

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.

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

Eržen, J., 2015. Parametrična študija optimizacije zastekljenih površin ovoja stavbe. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M.): 111 str.

Datum arhiviranja: 02-06-2015

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



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

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

This is original version of final thesis.

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

Eržen, J., 2015. Parametrična študija optimizacije zastekljenih površin ovoja stavbe. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M.): 111 p.

Archiving Date: 02-06-2015

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GRADBENIŠTVO
ORGANIZACIJSKO
TEHNOLOŠKA SMER

Kandidat:

JURE ERŽEN

**PARAMETRIČNA ŠTUDIJA OPTIMIZACIJE
ZASTEKLJENIH POVRŠIN OVOJA STAVBE**

Diplomska naloga št.: 3436/OTS

**PARAMETRIC STUDY OF FACADE GLAZED
SURFACES OPTIMIZATION**

Graduation thesis No.: 3436/OTS

Mentor:

doc. dr. Mitja Košir

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Član komisije:

prof. dr. Boštjan Brank

Ljubljana, 28. 05. 2015

STRAN ZA POPRAVKE

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

IZJAVE

Podpisani **Jure Eržen** izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom
**»PARAMETRIČNA ŠTUDIJA OPTIMIZACIJE ZASTEKLJENIH POVRŠIN OVOJA
STAVBE«.**

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 15. 5. 2015

Jure Eržen

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 624:666.185(497.4)(043.2)
Avtor: Jure Eržen
Mentor: doc. dr. Mitja Košir
Naslov: Parametrična študija optimizacije zastekljenih površin ovoja stavbe
Tip dokumenta: Diplomaska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema: 111 str., 32 tab., 10 sl., 83 graf., 3 pril.
Ključne besede: zasteklitev, razmerje med površino zasteklitve in fasade, orientacija, energetska učinkovitost, solarni pritoki, osvetljenost, vizualni pogoji, uporabna naravna svetloba (UDI), avtonomija naravne svetlobe (DA),

Izvleček

V diplomski nalogi smo se ukvarjali z optimizacijo zasteklitve šolskih učilnic z vidika energetske učinkovitosti in vizualnih pogojev v prostoru.

Študija zajema vpliv orientacije, velikosti in lastnosti zasteklitve, kot tudi vplive nadstreška na različnih višinah in premičnih senčil. Na podlagi analize in dobljenih rezultatov so podani napotki za optimalno načrtovanje zastekljenih površin z vidika energetske učinkovitosti in vizualnih pogojev v učilnicah šol v osrednji Sloveniji.

Najprej smo si ogledali vplive posameznih lastnosti zasteklitve na porabo energije v stavbah. To smo naredili tako, da smo eno izmed glavnih fizikalnih količin (U_g , g , LT), ki vplivajo na porabo energije, fiksirali in spreminjali le drugi dve. Za ta namen smo s pomočjo programa Window 7.3 definirali 15 zasteklitev in nato še dodatnih 13 na podlagi podatkov različnih proizvajalcev. V programu Comfen smo definirali hipotetično standardno učilnico in izvedli izračun porabe energije. Na podlagi analize smo za vsako orientacijo fasade podali optimalno zasnovo (velikost in tip zasteklitve ter način senčenja).

Po končani energetski analizi smo si ogledali še vplive posameznih ukrepov na vizualne pogoje v učilnici. Pri tem smo si pomagali z rezultati za posamezne ukrepe iz programa Comfen, in jih podrobneje preučili s pomočjo programov Ecotect Analysis 2011, Daysim in Radiance. Na podlagi rezultatov analize energije in vizualnih pogojev smo določili optimizirano konfiguracijo transparentnih površin za posamezno stran neba.

Na koncu smo izsledke izvedene analize aplicirali na specifičen primer osnovne šole Simona Jenka Kranj ter ocenili prihranke na račun zamenjave oken.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 624:666.185(497.4)(043.2)
Author: Jure Eržen
Supervisor: Assist. prof. Mitja Košir, Ph. D.
Title: Parametric study of facade glazed surfaces optimization
Document type: Graduation Thesis - University studies
Notes: 111 p., 32 tab., 10 fig., 83 graph., 3 ann.
Key words: glazing, window to wall ratio (WWR), orientation, energy efficiency, solar heat gains, illumination, vizual conditions, useful daylight illuminance (UDI), Daylight Autonomy (DA)

Abstract

This paper is trying to define glazing type of school classrooms in order to achieve optimum energy performance and visual conditions. We analyzed and evaluated effects of orientation, glazing size and its properties, overhangs mounted on various heights and simple sensor controlled shading. Based on the results of the analysis we generated instructions for glazing design for primary schools for the central region of Slovenia in order to achieve optimum energy and visual efficiency of a classroom.

At the start of the analysis we evaluated the effect of glazing properties and their main characteristics U_g , g , and LT on energy usage in buildings. We did that by fixing one of the characteristics and then changing only the other two. Software Window 7.3 was used for generation of 15 types of glazing. In continuation we generated 13 realistic glazing types based on the properties of different glazing manufactures. Energy analysis of predefined standard classroom was made with Comfen. According to results we proposed optimum design (size, glazing properties, and shading design) for different orientations.

In the continuation we evaluated effects of glazing design types on the visual conditions in classroom. We've used visual analysis results for different design types gathered from Comfen. With the help of Ecotect, Daysim and Radiance software we've made a more detailed study. Energy and visual conditions analysis gave us results from which we chose optimum glazing design and its properties for each orientation.

In the conclusion we used our proposed fenestration design on specific real life example.

We estimated energy savings in primary school Simon Jenko Kranj in Slovenia, due to new windows installation according to our preposition.

ZAHVALA

Za strokovno vodenje, nasvete in pomoč pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Mitji Koširju.

Posebna zahvala za vso pomoč, podporo in spodbudo gre staršem in bratu. Hvala tudi vsem prijateljem in vsem ostalim, ki so mi na kakršenkoli način pomagali med študijem ali pisanjem diplome.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Namen in cilj diplomske naloge	2
1.2	Hipoteze	3
1.3	Metoda dela in struktura diplomske naloge.....	3
2	PREGLED ZAKONODAJE IN ŠTUDIJ S PODROČJA VPLIVA OKEN NA PORABO ENERGIJE IN VIZUALNE POGOJE V PROSTORU	5
2.1	Pregledane študije.....	5
2.1.1	Študije o energetske varčnih oknih	5
2.1.2	Študije o direktnem vplivu oken na porabo energije v stavbah	6
2.1.3	Študije o naravni osvetljenosti prostorov	6
2.2	Zakonodajne zahteve	7
2.2.1	Dimenzije učilnice	7
2.2.2	Osvetlitev učilnice	7
2.2.3	Ogrevanje in prezračevanje učilnice	8
2.2.4	Orientacija	8
2.2.5	Tehnične zahteve za okna	9
3	UPORABLJENA SIMULACIJSKA ORODJA IN ZASNOVA TESTNE UČILNICE	9
3.1	Uporabljen simulacijski orodja	9
3.1.1	Energetska analiza	9
3.1.2	Predpostavke programa Comfen	10
3.1.3	Analiza dnevne osvetljenosti.....	11
3.2	Zasnova testne učilnice	12
3.2.1	Dimenzije učilnice	12
3.2.2	Osvetljenost učilnice	12
3.2.3	Temperatura v prostoru	13
3.2.4	Prezračevanje učilnice	13
3.2.5	Orientacija učilnice.....	14
3.2.6	Klimatski podatki.....	14
3.2.7	Gradbeno fizikalni podatki.....	15
3.2.8	Zastekljene površine	16
4	VPLIV LASTNOSTI ZASTEKLITVE NA PORABO ENERGIJE.....	17
4.1	Zasnova izvedene analize	17
4.1.1	Vhodni podatki analize.....	18
4.1.2	Predpostavke in omejitve izvedene analize.....	19

4.2	Rezultati	20
4.2.1	Vpliv faktorja toplotne prehodnosti zasteklitve	20
4.2.1.1	Vpliv U_g na porabo energije za ogrevanje	20
4.2.1.2	Vpliv U – skupna energija	21
4.2.2	Vpliv faktorja g	26
4.2.2.1	Vpliv g na porabo energije za ogrevanje	27
4.2.2.2	Vpliv faktorja g na skupno potrebno energijo	29
4.2.3	Vpliv LT	33
5	VPLIV ZASNOVE ODPRTIN NA PORABO ENERGIJE	35
5.1	Zasnova izvedene analize	35
5.1.1	Vhodni podatki analize	36
5.2	Rezultati	36
5.2.1	S fasada	36
5.2.1.1	Vpliv tipa in velikosti zasteklitve	37
5.2.1.2	Vpliv namestitve police in senčil	39
5.2.1.3	Minimalne vrednosti porabe energije pri različnih tipih zasnove fasade	41
5.2.1.4	Optimalna izbira pri različnih velikostih – navodila za prenovo	44
5.2.1.5	Navodila za oblikovanje zastekljenih površin na S fasadi	45
5.2.2	SV in SZ fasada	45
5.2.2.1	Vpliv tipa in velikosti zasteklitve	45
5.2.2.2	Vpliv namestitve police in senčil	48
5.2.2.3	Minimalne vrednosti porabe energije pri različnih tipih zasnove fasade	48
5.2.2.4	Optimalna izbira pri različnih velikostih – navodila za prenovo	51
5.2.2.5	Navodila za oblikovanje zasteklitve na SV in SZ strani	52
5.2.3	V in Z fasada	52
5.2.3.1	Vpliv tipa in velikosti zasteklitve	53
5.2.3.2	Vpliv namestitve police in senčil	55
5.2.3.3	Minimalne vrednosti porabe energije pri različnih tipih zasnove fasade	55
5.2.3.4	Optimalna izbira pri različnih velikostih – navodila za prenovo	59
5.2.3.5	Navodila za oblikovanje zasteklitve na V in Z strani	60
5.2.4	JV in JZ fasada	60
5.2.4.1	Vpliv tipa in velikosti zasteklitve	60
5.2.4.2	Vpliv namestitve police in senčil	62
5.2.4.3	Minimalne vrednosti porabe energije pri različnih tipih zasnove fasade	63
5.2.4.4	Optimalna izbira pri različnih velikostih – navodila za prenovo	66
5.2.4.5	Navodila za oblikovanje zasteklitve na JZ in JV fasadi	67
5.2.5	J fasada	67

5.2.5.1	Vpliv tipa in velikosti zasteklitve	67
5.2.5.2	Vpliv namestitve police in senčil	69
5.2.5.3	Minimalne vrednosti porabe energije pri različnih tipih zasnove fasade	70
5.2.5.4	Optimalna izbira pri različnih velikostih – navodila za prenovo	73
5.2.5.5	Navodila za oblikovanje zasteklitve na J fasadi	74
5.2.6	Splošna navodila	74
5.2.6.1	Splošna navodila za prenove stavb (različne velikosti oken)	74
5.2.6.2	Splošna navodila za načrtovanje novih stavb	78
5.2.6.3	Problem uporabe oken z enako zasteklitvijo za celotno stavbo	81
6	VPLIV OBLIKOVANJA ZASTEKLITVE NA OSVETLJENOST PROSTORA	83
6.1	Zasnova izvedene analize	83
6.1.1	Klimatski podatki.....	84
6.1.2	Gradbeno fizikalni podatki.....	84
6.1.3	Vhodni podatki.....	84
6.1.4	Predpostavke in omejitve izvedene analize.....	85
6.2	Rezultati	85
6.2.1	Vpliv velikosti zasteklitve na osvetljenost prostora	85
6.2.2	Vpliv položaja in velikosti police na osvetljenost prostora.....	90
6.2.3	Vpliv faktorja prepustnosti sončnega sevanja na osvetljenost prostora	95
6.2.4	Vpliv senčil na osvetljenost prostora	98
7	UPORABA REZULTATOV ANALIZE V PRAKSI	99
8	DISKUSIJA.....	101
9	ZAKLJUČEK	103
	VIRI	106

KAZALO PREGLEDNIC

PREGLEDNICA 1: PRIPOROČENE VREDNOSTI NA DELOVNI POVRŠINI V ŠOLAH	13
PREGLEDNICA 2: OSNOVNI VHODNI PODATKI ZA ANALIZO	15
PREGLEDNICA 3: PODATKI O OBLIKOVANJU OKEN	16
PREGLEDNICA 4: PREGLED ANALIZIRANIH PRIMEROV	17
PREGLEDNICA 5: LASTNOSTI ZASTEKLITVE UPORABLJENE V ANALIZI VPLIVA LASTNOSTI	19
PREGLEDNICA 6: UPORABLJENI TIPI ZASTEKLITVE	36
PREGLEDNICA 7: PRIMERJAVA TIPOV ZASTEKLITVE	38
PREGLEDNICA 8: TIPI IN VELIKOSTI ZASTEKLITVE ZA DOSEGO MINIMALNE SKUPNE PORABE ENERGIJE PRI DOLOČENEM NAČINU OBLIKOVANJA	43
PREGLEDNICA 9: MINIMALNA SKUPNA PORABA ENERGIJE IN NJEJ PRIPADAJOČE VREDNOSTI PRI RAZLIČNIH VELIKOSTIH ZASTEKLITVE	44
PREGLEDNICA 10: TIPI IN VELIKOSTI ZASTEKLITVE ZA DOSEGO MINIMALNE SKUPNE PORABE ENERGIJE PRI DOLOČENEM NAČINU OBLIKOVANJA	51
PREGLEDNICA 11: MINIMALNA SKUPNA PORABA ENERGIJE IN NJEJ PRIPADAJOČE VREDNOSTI PRI RAZLIČNIH VELIKOSTIH ZASTEKLITVE	51
PREGLEDNICA 12: TIPI IN VELIKOSTI ZASTEKLITVE ZA DOSEGO MINIMALNE SKUPNE PORABE ENERGIJE	58
PREGLEDNICA 13: MINIMALNA SKUPNA PORABA ENERGIJE IN NJEJ PRIPADAJOČE VREDNOSTI PRI RAZLIČNIH VELIKOSTIH ZASTEKLITVE	59
PREGLEDNICA 14: TIPI IN VELIKOSTI ZASTEKLITVE ZA DOSEGO MINIMALNE SKUPNE PORABE ENERGIJE PRI DOLOČENEM NAČINU OBLIKOVANJA	65
PREGLEDNICA 15: MINIMALNA SKUPNA PORABA ENERGIJE IN NJEJ PRIPADAJOČE VREDNOSTI PRI RAZLIČNIH VELIKOSTIH ZASTEKLITVE	66
PREGLEDNICA 16: TIPI IN VELIKOSTI ZASTEKLITVE ZA DOSEGO MINIMALNE SKUPNE PORABE ENERGIJE	73
PREGLEDNICA 17: MINIMALNA SKUPNA PORABA ENERGIJE IN NJEJ PRIPADAJOČE VREDNOSTI ZA RAZLIČNE WWR	73
PREGLEDNICA 18: MINIMALNE VREDNOSTI IN NAČINI OBLIKOVANJA ZA POSAMEZNO VELIKOST ZASTEKLITVE	77
PREGLEDNICA 19: MINIMALNE VREDNOSTI IN NAČINI OBLIKOVANJA PRI BOLJ DOSTOPNIH TIPIH	78
PREGLEDNICA 20: RAZLIKE OB VGRADITVI ZASTEKLITVE OPTIMALNE ZA DOLOČENO ORIENTACIJO FASADE NA DRUGO	81
PREGLEDNICA 21: RAZLIKE OB VGRADITVI ENAKEGA NAČINA SENČENJA IN TIPA ZASTEKLITVE OPTIMALNE ZA DOLOČENO ORIENTACIJO FASADE NA DRUGO	82
PREGLEDNICA 22: ODBOJNOST MATERIALOV POVRŠIN ANALIZIRANE UČILNICE	84
PREGLEDNICA 23: VPLIV VELIKOSTI ZASTEKLITVE	86
PREGLEDNICA 24: VPLIV VELIKOSTI ZASTEKLITVE ZA RAZLIČNE ORIENTACIJE ZASTEKLITVE	89
PREGLEDNICA 25: VPLIV POLOŽAJA POLICE Z GLOBINO 50 CM	90
PREGLEDNICA 26: PORAZDELITEV KDS PO GLOBINI PROSTORA PRI RAZLIČNIH POLOŽAJIH POLICE	91

PREGLEDNICA 27: DELEŽ UPORABNE NARAVNE OSVETLJENOSTI ZA RAZLIČNE VELIKOSTI IN POLOŽAJE POLIC PRI RAZLIČNIH ORIENTACIJAH	93
PREGLEDNICA 28: REZULTATI ANALIZE POLOŽAJA IN VELIKOSTI POLICE	94
PREGLEDNICA 29: VPLIV FAKTORJA LT	95
PREGLEDNICA 30: REZULTATI VPLIVA FAKTORJA LT.....	98
PREGLEDNICA 31: REZULTATI ANALIZE VPLIVA SENČIL	99
PREGLEDNICA 32: OCENA PRIHRANKOV ENERGIJE NA PODLAGI IZVEDENE ANALIZE.....	101

KAZALO SLIK

SLIKA 1: PRIKAZ PREUČEVANIH FAKTORJEV V IZVEDENIH ANALIZAH.....	4
SLIKA 2: POLOŽAJ TOČK, KJER SO NAMEŠČENI SENZORJI ZA NADZOR NAD SVETILKAMI (VIR: [27]).....	11
SLIKA 3: GRAFIČNI PRIKAZ REGULACIJE SVETILK (VIR: [27]).....	11
SLIKA 4: GRAFIČNI PRIKAZ POVPREČNIH TEMPERATUR ZA LJUBLJANO V PROGRAMU COMFEN	14
SLIKA 5: GRAFIČNI PRIKAZ PODATKOV O SONČNEM SEVANJU ZA LJUBLJANO	15
SLIKA 6: PROJEKCIJA CELOLETNEGA GIBANJA SONCA	18
SLIKA 7: OZADJE IZRAČUNA KOEFICIENTA G (VIR: [8])	27
SLIKA 8: DIAGRAM SEVANJA CELOTNEGA SONČNEGA SPEKTRA (VIR: [35])	33
SLIKA 9: NOTRANJOST UČILNICE NA OŠ SIMONA JENKA KRANJ	100
SLIKA 10: OZNAKA ZA KARAKTERISTIKE OKNA V ZDA (VIR: [37])	102

KAZALO GRAFIKONOV

GRAFIKON 1: PREDPOSTAVLJEN URNIK ZASEDENOSTI, UPORABE LUČI IN OPREME ZA ŠOLE, KI GA UPORABLJA COMFEN	10
GRAFIKON 2: PORABA ENERGIJE ZA OGREVANJE V ODVISNOSTI OD U_g IN VELIKOSTI ZASTEKLITVE.....	21
GRAFIKON 3: ODVISNOST SKUPNE ENERGIJE PORABE OD WWR IN U_g NA S FASADI	22
GRAFIKON 4: ODVISNOST SKUPNE ENERGIJE PORABE OD WWR IN U_g NA V FASADI	22
GRAFIKON 5: RAZČLENJENA PORABA ENERGIJE ZA OKNA 6U C NA V FASADI.....	23
GRAFIKON 6: ODVISNOST SKUPNE PORABE ENERGIJE OD WWR IN U_g NA J FASADI.....	24
GRAFIKON 7: RAZČLENJENA PORABA ENERGIJE ZA J FASADO.....	24
GRAFIKON 8: SKUPNA PORABA ENERGIJE ZA $U_g = 0,9 \text{ W/M}^2\text{K}$	25
GRAFIKON 9: SKUPNA PORABA ENERGIJE V ODVISNOSTI OD U_g IN VELIKOSTI ZASTEKLITVE	26
GRAFIKON 10: SKUPNA PORABA ENERGIJE ZA OGREVANJE V ODVISNOSTI OD WWR IN G	28
GRAFIKON 11: SKUPNI SOLARNI DOBITKI, V ODVISNOSTI OD VELIKOSTI IN TIPA ZASTEKLITVE	29
GRAFIKON 12: SKUPNE PORABE ENERGIJE NA S FASADI PRI RAZLIČNIH FAKTORJIH G.....	29
GRAFIKON 13: SKUPNE PORABE ENERGIJE NA V FASADI PRI RAZLIČNIH FAKTORJIH G	30
GRAFIKON 14: SKUPNA PORABA ENERGIJE NA J FASADI PRI RAZLIČNIH FAKTORJIH G.....	31
GRAFIKON 15: SKUPNA PORABE ENERGIJE PRI ZASTEKLITVI S FAKTORJEM $G = 0,64$	31

GRAFIKON 16: SKUPNA PORABA ENERGIJE V ODVISNOSTI OD FAKTORJA G	32
GRAFIKON 17: PORABA ENERGIJE ZA OSVETLITEV PRI OKNIH S FAKTORJEM $LT = 0,85$	34
GRAFIKON 18: PORABA ENERGIJE ZA OSVETLITEV PRI OKNIH S FAKTORJEM $LT = 0,45$	34
GRAFIKON 19: VPLIV FAKTORJA LT NA PORABO ENERGIJE ZA OSVETLITEV.....	35
GRAFIKON 20: PORABE ENERGIJE ZA OGREVANJE ZA S FASADO	37
GRAFIKON 21: PORABE ENERGIJE ZA HLAJENJE ZA S FASADO	38
GRAFIKON 22: CELOTNA PORABA ENERGIJE ZA S FASADO.....	39
GRAFIKON 23: SOLARNI DOBITKI NA S FASADI V ODVISNOSTI OD POLOŽAJA NAMESTITVE POLICE	40
GRAFIKON 24: SOLARNI DOBITKI NA S FASADI V ODVISNOSTI OD TIPA SENČIL.....	40
GRAFIKON 25: MINIMALNA ENERGIJA ZA OGREVANJE PRI RAZLIČNIH NAČINIH ZASNOVE FASADE.....	41
GRAFIKON 26: MINIMALNA ENERGIJA ZA HLAJENJE PRI RAZLIČNIH NAČINIH ZASNOVE FASADE	42
GRAFIKON 27: MINIMALNA ENERGIJA ZA OSVETLITEV PRI RAZLIČNIH NAČINIH ZASNOVE FASADE.....	42
GRAFIKON 28: MINIMALNA SKUPNA POTREBNA ENERGIJA PRI RAZLIČNIH NAČINIH ZASNOVE FASADE.....	43
GRAFIKON 29: PRIKAZ RABE ENERGIJE PRI MINIMALNI SKUPNI PORABI GLEDE NA VELIKOST ZASTEKLITVE	45
GRAFIKON 30: PORABE ENERGIJE ZA OGREVANJE ZA SV FASADO	46
GRAFIKON 31: ODVISNOST PORABE ENERGIJE ZA HLAJENJE NA SV FASADI OD TIPA ZASTEKLITVE PRI RAZLIČNIH WWR	47
GRAFIKON 32: ODVISNOST SKUPNE PORABE ENERGIJE NA SV FASADI OD WWR PRI RAZLIČNIH TIPIH ZASTEKLITVE	47
GRAFIKON 33: MINIMALNA ENERGIJA ZA OGREVANJE PRI RAZLIČNIH NAČINIH ZASNOVE FASADE.....	48
GRAFIKON 34: MINIMALNA ENERGIJA ZA HLAJENJE PRI RAZLIČNIH NAČINIH ZASNOVE FASADE	49
GRAFIKON 35: MINIMALNA ENERGIJA ZA OSVETLITEV PRI RAZLIČNIH NAČINIH ZASNOVE FASADE.....	50
GRAFIKON 36: MINIMALNA SKUPNA POTREBNA ENERGIJA PRI RAZLIČNIH NAČINIH ZASNOVE FASADE.....	50
GRAFIKON 37: PRIKAZ RABE ENERGIJE PRI MINIMALNI SKUPNI PORABI GLEDE NA VELIKOST ZASTEKLITVE	52
GRAFIKON 38: PORABE ENERGIJE ZA OGREVANJE ZA V FASADO.....	53
GRAFIKON 39: PORABE ENERGIJE ZA HLAJENJE ZA V FASADO.....	54
GRAFIKON 40: CELOTNA PORABA ENERGIJE ZA V FASADO	55
GRAFIKON 41: MINIMALNA ENERGIJA ZA OGREVANJE PRI RAZLIČNIH NAČINIH ZASNOVE FASADE.....	56
GRAFIKON 42: MINIMALNA ENERGIJA ZA HLAJENJE PRI RAZLIČNIH NAČINIH ZASNOVE FASADE	57
GRAFIKON 43: MINIMALNA ENERGIJA ZA OSVETLITEV PRI RAZLIČNIH NAČINIH ZASNOVE FASADE.....	57
GRAFIKON 44: MINIMALNA SKUPNA POTREBNA ENERGIJA PRI RAZLIČNIH NAČINIH ZASNOVE FASADE.....	58
GRAFIKON 45: PRIKAZ RABE ENERGIJE PRI MINIMALNI SKUPNI PORABI GLEDE NA VELIKOST ZASTEKLITVE	59
GRAFIKON 46: PORABE ENERGIJE ZA OGREVANJE ZA JV FASADO.....	61
GRAFIKON 47: PORABE ENERGIJE ZA HLAJENJE ZA JV FASADO	61
GRAFIKON 48: CELOTNA PORABA ENERGIJE ZA JV FASADO	62
GRAFIKON 49: SOLARNI DOBITKI NA JV FASADI V ODVISNOSTI OD POLOŽAJA NAMESTITVE POLICE.....	62
GRAFIKON 50: MINIMALNA ENERGIJA ZA OGREVANJE PRI RAZLIČNIH NAČINIH ZASNOVE FASADE.....	63
GRAFIKON 51: MINIMALNA ENERGIJA ZA HLAJENJE PRI RAZLIČNIH NAČINIH ZASNOVE FASADE	64

GRAFIKON 52: MINIMALNA ENERGIJA ZA OSVETLITEV PRI RAZLIČNIH NAČINIH ZASNOVE FASADE	64
GRAFIKON 53: MINIMALNA SKUPNA POTREBNA ENERGIJA PRI RAZLIČNIH NAČINIH ZASNOVE FASADE	65
GRAFIKON 54: PRIKAZ RABE ENERGIJE PRI MINIMALNI SKUPNI PORABI GLEDE NA VELIKOST ZASTEKLITVE.....	66
GRAFIKON 55: PORABE ENERGIJE ZA OGREVANJE ZA J FASADO	68
GRAFIKON 56: PORABE ENERGIJE ZA HLAJENJE ZA J FASADO	68
GRAFIKON 57: CELOTNA PORABA ENERGIJE ZA J FASADO	69
GRAFIKON 58: SOLARNI DOBITKI NA J FASADI V ODVISNOSTI OD POLOŽAJA NAMESTITVE POLICE.....	69
GRAFIKON 59: SOLARNI DOBITKI NA J FASADI V ODVISNOSTI OD TIPA SENČIL.....	70
GRAFIKON 60: MINIMALNA ENERGIJA ZA OGREVANJE PRI RAZLIČNIH NAČINIH ZASNOVE FASADE	71
GRAFIKON 61: MINIMALNA ENERGIJA ZA HLAJENJE PRI RAZLIČNIH NAČINIH ZASNOVE FASADE	71
GRAFIKON 62: MINIMALNA ENERGIJA ZA OSVETLITEV PRI RAZLIČNIH NAČINIH ZASNOVE FASADE	72
GRAFIKON 63: MINIMALNA SKUPNA POTREBNA ENERGIJA PRI RAZLIČNIH NAČINIH ZASNOVE FASADE	72
GRAFIKON 64: PRIKAZ RABE ENERGIJE PRI MINIMALNI SKUPNI PORABI GLEDE NA VELIKOST ZASTEKLITVE.....	74
GRAFIKON 65: ENERGIJA, POTREBNA ZA OGREVANJE, PRI POGOJIH ZA DOSEGO MINIMALNE SKUPNE ENERGIJE	75
GRAFIKON 66: ENERGIJA, POTREBNA ZA HLAJENJE, PRI POGOJIH ZA DOSEGO MINIMALNE SKUPNE ENERGIJE .	75
GRAFIKON 67: ENERGIJA, POTREBNA ZA OSVETLITEV, PRI POGOJIH ZA DOSEGO MINIMALNE SKUPNE ENERGIJE	76
GRAFIKON 68: MINIMALNA POTREBNA SKUPNA ENERGIJA PRI RAZLIČNIH VELIKOSTIH ZASTEKLITVE	76
GRAFIKON 69: MINIMALNA ENERGIJA, POTREBNA ZA OGREVANJE, PRI RAZLIČNIH VELIKOSTIH ZASTEKLITVE...	79
GRAFIKON 70: MINIMALNA ENERGIJA, POTREBNA ZA HLAJENJE, PRI RAZLIČNIH VELIKOSTIH ZASTEKLITVE.....	79
GRAFIKON 71: MINIMALNA ENERGIJA, POTREBNA ZA OSVETLITEV, PRI RAZLIČNIH VELIKOSTIH ZASTEKLITVE...	80
GRAFIKON 72: MINIMALNE VREDNOSTI POSAMEZNIH ENERGIJ PRI RAZLIČNIH SMEREH NEBA.....	80
GRAFIKON 73: RAZLIKE PRI VGRADITVI ZASTEKLITVE OPTIMALNE ZA DOLOČENO ORIENTACIJO NA DRUGO ORIENTACIJO	82
GRAFIKON 74: RAZLIKE OB VGRADITVI ENAKEGA NAČINA SENČENJA IN TIPA ZASTEKLITVE OPTIMALNE ZA DOLOČENO ORIENTACIJO FASADE NA DRUGO.....	83
GRAFIKON 75: PORAZDELITEV KDS PO GLOBINI PROSTORA GLEDE NA VELIKOST ZASTEKLITVE	87
GRAFIKON 76: UDI IN DA V ODVISNOSTI OD VELIKOSTI ZASTEKLITVE	87
GRAFIKON 77: PORAZDELITEV UDI ZA WWR 20 IN 100 %	88
GRAFIKON 78: POTREBA PO UMETNI RAZSVETLJAVI PO GLOBINI PROSTORA.....	89
GRAFIKON 79: POTREBA PO UMETNI RAZSVETLJAVI	92
GRAFIKON 80: PORAZDELITEV KDS PO GLOBINI PROSTORA GLEDE NA LT	96
GRAFIKON 81: NORMIRAN KDS PO GLOBINI PROSTORA GLEDE NA LT	96
GRAFIKON 82: UDI IN DA V ODVISNOSTI OD VELIKOSTI ZASTEKLITVE	97
GRAFIKON 83: VPLIV SENČIL NA UDI	99

Seznam uporabljenih okrajšav in definicije pojmov

U_g	Toplotna prehodnost zasteklitve okna
g	Faktor prepustnosti sončnega sevanja
LT	Light transmission - prepustnost zasteklitve za vidni del spektra sončnega sevanja
WWR	Window to wall ratio - razmerje med površino okna in fasade
EPBD	Energy Performance of Buildings Directive - direktiva o energetski učinkovitosti stavb
NFRC	National Fenestration Rating Council – nacionalni svet za rangiranje stavbnega pohištva
LBLN	Lawrence Berkeley National Laboratory – nacionalni laboratorij Lawrence Berkeley
KDS	Količnik dnevne svetlobe (razmerje med osvetljenostjo dveh točk ravnine pri standardnem oblačnem tipu neba. Ena točka se nahaja v prostoru druga pa zunaj)
DA	Daylight autonomy - avtonomija naravne svetlobe (količina, ki v odstotkih pove koliko časa je v času uporabe prostorov osvetljenost določene točke večja ali enaka od v naprej predpisane vrednosti)
UDI	Useful daylight illuminance - uporabna naravna svetloba (količina, ki v odstotkih pove koliko časa je v času uporabe prostorov osvetljenost določene točke v območju med 100 - 2000 lx)
CIE	Commission internationale de l'éclairage (International Commission on Illumination)

PRAZNA STRAN

1 UVOD

Pojem energija je težko opredeljiv. Vemo, da je neuničljiva, se nenehno spreminja in prehaja iz ene oblike v drugo ter iz stanja, kjer jo je več, tja, kjer jo je manj. Nekatero oblike znamo neposredno izkoristiti, druge pa moramo za to, da jih lahko uporabimo za želene namene še pretvoriti. Med pretvarjanjem in pretakanjem prihaja do neželenih izgub. Zaradi izgub se poveča poraba energije, s tem pa tudi stroški in negativni vplivi na okolje. Tega se zaveda tudi Evropska unija, ki je sprejela več dokumentov za zmanjšanje porabe energije. Glavni dokument je Direktiva o energetske učinkovitosti [1]. Poraba energije v stavbah EU predstavlja kar 40 % skupne porabe energije [1]. EU je zaradi omejenih količin fosilnih goriv še vedno močno odvisna od uvoza energije. Uvoz fosilnih goriv se je do leta 2012 povečeval, s tem pa tudi negativni vpliv na okolje [2]. Zaradi teh razlogov je poleg zmanjšanja porabe fosilnih goriv potrebno zmanjšati tudi porabo energije v stavbah. Pri tem igra zelo pomembno vlogo tudi pravilno dimenzioniranje oken. Evropska unija si je zadala do leta 2020 zmanjšati izpuste CO₂ za 300 milijonov ton. Tretjino bi lahko dosegli z uporabo energijsko učinkovite zasteklitve [3]. Laboratorij Lawrence Berkeley v Kaliforniji (ZDA) navaja, da izgube skozi okna predstavljajo okvirno 4 - 5 % letne porabe energije v ZDA, kar predstavlja 460 milijard evrov [4]. Kljub temu da je stanje v EU verjetno nekoliko boljše, lahko na podlagi vrednosti o porabi energije v ZDA vidimo, da obstaja velik motiv za optimizacijo zastekljenih površin.

