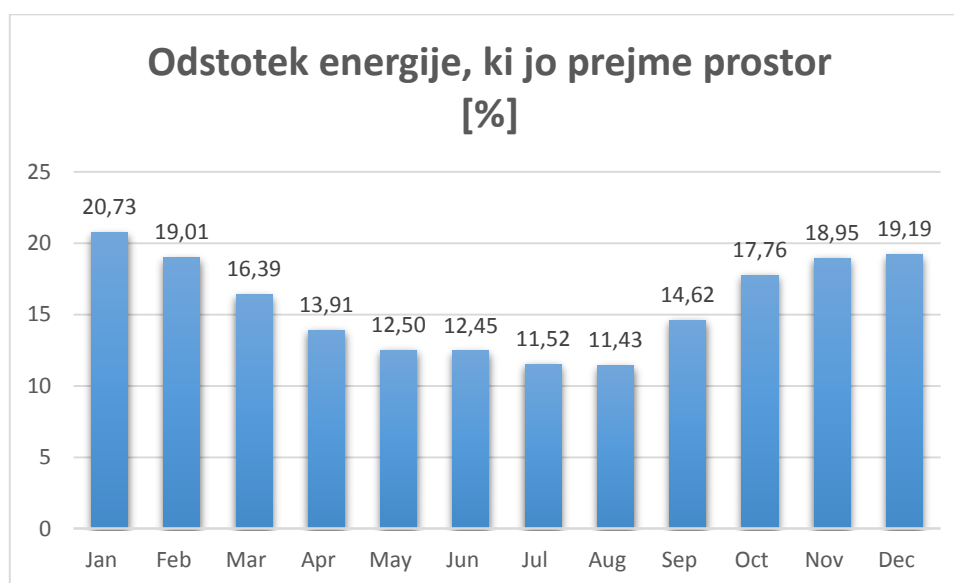
PREJETA KOLIČINA ENERGIJE SONČNEGA SEVANJA				
Mesec	Streha [Wh/m ²]	Tla [Wh/m ²]	CČS [Wh/m ²]	PCL [Wh/m ²]
Jan	984	204	208	215
Feb	1520	289	324	348
Mar	2502	410	548	530
Apr	3637	506	774	699
May	4384	548	944	876
Jun	4940	615	1076	1007
Jul	5323	613	1122	987
Aug	4726	540	911	827
Sep	3084	451	629	597
Oct	2224	395	432	439
Nov	934	177	206	212
Dec	620	119	145	144



Slika 7: Primerjava povprečne dnevne prejete energije sončnega sevanja na izbranih površinah med celim letom [Wh/m²]

V Preglednici 8 in Sliki 7 lahko vidimo, da je potencial na strehi velik. Vidimo tudi, da najmanj energije sončnega sevanja dobijo tla, kar je razumljivo. Geometrija konstrukcije je zasnovana tako, da so tla najbolj senčena. Obe notranji fasadi AB-objektov sta senčeni približno enako, nekoliko več energije prejme fasada CČS, kar je tudi razumljivo, saj je obrnjena proti vzhodu, medtem ko je notranja fasada PCL orientirana na zahod.

Izračunala sem tudi razliko med količinama energije sončnega sevanja, prejete na strehi in tleh, in tako dobila količino sončne energije, ki jo prejme prostor. Rezultate sem prikazala v obliki deleža, ki ga glede na prejeto sončno energijo na strehi (maksimalen potencial zunanega okolja) prejmejo tla (Slika 8).



Slika 8: Povprečni dnevni odstotek prejete energije v prostoru glede na prejeto energijo na strehi med celim letom [%]

Letno povprečje znaša 15,71 %. Vidimo lahko, da čeprav je objekt precej osvetljen, je količina prejete energije sončnega sevanja relativno majhna. Razlika med energijo na strehi in tleh je najmanjša pozimi, največja pa poleti. To lahko razumemo kot posledico orientacije in geometrije konstrukcije. Poleti je sonce višje, direktno sončno sevanje pride v objekt v večji meri skozi streho. Pozimi je sonce nižje in direktno sončno sevanje pride tudi z južne strani objekta. Največji delež prejete energije v prizidku glede na zunanji potencial je torej pozimi, najmanjši pa poleti.

Iz zbranih podatkov lahko sklepamo, da bi bilo možno že z dobro načrtovanim senčenjem stavbnega ovoja verjetno preprečiti pregrevanje objekta. Kljub tem spoznanjem samo na podlagi analize prejete energije sončnega sevanja še ne moremo trditi, ali se bo stavba pregrevala ali ne. Za podrobno analizo potenciala pregrevanja bi bilo potrebno izračunati energetska bilanco stavbe, kar presega okvir tega diplomskega dela.

5.4 Predstavitev možnih ukrepov za zmanjšanje osvetljenosti

Nižjo osvetljenost sem najprej poskušala doseči z zmanjšanjem transmisivnosti steklenih površin. Simulirala sem situacije v ravnini xy na višini 5 m pri treh različnih nižjih transmisivnostih zasteklitve, in sicer 50 %, 30 % in 15 %. V vseh izračunih sem uporabila nekoliko manj natančno mrežo kot pri prejšnjih izračunih. Ponovno sem izračunala tudi prejeto energijo sončnega sevanja, ki jo prejmejo izbrane površine.

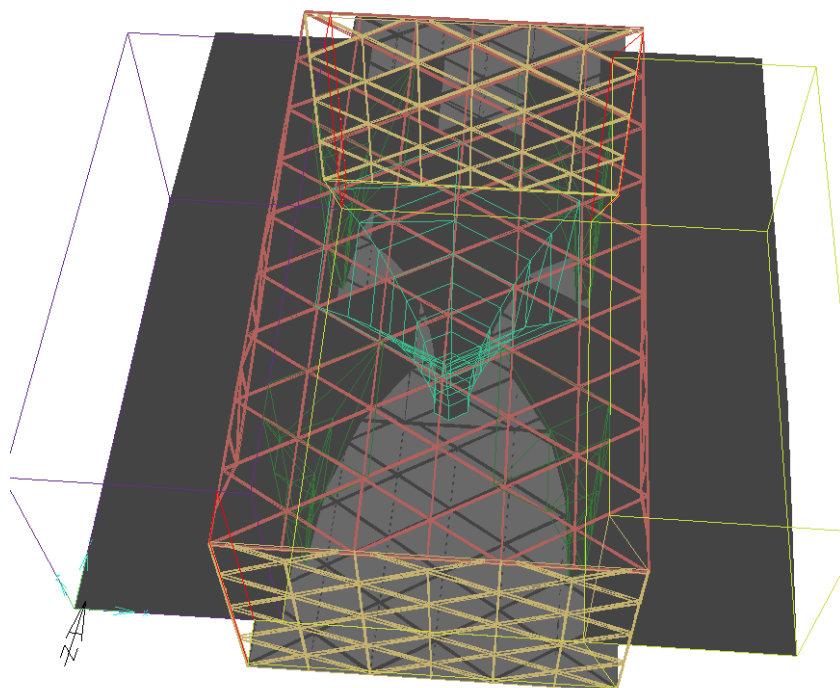
Preglednica 9: Vpliv transmisivnosti na osvetljenost in odstotek prejete energije sončnega sevanja

