

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



Jamova cesta 2
1000 Ljubljana, Slovenija
<http://www3.fgg.uni-lj.si/>

DRUGG – Digitalni repozitorij UL FGG
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

To je izvirna različica zaključnega dela.

Prosimo, da se pri navajanju sklicujete na bibliografske podatke, kot je navedeno:

Pajak, L. 2012. Parametrična študija osvetljenosti in porabe energije za ogrevanje. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Krainer, A., somentor Košir, M.): 30 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



Jamova cesta 2
SI – 1000 Ljubljana, Slovenia
<http://www3.fgg.uni-lj.si/en/>

DRUGG – The Digital Repository
<http://drugg.fgg.uni-lj.si/>

This is original version of final thesis.

When citing, please refer to the publisher's bibliographic information as follows:

Pajak, L. 2012. Parametrična študija osvetljenosti in porabe energije za ogrevanje. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Krainer, A., co-supervisor Košir, M.): 30 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJ
PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVA

Kandidat:

LUKA PAJEK

**PARAMETRIČNA ŠTUDIJA OSVETLJENOSTI IN
PORABE ENERGIJE ZA OGREVANJE**

Diplomska naloga št.: 15/B-GR

**PARAMETRIC STUDY OF DAYLIGHTING AND
ENERGY USE FOR HEATING**

Graduation thesis No.: 15/B-GR

Mentor:

prof. dr. Aleš Krainer

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

asist. dr. Mitja Košir

Član komisije:

doc. dr. Živa Kristl

doc. dr. Sebastjan Bratina

Ljubljana, 21. 09. 2012

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisani Luka Pajak izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom *Parametrična študija osvetljenosti in porabe energije za ogrevanje*.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v repozitoriju UL FGG.

Kamnik, 7. 9. 2012

Luka Pajak

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM

UDK:	628.92:628.8(043.2)
Avtor:	Luka Pajak
Mentor:	prof. dr. Aleš Krainer
Somentor:	asist. dr. Mitja Košir
Naslov:	Parametrična študija osvetljenosti in porabe energije za ogrevanje
Tip dokumenta:	Dipl. nal. – UNI-B
Obseg in oprema:	30 str., 17 pregl., 28 sl., 2 pril.
Ključne besede:	osvetljenost, koeficient dnevne svetlobe (KDS), distribucija dnevne svetlobe, potrebna letna toplota za ogrevanje, poraba energije, zasteklitev

Izvleček

V diplomski nalogi sem primerjal vpliv oblike, površine in sestave okna na osvetljenost in porabo energije v stavbi. Pomembno je, da v bivalnem prostoru zagotovimo dobre življenjske razmere. Kar pa ni vedno lahko. Eden izmed dejavnikov, ki vpliva na osvetljenost (tudi distribucijo svetlobe) in porabo energije v prostoru, je transparentni del stavbnega ovoja (okna). S spreminjanjem lastnosti oken se zelo spreminjajo tudi razmere v prostoru.

V uvodu je opisanih nekaj podobnih preteklih študij in njihovih rezultatov. V nadaljevanju so prikazani rezultati moje analize. Spremljal sem spremembe osvetljenosti (programsko orodje: VELUX Daylight Visualizer 2) in porabe energije v prostoru (programsko orodje: TOST). Spreminjal sem površino okna od 10 % do 100 % ene od zunanjih sten. Izbral sem različne oblike oken, od kvadrata do podolgovate in pokončne oblike pravokotnika. Pri spreminjanju sestave okna pa sem se različno odločal med štirimi različnimi zasteklitvami (enojna, dvojna, trojna in trojna z nizko emisijskim premazom). Oblika okna na porabo energije v prostoru seveda ne vpliva, zato sem pri tej analizi spreminjal samo površino in sestavo okna. Rezultate sem komentiral in primerjal med seboj. Predstavil sem še, kakšen je skupni vpliv spreminjanja površine in sestave okna na južni fasadi na osvetljenost in porabo energije.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 628.92:628.8(043.2)
Author: Luka Pajek
Supervisor: prof. Aleš Krainer, Ph.D
CO-supervisor: assist. Mitja Košir, Ph.D
Title: Parametric study of daylighting and energy use for heating
Document type: Graduation Thesis – University studies
Scope and tools: 30 p., 17 tab., 28 fig., 2 ann.
Keywords: illumination, daylight factor, daylight distribution, annual heating requirements, energy consumption, glazing

Abstract

In graduation thesis I compared how shape, size and structure of window affect the illumination and energy consumption in building. It is important to ensure good living conditions, which is not always an easy task. One of the factors that affects illumination (and also daylight distribution) and energy consumption is the transparent part of the building envelope (windows). By changing the properties of windows, the alteration also affects living conditions.

The introduction presents few similar previous studies and their results. Later on are given the results of my analysis. I followed changes in illumination (software tool: VELUX Daylight Visualizer 2) and energy consumption (software tool: TOST). I was changing size of the window from 10% to 100% of one of the outer walls. I chose different types of windows, from square to oblong or vertical rectangle shape. When changing the structure of the window I varied between four different types of glazing (single, double, triple and triple with low-emissivity coating). Of course shape of the window has no effect on the energy consumption. Because of that I was only changing the size and structure of the window when analyzing it. I commented on the results and compared them with each other. I also presented the combined effect of changing south-orientated window's size and structure on illumination and energy consumption.

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju prof. dr. Alešu Krainerju in somentorju asist. dr. Mitji Koširju za sodelovanje, pridobljeno znanje, čas in pomoč pri diplomski nalogi.

Zahvaljujem se tudi svoji družini za ljubezen in pomoč v času mojega študija ter pri nastajanju diplomske naloge.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE	I
IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
1 UVOD	1
1.1 Pregled literature	2
2 REZULTATI	4
2.1 Osvetljenost analiziranega prostora	4
2.1.1 Vhodni podatki	4
2.1.2 Spreminjanje površine okna	5
2.1.2.1 Primer št. 1	6
2.1.2.2 Primer št. 7	6
2.1.3 Spreminjanje oblike okna	7
2.1.3.1 Primer št. 6	8
2.1.3.2 Primer št. 9	9
2.1.4 Spreminjanje sestave (zasteklitve) okna	10
2.1.4.1 Primer št. 1	11
2.1.4.2 Primer št. 4	12
2.2 Poraba energije obravnavanega prostora	13
2.2.1 Vhodni podatki	13
2.2.2 Spreminjanje površine okna	16
2.2.2.1 Primeri št. 1, 2 in 8	16
2.2.3 Spreminjanje sestave (zasteklitve) okna	17
2.2.3.1 Primera št. 1 in 4	17
3 PRIMERJAVA REZULTATOV	18
3.1 Osvetljenost	18
3.1.1 Spreminjanje površine okna	18
3.1.2 Spreminjanje oblike okna	20
3.1.3 Spreminjanje sestave (zasteklitve) okna	22
3.2 Poraba energije	23

3.2.1 Spreminjanje površine okna	23
3.2.2 Spreminjanje sestave (zasteklitve) okna	25
3.3 Medsebojna primerjava osvetljenosti in porabe energije na južni fasadi	26
3.3.1 Odvisnost od površine okna	26
3.3.2 Odvisnost od vrste zasteklitve	27
4 ZAKLJUČEK	28
VIRI	29
SEZNAM PRILOG	30

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Podatki o analiziranem prostoru	4
Preglednica 2: Značilnosti simuliranih primerov	5
Preglednica 3: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 1	6
Preglednica 4: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 7	6
Preglednica 5: Lastnosti obravnavanih primerov	7
Preglednica 6: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 6	8
Preglednica 7: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 9	9
Preglednica 8: Lastnosti obravnavanih primerov	10
Preglednica 9: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 1	11
Preglednica 10: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 4	12
Preglednica 11: Lastnosti obravnavanega prostora	13
Preglednica 12: Toplotna prehodnost konstrukcijskih sklopov obravnavanega prostora	15
Preglednica 13: Osnovni podatki analize prostora	15
Preglednica 14: Značilnosti simuliranih primerov	16
Preglednica 15: Rezultati analize porabe energije primerov št. 1, 2 in 8	16
Preglednica 16: Značilnosti simuliranih primerov	17
Preglednica 17: Rezultati analize porabe energije primerov št. 1 in 4	17

KAZALO SLIK

Slika 1: Distribucija svetlobe v prostoru pri dveh različnih tipih oken (klasično okno, okno z nadsvetlobo) (Vir slike [1])	2
Slika 2: Distribucija svetlobe v prostoru (Vir slike [2])	2
Slika 3: Poraba energije pri različnih orientacijah prostorov v stavbah v Milanu (Vir slike [3])	3
Slika 4: Primeri spreminjanja površine okna	5
Slika 5: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 1	6
Slika 6: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 7	7
Slika 7: Primeri o spreminjanju oblike okna	8
Slika 8: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 6	9
Slika 9: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 9	10
Slika 10: Primeri o spreminjanju zasteklitve na oknih	11
Slika 11: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 1	11
Slika 12: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 4	12
Slika 13: Geometrija uporabljenega modela (Primer št. 3)	13
Slika 14: Sestava zunanje stene	14
Slika 15: Sestava strehe	14
Slika 16: Sestava tal	15
Slika 17: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora pri spreminjanju okenske površine	18
Slika 18: Primerjava povprečnega KDS pri spreminjanju okenske površine	19
Slika 19: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora pri spreminjanju oblike okna	20
Slika 20: Primerjava povprečnega KDS pri spreminjanju oblike okna	21
Slika 21: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora pri spreminjanju sestave okna	22
Slika 22: Primerjava povprečnega KDS pri spreminjanju sestave okna	23
Slika 23: Odvisnost koeficienta specifičnih transmisijskih toplotnih izgub od površine okna	23
Slika 24: Odvisnost potrebne letne toplote za ogrevanje od površine okna	24
Slika 25: Koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub pri različnih sestavah okna	25
Slika 26: Odvisnost potrebne letne toplote za ogrevanje od različne sestave okna	25
Slika 27: Primerjava deležev izboljšanja osvetljenosti in znižanja porabe energije v odvisnosti od površine okna na južni fasadi	26
Slika 28: Primerjava deležev spremembe osvetljenosti in porabe energije glede na zasteklitev	27

»Ta stran je namenoma prazna«

1 UVOD

Dobra osvetljenost in distribucija dnevne svetlobe v stavbi oz. prostoru skupaj s potrebno letno toploto za ogrevanje zahtevajo posebno pozornost. Vsi trije, še posebej osvetljenost in distribucija dnevne svetlobe, so odvisni od transparentnega dela stavbnega ovoja, saj skozi njega prehaja sončno sevanje, ki vpliva na osvetljenost prostorov (vidni del spektra (valovna dolžina 380–780 nm) – dnevna svetloba) in tudi na energetske bilanco stavbe (kratkovalovno infrardeče sevanje (750–4000 nm – solarni dobitki).

Pri načrtovanju stavbe moramo zagotoviti, da bodo prostori čim dalj dnevno osvetljeni, še posebej tisti, v katerih se največ zadržujemo. Priporočila za minimalne vrednosti osvetljenosti so zapisana v mednarodnih standardih. Pozorni moramo biti na zadostno količino svetlobe, prostorsko enakomernost osvetlitve, preprečitev bleščanja in prevelikih kontrastov, obenem pa je zaželeno ves čas ohranjati tudi vidni stik z zunanostjo. S tem zagotovimo višjo storilnost in boljše počutje ljudi v prostoru ter znižamo stroške umetnega osvetljevanja [5].

Že energetska kriza leta 1973 je opozorila na to, da stavbe porabijo več kot tretjino proizvedene energije, zato se vse od takrat, predvsem pa v zadnjih 20 letih razvija želja po manjši porabi le-te. Treba je čim bolj zmanjšati toplotne izgube skozi stavbni ovoj, ne da bi s tem poslabšali bivalne razmere v prostorih. Manjkajočo energijo oz. pribitek energije je zelo lahko pridobiti s soncem, saj je sonce velik vir toplote, ki v prostor najlažje prehaja skozi okenske zasteklitve. Določen dotok energije »od zunaj« bo vedno potreben.

Prav zaradi vseh omenjenih dejstev je ena od poti za boljše počutje v prostoru in po drugi strani za varovanje narave ta, da dobro preučimo, kako oblikovana, velika oz. sestavljena okna bodo najboljše vplivala na svetlobno klimo v prostoru ter na porabo toplote.

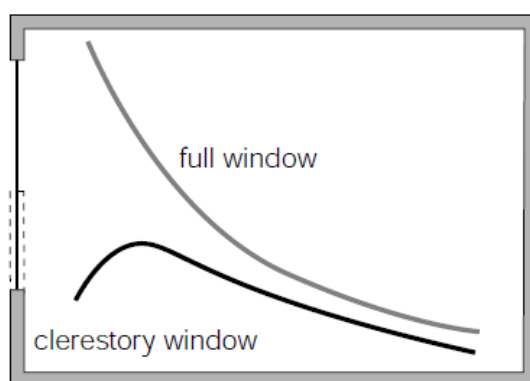
Pričakujem, da se bo v rezultatih te moje raziskave pokazalo, da večanje površine okna na osvetljenost v prostoru deluje pozitivno, saj skozi večjo okensko površino lahko prehaja več svetlobe. Glede porabe energije bo pozitiven učinek le na južni in vzhodni/zahodni strani. Na severu pa pričakujem, da bo večanje okenske odprtine razmere poslabšalo.

Spreminjanje sestave okna (nižanje U-faktorja) na južni fasadi verjetno precej vpliva na porabo energije, malo manj pa na osvetljenost v prostoru. Več stekel pomeni slabšo osvetljenost. Takšne rezultate tudi pričakujem. Pri porabi energije pa bo stvar verjetno nekoliko kompleksnejša, vseeno pa pričakujem, da bo večanje števila stekel pozitivno učinkovalo na severni fasadi. Na južni fasadi bo najbolj optimalna dvojna oz. trojna zasteklitev, najbrž prav tako na vzhodu/zahodu.

Spreminjanje oblike okenske odprtine na porabo energije ne vpliva, saj je poraba odvisna le od sestave in površine okna. Drugačna oblika okna pa vpliva na osvetljenost v prostoru. Katera oblika okna bo za obravnavani prostor najboljša, je težko predpostaviti, saj distribucija svetlobe po prostoru ni odvisna le od oblike okna, ampak tudi od oblike prostora in števila oken.

1.1 Pregled literature

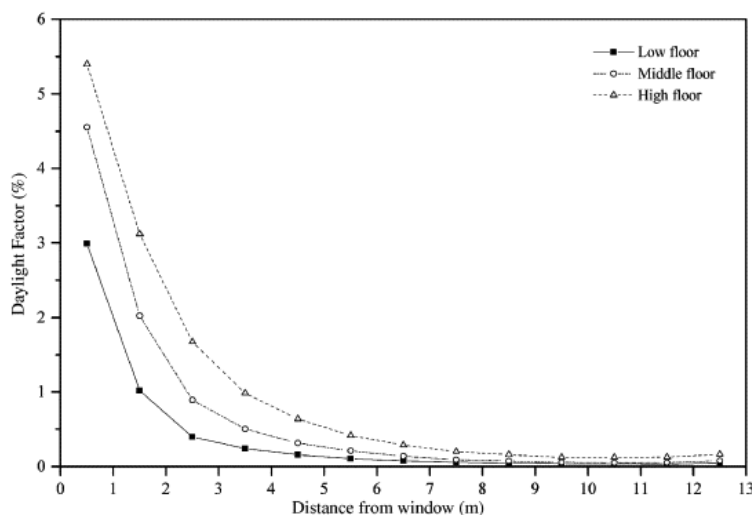
Na tem področju je bilo narejenih že nekaj podobnih študij, tako z vidika dnevne svetlobe, kot tudi z vidika potrebne letne toplote za ogrevanje. Študije so pokazale naslednje rezultate. Visoka okna, ki prekrivajo večji del stene, prispevajo boljšo distribucijo svetlobe v prostoru (glede na običajno delovno ravnino, $h = 85$ cm) kot okna, ki so postavljena višje. Takšna okna pa imajo dobro lastnost, da v prostoru zmanjšujejo bleščanje in kontraste (Slika 1) [1].



High windows provide better distribution. These curves indicate light levels. Notice the softer gradient with the clerestory.