Okna oziroma zastekljene površine so osnovni del skoraj vsake stavbe. Njihova glavna naloga je komunikacija z zunanostjo in dovod dnevne svetlobe v prostor. Poleg te osnovne funkcije morajo okna zagotavljati tudi primerno toplotno izolacijo, zaščito pred hrupom, zrakotesnost in zaščito pred kondenzacijo vodne pare. Zaradi zahtev in želje po energetsko čim varčnejših oknih pa vse prepogosto zanemarimo vpliv oken na zadostno in primerno osvetljenost prostorov z dnevno svetlobo. Ta je po študiji dnevne osvetljenosti pisarniškega prostora glede na vizualne in biološke vplive [5] namreč tesno povezana z zdravjem, počutjem in produktivnostjo ljudi v prostoru. Zato je potrebno oblikovanje zastekljenih površin prilagoditi tudi glede na potrebe po dnevni svetlobi. Za ugodne delovne pogoje je tako potrebno zagotoviti primerno količino in kvaliteto dnevne svetlobe. Pri oblikovanju zastekljenih površin je potrebno najti kompromis med energetsko učinkovitostjo in vizualno kvaliteto notranjih pogojev (primerna osvetljenost in porazdelitev svetlobe), ki jih bodo take površine zagotavljale. Pri tem velja omeniti, da zastekljene površine z večjimi izgubami toplote ne pomenijo nujno tudi večjih stroškov obratovanja podjetij, pisarn in ostalih stavb. S primerno zasnovo zastekljenih površin, senčil in sistema krmiljenja lahko na račun boljše naravne osvetljenosti namreč bistveno zmanjšamo porabo energije za razsvetljavo [6].

Okna so dandanes postala kompleksen element stavbnega ovoja. Na trgu dobimo okna z različnimi števili zasteklitev, polnili prostora med stekli, nizko emisijskimi premazi, tipi okvirjev in različnimi vrstami medstekelnih distančnikov. V zadnjem času so se na trgu začele pojavljati tudi nove tehnologije, npr. prosojna izolacija (aerogel) in razna pretična pametna okna, ki spreminjajo svoje optične lastnosti v skladu z zunanjimi pogoji (elektrokromna, fotokromna, ...).

Zaradi zelo velike ponudbe je zato primerna izbira oken, ki bi ustrezala tako vizualnim in tehničnim zahtevam standardov kot tudi željam posameznikov, postala vse prej kot enostavno opravilo. Če pa želimo okno oziroma steklene površine določiti tako, da bodo optimalne z vidika energetske kot tudi vizualne učinkovitosti, pa to postane kompleksen problem. Sploh ker se pogoja med seboj velikokrat izključujeta. To pomeni, da pri isti površini praviloma velja naslednje – boljša, kot je energetska bilanca oken, slabši so vizualni pogoji v notranjosti prostora. Oba pogoja sta odvisna od številnih faktorjev. Te lahko razdelimo na pogoje na lokacij in v objektu. Glavni pogoji na lokaciji, ki vplivajo na iskanje optimalne zasteklitve, so podnebje, makro in mikro lokacija objekta (sosednji objekti, ovire) in orientacija objekta. Med pomembnejše notranje pogoje štejemo namembnost in obliko prostora, urnik zasedenosti, notranje vire toplote (razsvetljava, oprema, ljudje), lastnosti površin (stene, stropi, tla) in zakonske zahteve za posamezne prostore oziroma dejavnosti. Zaradi spreminjanja vseh faktorjev, ki vplivajo na optimizacijo zastekljenih površin, vidimo, da povsem točno optimalnega okna za področje celotne Slovenije ne moremo določiti. Vsak objekt je namreč unikatni izdelek, ki ima specifične pogoje. Ker ti specifični pogoji oziroma vplivi za izbiro energijsko in optično primernih zastekljenih površin niso najpomembnejši, smo se osredotočili na faktorje, ki so (orientacija, tip in velikost zasteklitve,...). Na podlagi analize najbolj pomembnih vplivov zasteklitve na porabo energije in vizualne pogoje v prostoru, lahko določimo priporočila za primerno oblikovanje zastekljenih površin, ki veljajo za širši krog objektov. Odločili smo se, da bomo izdelali priporočila za zasteklitev osnovnih šol v osrednji Sloveniji. V želji po optimalnih vizualnih pogojih v učilnicah in čim manjši porabi energije smo se lotili iskanja ugodnih načinov oblikovanja in lastnosti zasteklitve.

1.1 Namen in cilj diplomske naloge

Namen diplomske naloge je določiti optimizirano okno oziroma predvsem zasteklitve, za šole v osrednji Sloveniji. Optimalna zasteklitve okna mora zagotoviti čim nižje izgube energije in hkrati čim boljše bivalne in delovne pogoje v prostoru. Končni cilj je pripraviti izhodišča za izbiro primerne zasteklitve ob upoštevanju orientacije, velikosti, lastnosti zasteklitve ter načina senčenja za uporabo v učilnicah osnovnih šol. Takšna priporočila bi projektantom,

energetskim managerjem in javnosti omogočila lažjo izbiro oken glede na kriterije notranjih vizualnih razmer (količina dnevne svetlobe, enakomernost osvetlitve, bleščanje) in porabe energije. V sklopu diplomske naloge bodo izsledki analize uporabljeni pri določanju izbire oken na praktičnem primeru - Osnovni šoli Simona Jenka Kranj - center.

1.2 Hipoteze

Na podlagi predhodno pridobljenega znanja pričakujem, da bodo rezultati analize pokazali, da se tip zasteklitve in način senčenja, s katerim dosežemo minimalno porabo skupne energije, razlikuje od tipa zasteklitve in načina senčenja za dosego optimalnih vizualnih pogojev v prostoru. Na podlagi različnih pogojev pri različnih orientacijah pričakujem, da se bodo optimizirane izbire oblikovanja zasteklitve in senčenja pri različnih orientacijah med seboj razlikovale (po tipu in velikosti zasteklitve, ter načinu senčenja). Zaradi relativno visokih solarnih dobitkov pričakujem tudi, da se bo za posamezne orientacije dvojna zasteklitev izkazala za najprimernejšo. Na podlagi uporabe enotnih označb oken z informacijami o tehničnih karakteristikah okna v tujini, ki vsebujejo tudi faktor g , pričakujem, da ima ta faktor pomemben vpliv na porabo energije v stavbah.

1.3 Metoda dela in struktura diplomske naloge

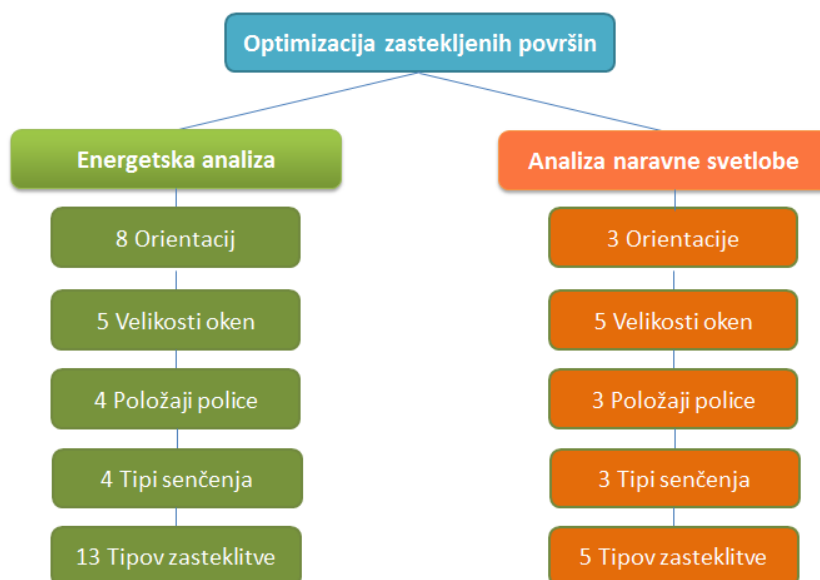
Na začetku smo se optimizacije zasteklitve v stavbah in s tem povezanimi prihranki energije lotili kot vsakega drugega problema – s študijem že obstoječe literature. Zaradi pomanjkanja literature v slovenskem jeziku smo se lotili predvsem študija tuje literature. S pomočjo izvedenih analiz tujih avtorjev smo oblikovali okvir naše analize in dejavnike oziroma spremenljivke, ki jih bomo upoštevali v naši študiji.

Vseh dejavnikov, ki vplivajo na dejansko porabo energije in vizualne pogoje v prostoru je zelo veliko, zato vseh z računalniško simulacijo ni mogoče in ni smiselno upoštevati. Analiza, ki bi zajela vse faktorje, bi bila preveč obsežna, časovno potratna in zaradi zelo velikega števila različnih vplivov tudi težko razumljiva. V prvem delu smo se zato osredotočili na vpliv zastekljenih površin in njihove zasnove na porabo energije v šolah. V drugem delu pa na analizo vizualnih vplivov in pogojev v učilnici. Na podlagi slovenskih standardov in zahtev smo določili vhode podatke za analizo. Najprej smo določili vpliv posamezne lastnosti zasteklitve (U_g , g , LT) na porabo energije v prostoru, nato pa smo izvedli analizo energetske optimizacije zastekljenih površin. Osredotočili smo se na 5 faktorjev, ki imajo na določeni lokaciji največji vpliv na porabo energije v prostoru. Opazovali smo:

- vpliv lastnosti zasteklitve (12 različnih tipov zasteklitve),

- velikosti zasteklitve (WWR 20 %, 40 %, 60 %, 80 %, 100 %),
- orientacije (S, SV, V, JV, J, JZ, Z, SZ),
- položaj nadstreška oziroma police, namenjene zaščiti pred soncem (brez police, nad oknom, na sredini okna, pod oknom),
- senčila (brez senčil, tekstilna senčila na notranji strani, žaluzije na zunanji strani).

Prikaz preučevanih parametrov, ki vplivajo na porabo energije, je prikazan na sliki 1. Ker je analiza naravne osvetljenosti prostorov časovno zelo zamudna, smo se zaradi velikega števila modelov pri energetski analizi (cca 8000) morali nekoliko omejiti (Slika 1). Na podlagi rezultatov energetske analize smo za preiskavo vpliva posameznih najbolj pomembnih vplivov na vizualne pogoje v prostoru določili veliko manjši vzorec (72 modelov).



Slika 1: Prikaz preučevanih faktorjev v izvedenih analizah

Po končani analizi smo na podlagi rezultatov obeh analiz za posamezne orientacije oblikovali kratka navodila za doseg ugodnih energetskih in optičnih karakteristik učilnice. Ta navodila smo uporabili za oceno možnih prihrankov v primeru zamenjave oken na Osnovni šoli Simona Jenka Kranj – center.

2 PREGLED ZAKONODAJE IN ŠTUDIJ S PODROČJA VPLIVA OKEN NA PORABO ENERGIJE IN VIZUALNE POGOJE V PROSTORU

2.1 Pregledane študije

2.1.1 Študije o energetske varčnih oknih

Na začetku smo s pomočjo brošure Energetske učinkovite zasteklitve in okna [7] spoznali oziroma osvežili osnovna znanja o oknih. Natančneje smo si ogledali mehanizem prenosa toplote skozi okna, vrste oken in predvsem vrste in lastnosti različnih zasteklitve. S pomočjo brošure smo spoznali tipe zasteklitve (enojna, dvojna, trojna), vrste nizkoemisijjskih premazov in polnil medstekelnega prostora. V brošuri smo zasledili tudi tako imenovana kromatska stekla. Zaradi vse pogostejše uporabe teh stekel smo se odločili, da bomo v analizi zajeli tudi elektrokromno zasteklitve. S pomočjo te brošure smo oblikovali lastnosti oken, ki smo jih uporabili v naši analizi. Ugotovili smo, da zasteklitve opravlja več funkcij: komunikacija z okoljem, toplotna izolacija in varovanje pred zunanjimi vplivi. Lastnosti zasteklitve za dobro osvetljenost prostorov se razlikujejo od lastnosti zasteklitve, ki dobro opravlja toplotno izolacijsko funkcijo. Zato smo se odločili, da bomo več pozornosti posvetili zastekljenim površinam oken. Ker so nas zanimale tehnične karakteristike različnih zasteklitve, smo si pomagali s knjigo Gradimo s steklom podjetja Reflex [8]. V tej knjigi smo se podrobneje spoznali z lastnostmi zasteklitve, njihovimi polnili in premazi. Navedeni so tudi standardi s pomočjo katerih se določajo gradbeno fizikalne in optične lastnosti zasteklitve (U_g , g , LT). Na podlagi tehničnih podatkov izolacijskih stekel podjetja Reflex smo v analizi določili gradbeno fizikalne in optične lastnosti zasteklitve. Ker je v slovenskih tehničnih predpisih pozornost skoraj izključno posvečena le faktorju toplotne prehodnosti zasteklitve, smo preverili prakso v tujini. V članku Solar Heat Gain Ignorance [9] je predstavljena pomembnost uporabe faktorja prepustnosti sončnega sevanja. V nekaterih državah (Kanada, Danska, Velika Britanija) pri označevanju oken in izračunih že več kot 10 let uporabljajo tudi faktor g . Na ta način za razliko od Slovenije okna ne obravnavajo kot stene, ki ne prepušča sončnega sevanja. V članku je naveden primer dveh oken. Iz energetskega stališča je okno z $U = 2.3 \text{ W/m}^2\text{K}$ in faktorjem $g = 0,54$ enako oknu z $U = 1.9 \text{ W/m}^2\text{K}$ in faktorjem $g = 0,34$. V članku je navedeno, da je potrebno karakteristike okna (U_g in g) in njihov vpliv na porabo energije določiti za točno določene podnebne lastnosti. Predlagajo vzpostavitev energetskega sistema rangiranja oken. Tak način se pripravlja tudi v EU. V Evropi tak sistem poznamo pod kratico EWERS (European window energy rating system) [10]. Sistem naj bi ocenil energijske karakteristike

okna podobno kot pri energetske izkaznici (od A - G). Okno bi dobilo svojo oceno za vsako stran neba posebej.

2.1.2 Študije o direktnem vplivu oken na porabo energije v stavbah

Vpliv izbire oken in predvsem njihove zasteklitve na porabo energije je zelo velik. Zato veliko študij svojo pozornost posveča iskanju optimalne zasteklitve in tipa senčenja. Študije obravnavajo več različnih faktorjev in njihove kombinacije (WWR, orientacija, lokacija, dimenzije in namembnost prostorov, umik obratovanja,...). Pri tem uporabljajo različno programsko opremo (Trnsys, Energy plus, Comfen, ZEBO, NewFacades,...). Na podlagi študije Seok - Hyun Kima [11] smo se odločili, da bomo v naši analizi uporabljali program Comfen. Študija je pokazala tudi, da imajo senčila velik vpliv na porabo energije v stavbah. Za primerno zasnovo je potrebno velikost in lastnosti zasteklitve preučiti skupaj z vplivom senčil. Študija (Tzempelikos, A) [6] je pokazala, da ima senčenje poleg vpliva na porabo energije za hlajenje velik vpliv tudi na osvetlitev notranjih prostorov, zato je potrebno pri iskanju primerne zasteklitve upoštevati tudi notranjo osvetlitev. Na podlagi študij Lee J.W. [12] in Khezri, A. N. [13] smo določili opazovane faktorje, ki imajo največji vpliv na porabo energije za ogrevanje, hlajenje in osvetlitev prostorov (orientacija, WWR, tip zasteklitve in način senčenja).

2.1.3 Študije o naravni osvetljenosti prostorov

V večini študij oken oziroma zastekljenih površin je poleg porabe energije za ogrevanje in hlajenje veliko pozornosti posvečeno tudi porabi energije za osvetlitev prostorov. To je, predvsem v fazi načrtovanja stavbe, s primernimi ukrepi (primerna orientacija, velikost in tip zasteklitve) možno občutno zmanjšati (Tzempelikos, A) [6]. V tej študiji so dokazali, da se v Montrealu (leži približno na isti geografski širini kot Ljubljana) rast faktorja zadostne osvetljenosti (DA) z večanjem zasteklitev hitro upočasni. To pomeni, da z bistveno večjimi okni ne dosežemo veliko višjega faktorja DA. S podobnim problemom oblikovanja zasteklitve so se ukvarjali tudi v študij Energy saving through the sun [14]. Pri tej študiji smo se seznanili z napredno in dostopno računalniško programsko opremo (Radiance, Daysim) in povezavami med programi, potrebnimi za doseg našega cilja. Uporabljena programa Radiance in Daysim v svojih izračunih uporabljata Perezov model neba. To je matematičen model neba, ki pri izračunu porazdeljenosti osvetlitve po nebu upošteva realne vremenske podatke, značilne za določeno lokacijo. Realni vremenski podatki so določeni na podlagi dolgoletnih opazovanj merilnih postaj na lokaciji. Perezov model v svojih izračunih svetilnosti

neba uporablja parametra svetlosti in jasnosti neba, ki ju določi na podlagi meritev difuznega in direktnega sončnega sevanja merilne postaje. Raziskave natančnosti različnih matematičnih modelov neba so pokazale, da je za simulacijo realnih pogojev Perezov model neba v večini primerov bolj natančen kot standardni CIE modeli neba [15]. Ker programa omogočata izračun količin odvisnih od lokacije in podnebja (UDI, DA), smo analizo osvetljenosti izvedli s pomočjo teh količin. Tak pristop k analizi osvetljenosti sta utemeljila Nabil A. in Mardaljević J. [16].

2.2 Zakonodajne zahteve

2.2.1 Dimenzije učilnice

Pred začetkom analize smo morali določiti vhodne robne pogoje. Te je bilo treba definirati v skladu z zahtevami slovenskih zakonov, navodil in standardov. Pri ostalih predpostavkah, ki niso točno definirane, smo morali paziti, da se kar najbolje ujemajo z dejanskim stanjem prakse v Sloveniji. Predpise je bilo treba upoštevati pri določanju dimenzij in osvetljenosti učilnice, zagotavljanju primerne prezračevanja kot tudi definiciji konstrukcijskega sklopa in lastnostih zasteklitve. Standardna tlorisna površina učilnic v šolah je odvisna od vrste dejavnosti in števila otrok v učilnici. Vsak otrok naj bi imel na voljo vsaj $1,8 - 2 \text{ m}^2$ tlorisne površine učilnice. Tako površina učilnice znaša okrog 65 m^2 [17]. Slovenski predpisi so na tem področju dokaj zastareli. Temeljijo namreč na dokumentu iz leta 1968 (Normativi za graditev in opremo osnovnih šol v SR Sloveniji – dodatek Uradnemu listu SRS, št. 21, Ljubljana 1968) [18]. V tem normativu je velikost učilnice določena z minimalno predpisano površino in prostornino na enega učenca. Minimalna površina znaša $1,7 \text{ m}^2$, minimalna prostornina pa 5 m^3 . Normativ je v času nastanka upošteval, da je v učilnici 36 učencev. Na ta način lahko določimo minimalno površino ($61,2 \text{ m}^2$) in svetlo višino učilnice (2,94 m oziroma 3 m). V novejših navodilih za graditev osnovnih šol v Republiki Sloveniji [19] določitev minimalne tlorisne površine učilnice ni bistveno drugačna od normativov iz leta 1968. Minimalna površina znaša 60 m^2 . Ta površina mora biti zagotovljena za 28 (v starih predpisih 36) učencev na oddelek.

2.2.2 Osvetlitev učilnice

Večina učilnic v osnovnih šolah ima okna nameščena le na eni fasadi. Ta informacija je zelo pomembna pri osvetljenosti prostora. Za zagotavljanje ustrezne naravne osvetljenosti prostorov sta zato predpisani minimalna velikost zasteklitve in maksimalna globina učilnice.

V navodilih za graditev osnovnih šol v Republiki Sloveniji [19] teh predpisov ni, zato smo si pomagali s Pravilnikom o normativih in minimalnih tehničnih pogojih za prostor in opremo vrtca [20]. Pravilnik v 49. členu navaja: »Neposredna naravna osvetlitev je dosežena, če skupna površina obdelanih zidarskih odprtin (pri tem se upošteva samo tisti del odprtine, ki je več kakor 50 cm nad gotovim podom), namenjenih osvetlitvi, dosega najmanj 20 odstotkov neto tlorisne površine prostora«. Pri tem globina prostora ne sme biti večja od dveh in pol višin od tal do zgornjega roba okna ali pa mora biti prostor osvetljen z dveh strani«. Minimalne vrednosti osvetlitve v šolah so definirane v standardu SIST EN 12464-1 [21]. Minimalna osvetljenost delovne površine za osnovne šole znaša 300 lx. Ta vrednost je relativno nizka. Za knjižnice in pisarne je minimalna osvetljenost namreč 500 lx.

2.2.3 Ogrevanje in prezračevanje učilnice

Tudi ogrevanje in notranji pogoji za učilnice v navodilih za graditev osnovnih šol v Sloveniji [19] niso definirani. Zato smo se sklicevali na 50. člen Pravilnika o tehničnih zahtevah v vrtcih, ki predpisuje, da morajo biti prostori ogrevani na 20 °C [20]. V Pravilniku o prezračevanju in klimatizaciji stavb je v 14. členu zahtevano, da mora biti temperatura zraka za sedeče osebe v času brez ogrevanja med 22 °C in 26 °C, v času ogrevanja pa med 19 °C in 24 °C [22]. V 8. členu Pravilnika o prezračevanju in klimatizaciji stavb je predpisan najmanjši potrební vtok zunanjega zraka. Ta v prostorih, kjer kajenje ni dovoljeno znaša 15 m³/h [22].

2.2.4 Orientacija

V Navodilih za graditev osnovnih šol v Republiki Sloveniji [19] je glede orientacije podano naslednje priporočilo: »Za matične učilnice je najugodnejša južna ali jugovzhodna (do 10 stopinj) orientacija. Pri taki legi je v toplejšem letnem obdobju, ko je sonce visoko, možno že z majhnim napuščem preprečiti prehudo osončenje (pregrevanje) prostorov. Poleg južne orientacije je za predmetne učilnice ustrezna tudi orientacija na sever, predvsem za likovno vzgojo. Ob upoštevanju lokalnih pogojev, tehničnih in drugih faktorjev, ki vplivajo na higiensko - tehnično rešitev (dognana zaščitna sredstva pred vetrom, mrazom, osončenjem, pregrevanjem prostorov, zunanjim hrupom itd.) je mogoče prostore za pouk poljubno orientirati. V vsakem primeru mora projektna dokumentacija vsebovati ustrezno dokumentacijo, ki predlagano rešitev opravičuje. Za vse druge prostore v šoli je važna predvsem celodnevna pravilna osvetljenost«.

2.2.5 Tehnične zahteve za okna

Tehnične zahteve oken in njihove zasteklitve so v Sloveniji v največji meri posvečene toplotni prehodnosti. Zahteve o maksimalnih dovoljenih vrednostih, ki jih morajo izpolnjevati okna, vgrajena v stavbe v Sloveniji so podane v Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah – PURES 2010. »11. člen (zahteve za okna) (1) V ogrevanih stanovanjskih in poslovnih prostorih stavbe se smejo uporabljati okna s toplotno prehodnostjo zasteklitve največ $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$. Toplotna prehodnost celotnega okna (stekla in nosilnega okvirja) sme biti največ $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$. 14. člen (zaščita proti sončnemu obsevanju in toplota sonca) (1) Vse zastekljene površine na ovoju stavbe s površino stekla nad $0,5 \text{ m}^2$ razen tistih, ki so obrnjene v smeri od severovzhoda, severa do severozahoda ali so v juniju med 9. in 17. uro zasenčene z naravno ali umetno oviro, morajo omogočati zaščito pred sončnim obsevanjem in bleščanjem, pri kateri je ob upoštevanju vpliva položaja vgradnje faktor prepustnosti celotnega sončnega sevanja stekla in senčila $g < 0,5$ « [23].

3 UPORABLJENA SIMULACIJSKA ORODJA IN ZASNOVA TESTNE UČILNICE

3.1 Uporabljena simulacijska orodja

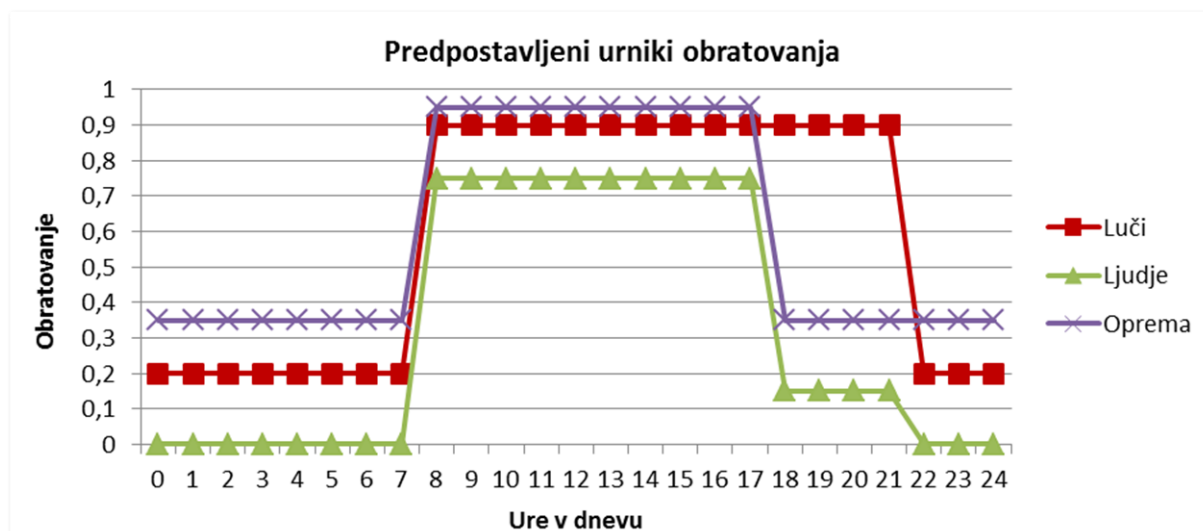
3.1.1 Energetska analiza

Energetski del analize smo izvedli z računalniškim programom Comfen [24] (COMmercial FENestration). Gre za program, ki so ga razvili v Lawrence Berkeley National Laboratory (LBLN) v Kaliforniji, ZDA. Program je namenjen arhitektom in drugim inženirjem za ugotavljanje vplivov posameznih faktorjev in variant zasteklitve na porabo energije in vizualne pogoje v prostoru. Uporablja se za šole, pisarne, hotele in trgovine. Razvit je bil v sodelovanju z DOE (Department of Energy). Program je prosto dostopen na spletu. V Comfenu je mogoče nastaviti zelo veliko različnih parametrov (orientacija, senčila, stopnja prezračevanja, velikost in lastnosti zasteklitve, lastnosti okvirjev, sten, lokacije,...). Ker pa je program dokaj enostaven, ima tudi relativno veliko omejitev. Omejen je na pravokotne prostore, nameščanje oken dovoljuje le na eni stranici prostora, moč je obravnavati le eno toplotno cono, ki ima lahko le eno zunanjo steno. Ostale površine (notranje stene strop in tla) pa so adiabatne. To pomeni, da skozi te površine energija ne prehaja (ni izgub in dobitkov). Program Comfen je neke vrste poenostavljen uporabniški vmesnik za veliko bolj kompleksna programa, ki delujeta v ozadju. Prvi je Energy plus [25], ki skrbi za energetske izračune, drugi pa je Radiance [26]. Oba programa sta bila izdelana s pomočjo LBLN in DOE. Tudi ta

dva izredno kvalitetna programa sta na voljo brezplačno na internetu. V primerjavi s Comfenom sta veliko bolj kompleksna, in zato težja za uporabo in primerjavo rezultatov. Prva verzija programa Energy plus je bila izdana leta 2001 na podlagi predhodnih aplikacij DOE-2 in BLAST. Energy plus je neke vrste open source program, ki se stalno nadgrajuje in na ta način postaja vse boljši in zanesljivejši. Program je namenjen podrobnim simulacijam ogrevanja, hlajenja, prezračevanja, osončenja,... Zaradi časovnega intervala krajšega od ene ure so rezultati lahko zelo natančni. Največja pomanjkljivost programa je odsotnost lastnega grafičnega vmesnika, zaradi česar je poleg zapletenega izpisa rezultatov ta program za našo analizo manj primeren.

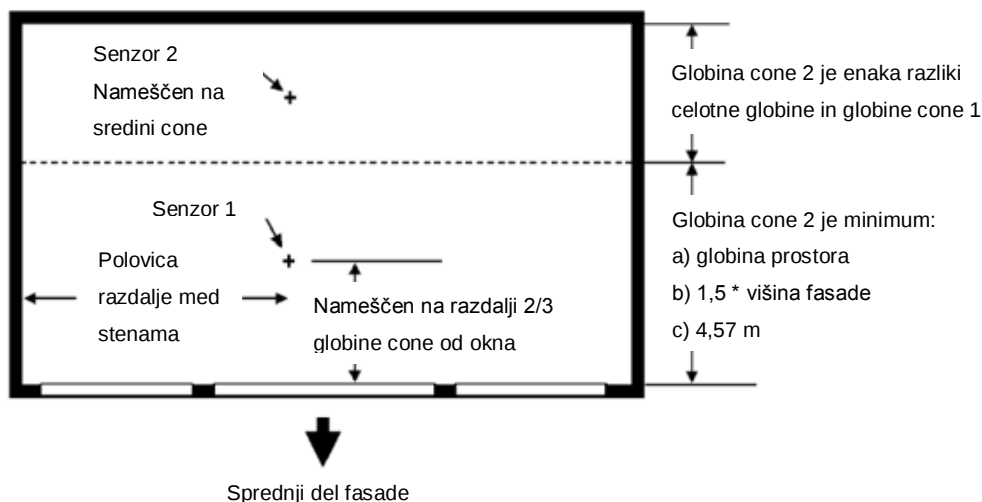
3.1.2 Predpostavke programa Comfen

V Comfenu ni mogoče spreminjati urnikov uporabe niti sistema ogrevanja in hlajenja. Vse te lastnosti in karakteristike so vezane na izbiro namembnosti prostora. V našem primeru nas zanimajo šole. Urnik obratovanja in zasedenosti šole najlažje prikažemo grafično (grafikon 1). Ta urnik velja samo za delovnike, ko je šola odprta. Med počitnicami prostor ni reguliran.



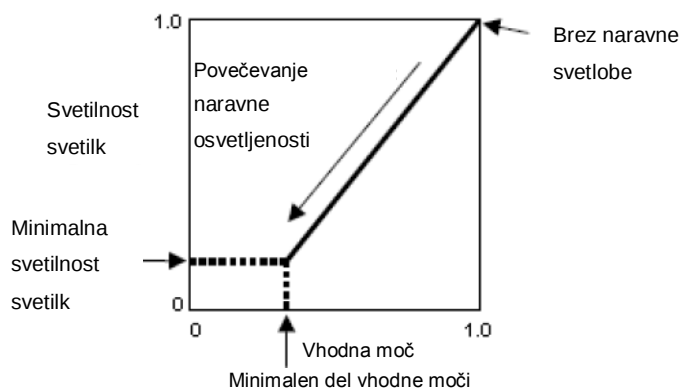
Grafikon 1: Predpostavljeni urnik zasedenosti, uporabe luči in opreme za šole, ki ga uporablja Comfen

Da bi lahko določili potencial za prihranek energije za osvetlitev prostora, smo v programu izbrali kontinuiran nadzor nad osvetlitvijo prostora z možnostjo zatemnitve sijalk. Luči se v času obratovanja prižgejo, če oziroma ko osvetljenost pade pod predpisano vrednost. Luči so razdeljene v dve coni osvetljevanja. Vsaka cona ima le eno točko, kjer se kontrolira osvetljenost. Če osvetljenost v točki določene cone pade pod 500 lx, se luči v tej coni prižgejo. Sistem izračuna referenčnih točk v programu Comfen je v naprej določen (Slika 2).



Slika 2: Položaj točk, kjer so nameščeni senzorji za nadzor nad svetilkami (Vir: [27])

V našem primeru se prva točka nahaja na oddaljenosti 3,05 m, druga pa 5,8 m od zunanje fasade. Referenčna višina je 0,76 m nad tlemi. Prva cona nadzoruje 65 % luči, druga cona pa preostalih 35 %. Luči v času, ko ni naravne osvetlitve in so prostori še zasedeni, sijalke delujejo s polno močjo. Ko pa je naravne svetlobe dovolj, se moč sijalk zaradi zatemnitve močno zmanjša. Minimalna vrednost zatemnitve je pogojena z lastnostmi svetilke. Grafični prikaz delovanja luči (slika 3).



Slika 3: Grafični prikaz regulacije svetilk (Vir: [27])

3.1.3 Analiza dnevne osvetljenosti

Za podrobnejšo analizo vizualnih pogojev in vpliva posameznih ukrepov smo poleg Comfena, ki uporablja Radiance, uporabili še študentsko verzijo Autodesk - ovega programa Ecotect Analysis 2011 [28]. Program je tako kot Energy plus namenjen natančnim simulacijam na področju porabe energije (ogrevanje, hlajenje, prezračevanje, osončenost,...) v stavbi. Uporablja se tudi za analizo pogojev v prostoru (vizualni in akustični pogoji).

Energetske analize v tem programu nismo izvedli, zato ker je veliko bolj kompleksen in so zato posledično tudi rezultati med seboj težje primerljivi kot v Comfenu. Program smo skupaj z dodatkom Radiance [26] in Daysim [29] uporabili za določitev vpliva posameznih ukrepov na kvaliteto naravne osvetlitve v prostoru. Ta dva dodatna programa sta namenjena natančnejši analizi in vizualizaciji optičnih pogojev v prostoru. Mednje štejemo predvsem osvetljenost, enakomernost osvetlitve in pojav bleščanja. S pomočjo teh dveh programov je moč določiti KDS in osvetljenost pri različnih tipih neba in vrstah senčil (fiksni in dinamični), kot tudi uporabno dnevno osvetljenost (UDI) in avtonomijo naravne svetlobe (DA) za realne pogoje.