Transmisivnost [%]	Povprečna osvetljenost ravnine xy, na višini z=5 m [lx]	Delež povprečne letne sončne energije, ki jo prejme izbrana površina glede na streho [%]		
		Tla	PCL	Center četrtnke sk.
0,7	2399,23	15,71	20,55	21,21
0,5	2009,74	14,63	17,85	18,40
0,3	1653,37	9,67	15,58	16,01
0,15	1368,72	7,43	13,90	14,22

Ugotovila sem, da je osončenost strehe seveda neodvisna od transmisivnosti zasteklitve, medtem ko je osončenost ostalih površin od nje odvisna. Iz Preglednice 9 je razvidno, da spreminjanje transmisivnosti najbolj vpliva na energijo, ki jo prejmejo tla, saj se v povprečju ta zmanjša skoraj za polovico. Pri ostalih dveh površinah je padec manjši, a približno enak. Vzrok za to je geometrija konstrukcije, ki bolj osenči tla kot vertikalne površine. V Preglednici 9 vidimo, da tudi osvetljenost z nižanjem transmisivnosti zasteklitve vztrajno pada, in sicer za približno 17 % v vsakem koraku, skupno pa za 1030,51 lx oz. 43 %.

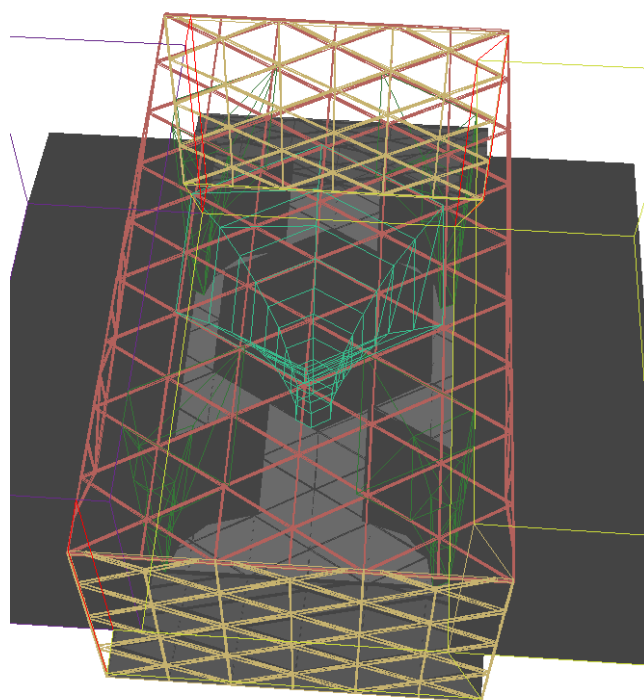
Ker je osvetljenost prostora še vedno zelo visoka, sem poskusila še z drugim ukrepom, in sicer z zmanjšanjem površine zasteklitve. Hotela sem se izogniti uporabi zunanjih senčil, saj bi z njimi spremenila videz in koncept konstrukcije, kot si ga je zamislila arhitektka. Odločila sem se za kombinacijo zasteklitve s 30-odstotno transmisivnostjo in zaprtimi ploščami. Za 30-odstotno transmisivnost sem se odločila, ker je iz Preglednice 9 razvidno, da že dokaj dobro zniža osvetljenost in količino prejete energije sončnega sevanja, hkrati pa je to še neka realna transmisivnost, ki se uporablja pri komercialnih zasteklitvah.

Pri določanju pozicije oz. lokacije netransparentnih elementov sem si pomagala s simulacijo senc. Ker sem ocenila, da z vidika pregrevanja prostora situacija 21. decembra ne bo kritična, sem kot merodajna dneva izbrala 21. marec (pomlad) in 21. junij (poletje).



Slika 9: Simulacija senc za 21. 3. ob 12.00 (osončeni deli notranjosti stavbe so prikazani s svetlo sivo barvo)

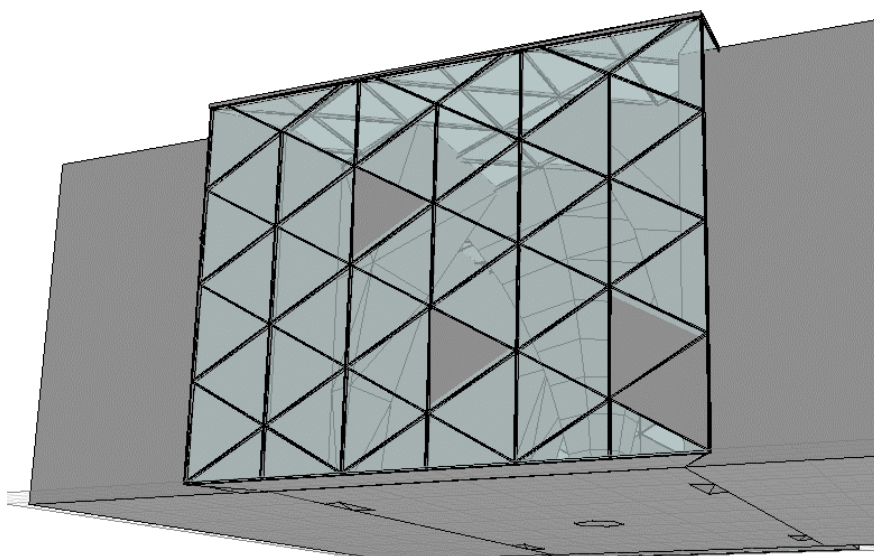
Na Sliki 9 vidimo, da bomo z zapiranjem stranice na južni strani objekta najbolj bistveno vplivali na senčenje v prostoru v času pomladi in jeseni. Zaradi manjših vpadnih kotov sončnega sevanja v tem času večina direktnega sončnega sevanja vstopa v stavbo skozi južno orientiran vertikalni del stavbnega ovoja.



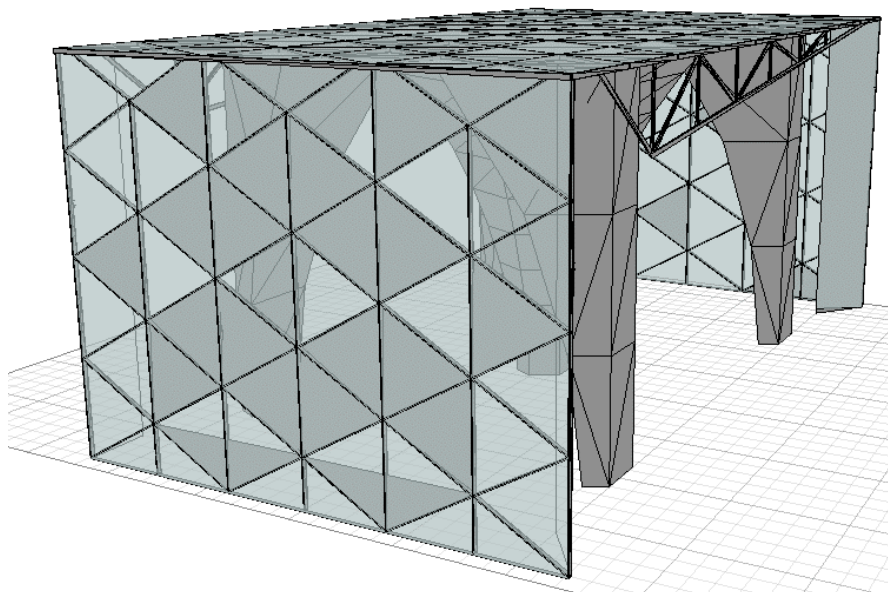
Slika 10: Simulacija senc za 21. 6. ob 12.00 (osončeni deli notranjosti stavbe so prikazani s svetlo sivo barvo)

Na Sliki 10 vidimo, da bomo senčenje 21. junija dosegli z zapiranjem zastekljenih elementov na strehi. V primerjavi s spomladansko situacijo (Slika 9) v poletnem času zaradi večjih vpadnih kotov večina direktnega sončnega sevanja vpada skozi streho.