Slika 1: Distribucija svetlobe v prostoru pri dveh različnih tipih oken (klasično okno, okno z nadsvetlobo) (Vir slike [1])

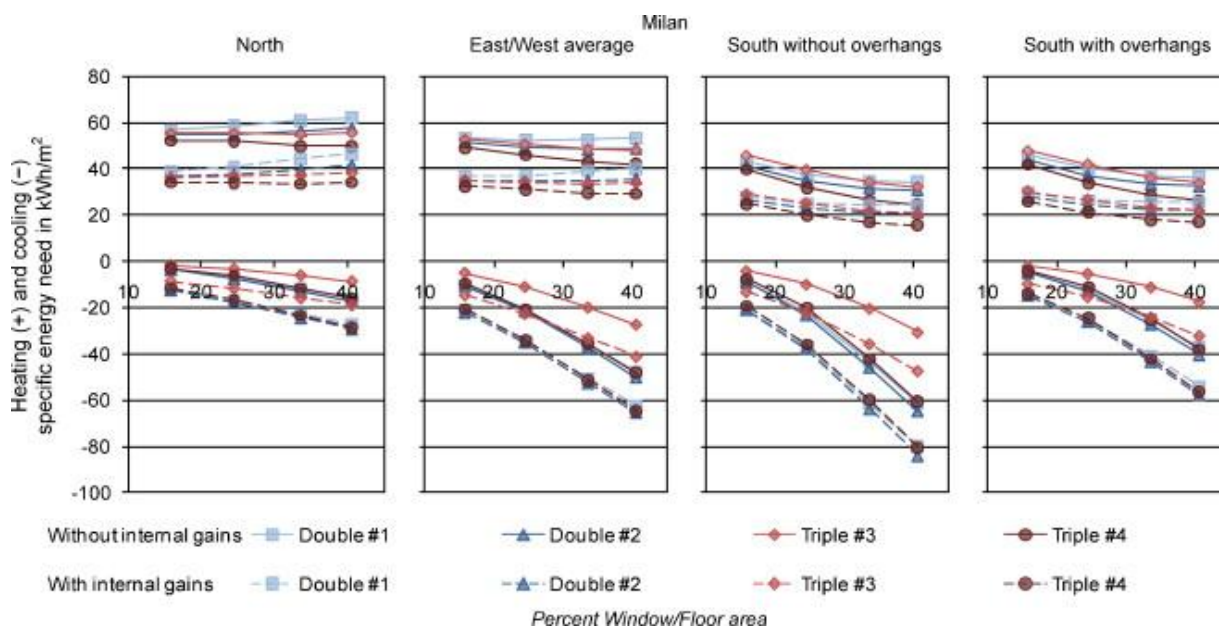
Pregled študije o osvetljenosti pisarn v Hongkongu [2], katere namen je bil raziskati, kako zmanjšati porabo energije za umetno razsvetlavo, prikaže naslednje rezultate (Slika 2): osvetljenost (količnik dnevne svetlobe) pada z globino prostora po naslednji krivulji.



Slika 2: Distribucija svetlobe v prostoru (Vir slike [2])

Študija prikazuje rezultate tudi za osvetljenost pisarn v različnih nadstropjih, vendar take analize sam ne bom opravil. Koeficient dnevne svetlobe je proporcionalen prepustnosti stekla za dnevno svetlobo. V Hongkongu ima večina oken enojno zasteklitev, ki je zelo dobro prepustna za svetlobo (88 %), zato je tam za zadostno osvetljenost najpomembnejša površina oken. Po njihovih gradbenih predpisih mora biti okno veliko vsaj deset odstotkov tlorisne površine. V slovenskem predpisu pa je navedeno, da naj bo površina zasteklitve v bivalnih prostorih enaka 20 % tlorisne površine teh prostorov [4].

Študije so bile narejene tudi glede porabe energije za ogrevanje in hlajenje. V Milanu [3] so naredili analizo o vplivu različnih tipov zasteklitev (dvojna, trojna zasteklitev), površine okna (velikosti okna od 16 % do 41 % tlorisne površine) in orientacije okenske odprtine v dobro toplotno izoliranih stanovanjskih stavbah. Oblikovalci stavb bi ves čas morali imeti v mislih, da so zasteklitve, ki so najboljše za toplotno izolacijo (npr. trojna zasteklitev), slabše prepustne za sončno sevanje (imajo slabše solarne dobitke). To je pomembno predvsem v zimski (ogrevalni) sezoni, saj z velikimi solarnimi dobitki lahko močno zmanjšamo potrebno energijo za ogrevanje. Rezultati analize so prikazani v sliki 3.



Slika 3: Poraba energije pri različnih orientacijah prostorov v stavbah v Milanu (Vir slike [3])

2 REZULTATI

2.1 Osvetljenost analiziranega prostora

2.1.1 Vhodni podatki

Za analizo osvetljenosti sem uporabil programsko orodje VELUX Daylight Visualizer 2 [6].

Prostor ima odprtino samo na eni stranici. Višino delovne površine sem si izbral na 0,85 m. Preostali vhodni podatki so prikazani v preglednici 1.

Preglednica 1: Podatki o analiziranem prostoru

Mere prostora	6 m x 4 m x 2,5 m
Prostornina prostora	60 m ³
Uporabna površina prostora	24 m ²
Površina ovoja stavbe	98 m ²
Površina obravnavane zunanje stene	10 m ²
Lokacija objekta	Ljubljana 15000E, 46000N
Orientacija	S-J
Zasteklitev	Južna fasada
Refleksija tal (parket)	0,34
Refleksija sten in stropa (bel oplesek)	0,84

Privzete so bile minimalne zahteve za stanovanjske stavbe ob izračunu s standardnim oblačnim nebom CIE:

$$KDS_{pov} = 3 \%$$

$$KDS_{min} = 1 \%$$

$$KDS_{pov}/KDS_{min} = 3/1$$

Kot izhodiščno sem privzel okno, katerega površina je 20 % površine zunanje stene z 10 m², kar znaša 2,0 m². To je okno dimenzij b/h = 1,6/1,25 m, od tal dvignjeno 0,80 m. Položaj zasteklitve je na sredini zunanje stene. Transmisija svetlobe stekla je 81 %, kar je npr. dvojna zasteklitev. Okenski okvir je bele barve. Težišče okna je 1,425 m nad tlemi. Težišča naslednjih oken se skušajo približati temu težišču. Vse naslednje študije za osnovo jemljejo takšno okno, npr. pri spreminjanju oblike in transmisije.

V nadaljevanju je podrobno predstavljenih samo nekaj primerov, drugi so priloženi v prilogi A.

2.1.2 Spreminjanje površine okna

Površino okna sem spreminjal.

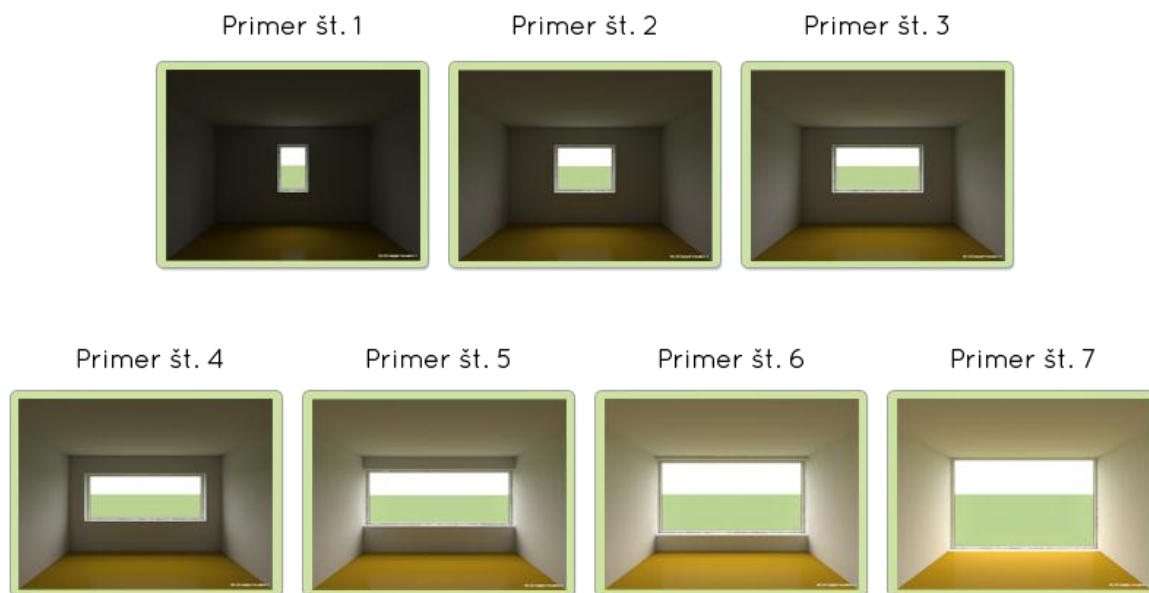
Simulirani primeri in njihove značilnosti so predstavljeni v preglednici 2 in na sliki 4.

Preglednica 2: Značilnosti simuliranih primerov

Št. primera	Dimenzije okna b/h* [m]	Delež zunanje stene [%]	Površina okna [m ²]	Višina parapeta [m]	Transmisija stekla [%]	Višina težišča okna [m]
1	0,8 / 1,25	10	1	0,80	81	1,425
2	1,6 / 1,25	20	2	0,80	81	1,425
3	2,4 / 1,25	30	3	0,80	81	1,425
4	3,2 / 1,25	40	4	0,80	81	1,425
5	4,0 / 1,5	60	6	0,675	81	1,425
6	4,0 / 2,0	80	8	0,425	81	1,425
7	4,0 / 2,5	100	10	0,0	81	1,250

* b – širina okna, h – višina okna

Slika 4 prikazuje različne primere, ki so oštevilčeni enako kot v zgornji tabeli.



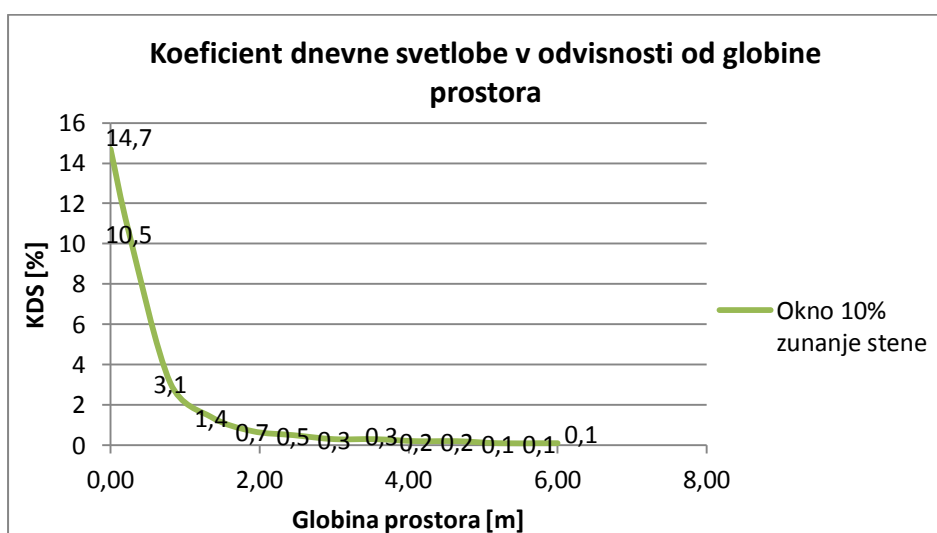
Slika 4: Primeri spreminjanja površine okna

2.1.2.1 Primer št. 1

Preglednica 3: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 1

Vreme	Oblačno				
	KDS pov	KDS max	KDS min	KDSpov/KDSmax	KDSpov/KDSmin
Rezultati [%]	0,6	14,7	0,1	0,04	6,00
Opt. vrednosti [%]	3		1		3
Ustreznost	NE		NE		NE

Kot je razvidno iz preglednice 3, okno s površino 1 m² ne izpolnjuje minimalnih zahtev glede osvetljenosti v prostoru. Prostor ne izpolnjuje postavljenih minimalnih kriterijev glede osvetljenosti.



Slika 5: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 1

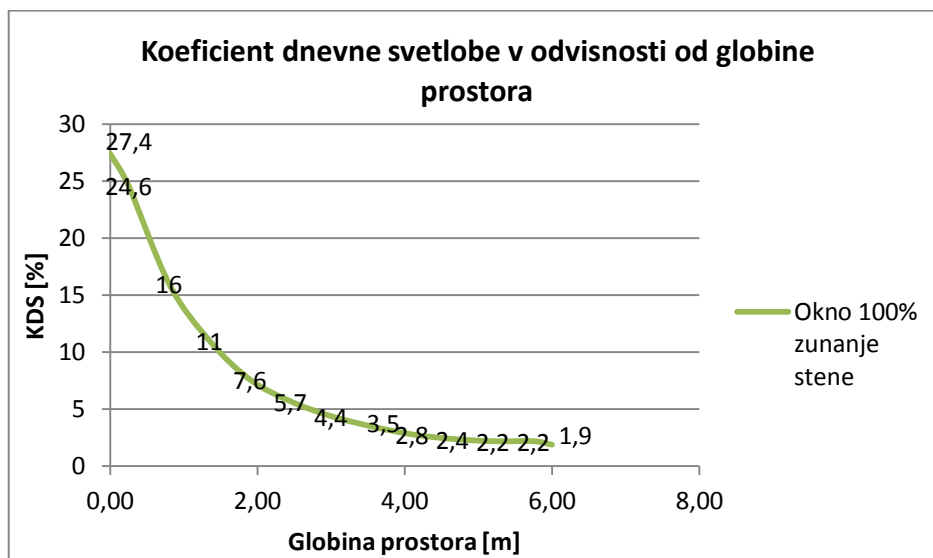
Tudi distribucija dnevne svetlobe je slaba, saj KDS že po dveh metrih pade na vrednost 0,7 %. Sicer je trend razporeditve svetlobe po prostoru podoben kot pri študiji osvetljenosti v Hongkongu [2].

2.1.2.2 Primer št. 7

Preglednica 4: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 7

Vreme	Oblačno				
	KDS pov	KDS max	KDS min	KDSpov/KDSmax	KDSpov/KDSmin
Rezultati [%]	6,8	27,4	1,9	0,25	3,58
Opt. vrednosti [%]	3		1		3
Ustreznost	DA		DA		NE

Pri oknu s površino 10 m² imamo glede osvetljenosti v prostoru odlične rezultate. Zadostimo tako pogoju povprečnega koeficienta dnevne svetlobe kot tudi minimalni vrednosti KDS. Problem pa ostaja pri kontrastih, kar je tipično za globoke prostore z okensko odprtino na samo eni steni. Ob oknu je osvetljenost zelo visoka, ob zadnji steni pa zelo nizka. Tako se v prostoru pojavijo veliki kontrasti, ki pa jih lahko zmanjšamo z različnimi senčili.



Slika 6: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 7

Distribucija svetlobe je v tem primeru veliko boljša kot pri preostalih, vendar, kot sem že omenil, so tu problem kontrasti.

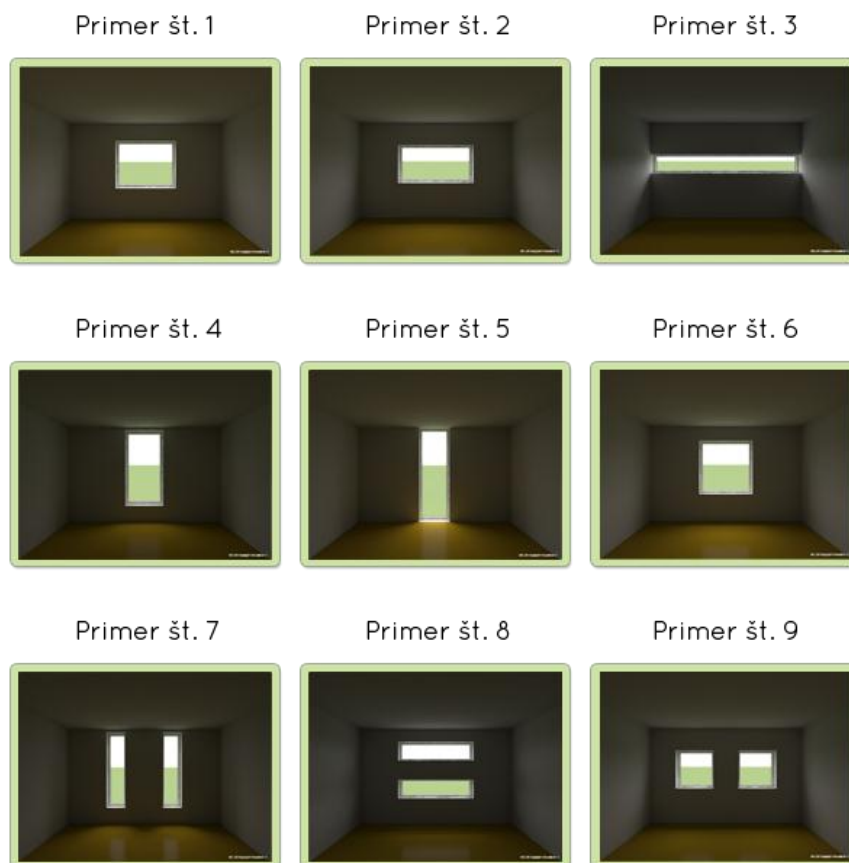
2.1.3 Spreminjanje oblike okna

Okno ima v vseh primerih enako površino. Tako lahko spremljam, kako na osvetljenost in distribucijo dnevne svetlobe v takšnem prostoru vpliva oblika okna. Spreminjal sem obliko okna in spremljal rezultate. Lastnosti obravnavanih primerov so prikazane v preglednici 5 ter na sliki 7.

