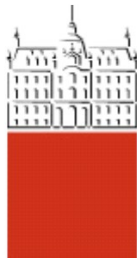


Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



MATEJA URŠIČ

**VPLIV STREŠNIH OKEN NA ENERGIJSKO BILANCO
IN DNEVNO OSVETLJEVANJE MANSARDNEGA
STANOVANJA NA TREH RAZLIČNIH LOKACIJAH**

MAGISTRSKO DELO

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI PROGRAM
DRUGE STOPNJE STAVBARSTVO**

Ljubljana, 2019

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Kandidat/-ka:

MATEJA URŠIČ

**VPLIV STREŠNIH OKEN NA ENERGIJSKO BILANCO
IN DNEVNO OSVETLJEVANJE MANSARDNEGA
STANOVANJA NA TREH RAZLIČNIH LOKACIJAH**

**INFLUENCE OF ROOF WINDOWS ON THE ENERGY
PERFORMANCE AND DAYLIGHTING OF AN ATTIC
APARTMENT AT THREE DIFFERENT LOCATIONS**

Mentor/-ica:

doc. dr. Mitja Košir

Predsednik komisije:

Član komisije:

2019

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

"Ta stran je namenoma prazna."

BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 728.1:535.612(497.4)(043.3)

Avtor: Mateja Uršič, dipl. inž. grad. (UN)

Mentor: doc. dr. Mitja Košir

Naslov: Vpliv strešnih oken na energijsko bilanco in dnevno osvetljevanje mansardnega stanovanja na treh različnih lokacijah

Tip dokumenta: Magistrsko delo

Obseg in oprema: 69 str., 23 pregl., 11 sl., 52 graf., 1 pril.

Ključne besede: energijska bilanca stavbe, energija za ogrevanje, solarni dobitki, velikost transparentnih površin, osvetljenost prostorov z dnevno svetlobo

Izvodček

Mansardna stanovanja se zaradi svoje specifične lege in oblike v večstanovanjskih stavbah razlikujejo od klasičnih stanovanj. Njihovi prostori so osvetljeni z dnevno svetlobo, ki prehaja v notranjost tudi skozi strešna okna, katerih površina vpliva tako na dnevno osvetljevanje prostorov kot tudi na energijsko bilanco stavbe. V nalogi smo določili minimalne površine transparentnih delov stavbnega ovoja v izbranem mansardnem stanovanju, ki zadostujejo zakonskim in s standardom FprEN 17037 priporočenim vrednostim za osvetljevanje stavb z dnevno svetlobo na treh različnih lokacijah. Analizo dnevnega osvetljevanja smo izdelali s programskim orodjem Velux Daylight Visualizer 3. Povprečno razmerje med površino oken in tlorisom stanovanja (*angl. WFR*) je v Ljubljani in Madridu znašalo 28 % ter v Londonu 30 %, kar je več od zakonskih zahtev glede na Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj, kjer minimalni WFR za bivalne prostore znaša 20 %. V naslednjem koraku smo s simulacijskim programom EnergyPlus izračunali energijsko bilanco stanovanja ter določili razmerje med energijsko bilanco okna in potrebno energijo za ogrevanje ali hlajenje ob upoštevanju senčenja/nesenčenja oken. S tem smo ovrednotili vpliv sončnega sevanja na energijsko bilanco stanovanja pri specifični površini transparentnega dela stavbnega ovoja. Energijska bilanca okna je definirana kot seštevek solarnih pritokov in toplotnega toka skozi okno in je na vseh treh lokacijah v juniju predstavljala med 75 in 90 % potrebne energije za hlajenje. Ob upoštevanju senčenja se je maksimalna potrebna energija zmanjšala med 62 in 77 %, kar kaže na velik vpliv senčil. Vpliv energijske bilance oken na potrebno energijo za ogrevanje je bil v Londonu in Ljubljani v času ogrevanja večinoma negativen. Pozitiven vpliv je bil viden le v spomladanskih in jesenskih mesecih, ko je moč sončnega sevanja večja in so zunanje temperature višje. V zadnjem delu naloge smo izvedli primerjavo mansardnega stanovanja z ekvivalentnim stanovanjem z ravno streho. Mansardno stanovanje se z vidika energijske bilance na vseh treh lokacijah v primerjavi z referenčnim izkaže za boljšega, kar je še posebej razvidno pri uporabi senčil. Prednost mansardnega stanovanja je vidna tako pri ekvivalentni osvetljenosti prostorov kot pri enaki velikosti oken.

"Ta stran je namenoma prazna."

BIBLIOGRAPHIC–DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 728.1:535.612(497.4)(043.3)

Author: Mateja Uršič, B.Sc.

Supervisor: Assist. Prof. Mitja Košir, Ph.D.

Title: Influence of roof windows on the energy performance and daylighting of an attic apartment at three different locations

Document type: Master thesis

Scope and tools: 69 p., 23 tab., 11 fig., 52 graph., 1 ann.

Keywords: energy balance of the building, space heating energy, heat cost allocation, apartment location, daylight illumination of rooms

Abstract

Due to their specific position and shape, attic apartments in apartment buildings differ from conventional apartments. Their rooms are illuminated by daylight, which passes indoors also through the skylights whose surface affects both the daylighting of the rooms and the energy balance of the building. In the thesis we determined the minimum surfaces of transparent parts of the building envelope in the selected attic apartment, which was sufficient according to legislation and standard FprEN 17037 recommended values for daylight lighting in three different locations. Analyses for daylighting were performed with the help of Velux Daylight Visualizer 3 software. The average window-to-floor area ratio (WFR) in Ljubljana and Madrid was 28 % and in London 30 %, which is more than legal requirements according to Codes on minimum technical requirements for construction of residential buildings and apartments, where the minimum WFR for living spaces was 20 %. In the next step we calculated the energy balance of the apartment with simulation program EnergyPlus and determined the ratio between the energy balance of the window and the required energy for heating or cooling, taking into account the shading/not shading of the windows. With this we evaluated the influence of solar radiation on the energy balance of apartment at the specific surface of the transparent part of the building envelope. The energy balance of the window is defined as the sum of solar gains and heat flow through the window and it represented between 75 and 90 % of the required cooling energy at all three locations in June. Taking into account the shading, the maximum required energy was reduced from 62 to 77 %, which indicates high impact of the shades. The influence of the energy balance of windows on the necessary energy for heating was during heating season in London and Ljubljana mostly negative. The positive effect was seen only in the spring and autumn months when the power of solar radiation is greater and the outside temperatures are higher. In the last part of the assignment, we compared the attic apartment with an equivalent flat roof apartment. The attic apartment is better in terms of energy balance in all three locations compared to the reference, which is especially evident when using the blinds. The advantage of the attic apartment is visible at the same brightness of the equivalent rooms and the same size of the windows.

"Ta stran je namenoma prazna."

ZAHVALA

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

Zahvaljujem se tudi vsem bližjim, ki so mi v času študija nudili vso podporo in me spodbujali ob nastajanju zaključnega dela.

"Ta stran je namenoma prazna."

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE	I
BIBLIOGRAFSKO–DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC–DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	V
ZAHVALA	VII
KAZALO VSEBINE	IX
KAZALO PREGLEDNIC	XI
KAZALO GRAFIKONOV	XIII
KAZALO SLIK	XVI
OKRAJŠAVE IN SIMBOLI	XVII
1 UVOD	1
1.1 Cilji in hipoteze	2
2 TEORETIČNA IZHODIŠČA	4
2.1 Osvetljevanje prostorov z naravno svetlobo	6
2.2 Toplotni odziv stavbe	6
3 ZAKONODAJA IN STANDARDI	8
3.1 Načrtovanje dnevnega osvetljevanja	8
3.2 Določitev energijskih lastnosti	10
4 METODE	12
4.1 Struktura izvedenih analiz	12
4.2 Primerjava podnebnih značilnosti izbranih lokacij	14
4.3 Opis obravnavanega mansardnega stanovanja	16
4.4 Opis ekvivalentnega stanovanja z ravno streho	19
4.5 Uporabljena programska oprema in simulacijski programi	19
4.5.1 VELUX Daylight Visualizer 3	19
4.5.2 EnergyPlus in OpenStudio	20
4.5.3 SketchUp	20
5 REZULTATI DNEVNEGA OSVETLJEVANJA	21
5.1 Določitev velikosti zasteklitve v mansardnih prostorih z metodo KDS z upoštevanjem FprEN 17037 in PTZGSS	21
5.1.1 Prostor P1	22
5.1.2 Osvetljenost prostora P1 na spomladansko enakonočje (21. 3.)	25
5.1.3 Prostor P4	26
5.1.4 Prostor P6	29
5.1.5 Združeni rezultati KDS za mansardno stanovanje	34
5.2 Primerjava osvetljenosti mansardnega stanovanja z referenčnim stanovanjem z metodo KDS	37
5.2.1 Velikost zasteklitve in nivo KDS-a ob upoštevanju priporočenih vrednosti FprEN 17037 za Ljubljano in Madrid	37
5.2.2 Razporeditev rezultatov KDS-a pri enakem WFR = 20 % v P4	38
5.2.3 Zbrani rezultati zasteklitve in oken v referenčnem stanovanju	40
5.2.4 Grafična primerjava KDS mansardnega stanovanja in referenčnega stanovanja	40
6 REZULTATI ANALIZE RABE ENERGIJE	42
6.1 Vpliv energijske bilance okna (EBW) na potrebno energijo za ogrevanje in hlajenje	42
6.1.1 Mansardno stanovanje brez upoštevanja senčenja	42
6.1.2 Mansardno stanovanje s senčenjem	46
6.2 Vpliv velikosti zasteklitve in senčenja na energijsko bilanco mansardnega stanovanja v Ljubljani	49
6.2.1 Potrebna energija za ogrevanje v prostorih P1–P6	50
6.2.2 Potrebna energija za hlajenje v prostorih P1–P6	52
7 PRIMERJAVA MED LETNO ENERGIJSKO BILANCO MANSARDNEGA IN REFERENČNEGA STANOVANJA	55
7.1 Primerjava energijske bilance stanovanja glede na lokacijo	55
7.1.1 Potrebna energija za ogrevanje	55
7.1.2 Potrebna energija za hlajenje	57

7.1.3	Kumulativna raba energije ($Q_{NH} + Q_{NC}$)	58
7.2	<i>Energijska bilanca mansardnega in referenčnega stanovanja pri enaki velikosti oken</i>	60
8	ZAKLJUČEK	63
VIRI		66

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Refleksijski koeficienti površin [10]	8
Preglednica 2: Priporočila za zagotavljanje dnevne svetlobe pri vertikalnih in nagnjenih svetlobnih odprtinah z metodo določanja osvetljenosti [10]	9
Preglednica 3: Vrednosti KDS-a za preseganje nivoja osvetljenosti 300 in 500 lx v 50 % dnevnih ur v treh izbranih mestih [10]	9
Preglednica 4: Maksimalna dopustna toplotna prehodnost materiala za toplotno izolacijo $U_{\max}$ [W/m ² K] [23]	10
Preglednica 5: Geografske značilnosti izbranih mest.....	14
Preglednica 6: Konstrukcijski sklopi v mansardnem stanovanju	17
Preglednica 7: Velikost tlorisne površine prostorov [m ²]	18
Preglednica 8: Lastnosti zasteklitve [35].....	18
Preglednica 9: Konstrukcijski sklop ravne strehe v ekvivalentnem stanovanju.....	19
Preglednica 10: Rezultati analize v prostoru P1	22
Preglednica 11: Osvetljenost delovne površine v CIE jasnem in oblačnem tipu neba pri severno orientiranem oknu na treh lokacijah.....	25
Preglednica 12: Grafični prikaz osvetljenost delovne ravnine, Ljubljana, 21. 3. ob 12.00, CIE jasno nebo	26
Preglednica 13: Rezultati analize v prostoru P4.....	27
Preglednica 14: Prostorski prikaz rezultatov prostora P6	30
Preglednica 15: Rezultati analize v prostoru P6.....	31
Preglednica 16: Pokritosti delovne površine nad minimalnim KDS-om, določenim glede na standard35	
Preglednica 17: Rezultati velikosti oken in zasteklitev vseh prostorov v mansardnem stanovanju, določenih po metodi KDS	35
Preglednica 18: Površina zasteklitve in okna v P4; WFR = 20 %	38
Preglednica 19: Vrednosti KDS na delovni ravnini v prostoru P4 pri mansardnem stanovanju in stanovanju z ravno streho	39
Preglednica 20: Površine zasteklitve in oken v referenčnem stanovanju.....	40
Preglednica 21: Grafični prikaz dnevne osvetljenosti vseh prostorov v obeh tipih stanovanja glede na robne pogoje.....	41
Preglednica 22: Količnik EBW in potrebne energije za ogrevanje μ_h in hlajenje μ_c	44

Preglednica 23: Količnik EBW in potrebne energije za ogrevanje μ_H [] in hlajenje μ_c [] ob upoštevanju senčenja stanovanja	47
---	----

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Najvišje in najnižje povprečne dnevne temperature zraka v Madridu, Ljubljani in Londonu in temperature notranjega zraka T_n [°C] v času hlajenja in ogrevanja [28].....	15
Grafikon 2: Odstotek časa, ko je nebo jasno, delno jasno ali delno oblačno; ko je manj kot 60 % neba prekrita z oblaki [28]	16
Grafikon 3: Globalno horizontalno sončno sevanje na kvadratni meter horizontalne površine, ki doseže izbrano lokacijo [34]	16
Grafikon 4: KDS [%] za P1, velikost zasteklitve: 2 x 0,8 x 1,4 m (Ljubljana, Madrid)	23
Grafikon 5: Prečni prerez na razdalji 1,9 m dolžine delovne ravnine v P1, prikaz KDS-a.....	24
Grafikon 6: Relativna razlika [%] KDS-a med Ljubljano in Londonom v P1	24
Grafikon 7: Relativna razlika [%] v KDS med Ljubljano in PTZGSS v P1	25
Grafikon 8: Nivo osvetljenost delovne ravnine pri zahodno, vzhodno in južno orientiranem oknu na treh lokacijah	26
Grafikon 9: KDS [%] za P4, velikost zasteklitve: 2 x 0,8 x 1,45 m (Ljubljana, Madrid)	28
Grafikon 10: Prečni prerez na razdalji 1,4 m dolžine delovne ravnine v P4, prikaz KDS-a za tri vrednosti WFR-ja.....	28
Grafikon 11: Relativna razlika [%] KDS-a med Ljubljano in Londonom v P4	29
Grafikon 12: Relativna razlika [%] KDS-a med Ljubljano in PTZGSS v P4	29
Grafikon 13: KDS [%] za P6, velikost oken: 2 x 0,9 x 1,2 m, 2 x 0,9 x 0,4 m, 2,2 x 1,8 m, 2,6 x 0,4 m (Ljubljana, Madrid)	32
Grafikon 14: Prečni prerez na razdalji 3,5 m dolžine delovne ravnine v P6, prikaz KDS-a za tri vrednosti WFR-ja.....	32
Grafikon 15: Prečni prerez po dolžini delovne ravnine na razdalji 6,6 m v P6, prikaz KDS-a za tri vrednosti WFR-ja	33
Grafikon 16: Relativna razlika [%] med KDS-om v P6 za Ljubljano in Madrid ter Londonom	33
Grafikon 17: Relativna razlika v KDS-u za P6 med zasteklitvijo za Ljubljano in London ter PTZGSS v %	34
Grafikon 18: Višina zasteklitve in WFR-faktor za prostore P1–P5, določene glede na FprEN 17037 (Ljubljana in Madrid).....	36
Grafikon 19: Površina zasteklitve v prostorih P1, P4 in P6 ob upoštevanju FprEN 17037 (Ljubljana, Madrid) za mansardo in njegovo referenčno stanovanje.....	37
Grafikon 20: Rezultati KDS_{avg} in KDS_{med} v prostorih P1, P4 in P6 za mansardno in referenčno stanovanje ob upoštevanju FprEN 17037 (Ljubljana, Madrid)	38

Grafikon 21: Potrebna energija za hlajenje, ogrevanje in EBW za mesto Ljubljana [kWh]	45
Grafikon 22: Potrebna energija za hlajenje, ogrevanje in EBW za mesto Madrid [kWh].....	45
Grafikon 23: Potrebna energija za hlajenje, ogrevanje in EBW za mesto London [kWh]	46
Grafikon 24: Potrebna energija za hlajenje, ogrevanje in EBW za mesto Ljubljana; senčenje [kWh] .	48
Grafikon 25: Potrebna energija za hlajenje, ogrevanje in EBW za mesto Madrid; senčenje [kWh].....	49
Grafikon 26: Potrebna energija za hlajenje, ogrevanje in EBW za mesto London; senčenje [kWh]	49
Grafikon 27: Potrebna energija za ogrevanje v P1 pri WFR = 20 % in WFR = 26 % z in brez upoštevanja senčenja	51
Grafikon 28: Potrebna energija za ogrevanje v P6 pri WFR = 20 % in WFR = 33 % z in brez upoštevanja senčenja	51
Grafikon 29: Potrebna energija za ogrevanje v P2 pri WFR = 20 % in WFR = 29 % z in brez upoštevanja senčenja	51
Grafikon 30: Potrebna energija za ogrevanje v P3 pri WFR = 20 % in WFR = 25 % z in brez upoštevanja senčenja	51
Grafikon 31: Potrebna energija za ogrevanje v P4 pri WFR = 20 % in WFR = 25 % z in brez upoštevanja senčenja	52
Grafikon 32: Potrebna energija za ogrevanje v P5 pri WFR = 20 % in WFR = 31 % z in brez upoštevanja senčenja	52
Grafikon 33: Potrebna energija za hlajenje v P1 pri WFR = 20 % in WFR = 26 % z in brez upoštevanja senčenja	53
Grafikon 34: Potrebna energija za hlajenje v P6 pri WFR = 20 % in WFR = 33 % z in brez upoštevanja senčenja	53
Grafikon 35: Potrebna energija za hlajenje v P2 pri WFR = 20 % in WFR = 29 % z in brez upoštevanja senčenja	54
Grafikon 36: Potrebna energija za hlajenje v P3 pri WFR = 20 % in WFR = 25 % z in brez upoštevanja senčenja	54
Grafikon 37: Potrebna energija za hlajenje v P4 pri WFR = 20 % in WFR = 25 % z in brez upoštevanja senčenja	54
Grafikon 38: Potrebna energija za hlajenje v P5 pri WFR = 21 % in WFR = 31 % z in brez upoštevanja senčenja	54
Grafikon 39: Letna potrebna energija za ogrevanje v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Ljubljani	55
Grafikon 40: Letna potrebna energija za ogrevanje v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Madridu	56

Grafikon 41: Letna potrebna energija za ogrevanje v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Londonu	56
Grafikon 42: Letna potrebna energija za hlajenje v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Ljubljani	57
Grafikon 43: Letna potrebna energija za hlajenje v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Madridu	58
Grafikon 44: Letna potrebna energija za hlajenje v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Londonu	58
Grafikon 45: Letna kumulativna raba energije ($Q_{NH} + Q_{NC}$) v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Ljubljani	59
Grafikon 46: Letna kumulativna raba energije ($Q_{NH} + Q_{NC}$) v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Londonu	59
Grafikon 47: Letna kumulativna raba energije ($Q_{NH} + Q_{NC}$) v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Madridu	60
Grafikon 48: Letna potrebna energija za ogrevanje v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Ljubljani; WFR = 20 %.....	61
Grafikon 49: Letna potrebna energija za hlajenje v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Ljubljani; WFR = 20 %.....	61
Grafikon 50: Letna kumulativna raba energije ($Q_{NH} + Q_{NC}$) v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Ljubljani (WFR = 20 %)	61
Grafikon 51: Letni toplotni dobitki skozi okna v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Ljubljani; WFR = 20 %.....	62
Grafikon 52: Letne toplotne izgube skozi okna v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Ljubljani; WFR = 20 %.....	62

KAZALO SLIK

Slika 1: Porazdelitev izsevane energije po valovnih dolžinah za sončno (levo) in terestrično sevanje (desno) [16]	4
Slika 2: Absorbirano sončno sevanje generira toploto, ki je nato prerazporejena v obliki dolgovalovnega sevanja, konvekcije in kondukcije [17]	5
Slika 3: Osvetljenost z direktnim, difuznim in odbitim svetlobnim tokom [15]	5
Slika 4: Energijska bilanca toplotnih izgub in toplotnih dobitkov v stavbi v obdobju ogrevanja	7
Slika 5: Metodološka struktura analiz	13
Slika 6: Prikaz izbranih mest na zemljevidu Evrope [33]	14
Slika 7: Tloris in prostorski prikaz mansardnega stanovanja	17
Slika 8: Prostorski prikaz stanovanja z ravno streho	19
Slika 9: Prostorski prikaz prostora P1 z zasteklitvijo 2 x 0,8 x 1,4 m (levo) in prečni prerez P1 skozi zasteklitev ob treh robnih pogojih (desno)	22
Slika 10: Prostorski prikaz prostora P1 z zasteklitvijo 2 x 0,8 x 1,45 m in prečni prerez P4 skozi zasteklitev ob treh robnih pogojih	27
Slika 11: Prečni prerez skozi zasteklitev v P4	39

OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

AB-plošča	armiranobetonska plošča
EBW	energijska bilanca oken
EPS	ekspandirani polistiren
KDS	količnik dnevne svetlobe, <i>ang. Daylight factor – DF</i>
KS	konstrukcijski sklop
Low-E	nizkoemisijski nanos na steklu
PTZGSS	Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj
Q_{NH}	potrebna energija za ogrevanje stavbe
Q_{NC}	potrebna energija za hlajenje stavbe
TI	toplotna izolacija
TSG 4	Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije
WFR	razmerje med površino okna in tlorisno površino prostora, <i>ang. window-to-floor area ratio</i>
XPS	ekstrudirani polistiren

"Ta stran je namenoma prazna."

1 UVOD

Sonce je mnogo več kot samo vir energije. Brez njega si življenja na našem planetu ne bi mogli predstavljati. Energija, ki jo sonce oddaja, predstavlja ogromen potencial, ki ga lahko izkoriščamo na več načinov, kot na primer za proizvodnjo električne energije, ogrevanje vode in mnogo drugih. Pri gradnji stavb lahko to energijo izkoriščamo s primernim načrtovanjem dimenzij in razporeditvijo transparentnih površin, pri čemer moramo upoštevati svetlobno ugodje, kar pomeni, da moramo zagotoviti zadostno količino dnevne svetlobe.

Količina dnevne svetlobe bistveno vpliva na zdravje in počutje človeka, kar potrjujejo številne raziskave. Izpostavljenost dnevni svetlobi izboljšuje počutje, pozornost, možgansko aktivnost in produktivnost [1]. Ker v razvitem svetu ljudje v povprečju preživimo kar 90 % svojega časa v notranjih prostorih [2], je bistvenega pomena, da so stavbe načrtovane tako, da kljub takšnemu načinu življenja zadostimo našim potrebam po dnevni svetlobi. To lahko dosežemo z načrtovanjem transparentnega dela stavbnega ovoja, ki uporabnikom omogoča primerno interakcijo z zunanostjo in zadostno osvetljenost z dnevno svetlobo.

V današnjem času je vpliv sončnega sevanja kljub pozitivnemu vplivu na zdravje in storilnost najpogosteje upoštevan z vidika vizualnega ugodja, redkeje pa se upoštevata biološki in estetski vidik [3].

Pomembnost dnevne svetlobe na počutje so potrdili v raziskavi na Nizozemskem [3], kjer so preučevali dolgoročen vpliv na obnašanje ljudi v pisarnah z naravno in umetno svetlobo. Ugotovili so, da večini ljudi bolj ustreza dnevni svetlobni cikel kot konstantna svetloba. Prav tako rezultati kažejo, da se nivo osvetljenosti za doseganje bioloških potreb močno razlikuje od nivoja za doseganje vizualnih. V Kitajski študiji, ki jo je izvedel Peng Xue s sodelavci, so z anketnimi vprašalniki raziskovali vpliv nivoja osvetljenosti na svetlobno ugodje in uporabo umetne svetlobe v stanovanjskih stavbah. Analiza odgovorov je pokazala, da je za svetlobno ugodje dnevna svetloba bistvenega pomena in je ni možno učinkovito nadomestiti z umetno svetlobo [4].

Poleg želje po doseganju optimalnega udobja v stavbi z vidika dnevne osvetljenosti je treba upoštevati tudi človeški vpliv na naravo in okolje. V letu 2015 so v Evropi gospodinjstva porabila kar 25 % vse primarne energije [5], kar pa ob rabi neobnovljivih virov energije bistveno povečuje onesnaženje planeta. Kot smo že omenili, je eden od načinov za zmanjšanje te porabe izkoriščanje solarne energije. Zanima nas, kako in v kolikšni meri lahko le-ta vpliva na energijsko bilanco stavbe. V argentinski raziskavi so dokazali, da na lokacijah z mrzlim do zmernim podnebjem v prostorih, ki nimajo severno orientirane fasade, lahko z implementacijo solarno pasivnih strategij močno zmanjšamo potrebno energijo za ogrevanje, prezračevanje in umetno razsvetljavo. Prihranek energije zaradi sončnega sevanja je brez upoštevanja meseca decembra in januarja pri strešnih oknih z 10° naklonom v povprečju znašal 38 %, pri strešnih svetlobnikih pa 41 %. Velikost oken je predstavljala 9 % tlorisne površine [6]. V italijanski raziskavi je Pellegrino s sodelavci [7] obravnavala toplotni odziv stavbe ob sočasni analizi dnevne svetlobe. Raziskovali so odnos med lastnostmi stavbe, notranjo osvetljenostjo z dnevno svetlobo, potrebno energijo za umetno razsvetljavo in skupno rabo energije za ogrevanje, hlajenje in umetno razsvetljavo. Predmet obravnave je bil prostor z eno zunanjo steno, ki je predstavljal pisarno, locirano na severu Italije. Uporabljena je bila dinamična analiza osvetljenosti sDA (Spatial Daylight Autonomy) ob uporabi senčenja s sistemom vodenja vklop/izklop ali svetlobno odzivnega kontrolnega sistema. Dokazali so, da kontrolni sistem umetne razsvetljave, ki spremlja nivo osvetljenosti v primerjavi z vklop/izklop sistemom, zmanjša rabo energije za umetno razsvetljavo za 42 %. Z naravnim osvetljevanjem se lahko močno zmanjša tudi električna energija za osvetljevanje industrijskih objektov. V primeru kitajske raziskave, izvedene v Tjandžu, kjer so bile uporabljene tri vrste strešnih oken, so le-

ta pripomogla k zmanjšanju rabe električne energije za umetno razsvetljavo za 36 % pri uporabi vklop/izklop sistema in 41 % pri uporabi svetlobno občutljivega kontrolnega sistema [8].

Na pomembnost zagotavljanja primerne osvetljenosti prostorov z dnevno svetlobo so opozorili tudi v raziskavi, ki jo je opravil Košir s sodelavci [9]. Če se temu ne posveča dovolj pozornosti, lahko uporaba energije za umetno razsvetljavo postane prevladujoča komponenta v celotni rabi energije poslovne stavbe.

V večini omenjenih raziskav se ukvarjajo z delovnimi prostori, kjer je pomembna primerna osvetljenost z dnevno svetlobo predvsem v delovnem času, navadno od 8.00 do 16.00. Kakšen pa je vpliv strešnih oken na notranjo osvetljenost in energijsko bilanco enodružinskega mansardnega stanovanja, kjer se uporabniki zadržujejo preostanek dneva? Predvsem nas zanima, kakšen je ob doseganju primerne notranje osvetljenosti, ki določa potrebno velikost strešnih oken, vpliv na energijsko bilanco stanovanja. Ker je količina sončnega sevanja odvisna tudi od lastnosti podnebja in geografske širine lokacije, bomo analizirali stanovanja v Ljubljani, Londonu in Madridu. Potrebno velikost oken bomo določili glede na osnutek standarda FprEN 17037 [10] in glede na Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj [11]. Za dobljene velikosti bomo preverili vpliv na energijsko bilanco stanovanja. Upoštevali bomo okna z ali brez senčil. Na koncu bomo izvedli še primerjavo s stanovanjem z ravno streho z vertikalnimi okni.

1.1 Cilji in hipoteze

Dva glavna cilja naloge sta določitev primerne osvetljenosti prostorov z dnevno svetlobo v izbranem mansardnem stanovanju na treh različnih lokacijah in sočasna določitev velikosti solarnih dobitkov, ki vplivajo na energijsko bilanco stanovanja. S tem želimo preveriti, v kolikšni meri bi lahko s pravilnim načrtovanjem transparentnega stavbnega ovoja v mansardnih stanovanjih na določeni lokaciji s prejetimi solarnimi dobitki zmanjšali rabo energije za ogrevanje in hlajenje. V prvem delu naloge bomo s pomočjo primerne programskega orodja in ob upoštevanju osnutka novega standarda za dnevno osvetljenost stavb FprEN 17037 [10] ter Pravilnika o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj [11] na treh lokacijah določili minimalne velikosti strešnih transparentnih površin ter transparentnih površin v stanovanju z ravno streho. Količina sončnega sevanja na danem območju je namreč med drugim odvisna od geografske širine lokacije in lastnosti podnebja. Zato želimo preveriti, kolikšna bo razlika v velikosti zasteklitve v odvisnosti od lokacije. V drugem delu naloge bomo z naprednima programskima orodjema EnergyPlus in OpenStudio [12] izračunali solarne dobitke in izgube energije skozi okna ter energijsko bilanco posameznih prostorov ter celotnega stanovanja. Glede na pridobljene rezultate bomo tako lahko na posamezni lokaciji določili primerne energijske ukrepe. Za konec bomo obravnavano mansardno stanovanje primerjali z referenčnim primerno dnevno osvetljenim stanovanjem z ravno streho. S tem bomo preverili vpliv geometrije stavbnega ovoja na dnevno osvetljevanje in energijsko bilanco stavbe. Predvidevamo namreč, da bo v referenčnem stanovanju potrebna za enako osvetljenost prostorov veliko večja površina zasteklitve ter da bodo solarni dobitki skozi strešna okna v zimskem času v večji meri zmanjševali potrebno energijo za ogrevanje, medtem ko bodo v poletnem brez primerne senčenja močno povečevali potrebno energijo za hlajenje. Predvidevamo, da bo s primernim senčenjem stanovanj raba energije za hlajenje v obeh primerih najverjetneje veliko manjša, najbolj v mestu z najbolj toplim podnebjem (Madrid).

V sklopu tega magistrskega dela bomo z analizami preverili naslednje delovne hipoteze:

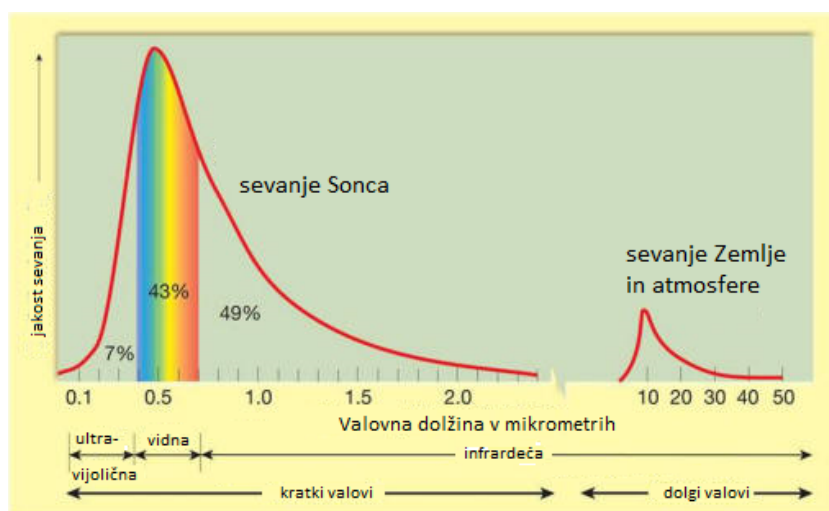
1. Stavbe na lokacijah, ki so bolj oddaljene od ekvatorja, za primerljivo osvetljenost v prostoru potrebujejo večje transparentne površine. V referenčnem stanovanju z ravno streho bodo potrebne večje površine zasteklitve kot v mansardnem stanovanju.

2. Solarni dobitki v zimskem času na izbranih lokacijah zmanjšujejo potrebno energijo za ogrevanje ter povečujejo rabo energije za hlajenje v poletnem času. Z uporabo zunanjih senčil se raba energije za hlajenje močno zmanjša.
3. Mansardno stanovanje s primerljivo osvetljenostjo notranjih prostorov bo imelo bolj ugodno (nižjo) energijsko bilanco za ogrevanje in hlajenje kot referenčno stanovanje z ravno streho in vertikalnimi okni.

2 TEORETIČNA IZHODIŠČA

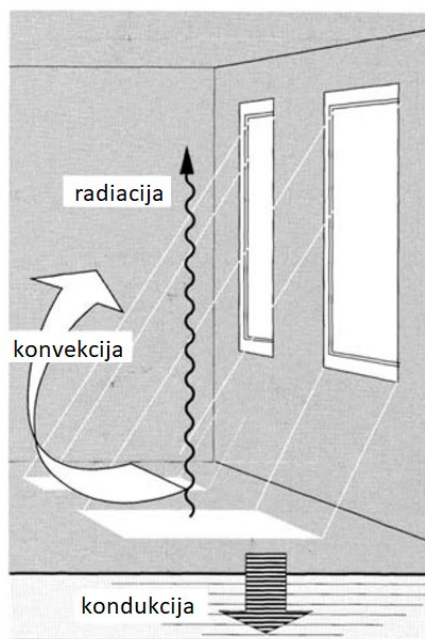
V tem poglavju bomo na kratko predstavili osnovne značilnosti in procese, povezane z delovanjem Sonca, ki vplivajo na dnevno osvetljevanje prostorov v stavbi in potrebno energijo za ogrevanje in hlajenje stavbe.

Sončno sevanje je elektromagnetno valovanje, ki ga oddaja zvezda Sonce. Sestava solarnega spektra, ki pade na zemljo, je sestavljena iz 49 % infrardečega (IR) dela, 43 % vidne svetlobe in 7 % ultravijolične (UV) svetlobe, kot prikazuje slika 1. Vidna svetloba omogoča našim očem zaznavanje okolja okoli nas, medtem ko IR-sevanje s fizikalnimi procesi povečuje toploto teles. Količina sončnega sevanja, ki doseže Zemljino površino, je močno odvisna od geografske širine, časa v dnevu in letu, pokritosti z oblaki, prisotnosti meglic in onesnaženostjo zraka [13]. Sončno sevanje na kateri koli lokaciji na Zemlji je v izbranem dnevu (datumu) v letu najmočnejše ob sončnem poldnevu, saj je takrat (trenutni) višinski kot Sonca, ki se spreminja v odvisnosti od časa v dnevu, največji. Imenuje se opoldanski višinski kot Sonca. Odvisen je od lege kraja na Zemlji oziroma od zemljepisne širine tega kraja in deklinacije Sonca (δ), ki se spreminja med skrajnima vrednostma $+23,5^\circ$ in $-23,5^\circ$ od lege v času enakonočja in na severni polobli označuje začetek poletja (poletni solsticij) in začetek zime (zimski solsticij) [14]. V Sloveniji sta mejna višinska kota Sonca ob sončnem poldnevu $20,5^\circ$ ob zimskem solsticiju in $67,4^\circ$ ob poletnem solsticiju [15].



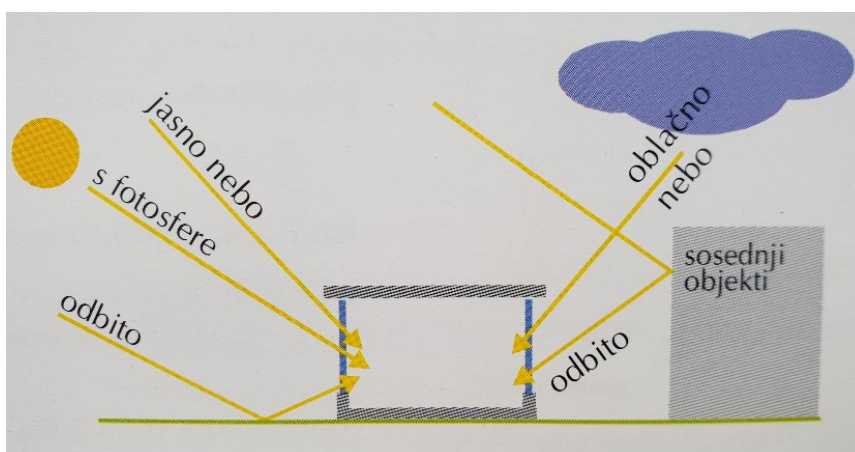
Slika 1: Porazdelitev izsevane energije po valovnih dolžinah za sončno (levo) in terestrično sevanje (desno) [16]

Za transparentne gradbene konstrukcije je značilno, da se sončno sevanje delno absorbira v slojih gradbene konstrukcije in spreminja v toploto. Pretežni del kratkovalovnega sončnega sevanja prehaja skozi zasteklitev, kar omogoča naravno ogrevanje in osvetlitev stavb. Medtem ko dolgovalovno toplotno sevanje skozi snovi, kot je steklo, ne prehaja [15]. Temperatura notranjega zraka v stavbah je indirektno odvisna od sončnega sevanja, ki prehaja v prostor skozi transparentne površine. To sevanje s procesi prevajanja toplote s kondukcijo, konvekcijo in radiacijo preko segretyh površin v prostoru segreva prostor, kot je prikazano na sliki 2 [17].



Slika 2: Absorbirano sončno sevanje generira toploto, ki je nato prerazporejena v obliki dolgovalovnega sevanja, konvekcije in kondukcije [17]

Sončno sevanje se v ozračju pojavlja v dveh oblikah, in sicer kot direktno in razpršeno ali difuzno sevanje. Direktno sevanje pride do tal direktno, medtem ko difuzno sevanje pride do tal po sipanju na molekulah zraka, na prahu in oblačnih delcih [16]. Poleg tega se svetlobni tok na osvetljeno površino lahko prenaša z odboji od naravnih in grajenih površin v okolici. Prispevek vseh treh virov svetlobnega toka se seštevata. Okolje in prostori v stavbah so tako osvetljeni z direktnim, difuznim in odbitim svetlobnim tokom, kot je prikazano na sliki 3 [15].



Slika 3: Osvetljenost z direktnim, difuznim in odbitim svetlobnim tokom [15]

Prehod svetlobe skozi snovi je odvisen od njihovih optičnih lastnosti. Za neprozorne snovi velja, da se svetlobni tok na površini delno odbije, delno absorbira in spremeni v toploto. Pri prozornih snoveh se del svetlobnega toka prenese skozi snov, kar opisujemo s transmisivnostjo za sončno sevanje τ_s in jo navajamo kot relativno vrednost od 0 do 1. Transmisivnost za vidni del sončnega sevanja označujemo s τ_{viz} . S posebnimi nanosi lahko ob ohranitvi prehoda vidne svetlobe zmanjšamo prehod IR-sončnega sevanja, zato se transmisivnost τ_s in τ_{viz} lahko močno razlikujeta med seboj. Poleg τ_s lahko pri navajanju lastnosti zasteklitve zasledimo tudi faktor g , ki se od prvega razlikuje po tem, da vsebuje sekundarno radiacijo zaradi absorpcije toplote v snovi [15]. Prenos toplote skozi transparentni del stavbnega ovoja je odvisen od toplotne prehodnosti zasteklitve U_s . Celotna toplotna prehodnost okna je odvisna od toplotne prehodnosti posameznih delov. Ločiti moramo toplotno prehodnost zasteklitve in toplotno

prehodnost okvirja z distančnikom. Celoten toplotni tok, ki prehaja v prostor skozi transparentni del okna, je odvisen od transmisivnosti stekla ter konvekcijskega, konducijskega in sevalnega toplotnega toka skozi zasteklitev, ki vsebuje minimalno dve stekli in medstekelni prostor [15]. Zasteklitve z nižjo toplotno prehodnostjo U_s so navadno sestavljene z večjega števila stekel (troslojna zasteklitve itd.) in z dodanimi nizkoemisivnimi (Low-E) nanosi, ki izboljšujejo energijske lastnosti zasteklitve. Večanje količine stekel in dodajanje Low-E nanosov pa zmanjšuje transmisivnost zasteklitve in posledično je prehod sončne energije v prostor nižji.