Na podlagi teh ugotovitev sem izbrala dele zasteklitev, ki sem jih zamenjala z netransmisivnimi ploskvami. Pri tem sem se trudila, da bi vseeno ohranila občutek čim bolj odprte konstrukcije, zato sem oblikovala ploskve manjših dimenzij in jih razgibano razporedila po izbranih površinah. Arhitektka namreč želi linijo sever–jug ohraniti čim bolj odprto.

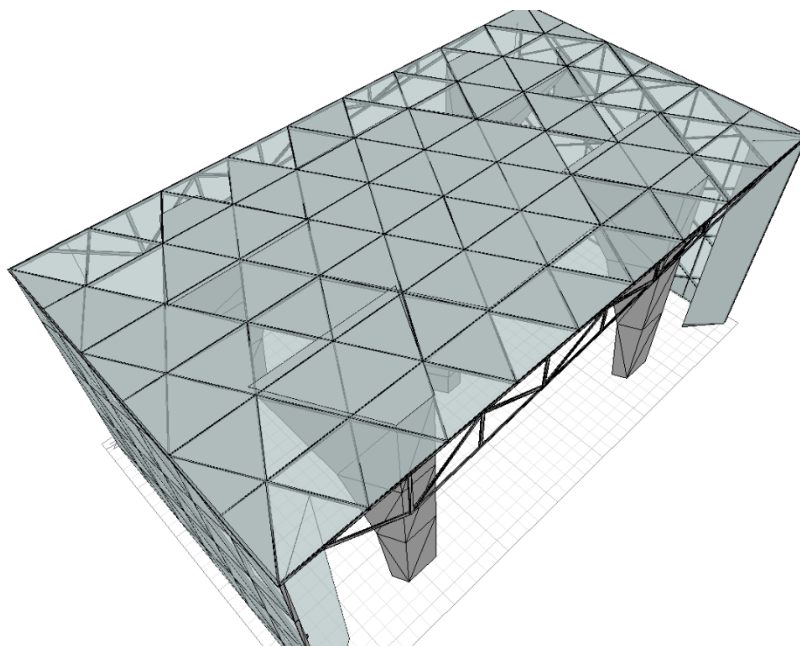


Slika 11: 3D-model celotnega kompleksa s senčili, pogled s severa



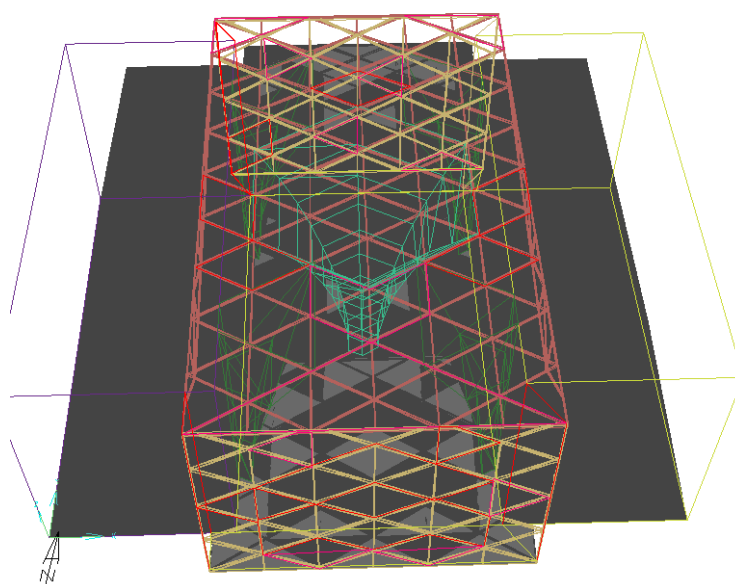
Slika 12: 3D-model prizidka s senčili, pogled z juga, sosednja objekta sta odstranjena iz pogleda

Na Slikah 11, 12 in 13 vidimo, da zasteklitev še vedno omogoča pogled v notranjost. Zaprti deli niso preveč agresivno postavljeni in ne zapirajo prevelike površine fasade. Z zanimivimi oblikami fasado dodatno popestrijo in morda tako tudi ustrezajo namembnosti objekta, ki je sproščujoče narave. Največ netransmisivnih ploskev sem namestila na južno fasado. Na severni fasadi je plošč le nekaj in so naključno razporejene po površini.

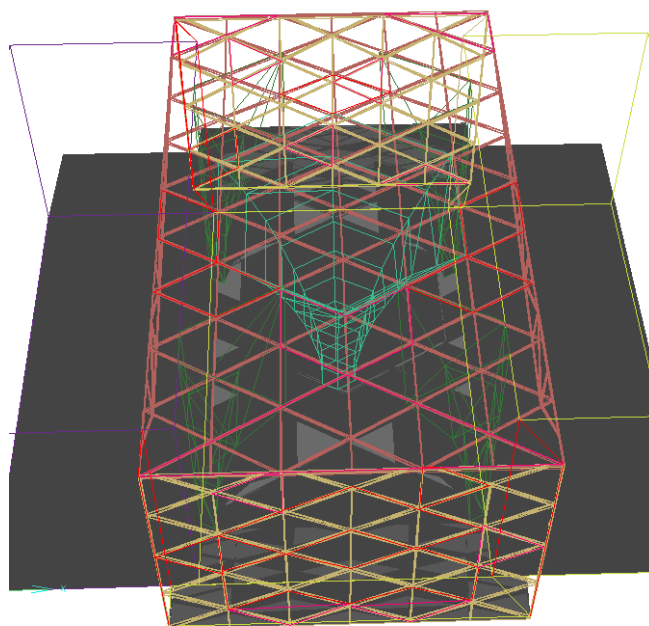


Slika 13: 3D-model prizidka s senčili, pogled na streho, sosednja objekta sta odstranjena iz pogleda

Po površini strehe sem jih namestila simetrično glede na severni in južni del. Na južnem delu strehe sem dodala še nekaj dodatnih plošč.