Preglednica 5: Lastnosti obravnavanih primerov

Št. primera	Dimenzije okna b/h* [m]	Oblika okna	Površina okna [m ²]	Višina parapeta [m]	Transmisija stekla [%]	Višina težišča okna [m]
1	1,6 / 1,25	Ležeče	2	0,80	81	1,425
2	2,0 / 1,0	Ležeče	2	0,925	81	1,425
3	4,0 / 0,5	Ležeče	2	1,175	81	1,425
4	1,0 / 2,0	Pokončno	2	0,425	81	1,425
5	0,8 / 2,5	Pokončno	2	0,0	81	1,25
6	1,41 / 1,41	Kvadrat	2	0,718	81	1,425
7	2x 0,5 / 2,0	2 x Pokončno	2	0,425	81	1,425
8	2x 2,0 / 0,5	2 x ležeče	2	0,675	81	1,425
9	2x 1,0 / 1,0	2 x kvadrat	2	0,925	81	1,425

* b – širina okna, h – višina okna



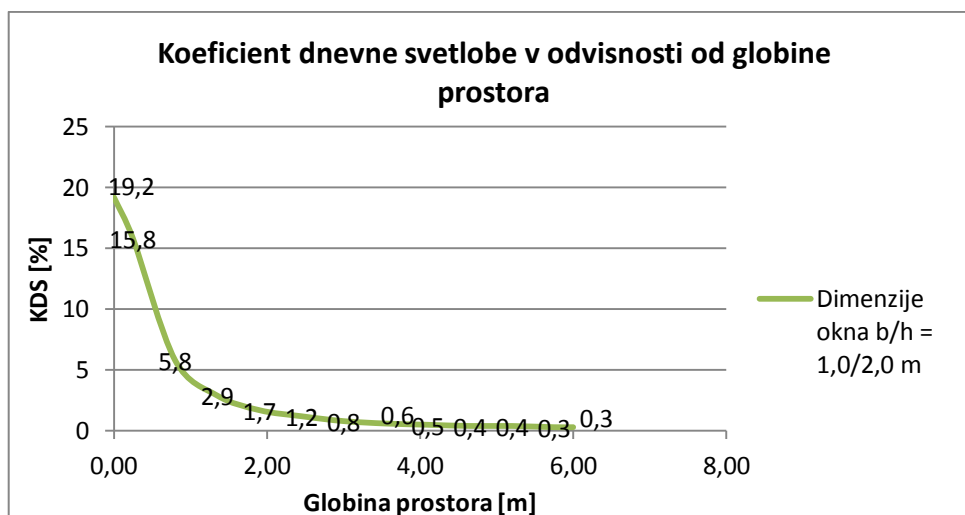
Slika 7: Primeri o spreminjanju oblike okna

2.1.3.1 Primer št. 6

Preglednica 6: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 6

Vreme	Oblačno				
	KDS pov	KDS max	KDS min	KDSpov/KDSmax	KDSpov/KDSmin
Rezultati [%]	1,4	19,2	0,3	0,07	4,67
Opt. vrednosti [%]	3		1		3
Ustreznost	NE		NE		NE

Kvadratno okno je izmed vseh oblik med najboljšimi, saj je osvetljenost pri isti površini veliko boljša. Prav tako kot pri vseh prejšnjih in tudi pri vseh prihodnjih primerih pa je problematična distribucija dnevne svetlobe po prostoru.



Slika 8: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 6

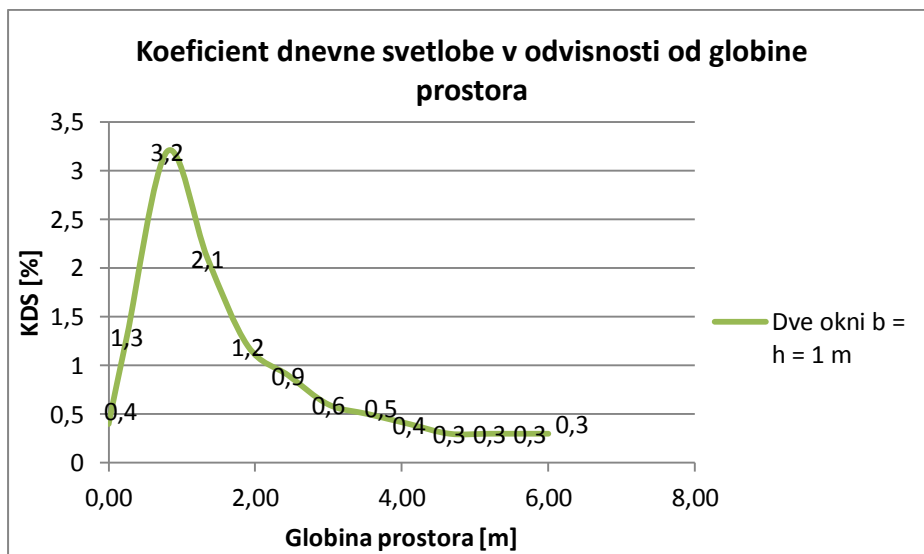
Površina okna je vseeno premajhna, da bi izpolnili postavljene zahteve glede osvetljenosti v celotnem prostoru.

2.1.3.2 Primer št. 9

Preglednica 7: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 9

Vreme	Oblačno				
	KDS pov	KDS max	KDS min	KDSpov/KDSmax	KDSpov/KDSmin
Rezultati [%]	1,2	10,6	0,3	0,11	4,00
Opt. vrednosti [%]	3		1		3
Ustreznost	NE		NE		NE

Takšna oblika dveh kvadratnih oken ne izpolnjuje postavljenih minimalnih zahtev glede osvetljenosti v prostoru.



Slika 9: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 9

Oblika grafa (Slika 9) je zelo podobna obliki, ki jo vsebuje literatura [1] za višje ležeča okna oz. nadsvetlobe (prav tako kot ti dve okni).

2.1.4 Spreminjanje sestave (zasteklitve) okna

Okno ima v vseh primerih enako površino in enako obliko. Tako lahko spremljam, kako na osvetljenost in distribucijo dnevne svetlobe v takšnem prostoru vpliva sestava oz. zasteklitve okna. Spreminjal sem število stekel in v enem primeru dodal nizko emisijski premaz ter spremljal rezultate. Vir podatkov za lastnosti zasteklitvev: <http://www.agc-glass.eu>.

Preglednica 8: Lastnosti obravnavanih primerov

Št. primera	Dimenzije okna b/h* [m]	Vrsta zasteklitve	Površina okna [m ²]	Višina parapeta [m]	Transmisija stekla [%]	Višina težišča okna [m]
1	1,6 / 1,25	Enojna	2	0,80	90	1,425
2	1,6 / 1,25	Dvojna	2	0,80	81	1,425
3	1,6 / 1,25	Trojna	2	0,80	74	1,425
4	1,6 / 1,25	Trojna (low-e)	2	0,80	68	1,425

* b – širina okna, h – višina okna

Polnilo pri vseh oknih je zrak.

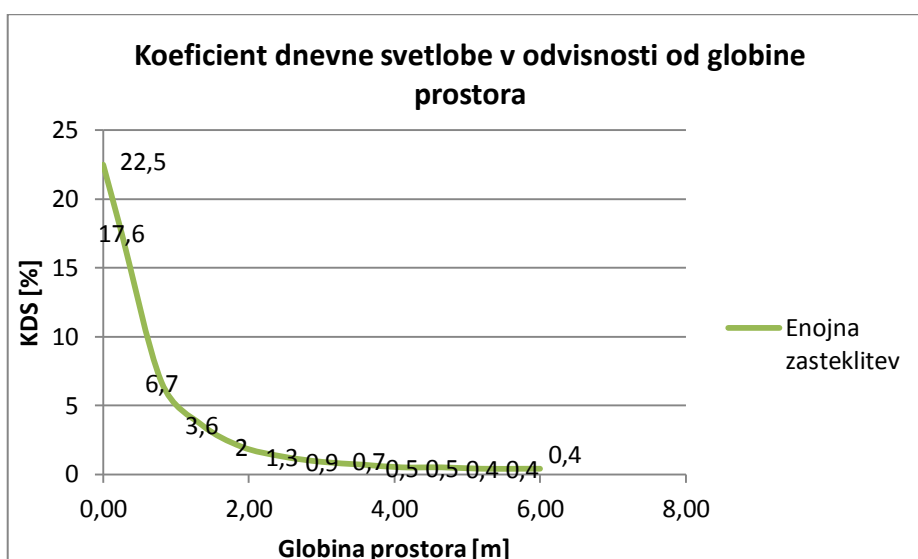


Slika 10: Primeri o spreminjanju zasteklitve na oknih

2.1.4.1 Primer št. 1

Preglednica 9: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 1

Vreme	Oblačno				
	KDS pov	KDS max	KDS min	KDSpov/KDSmax	KDSpov/KDSmin
Rezultati [%]	1,7	22,5	0,4	0,08	4,25
Opt. vrednosti [%]	3		1		3
Ustreznost	NE		NE		NE



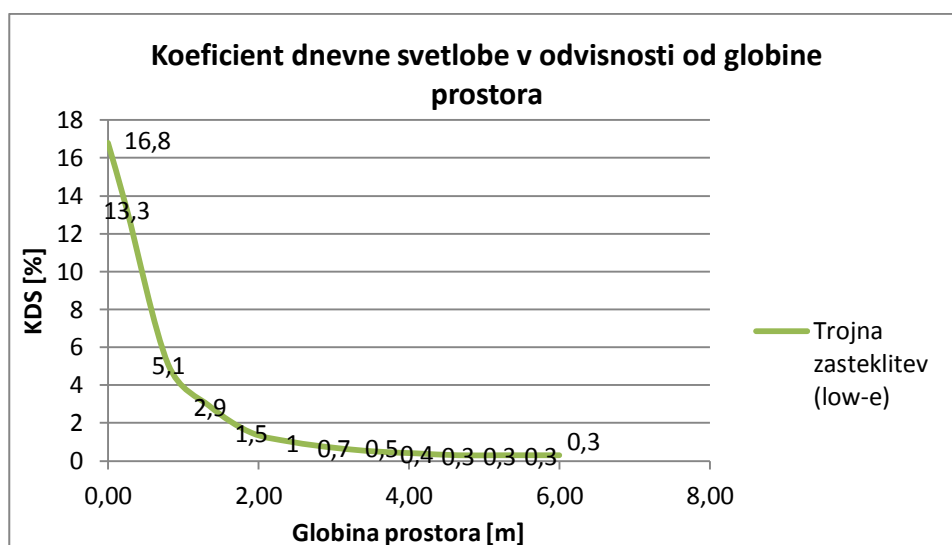
Slika 11: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 1

Osvetljenost pri enojni zasteklitvi je v primerjavi z okni z več stekli boljša.

2.1.4.2 Primer št. 4

Preglednica 10: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 4

Vreme	Oblačno				
	KDS	KDS	KDS	KDSpov/KDSmax	KDSpov/KDSmin
KDS[%]	pov	max	min		
Rezultati [%]	1,3	16,8	0,3	0,08	4,33
Opt. vrednosti [%]	3		1		3
Ustreznost	NE		NE		NE



Slika 12: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 4

Takoj, ko dodamo več stekel, se osvetljenost v prostoru zmanjša.

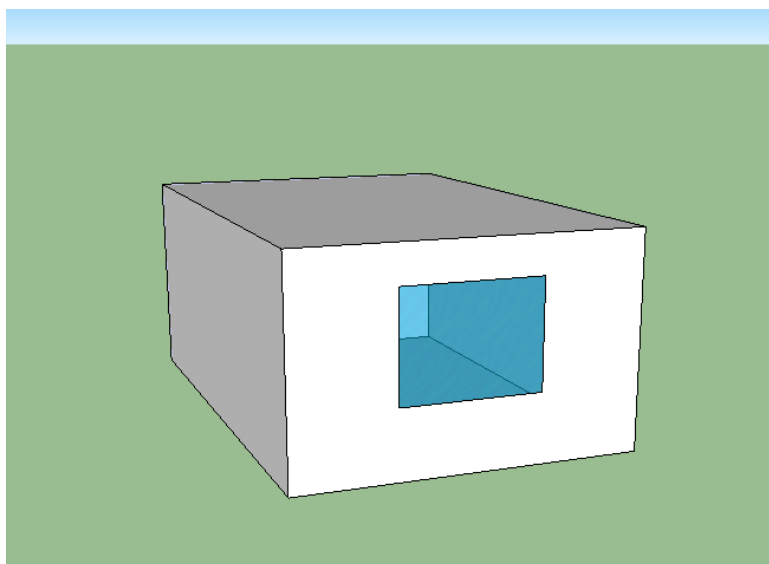
2.2 Poraba energije obravnavanega prostora

2.2.1 Vhodni podatki

Geometrija modela je prikazana v preglednici 11 in na sliki 13.

Preglednica 11: Lastnosti obravnavanega prostora

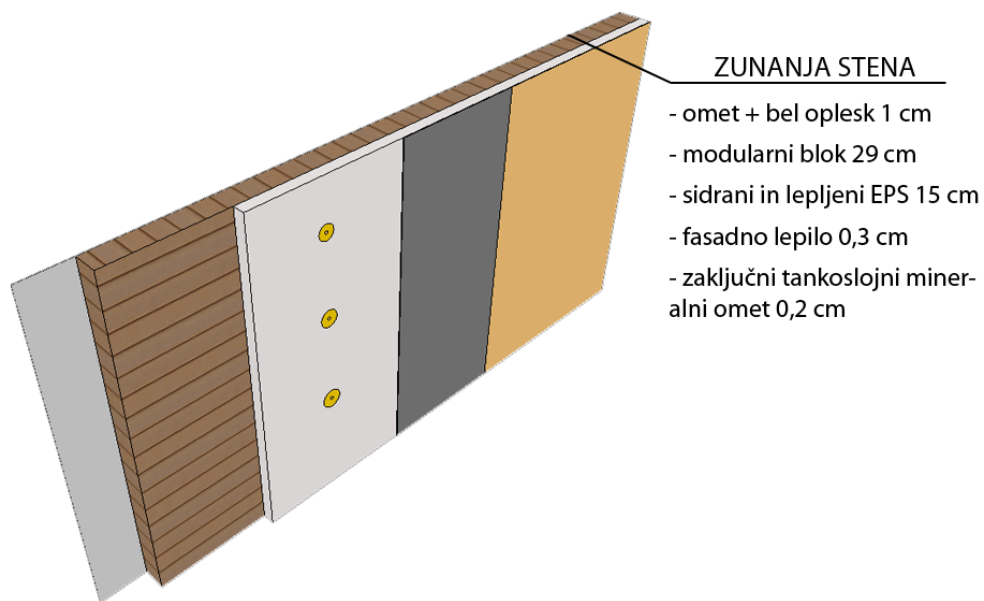
Mere prostora	6 m x 4 m x 2,5 m
Prostornina prostora	60 m ³
Uporabna površina prostora	24 m ²
Površina ovoja stavbe	98 m ²
Lokacija objekta	Ljubljana 15000E, 46000N



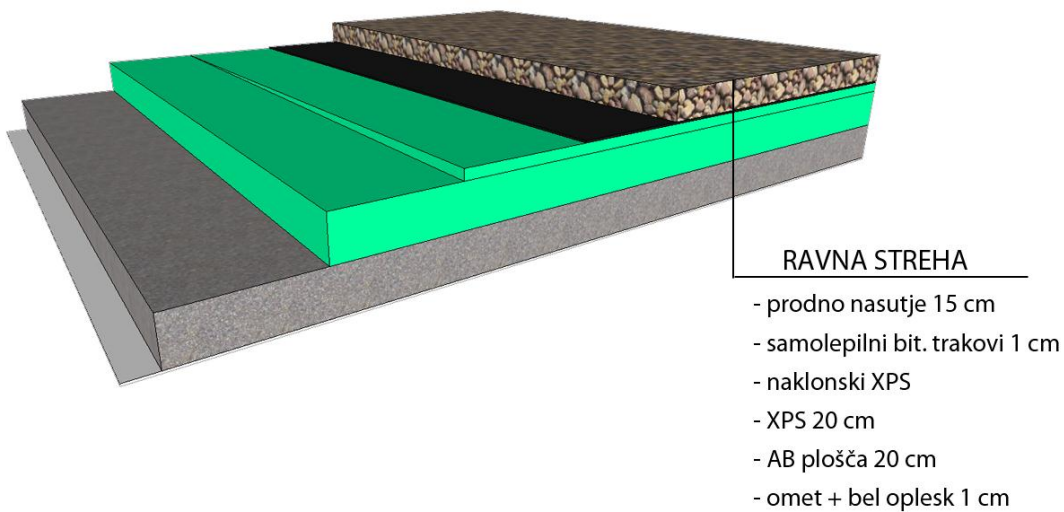
Slika 13: Geometrija uporabljenega modela (Primer št. 3)

Za analizo porabe energije sem uporabil programsko orodje TOST.

Konstrukcijski sklopi so prikazani na slikah 14, 15 in 16.