2.1 Osvetljevanje prostorov z naravno svetlobo

Porazdelitev svetlosti neba je odvisna od vremenskih razmer in podnebja in se v dnevnem času spreminja v odvisnosti od položaja Sonca. V Mednarodni komisiji za razsvetljavo (CIE – Commission Internationale de 'Eclairage) so leta 1996 objavili Standard CIE S003: prostorska porazdelitev dnevne svetlobe – CIE standard oblačno in jasno nebo. Od takrat so bili preučeni še drugi tipi neba, ki so dosegli mednarodno soglasje o njegovi porazdeljenosti svetlosti in bili standardizirani. Leta 2003 je bil sprejet nov standard CIE S 011/E:2003 (ISO 15469:2004): Prostorska porazdelitev dnevne svetlobe – CIE standardno nebo, v katerem je opisano 15 glavnih tipov standardnega neba za izračun dnevnega osvetljevanja [18]. V tej nalogi smo obravnavali dva izmed CIE tipov neba, in sicer CIE jasno in CIE oblačno nebo. Svetlost standardnega CIE jasnega neba je največja v smeri proti Soncu, medtem ko je najtemnejša na nasprotni strani. Za CIE oblačno nebo je značilno, da je svetlost zenita trikrat večja od svetlosti točk na horizontu, pri tem pa je prisotna le difuzna komponenta sončnega sevanja [15]. V odvisnosti od vrste neba se tako spreminja prisotnost direktne in difuzne svetlobe. CIE oblačno nebo uporabljamo pri določevanju količnika dnevne svetlobe KDS (angl. Daylight factor – DF). KDS [%] je razmerje med osvetljenostjo delovne površine v prostoru in osvetljenostjo zunanje vodoravne nesenčene ravnine pri 5000 lx, izraženo v odstotkih. Ker pri oblačnem nebu svetlost točk na nebu ni odvisna od nebesne usmeritve, nivo osvetljenosti prostora ni odvisen od azimutalne orientacije oken, je pa odvisen od nagnjenosti oken, zato so prostori s strešnimi okni bolje osvetljeni pri oblačnem tipu neba kot vertikalna okna [15].

2.2 Toplotni odziv stavbe

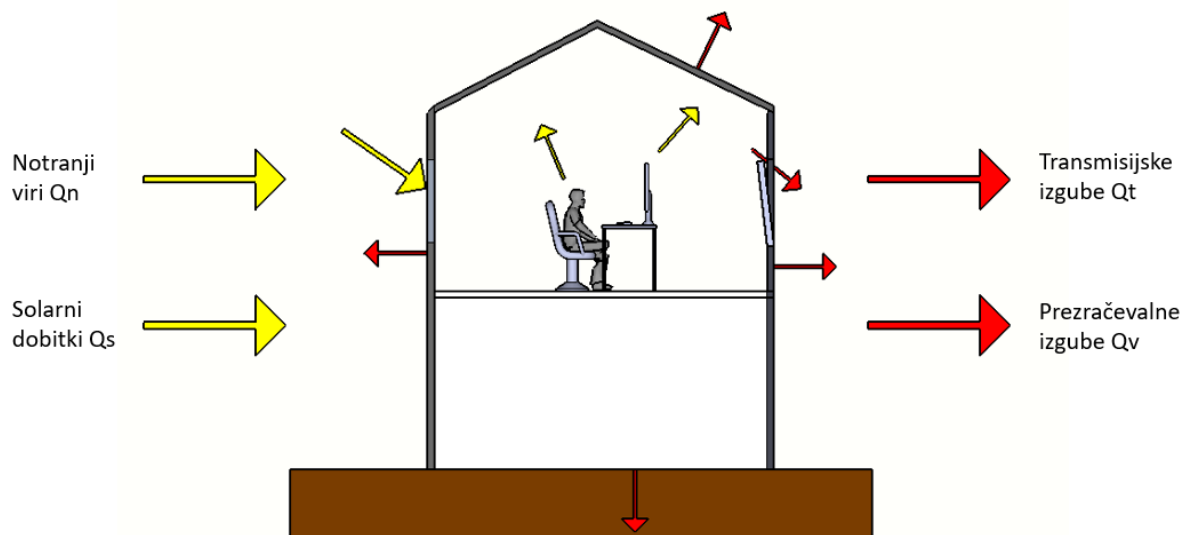
Glavne energijske pritoke in izgube sestavljajo transmisijske toplotne izgube Q_t [kWh], prezračevalne izgube Q_v [kWh], notranji viri toplote Q_n [kWh] ter dobitki sončnega sevanja Q_s [kWh], kot je prikazano na sliki 4. V primeru, ko je toplotnih izgub več, kot je toplotnih dobitkov, kar se navadno pojavi v hladnem obdobju leta, je treba manjkajočo toplotno energijo dovesti v sistem z ogrevalnim sistemom, kadar pa je toplotnih dobitkov preveč, je treba stavbo hladiti. Če je vsota energijskih izgub in dobitkov enaka 0, govorimo o t. i. energijskem ravnovesju, kjer stavbi ni treba dovajati energije za hlajenje (Q_{NC}) ali ogrevanje (Q_{NH}).

Toplotne izgube nastanejo zaradi prehajanja toplote iz notranjosti stavbe v zunanje okolje, medtem ko toplotni pritoki nastanejo pri prehodu toplote iz zunanosti v notranjost. Toplotne izgube so zaželeno zgolj v času hlajenja, medtem ko so toplotni pritoki dobrodošli v času ogrevanja. Transmisijske toplotne izgube nastanejo zaradi prehoda toplote skozi gradbene konstrukcije v zunanji prostor. Njihova velikost je odvisna od velikosti površin in toplotne prehodnosti (U-faktor) posameznih konstrukcijskih sklopov, ki mejijo na neogrevane dele stavbe, zunanji prostor ali zemljo.

Prezračevalne toplotne izgube so posledica netesnosti stavbnega ovoja in načrtovanega naravnega ali mehanskega prezračevanja. Na bivalno okolje v stavbah namreč poleg ostalih dejavnikov vpliva tudi kakovost notranjega zraka. Primerno kakovost zraka lahko dosežemo le z ustreznim prezračevanjem. Ker je temperatura zunanjega zraka v zimskem času navadno veliko nižja od temperature zraka v notranjosti, prezračevalne izgube v tem času predstavljajo dobršen del toplotnih izgub. Na trgu so se že

pojavi sodobni sistemi mehanskega prezračevanja po principu vračanja toplote oziroma rekuperacije, ki zmanjšujejo prezračevalne izgube in obenem omogočajo ugodne bivalne pogoje v stavbi [19].

Toplotne dobitke v stavbi predstavlja toplota notranjih virov, ki jo oddajajo ljudje in naprave v stavbi, in je odvisna od delovanja ljudi v notranjosti stavbe, sproščanja toplote pri delovanju električnih naprav ter razsvetljave. Dobitki sončnega sevanja nastanejo ob prehodu dnevne svetlobe skozi transparentne dele stavbnega ovoja v prostor, kjer segrevajo notranje površine, ki nato posredno ogrevajo prostor [15].



Slika 4: Energijska bilanca toplotnih izgub in toplotnih dobitkov v stavbi v obdobju ogrevanja

3 ZAKONODAJA IN STANDARDI

Pri zasnovi stavbe smo se za določitev minimalnih načrtovalskih kriterijev stavbnega ovoja oprli na trenutne zakonske zahteve in standarde. Pri načrtovanju stanovanja smo uporabili zakonodajo s področja dnevne svetlobe, učinkovite rabe energije, prezračevanja in notranjih virov.

3.1 Načrtovanje dnevnega osvetljevanja

Osnutek novega standarda za dnevno osvetljenost stavb FprEN 17037 [10], ki ga pripravlja Tehnični komite CEN/TC 169, vsebuje celostna priporočila in metode za primerno načrtovanje transparentnih delov stavbnega ovoja, s katerimi dosežemo z dnevno svetlobo primerno osvetljen prostor in posledično z vidika dnevne svetlobe primerno bivalno okolje. Na primerno osvetljenost notranjih prostorov vplivajo podnebje, zunanje ovire, material in komponente okenskih odprtín, refleksija notranjih površin in sosednjih objektov. Standard priporoča uporabo privzetih vrednosti refleksijskih koeficientov, navedenih v preglednici 1. Ker predpostavljamo, da stanovanje leži v najvišjem nadstropju stanovanjske stavbe na fiktivni mikrolokaciji, smo vpliv odboja dnevne svetlobe iz zunanjih površin eliminirali z uporabo ničelne vrednosti refleksijskega koeficienta za zunanja tla.

Preglednica 1: Refleksijski koeficienti površin [10]

Površina	Refleksijski koeficient [-]
Tla	0,2
Stene	0,5
Strop	0,7
Zunanja tla	0,0

V osnutku standarda so določeni štiri glavni kriteriji kakovostnega notranjega svetlobnega okolja:

1. primerna osvetljenost prostorov z dnevno svetlobo,
2. pogled v zunanjo svetlobo,
3. izpostavljenost direktni sončni svetlobi in
4. zaščita pred bleščanjem.

V tej nalogi smo se osredotočili na prvi in drugi kriterij kakovostnega notranjega svetlobnega okolja. Kriterij za primerno osvetljenost prostorov z dnevno svetlobo je namreč izhodiščna točka za določitev velikosti strešnih in vertikalnih svetlobnih odprtín, medtem ko s kriterijem pogleda v zunanjo svetlobo določamo maksimalno višino začetka zasteklitve in minimalno širino le-te.

Upoštevani kriterij za primerno osvetljenost prostorov z dnevno svetlobo je po metodi določanja nivoja osvetljenosti naveden v preglednici 2. Upoštevali smo srednji nivo priporočil za vertikalne in nagnjene svetlobne odprtine (označen z zeleno barvo), saj je obravnavano stanovanje namenjeno bivanju, kjer predpostavljamo, da stanovalci ne bodo opravljali izjemno zahtevnih delovnih nalog in je zato srednji nivo osvetljenosti najprimernejši. Preglednica vsebuje vrednosti minimalne ciljne osvetljenosti E_{TM} [lx] in ciljne osvetljenosti E_T [lx]. V prostoru z vertikalnimi in nagnjenimi svetlobnimi odprtinami mora biti minimalna ciljna osvetljenost E_{TM} [lx] dosežena na 95 % delovne ravnine F_{PLANE} [%], medtem ko mora biti ciljna osvetljenost E_T [lx] dosežena na 50 % delovne ravnine vsaj 50 % časa dnevnih ur v letu. Delovna ravnina se praviloma nahaja 0,85 m nad tlemi in 0,50 m od notranjega oboda prostora.

Določevanje osvetljenosti v prostoru s to metodo zahteva uporabo programskega orodja, ki izračuna nivo osvetljenosti delovne ravnine za vsak dan v letu, zato smo se odločili, da bomo določili primerno osvetljenost z metodo določitve količnika dnevne svetlobe KDS [%], ki je enakovredna metodi določitve nivoja osvetljenosti. Vrednosti v preglednici 2 namreč lahko izrazimo v obliki KDS-a [%] v odvisnosti

od minimalne ciljne osvetljenosti E_{TM} [lx] in ciljne osvetljenosti E_T [lx]. V preglednici 3 so navedene vrednosti KDS-a [%], ki smo jih uporabili za določitev minimalnih velikosti transparentnih delov okenskih odprtín v treh izbranih mestih [10].

Preglednica 2: Priporočila za zagotavljanje dnevne svetlobe pri vertikalnih in nagnjenih svetlobnih odprtínah z metodo določanja osvetljenosti [10]

Ciljna osvetljenost	Delež prostora s ciljno osvetljenostjo	Minimalna ciljna osvetljenost	Delež prostora z minimalno ciljno osvetljenostjo	Delež dnevnih ur
E_T [lx]	F_{PLANE} [%]	E_{TM} [lx]	F_{PLANE} [%]	F_{TIME} [%]
300	50	100	95	50
500	50	300	95	50
750	50	500	95	50

Preglednica 3: Vrednosti KDS-a za preseganje nivoja osvetljenosti 300 in 500 lx v 50 % dnevnih ur v treh izbranih mestih [10]

Država	Glavno mesto	Mediana zunanje difuzne osvetljenosti E_v , d, med	KDS [%] za preseganje 300 lx	KDS [%] za preseganje 500 lx
Španija	Madrid	16 900	1,8	3,0
Slovenija	Ljubljana	17 000	1,8	2,9
Velika Britanija	London	14 100	2,1	3,5

Drugi od obravnavanih kriterijev je kriterij za pogled v zunanost, ki je za nas pomemben, saj podaja informacijo o zunanjem okolju, vremenskih spremembah in času v dnevu. Treba bi ga bilo upoštevati pri vsakem načrtovanju stavbe, še posebej če uporabnik veliko časa preživi v tem prostoru. Pogled v zunanost je sestavljen iz plasti neba, pokrajine in tal. Pogled skozi steklo mora biti jaseen, nepopačen in nevtralne barve. S pomočjo kriterija za pogled v zunanost smo določili minimalno širino transparentnih delov svetlobnih odprtín. Upoštevali smo enačbi (1) in (2) [10]:

$$b_{w1} + b_{w2} > \frac{a}{2} \quad (1)$$

$$b_{w1} + b_{w2} > \frac{b}{2} \quad (2)$$

pri čemer je:

- b_{w1} širina transparentnega dela okna 1,
- b_{w2} širina transparentnega dela okna 2,
- a razdalja od fasade do najbolj oddaljenega dela uporabljenega prostora,
- b širina med notranjimi stenami ob fasadi.

Velikosti okenskih odprtín smo nato določili tudi ob upoštevanju zakonskih zahtev v slovenskem Pravilniku o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj (v nadaljnjem besedilu: PTZGSS) [11], ki ga določa Gradbeni zakon [20]. V 14. členu PTZGSS so opisane zahteve za osvetljenost stanovanj, kjer je zapisano, da je neposredna osvetljenost dosežena, če skupna površina obdelanih zidarskih odprtín (pri tem se upošteva samo tisti del odprtine, ki je več kakor 0,50 m nad gotovim podom), namenjenih osvetljevanju, dosega najmanj 20 % neto tlorisne površine teh delov stanovanja. Z drugimi besedami povedano: WFR mora znašati najmanj 20 %. Pravilnik navaja tudi zahtevo za pogled v zunanost, saj je zapisano, da mora biti najmanj ena odprtina za naravno osvetljenost prostora, ki omogoča bivanje v dnevnem času, projektirana in grajena tako, da znaša višina parapeta največ 0,90 m nad gotovim podom in omogoča pogled v zunanji prostor [11].

3.2 Določitev energijskih lastnosti

Lastnosti stavbnega ovoja so z zakonom določene v Tehnični smernici za graditev TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije (v nadaljnjem besedilu: TSG 4) [21], ki jo v slovenskem prostoru določa Pravilnik o učinkoviti rabi energije (PURES-2 2010) [22] in je obvezna za uporabo. Ker smo v nalogi želeli upoštevati strožje zahteve za netransparentne dele stavbnega ovoja, smo izbrali vrednosti, ki jih za podeljevanje subvencij uporablja Eko sklad, slovenski okoljski javni sklad [23]. V preglednici 4 so navedene maksimalne dopustne toplotne prehodnosti toplotnih izolacij (TI) $U_{\max}$ [W/m²K] za posamezne konstrukcijske sklope, ki omejujejo obravnavano stanovanje.

Preglednica 4: Maksimalna dopustna toplotna prehodnost materiala za toplotno izolacijo $U_{\max}$ [W/m²K] [23]

Gradbeni element	$U_{\max}$ [W/m ² K]
TI zunanje stene	0,25
TI ravne in poševne strehe	0,15

V TSG 4 [21] so opredeljene tudi maksimalne vrednosti toplotne prehodnosti stekla v okenskih odprtinah, in sicer ne smejo presegati toplotne prehodnosti zasteklitve $U_s = 1,1$ W/m²K. Dvoslojna okna z nizko emisijskim nanosom ter medstekelnim prostorom napolnjenim z žlahtnimi plini dosegajo te vrednosti. Toplotna prehodnost oken (steklo in okvir) v odvisnosti od materiala okvirjev ne sme presegati $U_o = 1,3$ W/m²K pri oknih z lesenim profilom, profilom iz umetne mase in s profilom iz kombinacije materialov, katerih osnova je profil iz lesa ali umetne mase oziroma $U_o = 1,6$ W/m²K pri oknih s kovinskimi okvirji. Toplotna prehodnost strešnih oken in steklenih streh ne sme presegati $U_o = 1,4$ W/m²K [21]. V nalogi smo izbrali lesena okna s toplotno prehodnostjo zasteklitve $U_s = 1,0$ W/m²K in toplotno prehodnostjo okna $U_o = 1,2$ W/m²K.

Če želimo izračunati energijsko bilanco stanovanja, moramo v izračun vključiti prezračevalne izgube. Te namreč v primeru naravnega prezračevanja močno povečujejo rabo energije za ogrevanje, v primeru mehanskega pa vplivajo na povečano rabo električne energije. V pravilniku o prezračevanju in klimatizaciji stavb [24] je zapisano, da je treba v prostorih, namenjenih za bivanje ali delo, v času prisotnosti uporabnikov dosegati minimalno volumsko izmenjavo zraka (n) 0,5 h⁻¹. V času, ko so uporabniki stanovanja prisotni, smo tako upoštevali volumsko izmenjavo zraka 0,5 h⁻¹, medtem ko smo v času odsotnosti uporabnikov upoštevali volumsko izmenjavo zraka 0,1 h⁻¹. Prisotnost uporabnikov je predstavljena v poglavju Metode.

Prav tako Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb [24] podaja priporočene vrednosti notranjih temperatur zraka za doseganje toplotnega ugodja sedeče osebe v bivalni coni, ki v času ogrevanja znašajo med 20 °C in 22 °C, v času, ko ogrevanje ni potrebno, pa je priporočljivo med 23 °C in 25 °C. Vrednosti se v veliki meri ujemajo z vrednostmi v standardu SIST EN ISO 13790 [25], ki določa minimalno notranjo temperaturo zraka pozimi 20 °C in poleti 26 °C. Izbrana notranja temperatura zraka ob prisotnosti uporabnikov v prostoru v času ogrevanja tako znaša 20 °C, medtem ko je temperatura v času hlajenja 26 °C. V času, ko uporabniki niso prisotni, znaša v obdobju ogrevanja notranja temperatura zraka 18 °C. V obdobju hlajenja se prostor ob odsotnosti uporabnikov lahko segreje do 30 °C.

Na potrebno energijo za ogrevanje in hlajenje stavbe vplivajo tudi notranji viri, ki jih sestavljajo uporabniki, svetila in električna oprema. Za določitev količine notranjih virov, ki jih predstavljajo uporabniki, smo uporabili vrednosti iz standarda SIST EN ISO 13790 [25], v katerem piše, da je povprečni toplotni tok v stanovanjskih blokih 70 W/osebo. Pri določanju maksimalne gostote svetil smo upoštevali trenutne trende in predpostavko, da v stanovanju svetila v vseh prostorih niso vseskozi prižgana. Zato znaša upoštevana maksimalna gostota svetil 4 W/m². Za velikost toplote, ki jo oddaja električna oprema, smo upoštevali 3,5 W/m².

Senčenje transparentnih delov stavbe zmanjšuje prehod sončnega sevanja v prostor. Vpliv senčenja se odraža v nižjih sončnih dobitkih in s tem v poletnem času v manjši potrebni energiji za hlajenje. Tako lahko rečemo, da senčenje pozitivno vpliva na potrebno energijo za hlajenje. V zimskem času senčenje zaradi nižjih sončnih dobitkov, ki segrevajo prostor, povečuje potrebno energijo za ogrevanje in s tem deluje negativno. Za senčenje smo uporabili zunanje žaluzije, ki so bile spuščene, ko je moč sončnega obsevanja v ravnini zasteklitve preseglo 130 W/m^2 . Vrednost je bila določena glede na slovenski standard SIST EN 15232:2012 [26]. Naklon lamel se je spreminjal v odvisnosti od vpadnega kota sončnih žarkov, in sicer tako, da je bil vstop direktne komponente sončnega sevanja preprečen. Vpliv senčenja je neodvisen od časa v letu, kar pomeni, da je senčenje lahko prisotno tudi v času ogrevanja, kar je v realnosti nezaželeno. Z upoštevanjem le-tega pa lahko prikažemo, kolikšen vpliv na potrebno energijo za ogrevanje ima sončno sevanje nad 130 W/m^2 oziroma v kolikšni meri le-ta vpliva na ogrevanje.

4 METODE

4.1 Struktura izvedenih analiz

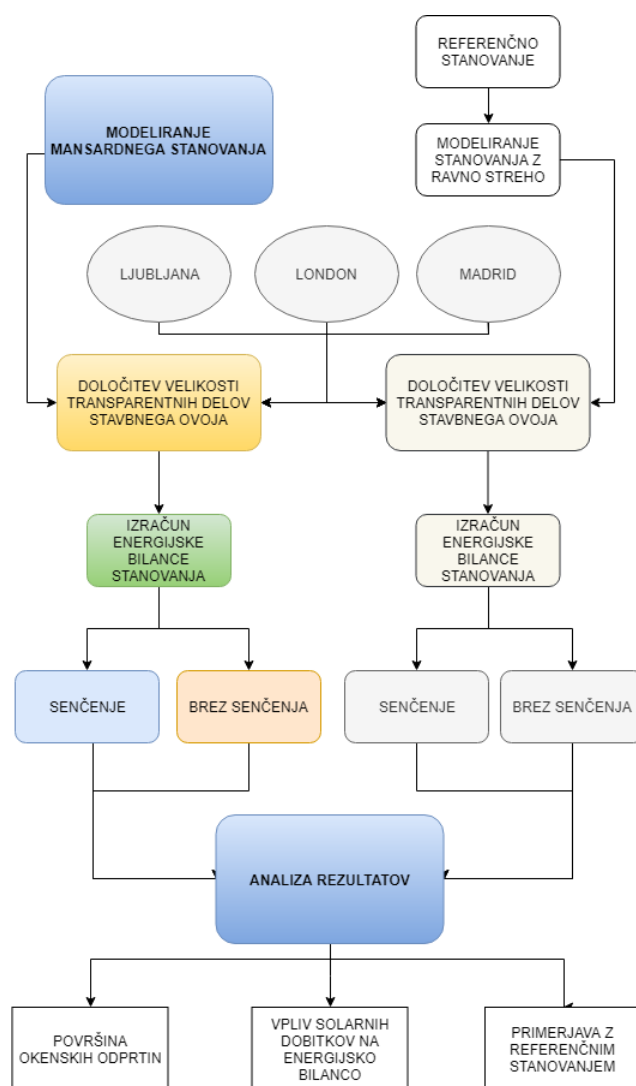
Obravnavana naloga je razdeljena na dve večji poglavji. Naša želja je namreč določitev vpliva sončnega sevanja na energijsko bilanco izbranega mansardnega stanovanja. Količina prejetega sončnega sevanja pa je odvisna od velikosti transparentnih delov stavbnega ovoja, ki narekujejo nivo osvetljenosti z dnevno svetlobo. Pred določitvijo sončnih dobitkov smo tako najprej določili primerno osvetljenost prostora, pri čemer smo se oprli na FprEN 17037. Prav tako smo določili velikosti transparentnih površin, upoštevajoč slovensko zakonodajo (PTZGSS). Ker vemo, da je količina sončnega sevanja spremenljiva v odvisnosti od geografskih in meteoroloških lastnosti lokacije, smo preverili, v kolikšni meri lokacija vpliva na velikost transparentnih delov stavbnega ovoja. Poleg Ljubljane, glavnega mesta Slovenije, smo izbrali mesto London, kjer lahko zaradi specifičnega podnebja pričakujemo potrebo po velikih transparentnih površinah in nizko rabo energije za ogrevanje in hlajenje. Tretje izbrano mesto je Madrid, v katerem glede na ostali dve mesti pričakujemo povečano potrebo po hlajenju stavbe. Zanima nas tudi, v kolikšni meri senčila vplivajo na zmanjšanje potrebne energije za hlajenje. S tem smo ovrednotili vpliv sončnega sevanja na energijsko bilanco v mansardnem stanovanju pri specifični površini transparentnega dela stavbnega ovoja. V zadnjem delu naloge smo izvedli primerjavo mansardnega stanovanja z ekvivalentnim stanovanjem z ravno streho, ki smo mu prav tako določili velikost transparentnih delov stavbnega ovoja, ki zadoščajo osnutku standarda FprEN 17037 in slovenskemu pravilniku PTZGSS. Zanima nas, katero stanovanje bo imelo nižjo energijsko bilanco v posameznem obdobju leta. Poenostavljena metodološka struktura je prikazana na sliki 3.

Za predmet obravnave smo izbrali mansardno stanovanje v večstanovanjski stavbi. V tem stanovanju smo za vsak prostor z zunanjimi transparentnimi odprtinami določili njihovo minimalno velikost na treh izbranih lokacijah. Za vsako lokacijo so v standardu FprEN 17037 [10] določeni specifični priporočeni parametri, na podlagi katerih lahko določimo velikost zasteklitve. Zasteklitev smo določili v programu VELUX Daylight Visualizer 3 (DVIZ 3) [27], v katerem je možno analizirati vrednosti KDS v vsaki točki za specifičen dan v letu, ne omogoča pa določitev nivoja osvetljenosti za 365 dni skupaj. Zato smo pri izbiri ene izmed dveh enakovrednih metod za določevanje nivoja osvetljenosti, opisanih v osnutku standarda FprEN 1703, izbrali metodo določitve količnika KDS. Pred analizo osvetljenosti v DVIZ 3 smo v programu SketchUp izrisali geometrijo vsakega izmed šestih prostorov stanovanja. Ker na nivo osvetljenost vpliva tudi oblika in debelina zunanjih sten, smo pred izrisom geometrije določili vrsto in debelino konstrukcijskih sklopov, ki omejujejo prostore v stanovanju, katere smo kasneje za analizo energijske bilance uporabili v programu EnergyPlus. Želeli smo analizirati tipično gradnjo v slovenskem okolju, zato smo za stensko nosilno konstrukcijo izbrali opeko, ki ima visoko sposobnost akumulacije energije, medtem ko smo za strop in streho izbrali armiranobetonsko konstrukcijo. Obravnavano stanovanje je novejše, zato smo se odločili, da toplotna izolacija v konstrukcijskih sklopih dosega toplotne prehodnosti, ki jih za podeljevanje subvencij uporablja Eko sklad. Po določitvi debeline konstrukcijskih sklopov smo za vsak prostor, vključen v analizo osvetljenosti, v programu Excel izdelali mrežo točk velikosti delovne ravnine z medsebojno razdaljo 0,1 m. Sledil je uvoz geometrije v program DVIZ 3. Nato smo določili refleksijske koeficiente sten, tal, poševne strehe in stropa ter transmisivnost zasteklitve. Sledila je izbira lokacije in orientiranosti prostora. Če so bile vrednosti KDS-a nezadostne, smo v SketchUp-u povečali zasteklitev in postopek ponovili. Enak postopek smo ponovili pri ekvivalentnem stanovanju z ravno streho. Skupno smo tako pridobili 36 različnih rezultatov KDS-a v 6 prostorih na treh lokacijah in dveh stanovanjih.

Po določitvi zadostnih velikosti zastekljenih površin smo model stanovanja razdelili na toplotne cone, kjer je vsako cono predstavljal en prostor. S tem smo lahko iz programa odčitati energijske pritoke in izgube za vsak prostor posebej. Definirali smo površine posameznih con in predpostavili adiabatsne pogoje na površinah, ki mejijo na sosednja stanovanja. V uporabniški vmesnik OpenStudio, ki je

povezan s programom EnergyPlus, smo vnesli karakteristike konstrukcijskih sklopov, določili urnike, notranje dobitke in stopnjo prezračevanja. Urniki obratovanja stavbe so predstavljeni v prilogi A. Izdelali smo 6 modelov, za vsako od treh lokacij z in brez upoštevanja senčenja. S tem smo preverili vpliv senčenja na energijsko bilanco stavbe. Vpliv senčenja smo upoštevali tako, da je bilo senčenje prisotno, ko je moč sočnega sevanja presegla vrednost 130 W/m^2 [26] na transparentni površini neodvisno od časa v letu. Zato je bila ta vrednost dosežena tudi v času ogrevanja, česar sicer v realnosti ne želimo. V programu imamo možnost nastavljanja senčenja zgolj v času hlajenja, ampak se je upoštevanje senčenja skozi celo leto izkazalo za dober korak. S tem smo namreč pokazali, kako pomembne so višje vrednosti sončnega sevanja v hladnem obdobju leta in v kolikšni meri vplivajo na potrebno energijo za ogrevanje.

V tretjem delu naloge smo enak postopek uporabili pri ekvivalentnem stanovanju z ravno streho ter ga primerjali z rezultati mansardnega stanovanja.



Slika 5: Metodološka struktura analiz

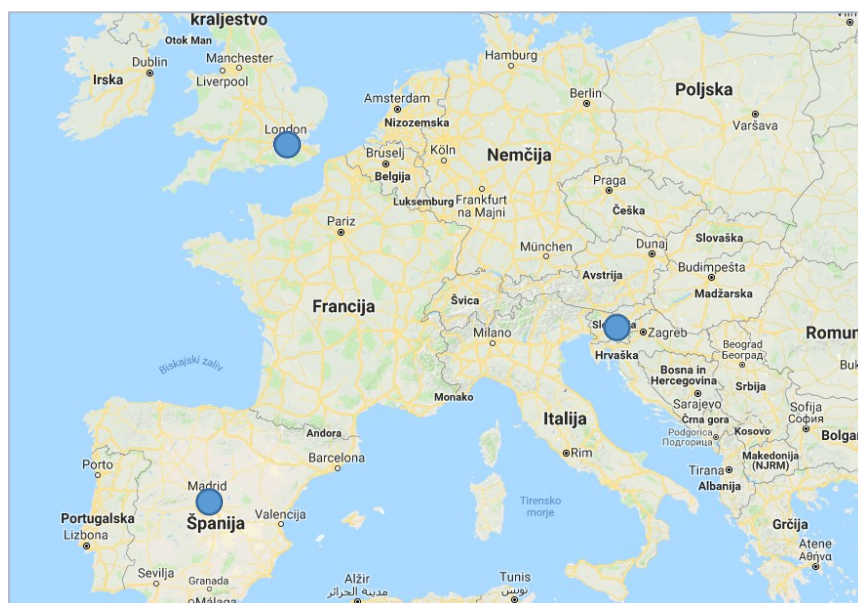
4.2 Primerjava podnebnih značilnosti izbranih lokacij

Analiza lokacije je izhodiščna točka pri načrtovanju vsake stavbe. V tej nalogi smo obravnavano stanovanje umestili na tri različne lokacije, ki imajo približno enake razdalje geografskih širin med seboj ter zelo podobne podnebne lastnosti. S primerjavo njihovih geografskih značilnosti bomo lažje razumeli rezultate analiz osvetljenosti prostorov in solarnih dobitkov, ki nastopajo v energijski bilanci stavbe.

Izbrana mesta so Madrid, Ljubljana in London. Ljubljana je glavno mesto Slovenije. Leži v Ljubljanski kotlini, v osrednjem delu Slovenije. Nahaja se na 46° severne zemljepisne širine. Po Köppen-Geigerjevi podnebni klasifikaciji ima toplo vlažno celinsko podnebje (»Cfb«) s toplimi poletji, zelo mrzlimi zimami [28]. Maksimalna višina snežne odeje s povratno dobo 50 let v Ljubljanski kotlini znaša od 100 do 150 cm in traja v povprečju 40 do 60 dni v letu [29]. Zaradi reliefnih lastnosti je v Ljubljani predvsem v zimskem času pogosto prisotna megla in toplotni obrat (t. i. inverzija). V preteklosti je bila višja pogostnost megle v Ljubljani posledica večje onesnaženosti zraka. Z zmanjšanjem števila kurišč na trda goriva se je zmanjšalo tudi število dni z meglo. V času med 1991–2000 jih je bilo v povprečju 58 dni na leto [30]. Madrid je glavno mesto Španije in leži v osrednjem delu države. Po Köppen-Geigerjevi klasifikaciji ima mesto celinsko sredozemsko podnebje (»Csa«) s prehajanjem v pol sušno podnebje (»BSk«) na vzhodnem delu mesta. Podnebje ima celinske značilnosti. Zaradi svoje nadmorske višine, ki znaša 667 m, ima pogosto mrzle zime z občasnim snegom in najnižjimi temperaturami pogosto pod lediščem. Poletja so kratka in vroča [28]. London, glavno mesto Velike Britanije, leži v Londonski kotlini. Glede na Köppen-Geigerjevo podnebno klasifikacijo ga uvrščamo v zmerno oceansko podnebje (»Cfb«) [31]. Zanj so značilna blaga poletja (v odvisnosti od njihove zemljepisne širine) in blage zime. Letno nihanje temperatur je zaradi vpliva oceanskih tokov nižje kot nihanje na drugih lokacijah teh geografskih širin [32].

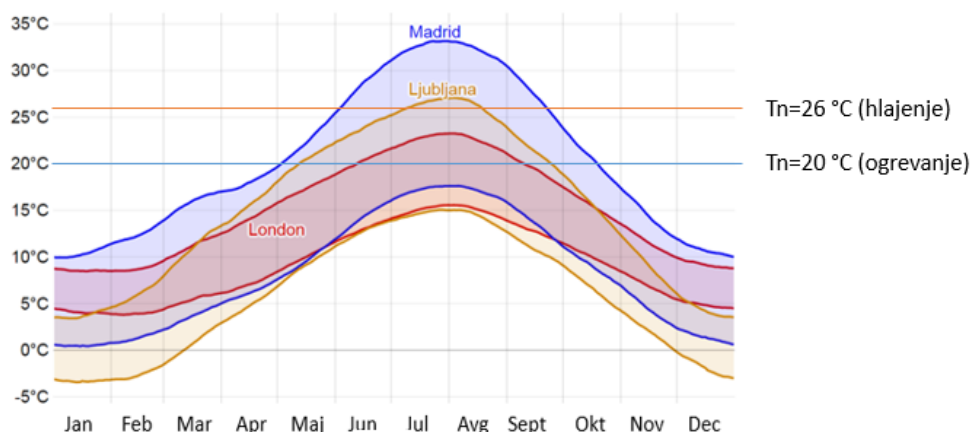
Preglednica 5: Geografske značilnosti izbranih mest

Država	Mesto	Koordinate	Podnebje	Köppen-Geigerjeva podnebna klasifikacija
Slovenija	Ljubljana	46° 03' N, 14°29' E	Celinsko	Cfb
Španija	Madrid	40°24' N, 3°42' W	Celinsko-sredozemsko	Csa
Velika Britanija	London	51°30' N, 0°0' W	Zmerno oceansko	Cfb



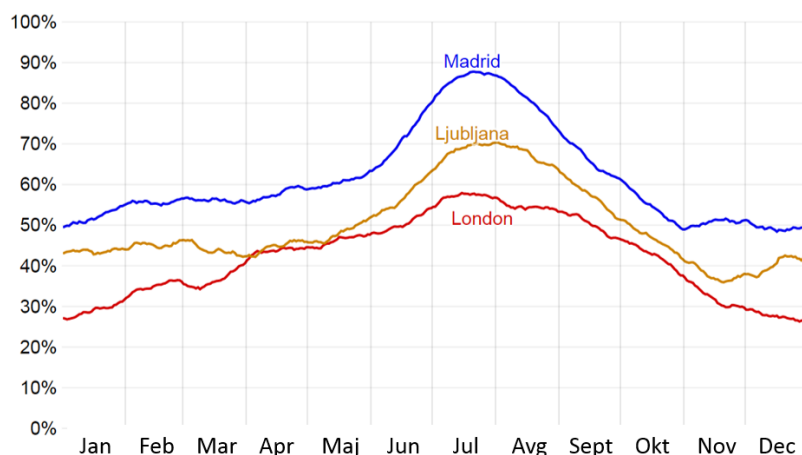
Slika 6: Prikaz izbranih mest na zemljevidu Evrope [33]

Temperatura zunanje zraka v veliki meri vpliva na potrebo po ogrevanju ali hlajenju stavb. V času hlajenja namreč v prostoru ob prisotnosti uporabnikov želimo dosežati maksimalno temperaturo 26°C , medtem ko v času ogrevanja minimalno 20°C [25]. Kot vidimo na grafikonu 1, najvišje povprečne dnevne temperature skozi celo leto dosega mesto Madrid, in sicer v poletnem času med 33 in 18°C , v Ljubljani med 27 in 15°C in v Londonu med 23 in 16°C , medtem ko se v zimskem času temperature gibljejo v Madridu med 10 in 0°C , v Ljubljani med 3 in -3°C ter v Londonu med 8 in 4°C . Najnižje temperature v zimskem času dosega Ljubljana, zato bo najverjetneje potreba po ogrevanju v tem mestu največja. Razlika med povprečnimi zimskimi in poletnimi temperaturami je v Ljubljani in Madridu zaradi vpliva celinskega podnebja približno enaka, in sicer znaša med 23 in 18°C v Ljubljani ter med 24 in 18°C v Madridu. Temperaturna razlika med letom v Londonu je veliko manjša in znaša med 15 in 12°C . Prav tako je v Londonu najmanjša razlika med najvišjo in najnižjo dnevno temperaturo.



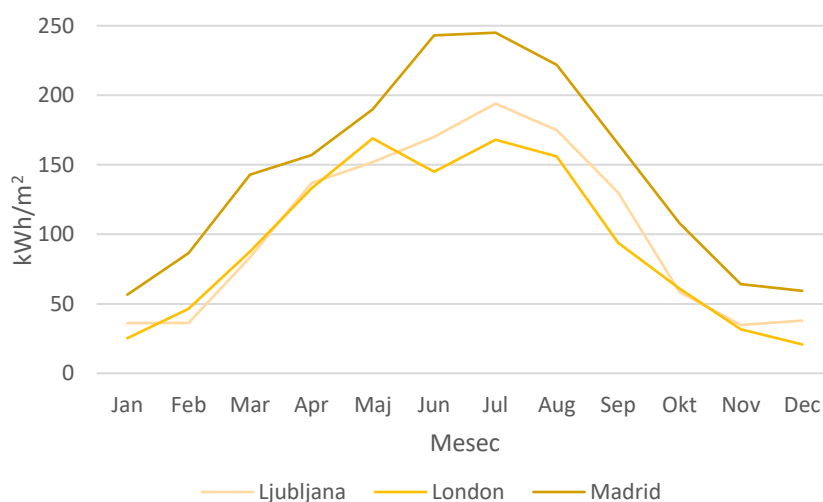
Grafikon 1: Najvišje in najnižje povprečne dnevne temperature zraka v Madridu, Ljubljani in Londonu in temperature notranjega zraka T_n [$^{\circ}\text{C}$] v času hlajenja in ogrevanja [28]

Tok sončnega sevanja je najmočnejši ob jasnem nebu, kjer prevladuje direktna komponenta sončnega sevanja. Količina sončnega sevanja na posamezni lokaciji je poleg ostalih dejavnikov, omenjenih v poglavju Teoretična izhodišča, odvisna od prekritosti neba z oblaki. Na velikost solarnih dobitkov, ki prehajajo skozi transparentni del stavbnega ovoja, pa vpliva predvsem orientacija prostora, površina zasteklitve in optične lastnosti le-te. Na grafikonu 2 je prikazan odstotek časa, ko je nebo jasno, delno jasno ali delno oblačno; ko je manj kot 60% neba prekrita z oblaki. Skozi celo leto je največ oblačnosti prisotne v Londonu in se giblje med 58% v juliju in 26% v decembru, sledita mu Ljubljana s 70% v juliju in 36% v novembru in Madrid z 88% v juliju in 48% v decembru. Iz tega lahko posredno sklepamo, da bo količina direktnega sončnega sevanja v Londonu najmanjša in bo s tem njegov potencial k zmanjševanju rabe energije za ogrevanje najnižji, medtem ko bo v Ljubljani in Madridu njegov prispevek večji. Še posebej v poletnem času je v Madridu jasnega neba izrazito več in posledično več direktnega sončnega sevanja kot v preostalih dveh mestih. Zaradi visokih poletnih temperatur v Madridu in obenem visoke jasnosti lahko v tem mestu pričakujemo najvišjo rabo energije za hlajenje. Razlika v oblačnosti med letom se kaže tudi v Ljubljani, medtem ko je v Londonu nihanje oblačnosti skozi celo leto najmanjše.