Slika 14: Simulacija senc 21. 3. ob 12.00, predlog rešitve, (osončeni deli notranjosti stavbe so prikazani s svetlo sivo barvo)



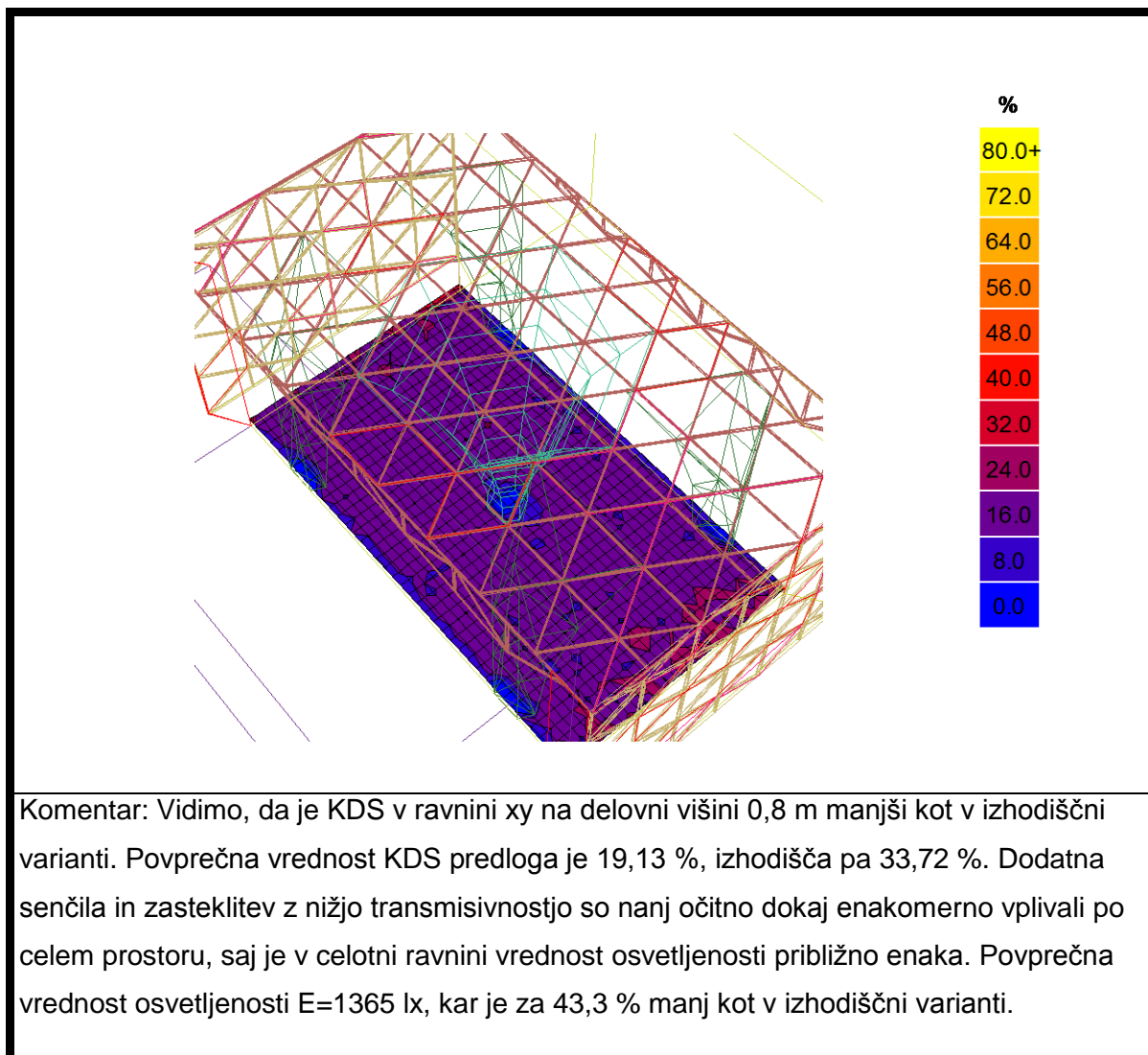
Slika 15: Simulacija senc 21. 6. ob 12.00, predlog rešitve, (osončeni deli notranjosti stavbe so prikazani s svetlo sivo barvo)

Sliki 14 in 15 prikazujeta, da izbrano senčenje dokaj dobro pokrije osvetljene dele v objektu. Severni del je praktično popolnoma osončen, južni pa ima v sredini nekaj svetlih peg, a je z vidika, da bodo uporabne predvsem stene objekta, pomembnejša osončenost sten, ki pa je dokaj dobra.

Menjavanje manjših transmisivnih in netransmisivnih ploskev je smiselno tudi z vidika uravnavanja osvetljenosti zaradi psihofizioloških vplivov svetlobe na človeka. Manjše ploskve se lažje izvede premično, torej z možnostjo odpiranja in zapiranja. Uporabimo jih lahko tudi pri načrtovanju prezračevalnih sistemov. Tako lahko dosežemo natančnejše uravnavanje svetlobe, omejeno na neko manjše območje, čemur bi se lahko v okviru načrtovanja sten bolj posvetili. Izbrali bi dele, ki bodo ves čas zelo dobro osvetljeni, in dele, kjer bo osvetljenost spremenljiva. S tem bi zadovoljili potrebe uporabnikov, ki prihajajo zelo spočiti in za dlje časa, kot tudi tistih, ki bi jih prevelika osvetljenost motila.

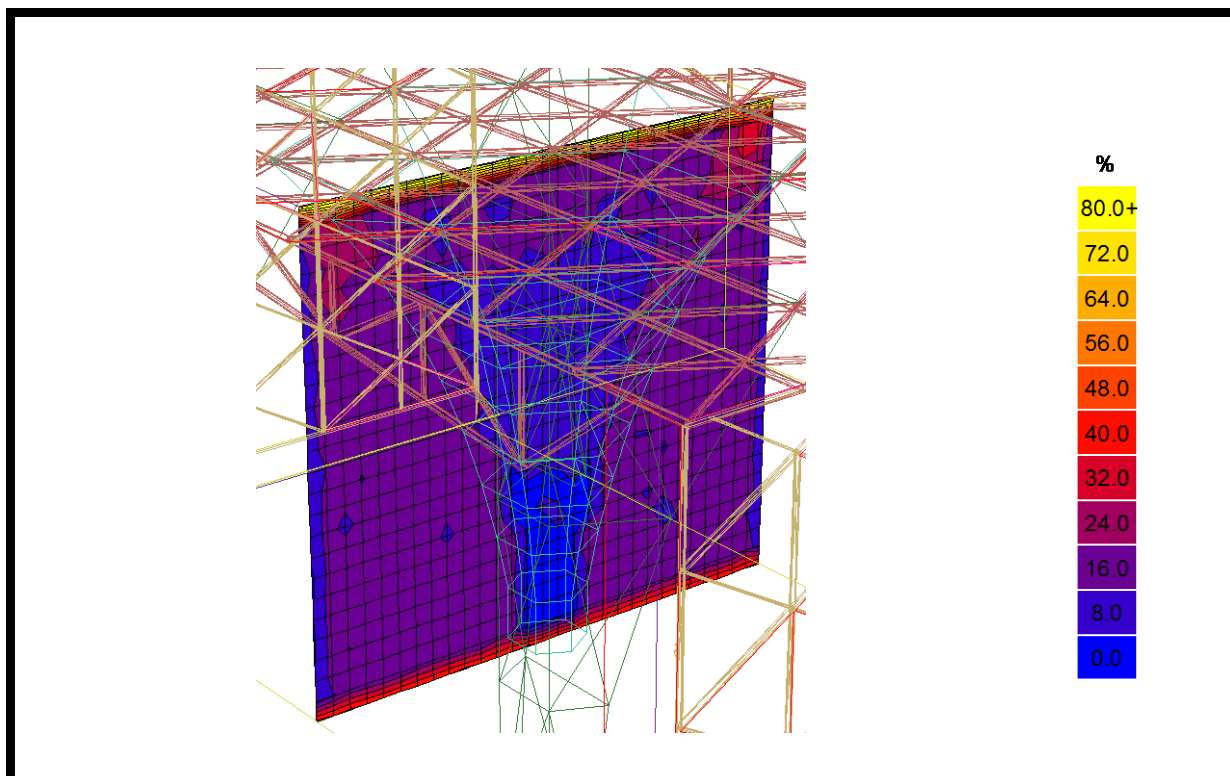
Osvetljenost sem preverila na popolnoma enak način, s popolnoma enakimi programskimi nastavitvami in računsko simulacijsko mrežo kot v točki 5.2.