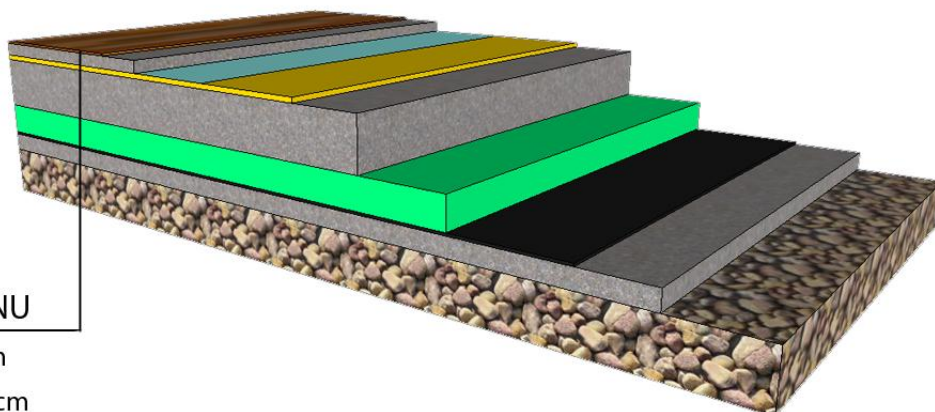
Slika 14: Sestava zunanje stene



Slika 15: Sestava strehe

TLA NA TERENU

- lepljen parket 1 cm
- cementni estrih 5 cm
- PE folija
- elastificiran polistiren 2 cm
- AB plošča 20 cm
- XPS 12 cm
- varjeni bitum. trakovi 1 cm
- podložni beton 7 cm
- prodno nasutje 20 cm



Slika 16: Sestava tal

Predpostavim, da so vse povezave med konstrukcijskimi sklopi izvedene brezhibno, tako da se tam ne pojavijo toplotni mostovi.

Toplotna prehodnost konstrukcijskih sklopov je prikazana v preglednici 12.

Preglednica 12: Toplotna prehodnost konstrukcijskih sklopov obravnavanega prostora

	Toplotna prehodnost konstrukcijskih sklopov U [W/m^2K]
Zunanja stena	0,231
Ravna streha	0,190
Tla na terenu	0,234

Preglednica 13: Osnovni podatki analize prostora

Prostornina cone	60 m^3
Uporabna površina cone	24 m^2
Površina toplotnega ovoja stavbe	98 m^2
Oblikovni koeficient	$1,63 \text{ m}^{-1}$
Projektna notranja temperatura pozimi	20°C
Projektna notranja temperatura poleti	26°C
Povprečna moč dobitkov notranjih virov	0 W
Izračunana efektivna toplotna kapaciteta cone	$3,96 \text{ MJ/K}$
Vrsta prezračevanja	Naravno
Urna izmenjava zraka z zunanjim okoljem	$0,5 \text{ h}^{-1}$
Minimalna izmenjava zraka	$0,5 \text{ h}^{-1}$

Za izhodišče vzamem okno z dimenzijami $b/h = 1,6/1,25$ m ($A = 2$ m²) in lastnostmi $g = 0,70$, $fo = 0,2$, $U_w = 1,72$ W/m²K. To je trojna zasteklitev, polnilo je zrak. Takšne ali boljše lastnosti zasteklitev je mogoče doseči z dvojno zasteklitvijo z nizko emisijskim premazom ter s polnilom iz žlahtnega plina. Spremljal sem predvsem relativne spremembe glede na spreminjanje lastnosti zasteklitev.

Rezultate sem opazoval pri treh različnih orientacijah prostora: sever, jug in vzhod/zahod.

V nadaljevanju je podrobno predstavljenih samo nekaj primerov, preostali so priloženi v prilogi B.

2.2.2 Spreminjanje površine okna

Najprej sem spreminjal površino okna. Površine okna, s katerimi sem računal: 0 m², 1 m², 2 m², 3 m², 4 m², 6 m², 8 m², 10 m². Lastnosti obravnavanih primerov so podrobneje prikazane v tabeli.

Preglednica 14: Značilnosti simuliranih primerov

Št. primera	Delež zunanje Stene [%]	Površina okna [m ²]	Vrsta zasteklitve	U-faktor [W/m ² K]	g-faktor
1	0	0	/	/	/
2	10	1	Trojna	1,72	0,70
3	20	2	Trojna	1,72	0,70
4	30	3	Trojna	1,72	0,70
5	40	4	Trojna	1,72	0,70
6	60	6	Trojna	1,72	0,70
7	80	8	Trojna	1,72	0,70
8	100	10	Trojna	1,72	0,70

2.2.2.1 Primeri št. 1, 2 in 8

Preglednica 15: Rezultati analize porabe energije primerov št. 1, 2 in 8

Površina [m ²]	Južna orientacija			
	Ht'	dovoljen Ht'	Qnh/Au [kWh/m ²]	dovoljen Qnh/Au [kWh/m ²]
0	0,35	0,35	148,11	101,2
1	0,37	0,35	139,48	101,2
10	0,5	0,38	106,17	101,2

Z večanjem površine logično narašča tudi koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub. Letna potrebna toplota za ogrevanje pa se zaradi solarnih dobitkov znižuje.

2.2.3 Spreminjanje sestave (zasteklitve) okna

Spreminjal sem sestavo, pri kateri sta se od enojne do trojne zasteklitve za gradnjo nizko energijskih hiš (nizko emisijski premaz) spreminjala U-faktor in g-faktor.

Vrste zasteklitev:

Preglednica 16: Značilnosti simuliranih primerov

Št. primera	Površina okna [m ²]	Vrsta zasteklitve	g-faktor	U-faktor [W/m ² K]
1	2	Enojna	0,87	4,92
2	2	Dvojna	0,77	2,44
3	2	Trojna	0,70	1,72
4	2	Trojna (low-e)	0,46	1,00

Polnilo pri vseh oknih je zrak. (low-e predstavlja nizko emisijski premaz)

2.2.3.1 Primera št. 1 in 4

Preglednica 17: Rezultati analize porabe energije primerov št. 1 in 4

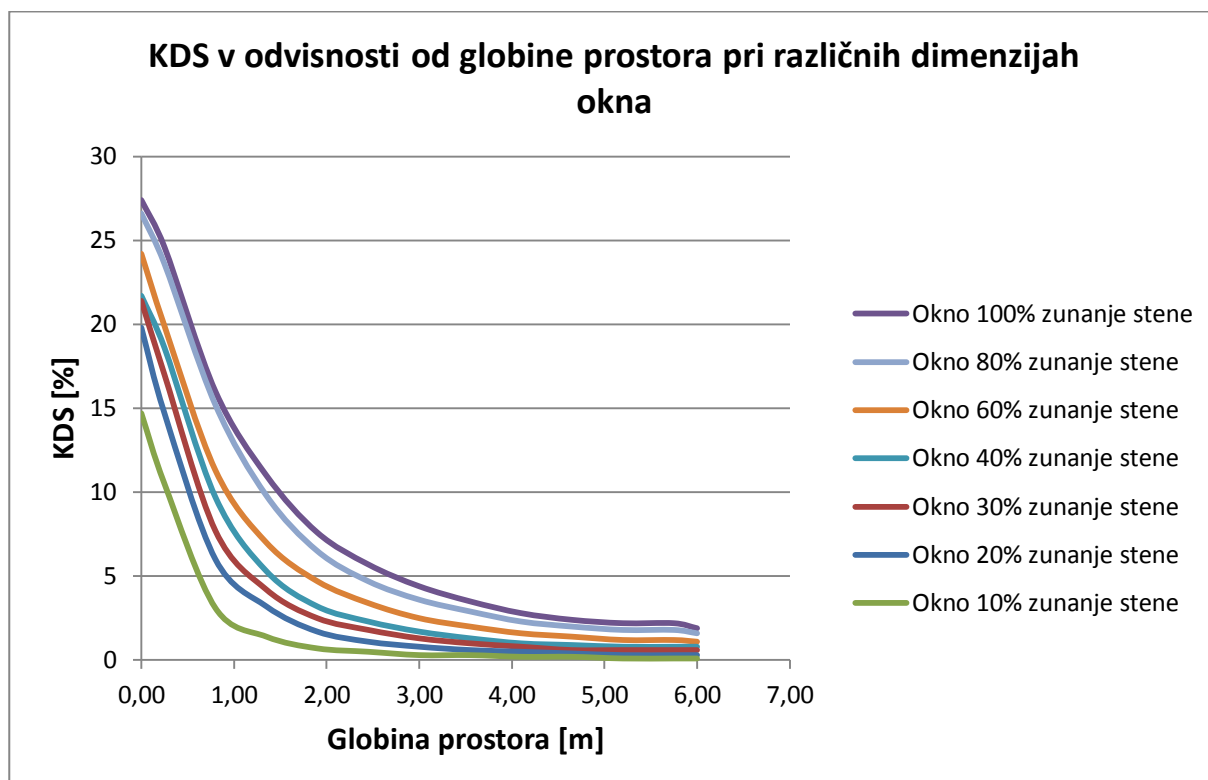
Primer	Južna orientacija			
	Ht'	Dovoljen Ht'	Qnh/Au [kWh/m ²]	dovoljen Qnh/Au [kWh/m ²]
Brez okna	0,35	0,35	148,11	101,2
Primer 1	0,45	0,36	150,91	101,2
Primer 4	0,37	0,36	135,56	101,2

Seveda je enojna zasteklitev v primerjavi s stanjem, ko okna ni, slabša, saj imamo pri njej večje izgube. Trojna zasteklitev pa situacijo izboljša.

3 PRIMERJAVA REZULTATOV

3.1 Osvetljenost

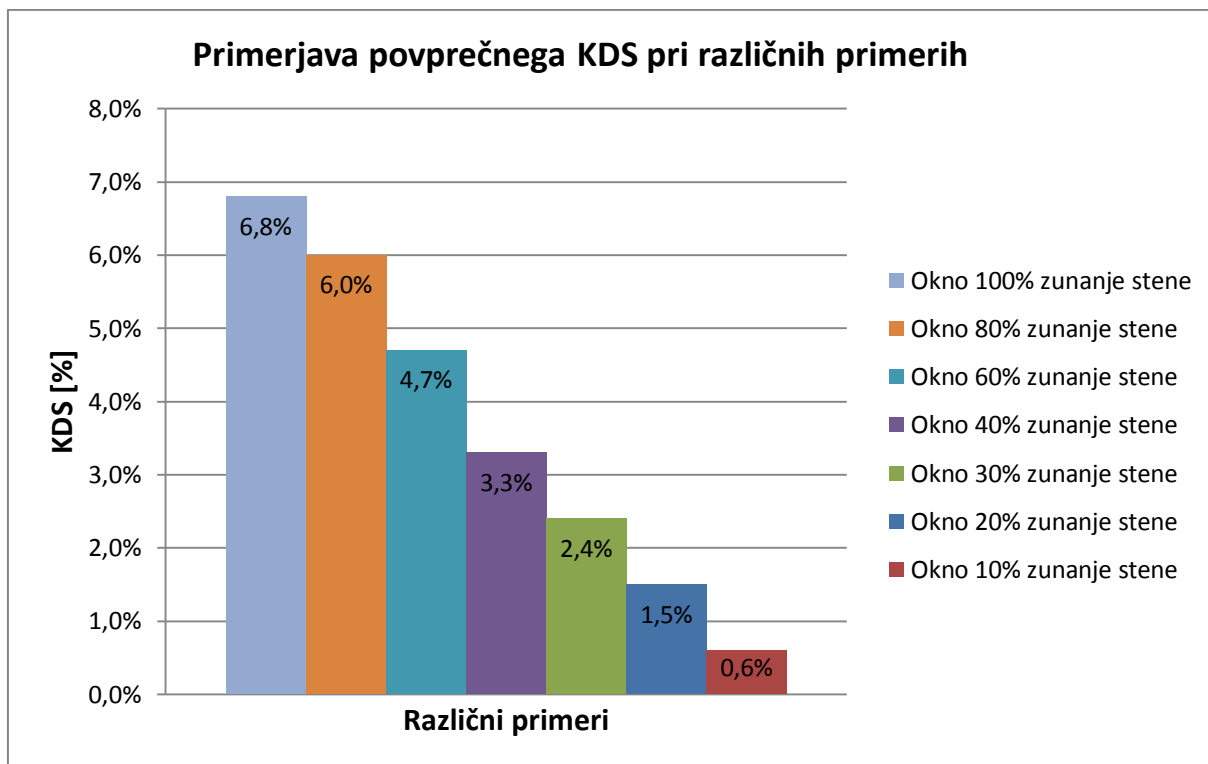
3.1.1 Spreminjanje površine okna



Slika 17: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora pri spreminjanju okenske površine

Kot je bilo pričakovati, se distribucija dnevne svetlobe po prostoru z večanjem okenske površine izboljšuje. Razlike so največje tik ob oknu, nato pa se manjšajo. Osvetljenost ob zadnji steni je v vseh primerih že zelo podobna, razlike pa so manjše. Npr. ob oknu imamo v najboljšem primeru (okno 100 % zunanje stene) 86,4 % boljšo osvetlitev kot v najslabšem primeru (okno 10 % zunanje stene). Ob zadnji steni je osvetljenost v najboljšem primeru 19-krat večja kot v najslabšem.

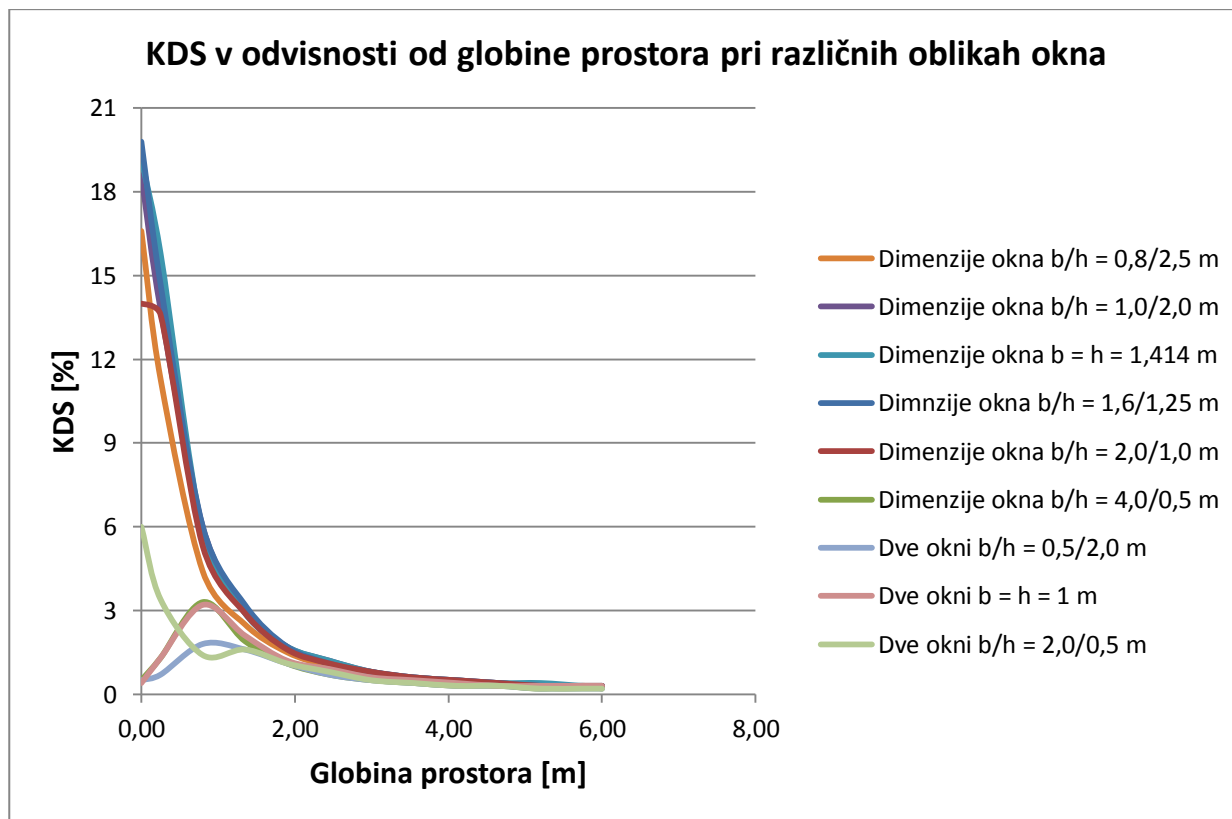
Verjetno je smiselno omeniti problem z velikimi kontrasti v prostoru, ki se pojavljajo zaradi večje globine prostora. Res je, da je problem za tako oblikovan prostor zelo specifičen, rešiti pa ga je mogoče kar s senčili.