3.2 Zasnova testne učilnice

3.2.1 Dimenzije učilnice

Pri določanju dimenzij učilnice smo si pomagali s knjigo Projektiranje v stavbarstvu [17] in glavnim dokumentom za določitev dimenzij – Navodila za graditev osnovnih šol v Republiki Sloveniji [19]. Na podlagi teh zahtev in navodil smo določili dimenzije učilnice, ki smo jo uporabili v analizi. Površino učilnice smo zaokrožili na 63 m^2 , svetlo etažno višino pa smo povečali na 3,5 m. Za to višino smo se odločili, ker je v Sloveniji še vedno veliko starih šol s svetlo etažno višino večjo od 3 m. [30]. Dimenzije učilnice, uporabljene v naši analizi, tako znašajo $9 \text{ m} \times 7 \text{ m} \times 3,5 \text{ m}$. S tem smo dobili prostor z volumenom $220,5 \text{ m}^3$ in zunanjo fasadno površino $31,5 \text{ m}^2$. Predpostavljamo, da je ta fasada edina površina učilnice, ki je v stiku z zunanostjo.

3.2.2 Osvetljenost učilnice

Iz zahtev Pravilnika o normativih in minimalnih tehničnih pogojih za prostor in opremo vrtca [20] sledi, da znaša minimalna površina oken v učilnici $12,6 \text{ m}^2$. V primeru naše učilnice površina zunanje stene, kjer so nameščena okna, znaša $31,5 \text{ m}^2$. Okna z minimalno površino zasteklitve tako predstavljajo ravno 40 % celotne površine zunanje stene. Ta površina zasteklitve fasade predstavlja izhodiščno vrednost. Poleg te variante smo preizkusili še 4 druge velikosti (preglednica 3). Količino oziroma razmerje med površino oken in fasade označimo kot WWR (window to wall ratio). Ko poznamo minimalno površino zasteklitve, lahko preverimo, če dimenzije učilnice ustrezajo 49. členu Pravilnika o minimalnih tehničnih pogojih za vrtce [20]. Za kontrolo potrebujemo višino, na kateri se nahaja zgornji rob okna. Višina parapeta ni določena s predpisi, zato smo se na podlagi izkušenj odločili za višino 80

cm. Okno z minimalno potrebno površino ima dimenzije 6,36 m x 1,98 m. V tem primeru se zgornji rob okna nahaja na višini 2,78 m od tal. Za zadostitev zahtev 49. člena Pravilnika o minimalnih tehničnih pogojih za vrtce [20] mora biti pri teh dimenzijah minimalne zasteklitve globina učilnice manjša ali enaka 7 m. Izračun pokaže, da naša globina učilnice s 6,95 m ravno še ustreza predpisom. Ker je osvetljenost učilnice zelo odvisna tudi od lastnosti zasteklitve, zunanjih objektov in orientacije, osvetljenost kljub minimalnim zahtevam [20] pogosto pade pod minimalno dopustno osvetljenost delovne površine učencev, zato si moramo tudi preko dneva pogosto pomagati z umetno razsvetljavo. Premajhna osvetljenost delovne površine se pojavlja zlasti na mizah, ki so najbolj oddaljene od okna. Po standardu SIST EN 12464-1 [21] minimalna osvetljenost za učilnice znaša 300 lx, za knjižnice in bralnice pa 500 lx. Na podlagi teh vrednosti in priporočil internega gradiva pri predmetu Zgradba, okolje, energija [31] smo oblikovali priporočene vrednosti (Preglednica 1).

Preglednica 1: Priporočene vrednosti na delovni površini v šolah

Priporočene vrednosti		
E_{pov} [lx]	KDS_{pov} [%]	KDS_{pov}/KDS_{min}
500	5%	3

3.2.3 Temperatura v prostoru

Urnikov ogrevanja in hlajenja kot tudi nastavitve projektnih temperatur se v programu Comfen ne da spreminjati. Ti so določene na podlagi namembnosti prostora. Temperature za šole v času ogrevalne sezone znašajo: 21 °C v času uporabe prostorov in 16 °C izven časa uporabe. V poletnih mesecih želena temperatura v času obratovanja znaša 24 °C. V času, ko objekt ni zaseden, pa naj temperatura ne bi presegla 27 °C. Taki temperaturni notranji pogoji so v skladu s Pravilnikom o minimalnih tehničnih zahtevah za vrtce [20] kot tudi Pravilnikom o prezračevanju in klimatizaciji stavb [22].

3.2.4 Prezračevanje učilnice

Prezračevanje stavbe je element načrtovanja notranjih prostorov, ki mu velikokrat posvečamo premalo pozornosti. Pravilno prezračevanje prostorov ima namreč relativno velik vpliv na porabo energije v stavbah kot tudi kvaliteto bivalnih pogojev v prostoru. Počutje, zdravje in produktivnost ljudi v prostoru je v veliki meri odvisno tudi od ugodnega prezračevanja. Pravilno in predvsem zadostno prezračevanje postane zelo pomembno zlasti pri večjih koncentracijah ljudi v prostoru. Med take prostore štejemo tudi šole. Stopnjo prezračevanja smo določili glede na Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb [22]. Na

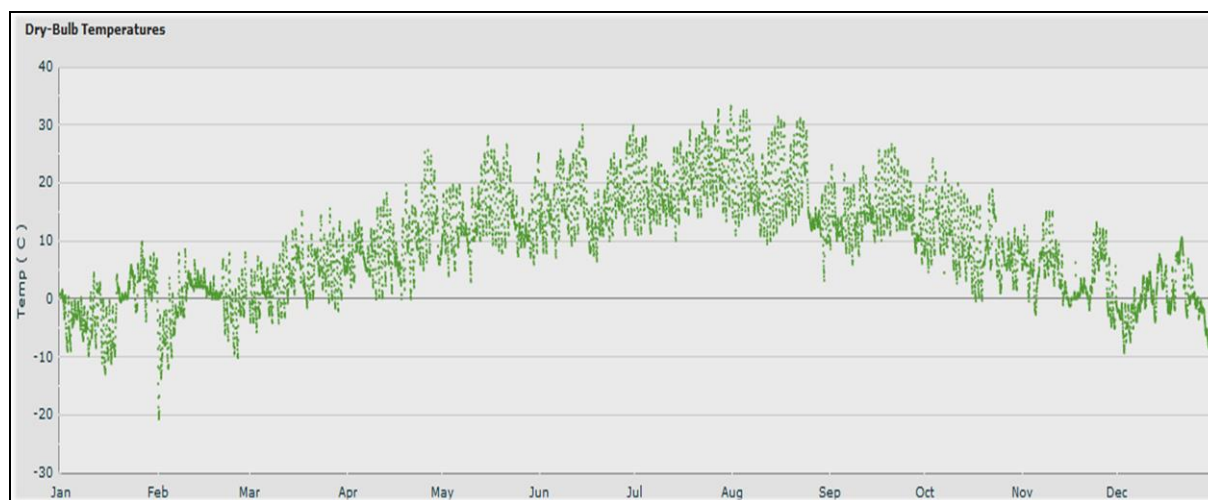
podlagi pravilnika in predpostavljenega števila ljudi v prostoru lahko izračunamo količino potrebnega svežega zraka na uro. Predpostavili smo, da se v učilnici nahaja 30 ljudi in na ta način dobili vrednost 450 m^3 svežega zraka na uro.

3.2.5 Orientacija učilnice

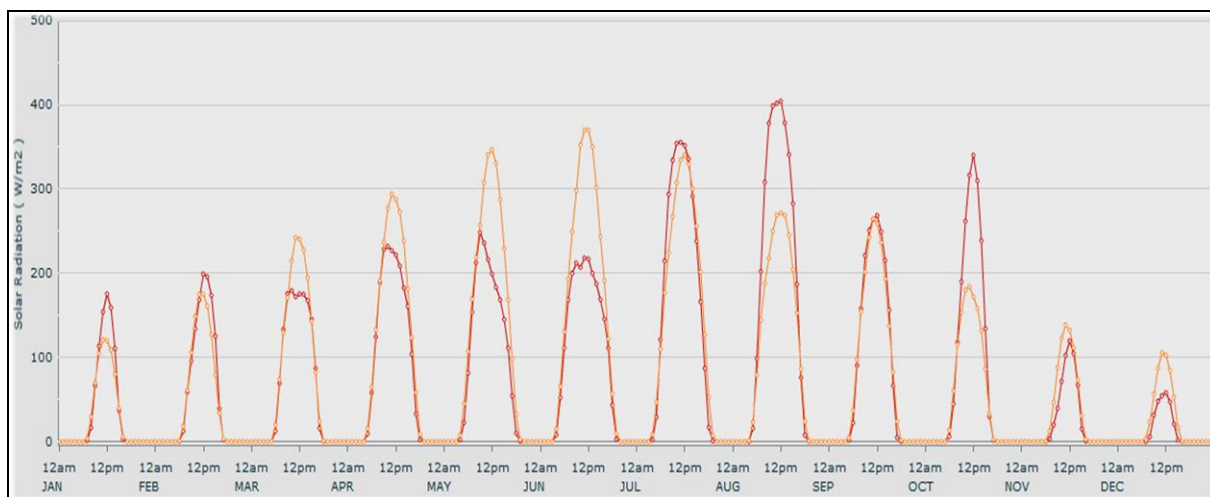
Predvidevamo, da ima orientacija zastekljenih površin v učilnici velik vpliv na porabo energije in delovne pogoje v učilnici. Ker orientacija v Navodilih za graditev osnovnih šol v Sloveniji [19] ni omejena na določene smeri neba, to pomeni, da lahko teoretično orientiramo učilnico v poljubni smeri. Zato smo se odločili, da v analizi zajamemo vse glavne smeri neba in si pogledamo še vmesne variante (SV, JV, JZ, SZ). Na ta način smo v analizi dobili 8 orientacij, pri katerih smo iskali minimalno porabo energije in optimalne optične pogoje v prostoru. V rezultatih analize bomo podali optimalno orientacijo za zastekljene površine šole.

3.2.6 Klimatski podatki

Program Comfen smo uporabili za energetsko analizo različnih primerov zasteklitve in senčenja šolske učilnice. V tem poglavju so navedeni vhodni podatki. Eden izmed najbolj pomembnih vhodnih podatkov je datoteka, v kateri se nahajajo informacije o podnebjju in geografskih podatkih izbrane lokacije. Za Slovenijo smo uporabili datoteko, dostopno na internetni strani programa Energy plus [32]. V tej datoteki so za Ljubljano zajeti reprezentativni podatki za temperature (Slika 4), sončno sevanje (slika 5) kot tudi smer in moč vetra za celotno leto na urnem nivoju.



Slika 4: Grafični prikaz povprečnih temperatur za Ljubljano v programu Comfen



Slika 5: Grafični prikaz podatkov o sončnem sevanju za Ljubljano.

3.2.7 Gradbeno fizikalni podatki

Ko smo določili lokacijo, je bilo potrebno v program vnesti geometrijske podatke, ki so morali biti v skladu s predpisi iz prejšnjih poglavij. Poleg geometrijskih podatkov je v program potrebno vnesti še podatke, ki neposredno vplivajo na porabo energije. Za določitev notranjih dobitkov prostora je potrebno podati število ljudi, električno moč razsvetljave in opreme na enoto površine (Preglednica 2).

Preglednica 2: Osnovni vhodni podatki za analizo

Vhodni podatki Comfen	
Tip prostora	Šola
Lokacija	Ljubljana
Tlorisna površina	63 m ²
Površina zunanje stene	31,5 m ²
Število ljudi	30
Prezračevanje	15 m ³ / h osebo (0,002 m ³ /s·m ²)
Osvetlitev učilnice	10 W/m ²
Električna oprema učilnice	4 W/m ²
Toplotna prehodnost stene	0,28 W/m ² K

3.2.8 Zastekljene površine

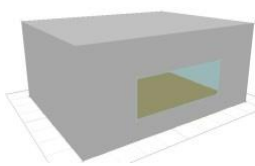
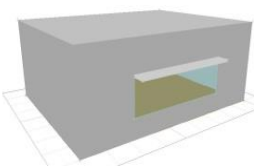
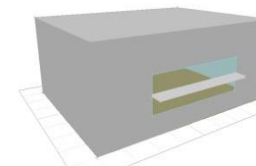
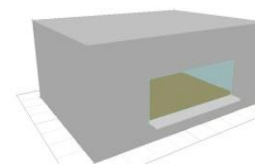
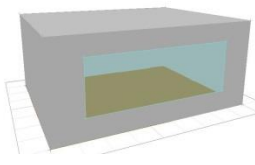
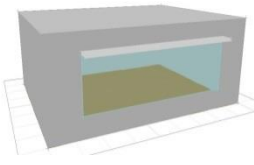
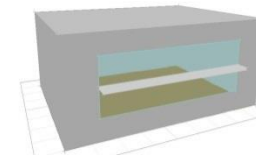
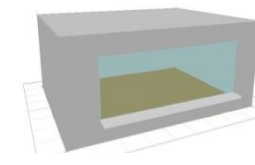
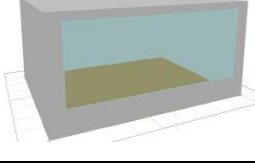
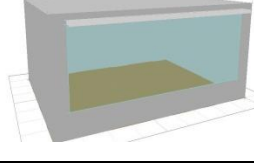
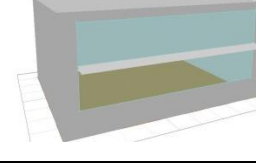
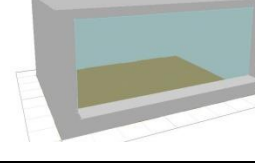
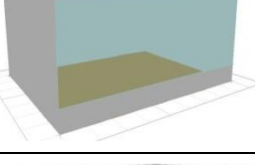
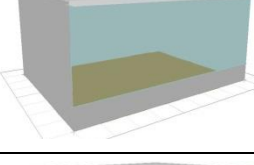
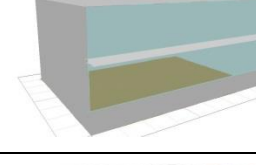
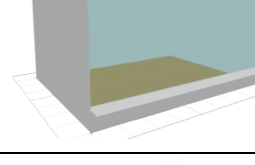
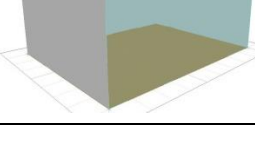
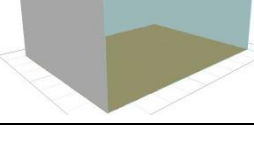
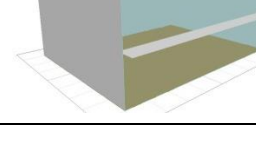
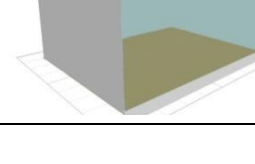
V naslednji fazi smo definirali različne velikosti zasteklitve. Ustvarili smo modele s petimi različnimi velikostmi zasteklitve. Za vsako velikost zasteklitve smo definirali še police. Podatki o geometriji, položaju nameščenih oken in nadstreška oziroma police nad nivojem tal so zbrani v preglednici 3.

Preglednica 3: Podatki o oblikovanju oken

Dimenzije zasteklitve uporabljene v analizi						
WWR [%]	Dolžina [m]	Višina [m]	Površina [m ²]	Polica zgoraj [m]	Polica sredina [m]	Polica spodaj [m]
20	4,50	1,40	6,30	2,20	1,45	0,80
40	6,36	1,98	12,59	2,78	1,74	0,80
60	7,79	2,42	18,85	3,22	1,96	0,80
80	9,00	2,80	25,20	3,50	2,05	0,70
100	9,00	3,50	31,50	3,50	1,70	0,00

Vsa okna do 80 % WWR imajo enako razmerje med višino in dolžino. To razmerje smo določili tako, da je pri WWR 80 % zasteklitev pokrila celotno površino fasade nad parapetom. Razmerje dolžine proti višini tako znaša 3,214 : 1. Pri različnih velikostih zasteklitve je dolžina police enaka dolžini zasteklitve. Višina in globina police pa sta pri vseh velikostih zasteklitve enaki. Višina znaša 10 cm, globina pa 50 cm. Na podlagi določitve položaja in dimenzij oken ter police smo v programu Comfen in Ecotect analysis ustvarili modele za analizo (Preglednica 4).

Preglednica 4: Pregled analiziranih primerov

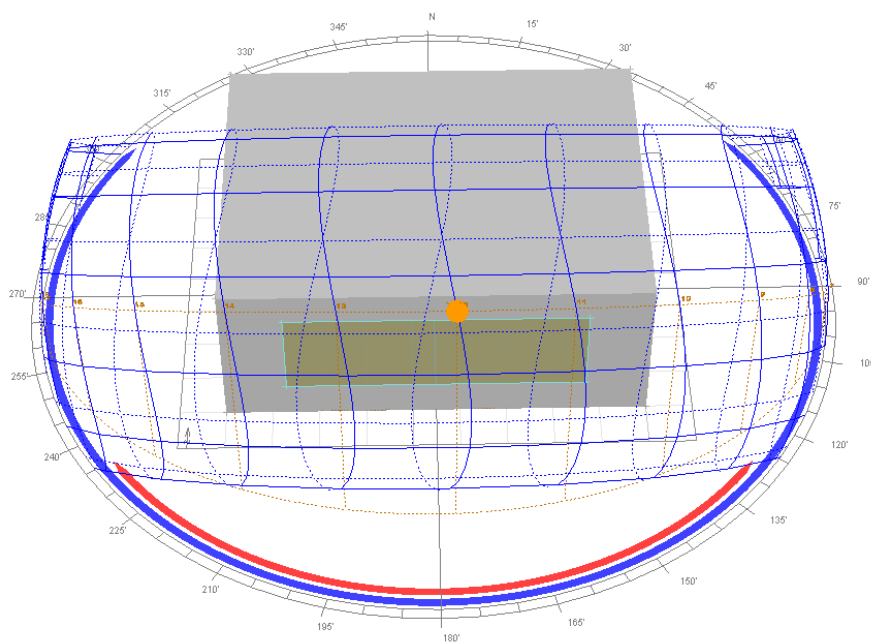
	Brez police	Polica zgoraj	Polica sredina	Polica spodaj
20 %				
40 %				
60 %				
80 %				
100 %				

4 VPLIV LASTNOSTI ZASTEKLITVE NA PORABO ENERGIJE

4.1 Zasnova izvedene analize

V tem delu študije smo opazovali vpliv lastnosti zasteklitve na porabo energije. Upoštevali smo le vpliv orientacije in velikosti zasteklitve (Preglednica 4 – prvi stolpec, brez senčil).

Zasteklitev je najpomembnejši del okna, saj nam omogoča komunikacijo z zunanostjo in v največji meri vpliva na energetske izgube okna in vizualne pogoje v prostoru. Hkrati pa je to tudi najbolj kompleksen element za energetsko in vizualno analizo. Pri izbiri okvirja ni težav, saj želimo imeti čim manjši okvir, ki bo zagotavljal čim boljšo toplotno izolacijo. Pri zasteklitvi pa imamo opravka z več lastnostmi. Boljša toplotna izolacija (manjša toplotna prehodnost – manjši U_g) zmanjšuje transmisijske izgube skozi okno, hkrati pa zaradi slabše prepustnosti za sončno sevanje (nižji g in LT) zmanjšuje solarne dobitke in osvetljenost v prostoru. Ker se pogoji na fasadah z različno orientacijo zaradi različnega položaja sonca spreminjajo (Slika 6), optimalna izbira zasteklitve za različne orientacije ni enaka.



Slika 6: Projekcija celoletnega gibanja sonca

4.1.1 Vhodni podatki analize

V tem poglavju smo preverili, kako posamezne lastnosti zasteklitve vplivajo na porabo energije za ogrevanje, hlajenje in osvetlitev. Za boljše razumevanje izgub in dobitkov smo za vsako simulacijo izračunali tudi solarne dobitke. V ta namen smo s pomočjo programa Window 7.3 [33] generirali 14 različnih tipov zasteklitve. Za boljšo primerjavo smo izbrali tipe zasteklitve z zelo različnimi posameznimi karakteristikami. Lastnosti zasteklitve smo oblikovali tako, da se je spreminjal le parameter, katerega vpliv smo želeli preučiti. Prva skupina zasteklitve (primeri: 5g a - 5g d) je namenjena preučevanju vplivov faktorja prepustnosti sončnega sevanja na porabo energije v učilnici, zato smo vrednost faktorja toplotne prehodnosti fiksirali na po PURES - u 2010 zahtevano vrednost. Vrednosti za faktor g se ujemajo s karakteristikami realnih zasteklitev proizvajalca zasteklitev Reflex [8].

Primeri zasteklitve (6u a – 6u e) so namenjeni preučevanju vplivov faktorja toplotne prehodnosti. Pri tej skupini zasteklitev smo fiksirali faktor prepustnosti za sončno sevanje. S tem smo omejili vpliv spreminjanja količine toplotnih dobitkov s strani sonca.

Zasteklitve v zadnji skupini (primeri: 7LT a – 7LT e) so namenjene preučevanju vpliva faktorja prepustnosti vidne svetlobe (LT) na porabo energije za osvetlitev.

Preglednica 5: Lastnosti zasteklitve uporabljene v analizi vpliva lastnosti

Karakteristike uporabljene zasteklitve				
Tip	Vpliv	LT	g	U_g [W/m ² K]
5g a	Vpliv g	Faktor LT nima neposrednega vpliva na porabo energije za ogrevanje in hlajenje, zato pri analizi vpliva U_g ni pomemben.	0,64	1,106
5g b			0,5	1,106
5g c			0,35	1,106
5g d			0,2	1,106
6u a	Vpliv U_g	Faktor LT nima neposrednega vpliva na porabo energije za ogrevanje in hlajenje, zato pri analizi vpliva U_g ni pomemben.	0,539	1,3
6u b			0,539	1,1
6u c			0,539	0,9
6u d			0,539	0,7
6u e			0,539	0,6
7LT a	Vpliv LT	0,85	Faktor g ne vpliva na porabo energije za osvetlitev, zato pri analizi vpliva LT ni pomemben.	Faktor U_g ne vpliva na porabo energije za osvetlitev, zato pri analizi vpliva LT ni pomemben.
7LT b		0,65		
7LT c		0,45		
7LT d		0,25		
7LT e		0,05		

4.1.2 Predpostavke in omejitve izvedene analize

Analiza vpliva posameznih lastnosti zasteklitve je narejena za 8 strani neba, 14 tipov in 5 velikosti zasteklitve. V tej fazi v analizo nismo vključevali senčil in polic. V celoti je bilo preizkušenih 560 modelov. Rezultati temeljijo na predpostavki, da se vse zastekljene površine nahajajo na fasadi, ki je edina izpostavljena zunanjim elementom. Ostale površine prostora so adiabatne. V analizi vpliva toplotne prehodnosti zasteklitve na porabo energije smo morali uporabiti zasteklitev z enakim faktorjem g. Pri pregledu rezultatov solarnih dobitkov smo opazili, da prihaja do manjših odstopanj. Razlog za odstopanje (kljub enakemu faktorju g) je v metodi, ki jo za izračun uporablja Energy plus oziroma Comfen [34]. V izračunih program Energy plus upošteva dejansko zgradbo zasteklitve (število in lastnosti stekel). Če programu podamo vrednosti U_g , g in LT, pri pretvorbi pride do manjše napake.

4.2 Rezultati

4.2.1 Vpliv faktorja toplotne prehodnosti zasteklitve

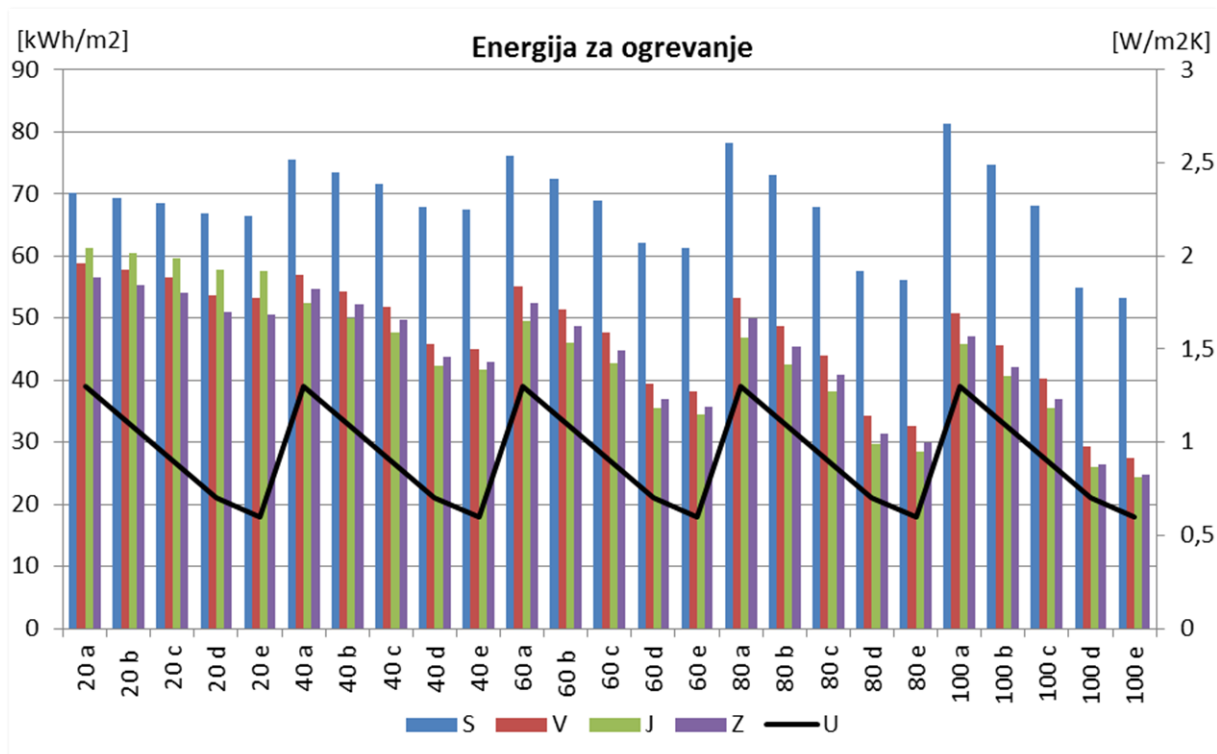
Faktor U je fizikalni podatek, s katerim se v praksi srečujemo najpogosteje. Z njim označujemo toplotno prehodnost okna. Sestavljen je iz toplotne prehodnosti okvirja okna U_f in toplotne prehodnosti zasteklitve U_g . Pri naši analizi smo se osredotočili predvsem na zasteklitev. Standard, ki narekuje način izračuna, je SIST EN ISO 10077-1 [8]. Za izračun toplotne prehodnosti zasteklitve je zasnovan na podlagi standarda EN 673 [8]. Program Window, ki smo ga uporabili v tej analizi, računa karakteristike zasteklitve v skladu s tem standardom. Od tod sledi, da je sklicevanje oziroma zanašanje na dejanske lastnosti oken v nadaljnjih analizah povsem na mestu.

Faktor toplotne prehodnosti je odvisen predvsem od lastnosti in števila vgrajenih stekel (enoslojna, dvoslojna, troslojna, štirislojna), velikosti zasteklitve in polnila medstekelnega prostora (zrak, argon, ksenon, kripton). Zelo pomembni so tudi premazi oziroma nanosi na posameznih steklih. Nizko emisijski nanosi lahko zmanjšajo emisivnost stekla iz 0,8 na 0,04. S premazi lahko zato občutno zmanjšamo sevalne toplotne izgube. Premazi so zasnovani tako, da prepuščajo kratkovalovno in odbijajo dolgovalovno sevanja, ki prihaja iz prostora.

4.2.1.1 Vpliv U_g na porabo energije za ogrevanje

V analizi rezultatov izračuna smo se osredotočili na 4 glavne smeri neba (Grafikon 2).

Na grafikonu je prikazana poraba energije, potrebna za ogrevanje v odvisnosti od U_g . Iz grafikona lahko lepo vidimo, da ima faktor U_g zelo pomemben vpliv na rabo energije za ogrevanje za vse orientacije in velikosti zasteklitve (padanje energije za ogrevanje sledi zniževanju faktorja toplotne prehodnosti). Vpliv U_g na porabo energija za ogrevanje se večja s površino zasteklitve. Večje, kot so zastekljene površine, večje so transmisijske izgube (toplotna prehodnost stekla je v vseh primerih večja od toplotne prehodnosti stene, ki znaša $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$), zato je pri večjih zasteklitvah pomembno, da izberemo zasteklitev s čim manjšo toplotno prehodnostjo. Če se s spreminjanjem tipa zasteklitve faktor g ne spreminja, je izbira optimalne zasteklitve zelo enostavna.

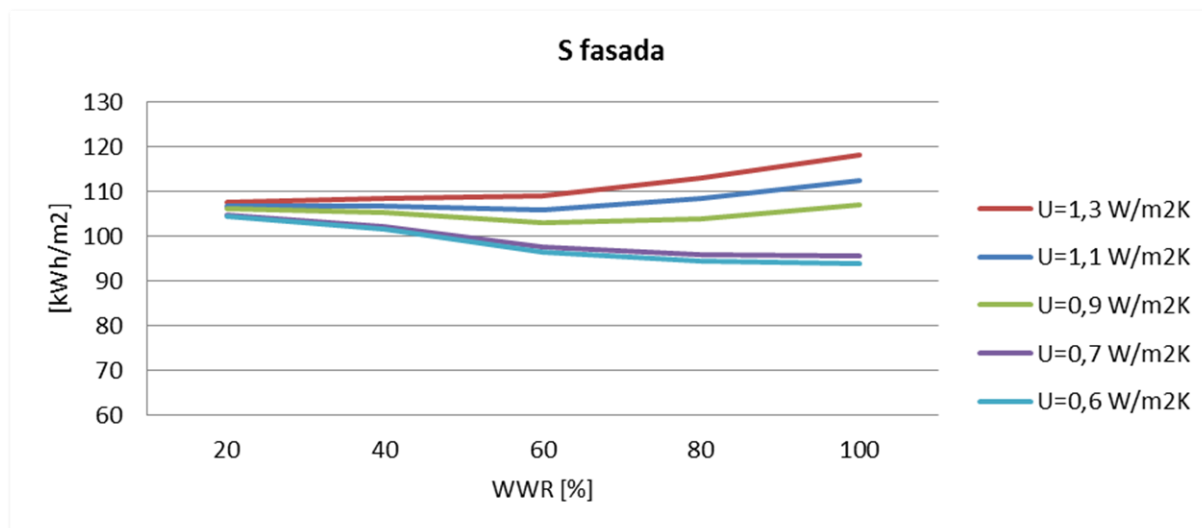


Grafikon 2: Poraba energije za ogrevanje v odvisnosti od U_g in velikosti zasteklitve

Iz grafikona je razvidno, da se pri zasteklitvi z zelo nizko toplotno prehodnostjo najnižje vrednosti za ogrevanje pojavijo pri največji zasteklitvi. Na grafu je ta kombinacija velikosti in tipa zasteklitve označena s 100 e (WWR 100 %, tip zasteklitve 6 U e). Pri tem primeru je razlika med transmisijskimi izgubami in solarnimi dobitki ravno najmanjša. Najnižje vrednosti dobimo na fasadah z J orientacijo. Največje transmisijske izgube dobimo pri zasteklitvi z največjo toplotno prehodnostjo (6U a). Maksimalno vrednost energije za ogrevanje zaradi majhnih solarnih dobitkov dobimo pri fasadah s severno orientacijo in WWR 100 %. Podrobnejši rezultati za posamezne smeri neba so prikazani v prilogi (Priloga A).

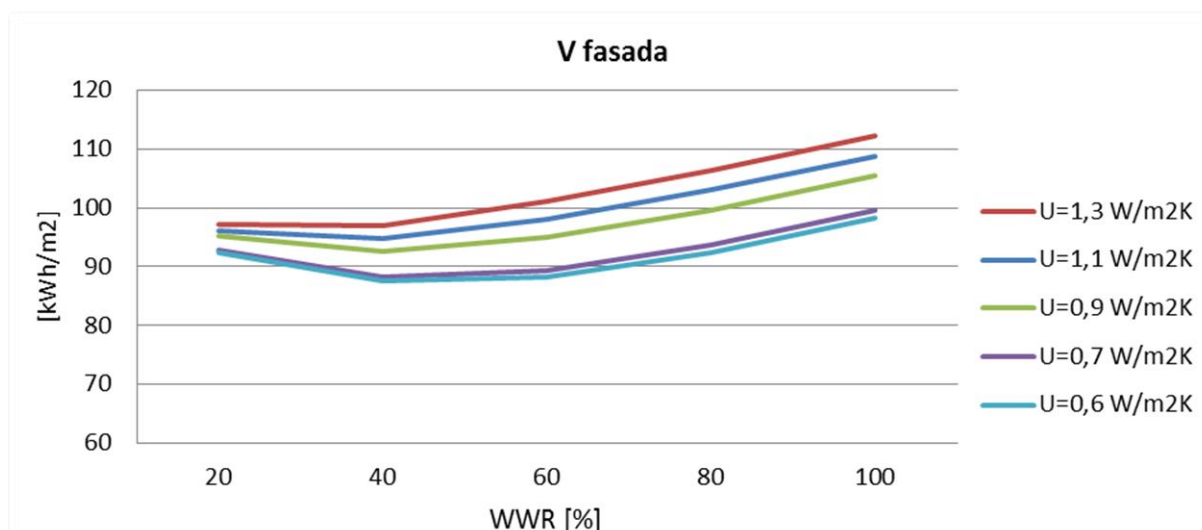
4.2.1.2 Vpliv U – skupna energija

Ker energija za ogrevanje prostorov stavb v Ljubljani predstavlja največji del skupne energije (ogrevanje, hlajenje, osvetlitev), potrebne za obratovanje, ima faktor toplotne prehodnosti zasteklitve tudi tu zelo pomemben vpliv. Vpliv faktorja toplotne prehodnosti zasteklitve ima na porabo energije za hlajenje majhen vpliv. Na porabo energije za osvetlitev prostorov pa sploh ne vpliva, zato je njegov vpliv na skupno porabo energije manjši kot vpliv na porabo energije za ogrevanje (Grafikon 9).