Preglednica 10: Količnik dnevne svetlobe v ravnini xy, na višini z=0,8 m [%]

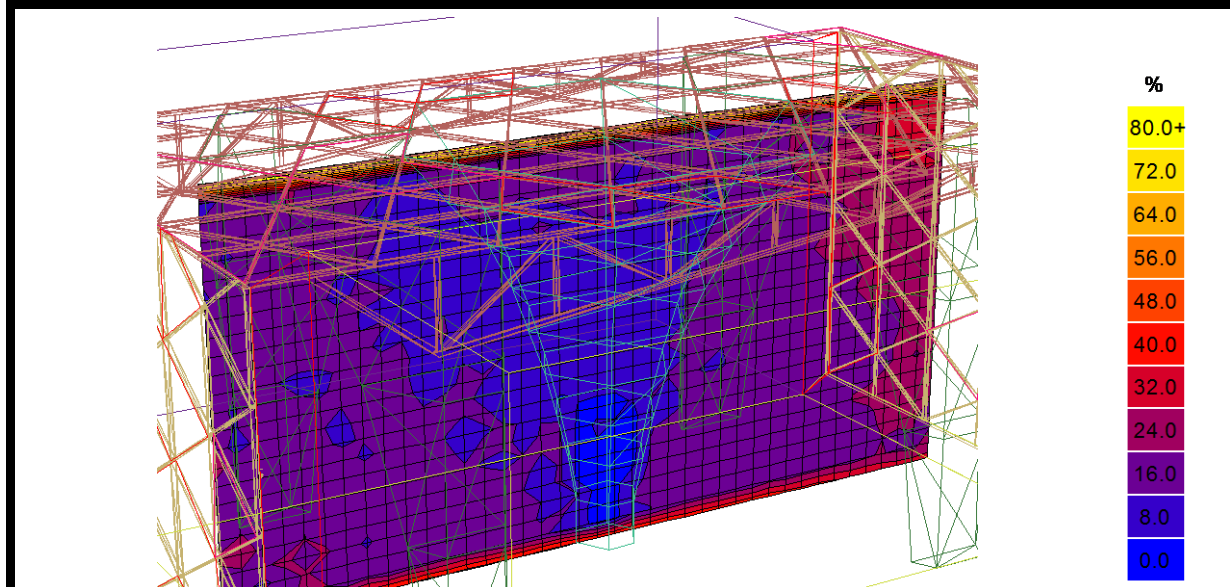


Na višini $z=5$ m povprečna osvetljenost ravnine xy znaša $E=1302$ lx, medtem ko lahko v Preglednici 9 vidimo, da na isti višini, pri enaki transmisivnosti stekel, povprečje znaša 1653 lx, pri 15-odstotni transmisivnosti pa 1368 lx. Iz tega lahko ugotovimo, da smo s primerno zasnovanim stavbnim ovojem (kombinacija transparentnih in netransparentnih delov) dobili boljši učinek, kot le z aplikacijo zasteklitve z nižjo transmisivnostjo stekel. Podobno kot v horizontalni ravnini se zgodi tudi v vertikalnih ravninah. Rezultati so prikazani v Preglednici 11.

Preglednica 11: KDS v ravnini xz na razdalji y=17.5 m (zgoraj) ter v ravnini yz na razdalji x= 24 m (spodaj) [%]



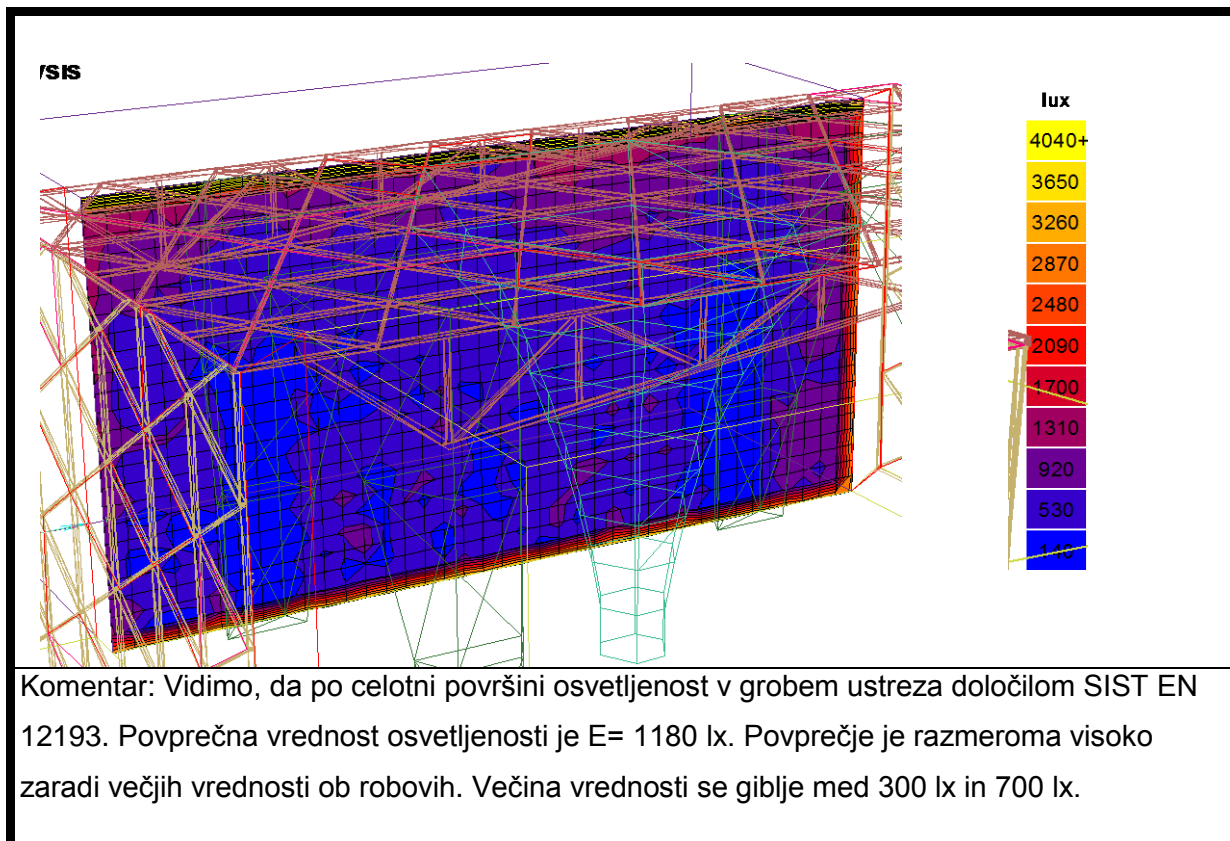
Komentar: Tudi na sredini objekta je videti, da je KDS bistveno nižji kot pri izhodiščni konstrukciji. Tudi tu je osvetljenost očitno enakomerna, povprečni KDS v tej ravnini znaša 21,5 %, tik ob stebru okrog 10 %, drugje večinoma med 15 % in 20 %.