Slika 18: Primerjava povprečnega KDS pri spreminjanju okenske površine

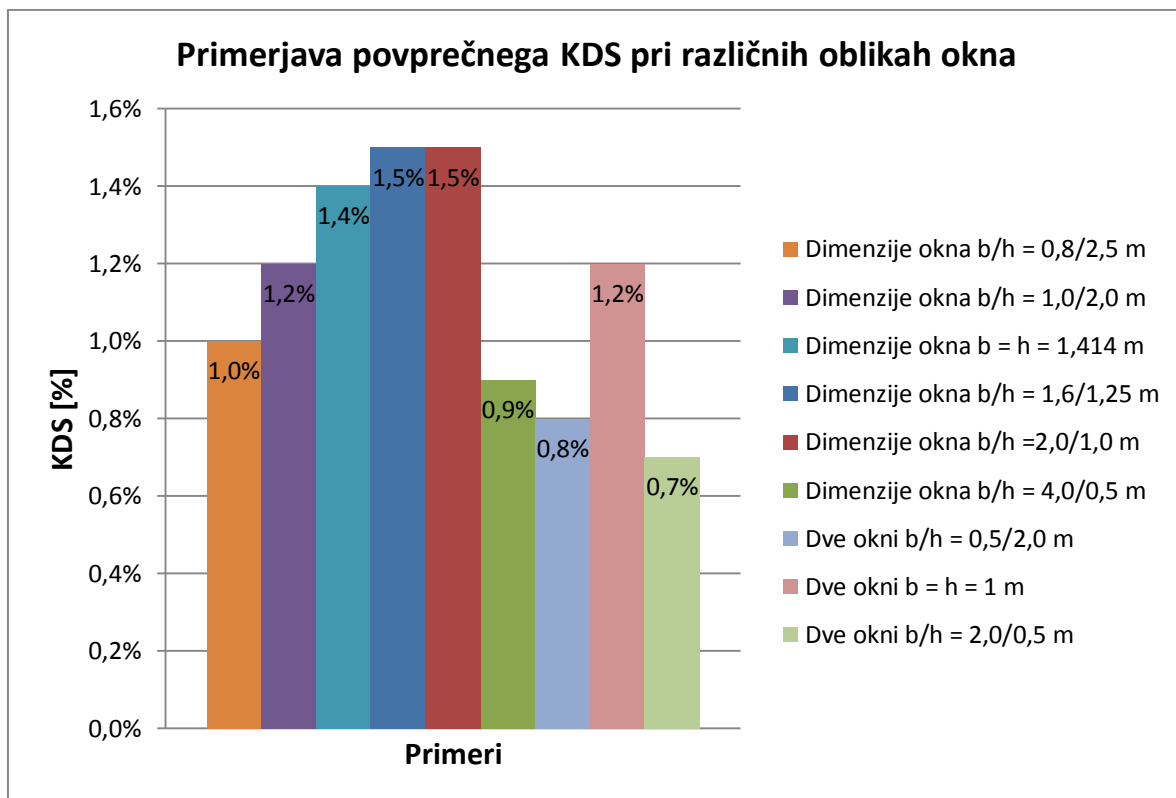
Povezava med povprečnimi KDS-ji različnih primerov je skoraj linearna. Večajo se z večanjem okenske površine. Minimalnim zahtevam zadostimo z oknom s 60 % površino zunanje stene.

3.1.2 Spreminjanje oblike okna



Slika 19: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora pri spreminjanju oblike okna

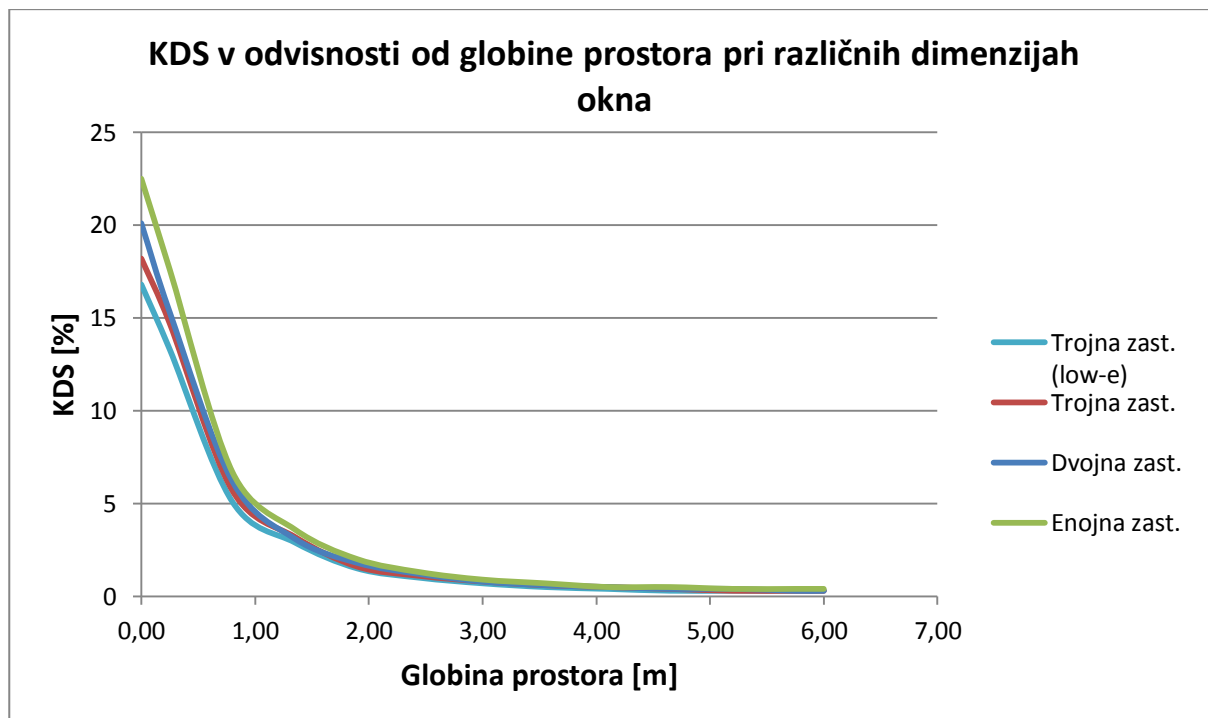
Znano je, da osvetljenost z oddaljenostjo od okenske odprtine hitro in nelinearno pada. Zanimalo me je, ali je pri različno oblikovanih oknih in z enako površino osvetljenost drugačna. Distribucija dnevne svetlobe se zdi najboljše, ko sta obe dimenziji okna enaki (kvadrat) in pri dimenzijah $b/h = 1,6/1,25$ m. Preostali primeri so nekoliko slabši, nekateri tudi zelo slabši npr. $b/h = 4,0/0,5$ m (dolgo, ozko okno). Ugotovil sem, da so ustreznejše oblike, kjer imata stranici bolj enake dimenzije (npr. kvadrat oz. "skoraj kvadrat", širši kot višji). Slabše pa so podolgovate oblike, kjer je ena stranica veliko daljša od drugih dveh. V primeru dveh oken je osvetljenost po sredini prostora slabša, prav tako v osi okna. Je pa tak primer ugodnejši glede bleščanja in prevelikih kontrastov. Seveda vse to velja za izbrano geometrijo prostora in višino delovne površine na 0,85 m. Npr. ob oknu imamo v najboljšem primeru (okno dimenzij 1,6/1,25 m) 130 % boljše osvetlitev kot v najslabšem (dvakrat okno dimenzij 2,0/0,5 m). Ob zadnji steni je osvetljenost v najboljšem primeru za 50 % večja kot v najslabšem.



Slika 20: Primerjava povprečnega KDS pri spreminjanju oblike okna

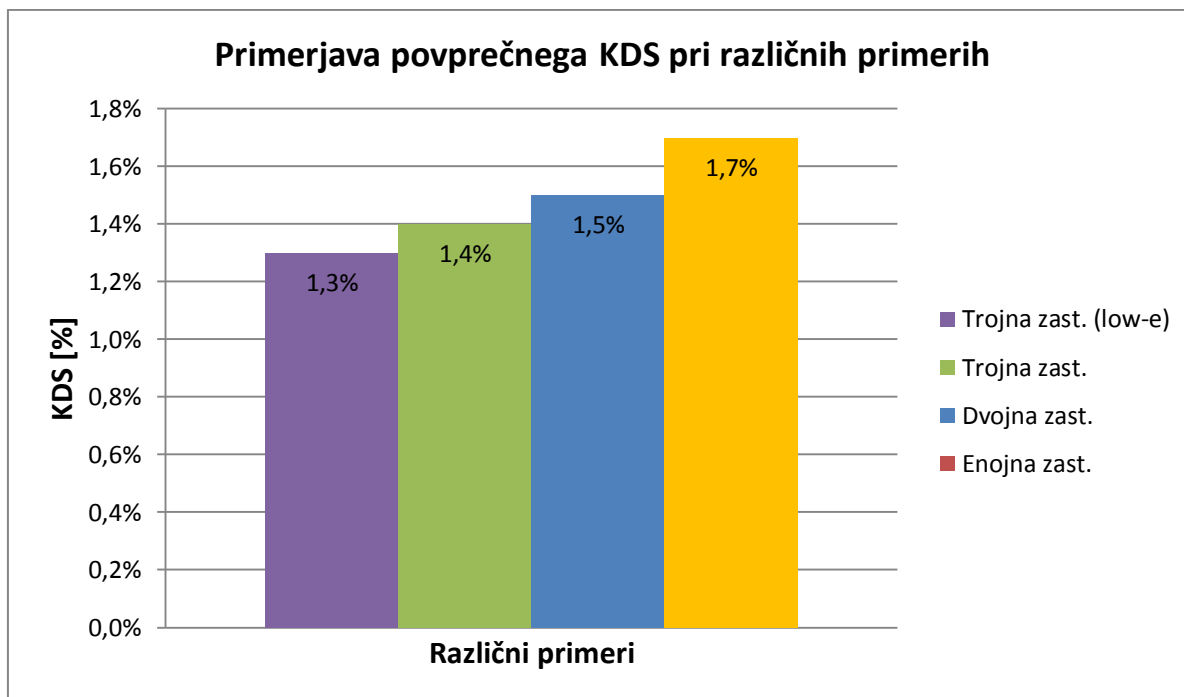
Najvišji povprečni KDS-ji imajo oblike, ki so bolj podobne kvadratu, in oblike, ki so kvadrat. Dimenziji $b/h = 1,6/1,25$ m in $b/h = 2,0/1,0$ m imata obe večjo vodoravno komponento, se pravi je okno širše kot višje, vendar razlika med širino in višino vseeno ni zelo velika. Najslabše rezultate podajata primera z dvema oknom in primera, ko je ena stranica občutno večja. V primeru dveh oken kvadratnih oblik pa vseeno dobimo dober rezultat, kar kaže na to, da so kvadratne oblike oken ugodne za izbrano geometrijo prostora.

3.1.3 Spreminjanje sestave (zasteklitve) okna



Slika 21: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora pri spreminjanju sestave okna

Z manjšanjem transmisije okna se slabša osvetljenost v prostoru. Razlika v osvetljenosti z globino prostora pada in približno od treh metrov naprej ni več občutna. Se pa zelo pozna tik ob odprtini. Tudi za 5 % KDS.

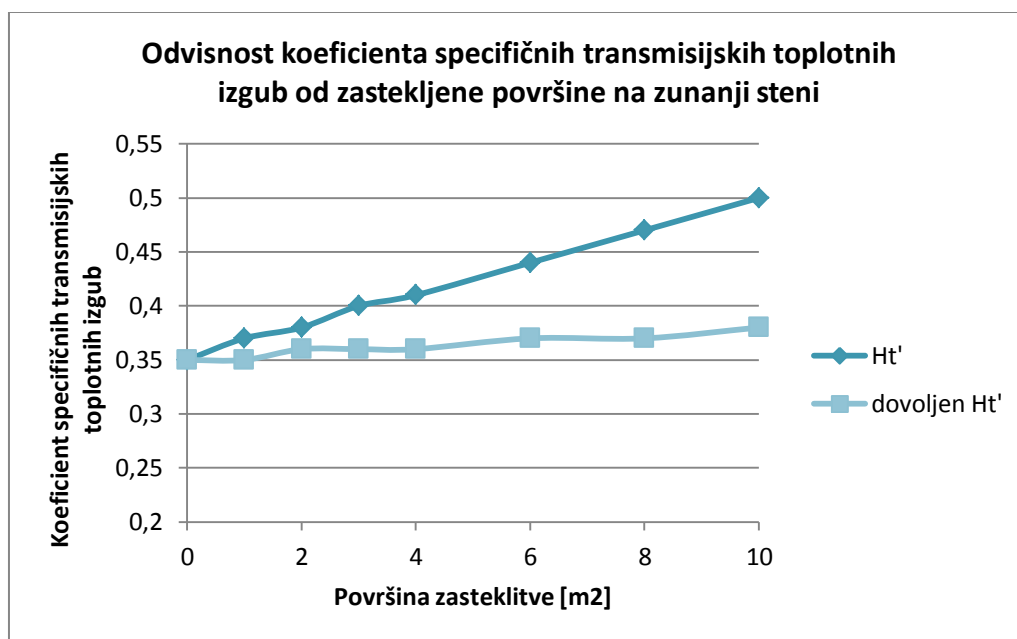


Slika 22: Primerjava povprečnega KDS pri spreminjanju sestave okna

Najboljši rezultat vsekakor da enojna zasteklitev, nato pa se osvetljenost linearno manjša z nižanjem transmisije.

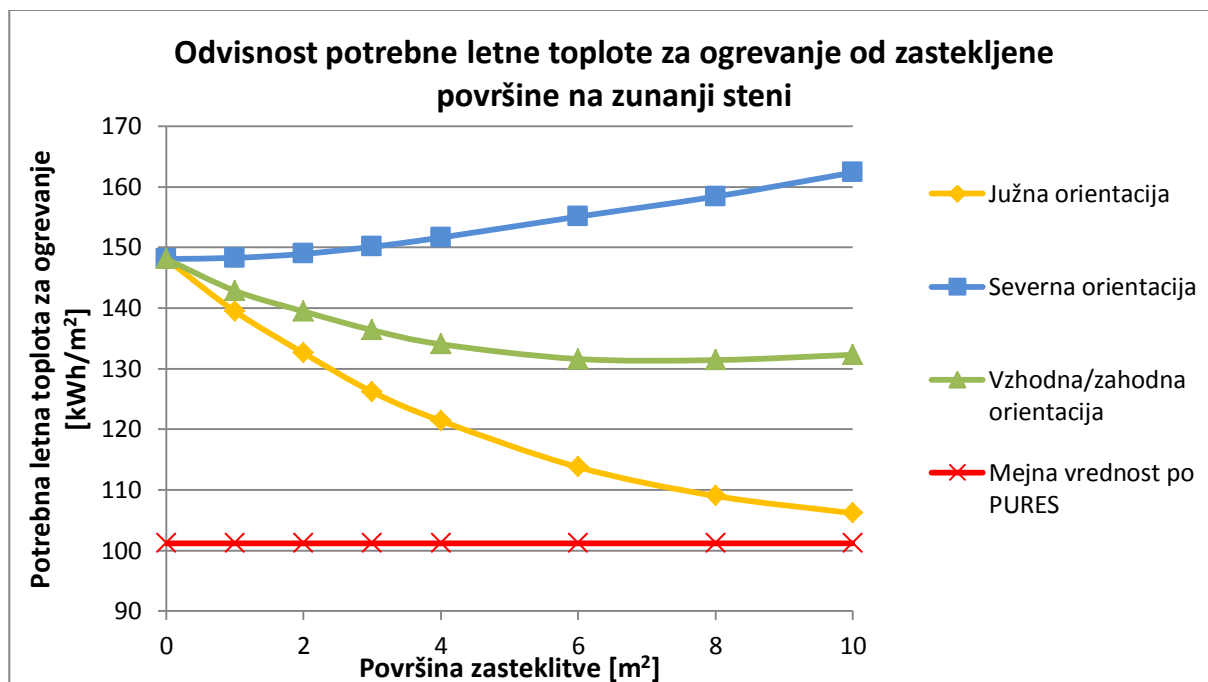
3.2 Poraba energije

3.2.1 Spreminjanje površine okna



Slika 23: Odvisnost koeficienta specifičnih transmisijskih toplotnih izgub od površine okna

Koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub približno linearno narašča, kar je logično, saj postopoma večamo površino okna, ki ima slabše toplotne lastnosti kot zunanja stena – okno ima višji U-faktor.



Slika 24: Odvisnost potrebne letne toplote za ogrevanje od površine okna

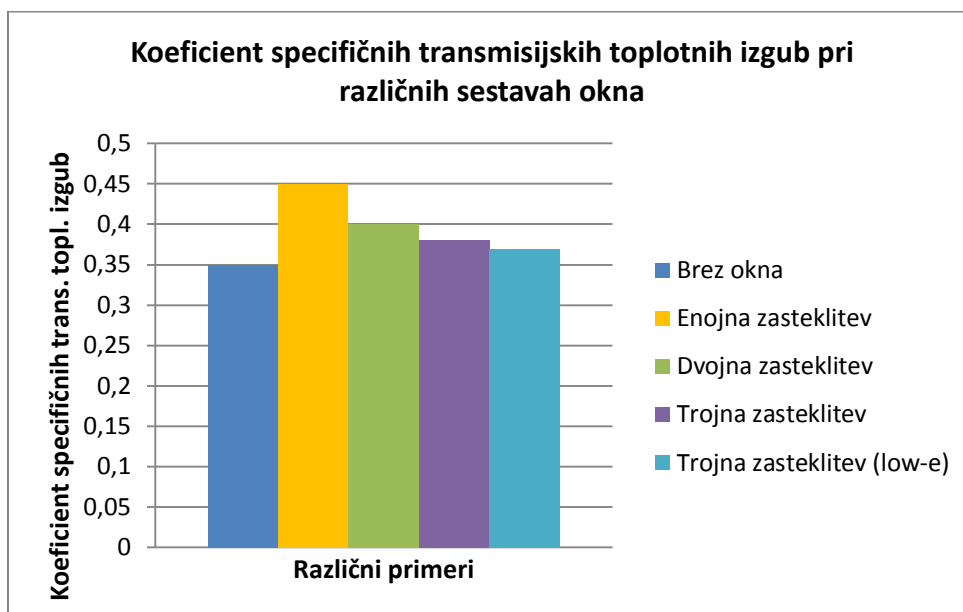
Ko povečujemo zastekljeno površino na južni fasadi obravnavanega prostora, potrebna letna toplota za ogrevanje pada nelinearno in vedno počasneje. Na začetku je padec potrebne toplote hiter, nato pa je učinek večanja okenske odprtine in s tem solarnih dobitkov vedno manjši ter se na videz asimptotično približuje največji dovoljeni letni toploti za ogrevanje po PURES-u, izračunani za ta primer. Rezultat nam pove, da je večanje zastekljenih površin na južni fasadi z vidika porabe energije zelo ugodno, saj občutno zmanjšamo potrebno letno toploto za ogrevanje že pri manjših vrednostih. Najbolj vpliva na to večanje solarnih dobitkov, ki nam jih zagotavlja sončno sevanje, ki prehaja skozi zasteklitev. Res je, da z večanjem zastekljene površine večamo tudi transmisijske izgube, vendar so v primerjavi s solarnimi dobitki manjše.