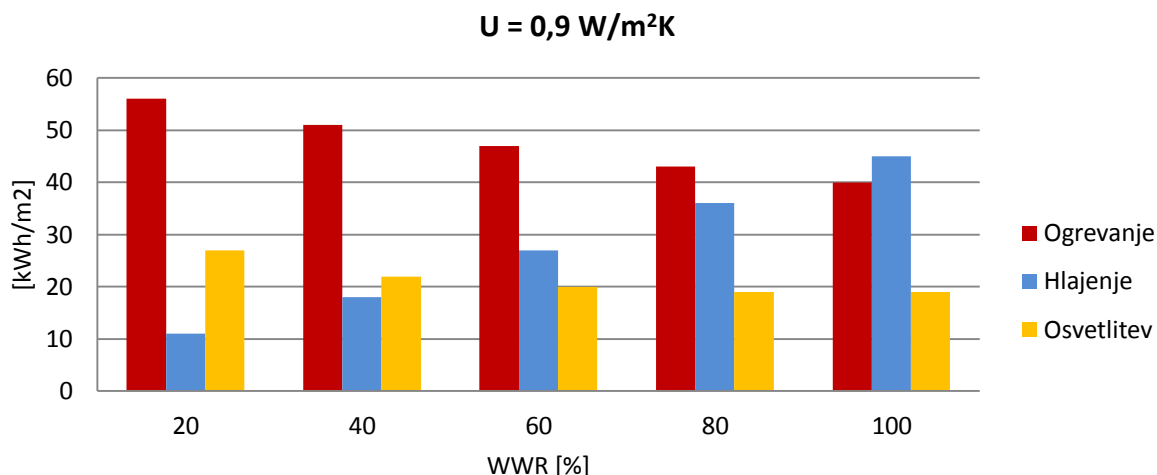
Grafikon 3: Odvisnost skupne energije porabe od WWR in U_g na S fasadi

Pri severni orientaciji zunanje fasade najmanjšo skupno energijo, potrebno za obratovanje šole, pri zasteklitvi s faktorjem $g = 0,539$ in toplotno prehodnostjo manjšo od $0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$ dosežemo pri WWR 100 %. Pri oknih z bolj običajnim faktorjem toplotne prehodnosti ($U = 1,3 - 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$) pa minimalne vrednosti porabe energije dosežemo pri WWR 60 % (Grafikon 3). Pri učilnicah z V orientirano zasteklitvijo se trend obrne (Grafikon 4). Minimalne potrebne skupne energije ne dobimo pri maksimalni površini zasteklitve. Sprememba trenda gre na račun povečanih solarnih dobitkov in s tem povezanim povečanjem potrebne energije za hlajenje prostorov. Minimalne vrednosti dobimo pri cca. 50 % zastekljenosti fasade.



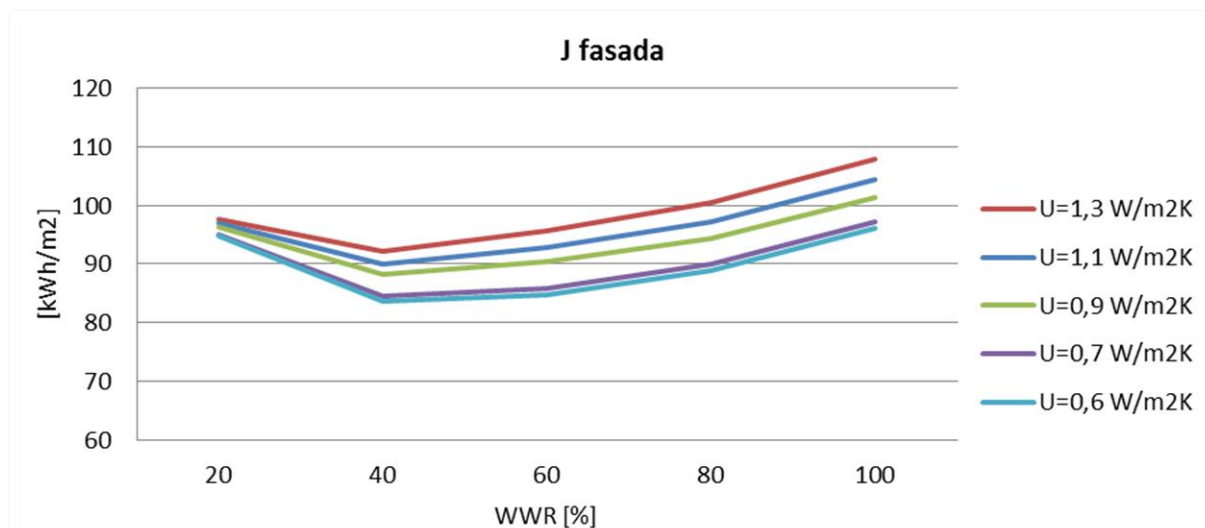
Grafikon 4: Odvisnost skupne energije porabe od WWR in U_g na V fasadi

Na V fasadi, kjer so nameščena okna brez senčil, imajo solarni dobitki v poletnem času velik vpliv (Grafikon 5). Grafikon prikazuje razčlenjeno rabo energije v odvisnosti od velikosti površine zasteklitve. S povečevanjem površine zasteklitve je zaradi visokih nezaželenih solarnih dobitkov poleti rast potrebne energije za hlajenje hitrejša kakor padanje potrebne energije za ogrevanje. Energiji, potrebni za ogrevanje in osvetlitev, se z večanjem zasteklitve zmanjšujeta.



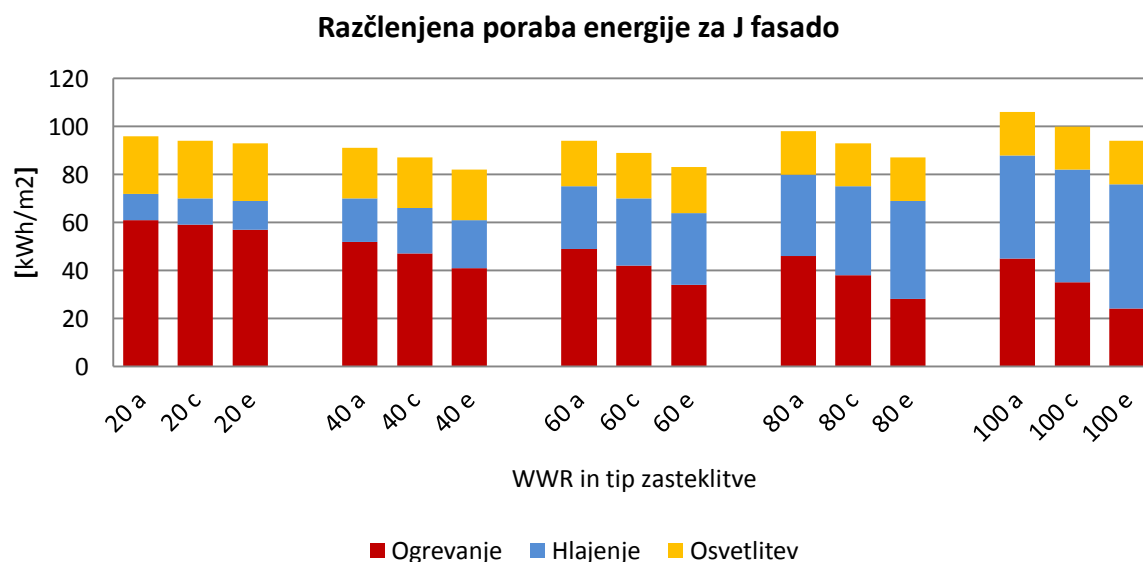
Grafikon 5: Razčlenjena poraba energije za okna 6U c na V fasadi

Pri južni fasadi z WWR 100 % smo primerjali maksimalno in minimalno skupno porabo energije. Največja je tako kot pri energiji za ogrevanje pri zasteklitvi 6U a ($1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$), najmanjša pa pri zasteklitvi 6U e ($0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$). Minimalna vrednost ($96,10 \text{ kWh/m}^2$) predstavlja pri skupni porabi 89 % maksimalne vrednosti ($107,86 \text{ kWh/m}^2$), pri ogrevanju pa minimalna vrednost predstavlja le 50 % maksimalne vrednosti. To pomeni, da je vpliv faktorja toplotne prehodnosti stekla na porabo celotne energije manjši kot vpliv na porabo energije samo za ogrevanje. Pri fasadi na severni strani minimalna vrednost predstavlja 80 % maksimalne. To pomeni, da ima pri S orientaciji faktor toplotne prehodnosti večji vpliv na porabo skupne energije. Pri J orientirani fasadi (Grafikon 6) je oblika grafikona približno enaka kot pri V fasadi. Na račun večjih solarnih dobitkov je pri južni orientaciji trend naraščanja skupne potrebne energije še hitrejši kot pri vzhodno orientirani fasadi. Na J strani minimalne vrednosti porabe skupne energije dobimo pri WWR 40 % (tip 6U e), maksimalno vrednost pa dobimo pri WWR 100 % (tip 6U a).



Grafikon 6: Odvisnost skupne porabe energije od WWR in U_g na J fasadi

Nižanje koeficienta toplotne prehodnosti ima pri vseh velikostih okna ugoden vpliv na zmanjšanje porabe skupne energije (Grafikon 7). Z večanjem površine zasteklitve je ta vpliv le še večji. V grafikonu prva številka označuje WWR, druga pa tip zasteklitve, npr 60 a predstavlja zasteklitev WWR 60 %, tipa 6U a.

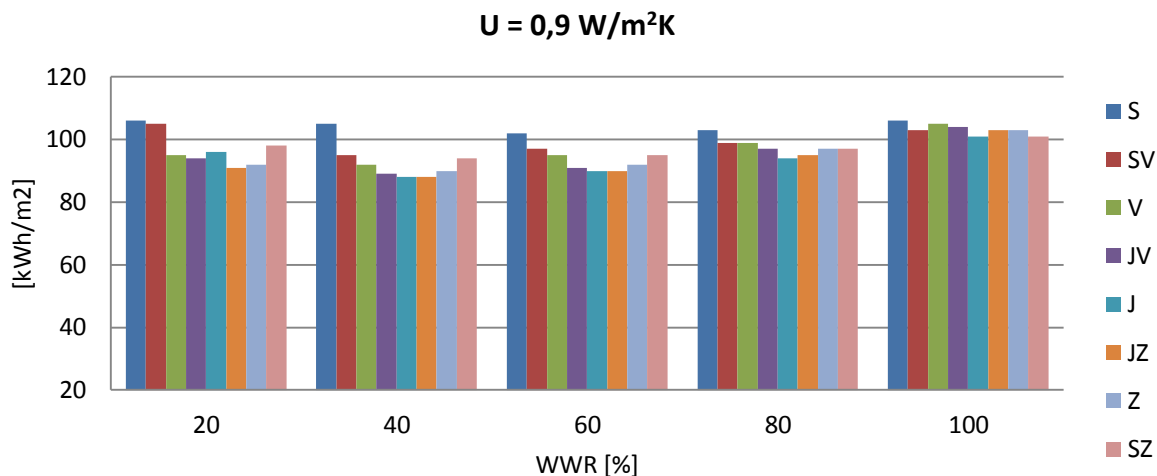


Grafikon 7: Razčlenjena poraba energije za J fasado

Količina potrebne energije za ogrevanje se z manjšanjem toplotne prehodnosti zasteklitve zmanjšuje. Z večanjem WWR se povečuje energija potrebna za hlajenje. Povečanje porabe energije za hlajenje lahko pripišemo vse večjim solarnim dobitkom in oteženemu

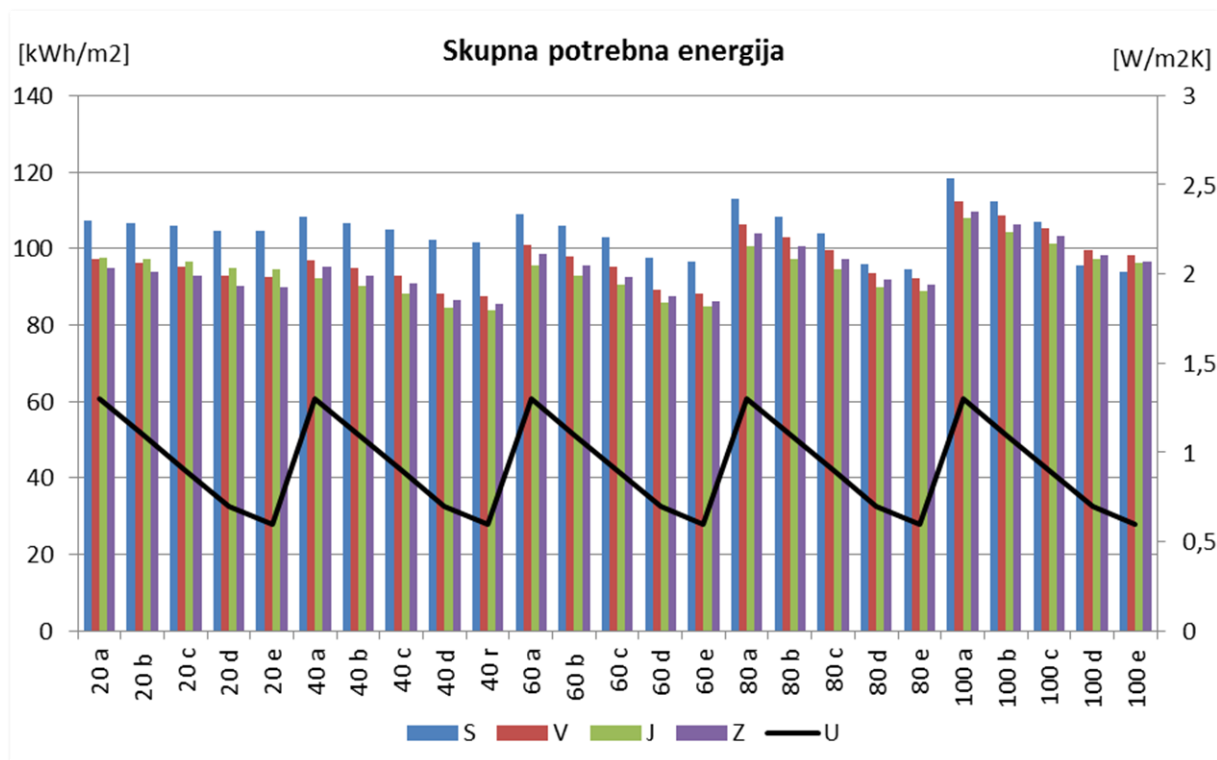
transmisijskemu ohlajanju prostorov v nočnem času. Pri tem so pomembni tudi relativno visoki notranji toplotni dobitki na račun velikega števila ljudi v prostoru.

Pri porazdelitvi skupne potrebne energije za okna 6U c (Grafikon 8) glede na različne orientacije dobimo najvišje vrednosti pri S orientaciji, najnižje pa pri J orientaciji.



Grafikon 8: Skupna poraba energije za $U_g = 0,9 \text{ W/m}^2\text{K}$

Razvidno je, da ima skupna poraba energije enak trend kot faktor toplotne prehodnosti. (Grafikon 9). To potrjuje ugotovitev, da ima U_g velik vpliv na porabo energije pri vseh orientacijah in velikostih zasteklitve.



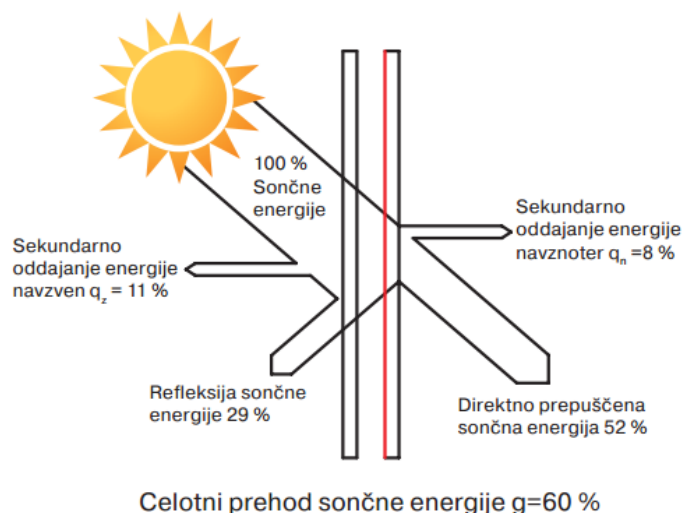
Grafikon 9: Skupna poraba energije v odvisnosti od U_g in velikosti zasteklitve

4.2.2 Vpliv faktorja g

Faktor g predstavlja pomembno optično – fizikalno lastnost, ki nam v odstotkih pove, kolikšen del celotnega spektra sončnega sevanja (valovna dolžina 300 - 2500 nm) prehaja skozi zasteklitev. Pri tem se del sončne energije absorbira, del se odbije, del pa prehaja skozi zasteklitev. Po standardu SIST EN 410 [8] je faktor g odvisen od prepustnosti, reflektivnosti in absorpcijskih lastnosti zasteklitve.

$$g = \tau_e + q_i \quad (1)$$

τ_e v enačbi (1) predstavlja direktno prepustnost za sončno sevanje, q_i pa sekundarni prenos energije, ki se je absorbirala v steklu in seva dolgovalovno sevanje v prostor skozi steklo.



Slika 7: Ozadje izračuna koeficienta g (Vir: [8])

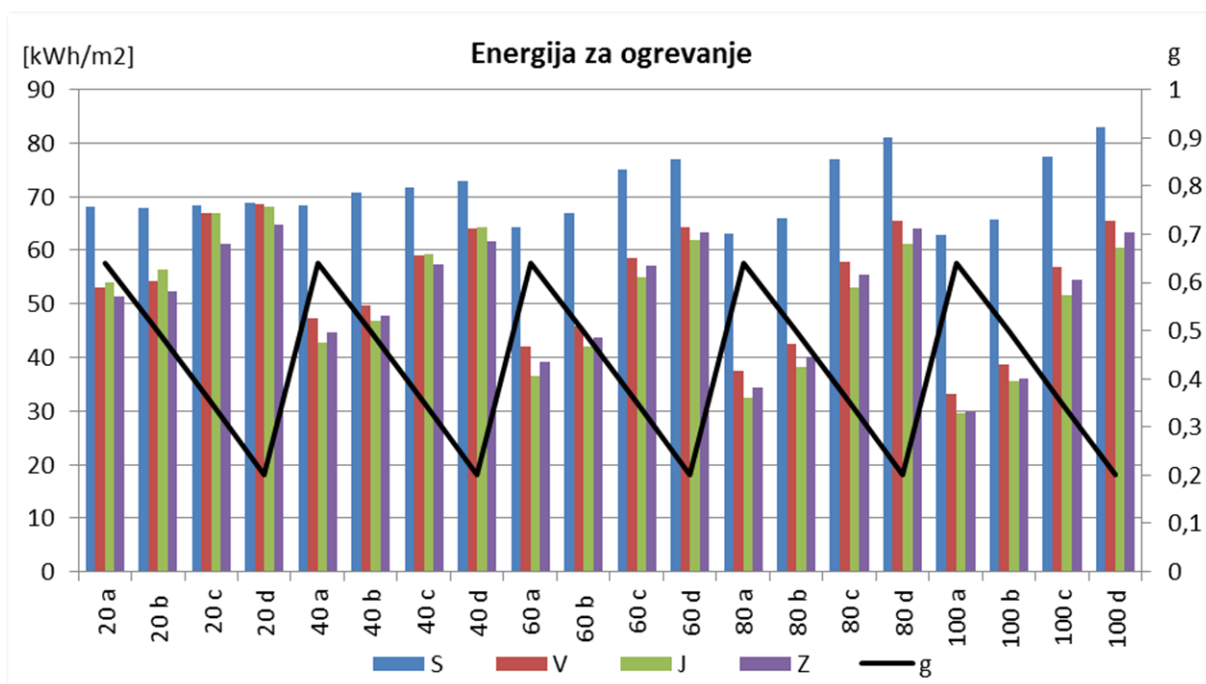
Faktor g ima lahko zaradi velikega razpona (od 0,8 do 0,2) zelo velik vpliv na količino solarnih dobitkov, s tem pa tudi na porabo energije za ogrevanje in hlajenje. V vročih podnebnjih, kjer največji del porabe energije stavbe predstavlja hlajenje, se zato večinoma uporabljajo zasteklitve z manjšimi faktorji g . Na ta način se bistveno zmanjšajo toplotni dobitki. V hladnih podnebnjih je zaželeno, da je vrednost faktorja g čim višja. Največ težav se pojavi v zmernih podnebnjih, kjer želimo pozimi imeti čim večje toplotne dobitke, poleti pa čim manjše. Največji vpliv na vrednost faktorja g imajo premazi na steklih. V zadnjih 20 letih je bil na tem področju dosežen velik napredek. Razvili so se nanosi, ki prepuščajo samo določene valovne dolžine sončnega sevanja. Še novejša so tako imenovana pretična okna, ki lahko spreminjajo svoje optične lastnosti glede na zunanje pogoje (svetloba, osončenost, temperatura). V analizi smo uporabili elektrokromno zasteklitev, pri kateri lahko s pomočjo električnega toka poljubno spremenimo faktorja g in LT posebnih elektroprevodnih nanosov.

4.2.2.1 Vpliv g na porabo energije za ogrevanje

V analizi rezultatov izračuna smo se osredotočili na 4 glavne smeri neba (Grafikon 10).

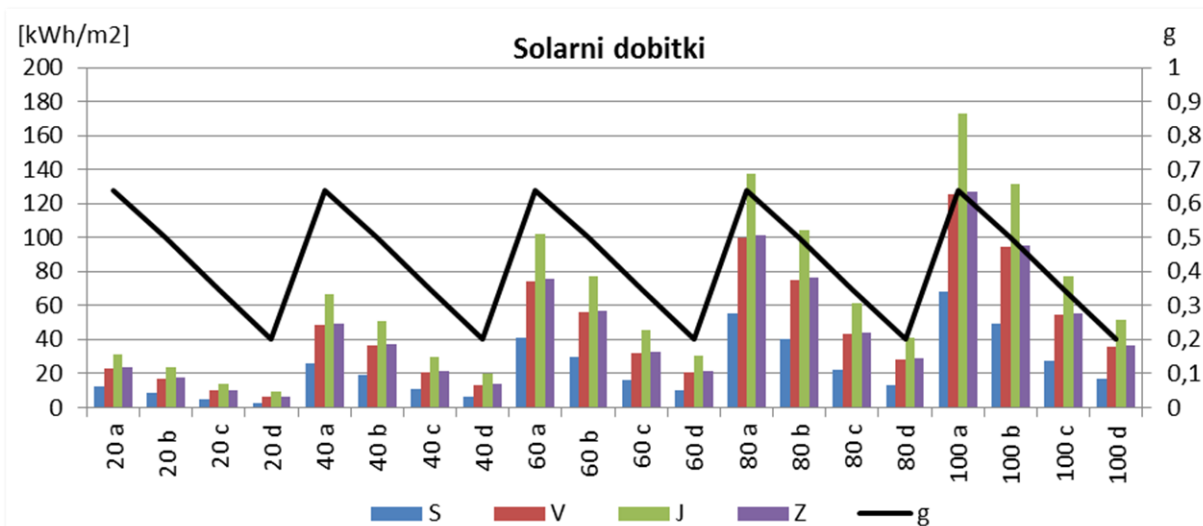
Tako kot pri preučevanju vpliva faktorja U_g smo tudi tu najprej preverili vpliv faktorja g na porabo energije za ogrevanje (Grafikon 10). Grafikon prikazuje porabo energije, potrebne za ogrevanje v odvisnosti od g . Pri vseh velikostih in orientacijah zasteklitve je vidna korelacija med porabo energije za ogrevanje in faktorjem prepustni sončnega sevanja zasteklitve. Največja razlika med maksimalno in minimalno vrednostjo se pojavi na J fasadi. To pomeni, da je na fasadah z visoko osončenostjo izbira pravega faktorja zasteklitve g najpomembnejša. Če želimo imeti visoke dobitke, s tem pa tudi nižjo porabo energije za

ogrevanje, moramo namestiti zasteklitev z visokim faktorjem g . V primeru da želimo imeti nizke solarne dobitke, pa moramo namestiti zasteklitev z nizkim faktorjem g . Od tod sledi ugotovitev, da je potreba po energiji za ogrevanje obratno sorazmerna faktorju g . Podrobnejši rezultati o porabi energije za ogrevanje v odvisnosti od faktorja g so prikazani v prilogi (Priloga A).



Grafikon 10: Skupna poraba energije za ogrevanje v odvisnosti od WWR in g

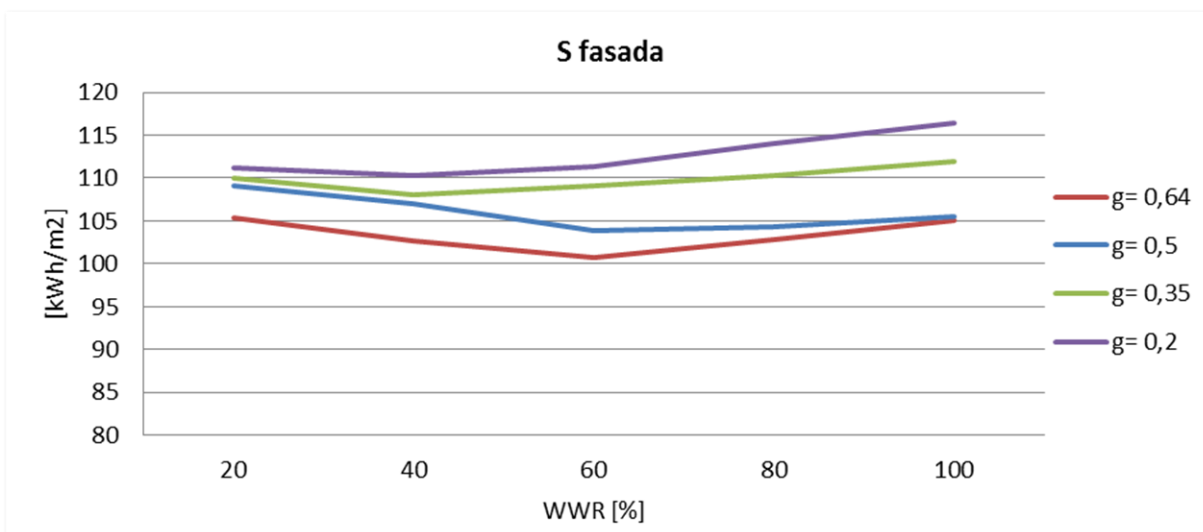
Pri rezultatih za solarne dobitke (Grafikon 11) v odvisnosti od faktorja g pa je razmerje ravno obratno. Višji, kot je faktor g , višji so solarni dobitki. To velja za vse orientacije in tipe zasteklitve. Iz grafikona je vidna neposredna povezava med solarnimi dobitki in faktorjem prehodnosti sončnega sevanja g .



Grafikon 11: Skupni solarni dobitki, v odvisnosti od velikosti in tipa zasteklitve

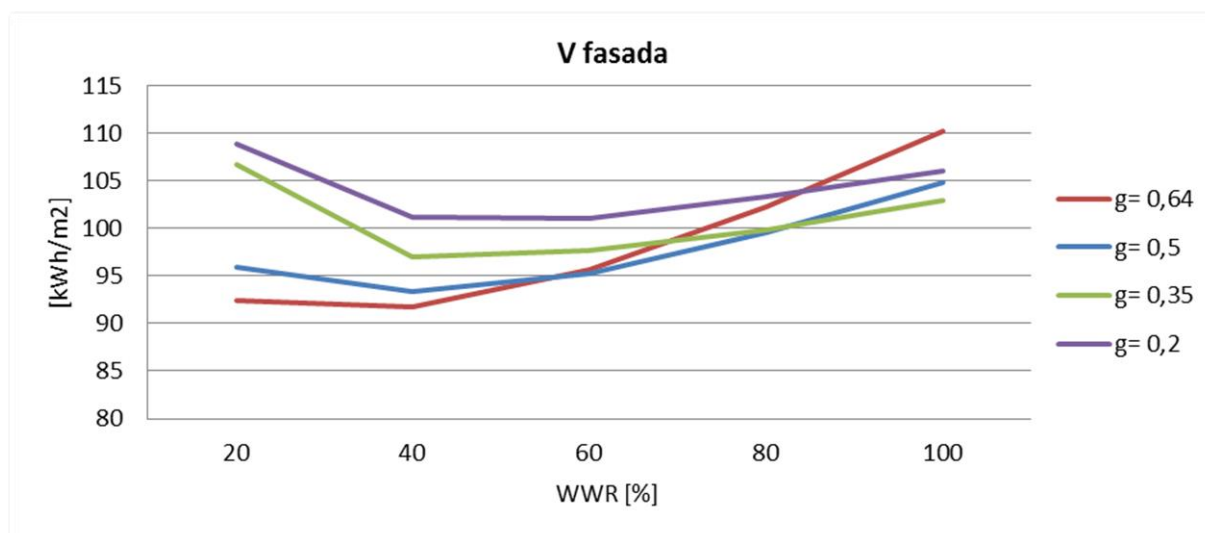
4.2.2.2 Vpliv faktorja g na skupno potrebno energijo

Kot smo spoznali v prejšnjem poglavju, ima faktor g direktno povezavo s količino solarnih dobitkov. Posledično ima velik vpliv na porabo energije za ogrevanje (zaželeni solarni dobitki pozimi), in na energijo, potrebno za hlajenje (nezaželeni solarni dobitki poleti). To pomeni, da ima faktor g velik vpliv tudi na porabo skupne energije. Za primerno izbiro zasteklitve moramo zato poleg faktorja toplotne prehodnosti (glede na velikost in orientacijo zasteklitve) izbrati tudi primeren faktor g. Za S fasado lahko za zasteklitve z $U_g = 1,106 \text{ W/m}^2\text{K}$ in različnimi faktorji g, vidimo odnose med porabo energije in WWR (Grafikon 12).



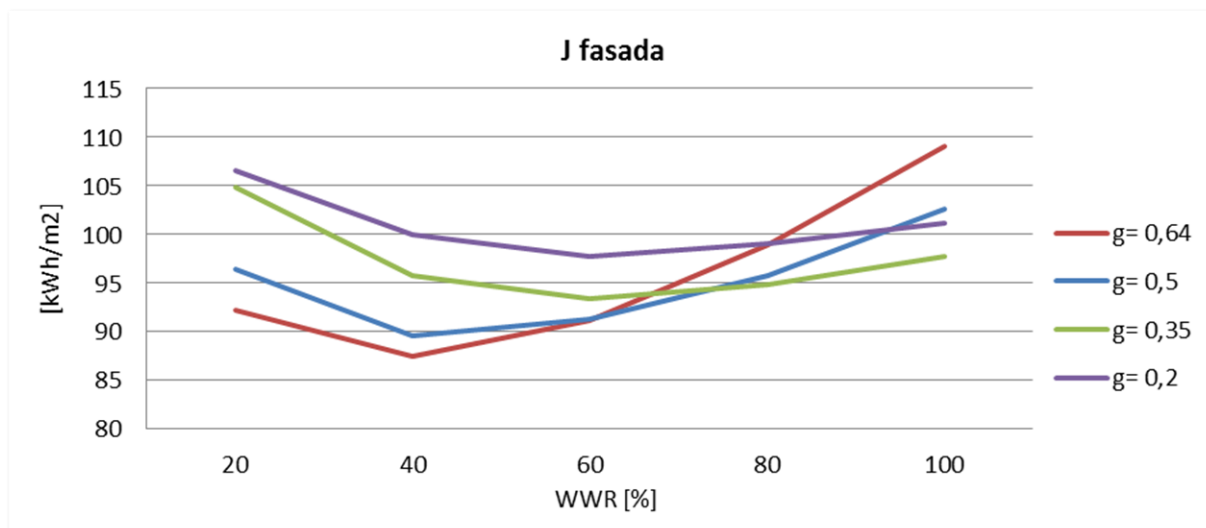
Grafikon 12: Skupne porabe energije na S fasadi pri različnih faktorjih g

Minimalno skupno porabo energije ($100,7 \text{ kWh/m}^2$) dosežemo pri faktorju $g = 0,64$ in WWR 60 %. Pri takšni zasteklitvi imamo za $U_g = 1,106 \text{ W/m}^2\text{K}$ optimalno izbiro med ugodnimi in neugodnimi solarnimi dobitki ter transmisijskimi izgubami. Maksimalno vrednost ($116,38 \text{ kWh/m}^2$) dosežemo pri $g = 0,2$ in 100 % zasteklitvi fasade. Pri tej kombinaciji parametrov (WWR, U_g , g , LT) imamo največje transmisijske izgube in najmanjše solarne dobitke.