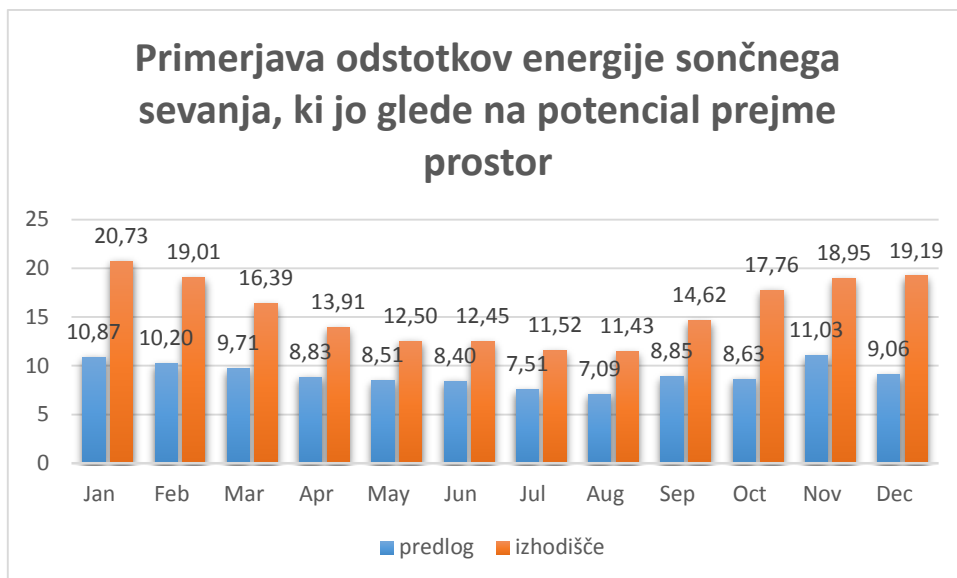
Komentar: V ravnini yz je stanje podobno. Vidimo, da je v tem primeru osvetljenost nekoliko manj enakomerna, kar je posledica neenakomerne postavitve senčil na severni in južni stranici prizidka. Povprečni KDS v tej ravnini znaša 23,09 %. V modrem območju je KDS med 10 % in 15 %, v vijoličnem pa okrog 20 % do 25 %.

Preverila sem še osvetljenost površin, kjer bodo plezalne stene. Za te površine se opiram na priporočilo iz SIST EN 12193 $E = 500 \text{ lx}$. [16]

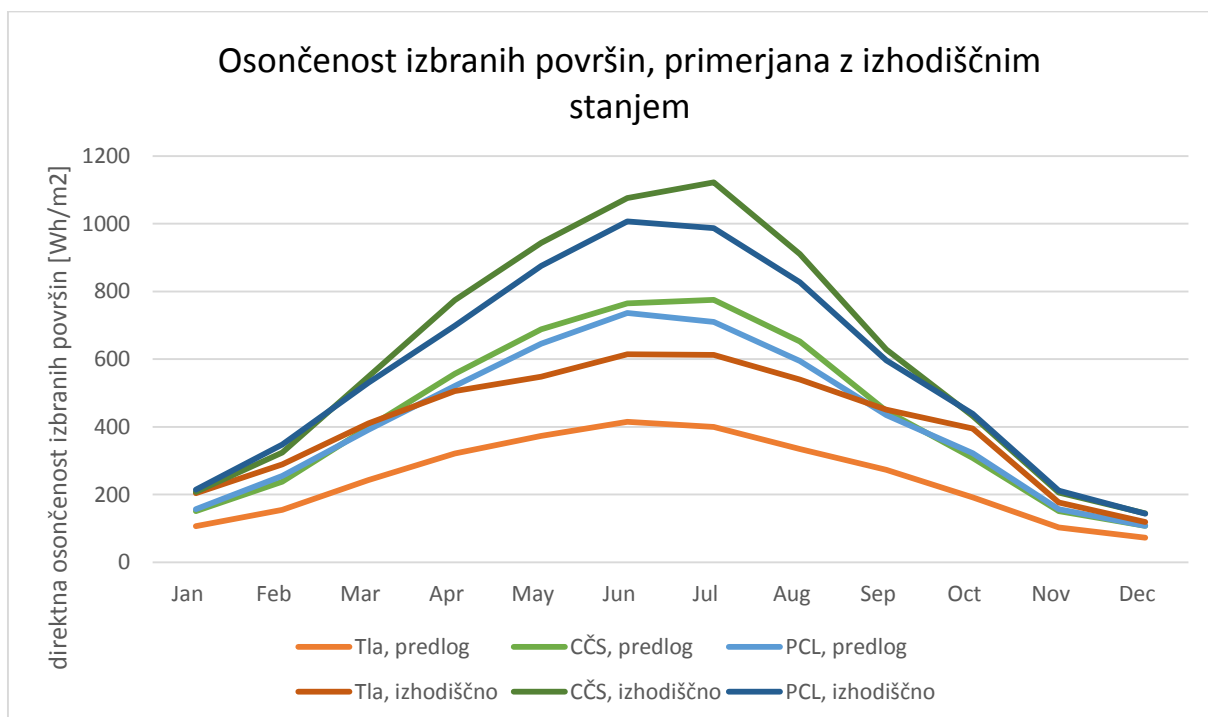
Preglednica 12: Osvetljenost stene Centra četrtnih skupnosti [lx]