Enak ukrep ima na severni fasadi povsem obraten učinek. Z večanjem zastekljene površine se nam veča tudi potrebna letna toplota za ogrevanje. Na severni fasadi solarnih dobitkov ni oz. so le-ti zelo majhni (ni neposrednega sončnega sevanja, ampak samo difuzna svetloba). To je vzrok, da z večanjem površine ne pridobivamo energije, temveč samo večamo površino okna, ki ima slabše toplotne lastnosti kot zunanja stena. S tem povečamo transmisijske izgube in tako se posledično poveča potrebna letna toplota za ogrevanje.

Zanimiva pa je povezava med zastekljeno površino in potrebno letno toploto za ogrevanje na vzhodni oz. zahodni fasadi. Medtem ko z večanjem površine okenske odprtine potrebno letno toploto za ogrevanje najprej manjšamo, se toplota, ki je potrebna pri površini 10 m², glede na odprtino 8 m², spet poveča. Očitno se solarni dobitki približno do te površine večajo še hitreje kot transmisijske izgube, od tu naprej pa več ne.

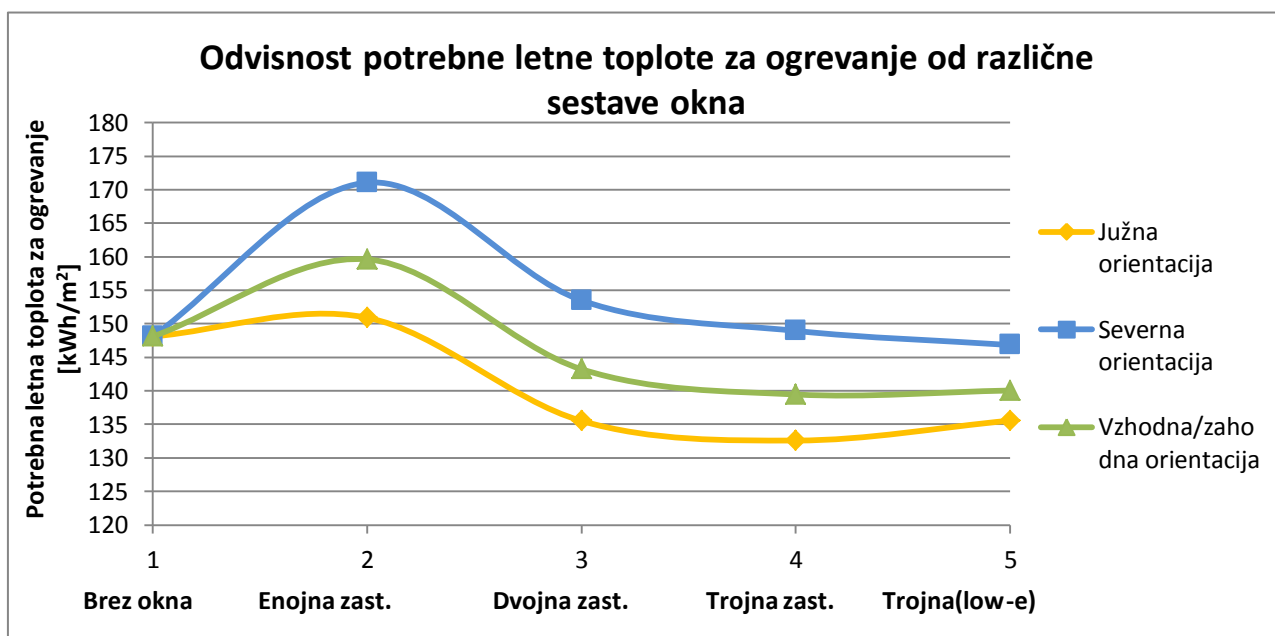
Rezultati se zelo lepo ujemajo z rezultati študije o porabi energije glede na površino okna v stavbah v Milanu [3].

3.2.2 Spreminjanje sestave (zasteklitve) okna



Slika 25: Koeficient specifičnih transmissijskih toplotnih izgub pri različnih sestavah okna

Rezultati so logični. Ko v zunanjo steno vstavimo okno, se koeficient transmissijskih toplotnih izgub poveča, saj ima okno slabše toplotne lastnosti kot zunanja stena. Z dodajanjem stekel (in polnil med stekli) se nižja toplotna prehodnost (U-faktor) okna, s tem pa se nižja koeficient specifičnih transmissijskih toplotnih izgub. Zvezna krivulja na diagramu je trend (slika 26).



Slika 26: Odvisnost potrebne letne toplote za ogrevanje od različne sestave okna

Če na južno fasado dodamo okno z enojno zasteklitvijo, je zanimivo to, da stanje ni skoraj nič slabše kot takrat, ko okna sploh ni. Tako je zaradi velikih solarnih dobitkov, ki jih imamo pri takšni zasteklitvi. S tem ko večamo število stekel, nižamo faktor toplotne prehodnosti (U) in tudi faktor

prepustnosti sončnega sevanja (g). To nas pripelje do rezultata, da je večanje števila stekel do neke mere ugodno, nato pa ne več. Okno s trojno zasteklitvijo za nizko energijsko gradnjo (Trojna zasteklitev (low-e)) zmanjša solarne dobitke toliko, da je pri namestitvi takšnega okna potrebna toplota celo večja kot pri navadni trojni zasteklitvi. Do takšnega pojava pride tudi pri oknih na vzhodni in zahodni fasadi, vendar je tam manj opazen. Pri izbiri oken moramo biti pozorni, saj so običajno okna s trojno zasteklitvijo za nizko energijsko gradnjo dražja od navadnih oken s trojno zasteklitvijo. Ta problem od načrtovalca zahteva celostno analizo ter premišljene ukrepe, saj se kar hitro lahko odločimo za ukrepe, ki so videti pozitivni (okna z nižjim U-faktorjem), vendar dosežemo negativne učinke (večjo porabo energije, slabšo osvetljenost).

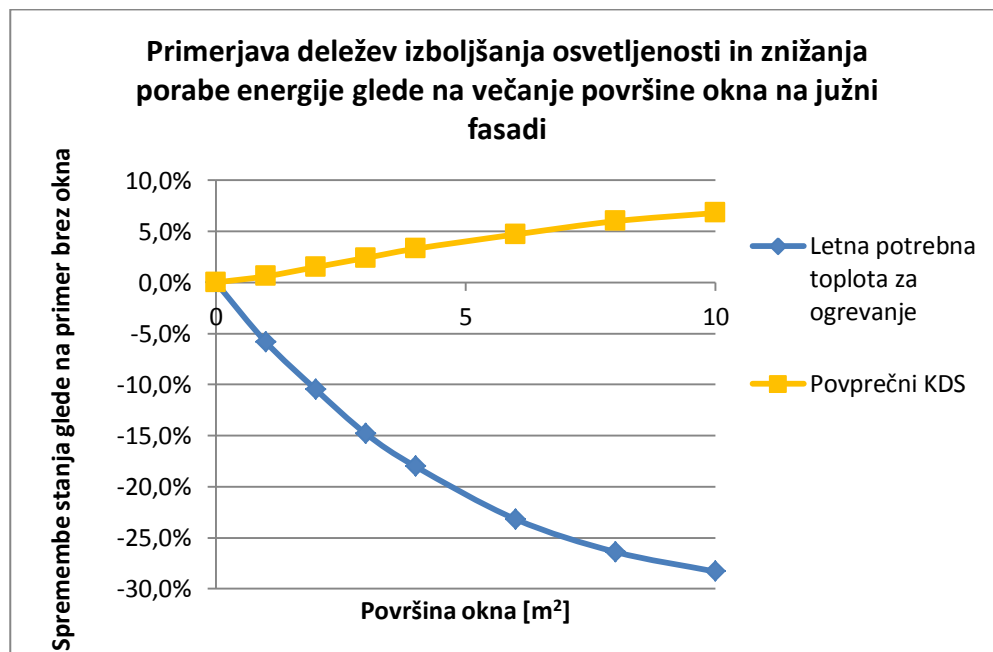
Na severni fasadi podobnega pojava ni, saj tam ni neposrednega sončnega sevanja in nimamo tako velikih solarnih dobitkov. Zato je izbira vsakega naslednjega "boljšega" okna smiselna, vsaj glede porabe energije za ogrevanje: okno z več stekli (in polnili) pomeni tudi manjšo porabo.

3.3 Medsebojna primerjava osvetljenosti in porabe energije na južni fasadi

Primerjal sem, koliko se stanje z večanjem okenske površine oz. s spreminjanjem zasteklitve na južni fasadi izboljša oz. poslabša. Za preostale orientacije te primerjave nisem naredil.

3.3.1 Odvisnost od površine okna

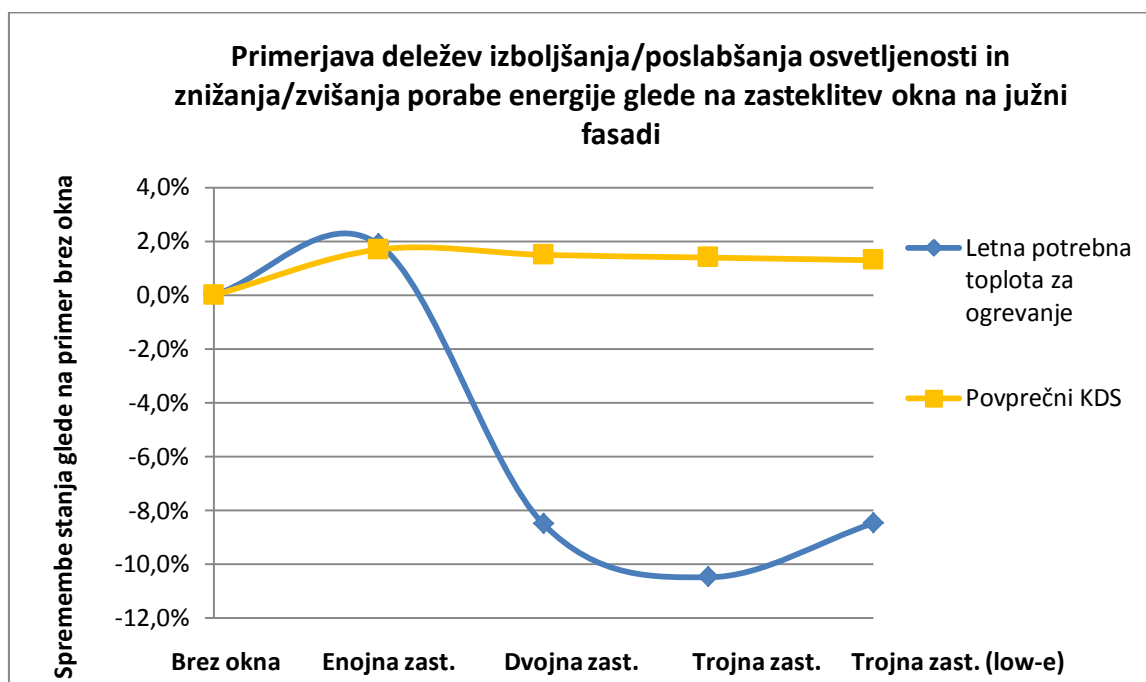
Primerjal sem osvetljenost in porabo energije pri oknu s trojno zasteklitvijo.



Slika 27: Primerjava deležev izboljšanja osvetljenosti in znižanja porabe energije v odvisnosti od površine okna na južni fasadi

V tej primerjavi je zelo lepo razviden dvojni pozitiven učinek večanja okenske površine na južno orientirani fasadi. Z večanjem površine se nam večja KDS, manjša pa se nam potrebna letna toplota za ogrevanje. Opaziti je tudi, da se pri okenski površini z 10 m² še ne doseže maksimalno znižanje porabe energije.

3.3.2 Odvisnost od vrste zasteklitve



Slika 28: Primerjava deležev spremembe osvetljenosti in porabe energije glede na zasteklitve

Zvezna krivulja na diagramu (slika 28) je trend. V tem primeru je najprej smiselno omeniti, da so rezultati podani za okno s površino 2 m². Opaziti je, da z večanjem števila stekel manjšamo osvetljenost. Porabo energije nižamo samo do neke mere. Če bi na hitro presodili o najboljši rešitvi tega grafa, bi lahko rekli, da je najboljša varianta izbira trojne zasteklitve ($U = 1,72 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 0,70$, $LT = 0,74$). Seveda obstajajo tudi druge ekvivalentne dvojne zasteklitve (premazi, polnila iz žlahtnih plinov). Pomembno pa je omeniti, da je taka primerjava odvisna od zelo veliko dejavnikov (površina, U-faktor, g-faktor) in je še posebej specifična za ta primer. Sicer je trend potrebne letne energije za ogrevanje pravičen, bi pa v preostalih primerih prišlo do drugačnih amplitud krivulje.

4 ZAKLJUČEK

S pomočjo programske opreme za analizo dnevne osvetljenosti prostorov v stavbah sem opravil parametrično študijo o vplivu velikosti, oblike in sestave okenske odprtine na količino in distribucijo dnevne svetlobe v prostoru. Rezultate študije sem ovrednotil glede na postavljene minimalne vizualne zahteve za opravljanje določenega dela. Izbrane primere sem vrednotil še glede na porabo energije za ogrevanje.

Pri spreminjanju površine okna sem potrdil svoja pričakovanja, saj je večanje okenske površine na osvetljenost v prostoru delovalo pozitivno. Pozitiven učinek na zmanjšanje porabe energije je imelo na južni in vzhodni/zahodni strani. Na severni fasadi pa je večanje okenske odprtine situacijo slabšalo.

Več stekel (spreminjanje sestave okna) je res pomenilo slabšo osvetljenost v prostoru. Na severni fasadi se je z večanjem števila stekel poraba energije zmanjšala, nizko emisijski premaz na trojni zasteklitvi pa jo je še dodatno zmanjšal. Na južni fasadi se je kot najboljša rešitev izkazala trojna zasteklitev brez nizko emisijskega premaza ($U = 1,72 \text{ W/m}^2\text{K}$, $g = 0,70$, $LT = 0,74$). S takšnim premazom očitno preveč znižamo solarne dobitke in si tako stanje poslabšamo. Glavna težava pri izbiri zasteklitev je uravnoteženje zahtev po zmanjševanju porabe energije z zahtevami po dnevni osvetljenosti prostorov. Zelo podoben rezultat dobimo tudi za vzhodno/zahodno orientirano okno.

Spreminjanje oblike okenske odprtine na porabo energije ne vpliva, saj je ta odvisna le od sestave in površine okna. Vpliva pa na osvetljenost v prostoru. Boljše rezultate so dale pravilnejše oblike okna (kvadratna in pa oblike s podobnima dolžinama stranic). Nepravilne oblike, kjer je ena stranica daljša od druge, so dale slabše rezultate.

Vsi ti rezultati potrjujejo, da je potrebno dobro premisliti, kako velika okna in kakšnih oblik ter sestave si bomo izbrali. Izbira oken je specifična za vsako obliko prostora, orientacije ter lokacije stavbe in še kaj. Če želimo v svojem bivalnem prostoru imeti ugodne in zdrave življenjske razmere, je takšna študija več kot dobrodošla. Odločiti se za določen tip zasteklitve je zelo kompleksno. Vsak prostor s svojo površino in obliko je primer zase. Na porabo energije pa vplivajo še lokacija objekta, podnebje, toplotni ovoj stavbe, prezračevanje itd. Spreminjanje oblike in sestave okna sta le del vseh dejavnikov, od katerih je odvisna poraba energije. Smiselno je pregledati čim več izdelkov, ki so na tržišču, in na podlagi njihovih lastnosti in lastnosti stavbe izbrati ustrezne rešitve.