Grafikon 2: Odstotek časa, ko je nebo jasno, delno jasno ali delno oblačno; ko je manj kot 60 % neba prekrita z oblaki [28]

Ker pa na količino prejetega sončnega sevanja na posamezni lokaciji poleg prekritosti neba z oblaki še bolj vpliva geografska širina, smo na grafikonu 3 prikazali mesečni seštevke energije sončnega sevanja, ki pade na en kvadratni meter horizontalne površine, izmerjen v kWh/m². Podatki so prikazani za leto 2016. Prav tako kot na prejšnjih grafikonih tudi tu najvišje vrednosti skozi celo leto dosega Madrid, ki doseže maksimum globalnega horizontalnega sevanja v juliju in znaša 245 kWh/m². V Ljubljani se najvišje vrednosti prav tako pojavijo v juliju in znašajo 194 kWh/m², medtem ko se v Londonu pojavijo v maju in znašajo 169 kWh/m². V Madridu je skozi celotno leto globalno horizontalno sevanje v primerjavi z ostalima dvema lokacijama najvišje. Rezultati za mesti London in Ljubljano so predvsem v spomladnih mesecih zelo podobni, medtem ko je v Ljubljani globalno horizontalno sevanje v poletnih mesecih močnejše [34].

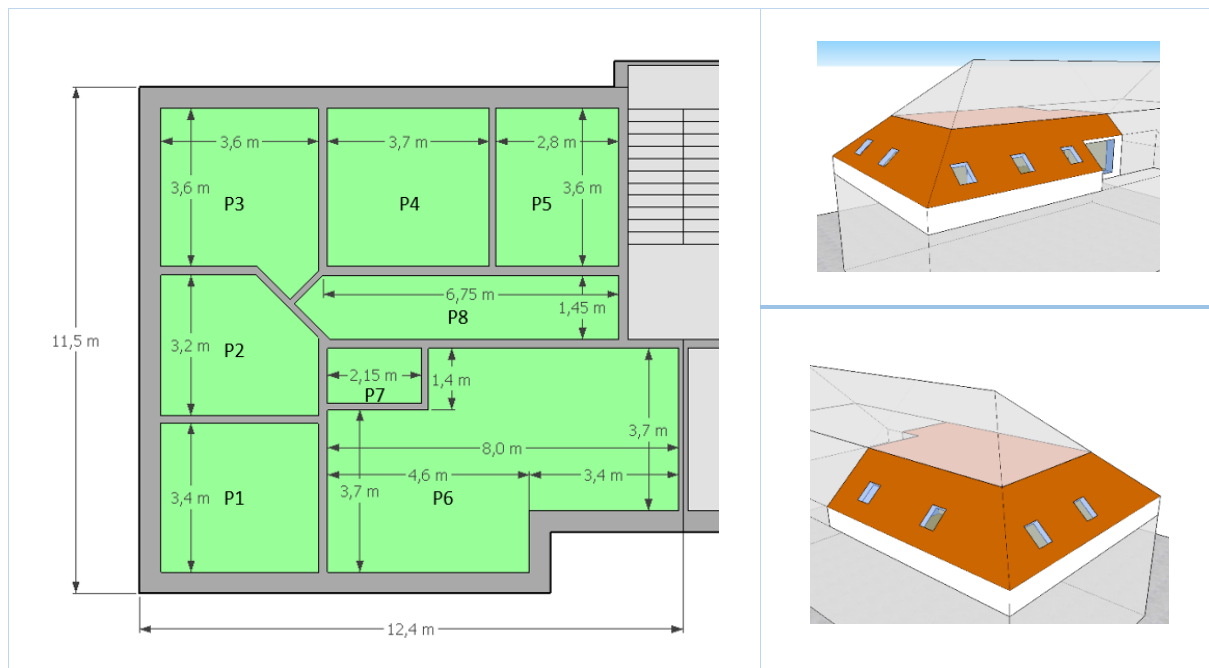


Grafikon 3: Globalno horizontalno sončno sevanje na kvadratni meter horizontalne površine, ki doseže izbrano lokacijo [34]

4.3 Opis obravnavanega mansardnega stanovanja

Obravnavano mansardno stanovanje ima 8 prostorov, poimenovanih P1–P8. Kot lahko vidimo na sliki 7, kjer je prikazan tloris stanovanja in prostorska pogleda iz jugozahodne in severozahodne strani, sta osrednja dva prostora brez oken in zato nista vključena v izračun osvetljenosti ter ne prispevata k solarnim dobitkom, ampak vplivata le na energijsko bilanco celotnega stanovanja. Tlorisna površina stanovanja znaša 105 m². Notranja največja svetla višina stanovanja znaša 2,75 m. Stanovanje meji na ogrevano stopnišče in sosednja stanovanja. Zaradi lažjega modeliranja stanovanja smo na tem delu predpostavili adiabatne pogoje. Strešina ima naklon 42°, medtem ko višina kolenčnega zidu znaša

0,85 m. Globina prostorov, ki vsebujejo strešna okna, je 3,4–3,6 m. Izjema je prostor P6, kjer znaša največja globina 5,1 m. Ravni strop nad mansardo meji na neogrevano podstrešje, ki bi ga lahko modelirali kot prezračevano neogrevano cono, ampak ga bomo zaradi boljše primerjave z referenčnim stanovanjem z ravno streho predpostavili kot zunanji prostor. Ker zunanji ovoj podstrešja (poševna streha na podstrešju) nima visoke toplotne izolativnosti, s to predpostavko naredimo minimalno napako. Okna so prikazana shematsko.

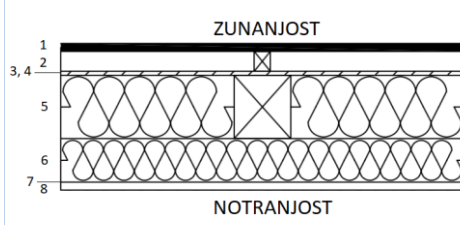
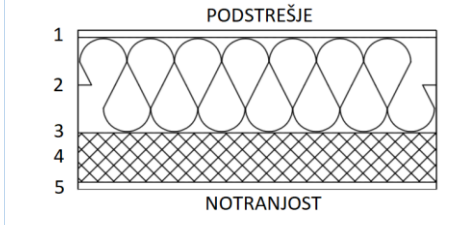


Slika 7: Tloris in prostorski prikaz mansardnega stanovanja

Konstruktivski sklopi (KS), ki mejijo na zunanost, so zunanja stena in poševna ter ravna streha. Podrobno so prikazani v preglednici 6. Zunanje stene so sestavljene iz opeke debeline 29 cm in toplotne izolacije (TI) iz ekspandiranega polistirena (EPS) debeline 14 cm ter zaključnih ometov na obeh straneh stene. Strop proti podstrešju sestavlja armiranobetonska (AB) plošča debeline 14 cm, na kateri se nahaja TI iz steklene volne debeline 27 cm. Poševni del strehe sestavljajo špirovci, med katerimi se nahaja steklena volna (27 cm). Vsi konstrukcijski sklopi dosegajo zakonske zahteve o minimalni toplotni prehodnosti, zapisane v TSG-1-004:2010 [21] in določila Eko sklada ter so določeni glede na preglednico 4.

Preglednica 6: Konstrukcijski sklopi v mansardnem stanovanju

Konstrukcijski sklop	Prečni prerez	Oznaka sloja	Sestava	Debelina d [m]	Toplotna prevodnost λ [W/mK]
Zunanja stena		1	Zaključni fasadni sloj	0,01	0,80
		2	EPS	0,14	0,35
		3	Modularna opeka	0,29	0,32
		4	Omet	0,01	0,80

Poševna streha		*1	Opečnati strešniki	0,02	0,30
		*2	Prezračevani sloj + lesene letve	0,08	-
		*3	Vodoneprepustna a paroprepustna folija	-	-
		4	Lesene plošče	0,01	0,14
		5	TI iz steklene volne + špirovci	0,16	0,04 + 0,14
		6	TI iz steklene volne + lesene letve	0,11	0,04 + 0,14
		7	Polietilenska folija	-	-
		8	Obdelana mavčno – kartonska plošča	0,02	0,21
Raven strop proti podstrešju		1	OSB («Oriented Strand Board») plošče	0,02	0,15
		2	Steklena volna	0,27	0,14
		3	Polietilenska folija	-	-
		4	AB-plošča	0,14	2,00
		5	Omet	0,02	0,80

*sloji z zvezdico niso vključeni v izračun U-faktorja

V preglednici 7 so predstavljene tlorisne površine vseh prostorov in njihove namembnosti. Kot lahko vidimo, imajo prostori P1–P5 približno enako tlorisno površino, medtem ko je površina prostora P6 skoraj 3-krat večja. Najmanjšo tlorisno površino ima P7, ki leži v sredini stanovanja in nima zunanjih odprtín.

Preglednica 7: Velikost tlorisne površine prostorov [m²]

Prostor	P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7*	P8*
Namembnost	Otroška soba 1	Kopalnica	Spalnica	Otroška soba 2	Otroška soba 3	Kuhinja, jedilnica in dnevna soba	WC	Hodnik
Velikost [m²]	12,2	10,5	13,5	13,3	10,1	32,8	2,7	10,2

*prostor ni vključen v izračun dnevne osvetljenosti

Pri izbiri oken in zasteklitve smo se odločili, da bodo imele vse okenske odprtine v stanovanju enake lastnosti. Stanovanje ima tako v vsakem bivalnem prostoru dvoslojno strešno okno z nizkoemisijemskim nanosom (Low-E) [35], katerega lastnosti so zapisane v preglednici 8. Širina okenskega okvirja znaša 10 cm. V prostoru P6 je poleg strešnih oken tudi eno panoramsko okno enakih lastnosti, ki omogoča prehod na balkon in meri 2,2 x 1,8 m.

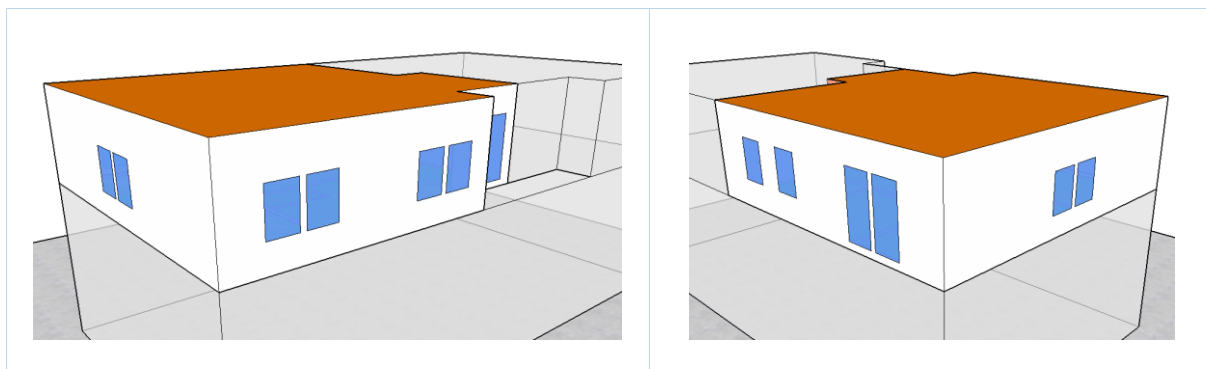
Preglednica 8: Lastnosti zasteklitve [35]

	Sestava [mm]	U _g [W/m ² K]	g [%]	LT [%]
Steklo	4/16/:4	1,0	53	76

U_g = toplotna prehodnost stekla
g = faktor prepustnosti celotnega sončnega sevanja skozi zasteklitve
LT = prepustnost vidnega dela spektra sončnega sevanja skozi zasteklitve

4.4 Opis ekvivalentnega stanovanja z ravno streho

Za primerjavo rezultatov osvetljenosti in energijske bilance smo izbrali ekvivalentno stanovanje z ravno streho. Prostorski prikaz stanovanja se nahaja na sliki 8. Stanovanje ima enako tlorsko površino, sestavo sten in toplotno prehodnost konstrukcijskega sklopa streha. Tako kot v mansardnem stanovanju smo tudi tu predpostavili adiabatne pogoje proti sosednjemu stanovanju ter stanovanju pod njim. Razlika med stanovanjema je v sestavi ravne strehe, ki je podrobno predstavljena v preglednici 9, medtem ko sestava ostalih KS ostaja enaka in je predstavljena v preglednici 6. Ravna streha je sestavljena iz AB-plošče, na kateri se nahaja TI iz ekstrudiranega polistirena (XPS) debeline 27 cm.



Slika 8: Prostorski prikaz stanovanja z ravno streho

Preglednica 9: Konstrukcijski sklop ravne strehe v ekvivalentnem stanovanju

Konstrukcijski sklop	Prečni prerez	Oznaka sloja	Sestava	Debelina d [m]	Toplotna prevodnost λ [W/mK]
Ravna streha		1	*Prodec	0,02	0,15
		2	Bitumenski trak	-	-
		3	XPS	0,27	0,14
		4	Bitumenski premaz	-	-
		5	AB-plošča	0,14	2,00
		6	Omet	0,01	0,80

*sloji z zvezdico niso vključeni v izračun U-faktorja

4.5 Uporabljena programska oprema in simulacijski programi

Pri izdelavi naloge smo uporabili več programskih orodij. Pred izvedbo analiz smo v 3D modelirnem orodju SketchUp [36] izrisali geometrijo stanovanja in njegovih prostorov. Sledila je analiza dnevne osvetljenosti v programu Velux Daylight Visualizer (DVIZ 3) [27], s katero smo glede na lokacijo določili minimalno primerno velikost okenskih odprtin. Nato smo s programom EnergyPlus analizirali toplotne dobitke in izgube ter s tem določili energijsko bilanco stanovanju ob upoštevanju senčenja/nesenčenja oken. Vpliv senčenja smo opredelili v poglavju 3.2. Enak postopek smo nato izvedli za ekvivalentno stanovanje z ravno streho.

4.5.1 VELUX Daylight Visualizer 3

Program Daylight Visualizer 3 (DVIZ 3) [27] je preprost program za načrtovanje dnevne osvetljenosti prostorov, s pomočjo katerega lahko določimo primerno velikost transparentnih delov stavbnega ovoja.

Geometrijo prostora in stavbnega ovoja lahko narišemo kar v programu, možen pa je tudi uvoz iz enega od programov za modeliranje [36], kot smo naredili v tej nalogi. Sledila je določitev reflektivnosti vseh površin in transmisivnosti zasteklitve, orientiranosti prostora, geografske lokacije ter izbira želene vrste rezultatov. Rezultati so lahko predstavljeni v obliki grafičnega prikaza ali preglednice. Predstavitev rezultatov v obliki preglednice je možna, če predhodno v Excelu ustvarimo datoteko z mrežo senzorskih točk in jih v DVIZ 3 uvozimo v obliki .csv datoteke, kot smo naredili v tem primeru. Program ponuja tudi možnost ustvarjanja predstavitvenih videov osvetljevanja in je prosto dostopen na <https://www.velux.com/article/2016/daylight-visualizer>.

4.5.2 EnergyPlus in OpenStudio

EnergyPlus je simulacijski program [12], ki omogoča izvajanje energijskih simulacij ter simulacij toplotnih obremenitev stavb. Omogoča prikaz rabe energije za ogrevanje, hlajenje, prezračevanje, razsvetljavo in notranje vire ter rabo vode v stavbah. Izris geometrije stavbe je možen z uporabo programa SketchUp, ki je preko uporabniškega orodja in zbirke aplikacij OpenStudio (OS) povezan z EnergyPlusom. Preprosta uporaba programa EnergyPlus je tako omogočena preko uporabniškega vmesnika OS, v katerem določimo vse lastnosti obravnavane stavbe. V programu najprej določimo meteorološke podatke, nato definiramo lastnosti konstrukcijskih sklopov in urnike obratovanja sistemov in uporabnikov. Rezultati so prikazani v obliki preglednic ali grafov, kjer je mogoče primerjati različne rezultate v popolnoma poljubnem časovnem obdobju. Program je prosto dostopen na <https://energyplus.net/downloads>.

4.5.3 SketchUp

Program SketchUp [36] je preprost računalniški program za 3D modeliranje, ki omogoča izris geometrije stanovanja ter je združljiv z obema zgoraj omenjenima programoma. Primeren je tako za inženirje, arhitekte in za zasebno uporabo. Izdeluje ga podjetje Trimble. Osnovna varianta programa je brezplačno dostopna na <https://www.sketchup.com/download/make>.

5 REZULTATI DNEVNEGA OSVETLJEVANJA

5.1 Določitev velikosti zasteklitve v mansardnih prostorih z metodo KDS z upoštevanjem FprEN 17037 in PTZGSS

V tem poglavju so predstavljeni rezultati analize dnevnega osvetljevanja. Velikosti transparentnega dela okenskih odprtin smo določili z upoštevanjem osnutka standarda FprEN 17037, v nadaljevanju pa tudi z upoštevanjem določil v PTZGSS. Kot smo že predhodno omenili v poglavju 3, smo za metodo določitve velikosti zasteklitve izbrali metodo s KDS. Minimalna priporočena velikost KDS-a je v FprEN 17037 določena glede na mediano zunanje osvetljenosti točk pri oblačnem vremenu, zato se spreminja v odvisnosti od lokacije. Ker je mediana zunanje osvetljenosti točk v Ljubljani le nekoliko različna od vrednosti v Madridu, so tudi minimalne priporočene vrednosti KDS-a, ki so merodajno vplivale na določitev velikosti zasteklitev, v Madridu in Ljubljani enake. Iz preglednice 3 je namreč razvidno, da je za mesto Ljubljana KDS za preseganje 300 lx znašal 1,8 % s 95-odstotno pokritostjo delovne površine, za preseganje 500 lx pa 2,9 % s 50-odstotno pokritostjo. Za Madrid je KDS znašal 1,8 % ob 95-odstotni pokritosti in 3 % ob 50-odstotni pokritosti delovne površine. Za mesto London smo morali doseči KDS 2,1 % ob 95-odstotni pokritosti in 3,5 % ob 50-odstotni pokritosti. Pri vsakem izmed mest smo želeli doseči oba nivoja KDS-a ob upoštevanju pokritosti delovne površine. Izkaže se, da je v tej nalogi merodajno doseganje dovoljšnega KDS-a s 95-odstotno pokritostjo delovne površine, medtem ko je KDS ob 50-odstotni pokritosti vedno močno presežen. Torej je, čeprav imata mesti Ljubljana in Madrid različni vrednosti KDS za 50-odstotno pokritost delovne ravnine, velikost zasteklitve v obeh primerih enaka in smo jih zato obravnavali skupaj. Glede na to metodo smo torej v Ljubljani in Madridu dobili enake velikosti zasteklitve.

Pred določitvijo velikosti zasteklitve strešnih oken smo najprej določili njihovo lokacijo na strešini. Želeli smo namreč upoštevati priporočila glede pogleda v zunanost. Okna smo torej umestili na poševni del strehe, s spodnjim robom zasteklitve na najvišji točki kolenčnega zidu, ki znaša 0,85 m. Z upoštevanjem priporočil za pogled v zunanost je bila določena tudi širina transparentnih delov stavbnega ovoja. Izračunali smo jo z enačbami (1) in (2) iz osnutka standarda FprEN 17037 [10] in v prostorih P1–P5 znaša 1,6 m, medtem ko v P6 znaša 3,5 m. V praksi navadno zasledimo, da strešna okna vgrajujemo med špirovce, katerih medsebojni razmak meri 0,8–1 m, zato smo se tudi v našem primeru odločili za vgradnjo dveh oken, med katerima se nahaja špirovec debeline 14 cm. Širina zasteklitve posameznega okna tako znaša 0,8 m v prostorih P1–P5 oziroma 0,9 m v prostoru P6. Po izbrani širini zasteklitve smo v programu DVIZ 3 spreminjali višino zasteklitve toliko časa, da smo dobili želeno vrednost KDS-a. Višino zasteklitve smo povečevali s korakom 0,05 m. V naslednjih podpoglavjih so podrobneje predstavljeni rezultati le v izbranih prostorih P1, P4 in P6. Prostora P1 in P3 imata namreč dve poševni zunanji strešini in sta zato med seboj geometrijsko podobna. Prav tako so med seboj podobni prostor P2, P4 in P5, saj imajo vsi le eno zunanjo strešino. Prostor P6 je veliko večji od vseh ostalih, od njih pa se razlikuje tudi zaradi bolj razgibane oblike tlorisa.

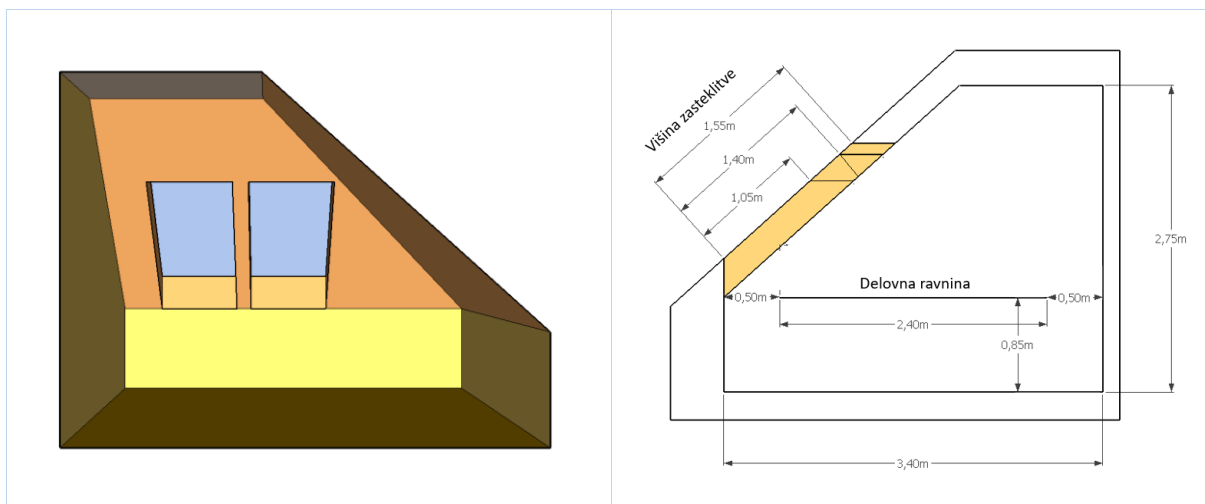
Po določitvi velikosti zasteklitve glede na FprEN 17037 [10] smo določili velikosti zasteklitve glede na slovenski pravilnik PTZGSS [11]. V tem primeru je minimalna dovoljena velikost oken (zasteklitev + okvir) definirana z WFR in znaša 20 %. Velikost oken je torej odvisna le od tlorisne površine prostora in ne upošteva ostalih lastnosti prostora, kot je nagnjenost strešine in razmerje med globino in širino prostora. Rezultate osvetljenosti prostora z velikostjo oken, določeno glede na PTZGSS, smo zato primerjali z rezultati osvetljenosti ob upoštevanju FprEN 17037.

Treba se je zavedati, da dnevna svetloba v prostor prihaja skozi transparentne površine, zato moramo razlikovati med velikostjo zasteklitve in velikostjo okna, ki ga sestavlja zasteklitev, okvir in distančnik. V vseh primerih smo upoštevali velikost okvirja 0,1 m in glede na to izračunali WFR za vsa modelirana okna.

5.1.1 Prostor P1

Prostor P1 leži na zunanjem robu stanovanja in ima dve poševni zunanji strešini, usmerjeni proti jugu in zahodu. Tlorisna površina prostora znaša $12,2 \text{ m}^2$. Na eno izmed poševnih strešin smo namestili dve strešni okni. V preglednici 10 so predstavljeni rezultati analiz, ki upoštevajo priporočila standarda FprEN 17037 in PTZGSS. Za obe okni smo predpostavili širino zasteklitve $0,8 \text{ m}$. Obe okni imata enako višino zasteklitve, ki v Ljubljani in Madridu znaša $1,40 \text{ m}$, medtem ko v Londonu znaša $1,55 \text{ m}$. Skupna površina obeh zasteklitev za Ljubljano in Madrid znaša $2,24 \text{ m}^2$ in za London $2,48 \text{ m}^2$. Za mesto London smo namreč glede na FprEN 17037 [10] upoštevali višji priporočen minimalni KDS, kar privede do potrebe po večji površini zasteklitve. Z upoštevanjem slovenskega pravilnika PTZGSS ob predpostavljani širini zasteklitve, ki znaša $0,8 \text{ m}$, meri višina zasteklitve $1,05 \text{ m}$, kar je veliko manj kot v primeru upoštevanja priporočil iz FprEN 17037. Skupna površina obeh zasteklitev v tem primeru znaša $1,68 \text{ m}^2$.

Velikost zasteklitve neposredno vpliva na količino prejete dnevne svetlobe v prostoru. Medtem ko s primerno širino zasteklitve upoštevamo priporočila glede zadostnega pogleda v zunanost in osvetlitev točk na delovni ravni, ki ležijo bližje zunanji steni, je treba za dovoljšno osvetljevanje točk ob notranji steni okno namestiti čim višje, kot se izkaže v danem primeru. S tem omogočimo prodiranje svetlobe globlje v notranjost prostora. Ker smo v svojem primeru okni namestili neposredno nad parapet, je višina zasteklitve najpomembnejši parameter za doseganje primerne osvetljenosti na celotni delovni ravni. Za boljšo predstavbo o velikosti zasteklitve v odvisnosti od velikosti prostora P1 se na sliki 9 (levo) nahaja prostorski prikaz obravnavanega prostora. Desno pa je prikazan prečni prerez prostora P1 skozi zasteklitve, na katerem so vrisane vse tri določene višine zasteklitve. Vidimo lahko, da je višina zasteklitve, določena s PTZGSS, veliko manjša od ostalih dveh višin. Posledično lahko pričakujemo veliko manjši nivo osvetljenosti, ki bo najbolj viden v točkah, ki ležijo glede na zunanjo steno z zasteklitvijo na notranji polovici delovne ravnine.



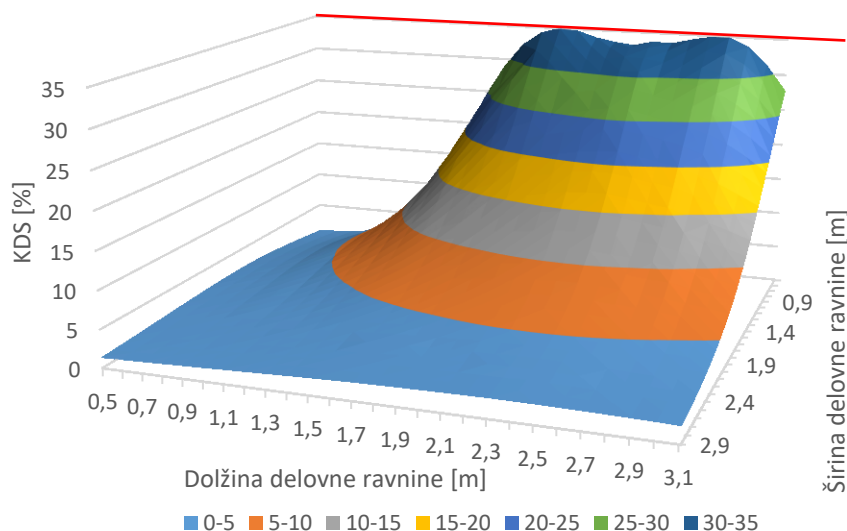
Slika 9: Prostorski prikaz prostora P1 z zasteklitvijo $2 \times 0,8 \times 1,4 \text{ m}$ (levo) in prečni prerez P1 skozi zasteklitve ob treh robnih pogojih (desno)

Kot lahko vidimo v preglednici 10, je površina zasteklitve v Londonu za 11% večja od površine zasteklitve v Ljubljani in Madridu ter za 48% večja od zasteklitve, določene s PTZGSS. V Ljubljani in Madridu znaša WFR 26% , medtem ko v Londonu znaša 29% . V preglednici so predstavljene vrednosti minimumov, maksimumov, povprečnih vrednosti in mediane KDS-a. Povprečna vrednost KDS-a za mesto London je za 12% večja od rezultatov mesta Ljubljana in London ter za 60% od vrednosti glede na PTZGSS.

Lokacija/robni pogoji	Velikost zasteklitve [m]	Površina okna [m ²]	Površina zasteklitve [m ²]	WFR [%]	KDS [%]			
					Min	Max	Avg	Med
FprEN 17037 (Ljubljana, Madrid)	2 x 0,8 x 1,40	3,20	2,24	26	0,8	35,0	9,9	5,5
FprEN 17037 (London)	2 x 0,8 x 1,55	3,50	2,48	29	0,9	35,7	11,1	6,8
PTZGSS*	2 x 0,8 x 1,05	2,50	1,68	20	0,6	31,8	6,9	3,0

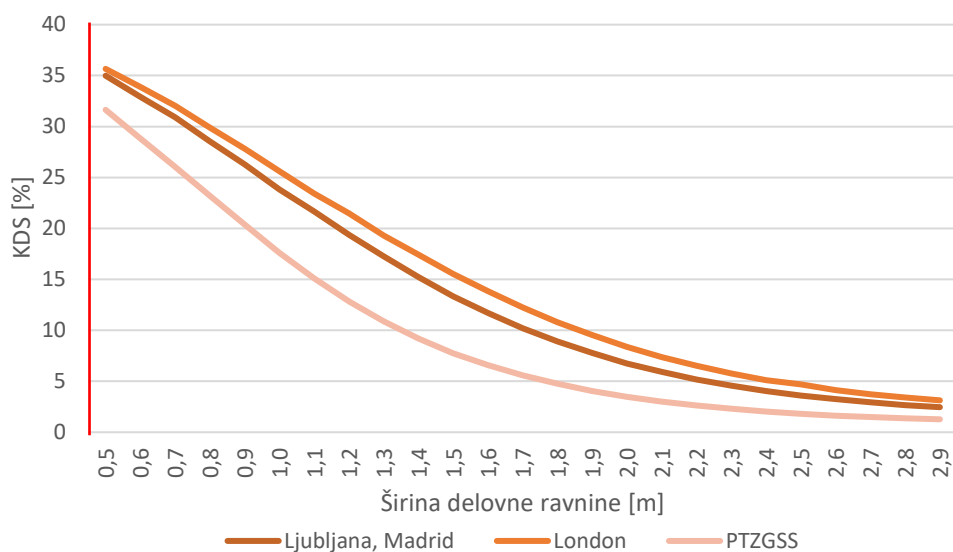
*dosega mejne vrednosti glede na Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj [11]

Velikost KDS-a v prostoru je močno odvisna od lokacije točke na delovni ravnini. Zato smo na grafikonu 4 prostorsko prikazali vrednosti KDS-a za prostor P1 v točkah delovne ravnine za lokacijo Ljubljana in Madrid. Z rdečo črto smo na vseh grafikonih označili stranico, na kateri se nahajata zasteklitvi. Maksimalna osvetljenost z naravno svetlobo je dosežena tik ob zunanji steni, na kateri se nahaja zasteklitev. S povečevanjem oddaljenosti od zunanje stene vrednosti KDS strmo padajo. Maksimalna vrednost $KDS_{max} = 35,0 \%$ se nahaja tik pod enim od oken. Ker strešni okni zaradi oblike strehe ne ležita na sredini zunanje stene, se v zunanjem kotu pojavi območje najnižje osvetljenosti in znaša $KDS_{min} = 0,8 \%$.



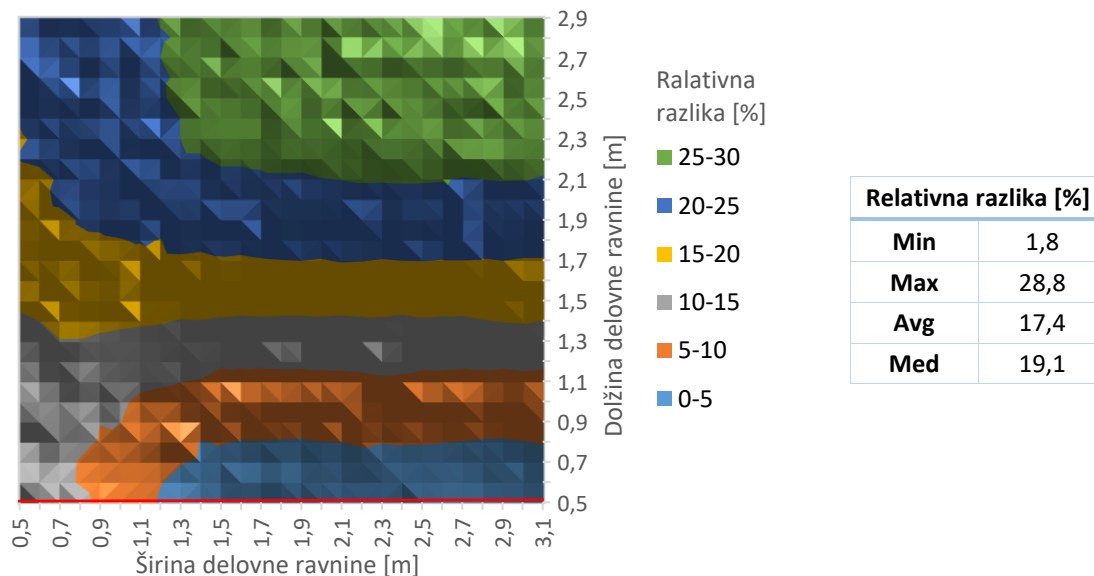
Grafikon 4: KDS [%] za P1, velikost zasteklitve: 2 x 0,8 x 1,4 m (Ljubljana, Madrid)

Zanimalo nas je, kako se KDS spreminja v odvisnosti od oddaljenosti od zunanje stene pri vseh treh velikostih zasteklitve. Zato smo dolžino delovne ravnine prerežali na razdalji, kjer je nastopila maksimalna vrednost KDS-a. V tem primeru razdalja znaša 1,9 m dolžine delovne ravnine. Zbrane podatke za vse tri dobljene WFR-je smo združili v grafikonu 5. Kot lahko vidimo, je največja razlika med DKS-om glede na PTZGSS in KDS-om za Ljubljano in Madrid na širini približno 1,4 m.



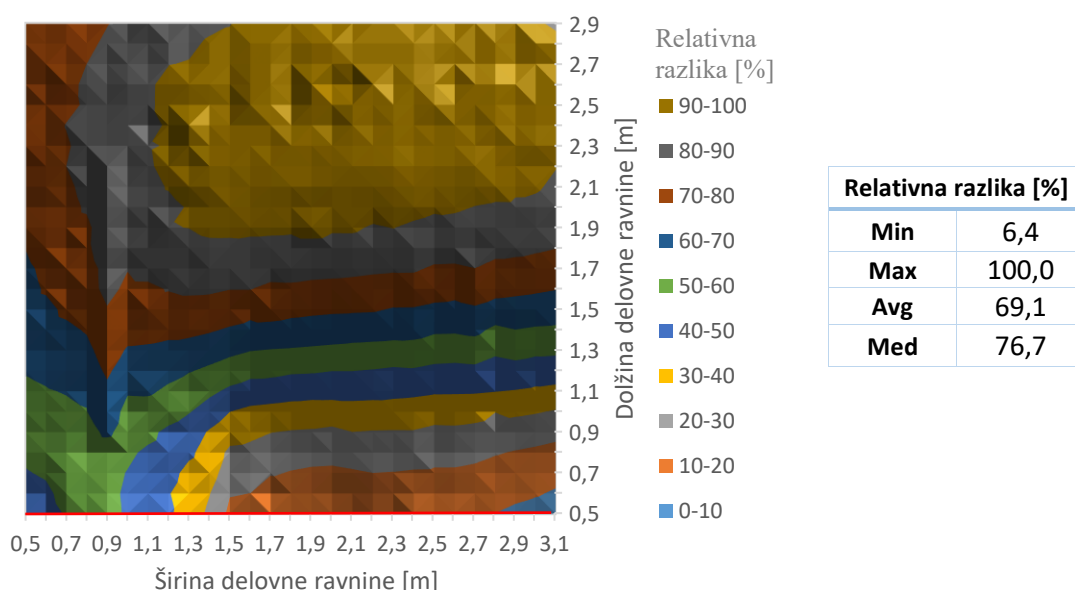
Grafikon 5: Prečni prerez na razdalji 1,9 m dolžine delovne ravnine v P1, prikaz KDS-a

Relativna razlika med vrednostmi KDS med Londonom in Ljubljano v povprečju znaša 17,4 %, kot je prikazano na grafikonu 6. Najnižja razlika nastopi tik pod okni in znaša 1,8 %, medtem ko je najvišja na dolžini delovne ravnine na odseku med 2,1 in 2,9 m in znaša 30 %. S povečanjem višine zasteklitve za 15 cm tako povečamo osvetljenost delovne ravnine v notranjosti prostora, ki se izraža z minimalno 20-odstotno relativno razliko KDS-a v notranji polovici obravnavanega prostora.



Grafikon 6: Relativna razlika [%] KDS-a med Ljubljano in Londonom v P1

Razlika v višini zasteklitve med Ljubljano in vrednostmi PTZGSS je 35 cm, zato je relativna razlika med rezultati KDS-a v povprečju višja od prejšnjega primera in znaša 69,1 %. Najnižja razlika prav tako nastopi tik pod okni in znaša 6,4 %, medtem ko je relativna razlika nad 1,7 m dolžine delovne ravnine nad 80 %. Iz tega sledi, da višina zasteklitve močno vpliva na nivo osvetljenosti prostora, zato je treba pri načrtovanju osvetljevanja prostorov z dnevno svetlobo natančno določiti dimenzije zasteklitve glede na vsak prostor posebej.



Grafikon 7: Relativna razlika [%] v KDS med Ljubljano in PTZGSS v P1

5.1.2 Osvetljenost prostora P1 na spomladansko enakonočje (21. 3.)

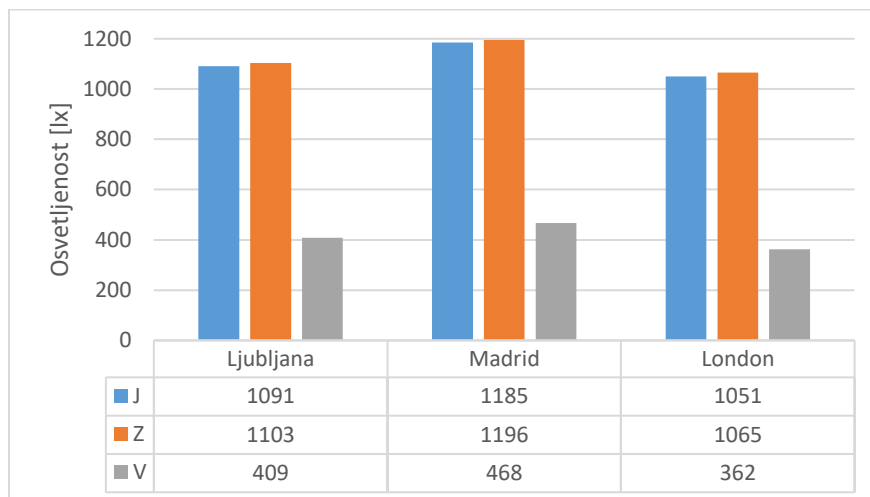
V prejšnjem poglavju smo s KDS-metodo določili minimalno velikost zasteklitve v prostoru P1 ob upoštevanju osnutka standarda FprEN 17037 in PTZGSS. V tem poglavju smo preverili, kakšna je osvetljenost prostorov dne 21. 3. ob 12.00 (spomladansko enakonočje) ob spreminjanju orientacije izbrane zasteklitve in CIE tipa neba za lokacijo Ljubljana, London in Madrid.

Pri oblačnem tipu neba se sončni žarki pri prehodu skozi oblake razpršijo (difuzirajo) v vse smeri. V preglednici 11 je prikazano, da je posledično v prostoru s severno orientiranim oknom dne 21. 3. ob 12.00 osvetljenost pri oblačnem tipu neba v Ljubljani za 52 % višja, v Madridu za 48 % ter Londonu za 55 % kot v jasnem. Pri severno orientiranih oknih je namreč vpliv direktne komponente sončnega sevanja na osvetljenost prostorov majhen.