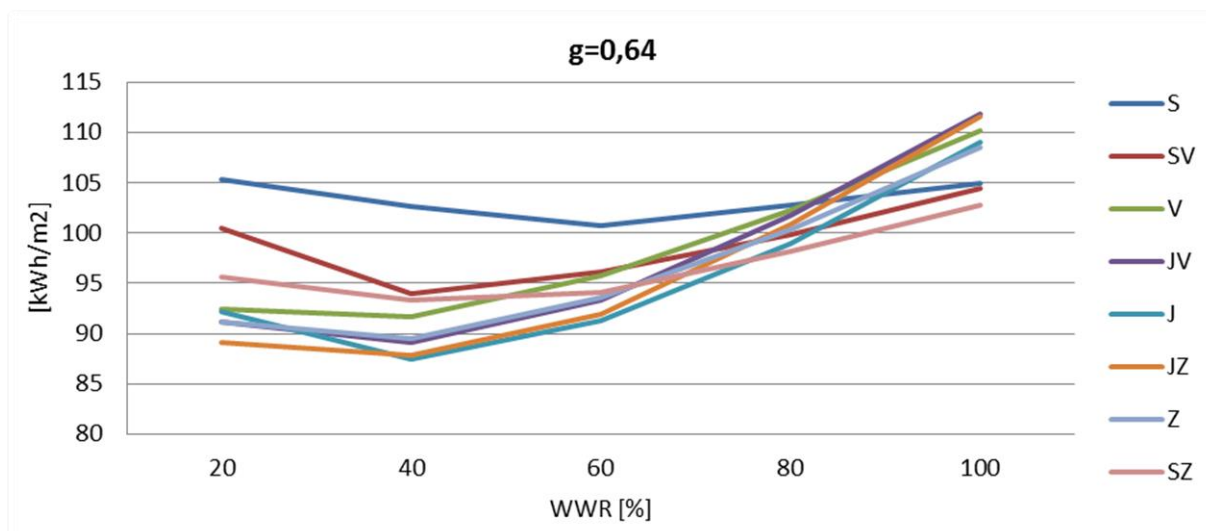
Grafikon 13: Skupne porabe energije na V fasadi pri različnih faktorjih g

Pri V fasadi (Grafikon 13) minimum ($91,7 \text{ kWh/m}^2$) dobimo pri WWR 40 % in faktorju $g = 0,64$, maksimum ($118,9 \text{ kWh/m}^2$) pa pri WWR = 100 % in faktorju $g = 0,64$. Večji, kot je faktor g , večje so spremembe pri porabi skupne energije glede na velikost zasteklitve. Pri majhnih površinah zasteklitve (WWR do 60 %) se na fasadah z zadostno osončenostjo za najbolj ugodno izkaže zasteklitev z visokim faktorjem prepustnosti za sončno sevanje. Taka vrsta zasteklitve v času ogrevanja zagotovi največ solarnih dobitkov. Pri površinah večjih od WWR 60 % pa taka zasteklitev postane neprimerna. V tem primeru je vpliv nezaželenih solarnih dobitkov poleti večji od pozitivnih vplivov v času ogrevanja. Ta pojav je pri J fasadi še večji (Grafikon 14).



Grafikon 14: Skupna poraba energije na J fasadi pri različnih faktorjih g

Solarni dobitki pri J fasadi se v primerjavi z V orientacijo povečajo. S tem se zmanjša energija, potrebna za ogrevanje, in poveča energija, potrebna za hlajenje. Razlika v skupni porabi energije je zato zelo majhna.

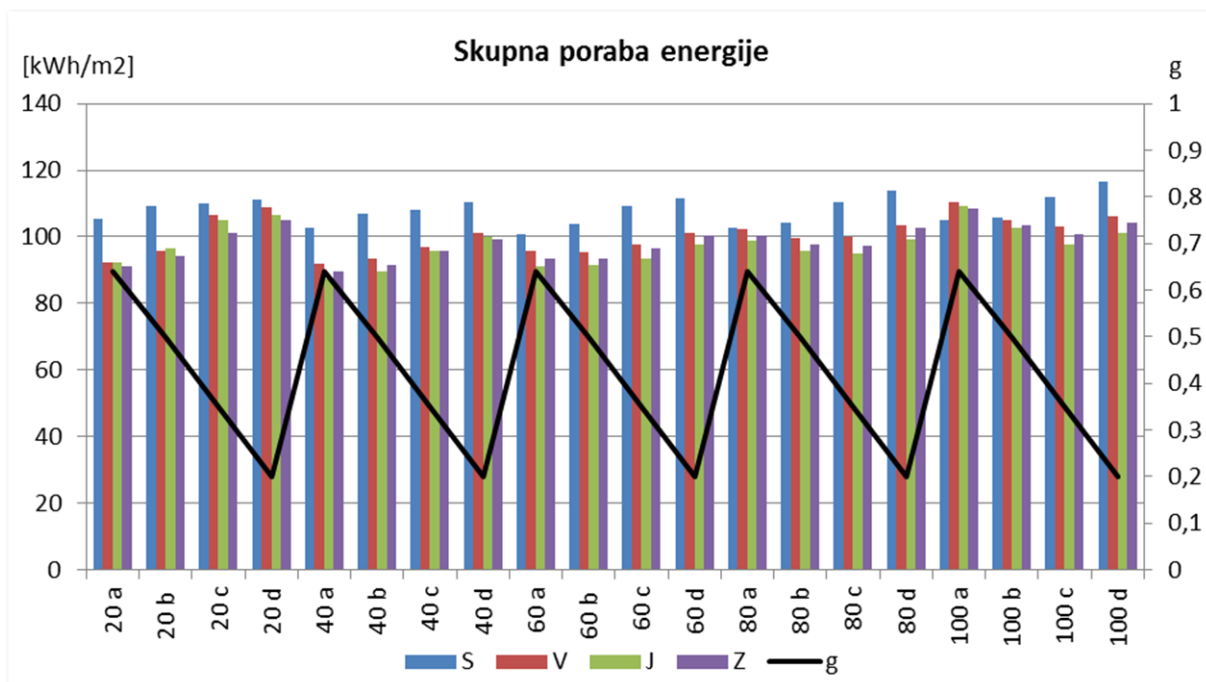


Grafikon 15: Skupna porabe energije pri zasteklitvi s faktorjem g = 0,64

Pri oknih z zasteklitvijo s faktorjem g = 0,64 nazorno vidimo vpliv velikosti in orientacije na skupno porabo energije (Grafikon 15). Pri južnih orientacijah so najbolj ugodne manjše zastekljene površine (do 60 %). Pri večjih površinah se pri teh orientacijah skupna poraba energije zaradi velikih solarnih dobitkov in s tem potrebne energije za hlajenje poveča.

Vpliv faktorja g na skupno porabo energije je v večini primerov manjši od vpliva faktorja toplotne prehodnosti zasteklitve (Grafikon 16). Pomemben je zlasti pri fasadah z visoko

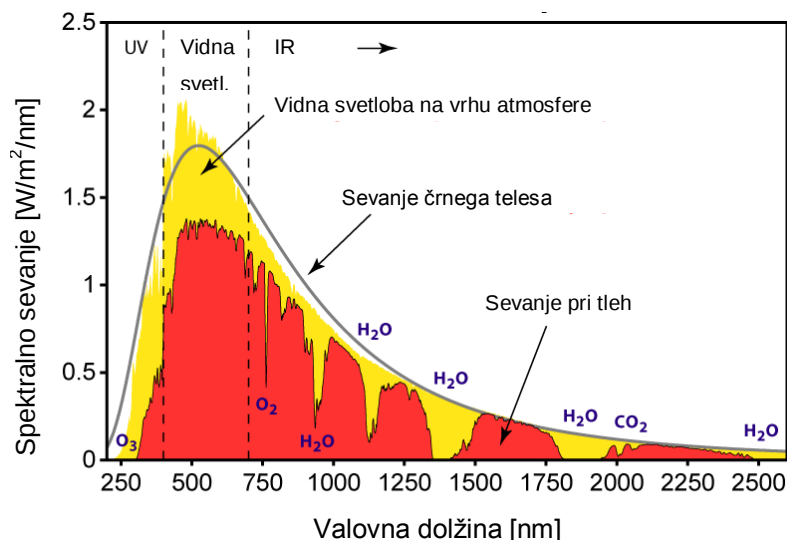
osončenostjo. Tam je potrebno paziti, da izberemo primerno vrednost oziroma poskrbimo za primerno senčenje. V nasprotnem primeru imamo lahko visoke stroške za ogrevanje ali hlajenje. Poraba skupne energije je obratno sorazmerna faktorju prepustnosti sončnega sevanja zasteklitve.



Grafikon 16: Skupna poraba energije v odvisnosti od faktorja g

4.2.3 Vpliv LT

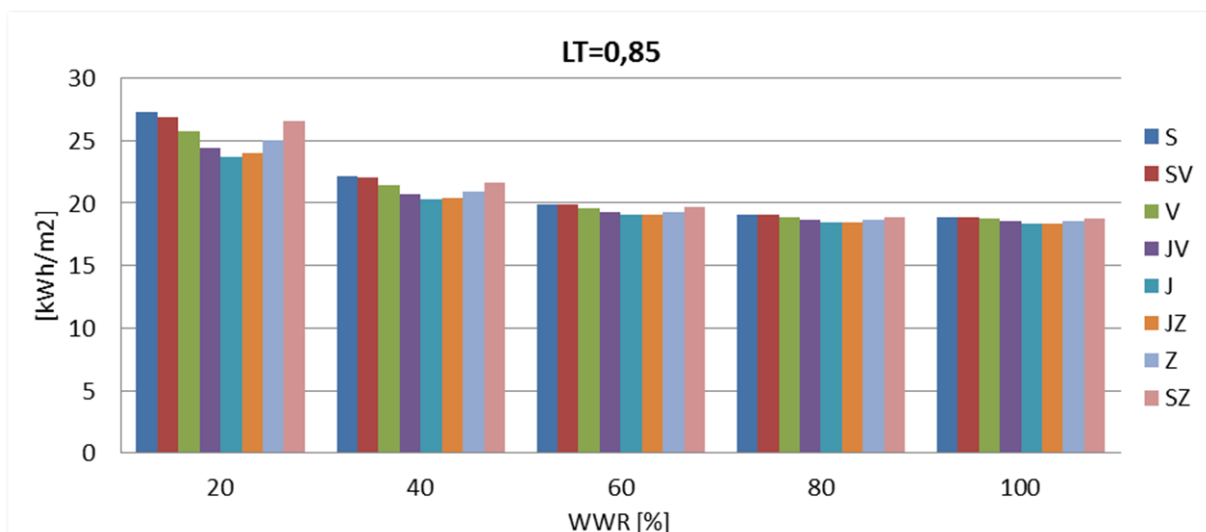
Tretja pomembna fizikalno – optična količina je prepustnost zasteklitve za vidno svetlobo oziroma LT. Stopnja prepustnosti vidne svetlobe nam pove, kakšen odstotek sončnega sevanja z valovnimi dolžinami v vidnem spektru človeškega očesa (380 – 780 nm) prodre skozi zasteklitev. Iz spodnje slike vidimo, da vidna svetloba predstavlja le majhen del sevanja celotnega sončnega spektra.



Slika 8: Diagram sevanja celotnega sončnega spektra (Vir: [35])

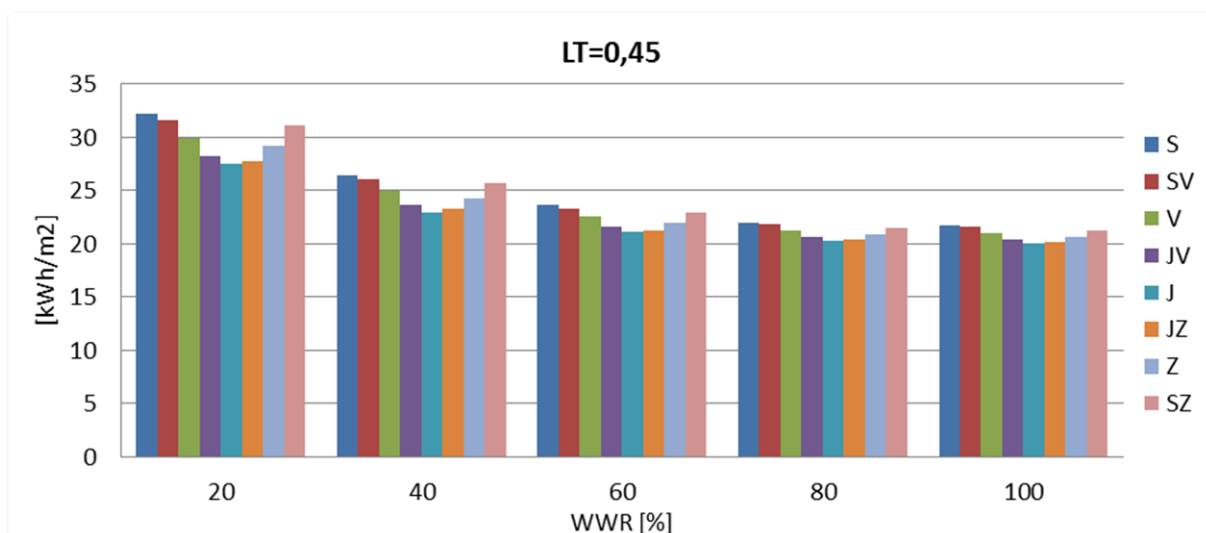
Postopek za izračun LT je tako kot za g definiran v SIST EN 410 [8]. Vrednost koeficienta LT ima velik razpon možnih vrednosti (0,9 – 0,05). Stopnja prepustnosti vidne svetlobe nima neposrednega vpliva na energijo za ogrevanje in hlajenje, zato smo se na tem mestu osredotočili le na vpliv, ki ga ima LT na energijo, potrebno za osvetlitev prostorov. Ta še posebej v pisarniških prostorih predstavlja velik delež porabe celotne energije. Na račun primerne prehodnosti vidne svetlobe in s tem boljše osvetljenosti prostorov lahko bistveno zmanjšamo porabo energije za osvetlitev. Ker imajo sijalke relativno slab izkoristek (veliko energije gre v toplotno), lahko v poletnih mesecih bistveno zmanjšamo tudi potrebo po hlajenju prostorov. Vpliv faktorja prepustnosti stekla za vidno svetlobo na porabo energije objekta smo si ogledali s pomočjo izračuna potrebne električne energije za osvetlitev prostora. V programu Comfen smo nastavili konstanten nadzor nad osvetlitvijo prostora. Dobljene rezultate smo prikazali za okna s tremi različnimi zasteklitvami. Pričakovano dobimo najmanjšo osvetlitev in s tem največjo porabo energije za osvetlitev prostora pri orientacijah z majhnim azimutom in majhnimi površinami zasteklitve. Pri majhnih oknih z zasteklitvijo z LT = 0,85 je do WWR 60 % orientacija še pomembna, nato pa zaradi visoke

osvetljenosti notranjega prostora v času uporabe z vidika porabe električne energije orientacija postane praktično nepomembna (Grafikon 17).



Grafikon 17: Poraba energije za osvetlitev pri oknih s faktorjem LT = 0,85

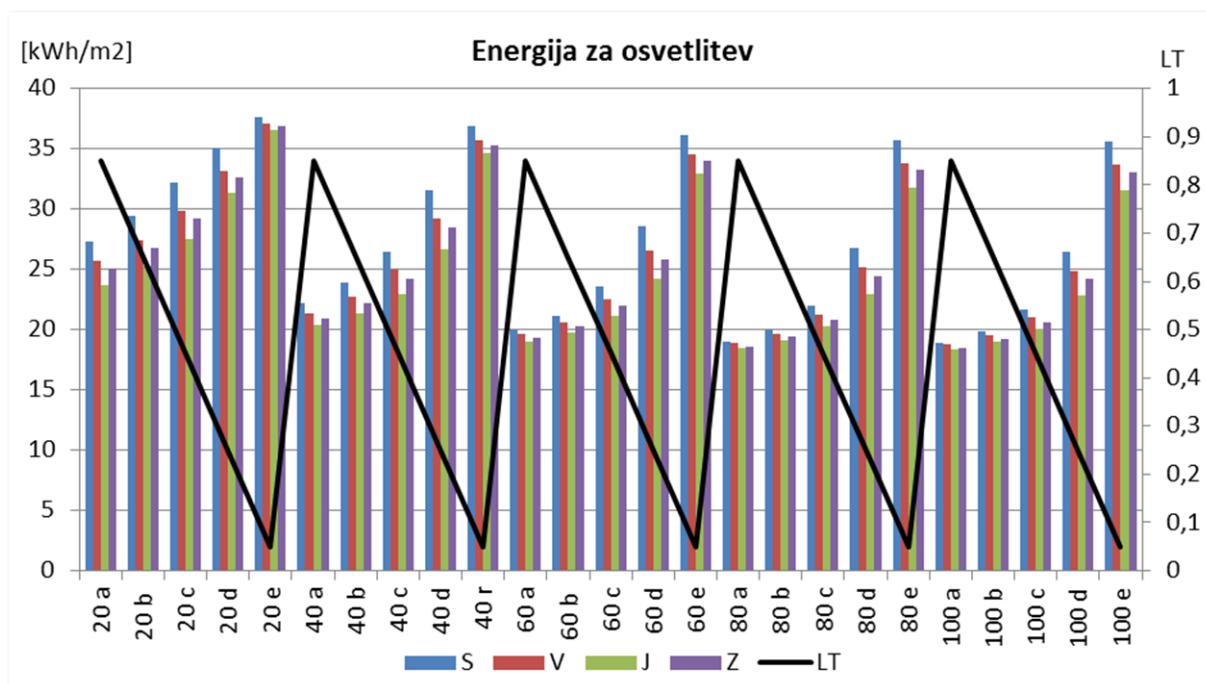
Pri uporabi zasteklitve z manjšo prepustnostjo vidnega dela sončnega sevanja vpliv orientacije igra pomembno vlogo tudi pri površinah z WWR do 80 % (Grafikon 18). Pri teh zasteklitvah je zadostna osvetljenost tekom zasedenosti šole dosežena šele pri večjih površinah.



Grafikon 18: Poraba energije za osvetlitev pri oknih s faktorjem LT = 0,45

Primerjava energije, potrebne za osvetlitev prostora za vse velikosti in tipe oken, pokaže, da je količina potrebne energije obratno sorazmerna faktorju prepustnosti sončnega sevanja za

vidno svetlobo (Grafikon 19). Pri oknih z manjšo površino je zato treba paziti, da izberemo zasteklitev, s primerno prepustnostjo sončnega sevanja.



Grafikon 19: Vpliv faktorja LT na porabo energije za osvetlitev

5 VPLIV ZASNOVE ODPRTIN NA PORABO ENERGIJE

5.1 Zasnova izvedene analize

Ugotovili smo, da imajo poleg orientacije tudi različni tipi in velikosti zasteklitve velik vpliv na porabo energije prostora. Pri dejanskem načrtovanju odprtin v fasadnem ovoju je poleg teh parametrov treba upoštevati tudi senčenje, zato smo v tem delu študije poleg orientacije, velikosti in tipa zasteklitve analizirali tudi vpliv namestitve senčil in položaja zunanje police. Preverili smo energetske bilanco za tri položaje zunanje police in tri tipe senčil (brez senčil, s tekstilnimi senčili, nameščenimi na notranji strani in z žaluzijami na zunanji strani zasteklitve). Avtomatsko vodene žaluzije smo namestili na zunanji strani okna pod kotom 45° glede na vodoravnico. Senčila smo modelirali tako, da so imela vpliv le na zmanjšanje porabe energije za hlajenje prostora. To smo dosegli tako, da se senčila aktivirajo le, ko je zunaj temperatura nad 24 °C, ob tem pa mora biti sončno sevanje na horizontalni ravnini večje od 630 W/m².

5.1.1 Vhodni podatki analize

V študiji smo analizirali 13 različnih tipov zasteklitve (Preglednica 6), 8 orientacij, 5 različnih velikosti zastekljenih površin, 3 načine senčenja in 4 položaje zunanje police (Preglednica 4). Lastnosti zasteklitve smo izbrali na podlagi ponudbe podjetja Reflex [8]. Tipe zasteklitve smo simulirali s pomočjo programa Window 7.3, nato pa smo jih uporabili za energetska analizo učilnice v Comfenu. Za potrebe analize osvetljenosti smo jih v nadaljevanju študije modelirali tudi v programu Ecotect [28].

Preglednica 6: Uporabljeni tipi zasteklitve

Tip	Število stekel v zasteklitvi	LT	g	U_g [W/m ² K]
1 a	1	0,906	0,889	5,68
2 a	2	0,786	0,705	2,53
2 b	2	0,802	0,627	1,481
2 c	2	0,757	0,553	1,274
2 d	2*	0,665	0,449	1,05
2 e	2	0,779	0,64	1,106
3 a	3	0,712	0,528	0,9
3 b	3	0,738	0,62	0,804
3 c	3	0,706	0,482	0,599
3 d	3	0,493	0,309	0,486
4 a	4	0,496	0,388	0,393
4 b	4	0,353	0,35	0,336
4 ele.	2**	0,601	0,445	1,074
	2**	0,029	0,057	1,074

* Zasteklitev namenjena zaščiti pred sončnim sevanjem

** Elektrokromna zasteklitev z lastnostmi v obeh stanjih

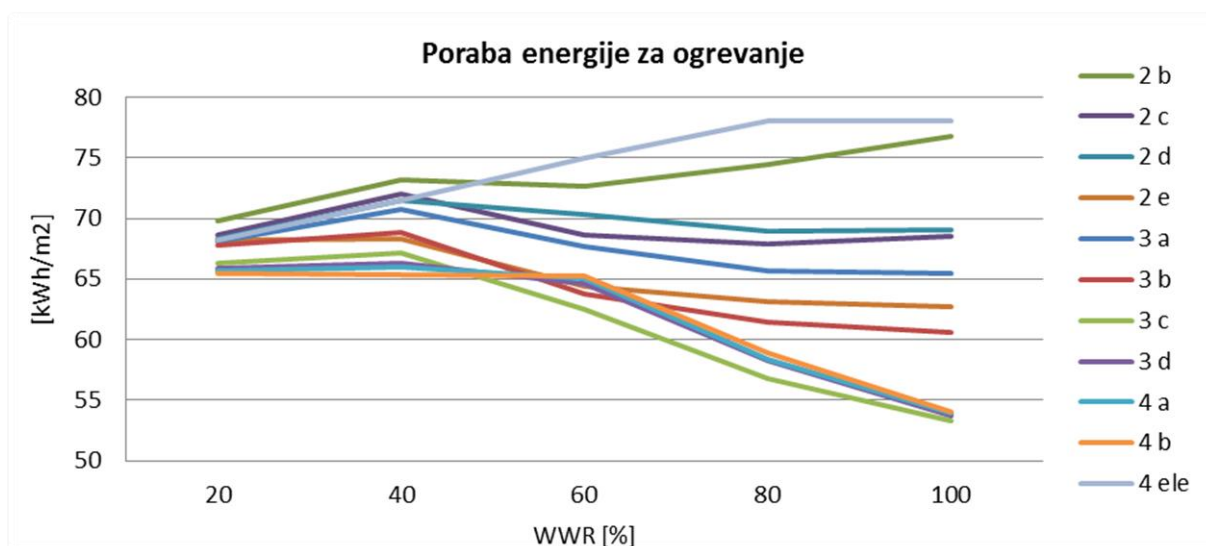
5.2 Rezultati

5.2.1 S fasada

Za severne fasade na severni polobli je značilno, da imajo najmanjšo osončenost (količina prejetega sončnega sevanja na površini fasade). To je posledica gibanja sonca preko celega leta (Slika 6). Temu primerno moramo prilagoditi izbiro zasteklitve. Za severne fasade je značilno, da imajo nižje solarne dobitke in zato posledično prostori, ki imajo okna na severni strani porabijo več energije za ogrevanje in osvetlitev, ter manj za hlajenje.

5.2.1.1 Vpliv tipa in velikosti zasteklitve

Kot smo ugotovili v prejšnjem poglavju, na porabo energije vplivajo predvsem izbira lastnosti zasteklitve (U_g , g , LT), velikost zasteklitve in orientacija. Najprej si bomo ogledali rezultate pri realnih zasteklitvah brez nameščene police in senčil. Za razliko od analize, opisane v poglavju 4, smo uporabili zasteklitve z različnimi karakteristikami (U_g , g , LT). Temu primerno smo dobili nekoliko drugačne rezultate. Pri porabi energije za ogrevanje se vrednosti začnejo zmanjševati pri nekoliko večji površini zasteklitve. Vrednosti, dobljene pri tipih zasteklitve 1 a in 2 a, so bistveno večje od ostalih, zato smo za bolj nazoren prikaz odziva zasteklitve na grafikonu ta dva tipa zasteklitve odstranili.



Grafikon 20: Porabe energije za ogrevanje za S fasado

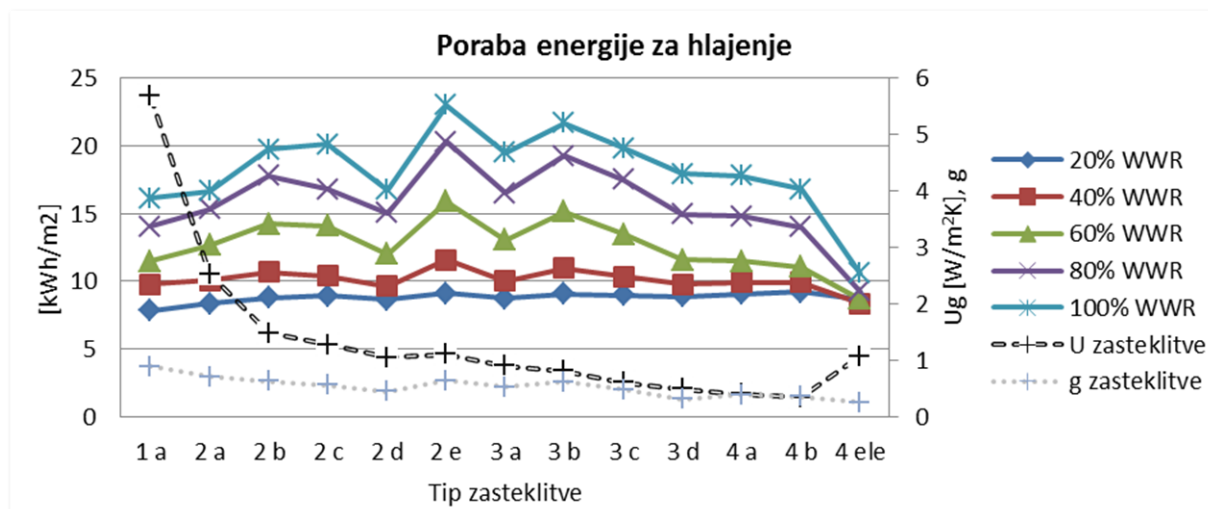
Iz razlik v porabi energije za ogrevanje pri različnih tipih zasteklitve za S orientacijo (Grafikon 20) je razvidna pomembnost fizikalno optičnih lastnosti zasteklitve. Pri nekaterih tipih zasteklitve z večjo toplotno prehodnostjo in boljšimi optičnimi lastnostmi (3 c) je potrebno manj energije za ogrevanje kot pri zasteklitvi z nižjo toplotno prehodnostjo in nižjo prepustnostjo za sončno sevanje (4 b). Tako je z vidika porabe energije za ogrevanje pri zasteklitvah, kjer je WWR večji od 60 %, v nekaterih primerih bolj ugodna izbira zasteklitev z višjim faktorjem g in U_g (Preglednica 7: Primerjava tipov zasteklitve).

Preglednica 7: Primerjava tipov zasteklitve

Zasteklitev	U_g [W/m ² K]	g	Energija za ogrevanje [kWh/m ²]	Zasteklitev	U_g [W/m ² K]	g	Energija za ogrevanje [kWh/m ²]
2 e	1,106	0,64	63,14	3 a	0,9	0,53	65,65
3 c	0,60	0,48	56,74	3 d	0,47	0,31	58,25
4 a	0,39	0,39	58,37	4 b	0,34	0,35	58,86

Pri manjših površinah zasteklitve je potreba energije za ogrevanje pri različnih tipih zasteklitve bolj podobna. Do WWR 40 % je za optimalno izbiro bolj pomemben faktor U_g , nato pa vse bolj pomembna postane prepustnost za sončno sevanje. Elektrokromna zasteklitev zaradi nizke prepustnosti v obeh stanjih (Preglednica 6) za sončno sevanje in relativno visoke toplotne prehodnosti ni primerna za to orientacijo.

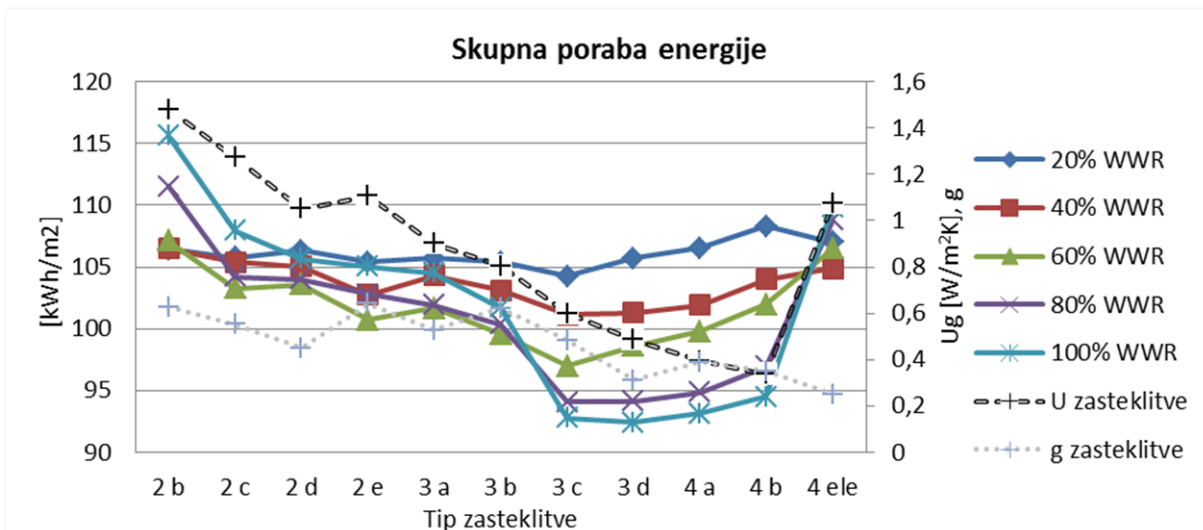
Poraba energije za hlajenje raste z velikostjo zasteklitve (Grafikon 21). Tako kot energija za ogrevanje je tudi energija za hlajenje povezana s faktorjema toplotne prehodnosti in prepustnosti sončnega sevanja. Najmanj energije za hlajenje potrebujemo pri zasteklitvi z elektrokromnim steklom (4 ele). Elektrokromna zasteklitev spreminja svoje optične karakteristike glede na zunanje pogoje.



Grafikon 21: Porabe energije za hlajenje za S fasado

Skupna poraba energije je sestavljena iz porabe energije za ogrevanje, hlajenje in osvetlitev. Pri oknih z zelo nizkim U_g se poraba energije z večanjem površine zmanjšuje (pozitiven vpliv – dobitki so večji od izgub). Pri manjših velikostih zasteklitve tipi z zelo nizko toplotno prehodnostjo niso najbolj primerni. Na primer pri WWR 20 % dobimo pri zasteklitvi s 4 b višjo

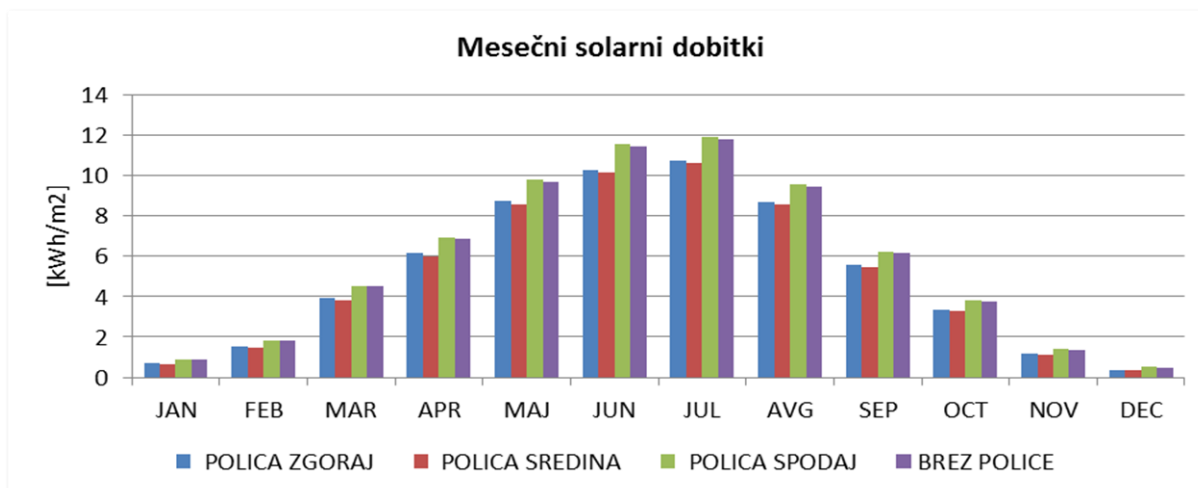
porabo skupne energije kot pri zasteklitvi z 2 c. Pri WWR 60 % je zasteklitev 4 b manj primerna od 2 e (Grafikon 22). Kot vidimo, elektrokromna zasteklitev ni primerna za področje Slovenije (premalo sončnega sevanja), zato je posebej neprimerna za fasade s S orientacijo.



Grafikon 22: Celotna poraba energije za S fasado

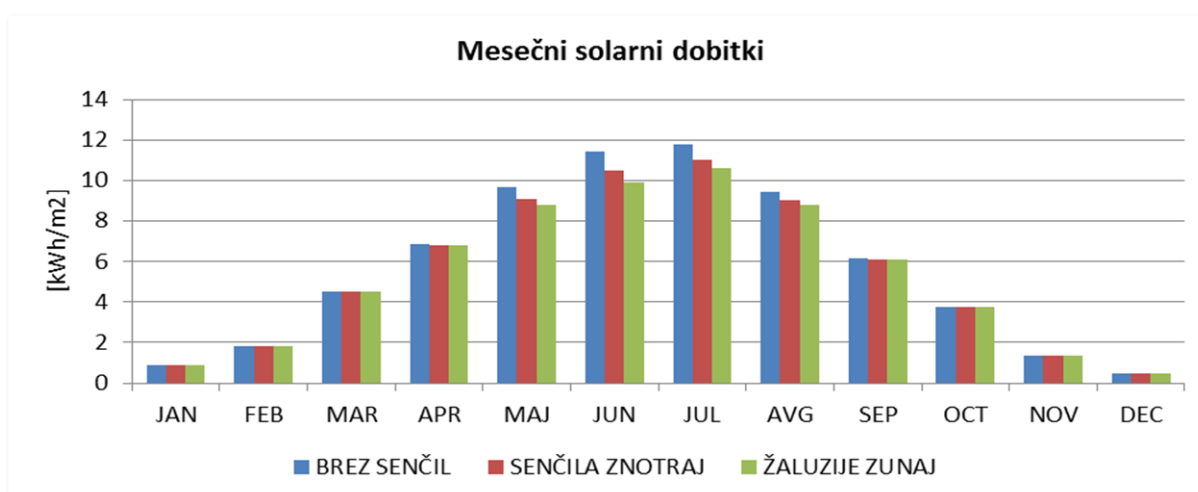
5.2.1.2 Vpliv namestitve police in senčil

V analizi smo poleg optimalne velikosti in tipa zasteklitve pri posameznih orientacijah iskali tudi primeren način senčenja in namestitve police. Najprej smo si ogledali vpliv položaja namestitve police. Primerjavo solarnih dobitkov smo izvedli za zasteklitev tipa 2 e in WWR 100 % (Grafikon 23). Polica, nameščena na zgornji strani in v sredini, zmanjšuje količino solarnih dobitkov. Polica nameščena spodaj zaradi odboja sončnega sevanja v prostor dviguje vrednost solarnih dobitkov preko celega leta.