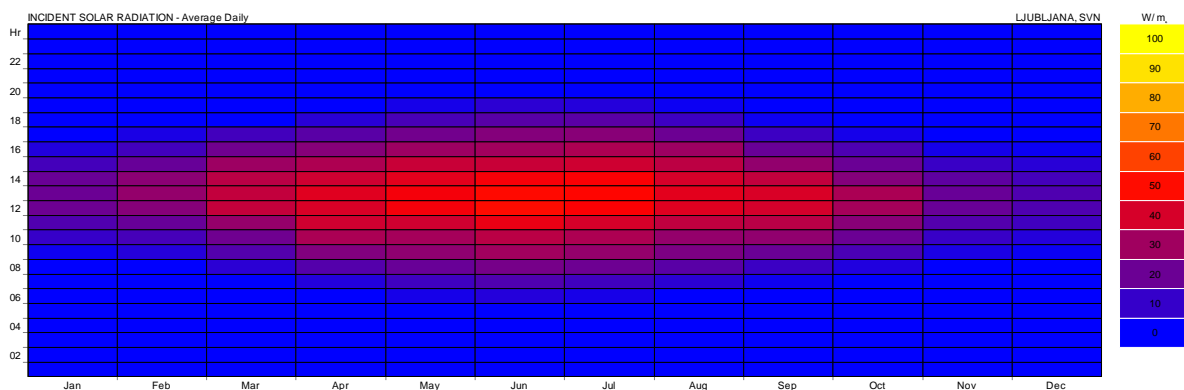
Na povsem enak način kot v točki 5.3 sem izračunala tudi količino prejete sončne energije v prostoru za predlagano spremenjeno konstrukcijo. Rezultate sem prikazala na Slikah 16 in 17. Povprečni letni odstotek energije, ki jo glede na potencial prejme prostor znaša 9,06 %. Iz Slike 16 in dobljenih podatkov o energiji, ki jo prejme predlagana konstrukcija, sem ugotovila tudi, da je razlika med največjim in najmanjšim mesečnim povprečjem prejete energije prostora pri predlagani konstrukciji precej manjša kot pri izhodiščni konstrukciji. V predlogu je odstopanje 3,93 %, pri izhodiščni pa kar 9,31 %. Iz tega sklepamo, da je senčenje postavljeno tako, da je osvetljenost in osončenost vse leto dokaj enakomerna.



Slika 16: Primerjava odstotkov prejete energije sončnega sevanja izhodišča in predloga

Slika 17: Primerjava količine prejete energije sončnega sevanja na izbranih površinah v predlogu in izhodišču [Wh/m²]

Na Sliki 17 vidimo, da je količina prejete energije sončnega sevanja na izbranih površinah padla za približno polovico glede na izhodišče. Podobno kot pri izhodiščni konstrukciji lahko iz tega sklepamo, da so tla najbolj senčena, saj prejmejo najmanj, stranici PCL in CČS pa približno enako količino.



Slika 18: Količina prejete sončne energije na tleh predloga prizidka [Wh/m^2]

Tudi s primerjavo Slik 6 in 18 lahko vidimo, da je količina prejete sončne energije pri predlagani konstrukciji glede na izhodiščno zmanjšana za približno polovico.

Predlagana rešitev je le ena izmed nešteti možnosti, saj lahko vso stekleno površino razdelimo na poljubno število delov različnih oblik. Vsakemu delu lahko načeloma pripišemo drugačno transmisivnost ali pa ga popolnoma zapremo.

6 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi mi je uspelo izpolniti zastavljene cilje. Predvidevanje, da bo objekt preveč osvetljen, se je izkazalo za pravilno. Rezultati me niso presenetili, saj je konstrukcija zasnovana kot popolnoma zastekljen objekt.

Pri preučevanju vplivov dnevne svetlobe na organizem sem naletela na težave pri iskanju člankov, ki obravnavajo svetlobo v športnorekreativnih objektih. Strokovne literature, ki se ukvarja s področjem vpliva svetlobe, je sicer res iz leta v leto več, a so vse študije večinoma omejene na primere za delovno in učno okolje. Prispevkov o vplivu svetlobe v objektih drugih namembnosti (tudi o bivanjskih objektih) praktično ni. Zdi se mi, da je to pomanjkljivost in da bi se morali s tem problemom bolj celostno ukvarjati, saj je potrebno svetlobo upoštevati ne le pri gradnji objektov za delo in izobraževanje, temveč tudi pri vseh ostalih. Nekatere ugotovitve sicer lahko uporabimo tudi v splošnem, kar sem poskušala tudi sama. Tudi za moj konkreten primer bi bilo smiselno izvesti analize in študije v zvezi z vplivom svetlobe v športnorekreacijskih objektih. Glede na zasnovo in namembnost objekta bi lahko še natančneje kot z dozdajšnjimi študijami ugotavljali povezavo med intenzivnostjo in trajanjem osvetljenosti, športno uspešnostjo in psihofizičnim stanjem uporabnika.

Za računanje KDS in osvetljenosti sem uporabljala program Ecotect, ki je zelo kompleksen in izračuni upoštevajo veliko število parametrov. Tako sem sproti spoznavala te parametre in funkcije programa. To je povzročilo veliko dopolnjevanja modela in tudi večkratno računanje in opravljanje simulacij. Merodajne ravnine sem izbrala na podlagi geometrije in namembnosti konstrukcije. Lahko bi uporabila še več funkcij programa in tudi rezultate obdelala in prikazala še na več načinov, a ker so bili zaključki hitro zelo enoznačni in jasni, se mi to ni zdelo potrebno.

Pri računanju prejete energije sončnega sevanja sem bila nekoliko presenečena nad nizkim odstotkom, ki ga glede na potencial prejme prostor. Potem ko sem dobila rezultate, ki so govorili o veliki osvetljenosti, nisem pričakovala, da se bo na drugi strani izkazalo, da je objekt dokaj dobro senčen. Tako sem tudi ugotovila, da sta osončenost in osvetljenost neodvisni druga od druge in da je potrebno preverjati oboje, saj s poznavanjem le enega področja ne moremo vedno pravilno sklepati o drugem. Na osončenost precej bolj vpliva geometrija v povezavi z orientacijo in lego objekta, na osvetljenost pa predvsem geometrija, postavitve in lastnosti transparentnih elementov ovoja stavbe.

Pri razvijanju rešitve in iskanju ukrepov, ki bi rešili problem osvetljenosti objekta, sem poskusila krmariti med zahtevami arhitektke, izračuni in ugotovitvami o psihofizioloških vplivih.

Na splošno sem se naučila, da je preverjanje osončenosti in osvetljenosti sicer nekoliko kompleksno, a potrebno delo, saj lahko ugotovitve precej spremenijo zasnovo stavbe in njenega ovoja. Pri tem je nujno stalno in aktivno interdisciplinarno sodelovanje gradbenika, arhitekta, medicine dela, športnega strokovnjaka in tudi naročnika. Edino s takim sodelovanjem lahko skonstruiramo objekt, ki je ustrezen tako z vidika osončenosti in osvetljenosti stavbe kot tudi z vidika psihofiziološkega vpliva svetlobe na uporabnika.

VIRI

[1] Košir, M. 2015. Prosojnice pri predmetu Bioklimatsko načrtovanje, FGG. Osončenost; Vpliv na kvaliteto bivalnih razmer v stavbah.

<http://kske.fgg.uni-lj.si/> (Pridobljeno 23. 4. 2015.)

[2] Grum, B., Temeljotov Salaj, A. 2011. Vloga lastnih in zunanjih dejavnikov pri konstrukciji vprašalnika za merjenje pričakovanj potencialnih pridobiteljev nepremičninskih pravic. Anthropos (Ljubljana) 43, 1/2; 257-275.

<http://www.dlib.si/details/URN:NBN:SI:DOC-S44FVJZA> (Pridobljeno 1. 4. 2015.)

[3] Opoku, R.A., Abdul-Muhmin, A.G. 2010. Housing preferences and attribute importance among low-income consumers in Saudi Arabia. Habitat International 34, 2; 219-227.

[doi:10.1016/j.habitatint.2009.09.006](https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2009.09.006)

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0197397509000733> (Pridobljeno 23. 4. 2015.)