Preglednica 11: Osvetljenost delovne površine v CIE jasnem in oblačnem tipu neba pri severno orientiranem oknu na treh lokacijah

Lokacija	CIE nebo	E_{avg} [lx]
Ljubljana	Jasno	405
Madrid		465
London		389
Ljubljana	Oblačno	616
Madrid		690
London		604

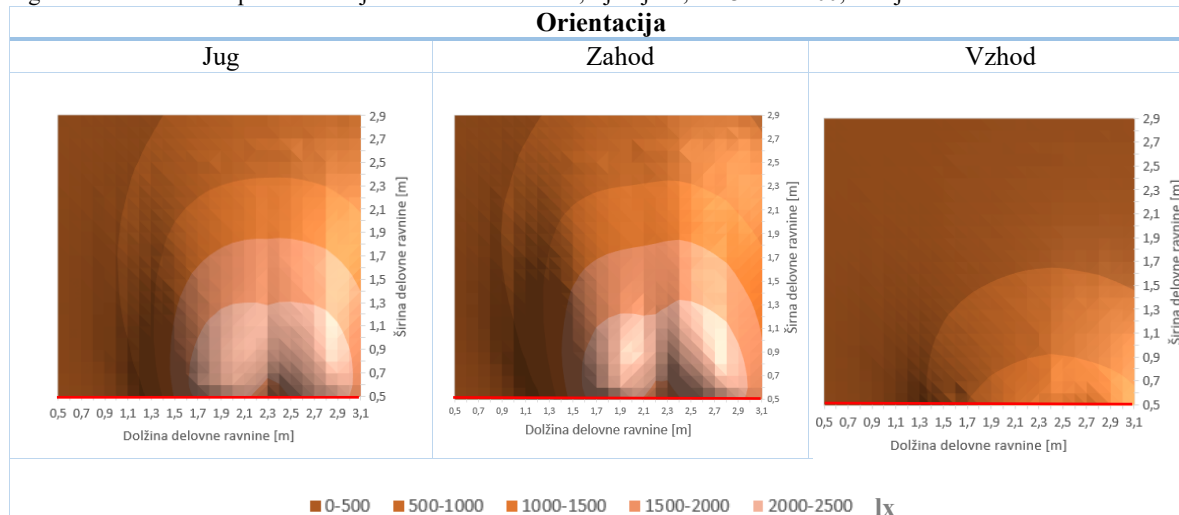
Največja osvetljenost delovne ravnine pri CIE jasnem nebu se navadno pojavi v prostoru z južno ali jugozahodno orientiranim oknom. V prostoru P1 zaradi geometrije strehe okna ne ležijo na sredini dolžine stene, zato dobimo zanimive rezultate. Analizo smo izvedli za 21. 3. ob 12.00 za jasno CIE nebo. V grafikonu 8 so predstavljeni rezultati povprečne osvetlitve za južno, vzhodno in zahodno orientacijo zasteklitve prostora P1 na treh lokacijah.



Grafikon 8: Nivo osvetljenost delovne ravnine pri zahodno, vzhodno in južno orientiranem oknu na treh lokacijah

Razlaga, zakaj je povprečna osvetljenost delovne ravnine na zahodni orientaciji višja kot na južni, je najbolje prikazana z grafičnim prikazom osvetljenosti. Kot lahko vidimo na sliki v preglednici 12, kjer so predstavljeni rezultati osvetljenosti delovne ravnine za lokacijo Ljubljana, se nivo osvetljenosti nad 500 lx pri južni orientaciji začne na približno 1,1 m dolžine delovne ravnine, medtem ko so na zahodni orientaciji 500 lx prične pri 0,9 m dolžine. Ta pojav nastane zaradi smeri padanja sončnih žarkov skozi zasteklitev, ki leži desno od simetrale zunanje stene. S tem je omogočen prehod sončnih žarkov globlje v prostor. Najbolj izrazit vpliv lokacije zasteklitve pa se pokaže pri osvetljenosti delovne ravnine, ko je zasteklitev orientirana proti vzhodu. Sončni žarki, ki prihajajo z južne strani na vzhodno orientirano okno, namreč osvetljujejo le desni del delovne ravnine ter desno notranjo steno, pri čemer se osvetljenost 500 lx začne pri 1,4 m dolžine delovne ravnine.

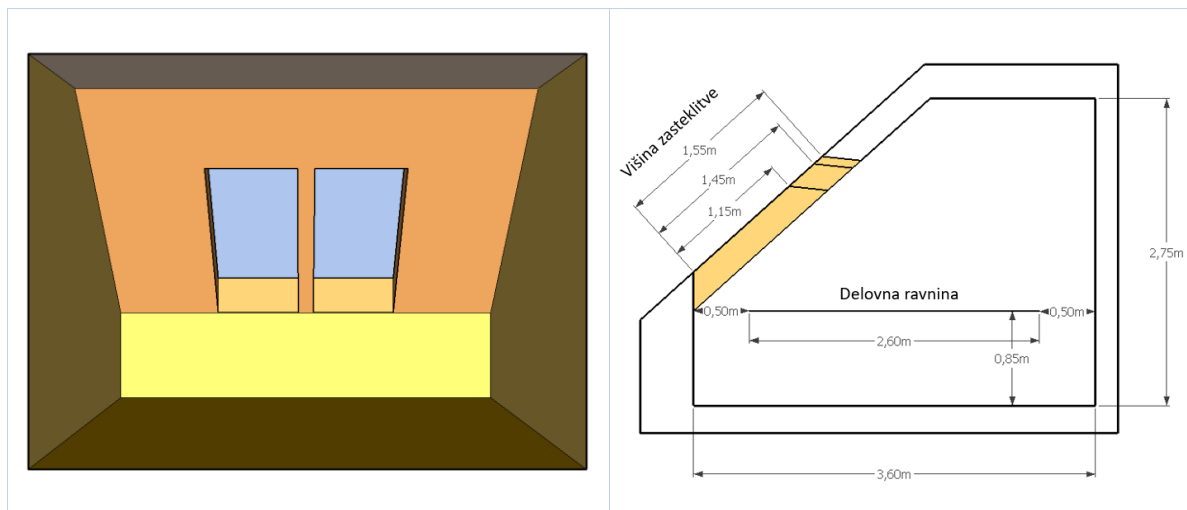
Preglednica 12: Grafični prikaz osvetljenost delovne ravnine, Ljubljana, 21. 3. ob 12.00, CIE jasno nebo



5.1.3 Prostor P4

Naslednji izbran prostor je prostor P4 in se od prostora P1 razlikuje po tem, da ima le eno nagnjeno strešino. Prostor ima pravokotno tlorisno površino, prav tako kot P1 in P5. Nahaja se med prostoroma P3 in P5 ter ima eno zunanjo stranico, usmerjeno proti severu. Tlorisna površina prostora znaša 13,3 m². Strešna okna ležijo na sredini zunanje poševne strešine, zato porazdelitev osvetljenosti ne bo enaka kot v P1. V preglednici 13 so predstavljeni rezultati, ki dosegajo minimalne priporočene velikosti zasteklitve glede na osnutek standarda FprEN 17037 in izpolnjujejo zahteve v PTZGSS [11]. Širina zasteklitve

oken ponovno znaša 0,8 m. Višina zasteklitve v Ljubljani in Madridu znaša 1,45 m, medtem ko v Londonu meri 1,55 m. Skupna površina obeh zasteklitev za Ljubljano in Madrid znaša 2,32 m² in za London 2,48 m². Glede na določila v PTZGSS meri zadostna višina zasteklitve okna 1,15 m s skupno površino zasteklitve 1,84 m². Razliko v višini zasteklitve si je najlažje predstavljati, če pogledamo prečni prerez skozi zasteklitev, ki je prikazan na desni strani slike 10, na kateri je vrisana tudi delovna ravnina. Na levi strani slike se nahaja prostorski prikaz prostora pri velikosti zasteklitve 2 x 0,8 m x 1,45 m.



Slika 10: Prostorski prikaz prostora P1 z zasteklitvijo 2 x 0,8 x 1,45 m in prečni prerez P4 skozi zasteklitev ob treh robnih pogojih

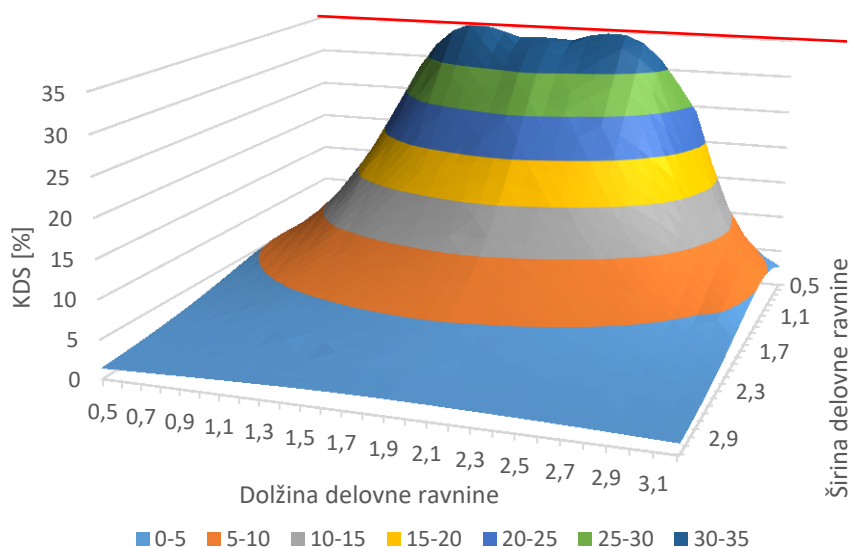
Prav tako kot pri P1 tudi tu največja razlika med višino zasteklitve nastopa med PTZGSS in osnutkom standarda FprEN 17037, pri čemer je višina zasteklitve v Londonu za 6 % višja od zasteklitve, določene za Ljubljano in Madrid, ter za 35 % višja od zasteklitve glede na PTZGSS (preglednica 13). WFR za mesto Ljubljana in Madrid znaša 25 %, medtem ko za London znaša 26 %. Razlika med WFR-jem za mesto London in PTZGSS znaša 30 %. Povprečna vrednost KDS-a za mesto London je za 7 % višja od povprečne vrednosti mesta Ljubljana in Madrid in za 43 % višja od vrednosti, določenih s PTZGSS.

Preglednica 13: Rezultati analize v prostoru P4

Mesto	Velikost zasteklitve [m]	Površina zasteklitve [m ²]	WFR [%]	KDS [%]			
				Min	Max	Avg	Med
Ljubljana, Madrid	2 x 0,8 x 1,45	2,32	25	1,4	35,0	10,0	6,2
London	2 x 0,8 x 1,55	2,48	26	1,6	35,3	10,7	6,9
PTZGSS*	2 x 0,8 x 1,15	1,84	20	0,8	32,2	7,5	3,9

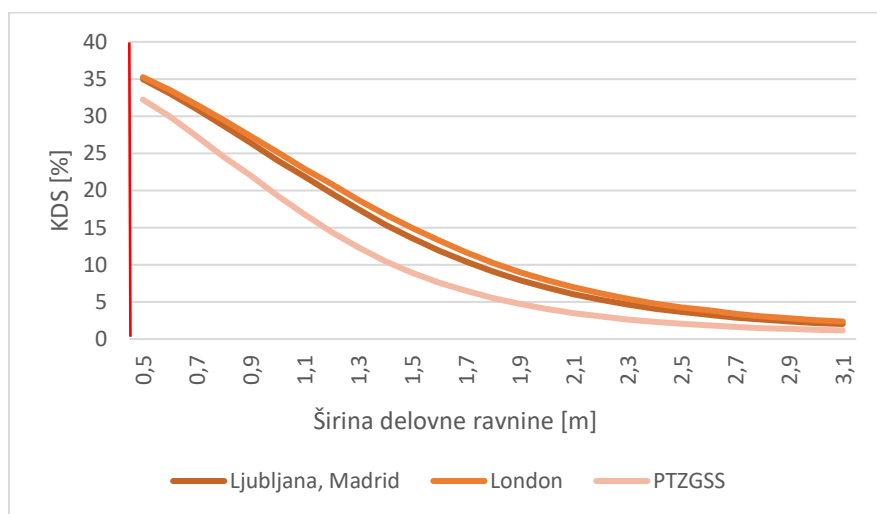
*dosega mejne vrednosti glede na Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj [11]

Kot vidimo na grafikonu 9, kjer so prikazane vrednosti KDS za velikost zasteklitve 2 x 0,8 x 1,45 m, vrednosti enakomerno padajo z naraščanjem oddaljenosti od zunanje stene, nad katero se nahaja zasteklitev. Zunanja stena je označena z rdečo črto. Najvišji nivo osvetlitve se v prostoru P4 prav tako kot v P1 nahaja direktno pod zasteklitvijo. Maksimalna vrednost znaša 35 %, medtem ko mediana doseže vrednost 6,2 %. Več kot polovico delovne ravnine je osvetljene s KDS nad 5 %. S tem smo dosegli 95-odstotno pokritost delovne ravnine nad 1,8 % KDS in več kot 50 % pokritosti delovne ravnine nad 2,9 %.



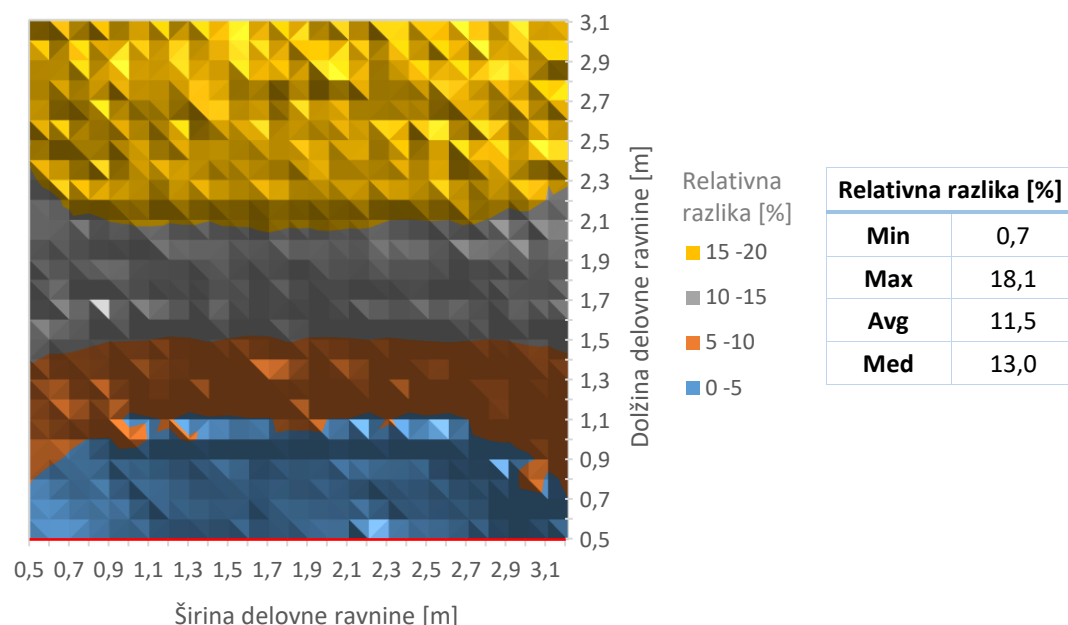
Grafikon 9: KDS [%] za P4, velikost zasteklitve: 2 x 0,8 x 1,45 m (Ljubljana, Madrid)

Padanje vrednosti KDS z oddaljenostjo od zunanje stene je predstavljeno na grafikonu 10. Rezultati so predstavljeni na 1,4 m dolžine delovne ravnine, kjer se nahaja maksimalna vrednost KDS-a. S pomočjo grafikona je jasneje predstavljeno, kako povečanje višine strešnega okna vpliva na distribucijo KDS na celotni širini delovne ravnine. Največja razlika med rezultati PTZGSS in FprEN 17037 se ponovno pojavi na prvi tretjini razdalje, na približno 1,2 m.



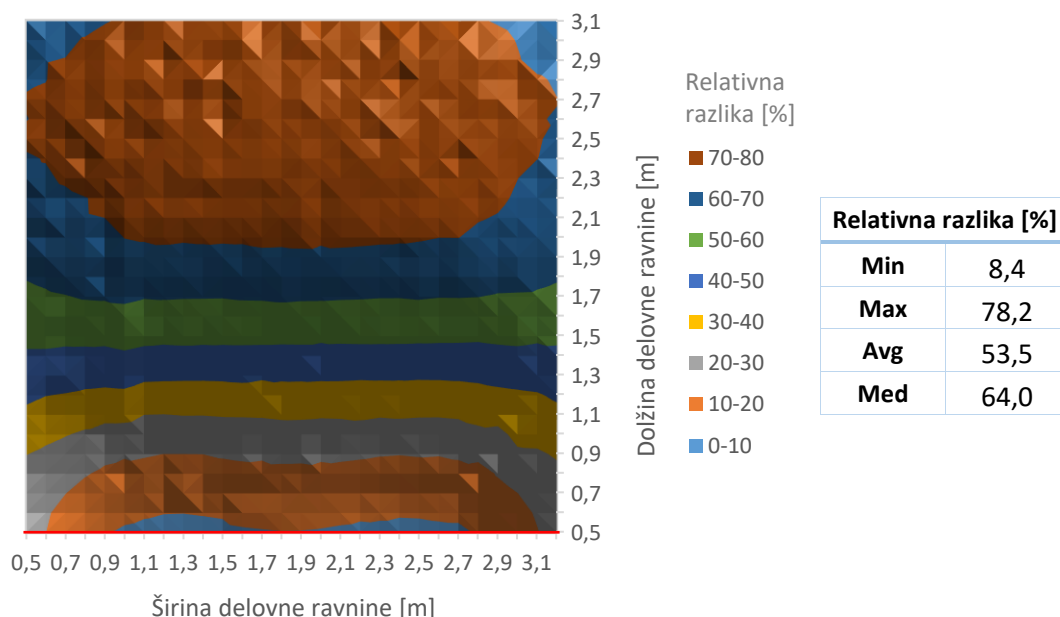
Grafikon 10: Prečni prerez na razdalji 1,4 m dolžine delovne ravnine v P4, prikaz KDS-a za tri vrednosti WFR-ja

Na grafikonu 11 je prikazana relativna razlika med vrednostmi KDS v Londonu in Ljubljani ter Madridu in v povprečju znaša 11,5 %. Razlika v višini zasteklitve je 10 cm. Na več kot polovici delovne ravnine relativna razlika znaša nad 10 %. Najnižja razlika nastopi tik pod okni in znaša 0,7 %, medtem ko je najvišja na dolžini delovne ravnine na odseku med 2,1 in 3,1 m in znaša 15–20 %.



Grafikon 11: Relativna razlika [%] KDS-a med Ljubljano in Londonom v P4

Razlika v višini zasteklitve med Ljubljano in vrednostmi PTZGSS je 40 cm. Povprečna relativna razlika med rezultati KDS-a znaša 53,5 %, kot je vidno na grafikonu 12. Najnižja relativna razlika nastopi tik pod okni in znaša 8,4 %, medtem ko je relativna razlika nad 1,7 m dolžine delovne ravnine nad 80 %.



Grafikon 12: Relativna razlika [%] KDS-a med Ljubljano in PTZGSS v P4

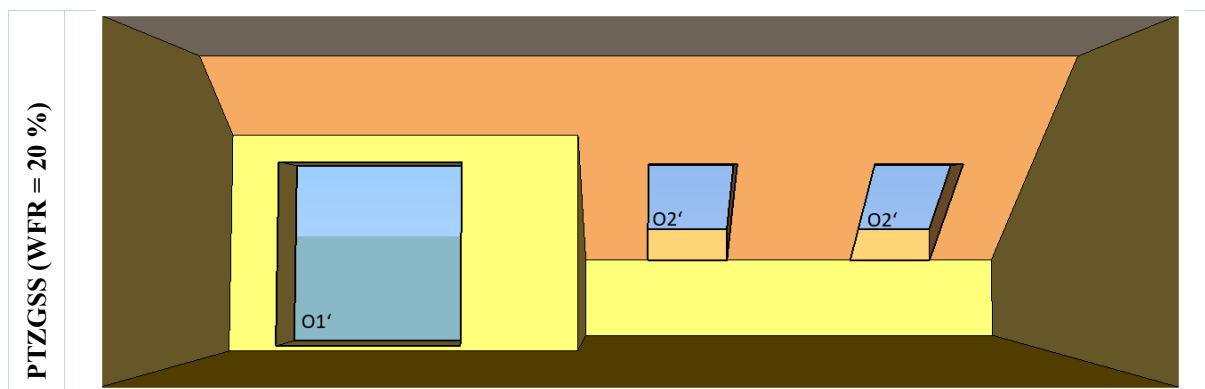
5.1.4 Prostor P6

Največji prostor v stanovanju se imenuje P6. Nahaja se na južni strani stanovanja ter obsega dnevno sobo, kuhinjo in jedilnico. Iz prostora je možnost izhoda na balkon skozi velika panoramska drsna vrata, ki merijo 2,2 x 1,8 m, katerih velikosti nismo spreminjali. Prostor P6 meji na prostore P1, P7, P8 ter na sosednje stanovanje. Tlorisna površina znaša 32,8 m² in predstavlja največji prostor v stanovanju. Primarno sta prostor poleg panoramskega okna razsvetljevali dve strešni okni. Zaradi globine prostora in kompleksnejšega tlorisa smo morali za doseg priporočil in zahtev dnevne osvetljenosti dodati tri

strešne zasteklitve. Širina zasteklitve O2 in O3 znaša 0,9 m. Okno O2 in O3 bi lahko po višini združili v eno samo okno, ampak smo se zaradi želje po zmanjšanju prehoda energije skozi stavbni ovoj odločili, da okno razdelimo na dva dela. Okna imajo namreč veliko manjšo toplotno izolativnost in posledično z vidika rabe energije predstavljajo šibko točko v stavbnem ovoju. Okno O2 smo namreč zaradi upoštevanja pogleda v zunanost tako kot v ostalih prostorih postavili nad kolenčni zid in mu povečevali višino. Ker je prostor na tem delu globok 3,7 m, je bilo zelo težko doseči primeren KDS ob notranji steni brez zelo velike višine. Izkazalo pa se je, da primeren KDS ob notranji steni lahko dosežemo tudi ob razdelitvi oken z zasteklitvijo na dva dela. Zato imamo na desnem delu prostora dve okni O2 in dve okni O3. Okno O4 smo dodali na strešino za namen doseganja primerne KDS-a na delovni ravni na levi strani prostora ob notranji steni. Brez te zasteklitve namreč ni bilo možno doseči primerne KDS-a, določenega s priporočenimi vrednostmi standarda. Ker so bile za mesto London določene višje vrednosti KDS-a kot za mesto Ljubljana in London in je najtemnejše območje v prostoru predstavljal prostor ob notranji steni na polovici širine prostora, smo morali za doseganje priporočil standarda FprEN 17037 za mesto London podaljšati O4, medtem ko je velikost ostalih zasteklitev glede na primer Ljubljana in Madrid ostala enaka. Velikost zasteklitve, določene glede na slovenski pravilnik PTZGSS, je veliko manjša od prvih dveh variant, saj pravilnik PTZGSS veleva zgolj doseganje $WFR \geq 20 \%$, zato smo bili primorani zmanjšati tudi okno O1. V preglednici 14 se nahaja prostorski prikaz vsake izmed rešitev.

Preglednica 14: Prostorski prikaz rezultatov prostora P6

Geometrija zasteklitve	
FprEN 17037 (Ljubljana, Madrid)	
FprEN 17037 (London)	



Rezultati, ki dosegajo minimalne priporočene velikosti zasteklitve glede na osnutek standarda FprEN 17037 in izpolnjujejo zahteve v PTZGSS [11], so predstavljeni v preglednici 15. Prostor P6 meri v globino 3,7 m in ima razgiban tloris. Kot je razvidno iz preglednice 15, prostor potrebuje velike transparentne površine. Kljub velikemu panoramskemu oknu zadostna osvetljenost prostora ni bila dosežena brez dodajanja podolgovate strešne zasteklitve nad njim, ki omogoča prodiranje svetlobe globlje v prostor.

WFR za mesto London znaša 34 %, za mesti Ljubljana in Madrid 33 % in glede na pravilnik PTZGSS 20 %. WFR za mesto London je za 3 % višji v Londonu kot v Ljubljani in Madridu ter za 70 % višji kot mejna vrednost v PTZGSS.

Povprečna vrednost KDS-a za mesto London je za 8 % višja od povprečne vrednosti mesta Ljubljana in Madrid in kar za 109 % višja od vrednosti, določenih s PTZGSS.

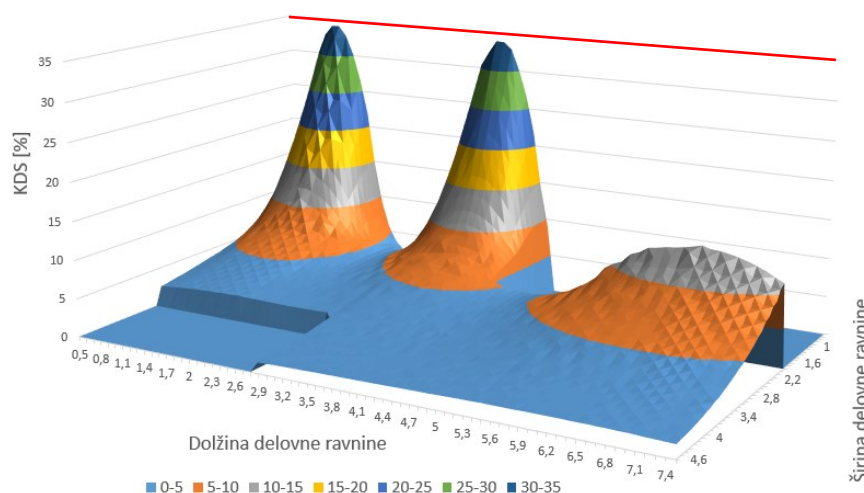
Preglednica 15: Rezultati analize v prostoru P6

Mesto	Velikost zasteklitve [m]	Površina zasteklitve [m ²]	WFR [%]	KDS [%]			
				Min	Max	Avg	Med
Ljubljana, Madrid	O1: 2,2 x 1,8; O2: 2 x 0,9 x 1,2; O3: 2 x 0,9 x 0,4; O4: 2,6 x 0,4	7,9	33	1,4	34,0	6,0	4,4
London	O1: 2,2 x 1,8; O2: 2 x 0,9 x 1,2; O3: 2 x 0,9 x 0,4; O4': 3,15 x 0,4	8,1	34	1,6	34,5	6,5	4,8
PTZGSS*	O1': 1,8 x 1,8; O2': 2 x 0,9 x 1,0	5,4	20	0,4	31,5	3,1	1,2

*dosega mejne vrednosti glede na Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj [11]

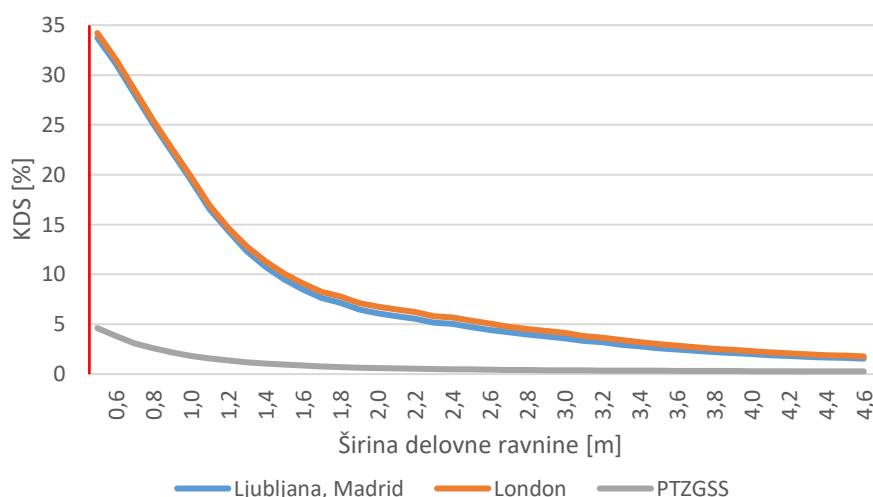
Tako kot v predstavitvi predhodnih prostorov smo tudi tu na grafikonu 13 prikazali vrednosti KDS na delovni ravnini v P6 za zasteklitve, ki dosegajo minimalne vrednosti KDS v mestih Ljubljana in Madrid. Najvišje vrednosti se znova pojavijo na točkah, ki ležijo najbližje zunanji steni, ki je označena z rdečo črto. Ker smo v tem primeru strešna okna O2 in O3 postavili bolj narazen, pride med njimi do velikega padca vrednosti KDS-a, kjer znaša KDS manj kot 5 %. Maksimalen KDS v tem prostoru znaša 34 %,

medtem ko mediana KDS-a doseže vrednost 4,4 %. S tem smo dosegli 95-odstotno pokritost delovne ravnine nad 1,8 % KDS in več kot 50 % pokritosti delovne ravnine nad 2,9 %.



Grafikon 13: KDS [%] za P6, velikost oken: 2 x 0,9 x 1,2 m, 2 x 0,9 x 0,4 m, 2,2 x 1,8 m, 2,6 x 0,4 m (Ljubljana, Madrid)

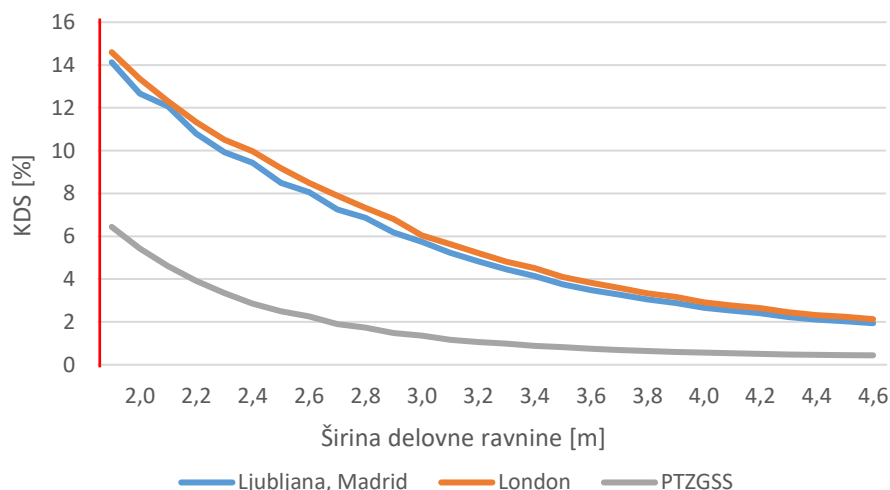
Spreminjanje velikosti KDS-a z večanjem razdalje od zunanje stene smo na grafikonu 14 prikazali s prerezom delovne ravnine na 3,5 m dolžine. Na tem območju se namreč pojavi maksimalna vrednost KDS-a in znaša v Ljubljani, Madridu in Londonu 34 %. Modra in oranžna linija prikazujeta trend padanja vrednosti KDS za mesto Ljubljana in Madrid ter London. Ker je velikost zasteklitve na tem območju v obeh primerih enaka, prav tako sovpadajo rezultati KDS. Zelo majhno razliko je možno zaznati na 1,9 do 2,8 m širine delovne ravnine, ki se pojavi zaradi vpliva podaljšanja zasteklitve okna O4 v Londonu. Ker rezultati PTZGSS ne vsebujejo oken O3 in O4 in je poleg tega okno O2 manjše višine, je nivo KDS-a v tem primeru veliko manjši. Maksimalna vrednost KDS-a na 0,5 m širine delovne ravnine je zgolj 4,6 % KDS, kar je 7,5-krat manj od vrednosti za London.



Grafikon 14: Prečni prerez na razdalji 3,5 m dolžine delovne ravnine v P6, prikaz KDS-a za tri vrednosti WFR-ja

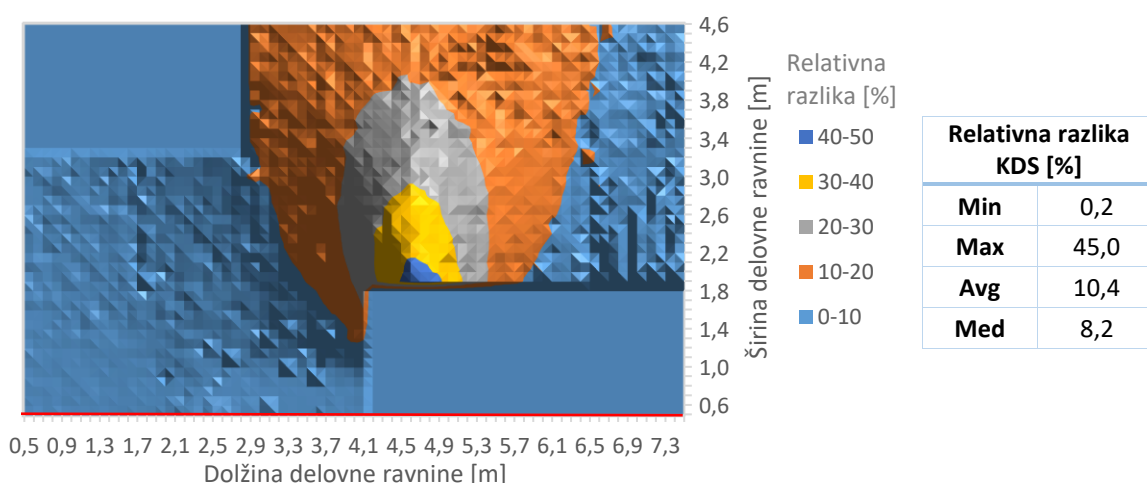
Ponovno smo prerezali dolžino delovne ravnine, in sicer na razdalji 6,6 m, kar predstavlja območje ob panoramskem oknu, kjer se pojavlja maksimalna vrednost KDS-a v tem delu prostora. Rezultati so prikazani na grafikonu 15. Notranja stena se začne na 1,9 m širine delovne ravnine, zato so vrednosti KDS-a prikazane na odseku od 1,9 m do 4,6 m. Maksimalna velikost KDS-a ob panoramskem oknu je veliko manjša od vrednosti KDS-a na grafikonu 14. Maksimalna vrednosti KDS-a za London namreč v tem primeru znaša 14,6 %, kar je 2,4-krat manj od maksimalne vrednosti pri prerezu skozi strešno okno.

Največja razlika v rezultatih se ponovno pojavi med zastekljitvijo, določeno s PTZGSS in zastekljitvijo, določeno glede na FprEN 17037. Zasteklitev glede na PTZGSS namreč ne vsebuje zastekljitve okna O4. Za glavno prednost omenjenega okna se je izkazalo prodiranje dnevne svetlobe v notranjost. Tudi tu lahko vidimo, da je nivo KDS-a glede na PTZGSS na širini 1,9 m 2,3-krat manjši od KDS-a, določenega s FprEN 17037. Razlika je vidna tudi v trendu padanja vrednosti na širini delovne ravnine v primerjavi z modro in oranžno trendno črto, ki se pojavi zaradi manjkajočega okna O4.



Grafikon 15: Prečni prerez po dolžini delovne ravnine na razdalji 6,6 m v P6, prikaz KDS-a za tri vrednosti WFR-ja

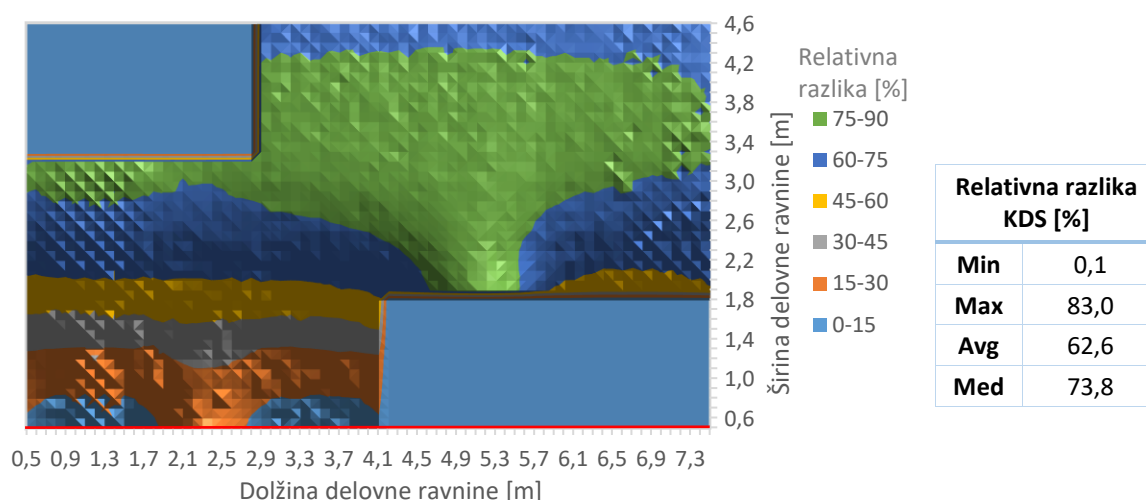
Za doseganje primerne KDS-a v prostoru P6 s priporočenimi vrednostmi glede na FprEN 17037 za London smo v primerjavi z zastekljitvijo v Ljubljani in Madridu podaljšali zgolj okno O4. Na grafikonu 16 je predstavljena relativna razlika med KDS ob podaljšanju zastekljitve O4 za 0,55 m. Vidimo lahko, da podaljšanje zastekljitve strešnega okna O4 pričakovano rezultira v povečanju KDS-a, predvsem v osrednjem delu prostora. Ker je zaradi globine prostora najbolj kritično območje na dolžini delovne ravnine med 2,9 in 4,1 m ob širini delovne ravnine 3,4 do 4,6 m, je odločitev za podaljšanje zastekljitve ravno na tem predelu najbolj doprinesla k povečanju vrednosti KDS. Na tem območju smo tako za več kot 10 % povišali rezultate KDS-a. Obenem je jasno vidno, kako lahko s strešnimi okni, ki ležijo tik pod stropom, pripeljemo dnevno svetlobo globlje v prostor.



Grafikon 16: Relativna razlika [%] med KDS-om v P6 za Ljubljano in Madrid ter Londonom

V kolikšni meri dodatna strešna okna v tako velikem prostoru vplivajo na rezultate KDS, prikazuje grafikon 17. Izračunali smo namreč relativno razliko med zastekljitvijo za Ljubljano in Madrid ter

zasteklitev, določeno s PTZGSS, ki ne vsebuje oken O3 in O4. Povprečna relativna razlika med rezultati KDS-a znaša 62,6 %. Najnižja razlika nastopi tik pod okni in znaša 0,1 %. Dodatek zasteklitev na poševni del strehe v največji meri vpliva na osvetljenost v notranjosti delovne ravnine. Izpostavimo lahko območje nad 75 % relativne razlike na razdalji med 0,5 do 2,9 m dolžine delovne ravnine na širini od 2,8 do 3,2 m, ki je nastal zaradi zasteklitve oken O3. Desno okno O3 je vplivalo tudi na rezultate na razdalji od 2,9 do 4,1 m dolžine delovne ravnine na širini od 3,3 do 4,3 m delovne ravnine, saj je zaradi njegove lokacije tik ob stropu omogočilo prodiranje dnevne svetlobe v notranjost prostora. Naslednje zanimivo območje se nahaja na razdalji med 4,6 in 5,5 m dolžine delovne ravnine na širini od 1,9 do 2,5 m. Razlog za več kot 75-odstotno povečanje rezultatov KDS-a na tem območju je v velikosti panoramskega okna. Zgolj v tem primeru smo namreč to okno zmanjšali za 0,4 m iz širine 2,2 m na 1,8 m. Posledično ima pas ob zunanji steni takoj ob oknu veliko nižjo osvetljenost.



Grafikon 17: Relativna razlika v KDS-u za P6 med zasteklitvijo za Ljubljano in London ter PTZGSS v %

5.1.5 Združeni rezultati KDS za mansardno stanovanje

V tem poglavju bomo predstavili rezultate analize osvetljenosti vseh prostorov in njihovo primerjavo. Najprej bomo izpostavili, katere mejne vrednosti, ki smo jim želeli zadostiti glede na FprEN 17037, so v največji meri vplivale na velikost zasteklitve. Primerno velikost transparentnih delov oken smo namreč pridobili z analizo osvetljenosti, in sicer tako, da smo dosegli priporočene vrednosti KDS-a glede na preglednico 3, navedeno v poglavju Zakonodaja in standardi. Dodatno nas je zanimalo, kolikšen odstotek delovne površine dosega mejne priporočene vrednosti osnutka standarda FprEN 17037 v primeru upoštevanja PTZGSS. V preglednici 16 so predstavljeni odstotki, ki dosegajo mejne vrednosti KDS-a za P1, P4 in P6 glede na pokritost delovne površine. Vidimo lahko, da je 50-odstotna pokritost delovne površine ob upoštevanju FprEN 17037 vedno dosežena, in sicer je v vseh primerih pokritost vsaj 0,7 oziroma 70 %. Velikost zasteklitve glede na PTZGSS dosega 50-odstotno pokritost delovne površine v P1 ob KDS-u 2,9 % in 3 %, ne pa tudi ob 3,5 %. Vrednosti pravilnika v nobenem primeru ne dosegajo 95-odstotne pokritosti delovne površine nad 1,8 %. Želeni vrednosti se še najbolj približa P4 z 0,75 oziroma 75-odstotno pokritostjo pri KDS = 1,8 %.