Grafikon 23: Solarni dobitki na S fasadi v odvisnosti od položaja namestitve police

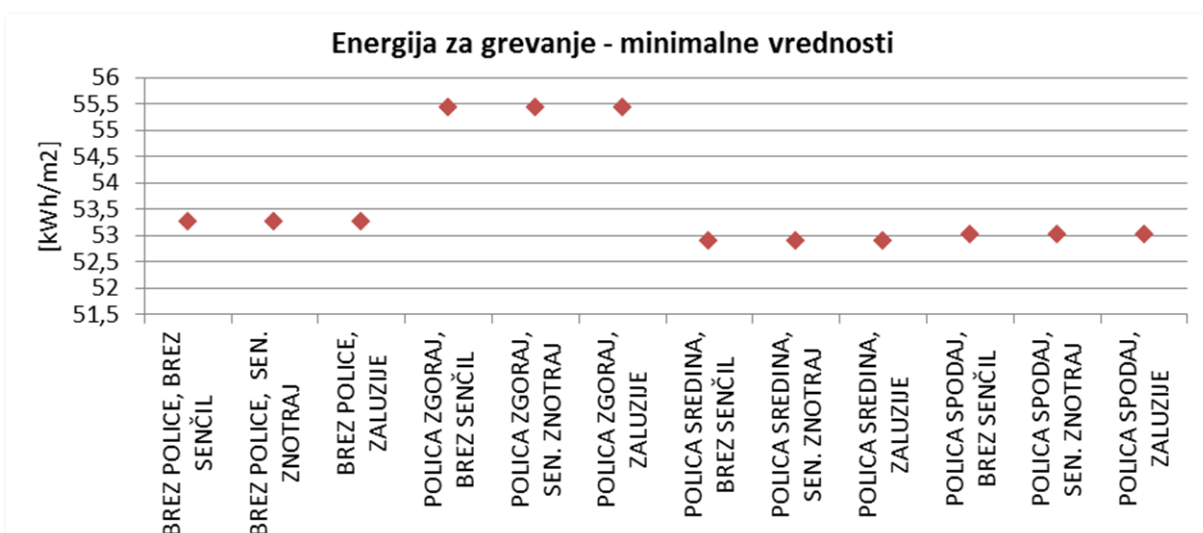
Preverili smo tudi vpliv senčenja (Grafikon 24). Prva (modra) varianta predstavlja zasteklitev 2 e pri WWR 100 % brez nameščenih senčil, ostali dve varianti (senčila znotraj, žaluzije zunaj) pa imata nameščeno avtomatsko vodena senčila. Sistem aktivira senčila, ko je zunanja temperatura višja od 24 °C in ko je sončno sevanje na ravni zunanji horizontalni površini višje od 630 W/m². Žaluzije se v času delovanja oziroma aktivacije ves čas nameščene pod kotom 45°. Na ta način zmanjšajo količino sončnega sevanja v prostoru. Kljub temu v prostor še vedno prepuščajo relativno veliko svetlobe. Robne pogoje za nadzor nad senčili smo postavili tako, da se energija, potrebna za ogrevanje, v času ogrevanja ni povečala (Grafikon 24). Mesečni solarni dobitki in s tem tudi energija za ohlajanje prostorov se spreminjajo le v poletnih mesecih (takrat so solarni dobitki nezaželeni).



Grafikon 24: Solarni dobitki na S fasadi v odvisnosti od tipa senčil

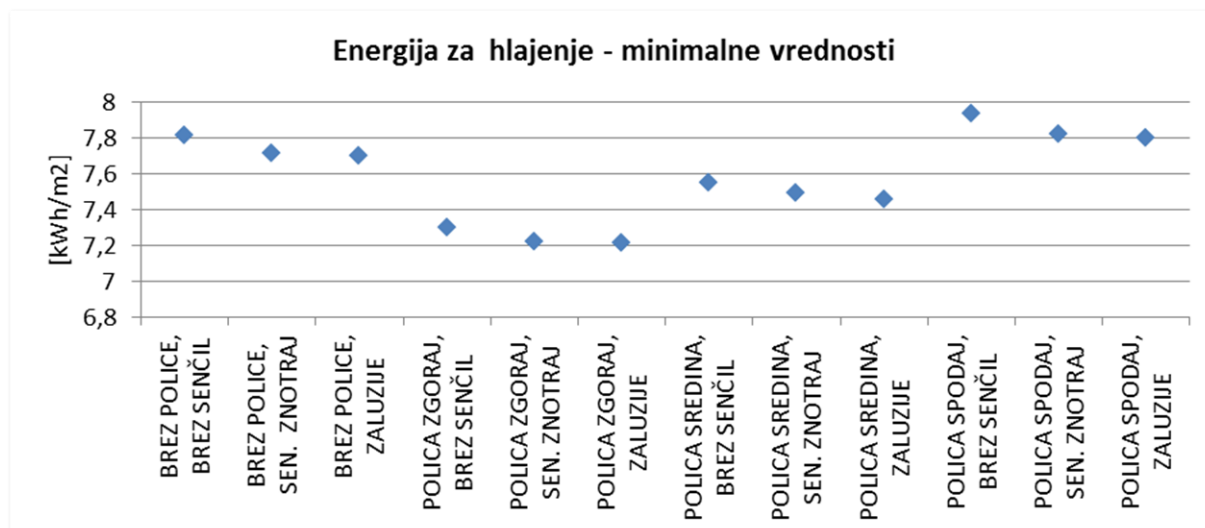
5.2.1.3 Minimalne vrednosti porabe energije pri različnih tipih zasnove fasade

Za vsak tip oblikovanja odprtin smo iskali minimalne vrednosti posamezne energije. Pri vsakem primeru smo iskali optimalno površino in tip zasteklitve. Najprej smo iskali optimalno površino in tip zasteklitve za doseg minimalne porabe energije za ogrevanje (Grafikon 25). Podobno smo naredili še za hlajenje, osvetlitev in skupno porabo. Z namestitvijo police na vrhu okna na račun manjših solarnih dobitkov povečamo energijo, potrebno za ogrevanje prostora. Pri polici na zgornji strani dosežemo minimalne vrednosti z zasteklitvijo tipa 3 c. Pri polici na sredini (ki ima nizke solarne dobitke) minimum dosežemo z zasteklitvijo tipa 4 b in WWR 100 %.



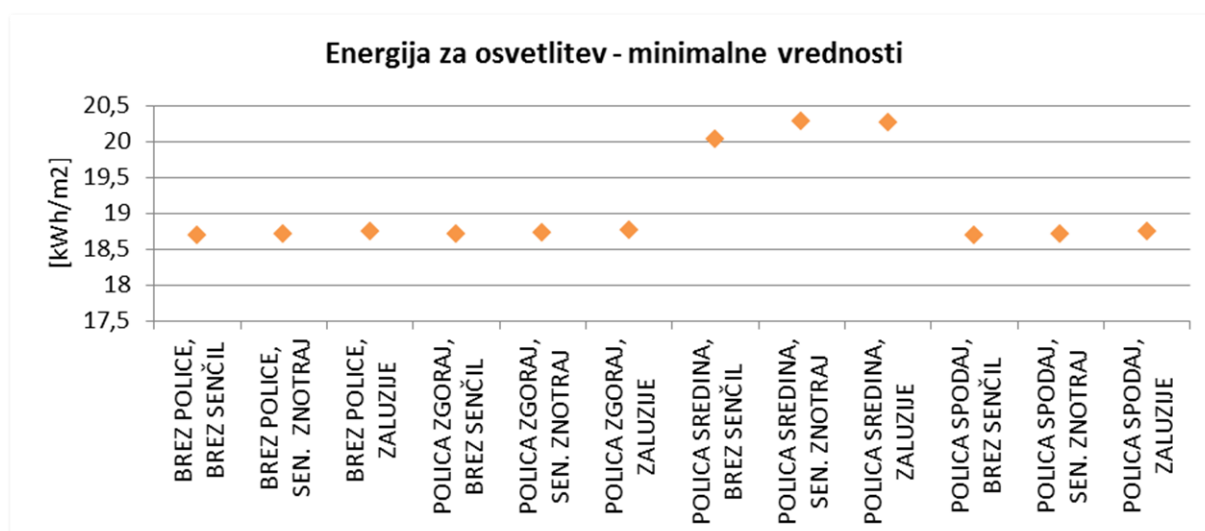
Grafikon 25: Minimalna energija za ogrevanje pri različnih načinih zasnove fasade

Za vsak način oblikovanja fasade oziroma način senčenja smo poiskali tip okna in velikost zasteklitve, pri katerem je dosežena minimalna potrebna energija za hlajenje prostora (Grafikon 26). Z namestitvijo police na sredini ali vrhu okna zmanjšamo porabo energije za hlajenje. Na severni strani je ta vpliv zaradi majhne osončenosti zelo majhen. Minimalno količino energije za hlajenje dobimo pri najmanjši zasteklitvi (WWR 20 %), polici, nameščeni na vrhu okna in žaluzijami na zunanji strani okna z zasteklitvijo tipa 1 a.



Grafikon 26: Minimalna energija za hlajenje pri različnih načinih zasnove fasade

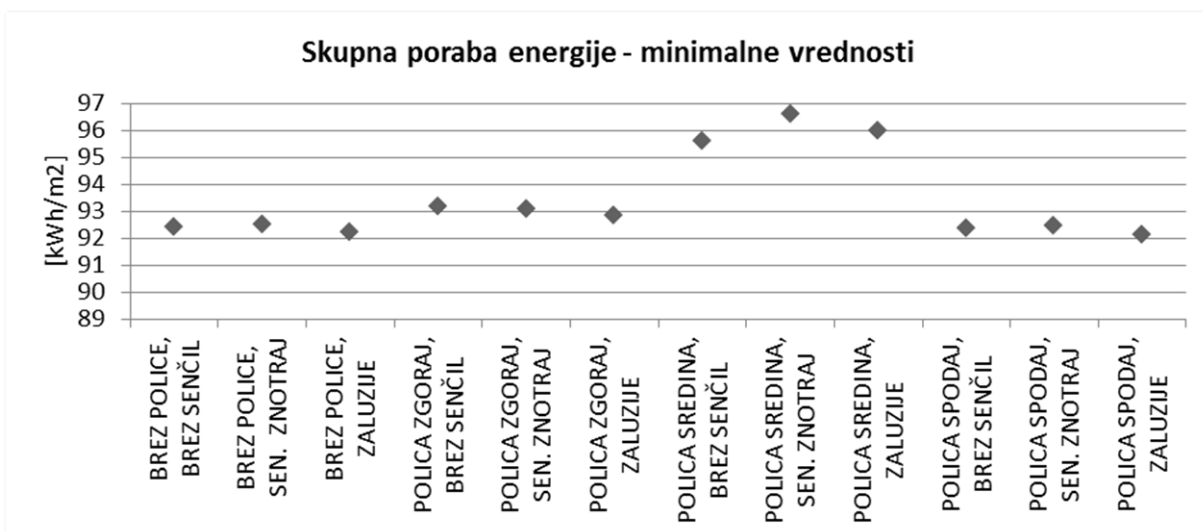
Energija za osvetlitev prostora za določeno orientacijo je odvisna od namestitve police, izbire senčil, prepustnosti zasteklitve za vidno svetlobo in velikosti zasteklitve. Najboljšo naravno osvetljenost pričakovano dobimo pri WWR 100 % in zasteklitvi z najvišjim faktorjem LT. Osvetljenost se tako kot solarni dobitki manjša z namestitvijo police na sredini in na vrhu okna in namestitvijo senčil (Grafikon 27). Najnižjo vrednost energije, potrebne za osvetlitev, dobimo pri zasteklitvi celotne fasade (WWR 100 %) z zasteklitvijo z najvišjo prepustnostjo vidne svetlobe. To velja za situacijo brez nameščenih senčil in polico na spodnji strani okna.



Grafikon 27: Minimalna energija za osvetlitev pri različnih načinih zasnove fasade

Z vidika skupne porabe energije je na severni strani najbolj ugodna namestitev police na spodnji strani, velikostjo WWR 100 % in zasteklitvijo s tipom zasteklitve 3 c skupaj z

avtomatsko vodenimi žaluzijami (Grafikon 28). Polica, nameščena na sredini, je iz energetskega vidika na S fasadi najbolj neugodna. Zaradi slabše osvetljenosti ima višjo porabo energije za osvetlitev prostora.



Grafikon 28: Minimalna skupna potrebna energija pri različnih načinih zasnovave fasade

Rezultati analize skupne porabe energije (Grafikon 28) so tako kot za posamezne tipe rabe energije doseženi pri različnih tipih in velikostih zasteklitve. Na koncu smo zbrali rezultate iskanja optimalne velikosti in tipa zasteklitve pri določenem tipu oblikovanja senčenja (Preglednica 8).

Preglednica 8: Tipi in velikosti zasteklitve za dosego minimalne skupne porabe energije pri določenem načinu oblikovanja

Skupna energija [kWh/m ²]	WWR [%]	Tip	Senčila	Polica
92,40	100	3 d	BREZ	BREZ POLICE
92,51	100	3 c	ZNOTRAJ	BREZ POLICE
92,22	100	3 c	ŽALUZIJE	BREZ POLICE
93,18	100	3 d	BREZ	POLICA ZGORAJ
93,07	100	3 c	ZNOTRAJ	POLICA ZGORAJ
92,85	100	3 c	ŽALUZIJE	POLICA ZGORAJ
95,61	80	3 c	BREZ	POLICA SREDINA
96,60	80	3 c	ZNOTRAJ	POLICA SREDINA
96,01	100	3 d	ŽALUZIJE	POLICA SREDINA
92,36	100	3 d	BREZ	POLICA SPODAJ
92,46	100	3 c	ZNOTRAJ	POLICA SPODAJ
92,14	100	3 c	ŽALUZIJE	POLICA SPODAJ

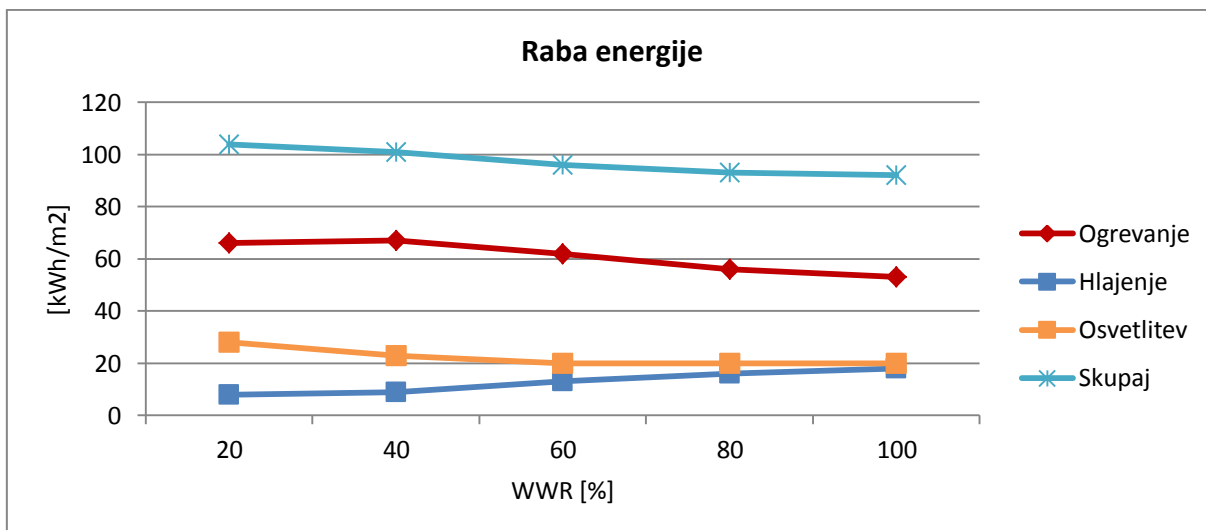
5.2.1.4 Optimalna izbira pri različnih velikostih – navodila za prenovu

V praksi imamo pri obstoječih stavbah zaradi prevelikih posegov v nosilno konstrukcijo objekta (dragi posegi) zelo malokrat možnost drastično spreminjati površino zasteklitve, zato smo na podlagi analize za S fasado poiskali minimalne vrednosti pri določenih velikostih zasteklitve (Preglednica 9). Ti rezultati so uporabni predvsem pri izbiri optimalne vrste zasteklitve v primeru zamenjave obstoječih oken. V prejšnjem poglavju smo za razumevanje določenega tipa oblikovanja za vsak tip porabe energije iskali minimalne vrednosti. V tem poglavju pa smo poiskali minimalno vrednost skupne porabe energije in njej pripadajoče vrednosti porabe energije za ogrevanje, hlajenje in osvetlitev. Poleg so podani načini oblikovanja in tip zasteklitve za doseg minimalnih vrednosti.

Preglednica 9: Minimalna skupna poraba energije in njej pripadajoče vrednosti pri različnih velikostih zasteklitve

Energija za ogrevanje [kWh/m ²]	Energija za hlajenje [kWh/m ²]	Energija za osvetlitev [kWh/m ²]	Skupna poraba energije [kWh/m ²]	WWR [%]	Tip	Senčila	Polica
66,35	8,95	28,96	104,26	20	3 c	BREZ	BREZ POLICE
67,56	9,84	23,69	101,09	40	3 c	BREZ	POLICA SPODAJ
62,24	13,66	20,95	96,84	60	3 c	BREZ	POLICA SPODAJ
56,49	16,79	20,48	93,76	80	3 c	ŽALUZIJE	POLICA SPODAJ
53,01	18,95	20,18	92,14	100	3 c	ŽALUZIJE	POLICA SPODAJ

Poraba posameznih energij (ogrevanje, hlajenje, osvetlitev) se pri minimalnih vrednostih skupne porabe ujema z rezultati iz prejšnjih analiz. Skupna energija pri povečevanju zasteklitve pada. Prav tako padata tudi energiji za osvetlitev in ogrevanje, energija za hlajenje pa narašča (Grafikon 29).



Grafikon 29: Prikaz rabe energije pri minimalni skupni porabi glede na velikost zasteklitve

5.2.1.5 Navodila za oblikovanje zastekljenih površin na S fasadi

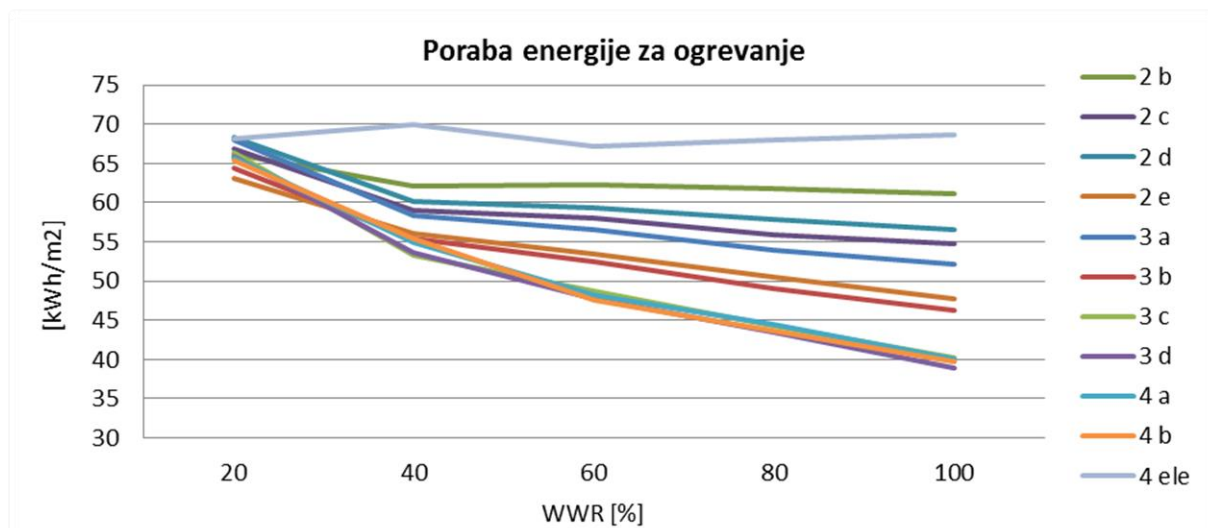
Iz rezultatov (Preglednica 9) vidimo, da je pri vseh velikostih zasteklitve smiselno namestiti polico na spodnji strani. Optimalna izbira zasteklitve je tip 3 c ($U_g = 0,599 \text{ W/m}^2\text{K}$; $g = 0,482$). Pri velikostih večjih od WWR 60 % je iz energetskega vidika smiselno namestiti žaluzije, namestitev senčil pa iz ekonomskih razlogov odsvetujemo, saj so razlike v porabi energije na severni fasadi zelo majhne (za WWR 100 %, kjer imajo senčila največji vpliv, z namestitvijo senčil prihranimo le 1 % skupne porabe energije).

5.2.2 SV in SZ fasada

Tako kot za severno, tudi za fasado orientirani proti SV oziroma SZ velja, da imaa preko celotnega leta nizko osončenost. Solarni dobitki se v primerjavi s severno fasado povečajo za cca 20 %. S tem se zmanjša energija, potrebna za ogrevanje, in poveča energija potrebna za hlajenje prostorov. Zaradi večjih vrednosti sončnega sevanja se poveča tudi količina naravne svetlobe, zato se poraba energije za osvetlitev nekoliko zmanjša.

5.2.2.1 Vpliv tipa in velikosti zasteklitve

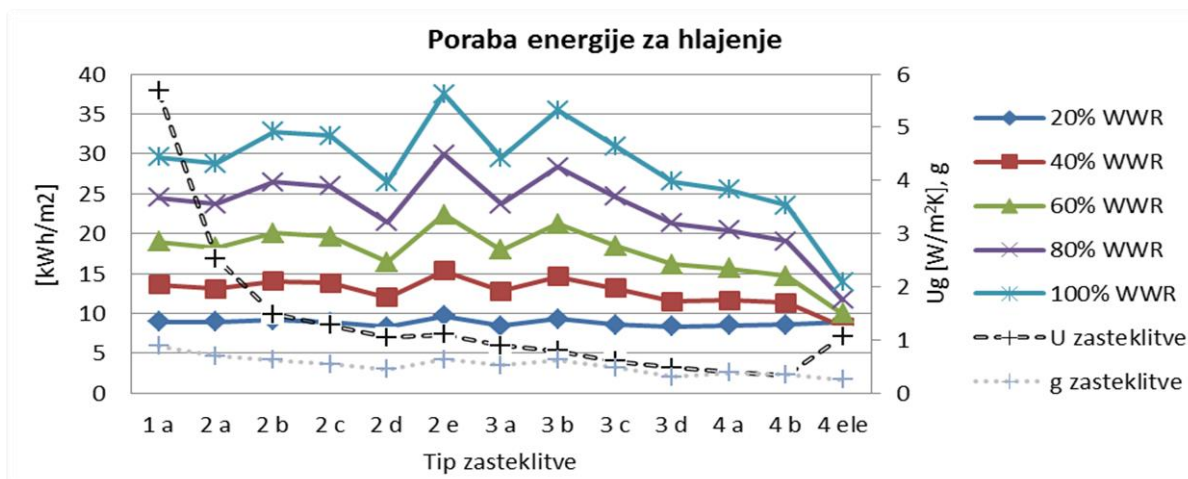
Če primerjamo grafikona za S (Grafikon 20) in SV fasado (Grafikon 30), vidimo, da so pri SV fasadi zaradi večjih solarnih dobitkov bolj ugodne zasteklitve z nekoliko manjšim faktorjem g kot v prejšnjem primeru (optimalna varianta zasteklitve 3 c). Poraba energije za ogrevanje se z večanjem zasteklitve zmanjšuje že pri zasteklitvi s tipom 2 b.



Grafikon 30: Porabe energije za ogrevanje za SV fasado

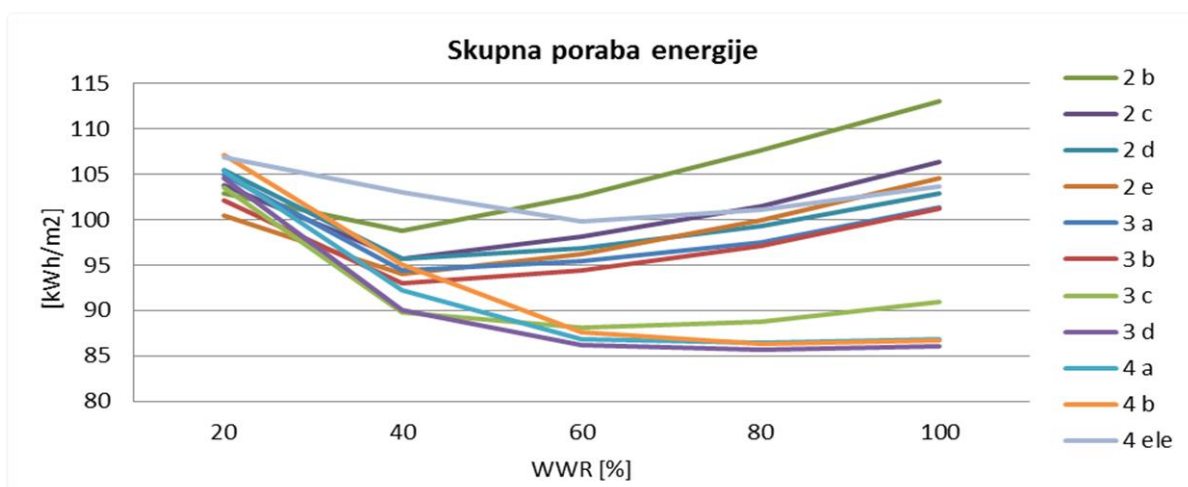
Poraba energije za ogrevanje se pri SV in SZ orientacijah pri različnih tipih zasteklitve manj razlikuje kot pri S orientaciji (vsi tipi zasteklitve imajo podoben trend nižanja energije). Pri SV orientaciji elektrokromna zasteklitev (zaradi premajhnih solarnih dobitkov) še vedno ni primerna za uporabo. Na fasadi s SV orientacijo je iz vidika ogrevanja najbolj ugodno namestiti največjo zasteklitev tipa 3 d. Manjša kot je velikost okna, manj pomembna je izbira tipa zasteklitve.

Poraba energije za hlajenje je pri različnih tipih podobna kot pri S fasadi (Grafikon 31). Spremeni se le velikostni red. Poraba energije za hlajenje se pri nezaščitenih oknih v nekaterih primerih poveča celo za 60 % (pri največji površini zasteklitve z visoko prepustnostjo sončnega sevanja tipa 2 e in 3 b). Če želimo v prostoru z zasteklitvijo na SV ali SZ strani imeti najmanjšo porabo energije za hlajenje, moramo namestiti čim manjša okna z zasteklitvijo z nizko prepustnostjo sončnega sevanja (3 a, 4 ele).



Grafikon 31: Odvisnost porabe energije za hlajenje na SV fasadi od tipa zasteklitve pri različnih WWR

Zaradi večjih solarnih dobitkov kot pri S orientaciji so drugačni tudi rezultati za porabo skupne energije. Pri majhnih zasteklitvah z izredno nizko toplotno prehodnostjo (4 b) je skupna poraba energije zaradi nizkih solarnih dobitkov in večje porabe energije za ogrevanje celo večja kot pri zasteklitvah z občutno večjo toplotno prehodnostjo (2 b ima 4 krat višjo toplotno prehodnost kot 4 b). Pri zasteklitvi z WWR 40 % večina tipov zasteklitve doseže minimalno skupno porabo energije. Izjema so zasteklitve z zelo nizko toplotno prehodnostjo, ki svoje minimume dosežejo pri večjih površinah zasteklitve. Pri uporabi take zasteklitve je skupna poraba energije pri velikostih od WWR 60 % do WWR 100 % zelo podobna. Pri ostalih tipih zasteklitve pa se te vrednosti od velikosti WWR 40 % naprej kar hitro povečujejo. Velik vpliv imajo solarni dobitki. Pri SV in SZ orientaciji zasteklitve so odnosi isti kot pri S, poveča se le velikostni razred dobitkov (skladno z energijo, potrebno za ohlajanje).



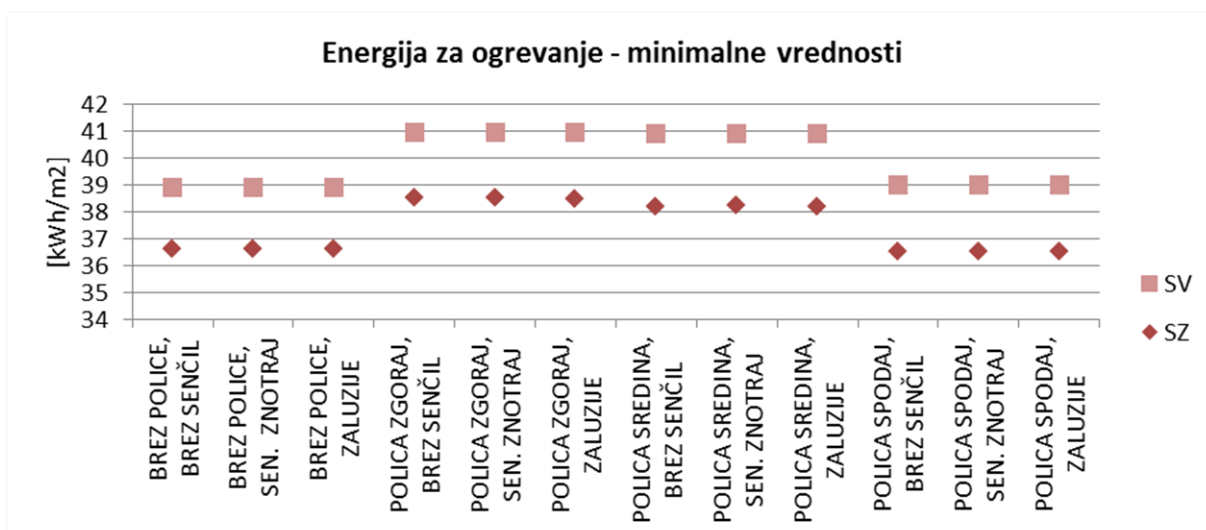
Grafikon 32: Odvisnost skupne porabe energije na SV fasadi od WWR pri različnih tipih zasteklitve

5.2.2.2 Vpliv namestitve police in senčil

V analizi smo poleg optimalne velikosti in tipa zasteklitve tako kot za S orientacije iskali tudi primeren način senčenja in namestitve police. Vplivi namestitve senčil in polic na različnih višinah so enaki kot pri S orientaciji (Grafikon 23), so pa razlike med posameznimi primeri tu večje kot pri S orientaciji. Za povečanje dobitkov moramo tako namestiti polico spodaj.

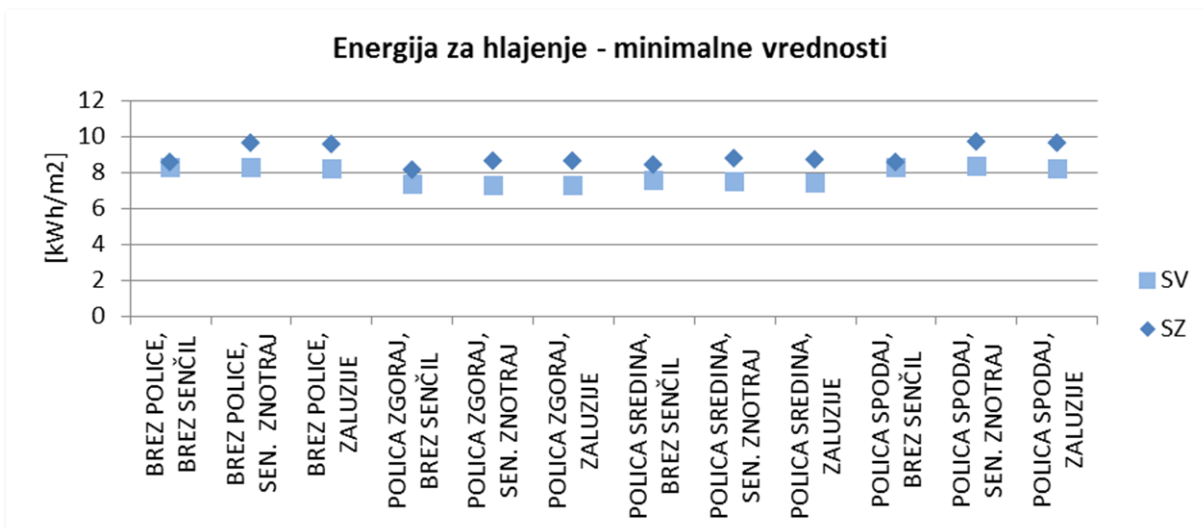
5.2.2.3 Minimalne vrednosti porabe energije pri različnih tipih zasnove fasade

Princip analize je enak kot pri S orientirani zasteklitvi. Iz rezultatov smo razbrali optimalno površino in tip zasteklitve za doseg minimalne porabe energije, in sicer ločeno za ogrevanje, hlajenje, osvetlitev in celoto. Tako kot na S strani, pri zasteklitvi fasade na SV in SZ orientaciji z vidika ogrevanja ni smiselno namestiti police na zgornji strani in na sredini okna. Iz energetskega stališča je polico najbolje namestiti na spodnji strani (Grafikon 33). Vrednosti za ogrevanje pri SV in SZ orientaciji se razlikujejo za približno 5 %. Ta razlika je predvsem posledica urnikov uporabe prostorov (Grafikon 1) in vremenskih pogojev za Ljubljano (več sonca v popoldanskem času). Minimalne vrednost za ogrevanje pri SV orientaciji fasade dobimo pri WWR 100 %, brez police in tipu zasteklitve 3 d. Pri SZ orientaciji fasade pa dobimo minimalno energijo, potrebno za ogrevanje, pri polici nameščeni na spodnji strani in tipu zasteklitve 4 b. Pri tem velja omeniti, da se pri SZ orientaciji vrednosti med tipom 3 d in 4 b razlikujeta za 0,5 % in sta praktično zanemarljivi.