VIRI

- [1] O'Connor, J., Lee, E., Rubinstein, F., Selkowitz, S. 1997. Tips for daylighting with windows. California, The California Institute for Energy Efficiency: 107 str.
- [2] Li, D.H.W., Tsang, E.K.W. 2008. An analysis of daylighting performance for office buildings in Hong Kong. *Building and Environment*. 43, 9: 1446-1458
- [3] Gasparellaa, A., Pernigottob, G., Cappellettic, F., Romagnonic, P., Baggiod, P. 2011. Analysis and modelling of window and glazing systems energy performance for a well insulated residential building. *Energy and Buildings*. 43, 4: 1030-1037
- [4] Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj. Uradni list RS št. 1/2011
- [5] Kristl, Ž. 2012. Dnevna svetloba. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente. 27 str.
<http://kske.fgg.uni-lj.si/> (Pridobljeno 20. 7. 2012)
- [6] Velux Daylight Visualizer 2
<http://viz.velux.com/> (Pridobljeno 1. 3. 2012)

SEZNAM PRILOG

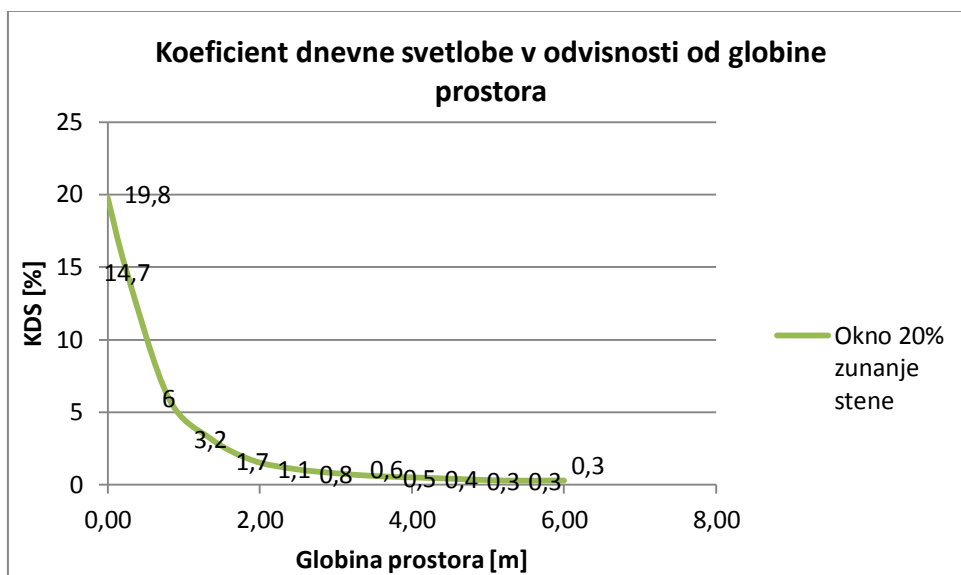
PRILOGA A: PREOSTALI PRIMERI ANALIZE OSVETLJENOSTI	A1
A.1 Spreminjanje površine okna	A1
A.2 Spreminjanje oblike okna	A4
A.3 Spreminjanje sestave (zasteklitve) okna	A9
PRILOGA B: PREOSTALI PRIMERI ANALIZE PORABE ENERGIJE	B1
B.1 Spreminjanje površine okna	B1
B.2 Spreminjanje sestave (zasteklitve) okna	B2

PRILOGA A: PREOSTALI PRIMERI ANALIZE OSVETLJENOSTI

A.1 Spreminjanje površine okna

Preglednica A 1: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 2

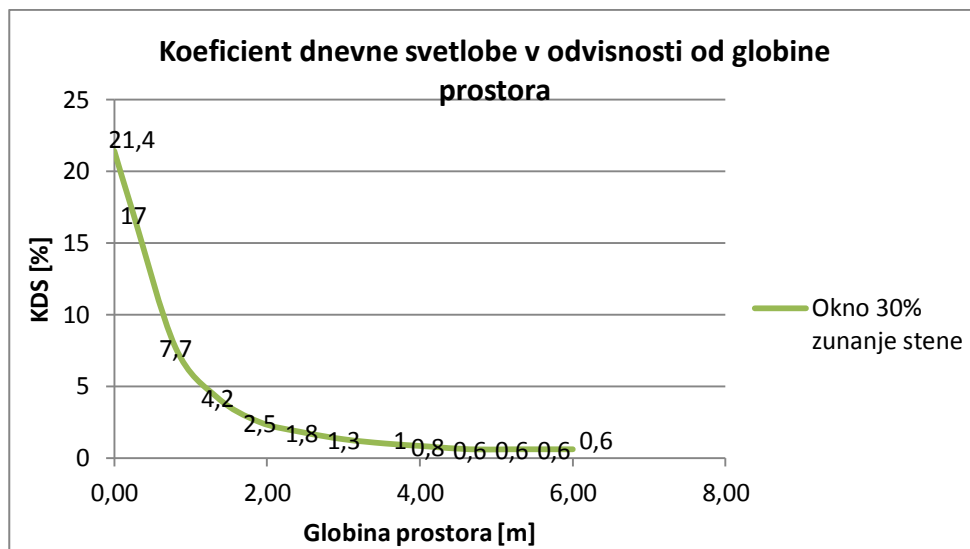
Vreme	Oblačno				
	KDS pov	KDS max	KDS min	KDSpov/KDSmax	KDSpov/KDSmin
Rezultati [%]	1,5	19,8	0,3	0,08	5,00
Opt. vrednosti [%]	3		1		3
Ustreznost	NE		NE		NE



Slika A 1: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 2

Preglednica A 2: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 3

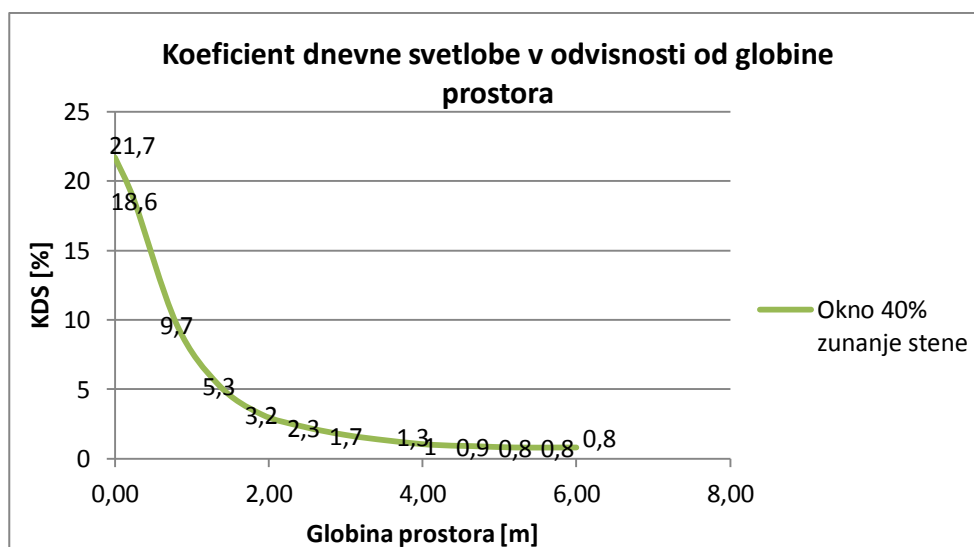
Vreme	Oblačno				
	KDS pov	KDS max	KDS min	KDSpov/KDSmax	KDSpov/KDSmin
Rezultati [%]	2,4	21,4	0,5	0,11	4,80
Opt. vrednosti [%]	3		1		3
Ustreznost	NE		NE		NE



Slika A 2: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 3

Preglednica A 3: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 4

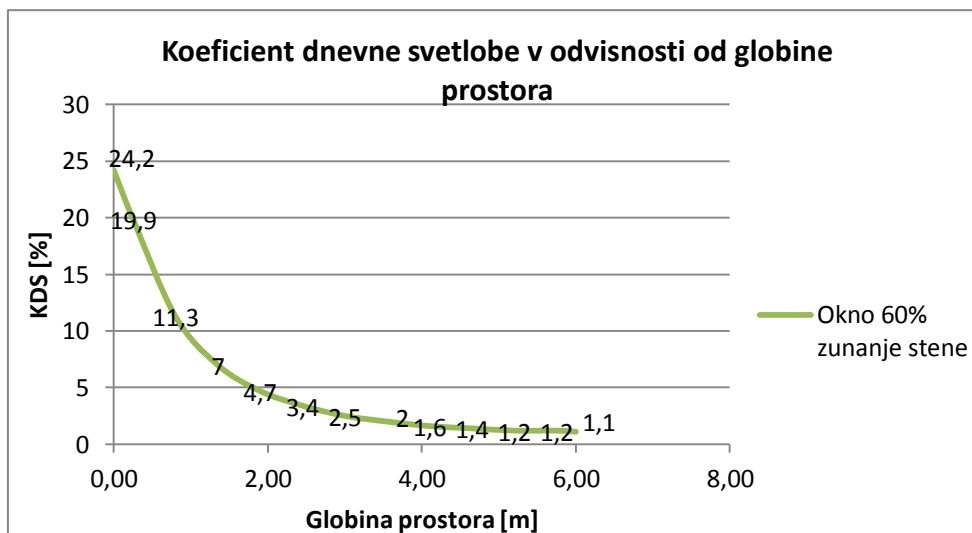
Vreme	Oblačno				
	KDS pov	KDS max	KDS min	KDS _{pov} /KDS _{max}	KDS _{pov} /KDS _{min}
Rezultati [%]	3,3	21,7	0,7	0,15	4,71
Opt. vrednosti [%]	3		1		3
Ustreznost	DA		NE		NE



Slika A 3: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 4

Preglednica A 4: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 5

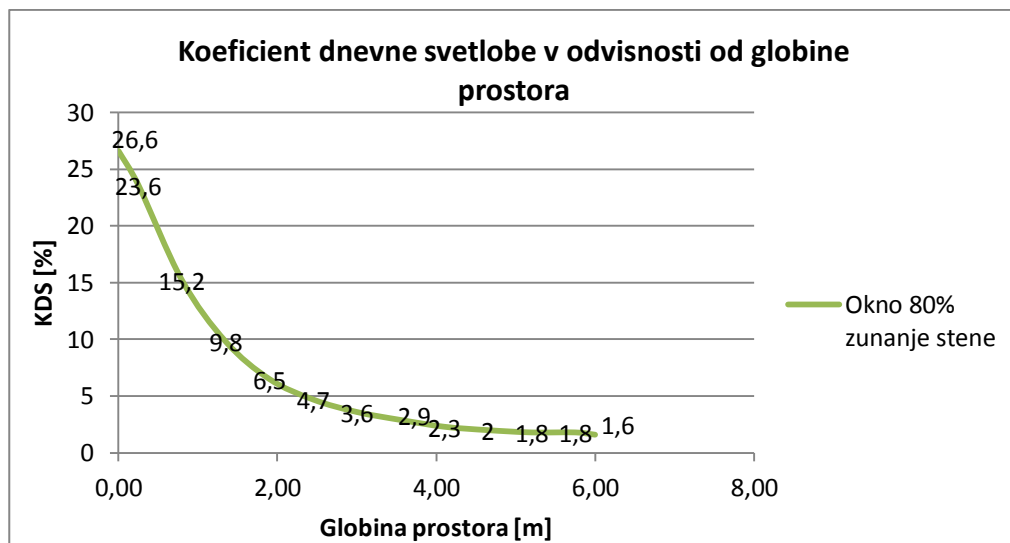
Vreme	Oblačno				
	KDS pov	KDS max	KDS min	KDSpov/KDSmax	KDSpov/KDSmin
Rezultati [%]	4,7	24,2	1,1	0,19	4,27
Opt. vrednosti [%]	3		1		3
Ustreznost	DA		DA		NE



Slika A 4: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 5

Preglednica A 5: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 6

Vreme	Oblačno				
	KDS pov	KDS max	KDS min	KDSpov/KDSmax	KDSpov/KDSmin
Rezultati [%]	6,0	26,6	1,6	0,23	3,75
Opt. vrednosti [%]	3		1		3
Ustreznost	DA		DA		NE

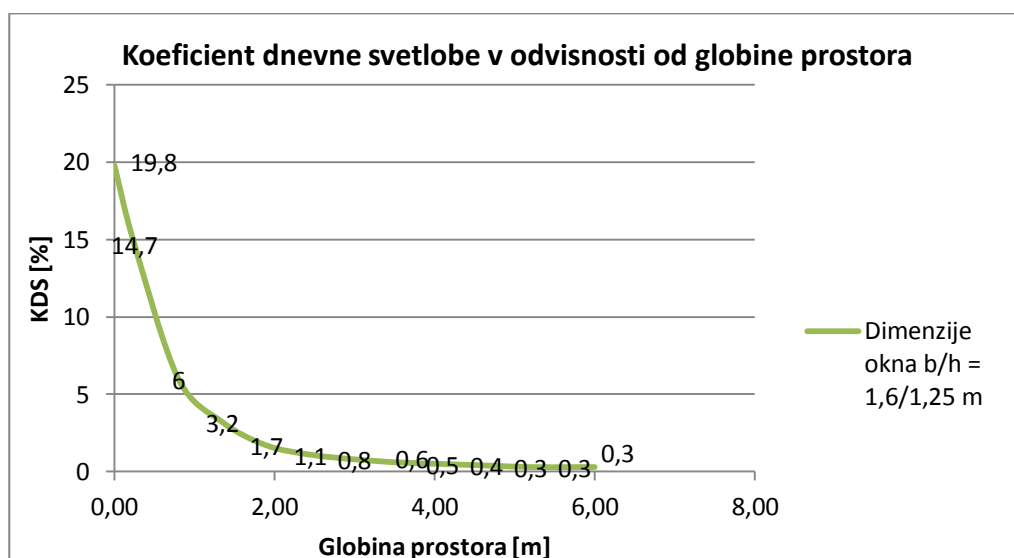


Slika A 5: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 6

A.2 Spreminjanje oblike okna

Preglednica A 6: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 1

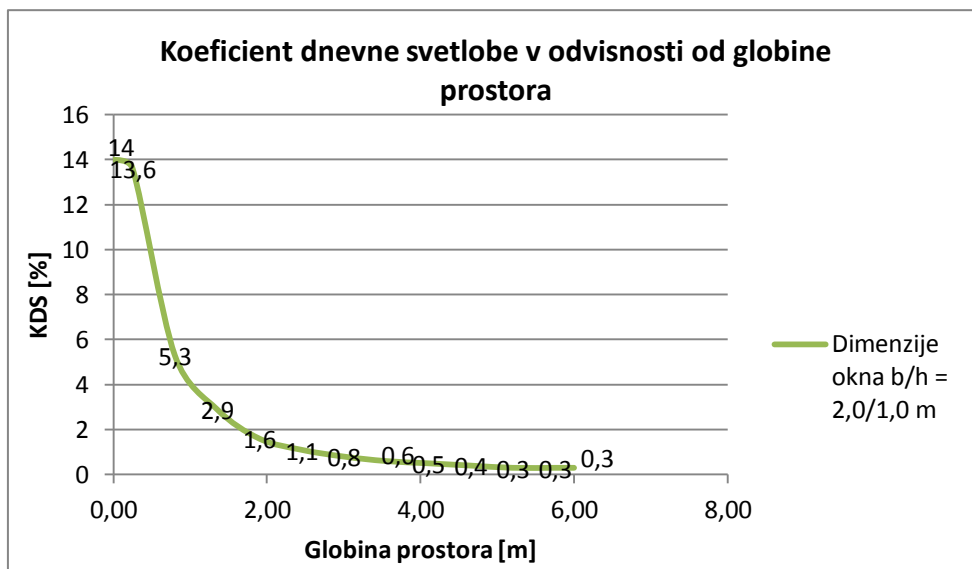
Vreme	Oblačno				
	KDS pov	KDS max	KDS min	KDS _{pov} /KDS _{max}	KDS _{pov} /KDS _{min}
Rezultati [%]	1,5	19,8	0,3	0,08	5,00
Opt. vrednosti [%]	3		1		3
Ustreznost	NE		NE		NE



Slika A 6: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 1

Preglednica A 7: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 2

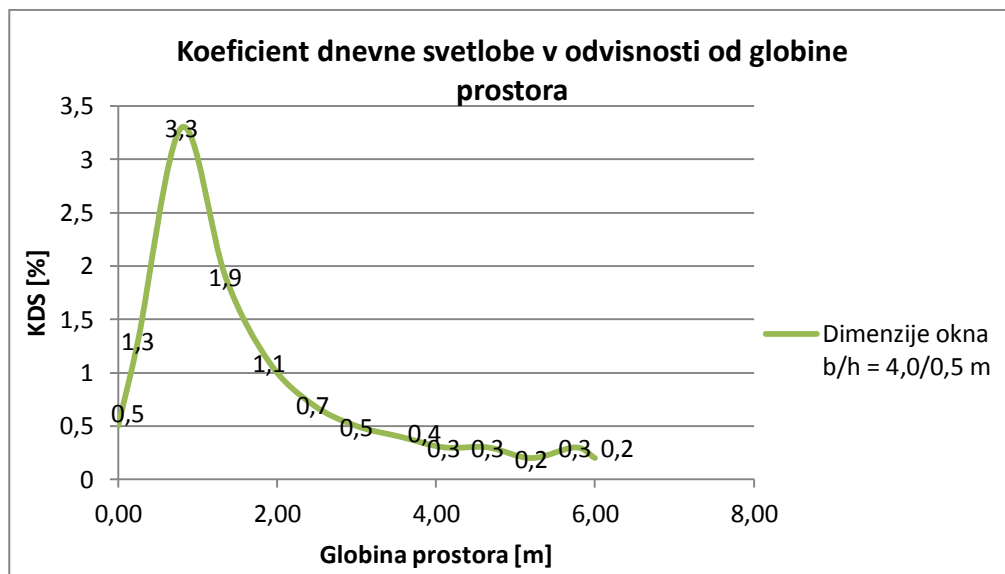
Vreme	Oblačno				
KDS [%]	KDS	KDS	KDS	KDSpov/KDSmax	KDSpov/KDSmin
	pov	max	min		
Rezultati [%]	1,5	14,0	0,3	0,11	5,00
Opt. vrednosti [%]	3		1		3
Ustreznost	NE		NE		NE