Preglednica 16: Pokritosti delovne površine nad minimalnim KDS-om, določenim glede na standard

	Priporočena pokritost delovne površine	0,95	0,95	0,50	0,50	0,50
	Minimalen KDS	1,8 %	2,1 %	2,9 %	3,0 %	3,5 %
P1	FprEN 17037 (Ljubljana, Madrid)	0,95		0,75	0,73	
	FprEN 17037 (London)		0,96			0,76
	PTZGSS	0,68	0,62	0,51	0,50	0,45
P4	FprEN 17037 (Ljubljana, Madrid)	0,96		0,78	0,77	
	FprEN 17037 (London)		0,96			0,76
	PTZGSS	0,75	0,70	0,60	0,59	0,53
P6	FprEN 17037 (Ljubljana, Madrid)	0,97		0,77	0,75	
	FprEN 17037 (London)		0,96			0,72
	PTZGSS	0,36	0,32	0,25	0,25	0,21

V preglednici 17 so predstavljene vrednosti površine oken in zasteklitve, višine zasteklitve in WFR za vse prostore P1–P6 v odvisnosti od priporočil standarda FprEN 17037 in glede na PTZGSS. Velikosti zasteklitvev in oken smo uporabili v nadaljevanju, ko smo določevali energijsko bilanco celotnega stanovanja.

Preglednica 17: Rezultati velikosti oken in zasteklitvev vseh prostorov v mansardnem stanovanju, določenih po metodi KDS

Prostor	P _{prostora} [m ²]	Robni pogoji	P _{okna} [m ²]	P _{zasteklitve} [m ²]	V _{zasteklitve} [m]	WFR [%]
P1	12,2	FprEN 17037 (Ljubljana, Madrid)	3,20	2,24	1,40	26
		FprEN 17037 (London)	3,50	2,48	1,55	29
		PTZGSS	2,50	1,68	1,05	20
P2	10,5	FprEN 17037 (Ljubljana, Madrid)	3,10	2,16	1,35	29
		FprEN 17037 (London)	3,20	2,24	1,40	30
		PTZGSS	2,10	1,36	0,85	20
P3	13,5	FprEN 17037 (Ljubljana, Madrid)	3,40	2,40	1,50	25
		FprEN 17037 (London)	3,70	2,64	1,65	27
		PTZGSS	2,70	1,84	1,15	20
P4	13,3	FprEN 17037 (Ljubljana, Madrid)	3,30	2,32	1,45	25
		FprEN 17037 (London)	3,50	2,48	1,55	26
		PTZGSS	2,70	1,84	1,15	20
P5	10,1	FprEN 17037 (Ljubljana, Madrid)	3,10	2,16	1,35	31
		FprEN 17037 (London)	3,30	2,32	1,45	33
		PTZGSS	2,10	1,36	0,85	21
P6	32,8	FprEN 17037 (Ljubljana, Madrid)	10,88	7,88	*	33
		FprEN 17037 (London)	11,21	8,10	**	34
		PTZGSS	6,64	5,04	***	20

Širina zasteklitve v P1–P5 je 0,8 m, dimenzija okvirja je 0,1 m, v vsakem prostoru P1–P5 sta dve okni

* O1: 2,2 x 1,8; O2: 2 x 0,9 x 1,20; O3: 2 x 0,9 x 0,4; O4: 2,6 x 0,4

** O1: 2,2 x 1,8; O2: 2 x 0,9 x 1,20; O3: 2 x 0,9 x 0,4; O4': 3,15 x 0,4

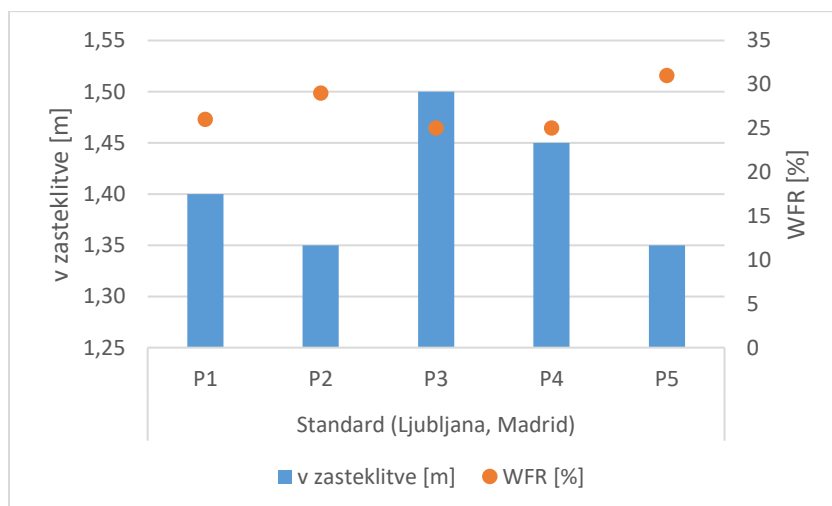
*** O1': 1,8 x 1,8; O2': 2 x 0,9 x 1,0

Prostori P1–P5 imajo zelo podobno tlorisno površino, ki sega od $A_{P5} = 10,1 \text{ m}^2$ do $A_{P3} = 13,5 \text{ m}^2$. Kljub temu smo z analizo ob upoštevanju priporočil standarda dobili različne velikosti zasteklitve oken. Na grafikonu 18 smo prostor P6 izvzeli iz primerjave, saj ima bolj razgibano obliko tlorisne površine in je obenem njegova tlorisna površina veliko večja od ostalih. Zaradi lažje primerjave smo se že v osnovi

odločili, da bodo vsa strešna okna v P1–P5 širine 0,8 m in da bo imel vsak prostor dve okni. V spodnjem grafikonu smo prikazali višino zasteklitve v vsakem izmed prostorov in faktor WFR, ki predstavlja razmerje med površino okna in tlorisno površino za rezultate analize glede na osnutek standarda FprEN 17037 za mesti Ljubljana in Madrid. Kot lahko vidimo, je najmanjša višina zasteklitve okna v P2 in P5 in znaša 1,35 m, ki imata prav tako najmanjšo tlorisno površino; $A_{P2} = 10,5 \text{ m}^2$ in $A_{P5} = 10,1 \text{ m}^2$. Nekoliko višjo zasteklitev ima P1 z višino 1,4 m in tlorisno površino $A_{P1} = 12,2 \text{ m}^2$, sledita mu P4 z 1,45 m in P3 z 1,5 m, katerih tlorisna površina je $A_{P4} = 13,3 \text{ m}^2$ in $A_{P3} = 13,5 \text{ m}^2$. Večji površini zasteklitve torej sledi večja tlorisna površina.

Na vprašanje, zakaj je WFR pri nekaterih izmed prostorov nesorazmerno večji od ostalih, pa smo si odgovorili z analizo geometrije vsakega izmed njih. Globina prostorov P2–P5 je 3,6 m, prostora P1 pa 3,4 m. Najnižji WFR imata prostora P3 in P4, in sicer 25 %. Prostor P4 ima pravokotno tlorisno površino z razmerjem globine in širine $g/\bar{s} = 0,97$. Obe zasteklitvi oken ležita na sredini zunanje stranice in tako omogočata optimalno distribucijo svetlobe v prostoru. Prostor P3 ima razmerje $g/\bar{s} = 1$. Globina prostora je enaka kot v P4, vendar ima v notranjem kotu tlorisa predel, kamor svetloba težje prodre, ampak ker zasteklitev oken zaradi vogalne strešine ne leži na sredini zunanje stranice, to pozitivno vpliva na razporeditev svetlobe v prostoru in posledično na njegov WFR. Nekoliko večji WFR ima P1, in sicer 26 %. Globina tega prostora je 3,4 m, njegovo razmerje stranic pa znaša $g/\bar{s} = 0,94$, kar je najmanj izmed vseh obravnavanih prostorov. Čeprav ima najmanjšo globino prostora in najbolj ugodno razmerje $g/\bar{s}$, njegov WFR ni najnižji. To lahko pripišemo temu, da ima dve vogalni strešini, posledično zasteklitev oken ne leži na sredini zunanje stene, zato je težje doseči dovoljšno osvetljenost v zunanjem kotu. Prostor P2 ima odrezano pravokotno obliko tlorisa, zato je razmerje WFR višje in znaša 29 %. Razmerje $g/\bar{s}$ v tem primeru znaša 1,13. Sklepamo lahko, da bi bila enaka velikost zasteklitve primerna tudi pri pravilni pravokotni obliki tega prostora, saj okna ležijo na sredini zunanje stranice, kar posledično pomeni, da je distribucija svetlobe glede na zunanjo steno simetrična. V tem primeru bi v tem prostoru dobili manjši WFR. Prostor P5 ima podolgovato pravokotno tlorisno obliko z razmerjem $g/\bar{s} = 1,29$. Okna ležijo na sredini zunanje stranice. Ker je tlorisna širina veliko manjša od dolžine, znaša WFR 31 % in ima največjo vrednost izmed vseh prostorov P1–P5.

Iz danih rezultatov lahko sklepamo, da tlorisna oblika in potencialne nepravilnosti le-te močno vplivajo na dosežen nivo dnevne svetlobe v prostoru. Zato je določanje velikosti zasteklitve zgolj z WFR-faktorjem preveč posplošeno. Velikost WFR-ja v tem poglavju je določena zgolj za strešne odprtine z naklonom strehe 42° , kjer pa kljub temu lahko že vidimo odstopanja od zakonskih zahtev s predpisanim WFR 20 %. V naslednjem poglavju bomo z analizo ob enaki metodi predstavili velikosti zasteklitev referenčnega stanovanja z ravno streho.



Grafikon 18: Višina zasteklitve in WFR-faktor za prostore P1–P5, določene glede na FprEN 17037 (Ljubljana in Madrid)

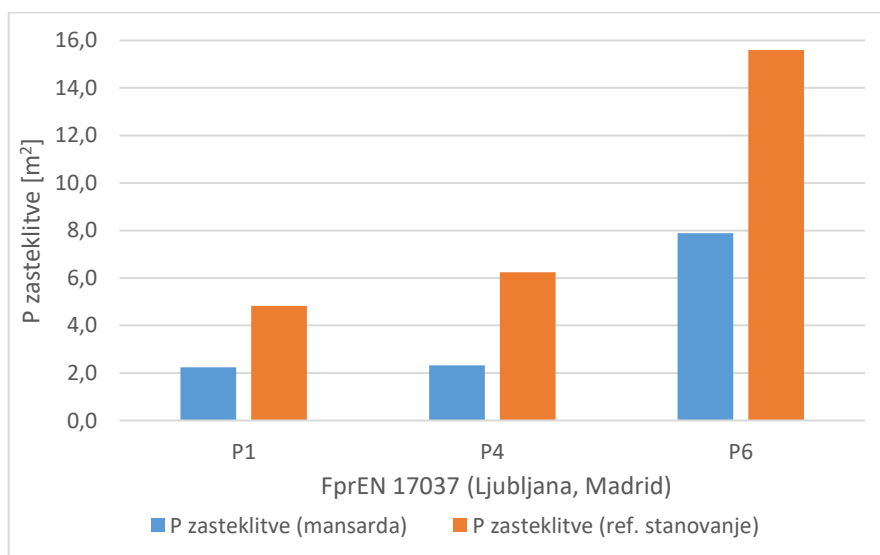
5.2 Primerjava osvetljenosti mansardnega stanovanja z referenčnim stanovanjem z metodo KDS

V tem poglavju smo pripravili glavne primerjave dnevne osvetljenosti med mansardnim stanovanjem in referenčnim stanovanjem z ravno streho. Kot smo že zapisali, je glavna razlika med obema stanovanjema v naklonu površine, na kateri se nahajajo okna. Zaradi naklona površine lahko pričakujemo, da bomo za doseganje enake osvetljenosti v prostoru potrebovali večjo površino zasteklitve pri stanovanju z ravno streho, saj dnevna svetloba zaradi usmerjenosti zasteklitve v manjši meri prehaja v prostor. Prav tako je zaradi naklona zasteklitve pričakovati različno distribucijo dnevne svetlobe v prostoru. Zanima nas tudi, kako se velikost površine zasteklitve v referenčnem stanovanju spreminja v odvisnosti od lokacije. Na koncu so v tabelah predstavljene velikosti zasteklitev, ki smo jih uporabili v drugem delu naloge, kjer smo analizirali energijsko bilanco stanovanj in grafična primerjava KDS-vrednosti v obeh tipih stanovanj glede na FprEN 17037 pri vseh treh lokacijah in ob upoštevanju PTZGSS.

5.2.1 Velikost zasteklitve in nivo KDS-a ob upoštevanju priporočenih vrednosti FprEN 17037 za Ljubljano in Madrid

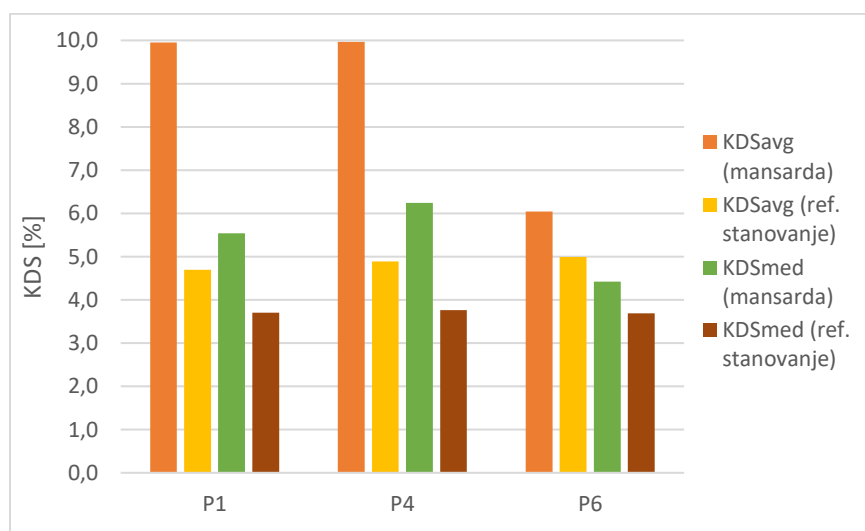
V standardu je zapisano, da je primerna osvetljenost v prostoru vsaj 50 % dnevnih ur v letu dosežena, če za izbrano mesto upoštevamo nivo KDS-a na 50 % ali 95-odstotne pokritosti delovne površine. Kot smo ugotovili v prejšnjem poglavju, je v osnutku standarda FprEN 17037 merodajno zadoščanje pogoju za 95-odstotno pokritost. Ob upoštevanju tega pogoja in priporočenih vrednosti KDS-a za mesto Ljubljana in Madrid, ki znaša $KDS = 1,8 \%$, nas je zanimalo, kolikšna je razlika v velikosti zasteklitve pri mansardnem in njegovem referenčnem stanovanju in kakšna razlika v mediani in povprečni vrednosti KDS-a. FprEN 17037 namreč obravnava vertikalne in nagnjene površine zasteklitev enako. Rezultate smo predstavili za tri prostore; P1, P4 in P6.

Na grafikonu 19 se nahaja primerjava velikosti zasteklitve za tri prostore v mansardnem stanovanju in njegovem referenčnem stanovanju glede na priporočene vrednosti standarda FprEN 17037 za mesti Ljubljana in Madrid. V prostoru P1 je površina zasteklitev v referenčnem stanovanju 2,2-krat višja od zasteklitve v mansardnem stanovanju, v P4 kar 2,7-krat in v P6 2,0-krat višja. Velikost KDS-a nad 1,8 % ob 95-odstotni pokritosti delovne površine je torej v primeru 42-stopinjske nagnjenosti površine, na kateri je zasteklitev, dosežena z najmanj pol manjšo površino zasteklitve. To dejstvo govori močno v korist vgrajevanju strešnih oken v stanovanja, seveda ob upoštevanju arhitekturnih možnosti le-tega.



Grafikon 19: Površina zasteklitve v prostorih P1, P4 in P6 ob upoštevanju FprEN 17037 (Ljubljana, Madrid) za mansardo in njegovo referenčno stanovanje

V prostoru navadno želimo doseči čim bolj enakomerno razporeditev dnevne svetlobe, saj lahko tako izboljšamo kakovost bivanja v prostoru. Povprečna vrednost KDS je navadno pri dnevnem osvetljevanju zaradi zelo visokih vrednosti KDS tik pod zasteklitvijo višja od KDS_{med} , kar dokazuje tudi grafikon 20. Na njem so prikazane KDS_{avg} in KDS_{med} za mansardno in referenčno stanovanje pri velikosti zasteklitve, določene glede na priporočene vrednosti standarda FprEN 17037 za mesti Ljubljana in Madrid. Razlika med mediano in povprečno vrednost KDS-a je v referenčnem stanovanju veliko manjša kot v mansardnem stanovanju, kar govori v korist referenčnemu stanovanju. Prav tako je očitna razlika med povprečnimi vrednostmi obeh stanovanj, in sicer je povprečna vrednost KDS_{avg} v P1 referenčnega stanovanja 2,1-krat manjša od KDS_{avg} v mansardnem stanovanju. V P4 je KDS_{avg} 2,0-krat manjši ter v P6 1,2-krat manjši v referenčnem stanovanju. KDS_{med} v prostoru P1 je v primeru mansardnega stanovanja 1,5-krat večja od KDS_{med} v referenčnem stanovanju, v P4 1,6-krat in v P6 1,2-krat. Prostor P6 ne vsebuje zgolj strešne zasteklitve, ampak tudi panoramsko okno, pri tem pa je KDS_{avg} v mansardnem stanovanju le 1,4-krat večja od KDS_{med} .



Grafikon 20: Rezultati KDS_{avg} in KDS_{med} v prostorih P1, P4 in P6 za mansardno in referenčno stanovanje ob upoštevanju FprEN 17037 (Ljubljana, Madrid)

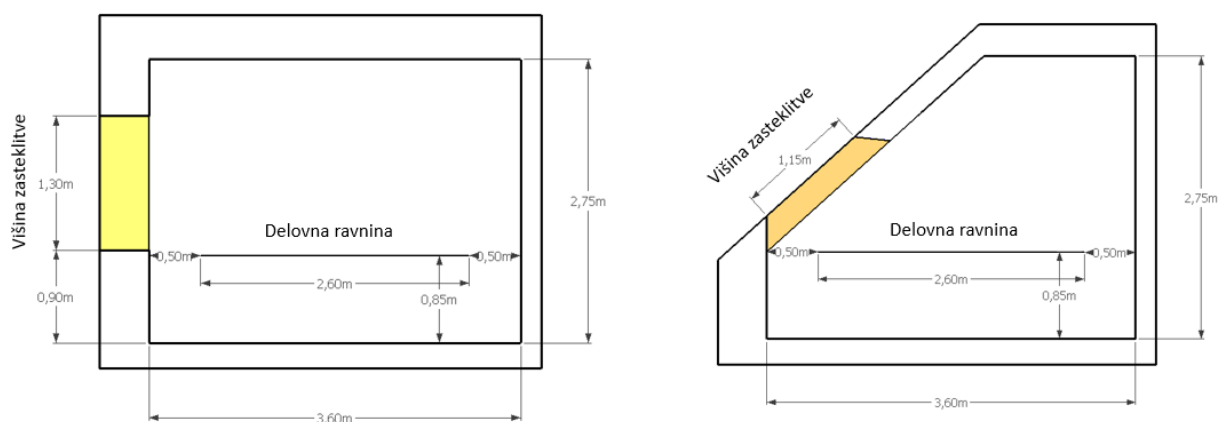
5.2.2 Razporeditev rezultatov KDS-a pri enakem WFR = 20 % v P4

Slednji prostor smo izbrali, ker je njegov tloris pravokotne oblike z eno zunanjo stranico, hkrati pa je njegova širina večja od dolžine. S tem se izognemo neenakomerni distribuciji svetlobe, ki se pojavi v prostorih P1 in P3 mansardnega stanovanja, obenem pa prikažemo tipičen prostor. V mansardnem stanovanju smo v P4 namestili dve okni z dimenzijo zasteklitve 0,8 m x 1,15 m, v referenčnem stanovanju pa zgolj eno okno z zasteklitvijo 1,6 m x 1,3 m. Zaradi upoštevanja debeline okvirja pri vsakem izmed oken je površina zasteklitve v primeru mansardnega stanovanja različna od površine v referenčnem stanovanju, in sicer znaša v prvem primeru $P_{zasteklitve, mansarda} = 1,8 \text{ m}^2$, v drugem pa $P_{zasteklitve, ref. stanovanje} = 2,1 \text{ m}^2$. V obeh primeri je WFR-faktor 20 %, kot je določeno glede na PTZGSS. Površine zasteklitve in okna v P4 mansardnega stanovanja in referenčnega stanovanja so zapisane v preglednici 18.

Preglednica 18: Površina zasteklitve in okna v P4; WFR = 20 %

	Mansardno stanovanje	Referenčno stanovanje
P zasteklitve [m^2]	1,8	2,1
P okna [m^2]	2,7	2,7

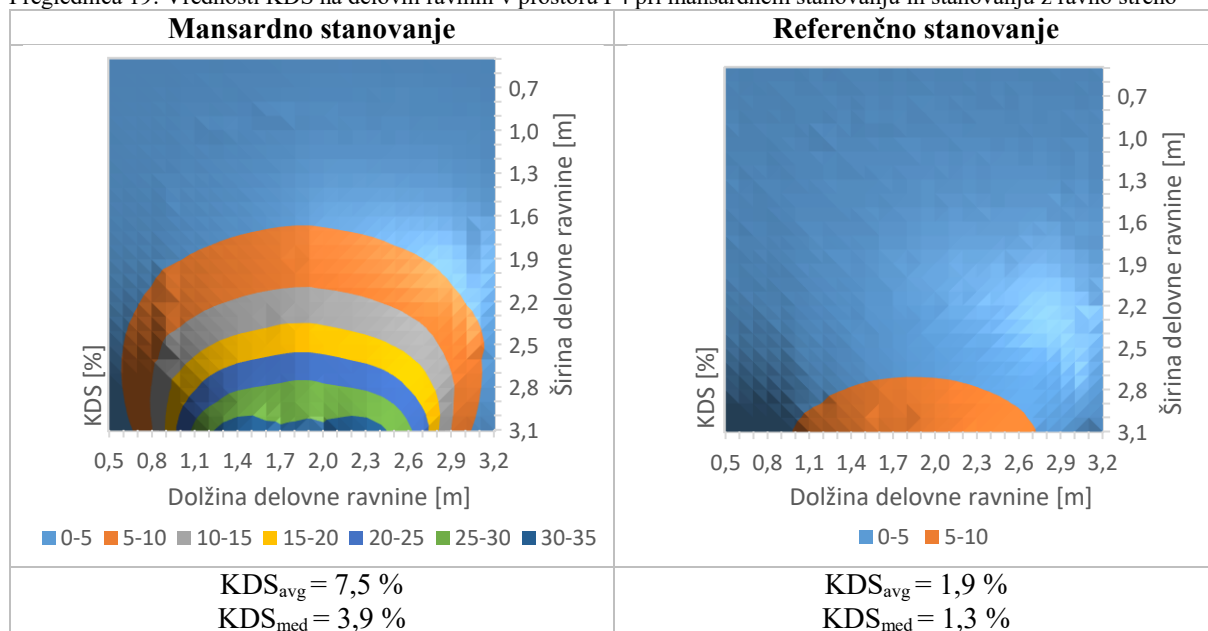
Za boljšo predstavbo o velikosti zasteklitve v odvisnosti od velikosti prostora je na sliki 11 predstavljen prečni prerez skozi zasteklitve v referenčnem stanovanju (levo) in stanovanju z ravno streho (desno). Naklon strešine znaša 42°.



Slika 11: Prečni prerez skozi zasteklitve v P4

V preglednici 19 so predstavljeni rezultati KDS-a na delovni ravnini prostora P4 pri obeh tipih stanovanja. Vidimo lahko, da je pri referenčnem stanovanju KDS na večini delovne ravnine pod vrednostjo 5 %, medtem ko je pri mansardnem stanovanju pod to vrednostjo dobra polovica delovne ravnine, od 0,5 m do 1,7 m širine delovne ravnine. Povprečna vrednost KDS-a je 3,9-krat višja v primeru mansardnega stanovanja, medtem ko je mediana KDS-a 3-krat višja. Prav tako je v mansardnem stanovanju veliko večja maksimalna vrednost KDS-a, ki dosega vrednosti do 35 %, kar bi lahko privedlo do bleščanja. V referenčnem stanovanju je maksimalna vrednost KDS-a zgolj 10 %. Iz tega je razvidno, da je skozi vertikalne zasteklitve oken prehod dnevne svetlobe veliko manjši od prehoda skozi nagnjene zasteklitve. Prav tako je prehod svetlobe v globino prostora v primeru referenčnega stanovanja veliko manjši.

Preglednica 19: Vrednosti KDS na delovni ravnini v prostoru P4 pri mansardnem stanovanju in stanovanju z ravno streho



5.2.3 Zbrani rezultati zasteklitve in oken v referenčnem stanovanju

V preglednici 20 so predstavljene površine zasteklitve in oken v vseh prostorih referenčnega stanovanja, ki jih bomo uporabili v nadaljnjih analizah rabe energije v stanovanju.

Preglednica 20: Površine zasteklitve in oken v referenčnem stanovanju

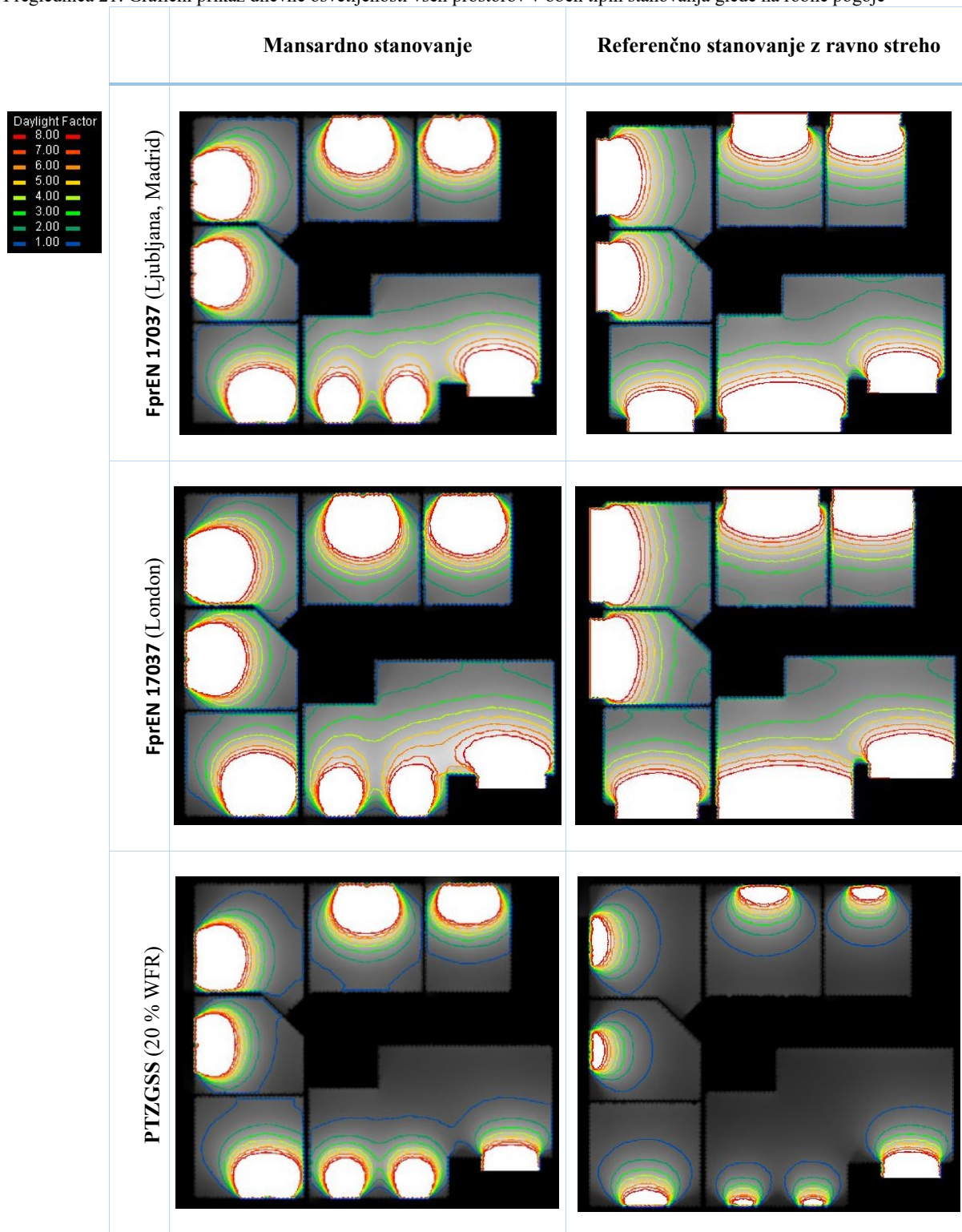
Preglednica 26: Površine zasteklitve in oken v toplem stanovanju							
Prostor	P prostora [m ²]	Robni pogoji	P okna [%]	P zasteklitve [m ²]	v zasteklitve [m]	š zasteklitve [m]	WFR [%]
P1	12,2	FprEN 17037 (Ljubljana, Madrid)	5,75	4,83	2,10	2,30	47
		FprEN 17037 (London)	6,67	5,67	2,70	2,10	54
		PTZGSS	2,48	1,89	1,30	1,45	20
P2	10,5	FprEN 17037 (Ljubljana, Madrid)	5,98	5,04	2,40	2,10	57
		FprEN 17037 (London)	7,54	6,48	2,70	2,40	72
		PTZGSS	2,10	1,56	1,30	1,20	20
P3	13,5	FprEN 17037 (Ljubljana, Madrid)	7,54	6,48	2,70	2,40	56
		FprEN 17037 (London)	9,18	8,00	3,20	2,50	68
		PTZGSS	2,70	2,08	1,30	1,60	20
P4	13,3	FprEN 17037 (Ljubljana, Madrid)	7,28	6,24	2,60	2,40	55
		FprEN 17037 (London)	8,58	7,44	3,10	2,40	64
		PTZGSS	2,70	2,08	1,30	1,60	20
P5	10,1	FprEN 17037 (Ljubljana, Madrid)	6,76	5,76	2,40	2,40	67
		FprEN 17037 (London)	8,27	7,16	2,70	2,65	82
		PTZGSS	2,03	1,50	1,30	1,15	20
P6	32,8	FprEN 17037 (Ljubljana, Madrid)	17,94	15,60	*		55
		FprEN 17037 (London)	20,79	18,25	**		63
		PTZGSS	6,64	5,04	***		20
* O1: 2,4 x 2,4; O2: 4,1 x 2,4							
** O1: 2,8 x 2,5; O2: 4,5 x 2,5							
*** O1: 1,8 x 1,8; O2: 2 x 0,9 x 1,0							

5.2.4 Grafična primerjava KDS mansardnega stanovanja in referenčnega stanovanja

Za konec obravnavanega poglavja smo v preglednici 21 grafično predstavili vrednosti KDS-a v vsakem izmed prostorov na celotni tlorisni površini. Pri tem smo upoštevali priporočila osnutka standarda FprEN 17037 v odvisnosti od lokacije in PTZGSS. V prejšnjih poglavjih smo natančno obravnavali vsakega izmed prostorov, medtem ko je to podpoglavje namenjeno celostni primerjavi rezultatov osvetljenosti s KDS. Kot smo že ugotovili v prejšnjih poglavjih, naklon strešine močno vpliva na velikost KDS-a v notranjosti prostora. Na tlorisih obeh stanovanj, kjer smo upoštevali priporočila standarda FprEN 17037 (Ljubljana, Madrid), se nivo KDS-a nad 1,8 % nahaja na 95 % delovne površine. Sama oblika izolinij pa se močno razlikuje med seboj. V mansardnem stanovanju svetloba prehaja veliko globlje v prostor in je posledično za enako osvetljenost potrebna veliko manjša površina zasteklitve. Oblika izolinij med rezultati standarda za Ljubljano, Madrid ter London je med seboj v obeh tipih

stanovanj močno podobna. Ob upoštevanju PTZGSS pa je nivo vrednosti KDS pri obeh tipih stanovanja veliko manjši.

Preglednica 21: Grafični prikaz dnevne osvetljenosti vseh prostorov v obeh tipih stanovanja glede na robne pogoje



6 REZULTATI ANALIZE RABE ENERGIJE

V tem poglavju so predstavljeni rezultati rabe energije v mansardnem stanovanju, ki smo jih pridobili z izdelavo modela mansardnega stanovanja, kjer smo upoštevali velikosti zasteklitev glede na osnutek standarda FprEN 17037 v odvisnosti od lokacije, ki smo jih analizirali v prejšnjih poglavjih, ter glede na Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj [11]. Zanimalo nas je, v kolikšni meri v primerno osvetljenem stanovanju energijska bilanca oken (v nadaljnjem besedilu: EBW) v različnih mesecih v letu vpliva na potrebno energijo za ogrevanje in hlajenje. Energijske izgube in dobitki skozi okno nastanejo zaradi transmisijskega prehoda toplote. Poleg tega skozi transparenten del okna prehaja tudi energija sočnega sevanja. Zato imamo lahko v istem dnevu tako solarne pritoke skozi okno Q_{op} (vedno ≥ 0) kot tudi toplotni tok skozi okno Q_{ot} (negativen v primeru izgub – toplotni tok teče ven, pozitiven v primeru pritokov – toplotni tok teče noter), njihov seštevek pa imenujemo EBW. Če je EBW pozitivna, v času ogrevanja zmanjšuje potrebno energijo za ogrevanje in tako pozitivno vpliva na toplotni odziv stavbe. V času hlajenja negativna EBW zmanjšuje potrebno energijo za hlajenje. V primeru, ko je EBW negativna, je potrebna energija za ogrevanje povečana, medtem ko je potrebna energija za hlajenje zmanjšana. Iz tega sledi, da moramo za natančno določevanje vpliva EBW na energijsko bilanco stavbe rezultate vedno upoštevati v odvisnosti od časa v letu (ogrevanje ali hlajenje stavbe).

6.1 Vpliv energijske bilance okna (EBW) na potrebno energijo za ogrevanje in hlajenje

6.1.1 Mansardno stanovanje brez upoštevanja senčenja

V tem podpoglavju je predstavljena energijska bilanca oken (EBW) in potrebna energija za ogrevanje in hlajenje v stanovanju. Rezultati so na mesečni ravni za celotno leto predstavljeni za lokacije Ljubljana, London in Madrid na grafikonih 21 do 23. Kot smo že omenili, so solarni dobitki v času ogrevanja dobrodošli in nezaželeni v času hlajenja. Vpeljali smo dva količnika μ_h [-] in μ_c [-], ki nam povesta, kolikšen del potrebne energije za ogrevanje Q_{NH} ali hlajenje Q_{NC} predstavlja EBW. Če je količnik negativen, EBW povečuje potrebno energijo za ogrevanje Q_{NH} ali hlajenje Q_{NC} in s tem negativno vpliva na energijsko bilanco stanovanja. V tem primeru EBW predstavlja μ_h ali μ_c potrebne energije za ogrevanje ali hlajenje. V nasprotnem primeru sta obe vrednosti v ulomku pozitivni in EBW zmanjšuje potrebno energijo za ogrevanje ali hlajenje. EBW v tem primeru predstavlja μ_h ali μ_c celotne potrebne dovedene/odvedene energije. V enačbah (3) in (4) je potrebna energija za hlajenje Q_{NC} upoštevana z negativnim predznakom, saj v fizikalnem smislu predstavlja zmanjševanje energije, ki se odraža v hlajenju prostora. Celotna energija, ki jo potrebujemo za dosego energijske bilance stanovanja ΔS , je sestavljena tako iz potrebne energije za ogrevanje Q_{NH} ali hlajenje Q_{NC} kot tudi iz EBW. Bolj kot sta količnika μ_h in μ_c različna od 0, večji vpliv ima EBW na potrebno energijo za ogrevanje in hlajenje.

$$\mu_h = \begin{cases} \frac{Q_{o,p-Q_{o,i}}}{Q_{NH}}, & \text{če je števec negativen} \\ \frac{Q_{o,p-Q_{o,i}}}{Q_{NH}+(Q_{o,p-Q_{o,i}})}, & \text{če je števec pozitiven} \end{cases} \quad [-] \quad (3)$$

$$\mu_c = \begin{cases} \frac{Q_{o,p-Q_{o,i}}}{Q_{NC}}, & \text{če je števec pozitiven} \\ \frac{Q_{o,p-Q_{o,i}}}{Q_{NC}+(Q_{o,p-Q_{o,i}})}, & \text{če je števec negativen} \end{cases} \quad [-] \quad (4)$$

Mesečne vrednosti količnika μ_h v času ogrevanja in μ_c v času hlajenja so predstavljene v preglednici 22. Natančne vrednosti količnikov je možno pridobiti zgolj v času, ko je v celotnem mesecu prisotna samo potreba po ogrevanju ali potreba po hlajenju. V poljih, označenih z modro barvo, se v istem mesecu pojavi tako potreba po ogrevanju kot tudi po hlajenju. To se zgodi v času prehodnega obdobja, ki navadno nastopi v spomladanski in jesenskih mesecih. Na začetku meseca je namreč prisotna potreba

po ogrevanju, nato navadno sledi obdobje prostega teka (ko potrebe po ogrevanju in hlajenju ni), na koncu meseca pa potreba po hlajenju. Ker je potreba po ogrevanju ali hlajenju prisotna samo del meseca, količnik pa upošteva EBW za celoten mesec, so rezultati količnika pretirani in jih zato ne bomo interpretirali. Za pridobitev natančnih rezultatov v prehodnih obdobjih bi namreč morali opraviti analizo po dnevih. Če v danem mesecu zaradi zmernih zunanjih temperatur potrebna energija za ogrevanje ali hlajenje ni prisotna vse dni, pri tem pa je moč sončnega sevanja in posledično EBW višja, sta lahko količnika večja od 1 oziroma manjša od -1.

Januarja v Ljubljani μ_h znaša -0,17, kar pomeni, da je EBW negativna in predstavlja 17 % energije za ogrevanje. Največji negativen vpliv oken na energijo za ogrevanje nastopi v decembru, kjer je zaradi izgub skozi okna porabljene kar 35 % energije za ogrevanje. Negativen vpliv oken na potrebno energijo za ogrevanje je prisoten tudi v mesecu novembru. V februarju je količnik μ_h pozitiven, kar pomeni, da EBW zmanjšuje potrebno energijo za ogrevanje, in sicer za 9 %. V času potrebe po hlajenju je količnik μ_c v vseh mesecih negativen. Iz tega sledi, da EBW vseskozi povečuje potrebno energijo za hlajenje. Količnik μ_c je največji v mesecu aprilu, kjer znaša kar 263 %. Ker so aprila povprečne zunanje temperature v Ljubljani nižje od zelenih notranjih temperatur (grafikon 1), je potreba po hlajenju prisotna predvsem zaradi nižje stopnje prezračevanja in sončnega sevanja skozi okna. Visoka vrednost količnika μ_c pa kaže na to, da je EBW v aprilu veliko večja od potrebne energije za hlajenje. Količnik μ_c je najmanjši v juliju, kjer predstavlja 83 % potrebne energije za hlajenje. Le-ta je namreč v juliju zaradi najvišjih zunanjih temperatur predvsem posledica pregrevanja stanovanja zaradi sončnega sevanja skozi okna. Zunanja temperatura v aprilu in oktobru je nižja in je, kot se izkaže, potrebna energija za hlajenje prisotna predvsem zaradi solarnih pritokov in nizke stopnje prezračevanja.