[4] Rahman, M.S., Hussain, B., Uddin, A.N.M.M., Islam, N. 2014. Exploring residents' satisfaction of facilities provided by private apartment companies. Asia Pacific Management Review; 1-11.

[doi:10.1016/j.apmr.2014.12.012](https://doi.org/10.1016/j.apmr.2014.12.012)

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S102931321400013X> (Pridobljeno 23. 4. 2015.)

[5] Grum, B., Temeljotov Salaj, A. 2010. Pričakovanja potencialnih pridobiteljev stanovanjskih nepremičninskih pravic v republiki Sloveniji glede na njihov spol, starost, izobrazbo in zaposlenost. Geodetski vestnik 54, 3; 501-516.

[http://www.dlib.si/results/?query=%27contributor=Temeljotov+Salaj%2C+Alenka%27&pageS
ize=25](http://www.dlib.si/results/?query=%27contributor=Temeljotov+Salaj%2C+Alenka%27&pageSize=25) (Pridobljeno 1. 4. 2015.)

[6] Crowley, S.J., Eastman, C.I. 2014. Phase advancing human circadian rhythms with morning bright light, afternoon melatonin, and gradually shifted sleep: can we reduce morning bright-light duration?. Sleep Medicine 16, 2; 288-297.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1389945714004936> (Pridobljeno 1. 4. 2015.)

[7] Smolders, K.C.H.J., de Kort, Y.A. W., Cluitmans, P.J.M. 2012. A higher illuminance induces alertness even during office hours: Findings on subjective measures, task performance and heart rate measures. *Physiology & Behavior* 107, 1; 7-16.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0031938412001874> (Pridobljeno 1. 4. 2015.)

[8] Smolders, K.C. H.J., de Kort, Y.A. W. 2014. Bright light and mental fatigue: Effects on alertness, vitality, performance and physiological arousal. *Journal of Environmental Psychology* 39; 77-91.

[doi:10.1016/j.jenvp.2013.12.010](https://doi.org/10.1016/j.jenvp.2013.12.010)

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0272494413001060> (Pridobljeno 1. 4. 2015.)

[9] Garbas, T. 2009. Primerjalna študija psihofiziološkega vpliva naravne svetlobe na uporabnika notranjega grajenega okolja. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Zdravstvena fakulteta, oddelek za sanitarno inženirstvo (samozaložba Garbas, T.): 113.

[10] Dovjak, M. 2015. Prosojnice pri predmetu Bioklimatsko načrtovanje, FGG. Vplivi dnevne svetlobe na uporabnika grajenega okolja.

<http://kske.fgg.uni-lj.si/> (Pridobljeno 23. 4. 2015.)

[11] Košir, M. 2015. Prosojnice pri predmetu Bioklimatsko načrtovanje, FGG. Dnevna svetloba v bivalnem in delovnem okolju.

<http://kske.fgg.uni-lj.si/> (Pridobljeno 23. 4. 2015.)

[12] Pravilnik o projektni dokumentaciji. Uradni list RS, št. 55-2336/2008: 5965.

[13] Uredba (EU) Št. 305/2011. Gradbeni proizvodi.

http://www.mgrt.gov.si/si/delovna_podrocja/notranji_trg/sector_za_proizvode_in_blagovne_rezerve/gradbeni_proizvodi/ (Pridobljeno 6. 5. 2015.)

[14] SIST EN 12464-1:2011. Svetloba in razsvetljava. Razsvetljava na delovnem mestu. Del 1, Notranji delovni prostori.

[15] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. Uradni list RS, št. 52-2856/2010: 7840

[16] SIST EN 12193:2008. Razsvetljava – Razsvetljava športnih objektov.

[17] Doljak, M. 2015. Pogovor o obisku PCL, osebna komunikacija.

[18] Szokolay, S.V. 2008. Introduction to Architectural Science. The Basis of Sustainable Design. 2. izdaja, Amsterdam idr., Elsevier: 345 str.

[19] Oštir, K., Podobnikar, T., Zakšek, K., Radovan, D. 2003. Osončenost površja Slovenije. Geodetski vestnik 47, 1/2; 55-63.

<http://www.dlib.si/?URN=URN:NBN:SI:DOC-2509WFGG> (Pridobljeno 24. 4. 2015.)

[20] Science Direct, 2015. Iskanje literature na temo »retinal ganglion cells«

http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=-777466351&_sort=r&_st=4&md5=0d3f496fe2073ad97a848d6b9a0cd37e&searchtype=a

(Pridobljeno 23. 4. 2015.)

[21] Berson, D., Dunn, F. A., Takao, M. 2002. Phototransduction by retinal ganglion cells that set the circadian clock. American Journal of Ophthalmology 134, 1; 154.

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0002939402015519> (Pridobljeno 24. 4. 2015.)

[22] Science Direct, 2015. Iskanje literature na temo »visual effects of light«

http://www.sciencedirect.com/science?_ob=ArticleListURL&_method=list&_ArticleListID=-777164167&_sort=r&_st=13&view=c&md5=6f0d3d2835a4574e30ada490382f72ae&searchtype=a (Pridobljeno 23. 4. 2015.)

[23] Sahin, L., Wood, B. M., Plitnick, B., Figueiro, M. G. 2014. Daytime light exposure: Effects on biomarkers, measures of alertness and performance. Behavioural Brain Research 274; 176-185.

[doi:10.1016/j.bbr.2014.08.017](https://doi.org/10.1016/j.bbr.2014.08.017)

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166432814005294> (Pridobljeno 5. 3. 2015.)

[24] Koshiba, M., Senoo, A., Karino, G., Ozawa, S., Tanaka, I., Honda, Y., Usui, S., Kodama, T., Mimura, K., Nakamura, S., Kunikata, T., Yamanouchi, H., Tokuno, H. 2014. Susceptible period of socio-emotional development affected by constant exposure to daylight. Neuroscience Research 93; 91-98.

[doi:10.1016/j.neures.2014.09.011](https://doi.org/10.1016/j.neures.2014.09.011)

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0168010214002223> (Pridobljeno 1. 4. 2015.)

[25] Bellia, L., Pedace, A., Barbato, G. 2013. Lighting in educational environments: An example of a complete analysis of the effects of daylight and electric light on occupants. *Building and Environment* 68; 50-65.

[doi:10.1016/j.buildenv.2013.04.005](https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.04.005)

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132313001078> (Pridobljeno 5. 3. 2015.)

[26] Cohen, Y., Peleg, E., Belkin, M., Polat, U., Solomon, A. S. 2012. Ambient illuminance, retinal dopamine release and refractive development in chicks. *Experimental Eye Research* 103; 33-40.

[doi:10.1016/j.exer.2012.08.004](https://doi.org/10.1016/j.exer.2012.08.004)

<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0014483512002497> (Pridobljeno 1.4.2015).

[27] Solaris. 2011. Študija osvetljenosti prostorov z naravno svetlobo. Forum Pod svojo streho, objavljeno 27. 10. 2011.

<http://www.podsvojostreho.net/vsebina/strani/studija-osvetljenosti-prostorov-z-naravno-svetlobo> (Pridobljeno 6. 5. 2015.)