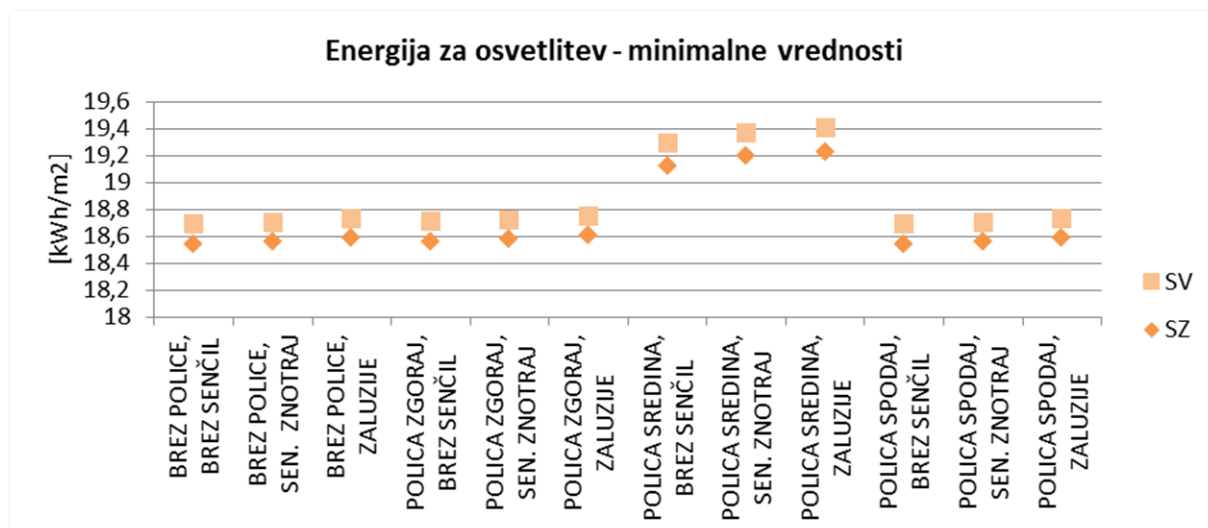
Grafikon 33: Minimalna energija za ogrevanje pri različnih načinih zasnove fasade

Minimalne vrednosti porabe energije za hlajenje prostorov so si pri različnih velikostih, tipih zasteklitve in načinih senčenja za SV in SZ orientacijo med seboj bolj podobne kot pri ogrevanju (Grafikon 34). Na fasadi s SV orientacijo dobimo minimalne vrednosti v primeru, ko imamo polico nameščeno zgoraj, WWR 20 %, žaluzije in zasteklitev tipa 1 a. Pri tej zasteklitvi imamo največji transmisijski transport toplote in hkrati tudi največji faktor g. Ker so solarni dobitki za SV orientacijo nizki, ima transmisija večji vpliv.



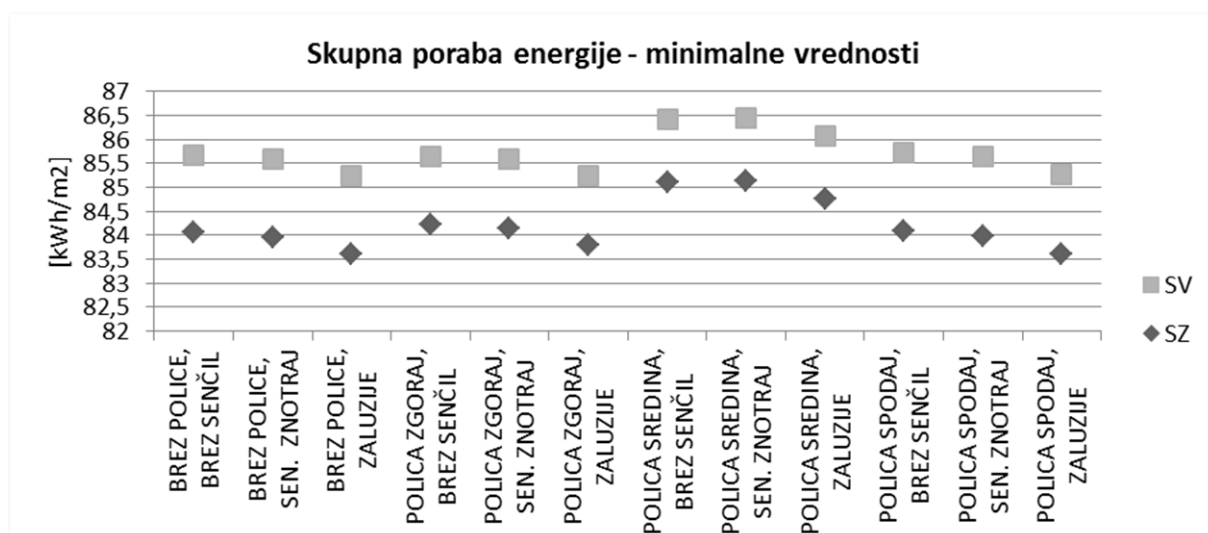
Grafikon 34: Minimalna energija za hlajenje pri različnih načinih zasnove fasade

Minimalne vrednosti energije za osvetlitev določenih primerov oblikovanja imajo podoben razpored kot pri S orientaciji (Grafikon 35), spremeni se le količina potrebne energije. Ta je zaradi večje osončenosti in s tem tudi osvetljenosti razumljivo nižja. Za SV stran dobimo minimum pri varianti brez senčil, WWR 100 %, polico spodaj in tipu zasteklitve 1 a. Za SZ orientacijo oken so pogoji za doseganje minimalne vrednosti enaki kot pri SV orientaciji.



Grafikon 35: Minimalna energija za osvetlitev pri različnih načinih zasnove fasade

Z vidika skupne porabe energije je najbolj ugodna varianta za SZ orientacijo zasteklitev z WWR 80 %, tipa 3 d, žaluzijami in polico nameščeno na spodnji strani. Odstopanja v vrednostih med orientacijami so posledica razlik urnika obratovanja in vremenskih lastnosti med dopoldnevom in popoldnevom. Iz energijskega stališča vidimo, da je na severnih fasadah primerno namestiti polico spodaj in uporabiti žaluzije (Grafikon 36). Z ekonomskega vidika namestitve žaluzij zaradi zelo dolge vračilne dobe začetne investicije verjetno ni smiselna.



Grafikon 36: Minimalna skupna potrebna energija pri različnih načinih zasnove fasade

Prikazane minimalne vrednosti porabe skupne energije so tako kot pri ostalih vrstah porabe energije dosežene pri različnih tipih in velikostih zasteklitve. Zbrali smo pogoje, pri katerih so za SZ orientacijo doseženi minimumi za določen tip oblikovanja senčenja (Preglednica 10).

Preglednica 10: Tipi in velikosti zasteklitve za doseg minimalne skupne porabe energije pri določenem načinu oblikovanja

Skupna poraba energije [kWh/m ²]	WWR [%]	Tip okna	Senčila	Polica
84,07	80	3 d	BREZ	BREZ POLICE
83,96	80	3 d	ZNOTRAJ	BREZ POLICE
83,62	80	3 d	ŽALUZIJE	BREZ POLICE
84,21	80	3 d	BREZ	POLICA ZGORAJ
84,15	80	3 d	ZNOTRAJ	POLICA ZGORAJ
83,80	100	3 d	ŽALUZIJE	POLICA ZGORAJ
85,12	80	3 d	BREZ	POLICA SREDINA
85,13	80	3 d	ZNOTRAJ	POLICA SREDINA
84,76	80	3 d	ŽALUZIJE	POLICA SREDINA
84,09	80	3 d	BREZ	POLICA SPODAJ
83,98	80	3 d	ZNOTRAJ	POLICA SPODAJ
83,61	80	3 d	ŽALUZIJE	POLICA SPODAJ

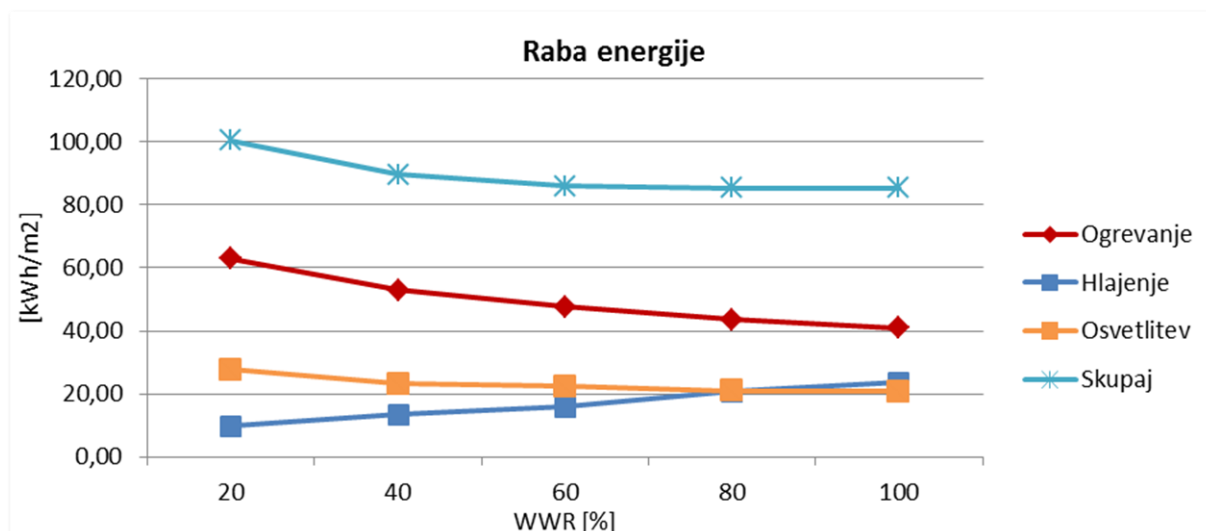
5.2.2.4 Optimalna izbira pri različnih velikostih – navodila za prenovo

V tem poglavju smo poiskali minimalno vrednost skupne porabe energije in njej pripadajoče vrednosti porabe energije za ogrevanje, hlajenje in osvetlitev pri različnih velikostih zasteklitve (Preglednica 11). V preglednici so podani tudi načini oblikovanja za doseg minimalnih vrednosti pri posamezni velikosti zasteklitve.

Preglednica 11: Minimalna skupna poraba energije in njej pripadajoče vrednosti pri različnih velikostih zasteklitve

Energija za ogrevanje [kWh/m ²]	Energija za hlajenje [kWh/m ²]	Energija za osvetlitev [kWh/m ²]	Skupna poraba energije [kWh/m ²]	WWR [%]	Tip	Senčila	Polica
57,08	11,15	27,29	95,52	20	2 e	BREZ	POLICA SPODAJ
49,97	13,15	24,58	87,69	40	3 d	ŽALUZIJE	POLICA SPODAJ
45,82	17,47	22,01	85,29	60	3 d	ŽALUZIJE	POLICA SPODAJ
40,78	22,11	20,72	83,61	80	3 d	ŽALUZIJE	POLICA SPODAJ
38,67	24,62	20,52	83,80	100	3 d	ŽALUZIJE	POLICA ZGORAJ

Poraba posameznih energij pri minimalnih vrednostih skupne porabe energije se ujema z rezultati iz prejšnjih analiz. Z večanjem zasteklitve preko WWR 80 % pri SZ orientaciji energija, potrebna za hlajenje, preseže energijo, potrebno za osvetlitev (Grafikon 37). Temu primeren je tudi način oblikovanja, ki pri taki velikosti zasteklitve narekuje čim boljše senčenje zasteklitve. To dosežemo s polico na zgornji strani okna. Pri manjših zasteklitvah vidimo tudi, da je najbolj ugodna dvojna zasteklitev. To je posledica dejstva, da so pri teh velikostih zasteklitve razlike med transmisijskimi izgubami različnih tipov zasteklitve manjše kot so razlike pri solarnih dobitkih in osvetlitvi prostorov.



Grafikon 37: Prikaz rabe energije pri minimalni skupni porabi glede na velikost zasteklitve

5.2.2.5 Navodila za oblikovanje zasteklitve na SV in SZ strani

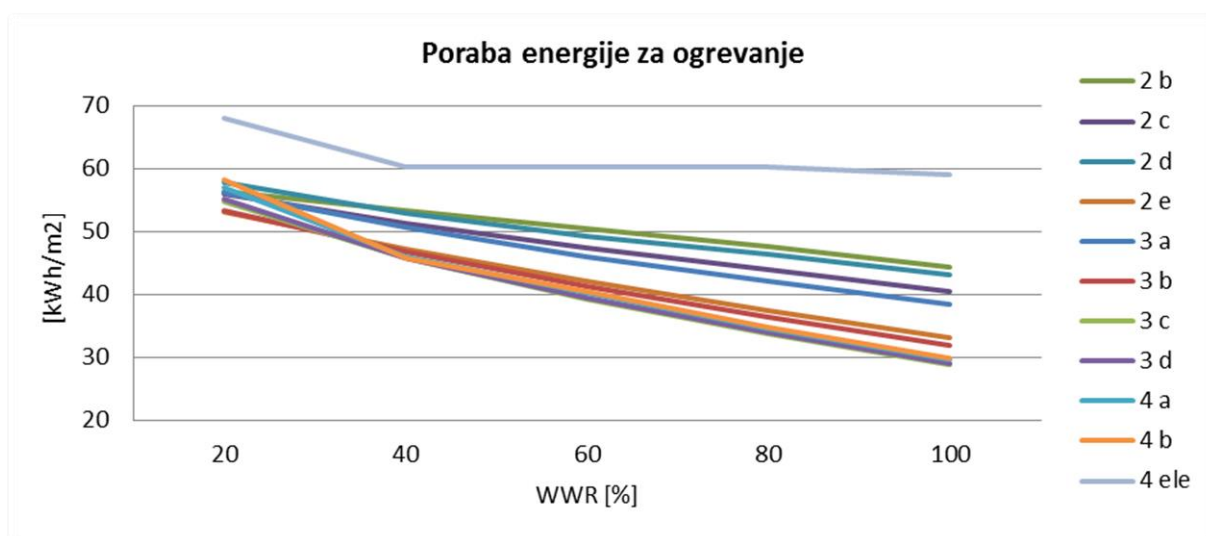
Iz zgornjih rezultatov lahko povzamemo, da je pri vseh velikostih (razen WWR 20 %) optimalna izbira okno z zasteklitvijo tipa 3 d ($U_g = 0,486$; $g = 0,309$), polico na spodnji strani in žaluzijami. Pri tem pa tako kot na S strani iz ekonomskih razlogov namestitve senčil ni smiselna.

5.2.3 V in Z fasada

Zastekljene površine na Z in V strani imajo v primerjavi s severno orientiranimi površinami že bistveno večje solarne dobitke (skoraj 100 % večje kot pri S orientaciji). Temu primerno je treba tudi prilagoditi način oblikovanja. Pričakujemo nižjo porabo energije za ogrevanje in osvetlitev ter višjo za hlajenje.

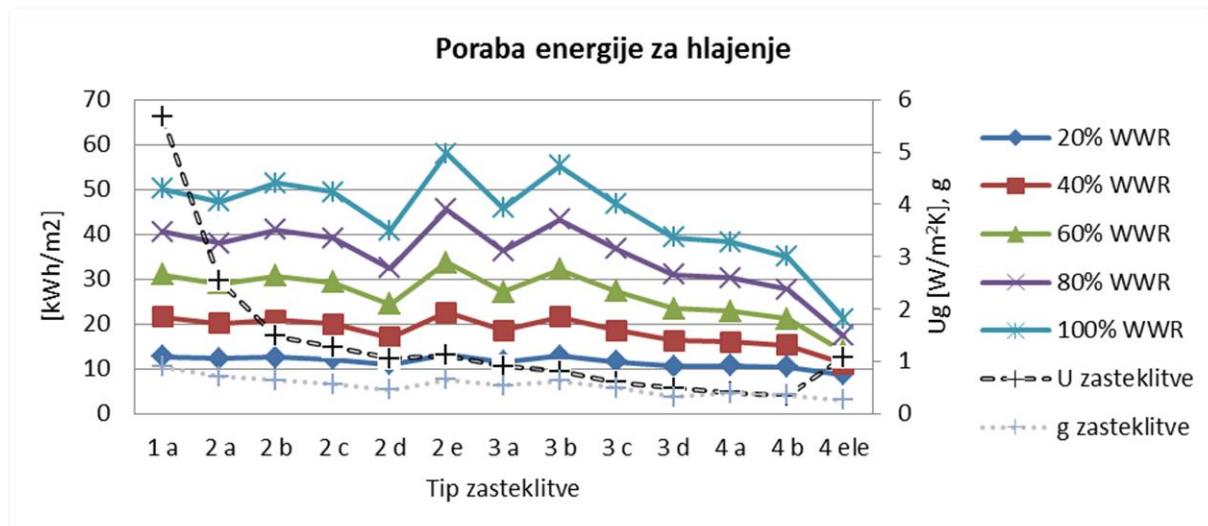
5.2.3.1 Vpliv tipa in velikosti zasteklitve

Pri primerjavi s porabo energije za ogrevanje pri S, SV in SZ orientaciji opazimo trend padanja energije za ogrevanje. Prav tako opazimo, da se razlike med posameznimi tipi manjšajo (Grafikon 38). Razlog za to je vse večji vpliv sončnega sevanja. Zaradi vse večjega vpliva sončnega sevanja vedno bolj pomemben postaja faktor prepustnosti sončnega sevanja. Pri V orientaciji fasade in majhnih WWR, zasteklitev z nizko toplotno prehodnostjo ni optimalna izbira (Grafikon 38), z večanjem zasteklitve pa tako kot pri S in SV orientaciji dobiva vedno več smisla.



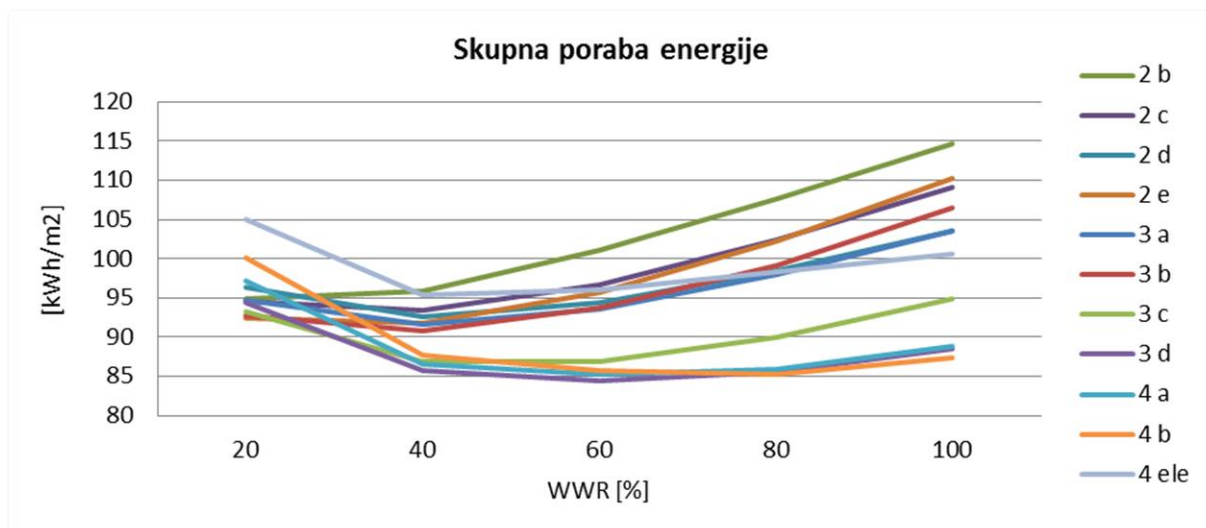
Grafikon 38: Porabe energije za ogrevanje za V fasado

Za WWR 20 % najnižje vrednosti dobimo pri zasteklitvi tipa 2 e. Pri večjih površinah zasteklitve pa so najnižje vrednosti največkrat pri tipu 3 d. Poraba energije za hlajenje (Grafikon 39) se v primerjavi s prejšnjimi orientacijami bistveno poveča (na račun večje osončenosti). Najvišje vrednosti se pojavijo pri zasteklitvi z visoko prepustnostjo sončnega sevanja (2 e in 3 b), najnižje pa dobimo pri zasteklitvi z elektrokromnim steklom (4 ele).



Grafikon 39: Porabe energije za hlajenje za V fasado

Tudi tu smo zaradi večje preglednosti in boljšega pregleda izpustili tipa 1 a in 2 a. Kot smo opozorili že pri energiji za ogrevanje, zasteklitev z zelo nizko toplotno prehodnostjo (npr. 4 b) pri majhnih površinah ni najbolj primerna. Pri površini WWR 40 % se pri V in Z orientaciji vrednosti skupne energije za posamezne tipe zasteklitve približajo minimalnim vrednostim. S povečevanjem površine se vrednosti razen pri zasteklitvi z zelo nizko toplotno prehodnostjo začnejo povečevati (Grafikon 40). Pri zasteklitvi z zelo majhno izolativnostjo so minimalne vrednosti dosežene pri WWR od 60 do 80 %, nato pa se tudi pri teh tipih vrednosti začnejo dvigati. Dvig skupne porabe energije lahko pripišemo dvigu energije, potrebne za hlajenje. Z večanjem površine zasteklitve glavno vlogo pri skupni porabi energije prevzame energija, potrebna za hlajenje.



Grafikon 40: Celotna poraba energije za V fasado

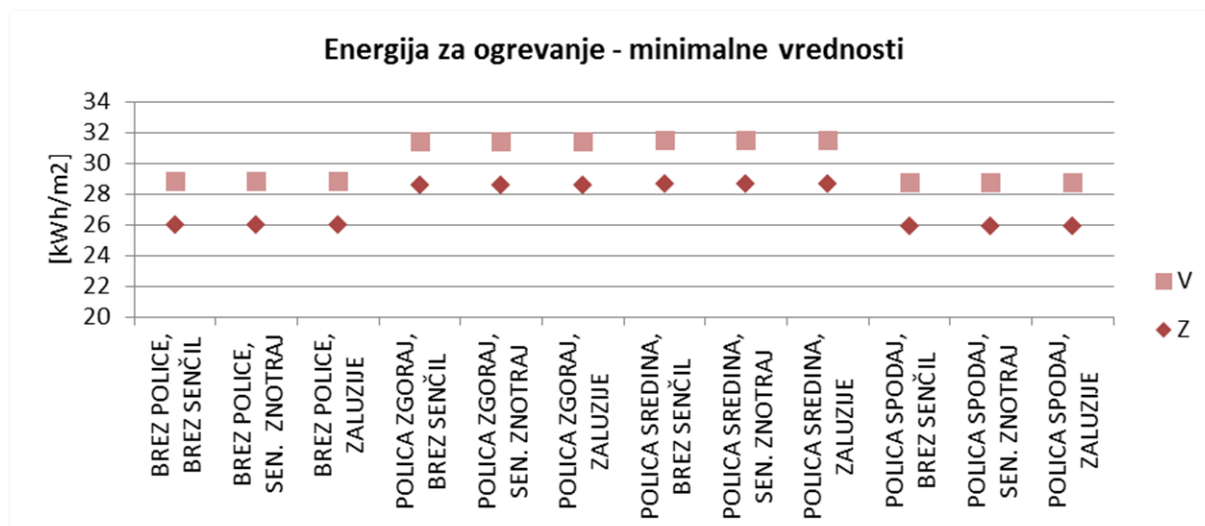
5.2.3.2 Vpliv namestitve police in senčil

Tako kot pri ostalih orientacijah smo tudi za V in Z orientacijo preverili vpliv položaja police in namestitve senčil. V primerjavi s prej preučevanimi orientacijami so tu dobitki in razlike med posameznimi primeri še višje (maksimalne vrednosti so tudi do 100 % večje kot pri S orientaciji). Učinki namestitve so pri vseh orientacijah isti (polica spodaj povečuje, polica nameščena zgoraj ali na sredini okna pa zmanjšuje količino solarnih dobitkov).

Tudi v primeru namestitve senčil se količine solarnih dobitkov za iste načine senčenja pri različnih orientacijah obnašajo podobno. V poletnih mesecih senčila zmanjšujejo količino solarnih dobitkov. V primerjavi s prejšnjimi orientacijami (S, SV, SZ) se solarni dobitki povišajo. To pomeni, da namestitev senčil dobiva s povečevanjem azimuta vedno večji pomen in smisel.

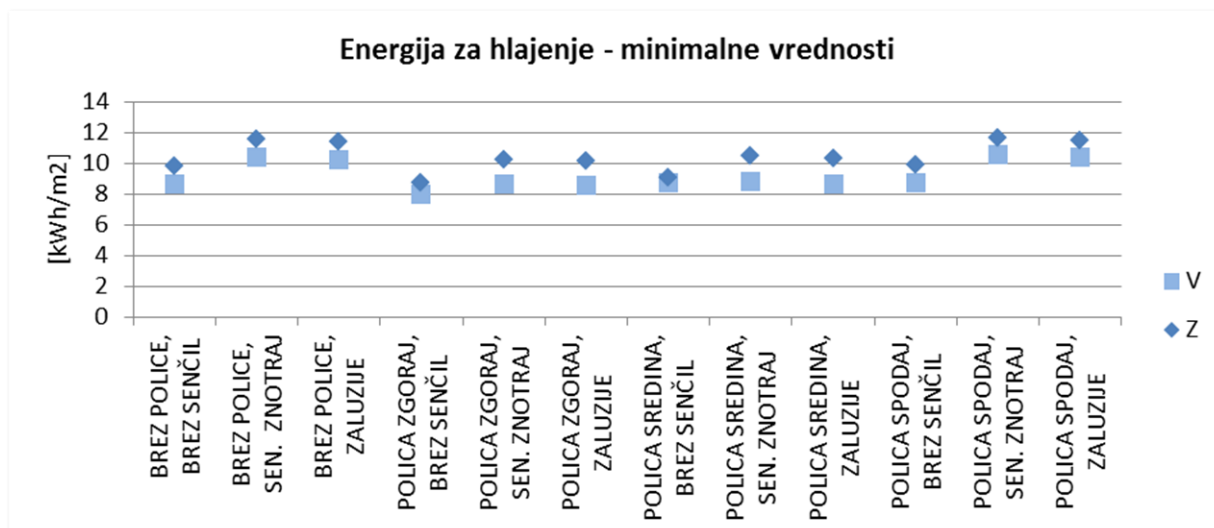
5.2.3.3 Minimalne vrednosti porabe energije pri različnih tipih zasnove fasade

Tudi pri orientaciji proti V in Z smo iskali minimalne vrednosti posebej za ogrevanje, hlajenje, osvetlitev in skupno porabo energije pri posameznih načinih oblikovanja steklenih površin in njihovih senčil. Rezultati optimalnih vrednosti so si tako kot pri SV in SZ orientaciji med seboj malenkostno različni (Grafikon 41). Na Z strani so nekoliko višji solarni dobitki (razlog so vremenske karakteristike za Ljubljano). Minimalne vrednosti za ogrevanje pri obeh orientacijah dosežemo pri istih pogojih. Minimum je dosežen pri WWR 100 %, tipu okna 3 c brez senčil. Z vidika ogrevanja tako še vedno velja, da se splača namestiti polico na spodnji strani.



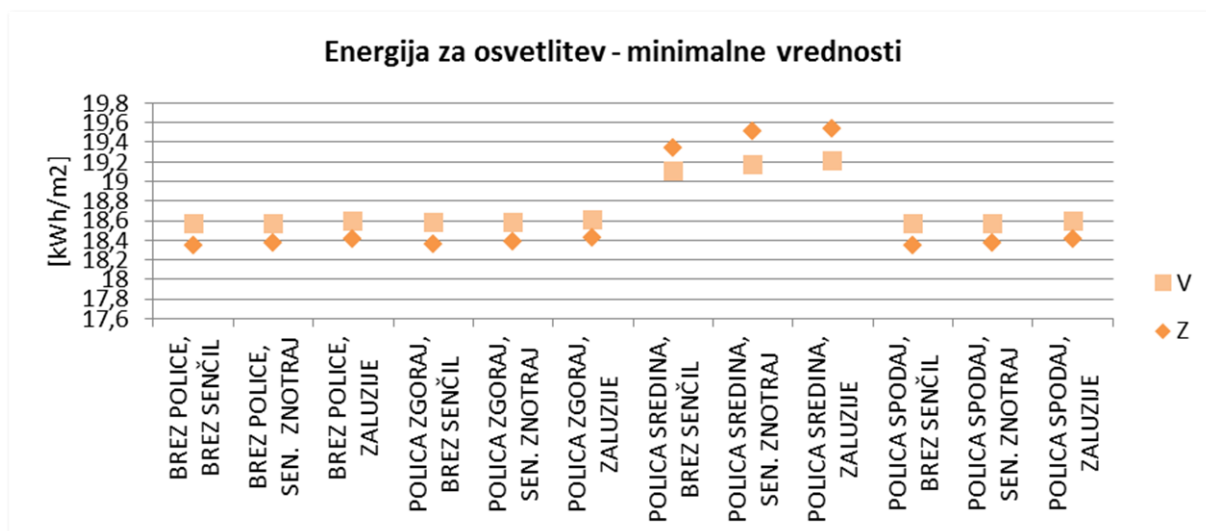
Grafikon 41: Minimalna energija za ogrevanje pri različnih načinih zasnove fasade

Zaradi povečanih solarnih dobitkov se potreba energije za hlajenje poveča. Minimalne vrednosti za hlajenje dosežemo z namestitvijo police na zgornji strani in uporabo elektrokromnih stekel. Če torej želimo doseči minimalno porabo energije za hlajenje, moramo namestiti police na zgornji strani (Grafikon 42), uporabiti majhna okna z elektrokromno zasteklitvijo. Elektrokromno zasteklitev smo modelirali le pri variantah brez senčil (v variantah s senčili nismo uporabili elektrokromnih stekel). To je tudi razlog, da imajo variante brez senčil nižje vrednosti kot tiste s senčili. Ekonomsko sprejemljivejša je namestitev žaluzij in izbira tipa zasteklitve 2 d, z visoko prepustnost sončnega sevanja za vidno svetlobo in nizko za ostali del spektra. Taka varianta ima približno 12 % višjo potrebo po energiji za ogrevanje kot pa optimalna.



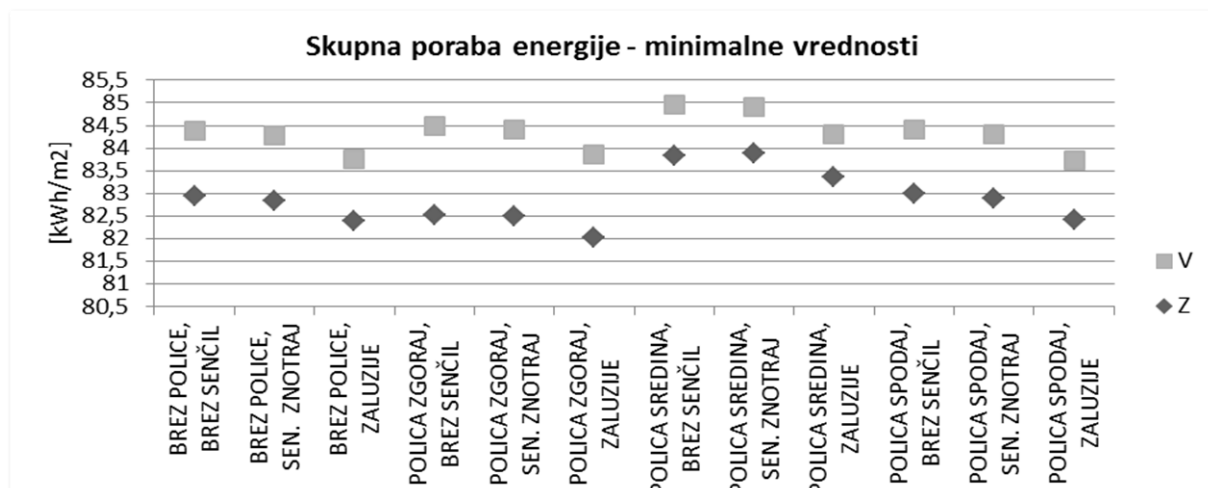
Grafikon 42: Minimalna energija za hlajenje pri različnih načinih zasnove fasade

Minimalne vrednosti energije za osvetlitev določenih primerov oblikovanja imajo podoben razpored kot pri SV in SZ orientaciji oken. Spremenijo se le vrednosti pri namestitvi police na sredini pri V orientaciji. Minimalne vrednosti energije za osvetlitev so v obeh primerih (tako kot pri SV in SZ fasadi) dosežene pri WWR 100 % in zasteklitvi tipa 1 a (Grafikon 43). Vrednosti so zaradi zadostne osvetlitve pri obeh orientacijah z WWR 100 % praktično enake.



Grafikon 43: Minimalna energija za osvetlitev pri različnih načinih zasnove fasade

Pri oblikovanju optimalnih zastekljenih površin je mogočih več različnih principov, ki imajo lahko podobno porabo skupne energije (Grafikon 44). S polico zgoraj in zasteklitvijo z nižjim g (4 b) dobimo nižje vrednosti pri energiji hlajenja, pri polici spodaj in zasteklitvijo (3 d) pa nižje vrednosti za ogrevanje. Skupna poraba energije pa je v obeh primerih zelo podobna.