Iz rezultatov je razvidno, da je vpliv EBW v Ljubljani ob povprečnem WFR = 28 % stanovanja v času ogrevanja večino mesecev negativen. Solarni dobitki skozi okna v zimskem času torej ne zmanjšujejo potrebne energije za ogrevanje. V februarju je vpliv EBW sicer pozitiven in nam prihrani 9 % energije za ogrevanje. Vpliv EBW na potrebno energijo za hlajenje je skozi celotno obdobje hlajenja veliko višji in zanimivo ne nastopi v juliju, temveč je največji vpliv viden v spomladanskih in jesenskih mesecih. Takrat so zunanje temperature še tako nizke, da je hlajenje potrebno samo zaradi sončnega sevanja skozi okna. Rabi te energije se izognemo s preprostim dodatnim prezračevanjem, medtem ko je v poletnih mesecih potrebno učinkovito senčenje.

Kot lahko vidimo iz količnikov μ_h in μ_c za mesto Madrid (povprečen WFR = 28 %), je potreba po hlajenju prisotna skozi celo leto. Potreba po ogrevanju in obenem hlajenju v dveh zaporednih mesecih se pojavi, ker smo razdelili model stanovanja na več samostojnih con, ki so soodvisne med seboj, zato lahko pride do pojava, ko se en prostor ogreva, medtem ko se drugi hladi. V realnosti je stanovanje povezano in ga zgolj hladimo ali ogrevamo. EBW v juliju predstavlja 75 % energije za hlajenje. Količnik μ_c je v Madridu za mesec julij manjši od količnika μ_c v Ljubljani, in to kljub enakemu WFR-ju v obeh mestih. Iz tega lahko sklepamo, da so v Madridu višje temperature zunanjega zraka kot v Ljubljani in je zato relativni vpliv solarnih pritokov na potrebo po hlajenju manjši. Pri višjih temperaturah zunanjega zraka so ventilacijski in transmisijski pritoki v stavbo namreč višji in prav tako vplivajo na potrebo po hlajenju. V Madridu je sicer zaradi EBW potreba po ogrevanju veliko manjša kot v Ljubljani, medtem ko je potrebna energija za hlajenje višja večji del leta, zato so stavbe v Madridu bolj podvržene pregrevanju. Tako kot v Ljubljani je tudi tu vpliv EBW najbolj viden v spomladanskih in jesenskih mesecih.

V Londonu je EBW v času ogrevanja pozitivna v februarju in novembru, medtem ko je v decembru in januarju negativna. V februarju je zaradi pozitivne EBW potrebna energija za ogrevanje 19 % nižja, medtem ko je v novembra kar za 64 % nižja. Povečana potrebna energija za ogrevanje zaradi EBW se pojavi v decembru in predstavlja 18 % energije za ogrevanje ter v januarju, kjer znaša kar 41 % energije za ogrevanje. V juniju EBW predstavlja kar 90 % potrebne energije za hlajenje. Velikost vseh oken je

v Londonu sicer za 1,43 m² večja od velikosti oken stanovanja v Ljubljani in Madridu, povprečni WFR pa znaša 30 %. Največji vpliv na potrebno energijo za ogrevanje je tako viden v Londonu, kar sicer ne pomeni, da je tam največ sončnega sevanja, ampak da so ostali pritoki in izgube energije, ki vplivajo na potrebo po ogrevanju, v tej meri manjše, da je vpliv bolj izrazit.

S količnikom μ_h in μ_c smo tako ovrednotili vpliv EBW na energijsko bilanco celotnega stanovanja, ki jo sestavlja energija, potrebna za ogrevanje, in energija, potrebna za hlajenje. Količnika ne prikazujeta neposredne velikosti posameznih členov količnikov, ampak le njihovo razmerje. Na količino potrebne energije za ogrevanje in hlajenje ob upoštevanju enakega tipa stanovanja v največji meri namreč vplivajo transmisijske in ventilacijske izgube, ki so posledica temperature zunanjega zraka, ter solarni pritoki skozi okno, zato sta količnika dobra kazalnika vpliva podnebja na obnašanje stavbe.

Preglednica 22: Količnik EBW in potrebne energije za ogrevanje μ_h in hlajenje μ_c

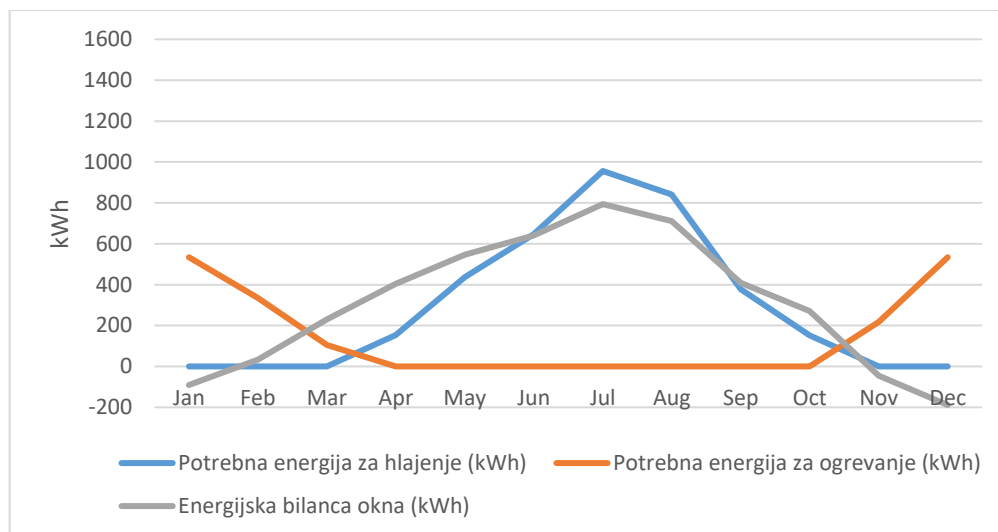
	Ogrevanje			Hlajenje		
	Ljubljana WFR _{avg} = 28 %	Madrid WFR _{avg} = 28 %	London WFR _{avg} = 30 %	Ljubljana WFR _{avg} = 28 %	Madrid WFR _{avg} = 28 %	London WFR _{avg} = 30 %
Mesec	μ_h [-]			μ_c [-]		
Januar	-0,17	0,93	-0,18		-7,85	
Februar	0,09	1,00	0,19		-3,79	
Marec	0,69		0,91	-4808,40	-1,52	-153,86
April				-2,63	-1,36	-3,06
Maj				-1,25	-0,92	-1,34
Junij				-0,99	-0,86	-1,05
Julij				-0,83	-0,75	-0,90
Avgust				-0,84	-0,75	-0,96
September				-1,09	-0,82	-1,15
Oktober				-1,79	-1,09	-2,81
November	-0,21		0,64		-2,11	
December	-0,35	0,85	-0,41		-13,45	

Natančni rezultati potrebne energije za hlajenje in ogrevanje ter EBW so za vsa tri obravnavana mesta predstavljeni na grafikonih 21–23. Potrebna energija za hlajenje je zaradi večje preglednosti na grafikonih predstavljena s pozitivnim predznakom, čeprav se zavedamo, da je v fizikalnem smislu zmanjševanje energije (hlajenje) negativnega predznaka.

V Ljubljani je potreba po ogrevanju prisotna od novembra do marca, medtem ko potreba po hlajenju nastopa od aprila do oktobra. Količina potrebne energije za ogrevanje je v decembru enaka kot v januarju. Maksimalna EBW je višja od maksimalne potrebne energije za ogrevanje in predstavlja velik del potrebne energije za hlajenje, razvidno tudi iz količnika μ_c . Z grafikona je očitno, da bo v stanovanju brez uporabe senčil v Ljubljani prevladovala potreba po hlajenju. Največja mesečna potrebna energija za hlajenje je dosežena v juliju in znaša 956 kWh v Ljubljani, v Madridu 1488 kWh ter v Londonu 843 kWh. Potrebna energija za hlajenje je tako pričakovano najvišja v Madridu, medtem ko je v Ljubljani za 36 % nižja ter v Londonu za 43 %.

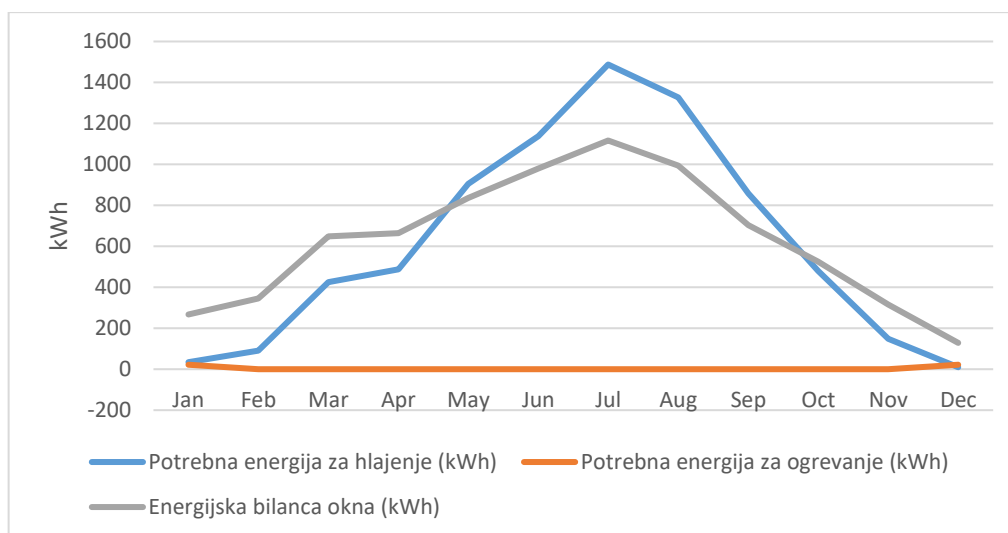
Maksimalna potrebna energija za ogrevanje se v vseh mestih pojavi v decembru in znaša v Ljubljani 534 kWh, v Madridu 22 kWh in v Londonu 254 kWh. Potreba energija za ogrevanje je tako najvišja v Ljubljani, sledi London z 52 % nižjo potrebno energijo in Madrid s kar 96 % nižjo. Če ponovno pogledamo rezultate količnika μ_h za vsa tri mesta, lahko vidimo, da je velik delež potrebne energije za ogrevanje v Ljubljani in Londonu prisoten zaradi negativne EBW, medtem ko je EBW v Madridu pozitivna in s tem zmanjšuje potrebno energijo za ogrevanje.

Najnižja EBW v vseh treh mestih nastopi v mesecu decembru in znaša v Ljubljani –189 kWh, v Madridu 129 kWh in v Londonu –104 kWh, medtem ko najvišja nastopi v juliju in znaša v Ljubljani 794 kWh, v Madridu 1117 kWh in v Londonu 759 kWh. V Madridu tako EBW vse mesece v času ogrevanja pozitivno vpliva na potrebno energijo za ogrevanje, medtem ko je v poletnih mesecih njen vpliv negativen, saj povečuje potrebno energijo za hlajenje.



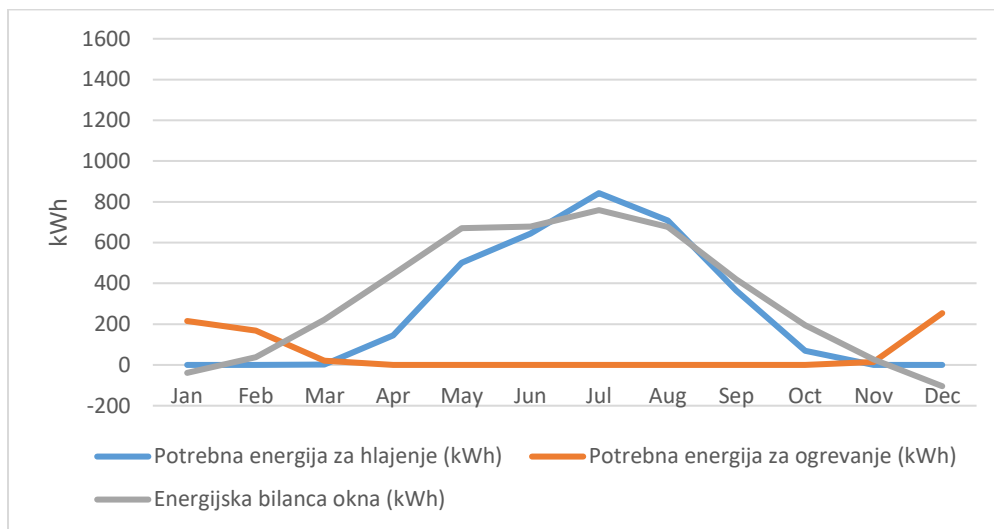
Grafikon 21: Potrebna energija za hlajenje, ogrevanje in EBW za mesto Ljubljana [kWh]

V Madridu je potreba po ogrevanju prisotna zgolj v januarju in decembru, medtem ko je potreba po hlajenju prisotna skozi celo leto. Z grafikona lahko razberemo, da bo v stanovanju brez uporabe senčil v Madridu prevladovala potreba po hlajenju, medtem ko je potrebna energija za ogrevanje izjemno nizka.



Grafikon 22: Potrebna energija za hlajenje, ogrevanje in EBW za mesto Madrid [kWh]

V Londonu potreba po ogrevanju nastopa v mesecih od novembra do marca. Potreba po ogrevanju se pojavi od marca do oktobra. EBW se v juliju ne razlikuje bistveno od EBW v mesecih od maja in avgusta. Z grafikona lahko razberemo, da bo v stanovanju brez uporabe senčil v Londonu prevladovala potreba po hlajenju.



Grafikon 23: Potrebna energija za hlajenje, ogrevanje in EBW za mesto London [kWh]

Brez uporabe senčil v mansardnih stanovanjih na vseh treh lokacijah prevladuje raba energije za hlajenje pred potrebno energijo za ogrevanje. Največja razlika med potrebno energijo za ogrevanje in hlajenje nastane v Madridu, sledi London in na koncu Ljubljana. Kot kaže, tudi v Londonu lahko pričakujemo potrebo po uporabi senčil.

6.1.2 Mansardno stanovanje s senčenjem

Izračunali smo tudi količnika μ_h in μ_c za mansardno stanovanje ob upoštevanju senčil, ki sta predstavljena v preglednici 23. Tako kot v prejšnjem poglavju bomo tudi tu zaradi sočasne prisotnosti potrebe po ogrevanju in hlajenju iz interpretacije rezultatov izvzeli s sivo označena polja.

V Ljubljani je količnik μ_h v vseh mesecih ogrevanja negativen, iz česar sledi, da je EBW vseskozi negativna in s tem v vseh mesecih povečuje potrebno energijo za ogrevanje. Največji negativni vpliv EBW nastopi v decembru, kjer EBW z upoštevanjem senčil predstavlja kar 40 % potrebne energije za ogrevanje, medtem ko je brez upoštevanja senčil predstavljala 35 %. Količnik μ_h je negativen od novembra do marca, kar je v primerjavi z rezultati brez upoštevanja senčenja en mesec dlje. V času potrebe po hlajenju je količnik μ_c v vseh mesecih negativen. Kljub temu v juliju EBW predstavlja le 44 % potrebne energije za hlajenje v primerjavi s primerom brez senčil, kjer je predstavljala 83 %. Razlika med količnikoma μ_h in μ_c z/brez senčenja stanovanja je tako veliko večja v času hlajenja kot v času ogrevanja. Iz tega sledi, da na EBW veliko bolj vpliva količina solarnih pritokov, ki prehajajo skozi transparentne dele oken in ne transmisijske izgube skozi okna. Vpliv sončnega sevanja je največji v poletnih mesecih.

V stanovanju v Madridu je tako kot v primeru brez senčil v vseh mesecih v letu prisotna potreba po hlajenju. EBW je v vseh mesecih kljub senčenju pozitivna, kar lahko vidimo iz negativnega predznaka količnika μ_c . Kljub temu predstavlja EBW v juliju le 36 % potrebne energije za hlajenje, medtem ko je v primeru brez uporabe senčil predstavljala 75 %.

EBW je ob senčenju stanovanja v Londonu v vseh mesecih, ko je prisotna potreba po ogrevanju, negativna, kar spet kaže na velik vpliv senčenja na količino sončnega sevanja, ki prehaja skozi transparentni del stavbnega ovoja. Prav tako se poveča količina mesecev, ko je ogrevanje potrebno. V tem primeru je namreč za razliko od primera brez senčenja stanovanja potreba po ogrevanju skozi cel mesec prisotna tudi v marcu, aprilu in oktobru. Potreba po hlajenju je prisotna od maja do septembra. Pri tem EBW v septembru za 3 % zmanjšuje potrebno energijo za hlajenje. EBW v juliju na potrebno

energijo za hlajenje deluje negativno in predstavlja 37 % potrebne energije za hlajenje, kar je sicer ponovno veliko manj kot v primeru brez senčenja, kjer je μ_c znašal 90 %.

Iz količnika μ_h lahko vidimo, da je v primeru senčenja stavbe v vseh mesecih ne glede na lokacijo EBW negativna in povečuje potrebno energijo za ogrevanje. EBW je torej brez visokih solarnih dobitkov vedno negativna, kar pomeni, da skozi okna več energije izgubimo, kot jo prejmemo. Količnik μ_c je v poletnih mesecih veliko manjši kot v primeru brez senčenja stanovanja, vendar kljub temu v juliju predstavlja med tretjino in polovico potrebne energije za hlajenje.

Preglednica 23: Količnik EBW in potrebne energije za ogrevanje μ_h [] in hlajenje μ_c [] ob upoštevanju senčenja stanovanja

	Ogrevanje			Hlajenje		
	Ljubljana WFR _{avg} = 0,28	Madrid WFR _{avg} = 0,28	London WFR _{avg} = 0,30	Ljubljana WFR _{avg} = 0,28	Madrid WFR _{avg} = 0,28	London WFR _{avg} = 0,30
Mesec	μ_h [-]			μ_c [-]		
Januar	-0,29	0,60	-0,47		-89,13	
Februar	-0,23	0,84	-0,38		-42,35	
Marec	-0,14	0,99	-0,39		-4,15	
April	0,49		-0,07	-148,12	-2,45	
Maj			0,97	-1,25	-0,49	-7,30
Junij				-0,63	-0,43	-0,62
Julij				-0,44	-0,36	-0,37
Avgust				-0,44	-0,39	-0,28
September				-0,82	-0,46	0,03
Oktober	0,95		-5,43	-2,03	-0,92	
November	-0,39	0,98	-0,67		-3,43	
December	-0,40	0,23	-0,53		-514,07	

Rezultate potrebne energije za ogrevanje in hlajenje ter EBW za vsa tri obravnavana mesta smo predstavili na grafikonih 24–26. Maksimalna potrebna energija za hlajenje se v vseh mestih pojavi v juliju in znaša v Ljubljani 366 kWh, v Madridu 658 kWh ter v Londonu 191 kWh. Najvišja potrebna energija za hlajenje je dosežena v Madridu, medtem ko je v Ljubljani za 44 % nižja ter v Londonu za 70 % nižja.

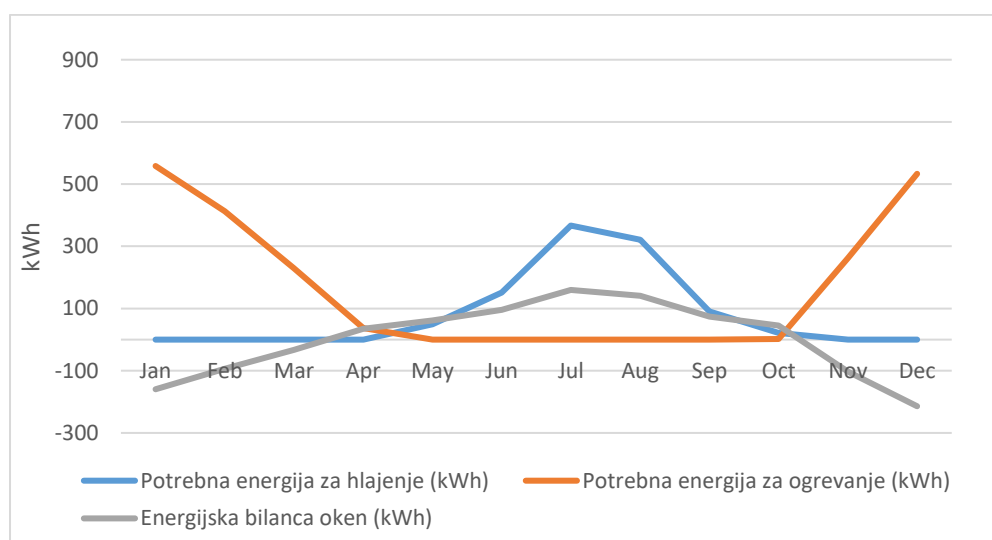
V primerjavi z rezultati stanovanja brez senčil se je potrebna energija za hlajenje v Ljubljani meseca julija zmanjšala za 62 %, v Madridu za 56 % in v Londonu za 77 %, kar pomeni, da je količina potrebne energije za hlajenje v Londonu najbolj odvisna od solarnih dobitkov, medtem ko v Madridu EBW ne predstavlja pglavitnega vzroka za visoko potrebno energijo za hlajenje, ampak je razlog tudi v visoki zunanji temperaturi. Do enakih zaključkov lahko pridemo, če pogledamo količnik μ_c za mesec julij, kjer EBW v Londonu z upoštevanjem senčenja izmed vseh treh mest predstavlja najvišji odstotek potrebne energije za hlajenje.

Maksimalna potrebna energija za ogrevanje v Madridu in Londonu nastopi v decembru, in sicer v Madridu znaša 68 kWh, medtem ko v Londonu znaša 317 kWh, medtem ko maksimalna potrebna energija v Ljubljani nastopi v januarju in znaša 558 kWh. Potreba energija za ogrevanje je tako najvišja v Ljubljani, sledi London s 43 % nižjo potrebno energijo in Madrid z 88 % nižjo potrebno energijo. Količnik μ_h pojasnjuje, da je velik delež potrebne energije za ogrevanje v Ljubljani in Madridu prisoten zaradi negativne EBW.

Če primerjamo rezultate potrebne energije za ogrevanje v primeru stanovanja brez uporabe senčil, se je maksimalna potrebna energija za ogrevanje v Ljubljani povečala za 3 %, v Madridu za 68 % ter v Londonu za 20 %.

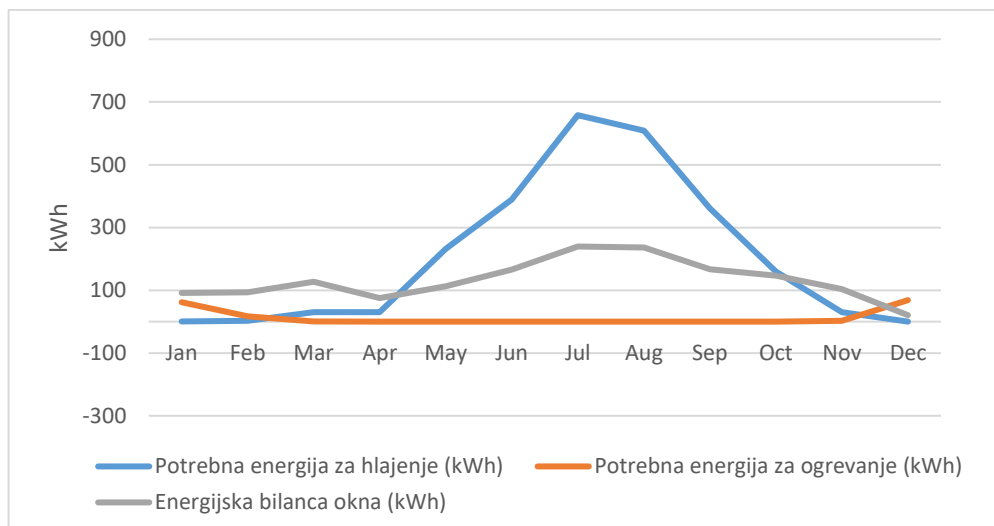
Najnižja EBW v vseh treh mestih nastopi v mesecu decembru in znaša v Ljubljani -214 kWh, v Madridu 21 kWh in v Londonu -168 kWh, medtem ko najvišja nastopi v juliju in znaša v Ljubljani 160 kWh, v Madridu 239 kWh in v Londonu 71 kWh.

V Ljubljani je potreba po ogrevanju prisotna od novembra do aprila, medtem ko potreba po hlajenju nastopa od maja do oktobra. Zaradi senčenja oken se je v Ljubljani močno zmanjšala potrebna energija za hlajenje, ampak se je prav tako podaljšal čas, ko je treba stavbo ogrevati. Maksimalna mesečna potrebna energija za ogrevanje je z uporabo senčil 1,5-krat višja od maksimalne mesečne potrebne energije za hlajenje, v primeru brez senčenja pa je bila potrebna energija za hlajenje 1,8-krat višja od potrebne energije za ogrevanje. S senčili smo tako močno zmanjšali potrebno energijo za hlajenje. Iz grafikona je razvidno, da bo v tem mestu prevladovala potreba po ogrevanju.



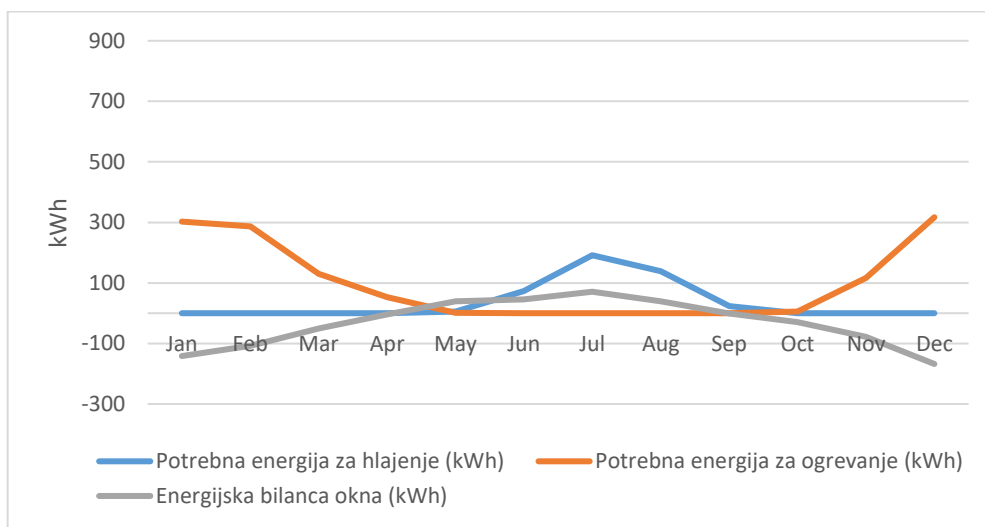
Grafikon 24: Potrebna energija za hlajenje, ogrevanje in EBW za mesto Ljubljana; senčenje [kWh]

V Madridu je potreba po ogrevanju prisotna od novembra do marca, medtem ko je potreba po hlajenju prisotna skozi celo leto. EBW je celo leto pozitivna in tako pozitivno vpliva na potrebno energijo za ogrevanje in negativno na potrebno energijo za hlajenje. Maksimalna potrebna energija za hlajenje je veliko večja od EBW, kar je pokazal tudi količnik μ_c . Iz grafikona 26 je razvidno, da bo v tem mestu prevladovala potreba po hlajenju.



Grafikon 25: Potrebna energija za hlajenje, ogrevanje in EBW za mesto Madrid; senčenje [kWh]

V Londonu je potreba po ogrevanju z uporabo senčil prisotna od oktobra do maja, kar je tri mesece več kot v nesenčenem stanovanju. Potreba po hlajenju se pojavi od maja do septembra. Maksimalna energija za ogrevanje je 1,6-krat višja od maksimalne potrebne energije za hlajenje. EBW je veliko nižja tako od potrebne energije za ogrevanje kot tudi od potrebne energije za hlajenje. Iz grafikona 27 je razvidno, da bo v tem mestu z uporabo senčil prevladovala potreba po ogrevanju.



Grafikon 26: Potrebna energija za hlajenje, ogrevanje in EBW za mesto London; senčenje [kWh]

Glede na rezultate lahko zaključimo, da je vpliv senčil na potrebno energijo za hlajenje izjemno velik. V našem primeru je bilo sicer senčenje prisotno zgolj, ko je na transparentno površino padla določena količina sončnega sevanja (opisano v poglavju Metode). V prihodnje bi bilo zanimivo preveriti tudi vpliv drugih vrst senčil, kot so notranje žaluzije, nadstreški itd.

6.2 Vpliv velikosti zasteklitve in senčenja na energijsko bilanco mansardnega stanovanja v Ljubljani

V tem poglavju so predstavljeni rezultati potrebne energije za ogrevanje in hlajenje v obdobju celotnega leta v mansardnem stanovanju, lociranem v Ljubljani za prostore P1–P6. Primerjali smo stanovanje z velikostjo oken, določeno glede na Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj, kjer minimalno razmerje WFR znaša 20 % in velikostjo oken, ki smo jo določili glede na osnutek standarda FprEN 17037 in je v vsakem prostoru različna. Povprečen WFR v Ljubljani

in Madridu znaša 28 % ter v Londonu 30 %. Pri vsakem od primerov je predstavljena varianta z in brez senčil.

S temi rezultati smo ocenili vpliv velikosti zasteklitve na potrebno energijo za ogrevanje in potrebno energijo za hlajenje. Pri tem smo upoštevali različne orientacije prostorov. Ker imajo prostori med seboj različno površino zunanjih sten, je primerjava med prostori možna le z upoštevanjem le-tega. V vsakem prostoru smo ovrednotili tudi vpliv senčil na rabo energije.

V zadnjem delu tega poglavja smo izvedli primerjavo med posameznimi prostori v stanovanju z velikostjo oken, določenimi glede na Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb, in stanovanj ob in brez upoštevanja senčil.

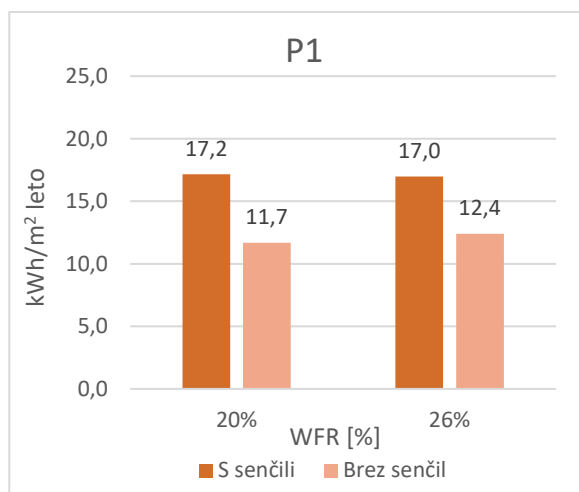
Grafikone posameznih prostorov smo razdelili v pare glede na smeri neba, proti katerim so orientirana okna v posameznem prostoru. S tem bomo lahko izvedli primerjavo rezultatov z enako orientacijo oken. Vse rezultate smo delili s tlorisno površino prostora, prikazani pa so v enotah kWh/m² leto.

6.2.1 Potrebna energija za ogrevanje v prostorih P1–P6

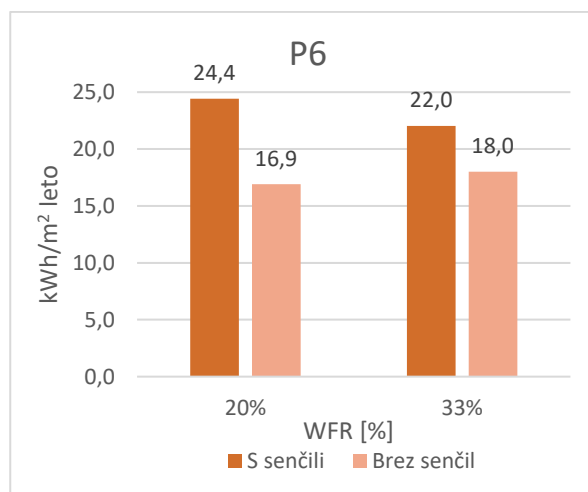
Potrebna energija za ogrevanje mansardnega stanovanja v prostorih P1 in P6 je prikazana na grafikonih 27 in 28, v katerih so vsa okna orientirana proti jugu. WFR, določen glede na osnutek standarda FprEN 10037, znaša v prostoru P1 26 %, medtem ko v P6 znaša 33 %. Ker je površina zunanjega ovoja glede na volumen prostora v P1 različna od P6, neposredna primerjava rezultatov prostorov ni možna.

V P1 je pri WFR = 20 % potrebna energija za ogrevanje stanovanja s senčili 1,47-krat višja od potrebne energije v primeru brez senčil, medtem ko je pri WFR = 26 % 1,37-krat višja. Ti rezultati kažejo na velik vpliv solarnega sevanja tudi v času, ko je prisotna potreba po ogrevanju, torej v zimskih, pomladnih in jesenskih mesecih. Potrebna energija za ogrevanje je pri obeh velikostih WFR-ja ob upoštevanju senčil skoraj popolnoma enaka. Zakaj se to zgodi, lahko pojasnimo na naslednji način. V tej nalogi smo senčenje upoštevali tako, da se senčenje izvaja, ko na transparentno površino pade mejna vrednost solarnih dobitkov. Ker senčenje zaustavi višje vrednosti solarnih dobitkov, ki nastopijo v spomladanskih in jesenskih mesecih, vpliv pozitivnih solarnih dobitkov ni tako velik, da bi lahko zmanjševal potrebno energijo za ogrevanje. Kljub temu pa ob večji velikosti oken prostor prejme več solarnih dobitkov pod mejno vrednostjo senčenja. Ta anomalija se pojavi zgolj v prostorih z južno orientiranimi okni ob upoštevanju te vrste senčenja. V primeru rezultatov stanovanja brez senčil je potrebna energija za ogrevanje manjša pri nižjem WFR-ju, kar je smiselno, saj imajo okna veliko višje transmisijske izgube od netransparentnih delov stavbnega ovoja. Kljub temu pa je potrebna energija za ogrevanje pri višjem WFR-ju le za 6 % višja.

Prostor P6 je prav tako orientiran proti jugu. Pri WFR = 20 % je potrebna energija za ogrevanje stanovanja s senčili 1,44-krat višja od potrebne energije v primeru brez senčil. Razlika pri WFR = 33 % je manjša, in sicer znaša 1,22-kratno vrednost potrebne energije za ogrevanje v stanovanju brez uporabe senčil. Ti rezultati tudi v tem primeru kažejo na velik vpliv sončnega sevanja v času ogrevanja. Potrebna energija za ogrevanje je pri manjšem WFR-ju 1,10-krat višja kot pri večji vrednosti WFR-ja, kar kaže na to, da je tu v zgornjem odstavku opisana anomalija še bolj izrazita. Pri rezultatih stanovanja brez senčil je potrebna energija za ogrevanje pri nižjem WFR-ju 1,07-krat manjša. Iz tega lahko povzamemo, da pri južno orientiranih oknih brez uporabe senčil večja velikost oken v Ljubljani ne predstavlja bistvenih razlik v potrebni energiji za ogrevanje.



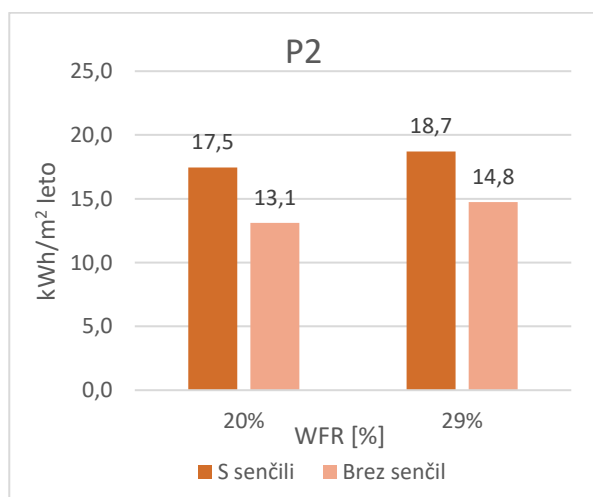
Grafikon 27: Potrebna energija za ogrevanje v P1 pri WFR = 20 % in WFR = 26 % z in brez upoštevanja senčenja



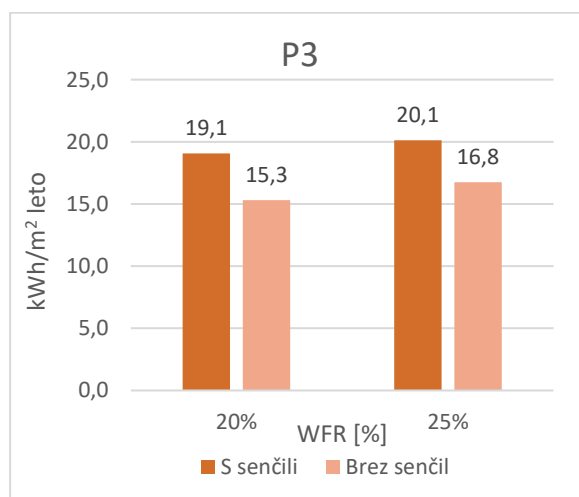
Grafikon 28: Potrebna energija za ogrevanje v P6 pri WFR = 20 % in WFR = 33 % z in brez upoštevanja senčenja

Grafikona 29 in 30 prikazujeta potrebno energijo za ogrevanje v prostorih P2 in P3 mansardnega stanovanja, v katerih so vsa okna orientirana proti zahodu. WFR, določen glede na osnutek standarda FprEN 10037, znaša v prostoru P2 29 %, medtem ko v P6 znaša 25 %. Ker je velikost zunanjih stranic v P1 različna od velikosti v P6, neposredna primerjava rezultatov prostorov ni možna.

V P2 je pri WFR = 20 % potrebna energija za ogrevanje stanovanja s senčili 1,34-krat višja od potrebne energije v primeru stanovanja brez uporabe senčil, medtem ko je v P3 1,24-krat višja. Pri WFR = 29 % je ta razlika približno enaka, in sicer znaša 1,26-krat potrebne energije ogrevanja v P2 in 1,20-krat pri WFR = 25 % v P3. Ponovno je viden pozitiven vpliv sončnega sevanja na potrebno energijo za ogrevanje, ampak ne v tolikšni meri kot v prostorih z južno orientiranimi okni. Potrebna energija za ogrevanje je ob večjem WFR-ju pri zahodno orientiranih oknih višja tako z kot tudi brez upoštevanja senčenja, in sicer v obeh prostorih za 1,1-krat. Tako kot v prostorih z južno orientiranimi okni tudi tu večja okenska odprtina ne rezultira v veliki spremembi potrebne energije za ogrevanje, medtem ko je vpliv senčil veliko večji.



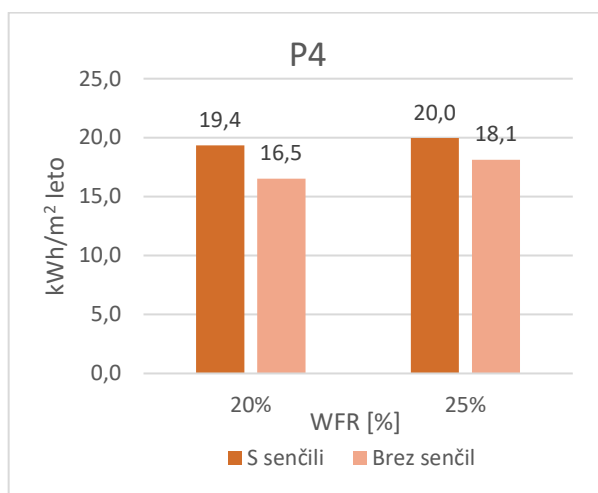
Grafikon 29: Potrebna energija za ogrevanje v P2 pri WFR = 20 % in WFR = 29 % z in brez upoštevanja senčenja



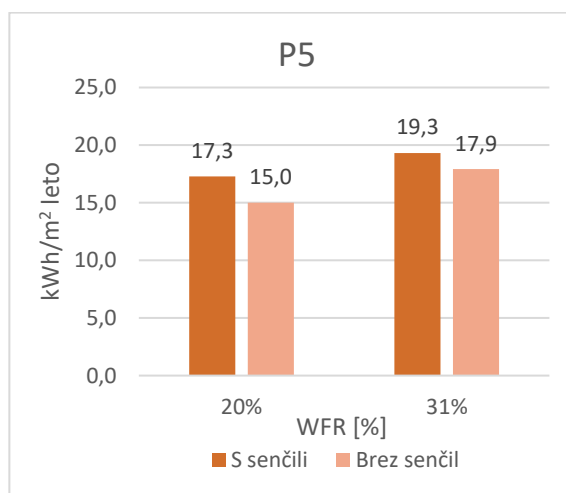
Grafikon 30: Potrebna energija za ogrevanje v P3 pri WFR = 20 % in WFR = 25 % z in brez upoštevanja senčenja

Potrebna energija za ogrevanje v prostorih P4 in P5 mansardnega stanovanja je prikazana v grafikonih 31 in 32, v katerih so vsa okna orientirana proti severu. WFR, določen glede na osnutek standarda FprEN 10037, znaša v prostoru P3 25 %, medtem ko v P6 znaša 31 %.