Slika A 7: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 2

Preglednica A 8: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 3

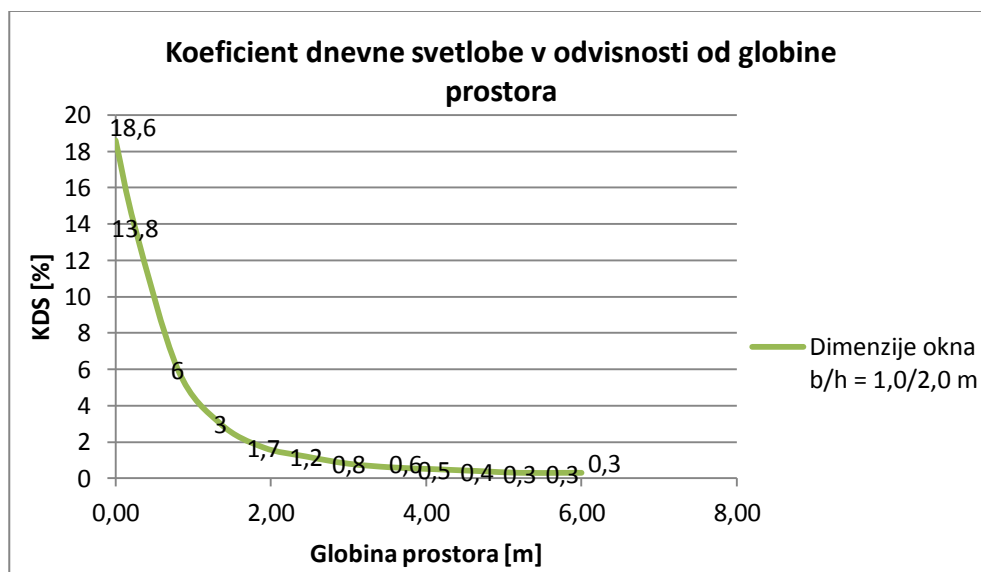
Vreme	Oblačno				
KDS [%]	KDS	KDS	KDS	KDSpov/KDSmax	KDSpov/KDSmin
	pov	max	min		
Rezultati [%]	0,9	3,6	0,2	0,25	4,50
Opt. vrednosti [%]	3		1		3
Ustreznost	NE		NE		NE



Slika A 8: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 3

Preglednica A 9: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 4

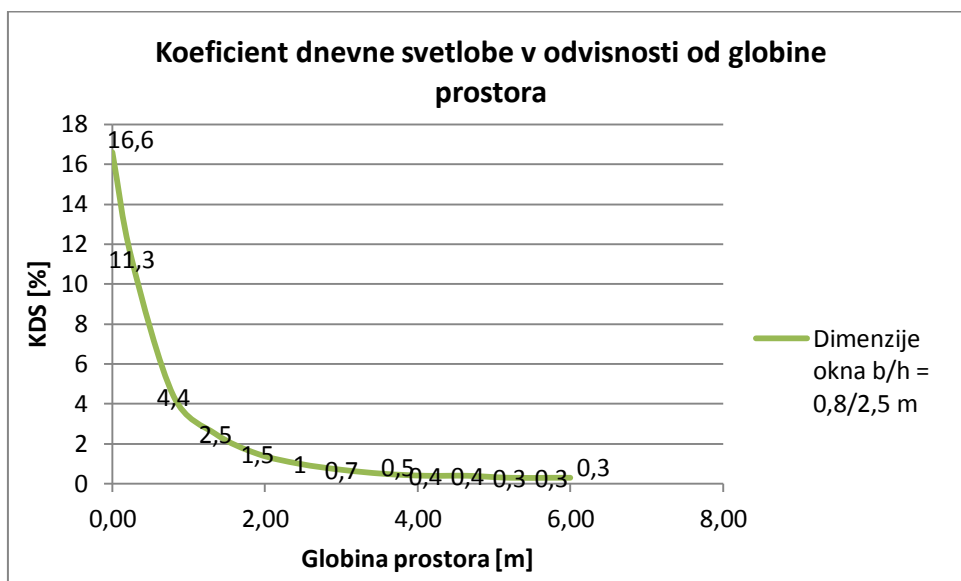
Vreme	Oblačno				
	KDS pov	KDS max	KDS min	KDS _{pov} /KDS _{max}	KDS _{pov} /KDS _{min}
Rezultati [%]	1,2	18,6	0,3	0,06	4,00
Opt. vrednosti	3		1		3
Ustreznost	NE		NE		NE



Slika A 9: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 4

Preglednica A 10: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 5

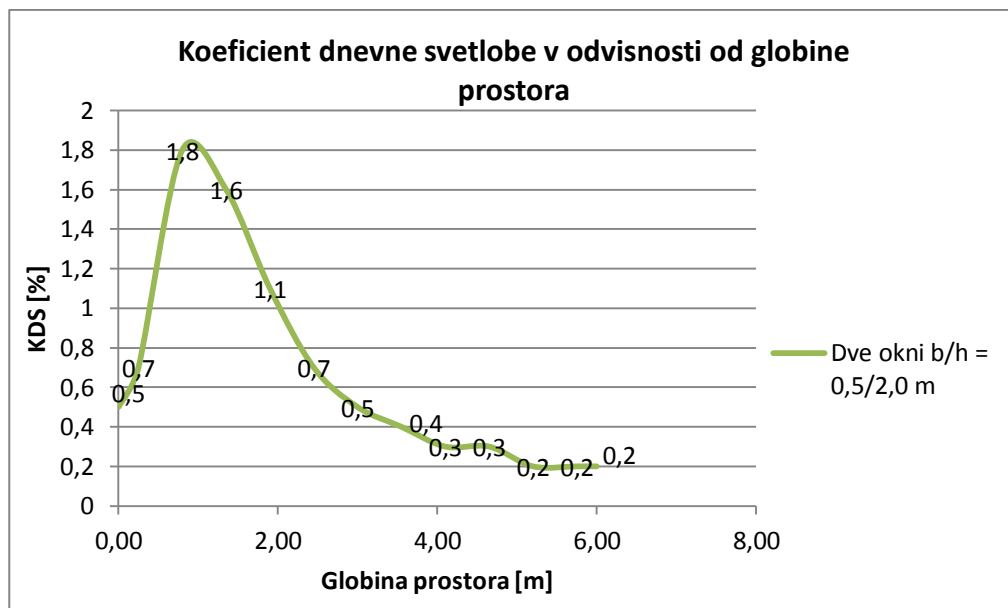
Vreme	Oblačno				
	KDS	KDS	KDS	KDSpov/KDSmax	KDSpov/KDSmin
KDS [%]	pov	max	min		
Rezultati [%]	1,0	16,6	0,2	0,06	5,00
Opt. vrednosti [%]	3		1		3
Ustreznost	NE		NE		NE



Slika A 10: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 5

Preglednica A 11: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 7

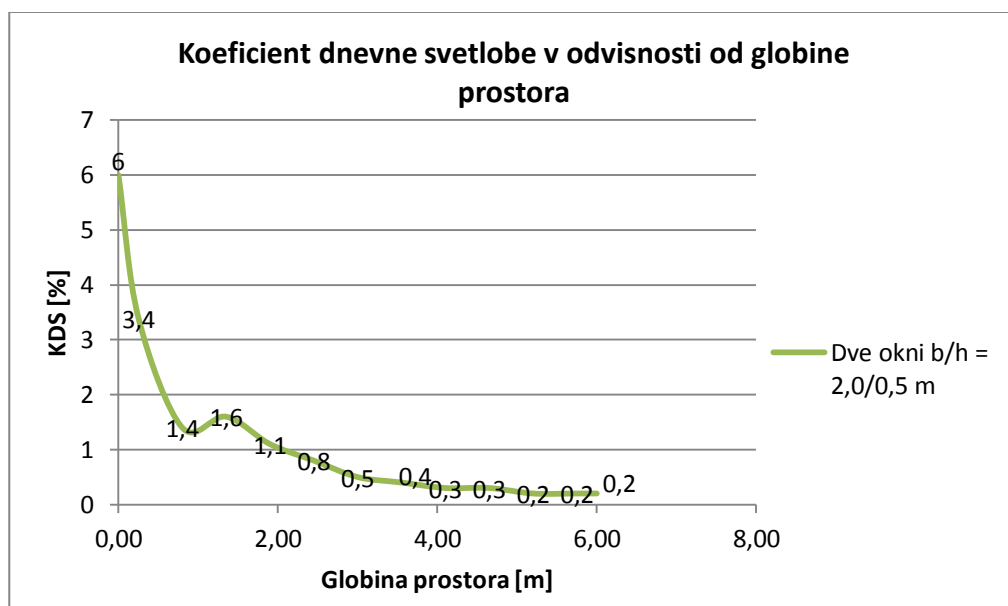
Vreme	Oblačno				
	KDS	KDS	KDS	KDSpov/KDSmax	KDSpov/KDSmin
KDS [%]	pov	max	min		
Rezultati [%]	0,8	11,5	0,2	0,07	4,00
Opt. vrednosti [%]	3		1		3
Ustreznost	NE		NE		NE



Slika A 11: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 7

Preglednica A 12: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 8

Vreme	Oblačno				
	KDS pov	KDS max	KDS min	KDSpov/KDSmax	KDSpov/KDSmin
Rezultati [%]	0,7	6,0	0,2	0,12	3,50
Opt. vrednosti [%]	3		1		3
Ustreznost	NE		NE		NE

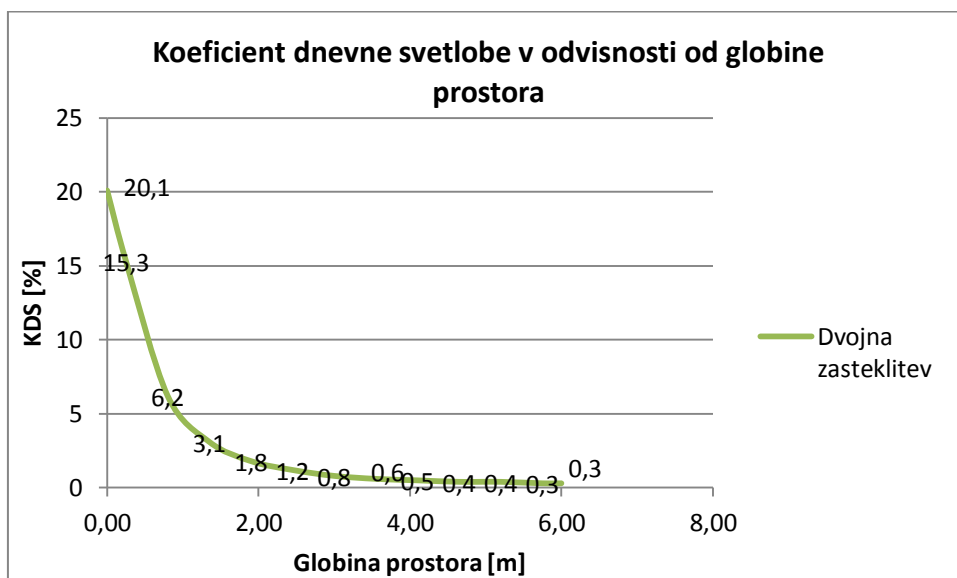


Slika A 12: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 8

A.3 Spreminjanje sestave (zasteklitve) okna

Preglednica A 13: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 2

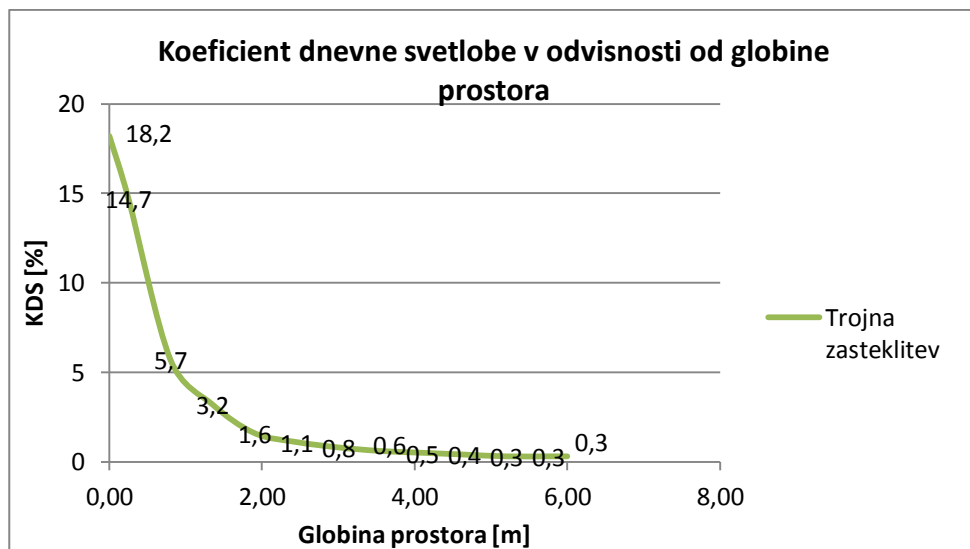
Vreme	Oblačno				
	KDS	KDS	KDS	KDSpov/KDSmax	KDSpov/KDSmin
KDS [%]	pov	max	min		
Rezultati [%]	1,5	20,1	0,3	0,07	5,00
Opt. vrednosti [%]	3		1		3
Ustreznost	NE		NE		NE



Slika A 13: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 2

Preglednica A 14: Rezultati analize osvetljenosti primera št. 3

Vreme	Oblačno				
	KDS	KDS	KDS	KDSpov/KDSmax	KDSpov/KDSmin
KDS [%]	pov	max	min		
Rezultati [%]	1,4	18,2	0,3	0,08	4,67
Opt. vrednosti [%]	3		1		3
Ustreznost	NE		NE		NE



Slika A 14: Distribucija dnevne svetlobe po globini prostora za primer št. 3

PRILOGA B: PREOSTALI PRIMERI ANALIZE PORABE ENERGIJE

B.1 Spreminjanje površine okna

Preglednica B 1: Rezultati analize o porabi energije južno orientiranih primerov št. 2, 3, 4, 5, 6 in 7

Površina [m ²]	Južna orientacija			
	Ht'	dovoljen Ht'	Qnh/Au [kWh/m ²]	dovoljen Qnh/Au [kWh/m ²]
2	0,38	0,36	132,59	101,2
3	0,4	0,36	126,2	101,2
4	0,41	0,36	121,41	101,2
6	0,44	0,37	113,77	101,2
8	0,47	0,37	109,02	101,2

Preglednica B 2: Rezultati analize o porabi energije severno orientiranih primerov št. 2, 3, 4, 5, 6 in 7

Površina [m ²]	Severna orientacija			
	Ht'	dovoljen Ht'	Qnh/Au [kWh/m ²]	dovoljen Qnh/Au [kWh/m ²]
2	0,38	0,36	148,95	101,2
3	0,4	0,36	150,12	101,2
4	0,41	0,36	151,64	101,2
6	0,44	0,37	155,09	101,2
8	0,47	0,37	158,4	101,2

Preglednica B 3: Rezultati analize o porabi energije vzhodno/zahodno orientiranih primerov št. 2, 3, 4, 5, 6 in 7

Površina [m ²]	Vzhodna/zahodna orientacija			
	Ht'	dovoljen Ht'	Qnh/Au [kWh/m ²]	dovoljen Qnh/Au [kWh/m ²]
2	0,38	0,36	139,46	101,2
3	0,4	0,36	136,38	101,2
4	0,41	0,36	134,05	101,2
6	0,44	0,37	131,61	101,2
8	0,47	0,37	131,43	101,2

B.2 Spreminjanje sestave (zasteklitve) okna

Preglednica B 4: Rezultati analize o porabi energije južno orientiranih primerov št. 2 in 3

Primer	Južna orientacija			
	Ht'	dovoljen Ht'	Qnh/Au [kWh/m ²]	dovoljen Qnh/Au [kWh/m ²]
Primer 2	0,4	0,36	135,52	101,2
Primer 3	0,38	0,36	132,59	101,2

Preglednica B 5: Rezultati analize o porabi energije severno orientiranih primerov št. 2 in 3

Primer	Severna orientacija			
	Ht'	dovoljen Ht'	Qnh/Au [kWh/m ²]	dovoljen Qnh/Au [kWh/m ²]
Primer 2	0,4	0,36	153,49	101,2
Primer 3	0,38	0,36	148,95	101,2

Preglednica B 6: Rezultati analize o porabi energije vzhodno/zahodno orientiranih primerov št. 2 in 3

Primer	Vzhodna/zahodna orientacija			
	Ht'	dovoljen Ht'	Qnh/Au [kWh/m ²]	dovoljen Qnh/Au [kWh/m ²]
Primer 2	0,4	0,36	143,23	101,2
Primer 3	0,38	0,36	139,46	101,2