V P4 je pri WFR = 20 % potrebna energija za ogrevanje stanovanja s senčili 1,18-krat višja od potrebne energije v primeru stanovanja brez uporabe senčil, medtem ko je v P3 1,15-krat višja. Pri WFR = 25 % znaša v primeru senčenja potrebna energija za ogrevanje 1,10-krat potrebne energije ogrevanja brez senčenja in 1,08-krat pri WFR = 31 %. V tem primeru razlika v ogrevanju z in brez senčenja ni tako očitna, kar je pričakovano, saj je v Ljubljani na severno usmerjenih površinah prisotnost direktne komponente solarnega sevanja odvisna od letnega časa in naklona strešine, na katero padajo sončni žarki. Pri večji okenski zasteklitvi je v P5 brez senčil potrebna energija za ogrevanje 1,2-krat višja kot pri manjši zasteklitvi, pri čemer je razlika v WFR vrednosti zelo velika. V P4 je potrebna energija za ogrevanje brez senčenja pri večjem WFR-ju 1,10-krat višja od potrebne energije za ogrevanje pri manjšem.



Grafikon 31: Potrebna energija za ogrevanje v P4 pri WFR = 20 % in WFR = 25 % z in brez upoštevanja senčenja



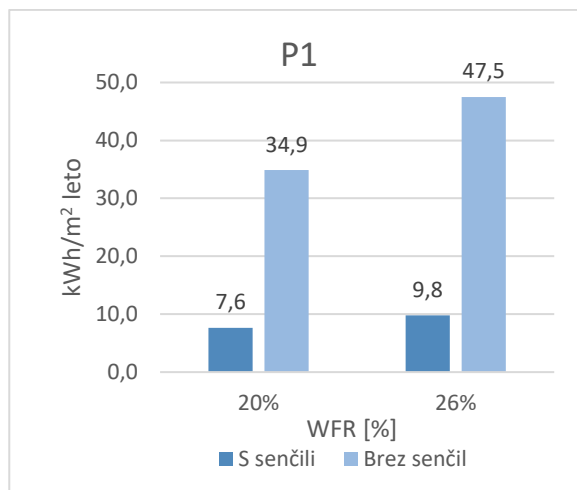
Grafikon 32: Potrebna energija za ogrevanje v P5 pri WFR = 20 % in WFR = 31 % z in brez upoštevanja senčenja

Rezultati analize posameznih prostorov kažejo na velik vpliv solarnega sevanja na potrebno energijo za ogrevanje, in sicer je vpliv najvidnejši v prostorih z južno orientiranimi okni, najnižji pa pri severni orientaciji.

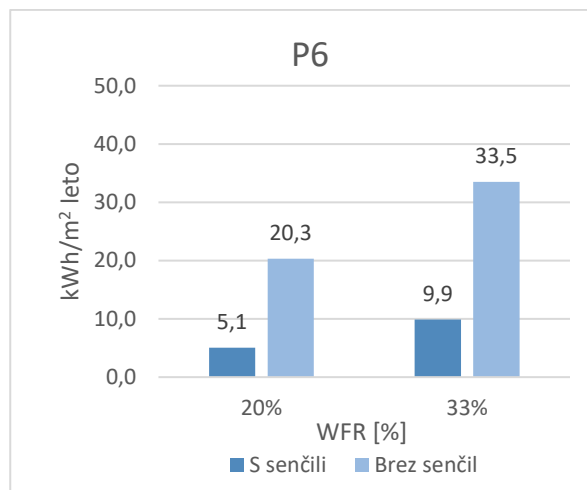
6.2.2 Potrebna energija za hlajenje v prostorih P1–P6

Poleg potrebne energije za ogrevanje smo predstavili tudi potrebno energijo za hlajenje v vsakem prostoru posebej. Na grafikonih 33 in 34 je prikazana potrebna energija za hlajenje v prostorih P1 in P6 mansardnega stanovanja z južno orientacijo oken. WFR, določen glede na osnutek standarda FprEN 17037, znaša v prostoru P1 26 %, medtem ko v P6 znaša 33 %.

V P1 je pri WFR = 20 % potrebna energija za hlajenje prostora brez senčil 4,59-krat višja od potrebne energije v primeru uporabe senčil. Pri WFR = 26 % je razlika v potrebni energiji za hlajenje še višja in znaša 4,85-krat potrebne energije za hlajenje v prostoru s senčili. Prav tako je visok vpliv solarnega sevanja viden v P6, kjer je potrebna energija za hlajenje pri WFR = 20 % v primeru brez senčenja 3,98-krat višja od potrebne energije za hlajenje z uporabo senčil, pri WFR = 33 % pa 3,38-krat višja. Vpliv sončnega sevanja je izjemno velik in tako predstavlja glavni razlog za potrebo po hlajenju južno orientiranih prostorov v času hlajenja stavbe. Razlika med potrebno energijo za hlajenje v odvisnosti od velikosti zasteklitve je manjša, in sicer je v primeru brez senčil v P1 potrebna energija za hlajenje pri večji površini zasteklitve 1,36-krat večja, ob uporabi senčil pa 1,29-krat večja. V P6 je potrebna energija za hlajenje pri večji zasteklitvi brez uporabe senčil 1,65-krat večja, z uporabo senčil pa 1,94-krat večja. Iz tega sledi, da na količino potrebne energije za hlajenje bistveno bolj vpliva uporaba senčil kot pa velikost zasteklitve.



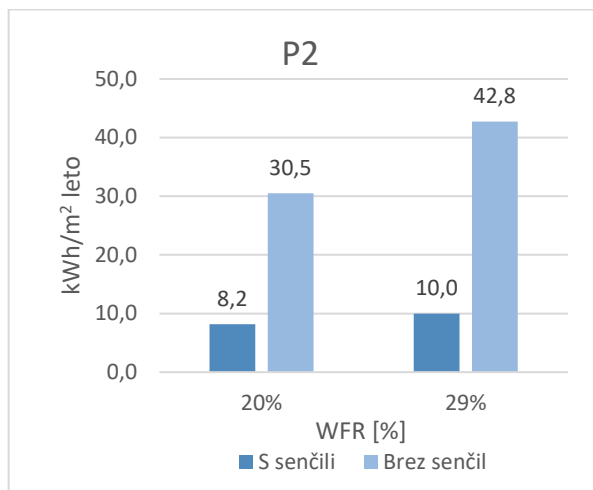
Grafikon 33: Potrebna energija za hlajenje v P1 pri WFR = 20 % in WFR = 26 % z in brez upoštevanja senčenja



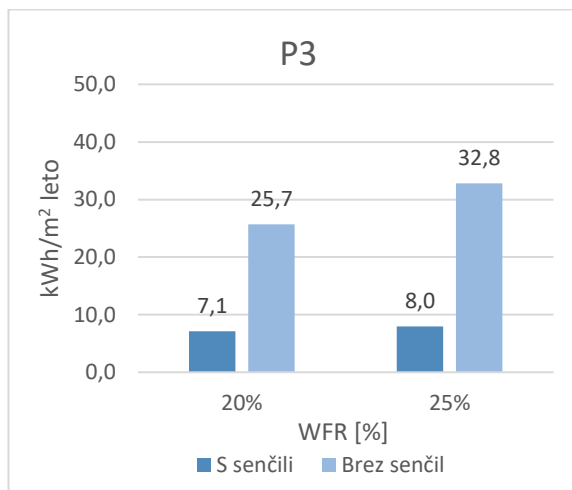
Grafikon 34: Potrebna energija za hlajenje v P6 pri WFR = 20 % in WFR = 33 % z in brez upoštevanja senčenja

Potrebna energija za hlajenje v prostorih P1 in P6 mansardnega stanovanja z zahodno orientacijo oken je prikazana na grafikonih 35 in 36. WFR, določen glede na osnutek standarda FprEN 10037, znaša v prostoru P2 29 %, medtem ko v P3 znaša 25 %.

V P2 je pri WFR = 20 % potrebna energija za hlajenje prostora brez senčil 3,72-krat višja od potrebne energije v primeru uporabe senčil. Pri WFR = 25 % je razlika v potrebni energiji za hlajenje še višja in znaša 4,28-krat potrebne energije za hlajenje v prostoru s senčili. Prav tako je visok vpliv solarnega sevanja viden v P3, kjer je potrebna energija za hlajenje pri WFR = 20 % v primeru brez senčenja 3,62-krat višja od potrebne energije za hlajenje z uporabo senčil, pri WFR = 33 % pa 4,1-krat višja. Prav tako kot v prejšnjih dveh prostorih je tudi tu vpliv solarnega sevanja izjemno velik, saj so razlike med potrebno energijo za hlajenje z in brez senčil zelo velike. Razlika med potrebno energijo za hlajenje v odvisnosti od velikosti zasteklitve je manjša, in sicer je v primeru brez senčil v P2 potrebna energija za hlajenje pri večji površini zasteklitve 1,40-krat večja, ob uporabi senčil pa 1,25-krat večja. V P3 je potrebna energija za hlajenje pri večji zasteklitvi brez uporabe senčil 1,27-krat večja, z uporabo senčil pa 1,14-krat večja. Tako kot v prejšnjem primeru lahko tudi tu zaključimo, da na količino potrebne energije za hlajenje bistveno bolj vpliva uporaba senčil kot pa velikost zasteklitve.



Grafikon 35: Potrebna energija za hlajenje v P2 pri WFR = 20 % in WFR = 29 % z in brez upoštevanja senčenja

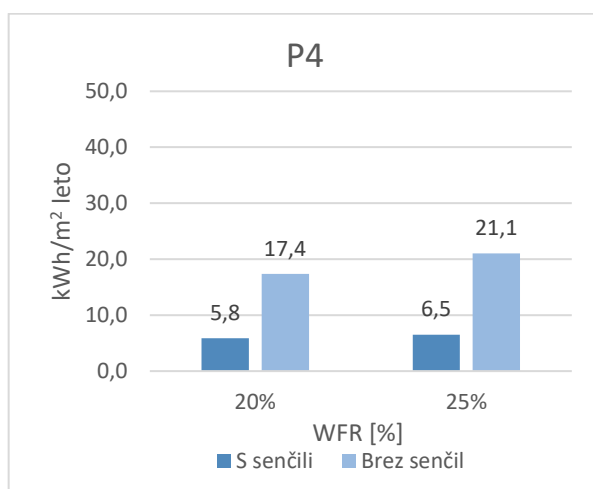


Grafikon 36: Potrebna energija za hlajenje v P3 pri WFR = 20 % in WFR = 25 % z in brez upoštevanja senčenja

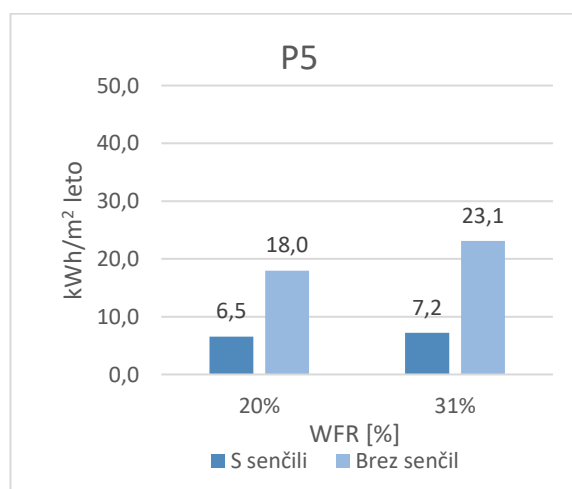
Potrebna energija za hlajenje v prostorih P4 in P5 mansardnega stanovanja s severno orientacijo oken je prikazana na grafikonih 37 in 38. WFR, določen glede na osnutek standarda FprEN 10037, znaša v prostoru P4 25 %, medtem ko v P5 znaša 31 %.

V P4 je pri WFR = 20 % potrebna energija za hlajenje prostora brez senčil 3,00-krat višja od potrebne energije v primeru uporabe senčil. Pri WFR = 25 % je razlika v potrebni energiji za hlajenje še višja in znaša 3,25-krat potrebne energije za hlajenje. Prav tako je visok vpliv solarnega sevanja viden v P5, kjer je potrebna energija za hlajenje pri WFR = 21 % v primeru brez senčenja 2,77-krat višja od potrebne energije za hlajenje z uporabo senčil, pri WFR = 31 % pa 3,2-krat višja. Čeprav imata oba prostora zasteklitev orientirano proti severu, lahko v času hlajenja na nagnjenih površinah pričakujemo velike solarne dobitke, zato je senčenje strešnih oken v Ljubljani tudi na severnih orientacijah zaželeno.

Razlika med potrebno energijo za hlajenje v odvisnosti od velikosti zasteklitve je manjša, in sicer je v primeru brez senčil v P4 potrebna energija za hlajenje pri večji površini zasteklitve 1,23-krat večja, ob uporabi senčil pa 1,12-krat večja. V P5 je potrebna energija za hlajenje pri večji zasteklitvi brez uporabe senčil 1,28-krat večja, z uporabo senčil pa 1,11-krat večja.



Grafikon 37: Potrebna energija za hlajenje v P4 pri WFR = 20 % in WFR = 25 % z in brez upoštevanja senčenja



Grafikon 38: Potrebna energija za hlajenje v P5 pri WFR = 21 % in WFR = 31 % z in brez upoštevanja senčenja

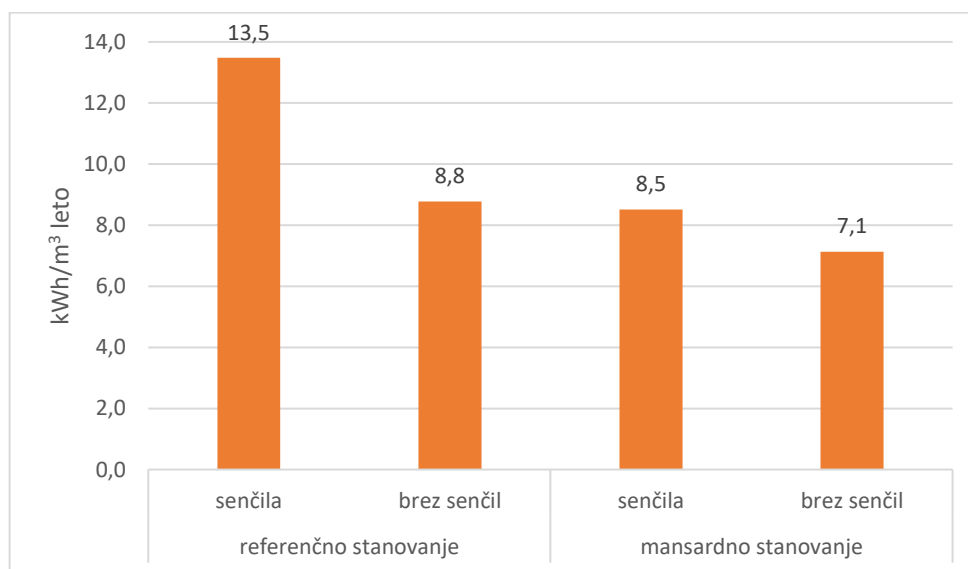
7 PRIMERJAVA MED LETNO ENERGIJSKO BILANCO MANSARDNEGA IN REFERENČNEGA STANOVANJA

V zadnjem poglavju je predstavljena letna energijska bilanca mansardnega stanovanja, primerjana z energijsko bilanco referenčnega stanovanja. Primerjava je izvedena tudi ločeno med letno potrebno energijo za ogrevanje in letno potrebno energijo za hlajenje v vseh štirih variantah; mansardno stanovanje z/brez senčil in referenčno stanovanje z/brez senčil. Čeprav imata stanovanji enako tlorisno površino, je njuna prostornina zaradi različne geometrije različna. Rezultate smo zato predstavili v kWh/m³ leto. Vsak prostor je v obeh tipih stanovanj primerno osvetljen glede na osnutek standarda FprEN 17037 v odvisnosti od lokacije in glede na Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj. Zaradi različne oblike zunanjega ovoja zato stanovanja ob upoštevanju FprEN 17037 nimata enakih velikosti oken. V tem primeru lahko primerjamo stanovanji, katerih skupna lastnost je primerna osvetljenost notranjih prostorov glede na FprEN 17037. Če pa upoštevamo PTZGSS, imata stanovanji enako velikost oken, zato je razlika med stanovanjema zgolj v geometriji zunanjih sten in strehe.

7.1 Primerjava energijske bilance stanovanja glede na lokacijo

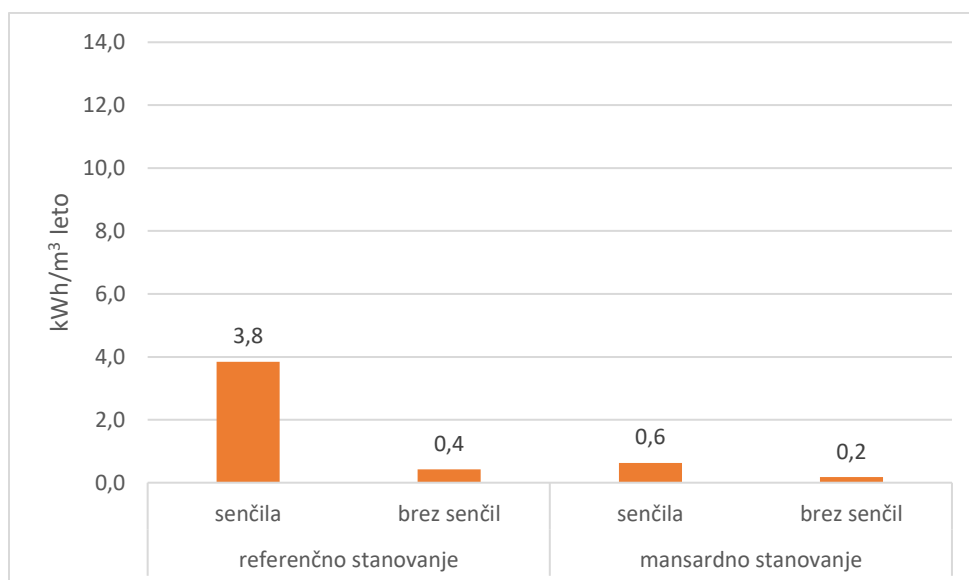
7.1.1 Potrebna energija za ogrevanje

V tem poglavju je predstavljena letna potrebna energija za ogrevanje v mansardnem in njegovem referenčnem stanovanju na treh obravnavanih lokacijah. Kot vidimo na grafikonih 39–41, je potrebna energija za ogrevanje najvišja v referenčnem stanovanju s senčili, medtem ko je najnižja v mansardnem stanovanju brez senčil. Čeprav ima referenčno stanovanje 1,9-krat večjo okensko površino, je potrebna energija za ogrevanje v primeru brez senčil zgolj 1,2-krat višja kot v mansardnem stanovanju. Ob upoštevanju senčil je potrebna energija za ogrevanje v referenčnem stanovanju 1,6-krat višja. Rezultati torej kažejo, da energijski dobitki skozi okna pri velikih vertikalnih zastekljenih površinah v večji meri zmanjšujejo potrebno energijo za ogrevanje kot pri manjših nagnjenih površinah zasteklitve. Potrebna energija za ogrevanje je namreč v referenčnem stanovanju brez senčil 1,5-krat nižja kot s senčili, medtem ko je v mansardnem stanovanju le 1,2-krat nižja. Večja, kot je površina oken, bolj bodo solarni dobitki vplivali na potrebno energijo za ogrevanje. Tudi v stanovanju z vertikalnimi okni je vpliv solarnega sevanja v zimskem času relativno visok, kar lahko pripišemo nizkemu višinskemu kotu sonca.



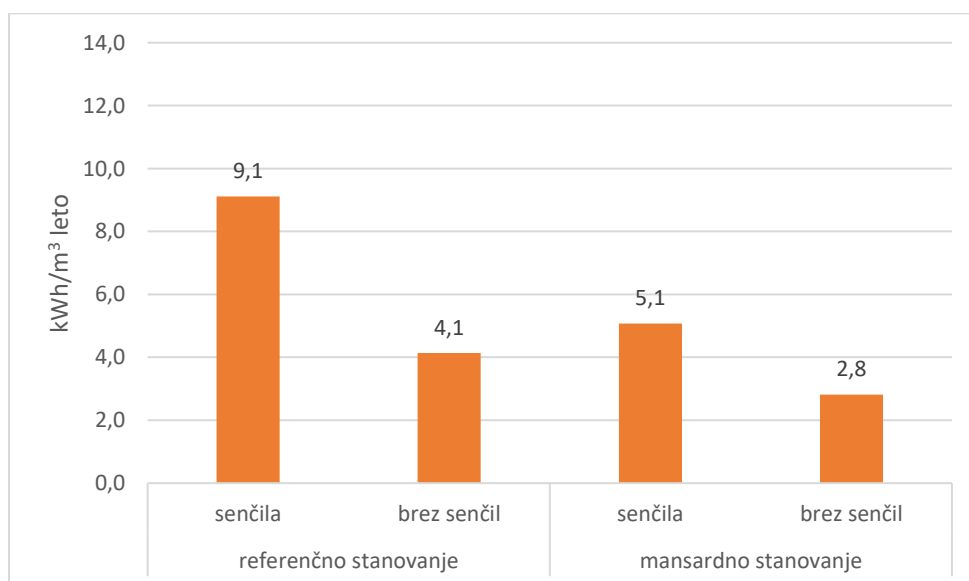
Grafikon 39: Letna potrebna energija za ogrevanje v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Ljubljani

Letna potrebna energija za ogrevanje v Madridu je veliko nižja od letne potrebne energije za ogrevanje v Ljubljani. Potrebna energija za ogrevanje je ponovno najvišja v referenčnem stanovanju s senčili in najnižja v mansardnem stanovanju brez senčil, vendar so razlike veliko manjše. Tudi v tem primeru ima referenčno stanovanje 1,9-krat večjo okensko površino od mansardnega stanovanja. V referenčnem stanovanju s senčili se potrebna energija za ogrevanje močno razlikuje od ostalih treh, kar ponovno kaže na velik vpliv solarnega sevanja na potrebno energijo za ogrevanje.



Grafikon 40: Letna potrebna energija za ogrevanje v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Madridu

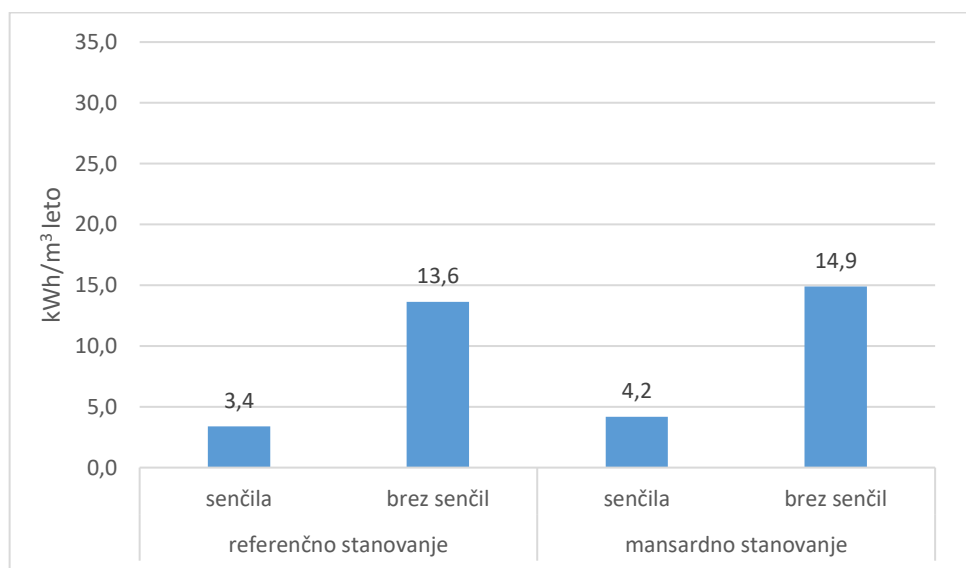
V Londonu je potrebna energija za ogrevanje višja kot v Madridu ter nižja kot v Ljubljani. Najvišjo potrebno energijo za ogrevanje ima referenčno stanovanje s senčili, najnižjo pa mansardno stanovanje brez senčil. V referenčnem stanovanju je okenska površina 2,1-krat večja od površine v mansardnem stanovanju, medtem ko je potrebna energija za ogrevanje v primeru brez senčil 1,5-krat višja. Kljub večji okenski površini v referenčnem stanovanju je brez upoštevanja senčil potrebna energija za ogrevanje nižja kot v mansardnem stanovanju s senčili, iz česar lahko sklepamo, da imajo solarni dobitki velik vpliv na potrebno energijo za ogrevanje.



Grafikon 41: Letna potrebna energija za ogrevanje v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Londonu

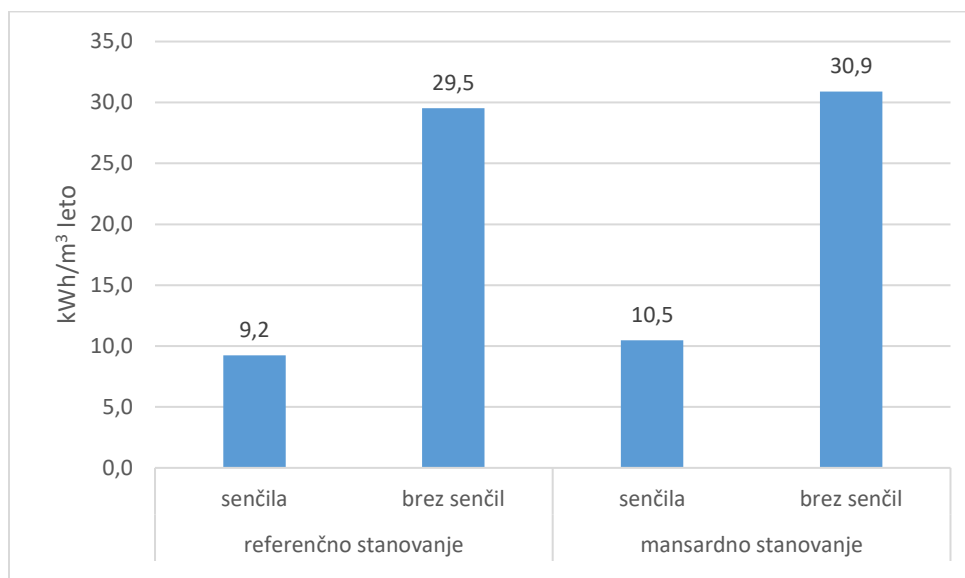
7.1.2 Potrebna energija za hlajenje

Kot smo spoznali v prejšnjih poglavjih, na potrebno energijo za hlajenje v veliki meri vpliva EBW. Medtem ko toplotni dobitki skozi okna zmanjšujejo potrebno energijo za ogrevanje, je potrebna energija za hlajenje ob višji EBW višja. V Ljubljani je potrebna energija za hlajenje najvišja v mansardnem stanovanju brez senčil in najnižja v referenčnem stanovanju s senčili, kot je prikazano na grafikonih 42–44. Kljub skoraj 2-krat večji površini zasteklitve v referenčnem stanovanju brez senčil, potrebna energija za hlajenje ni veliko nižja, saj so zaradi višinskega kota sonca solarni dobitki v mansardnem stanovanju veliko višji. V primeru senčenja je potrebna energija za hlajenje v obeh stanovanjih približno enaka; 1,2-krat višja v mansardnem stanovanju. Potrebna energija za hlajenje je v mansardnem stanovanju sicer brez senčenja 3,5-krat višja kot v primeru senčenja, medtem ko je v referenčnem stanovanju 4-krat višja.



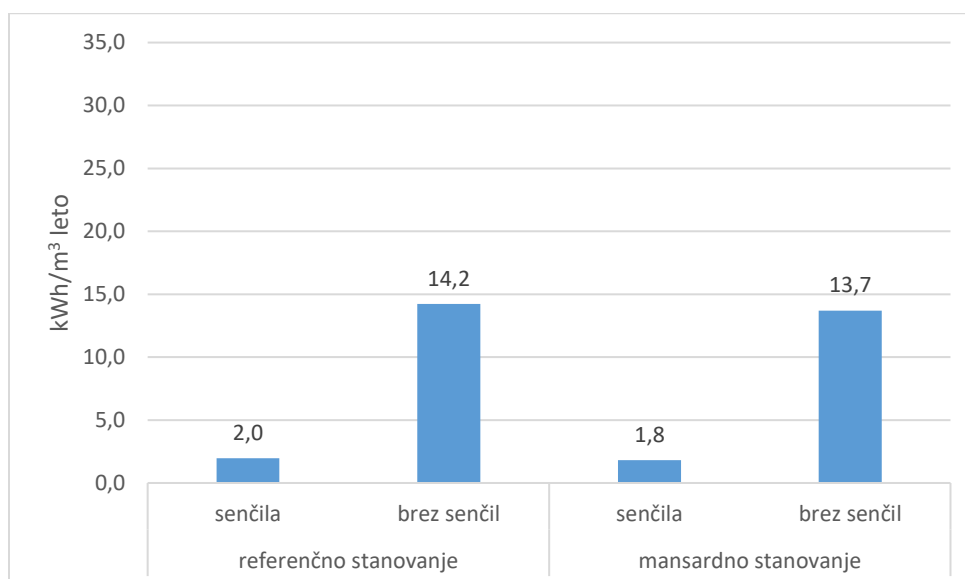
Grafikon 42: Letna potrebna energija za hlajenje v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Ljubljani

V Madridu je potreba energija za hlajenje v vseh primerih še enkrat višja kot v Ljubljani. Potrebna energija za hlajenje je tako kot v Ljubljani v mansardnem stanovanju približno enaka kot v referenčnem stanovanju, prav tako niso visoke razlike med stanovanjema v primeru brez senčil. Zaradi višjih zunanjih temperatur je razlika med primerom s senčili in primerom brez senčil v vsakem izmed stanovanj v Madridu nižja kot v Ljubljani. Potrebna energija za hlajenje je v mansardnem stanovanju namreč brez senčenja 2,9-krat višja, medtem ko je v referenčnem stanovanju 3,2-krat višja.



Grafikon 43: Letna potrebna energija za hlajenje v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Madridu

Letna potrebna energija za hlajenje je v Londonu tako v referenčnem kot tudi v mansardnem stanovanju v primeru brez senčil približno enaka kot v Ljubljani, medtem ko je v primeru uporabe senčil 1-krat manjša. Velikosti zasteklitve v Londonu je sicer 1,43 m² večja od zasteklitve v Ljubljani. Kljub 2,1-krat večji zasteklitvi referenčnega stanovanja v primerjavi z mansardnim je potrebna energija za hlajenje približno enaka.

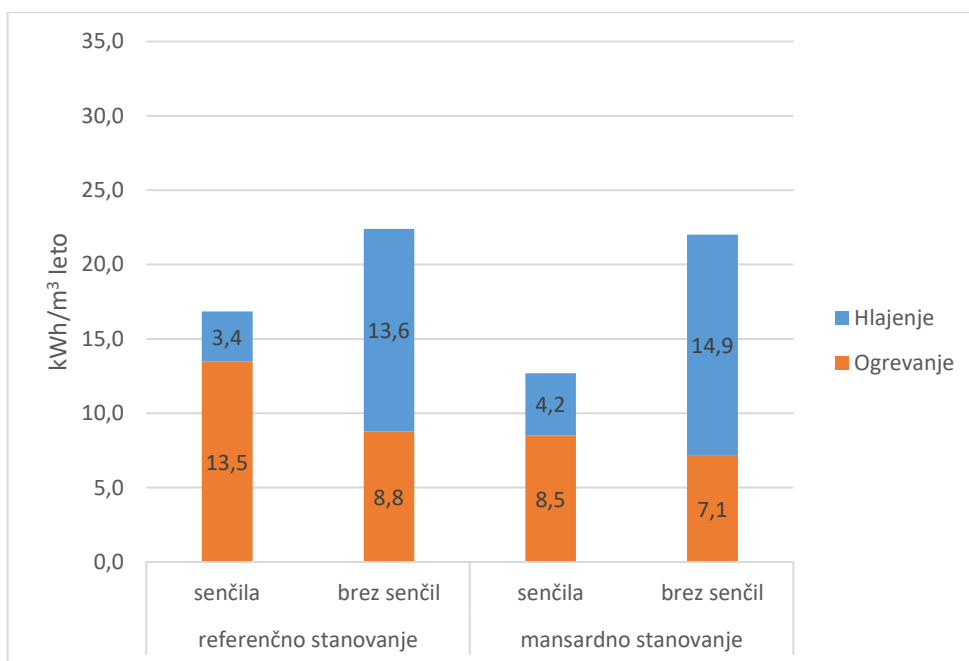


Grafikon 44: Letna potrebna energija za hlajenje v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Londonu

7.1.3 Kumulativna raba energije ($Q_{NH} + Q_{NC}$)

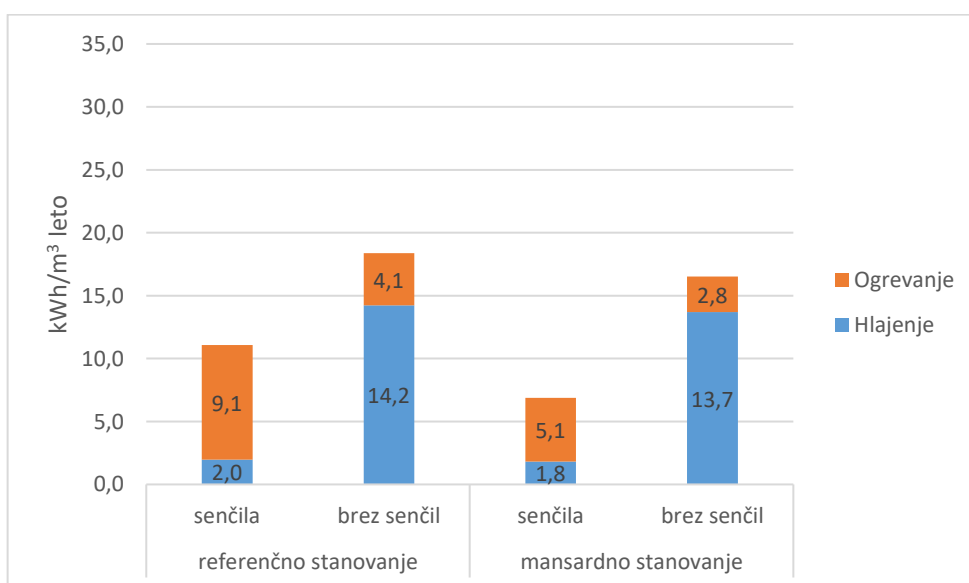
V tem podglavju je predstavljena skupna raba energije, ki združuje potrebno energijo za ogrevanje in hlajenje stanovanja. Na grafikonih 45–47 so predstavljeni rezultati za mesto Ljubljana, London in Madrid. Kumulativna raba energije v Ljubljani je brez upoštevanja senčenja v referenčnem stanovanju skoraj popolnoma enaka kot v mansardnem stanovanju, pri tem pa potrebna energija za ogrevanje višja pri referenčnem, kar je predstavljeno na grafikonu 45. Naj spomnimo, da je v referenčnem stanovanju v Ljubljani površina oken 1,9-krat višja od površine v mansardnem stanovanju. V primeru upoštevanja senčil je razlika med mansardnim in referenčnim stanovanjem 1,3-kratna v korist slednjemu. Iz tega lahko sklepamo, da senčenje bolj vpliva na kumulativno rabo energije pri nagnjenih kot pri vertikalnih

oknih. V mansardnem stanovanju je namreč kumulativna raba energije brez senčil 1,7-krat višja od primera s senčili. Razlika v referenčnem stanovanju je zaradi večje površine oken manjša, in sicer le 1,3-kratna.



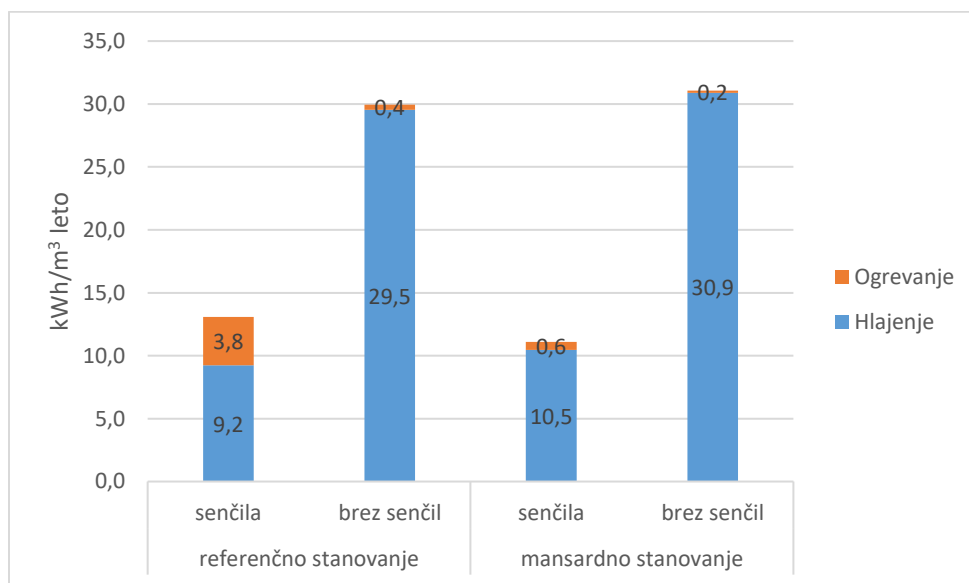
Grafikon 45: Letna kumulativna raba energije ($Q_{NH} + Q_{NC}$) v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Ljubljani

V Londonu je kumulativna raba energije v vseh štirih variantah nižja kot v Ljubljani, kar prikazuje grafikon 46. Tokrat kumulativna raba energije brez senčil v referenčnem stanovanju znaša 1,1-kratnik energije mansardnega stanovanja. Z upoštevanjem senčil je razlika v kumulativni rabi energije večja, in sicer 1,5-kratna. Ker ima referenčno stanovanje 2,1-krat večjo površino oken, smo pričakovali, da bo kumulativna raba energije v referenčnem stanovanju veliko višja kot v mansardnem stanovanju. Z upoštevanjem senčil je v referenčnem stanovanju kumulativna raba energije 1,6-krat nižja kot v mansardnem stanovanju, medtem ko je brez upoštevanja senčil razlika 1,1-kratna.



Grafikon 46: Letna kumulativna raba energije ($Q_{NH} + Q_{NC}$) v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Londonu

V Madridu prevladuje raba energije za hlajenje v primerjavi s potrebno energijo za ogrevanje. Zato je vpliv senčenja izmed vseh treh lokacij najbolj izrazit, kar se pokaže pri primerjavi kumulativne rabe energije, kjer so rezultati v referenčnem stanovanju brez upoštevanja senčil 2,29-krat višji kot z upoštevanjem le-teh. V mansardnem stanovanju je razlika še višja, in sicer je kumulativna raba energije 2,8-krat višja brez upoštevanja senčil. Rezultati so prikazani na grafikonu 47. Primerjava med obema tipoma stanovanj kaže, da je v referenčnem stanovanju brez upoštevanja senčil kumulativna raba energije približno enaka, medtem ko je z upoštevanjem senčil v referenčnem stanovanju 1,2-krat višja od mansardnega.

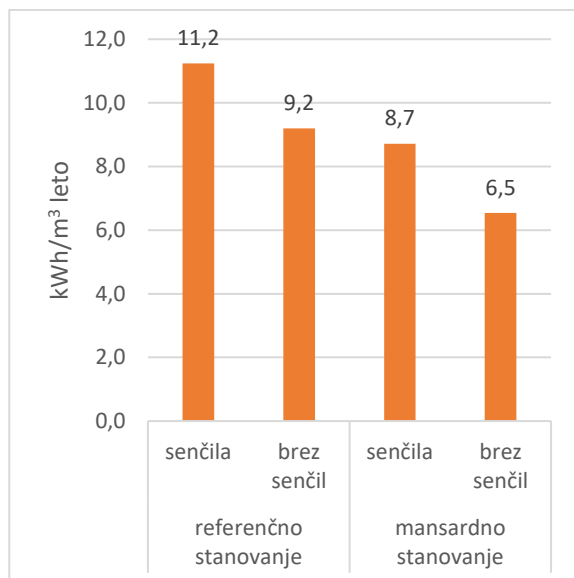


Grafikon 47: Letna kumulativna raba energije ($Q_{NH} + Q_{NC}$) v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Madridu

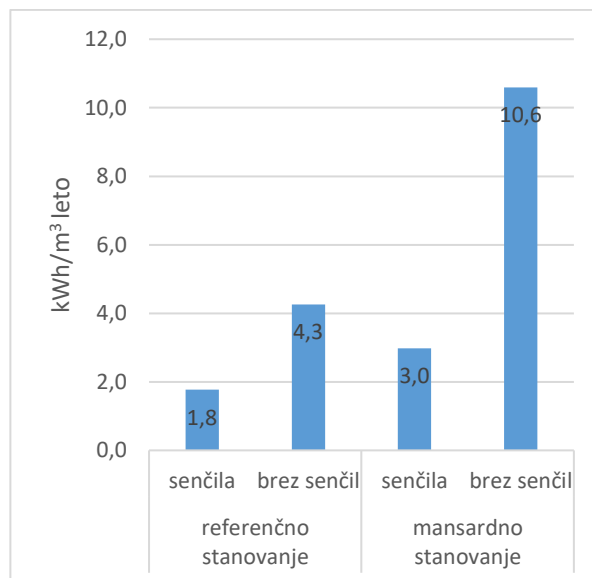
7.2 Energijska bilanca mansardnega in referenčnega stanovanja pri enaki velikosti oken

V tem poglavju so opisani rezultati energijske bilance mansardnega in referenčnega stanovanja, v katerih je velikost zasteklitve določena glede na Pravilnik o tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj in znaša $WFR = 20\%$. Obe stanovanji se nahajata v Ljubljani. Tako lahko ovrednotimo vpliv nagnjenosti okenskih površin na energijsko bilanco stanovanja. Na grafikonu 48 je prikazana potrebna energija za ogrevanje. Najmanj energije za ogrevanje potrebuje mansardno stanovanje brez senčil, medtem ko jo potrebuje največ referenčno stanovanje s senčili. Potrebna energija za ogrevanje je v referenčnem stanovanju brez senčil 1,4-krat višja kot v mansardnem. Z upoštevanjem senčil je potrebna energija v mansardnem stanovanju približno enaka kot v referenčnem stanovanju brez senčil.

Na grafikonu 49 je prikazana letna potrebna energija za hlajenje. In sicer je najnižja v referenčnem stanovanju s senčili, medtem ko je najvišja v mansardnem stanovanju brez senčil. Vpliv solarnega sevanja je viden, če primerjamo mansardno in referenčno stanovanje brez senčil, kjer je potrebna energija za hlajenje v mansardnem stanovanju 2,5-krat višja od referenčnega.

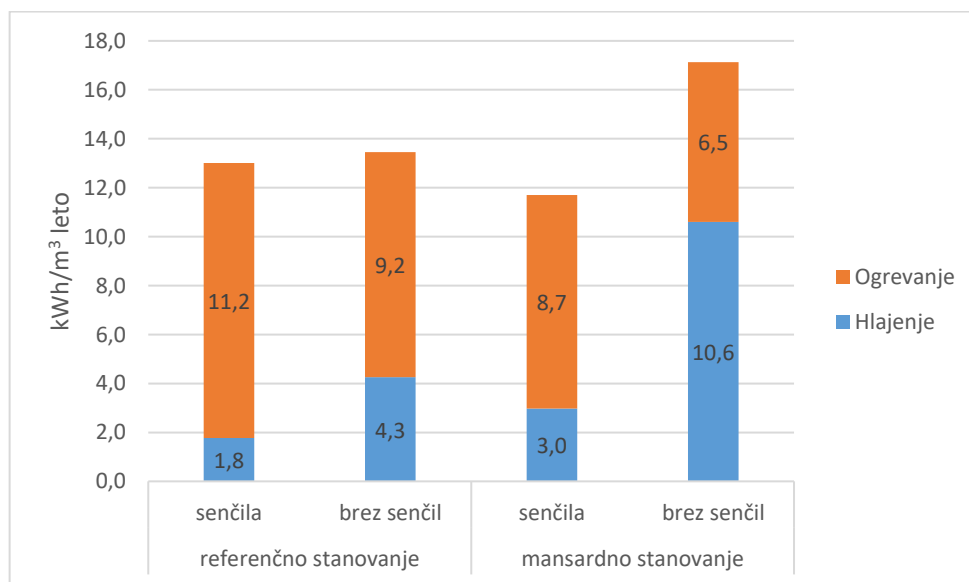


Grafikon 48: Letna potrebna energija za ogrevanje v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Ljubljani; WFR = 20 %



Grafikon 49: Letna potrebna energija za hlajenje v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Ljubljani; WFR = 20 %

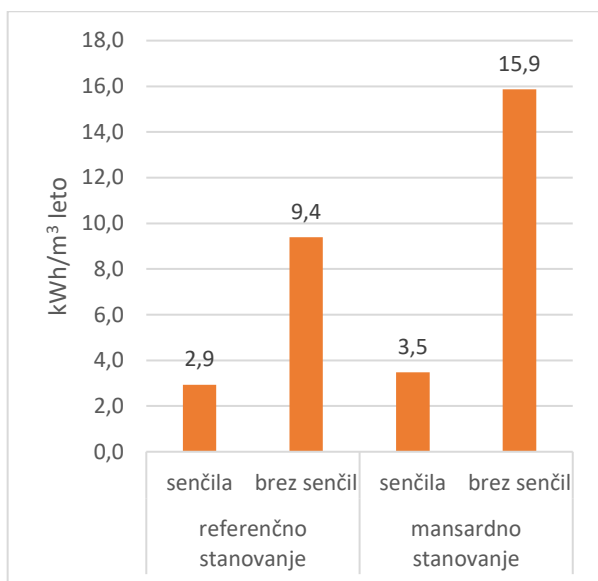
Letna kumulativna raba energije pri vseh štirih variantah stanovanja je prikazana na grafikonu 50. Ti rezultati so odgovor na vprašanje, ali je v mansardnem stanovanju kumulativna raba energije v Ljubljani pri enaki velikosti oken nižja kot v referenčnem stanovanju. Najvišje vrednosti dosega mansardno stanovanje brez senčil zaradi največjega vpliva solarnega sevanja. V referenčnem stanovanju senčila nimajo izrazitega vpliva na kumulativno rabo energije, saj je razlika med senčenjem/nesenčenjem minimalna. Večja razlika nastopi v mansardnem stanovanju, kjer je kumulativna raba energije v primeru senčil 1,5-krat nižja kot brez upoštevanja le-teh.



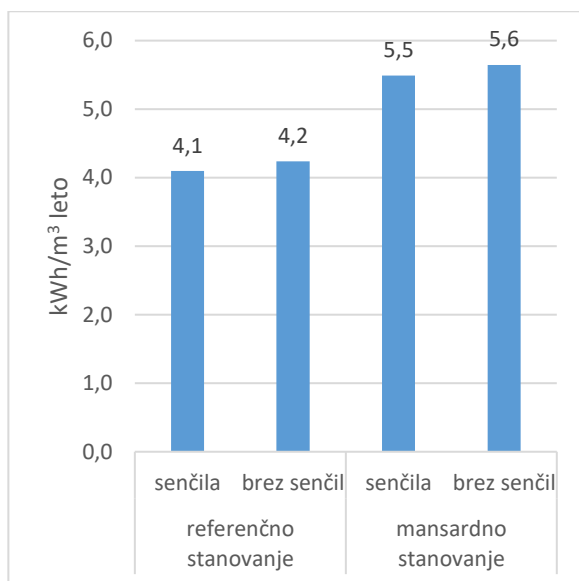
Grafikon 50: Letna kumulativna raba energije ($Q_{NH} + Q_{NC}$) v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Ljubljani (WFR = 20 %)

Letni toplotni dobitki skozi okna so najvišji v mansardnem stanovanju brez senčil, in sicer so 1,7-krat višji od toplotnih dobitkov v referenčnem stanovanju brez senčil, kar prikazuje grafikon 51. Ob uporabi senčil razlika med dobitki mansardnega in referenčnega stanovanja ni velika. Kljub enaki velikosti oken so v mansardnem stanovanju letne toplotne izgube skozi okna 1,3-krat višje od izgub v referenčnem

stanovanju (grafikon 52). Toplotne izgube skozi okna se v posameznem tipu stanovanja v odvisnosti od senčenja/nesenčenja ne razlikujejo v veliki meri.



Grafikon 51: Letni toplotni dobitki skozi okna v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Ljubljani; WFR = 20 %



Grafikon 52: Letne toplotne izgube skozi okna v mansardnem in referenčnem stanovanju z/brez senčil v Ljubljani; WFR = 20 %

8 ZAKLJUČEK

Namen te magistrske naloge je bil ob primerni velikosti oken z vidika dnevnega osvetljevanja pokazati vpliv solarnega sevanja na energijsko bilanco mansardnega stanovanja. Predvsem nas je zanimalo, kako solarno sevanje in toplotne izgube skozi okna vplivajo na potrebno energijo za ogrevanje in hlajenje.

Pri določevanju velikosti transparentnih površin smo se omejili zgolj na spreminjanje višine zasteklitve. Širino smo določili glede na osnutek standarda FprEN 17037, kjer smo upoštevali priporočila za zagotavljanje pogleda v zunanost. Poleg tega smo z upoštevanjem tega priporočila najnižjo točko okna postavili tik nad kolenčni zid. Velikosti zasteklitve, določene glede na PTZGSS ($WFR = 20\%$), so v vseh prostorih manjše od velikosti, določene glede na osnutek standarda FprEN 17037. V povprečju v Ljubljani in Madridu WFR znaša 28% , medtem ko v Londonu 30% . Vrednosti WFR -ja sicer med prostori močno variirajo, in sicer znašajo med 25 in 33% v Madridu in Ljubljani ter 26 in 34% v Londonu. Iz danih rezultatov lahko sklepamo, da tlorisna oblika in potencialne geometrijske nepravilnosti močno vplivajo na dosežen nivo dnevne svetlobe v prostoru. Zato menim, da je določanje velikosti zasteklitve zgolj s faktorjem WFR preveč posplošeno. Velikost WFR -ja v našem primeru je določena zgolj za strešne odprtine z naklonom strehe 42° , kjer pa kljub temu lahko že vidimo odstopanja od zakonskih zahtev s predpisanim $WFR = 20\%$, ki ga določa PTZGSS.

Kot smo že omenili, smo osvetljenost notranjih prostorov na treh lokacijah določili glede na osnutek standarda FprEN 17037. V standardu je bila minimalna merodajna priporočena vrednost KDS -a za Ljubljano in Madrid enaka, zato smo na obeh lokacijah dobili enake velikosti transparentnih površin, medtem ko je bila velikost zasteklitve v Londonu večja. Glede na rezultate tako lahko le delno potrdimo svojo hipotezo, da stavbe na lokacijah, ki so bolj oddaljene od ekvatorja, za primerljivo osvetljenost v prostoru potrebujejo večje transparentne površine. Ob drugačni metodi določevanja velikosti zasteklitve sicer predvidevamo, da bi bila najmanjša velikost zasteklitev dosežena v Madridu.

Velikost zasteklitve v referenčnem stanovanju, s katero smo zadostili priporočilom osnutka standarda FprEN 17037, je veliko večja od velikosti zasteklitve v mansardnem stanovanju. In sicer WFR znaša med 47 in 67% v Ljubljani in Madridu ter med 54 in 82% v Londonu. Smiselno se je torej vprašati, ali so priporočila osnutka standarda pretirana. Doseganje priporočene osvetljenosti na 95% delovne površine namreč močno povečuje velikost zasteklitve v globljih ozkih prostorih, kot je P5. Za doseganje zelene osvetljenosti prostora v Ljubljani in Madridu smo na primer v prostoru P1 v referenčnem stanovanju določili 2,2-krat večjo zasteklitev kot v mansardnem. S strešnimi okni je tako možno doseči primerljivo osvetljenost prostora pri tudi do 2-krat manjši transparentni površini okna v primerjavi z vertikalnim oknom. To dejstvo govori z vidika dnevnega osvetljevanja močno v korist vgrajevanju strešnih oken v stanovanja, seveda ob upoštevanju arhitekturnih možnosti le-tega. S tem smo potrdili hipotezo, da bodo v referenčnem stanovanju z ravno streho potrebne večje površine zasteklitve kot v mansardnem stanovanju. Pri referenčnem stanovanju z ravno streho je sicer enakomernost razporeditve dnevne svetlobe v prostoru dosežena v večji meri kot pri mansardnem stanovanju, kar kaže primerjava KDS_{avg} in KDS_{med} obeh stanovanj. Poleg manjše potrebne površine zasteklitve imajo strešna okna še eno prednost: višje ležeča strešna okna omogočajo dnevno osvetljevanje globlje v prostor. To se je izkazalo tudi v prostoru P6, kjer smo morali za zadostitev priporočil osnutka standarda FprEN 17037 nad vertikalno panoramsko okno dodati strešno okno. S tem smo omogočili prodiranje dnevne svetlobe na območja tik ob notranji steni, česar zgolj s panoramskim vertikalnim oknom ni bilo mogoče doseči.

Po določitvi velikosti oken je sledila analiza energijske bilance stanovanja. Vpliv solarnih pritokov in toplotnih izgub skozi okna na potrebno energijo za ogrevanje in hlajenje smo ovrednotili z vpeljavo količnikov μ_h in μ_c . V Madridu je potreba po hlajenju prisotna skozi celotno leto, medtem ko je bila potrebna energija za ogrevanje izjemno nizka in nastopa od decembra do februarja. V mesecih, kjer je prisotna potreba zgolj po hlajenju, energijska bilanca oken vseskozi deluje negativno; povečuje energijo

za hlajenje. Največji vpliv se kaže v spomladanskih in jesenskih mesecih, medtem ko je v poletnih mesecih zaradi visokih zunanjih temperatur vpliv manjši. Ta trend se kaže tudi na ostalih lokacijah, vendar je vpliv v poletnih mesecih zaradi nižjih zunanjih temperatur večji. Za primerjavo v mesecu juniju energijska bilanca oken v Madridu predstavlja 75 % energije za hlajenje, Ljubljani 83 % in v Londonu 90 %.

Količnika μ_h in μ_c smo določili tudi v primeru senčenja stanovanja. Z upoštevanjem senčenja stanovanja se je vpliv solarnega sevanja v primerjavi z nesenčenim stanovanjem močno zmanjšal. Ob upoštevanju senčenja se je maksimalna potrebna energija za hlajenje v vseh treh mestih zmanjšala med 62 in 77 %. Solarni dobitki skozi zasteklitev torej res predstavljajo poglobljen vzrok za rabo energije za hlajenje, zato je senčenje predvsem v poletnih mesecih izjemno pomembno.

V Ljubljani in Londonu je zaradi nižjih zunanjih temperatur del leta prisotno samo ogrevanje. V Londonu energijska bilanca oken negativno vpliva na potrebno energijo za ogrevanje zgolj v decembru in januarju. Njen negativni vpliv je največji v mesecu decembru, ko je zaradi izgub skozi okna porabljene 41 % energije za ogrevanje, medtem ko je v februarju in novembru njen vpliv pozitiven. V novembru je zaradi pozitivne energijske bilance oken potrebna energija za ogrevanje kar za 64 % nižja. V Ljubljani je energijska bilanca oken od novembra do januarja negativna. Decembra je bilo zaradi izgub skozi okna porabljene kar 35 % energije za ogrevanje. Njen vpliv je pozitiven zgolj v mesecu februarju in znaša 9 %.

V primeru senčenja se je potrebna energija za ogrevanje povečala v vseh ogrevalnih mesecih, kar pomeni, da solarni dobitki res zmanjšujejo potrebo po ogrevanju, s čimer smo potrdili drugo hipotezo.

Preverili smo tudi, kako orientiranost prostorov v Ljubljani vpliva na potrebno energijo za ogrevanje in hlajenje. Rezultati analize posameznih prostorov ponovno kažejo pozitiven vpliv solarnega sevanja na potrebno energijo za ogrevanje, in sicer je vpliv najvidnejši v prostorih z južno orientiranimi okni, najnižji pa pri severni orientaciji. Razlika med potrebno energijo za ogrevanje z/brez senčil je med 7 % pri severni orientaciji in 47 % pri južni. Vpliv solarnega sevanja na potrebno energijo za hlajenje je izjemno velik in tako predstavlja glavni razlog za potrebo po hlajenju prostorov, kot smo že predhodno dokazali. Potrebna energija za hlajenje je tudi pri severno orientiranih prostorih brez senčenja 2,8-krat višja kot z upoštevanjem senčenja. Pri južno orientiranih prostorih je razlika do 4,9-krat višja. S primerjavo različnih velikosti zasteklitve smo prišli tudi do ugotovitve, da na količino potrebne energije za hlajenje bistveno bolj vpliva uporaba senčil kot pa velikost zasteklitve.

V tretji hipotezi smo želeli dokazati, da bo mansardno stanovanje s primerljivo osvetljenostjo notranjih prostorov imelo bolj ugodno (nižjo) energijsko bilanco za ogrevanje in hlajenje kot referenčno stanovanje z ravno streho in vertikalnimi okni. V primeru ogrevanja rezultati potrjujejo to hipotezo, kar je najbolj razvidno ob upoštevanju senčenja. Če senčenja ne upoštevamo, je zaradi velikih solarnih dobitkov skozi 2-krat večja vertikalna okna ta razlika veliko manjša.

V mesecih, ko je potrebno hlajenje, pa so rezultati v Ljubljani in Madridu v korist referenčnemu stanovanju, saj zaradi večjega višinskega kota sonca skozi nagnjene površine prehaja več sončnega sevanja. V Londonu pa je potrebna energija za hlajenje nekoliko večja v referenčnem stanovanju. Razlike med rabo energije za hlajenje v obeh tipih stanovanj so sicer izjemno majhne.

Kot smo pokazali v tej nalogi, ima solarno sevanje velik vpliv na energijsko bilanco stanovanja, ki se spreminja skozi celotno leto. Medtem ko okna zaradi slabše izolativnosti predstavljajo »šibek člen« v stavbnem ovojju, solarni dobitki skozi transparentne dele oken skozi celo leto vplivajo na energijo v stavbi. V obdobju ogrevanja na lokacijah z nizkimi temperaturami energijska bilanca okna res negativno vpliva na potrebno energijo za ogrevanje, vendar pa je v prehodnih mesecih njen vpliv pozitiven. V

poletnih mesecih je senčenje transparentnih površin zelo pomembno, še posebej pri strešnih oknih južnih orientacij, saj solarni dobitki močno vplivajo na potrebno energijo za hlajenje. V času, ko so zunanje temperature nižje od notranjih, lahko stavbo hladimo tudi z naravnim prezračevanjem.

Mansardno stanovanje se z vidika energijske bilance na vseh treh lokacijah v primerjavi z referenčnim izkaže za boljšega, kar je še posebej razvidno pri uporabi senčil. Prednost mansardnega stanovanja je vidna tako pri enaki osvetljenosti kot pri enaki velikosti oken.

VIRI

- [1] Shishegar, N., Boubekri, M. 2016. Natural Light and Productivity: Analyzing the Impacts of Daylighting on Students' and Workers' Health and Alertness. *Int'l Journal of Advances in Chemical Engg., & Biological Sciences (IJACEBS)*. 3, 1: 73-77.
<http://iicbe.org/upload/4635AE0416104.pdf> (Pridobljeno 12. 11. 2018.)
- [2] Klepeis, N. E., Nelson, W. C., Ott, W. R. 2001. The National Human Activity Pattern Survey (NHAPS): a resource for assessing exposure to environmental pollutants. *Journal of Exposure Science and Environmental Epidemiology*. 11, 3: 231-52.
<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/11477521> (Pridobljeno 13. 11. 2018.)
- [3] Begemann, S. H. A., Beld G. J., Tanner, A. D. 1997. Daylight, artificial light and people in an office environment, overview of visual and biological responses. *International Journal of Industrial Ergonomics*, 20, 3: 231-239.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0169814196000534> (Pridobljeno 13. 11. 2018.)
- [4] Peng, X., Mak, C. M., Cheung, H. D. 2014. The effects of daylighting and human behavior on luminous comfort in residential buildings: A questionnaire survey. *Building and Environment*. 81: 51-59 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132314001978> (Pridobljeno 11. 11. 2018.)
- [5] Final energy consumption, EU-28. 2015. Eurostat.
[https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Final_energy_consumption,_EU-28_\(%25_of_total,_based_on_tonnes_of_oil_equivalent\)_YB17.png](https://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php?title=File:Final_energy_consumption,_EU-28_(%25_of_total,_based_on_tonnes_of_oil_equivalent)_YB17.png)
(Pridobljeno 6. 9. 2018.)
- [6] Garcia-Hansen, V., Esteves, A., Pattini, A. 2002. Passive solar systems for heating, daylighting and ventilation for rooms without an equator-facing facade. *Renewable Energy*. 26, 1: 91-111
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148101000891> (Pridobljeno 1. 10. 2018.)
- [7] Pellegrino, A., Cammarano, S., Lo Verso, V., Corrado, V. 2017. Impact of daylighting on total energy use in offices of varying architectural features in Italy: Results from a parametric study. *Building and Environment*. 113: 151-162.
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360132316303523> (Pridobljeno 9. 11. 2018.)
- [8] Chen, Y., Liu, J., Pei, J., Cao, X., Chen, Q., Jiang, Y. 2014. Experimental and simulation study on the performance of daylighting in an industrial building and its energy saving potential. *Energy and Buildings*. 73: 184 - 191

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378778814000681> (Pridobljeno 12. 10. 2018.)

- [9] Košir, M., Iglič, N., Kunič, R. 2018. Optimisation of heating, cooling and lighting energy performance of modular buildings in respect to location's climatic specifics. *Renewable Energy*. 129, A: 527-539
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148118306578> (Pridobljeno 2. 1. 2019.)
- [10] FprEN 17037: 2019. Dnevna svetloba v stavbah. EU.
- [11] Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj. Uradni list RS, št. 1/2011.
- [12] Programski orodji EnergyPlus in OpenStudio. U.S. DEPARTMENT OF ENERGY. Energy Efficiency & Renewable Energy. Building Technologies Office. EnergyPlus Energy Simulation Software 2015.

<https://energyplus.net/downloads> (Pridobljeno 2. 7. 2018.)
- [13] Gibson, H. 2000. UVB Radiation: Definition and Characteristics. In UV-B Monitoring and Research Program., Natural Resource Ecology Laboratory. Colorado State University.
https://uvb.nrel.colostate.edu/UVB/publications/uvb_primer.pdf (Pridobljeno 31. 8. 2018.)
- [14] Zwitter, T. 2009. Naše in druga osončja. Skripta s predavanj Naše in druga osončja. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za matematiko in fiziko, Ljubljana.
- [15] Medved, S. 2014. Gradbena fizika 2: toplota, vlaga, svetloba, zvok, požar, mikroklima v mestih. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo: 328 str.
- [16] Reynolds, R. 2004. Vremenski vodnik. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije: 192 str.
- [17] Steemers, K., Baker, N. 2005. Energy and Environment in Architecture, A Technical Design Guide. London: E & FN Spon, Taylor & Francis: 236 str.
https://www.researchgate.net/publication/238226332_Energy_and_Environment_in_Architecture_A_Technical_Design_Guide (Pridobljeno 30. 9. 2018)
- [18] Spatial distribution of daylight – CIE standard general sky : CIE S 011/E:2003 (ISO 15469:2004(E)). – Vienna, CIE Central Bureau Vienna, 2003.

- [19] Ahčin, M., Urevc, A. 2016. Kako pravilno prezračevati stanovanje. Dominvest. http://www.dominvest.si/Pravilno_prezracevanje_upravljanje/ (Pridobljeno 15. 12. 2018.)
- [20] Gradbeni zakon, Uradni list RS, št. 61/17 in 72/17 - popr. z dne 1.6.2018.
- [21] Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010. Učinkovita raba energije. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor.
- [22] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah., Ur. l. RS, št. 52/2010.
- [23] Eko sklad. 2018. Poslovni in finančni načrt eko sklada, slovenskega okoljskega javnega sklada, za leto 2018. Eko sklad, Ljubljana.
- [24] Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb, Uradni list RS, št. 42/2002.
- [25] SIST EN ISO 13790: 2008, Energijska učinkovitost stavb - Račun rabe energije za ogrevanje in hlajenje prostorov.
- [26] SIST EN 15232, 2012.
- [27] Velux, Daylight Visualizer 3. Programska oprema za izračun osvetljenosti, Hørsholm, Denmark: Velux. <https://www.velux.com/article/2016/daylight-visualizer> (Pridobljeno 20. 8. 2018.)
- [28] Klimatološki podatki. WeatherSpark. <https://weatherspark.com/> (Pridobljeno 15. 9. 2018.)
- [29] Agencija Republike Slovenije za okolje. ARSO. Podnebne razmere v Sloveniji (obdobje 1971-2000). ARSO, Ljubljana. http://meteo.arso.gov.si/uploads/probase/www/climate/text/sl/publications/podnebne_razmere_v_sloveniji_71_00.pdf. (Pridobljeno 14. 9. 2018.)
- [30] Bat, M., s sod. 2004. Narava Slovenije, Ljubljana: Mladinska Knjiga:88 str.
- [31] Kottek, M., Grieser, J., Beck, C., Rudolf, B., Rubel, F. 2006. World Map od the Köppen-Geiger climate classification updated. Meteorol Z 15 (2006): 259–263.

- [32] Wikipedija, prosta enciklopedija. Köppen climate classification.
https://en.wikipedia.org/wiki/K%C3%B6ppen_climate_classification#Warm_summer_continental_or_hemiboreal_climates (Pridobljeno 22. 12. 2018.)

- [33] Zemljevid Evrope "Google Maps". Google, 2018. <https://www.google.com/maps>. (Pridobljeno 3. 11. 2018.)

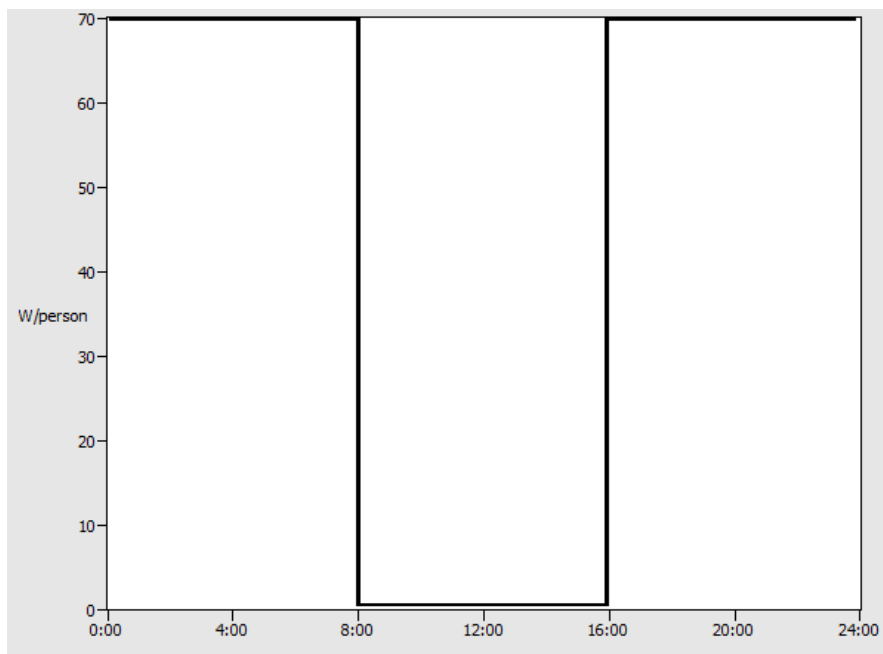
- [34] Spletno orodje: Photovoltaic geographical information system (PVGIS). European Commission Joint Research Centre, Ispra, Italy. http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_tools/en/tools.html
(Pridobljeno 22. 12. 2018.)

- [35] Toplotno zaščitna stekla. Reflex, Podgrad pri Gornji Radgoni.
<http://www.reflex.si/si/steklo/toplozascitna-stekla> (Pridobljeno 4. 9. 2018.)

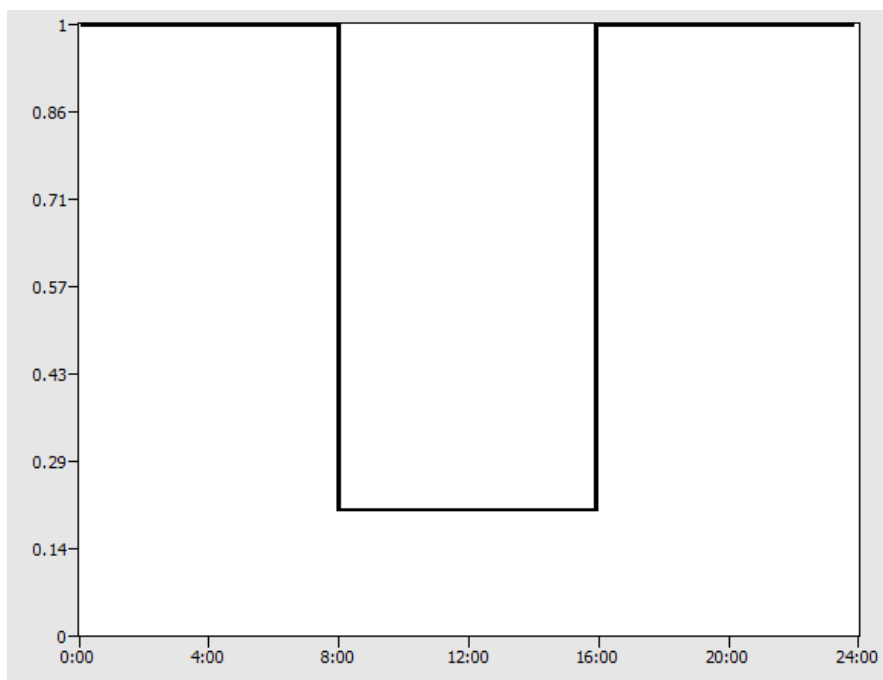
- [36] Trimble Navigation Limited. 2016. SketchUp Make 2016. Trimble Inc.
<https://www.sketchup.com/download/make> (Pridobljeno 20. 7. 2018.)

PRILOGE

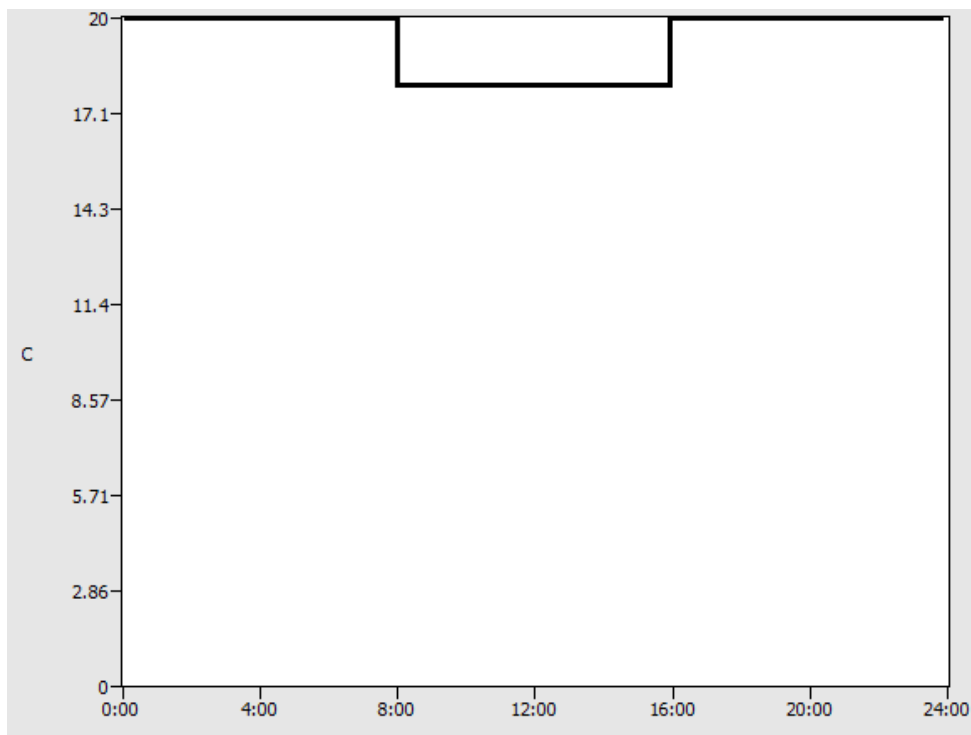
PRILOGA A: UPOŠTEVANI URNIKI OBRATOVANJA STAVBE



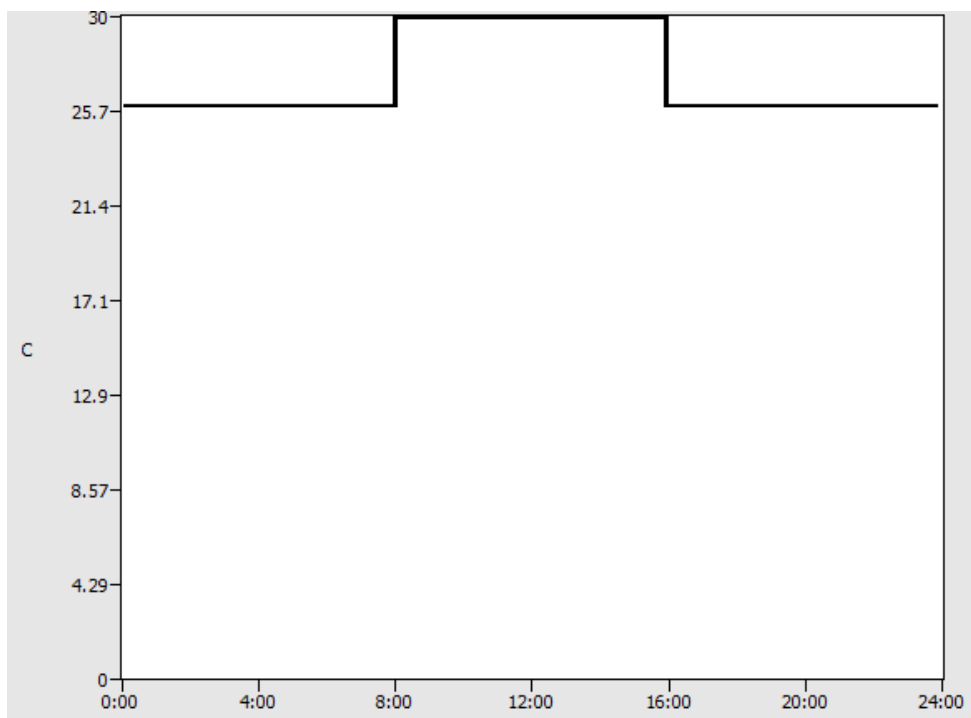
Grafikon A1: Urnik zasedenosti stanovanja



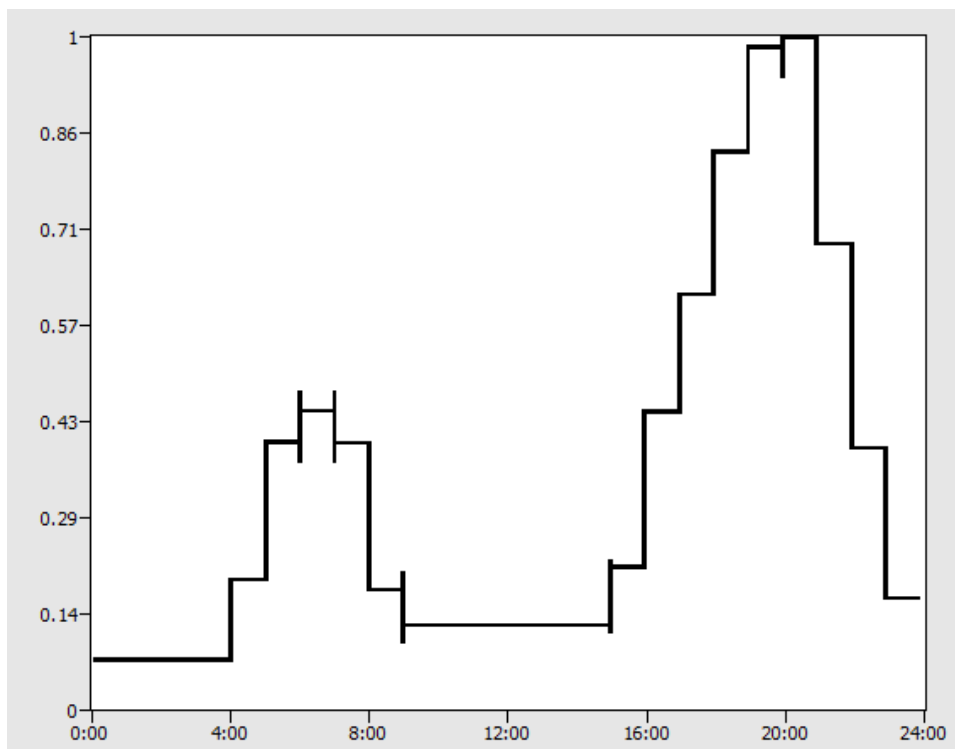
Grafikon A2: Urnik infiltracije zunanjega zraka



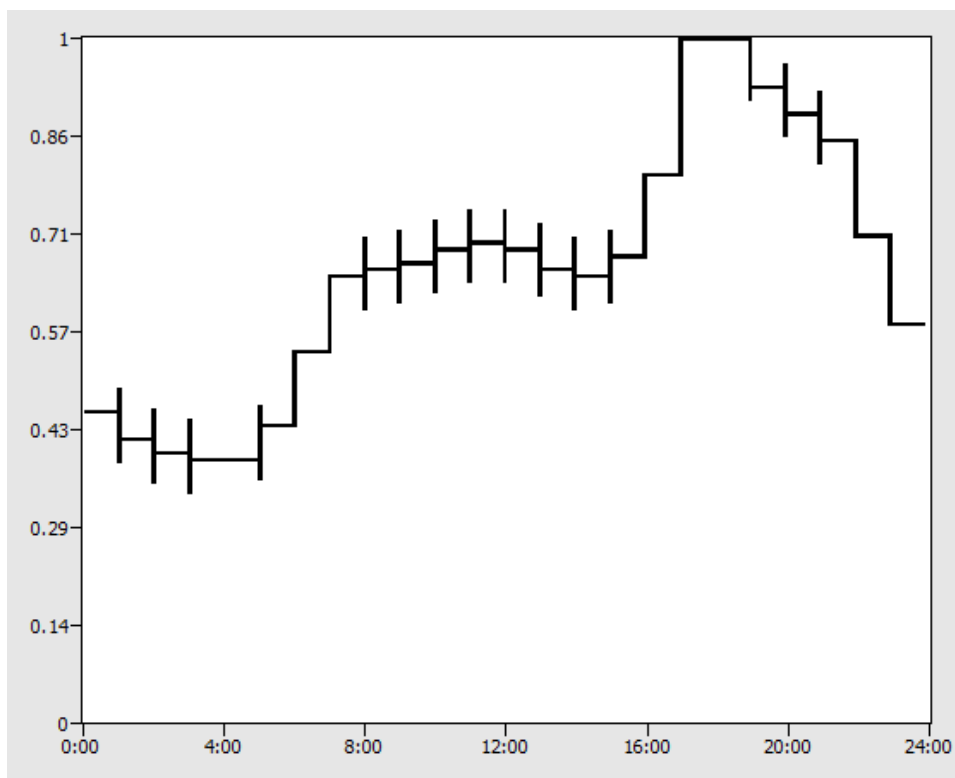
Grafikon A3: Urnik ogrevanja v stanovanju



Grafikon A4: Urnik hlajenja v stanovanju



Grafikon A5: Urnik razsvetljave



Grafikon A6: Urnik opreme