Grafikon 44: Minimalna skupna potrebna energija pri različnih načinih zasnove fasade

Minimalne vrednosti skupne porabe energije (Grafikon 44) so tako kot pri ostalih primerih dosežene pri različnih tipih in velikostih zasteklitve. Polica na sredini za V in Z fasado iz energijskega stališča ni najbolj primerna, ostali načini oblikovanja pa imajo zelo podobne vrednosti. Spodaj (Preglednica 12) so prikazani pogoji, pri katerih so doseženi minimumi za določen tip oblikovanja senčenja. Očitno je, da se pri V in Z orientacijah splača namestiti žaluzije. Pri V in Z orientaciji sta si primera kjer je polica nameščena na zgornji strani pri WWR 80 %, in primera, kjer je polica na spodnji strani pri WWR 60 %, skoraj enaka (Preglednica 12). Iz ekonomskega vidika je verjetno veliko cenejša izbira variante z manjšo zasteklitvijo. Z vidika primernosti vizualnih pogojev v prostoru pa je ravno obratno.

Preglednica 12: Tipi in velikosti zasteklitve za doseg minimalne skupne porabe energije

WWR [%]	Senčila	Polica	V		Z	
			Skupna poraba energije [kWh/m²]	Tip	Skupna poraba energije [kWh/m²]	Tip
60	BREZ	BREZ POLICE	84,38	3 d	82,94	4 a
60	ZNOTRAJ	BREZ POLICE	84,28	3 d	82,84	4 a
60	ŽALUZIJE	BREZ POLICE	83,75	3 d	82,39	3 d
80	BREZ	POLICA ZGORAJ	84,49	4 b	82,53	4 b
80	ZNOTRAJ	POLICA ZGORAJ	84,42	3 d	82,49	4 b
80	ŽALUZIJE	POLICA ZGORAJ	83,86	3 d	82,03	4 b
80	BREZ	POLICA SREDINA	84,95	3 d	83,84	4 b
80	ZNOTRAJ	POLICA SREDINA	84,91	3 d	83,89	4 b
80	ŽALUZIJE	POLICA SREDINA	84,31	3 d	83,37	4 b
60	BREZ	POLICA SPODAJ	84,42	3 d	83,00	4 a
60	ZNOTRAJ	POLICA SPODAJ	84,32	3 d	82,89	4 a
60	ŽALUZIJE	POLICA SPODAJ	83,74	3 d	82,43	3 d

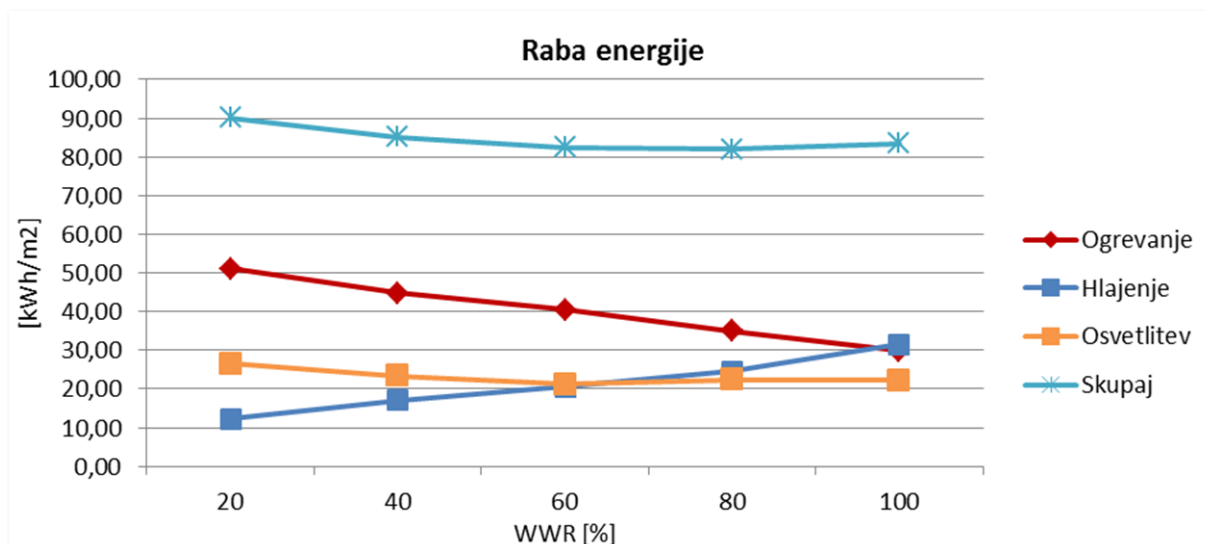
5.2.3.4 Optimalna izbira pri različnih velikostih – navodila za prenovo

Iz rezultatov (Preglednica 13) je lepo razvidno, da minimalno skupno energijo na fasadah z V in Z orientacijo dosežemo pri WWR od 60 – 80 %. Pri teh orientacijah pomembnejšo vlogo igra poraba energije za hlajenje (Grafikon 45).

Preglednica 13: Minimalna skupna poraba energije in njej pripadajoče vrednosti pri različnih velikostih zasteklitve

Energija za ogrevanje [kWh/m ²]	Energija za hlajenje [kWh/m ²]	Energija za osvetlitev [kWh/m ²]	Skupna poraba energije [kWh/m ²]	WWR [%]	Tip	Senčila	Polica
51,15	12,33	26,60	90,08	20	3 c	ŽALUZIJE	POLICA SPODAJ
44,74	17,12	23,32	85,18	40	3 d	ŽALUZIJE	POLICA SPODAJ
40,53	20,61	21,25	82,39	60	3 d	ŽALUZIJE	POLICA ZGORAJ
35,02	24,60	22,41	82,03	80	4 b	ŽALUZIJE	POLICA ZGORAJ
29,81	31,50	22,18	83,49	100	4 b	ŽALUZIJE	POLICA ZGORAJ

Poraba energije za hlajenje doseže vrednosti porabe energije za osvetlitev pri WWR 60 %. Pri večjih površinah zasteklitve pa se vrednosti še povečujejo.



Grafikon 45: Prikaz rabe energije pri minimalni skupni porabi glede na velikost zasteklitve

5.2.3.5 Navodila za oblikovanje zasteklitve na V in Z strani

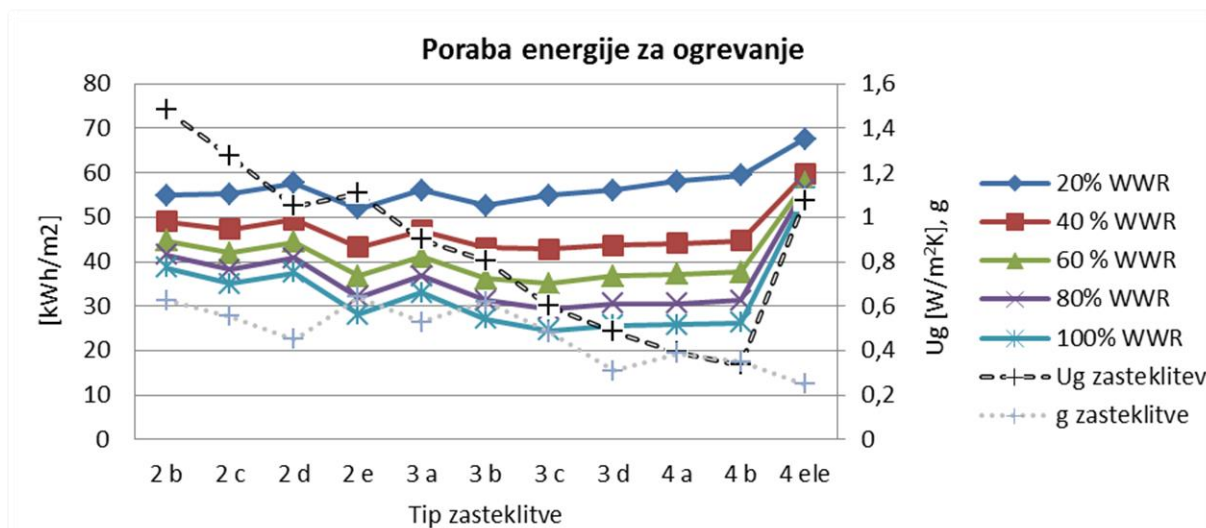
Vrednosti skupne potrebne energije so pri V in Z fasadah lahko zelo podobne pri različnih položajih namestitve police, različnih WWR in tipih zasteklitve, zato se moramo zavedati vpliva posameznih faktorjev. Iz ekonomskega vidika priporočamo zasteklitev, ki bolj izkorišča sončno sevanje in zmanjšuje porabo energije za ogrevanje. Ta varianta je zaradi manjše površine in cenejšega tipa zasteklitve bolj smiselna.

5.2.4 JV in JZ fasada

Za JV in JZ orientacije zastekljenih površin je značilno, da imajo velike solarne dobitke. Temu primerno je potrebno tudi izbrati pravilno velikost in tip zasteklitve. Zaradi visokih solarnih dobitkov (140 % večji kot pri S orientaciji) je potrebno poskrbeti za primerno senčenje. Na podlagi tega lahko predvidimo, da bo energija, potrebna za hlajenje, igrala pomembnejšo vlogo. Zaradi velike osončenosti bo primerna osvetljenost notranjih prostorov dosežena že pri manjših površinah zasteklitve kot pri orientacijah z manjšim azimutom, zato predvidevamo, da bodo optimalni rezultati doseženi pri zasteklitvah z manjšo površino.

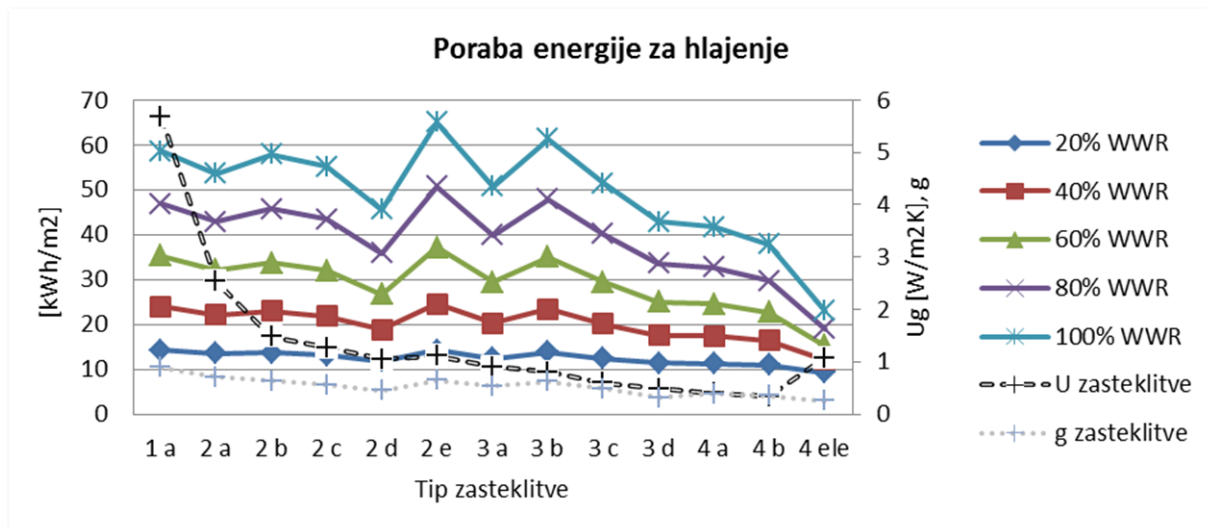
5.2.4.1 Vpliv tipa in velikosti zasteklitve

Pri primerjavi s porabo energije za ogrevanje pri V in Z orientaciji se energija, potrebna za ogrevanje, še vedno zmanjšuje. Izbira optimalnega tipa zasteklitve z vidika ogrevanja je podobna kot pri orientacijah, opisanih v prejšnjih poglavjih. Pri energiji, potrebni za ogrevanje, močno odstopa le elektrokromna zasteklitev, ki ima nizek faktor prepustnosti sončnega sevanja. Poleg zasteklitev 3 a, b, c se pri porabi energije za ogrevanje predvsem pri zasteklitvah z WWR do 80 % najbolj odreže zasteklitev tipa 2 e (Grafikon 46). Tak tip zasteklitve je v primerjavi z ostalimi verjetno cenovno najbolj dostopen in zato tudi najbolj zanimiv za vgradnjo.



Grafikon 46: Porabe energije za ogrevanje za JV fasado

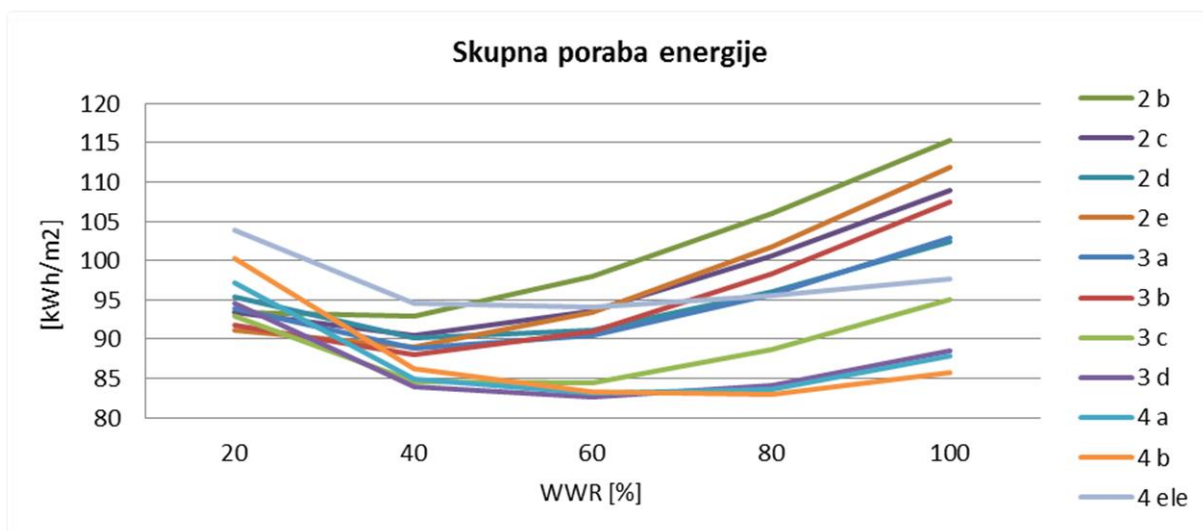
Poraba energije za hlajenje (Grafikon 47) se v primerjavi s prejšnjimi orientacijami še povečuje. Pri manjših površinah (WWR 20 - 40 %) tip zasteklitve nima velikega vpliva na porabo energije za hlajenje. Z večanjem površine zasteklitve izstopajo zasteklitve tipov 2 d, 3 a in 4 ele. Slednja pričakovano prinaša najmanjšo porabo energije za ogrevanje.



Grafikon 47: Porabe energije za hlajenje za JV fasado

Kot pri predhodnih orientacijah se tudi tu okna z zasteklitvijo, ki imajo nizko toplotno prehodnost (3 c, 3 d, 4 a, 4 b), pri WWR 20 % ne odrežejo najboljše. Pri WWR 40 % se pri JV in JZ orientaciji vrednosti skupne porabe energije za posamezne tipe zasteklitve približajo minimalnim vrednostim. Pri tej orientaciji fasade se skupna vrednost energije zaradi visokih solarnih dobitkov začne pri oknu brez senčil zelo hitro povečevati. Najmanjši prirastek porabe

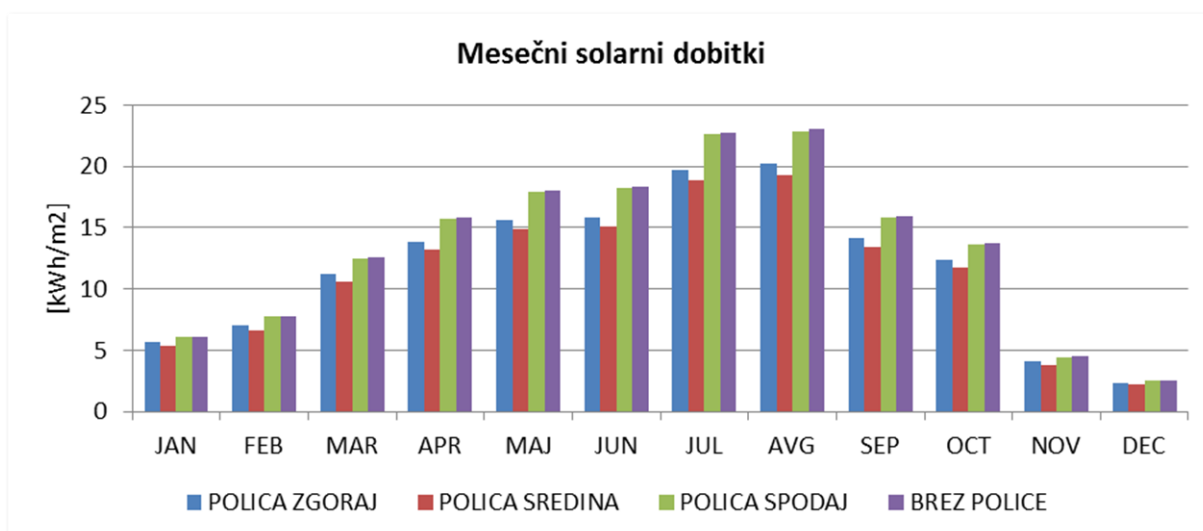
skupne energije pri povečevanju površine zasteklitve dobimo pri elektrokromni zasteklitvi. Optimalna zasteklitev za nezasenčeno okno na JV strani je zasteklitev tipa 3 d velikosti WWR 60 %.



Grafikon 48: Celotna poraba energije za JV fasado

5.2.4.2 Vpliv namestitve police in senčil

Tudi za JV in JZ orientacijo smo preverili vpliv položaja police in namestitve senčil (Grafikon 49). Vrednosti in razlike solarnih dobitkov med posameznimi primeri so še večje kot pri ostalih orientacijah.

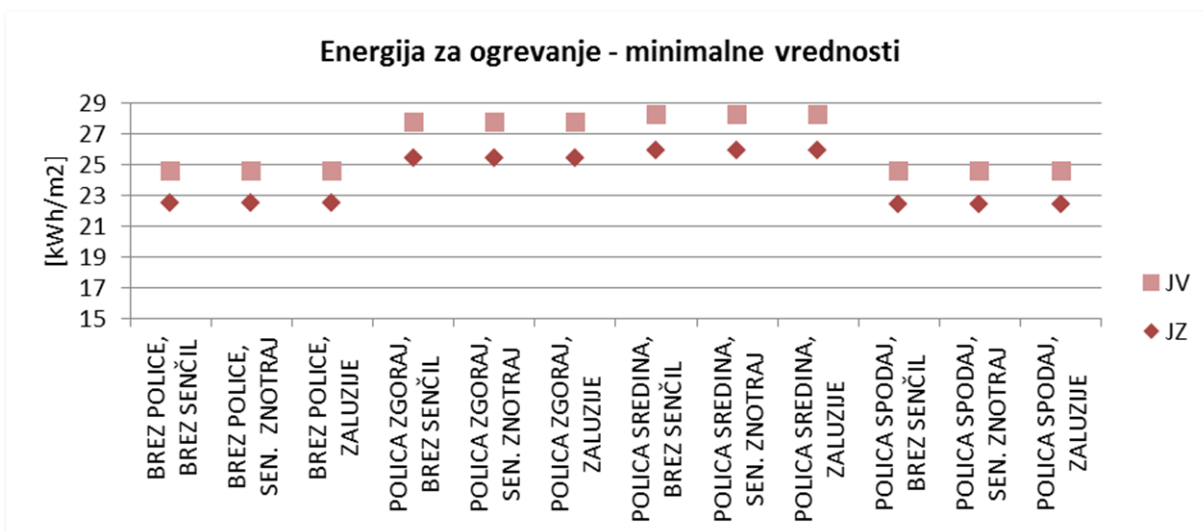


Grafikon 49: Solarni dobitki na JV fasadi v odvisnosti od položaja namestitve police

Isto se ponovi tudi pri vplivu senčil. Pričakovano imajo tu žaluzije še večji vpliv kot pri prejšnjih orientacijah.

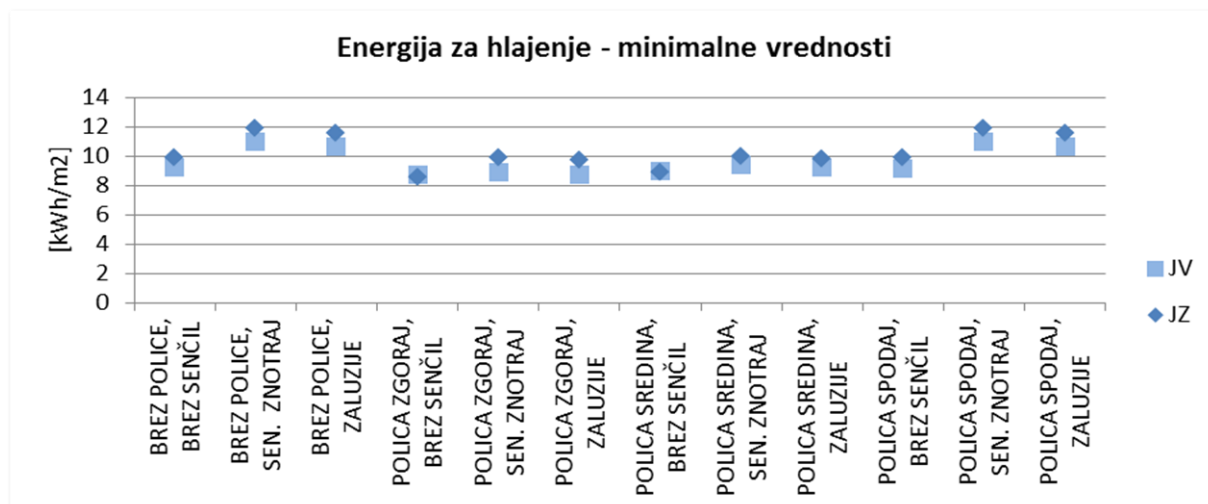
5.2.4.3 Minimalne vrednosti porabe energije pri različnih tipih zasnove fasade

Pri JV in JZ orientaciji se nadaljuje trend iz prejšnjih dveh poglavij. Vrednosti energije za ogrevanje so pri JV orientacijah nekoliko višje kot pri JZ (Grafikon 50). Minimalne vrednosti energije za ogrevanje na JZ fasadi dosežemo pri WWR 100 %, zasteklitvi tipa 3 c in polici nameščeni na spodnji strani okna, pri JV fasadi pa pri primeru brez police. Razlike med primeri s polico spodaj in brez so zelo majhne. Do višjih vrednosti pridemo pri namestitvi police na zgornjo stran ali na sredino. Maksimalne vrednosti so pri polici na sredini okna. Minimalne vrednosti za posamezne primere so nižje kot pri ostalih orientacijah.



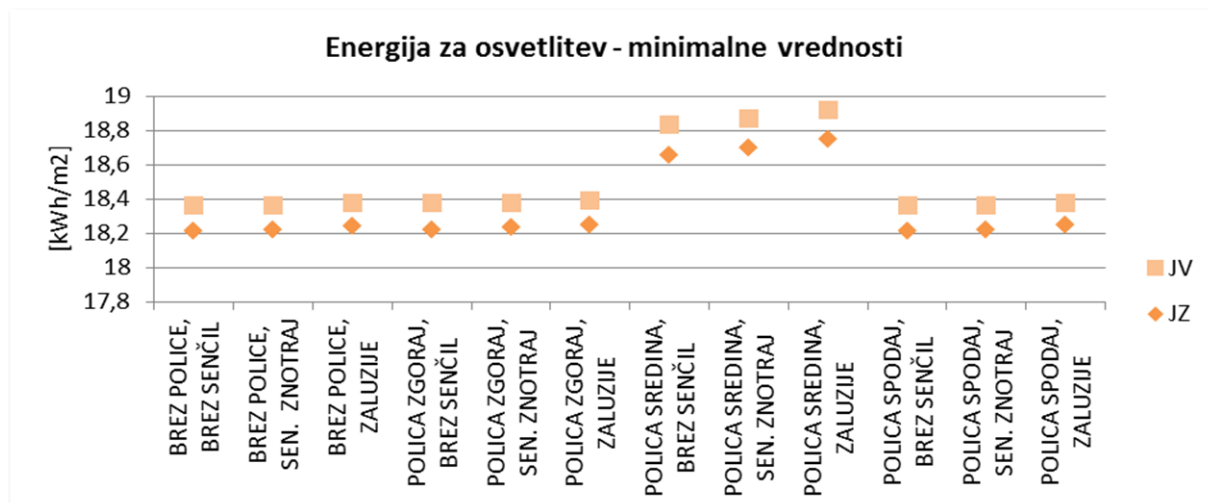
Grafikon 50: Minimalna energija za ogrevanje pri različnih načinih zasnove fasade

Pri hlajenju (Grafikon 51) imamo praktično isto situacijo kot pri orientaciji proti V in Z orientacijah. Majhna razlika se pojavi le zaradi rahlega dviga potrebne energije za hlajenje.



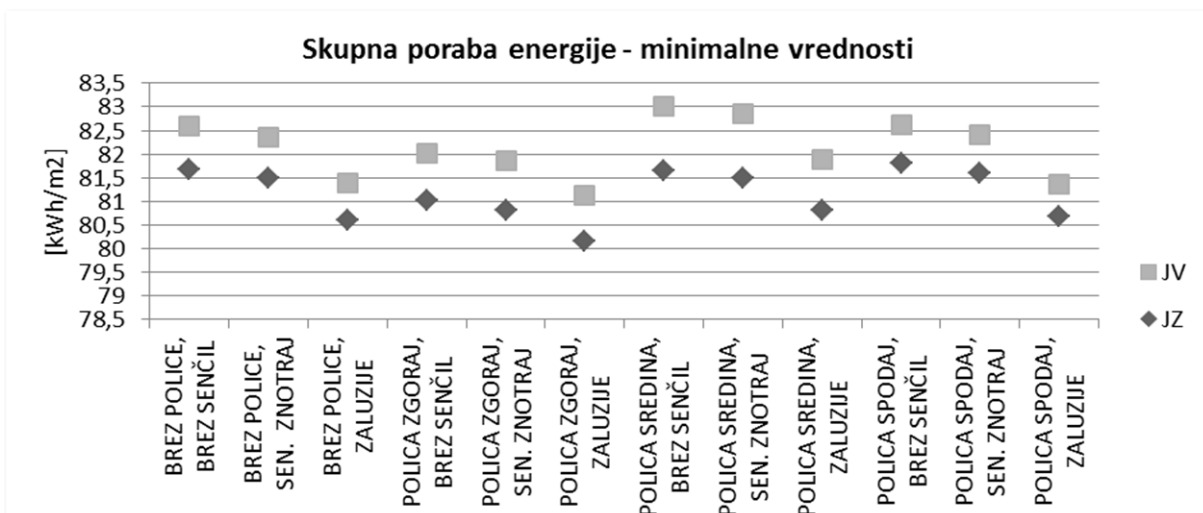
Grafikon 51: Minimalna energija za hlajenje pri različnih načinih zasnove fasade

Energija za osvetlitev prostora z določeno orientacijo je odvisna od namestitve police (Grafikon 52), izbire senčil, prepustnosti zasteklitve za vidno svetlobo in velikosti zasteklitve. Najboljšo naravno osvetljenost pričakovano dobimo pri WWR 100 % in zasteklitvi z najvišjim faktorjem LT. Osvetljenost se tako, kot solarni dobitki, manjša z namestitvijo police na sredini in na vrhu okna, kot tudi pri namestitvi senčil. Z vidika energije, potrebne za osvetlitev, je tako najbolj primerno namestiti največja okna z zasteklitvijo z najvišjo prepustnostjo vidne svetlobe, polico na spodnji strani in brez senčil.



Grafikon 52: Minimalna energija za osvetlitev pri različnih načinih zasnove fasade

Z vidika skupne porabe energije je na JV in JZ strani potrebno namestiti žaluzije oziroma kak drug učinkovit sistem senčenja (Grafikon 53). K zmanjšanju porabe energije pripomore tudi namestitev police na zgornji strani.



Grafikon 53: Minimalna skupna potrebna energija pri različnih načinih zasnove fasade

Vrednosti (Grafikon 53) so tako kot pri ostalih primerih dosežene pri različnih tipih in velikostih zasteklitve. Spodaj (Preglednica 14) so prikazani pogoji, pri katerih so doseženi minimumi za določen tip oblikovanja senčenja. Pri obeh orientacijah je optimalna izbira zasteklitev z WWR 80 %, polico na zgornji strani okna in nameščenimi žaluzijami. Na JV strani pa je optimalna zasteklitev tipa 4 a. Razlike med 3 d in 4 a so zelo majhne (Preglednica 14).

Preglednica 14: Tipi in velikosti zasteklitve za doseg minimalne skupne porabe energije pri določenem načinu oblikovanja

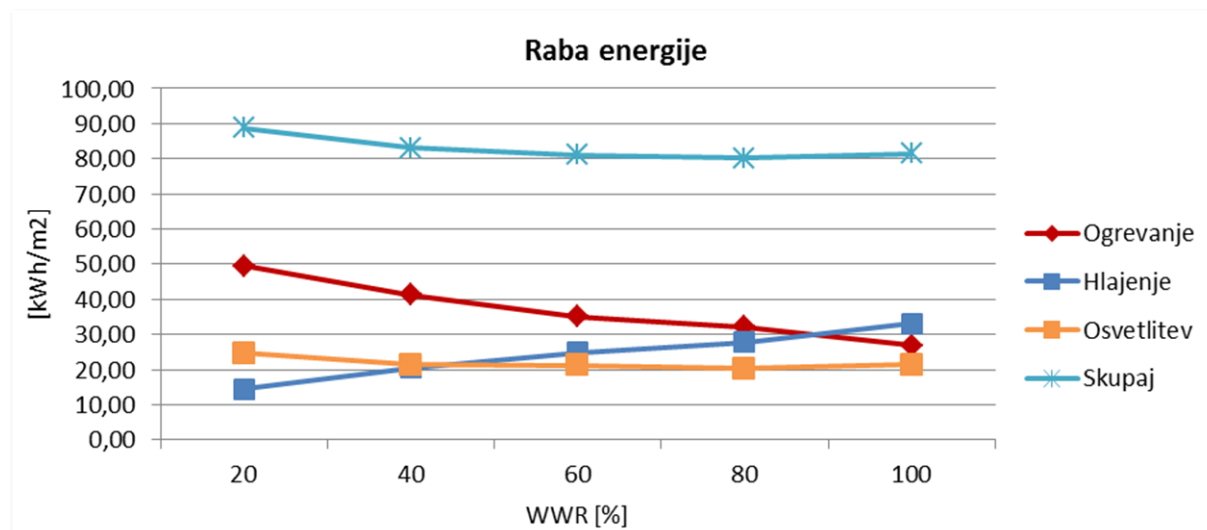
WWR [%]	Senčila	Polica	JV		JZ	
			Skupna poraba energije [kWh/m²]	Tip	Skupna poraba energije [kWh/m²]	Tip
60	BREZ	BREZ POLICE	82,60	3 d	81,67	4 b
60	ZNOTRAJ	BREZ POLICE	82,36	3 d	81,48	4 b
60	ŽALUZIJE	BREZ POLICE	81,38	3 d	80,61	4 b
80	BREZ	POLICA ZGORAJ	82,03	3 d	81,01	4 b
80	ZNOTRAJ	POLICA ZGORAJ	81,86	3 d	80,82	4 a
80	ŽALUZIJE	POLICA ZGORAJ	81,13	3 d	80,15	4 a
80	BREZ	POLICA SREDINA	83,01	4 b	81,65	4 a
80	ZNOTRAJ	POLICA SREDINA	82,86	4 a	81,49	4 a
80	ŽALUZIJE	POLICA SREDINA	81,88	3 d	80,80	4 a
60	BREZ	POLICA SPODAJ	82,63	3 d	81,80	4 b
60	ZNOTRAJ	POLICA SPODAJ	82,41	3 d	81,60	4 b
60	ŽALUZIJE	POLICA SPODAJ	81,36	3 d	80,68	4 b

5.2.4.4 Optimalna izbira pri različnih velikostih – navodila za prenovu

Minimalno skupno energijo na fasadah z JV in JZ orientacijo dosežemo pri WWR od 60 – 80 % (Preglednica 15). Energija za hlajenje je pri teh orientacijah še bolj pomembna kot pri V in Z. Energija za hlajenje postane bolj pomembna kot energija za osvetlitev že pri velikosti WWR 40 % (Grafikon 54), pri še večjih površinah pa je vpliv naraščanja energije za hlajenje celo večji kot vpliv energije potrebne za ogrevanje, zato skupna potrebna energija začne naraščati.

Preglednica 15: Minimalna skupna poraba energije in njej pripadajoče vrednosti pri različnih velikostih zasteklitve

Energija za ogrevanje [kWh/m ²]	Energija za hlajenje [kWh/m ²]	Energija za osvetlitev [kWh/m ²]	Skupna poraba energije [kWh/m ²]	WWR [%]	Tip	Senčila	Polica
49,51	14,47	24,75	88,72	20	2 e	ŽALUZIJE	POLICA SPODAJ
41,23	20,43	21,39	83,04	40	3 c	ŽALUZIJE	POLICA SPODAJ
34,98	24,88	21,15	81,01	60	4 a	ŽALUZIJE	POLICA SPODAJ
32,14	27,78	20,23	80,15	80	4 a	ŽALUZIJE	POLICA ZGORAJ
26,87	33,09	21,46	81,42	100	4 b	ŽALUZIJE	POLICA ZGORAJ



Grafikon 54: Prikaz rabe energije pri minimalni skupni porabi glede na velikost zasteklitve

5.2.4.5 Navodila za oblikovanje zasteklitve na JZ in JV fasadi

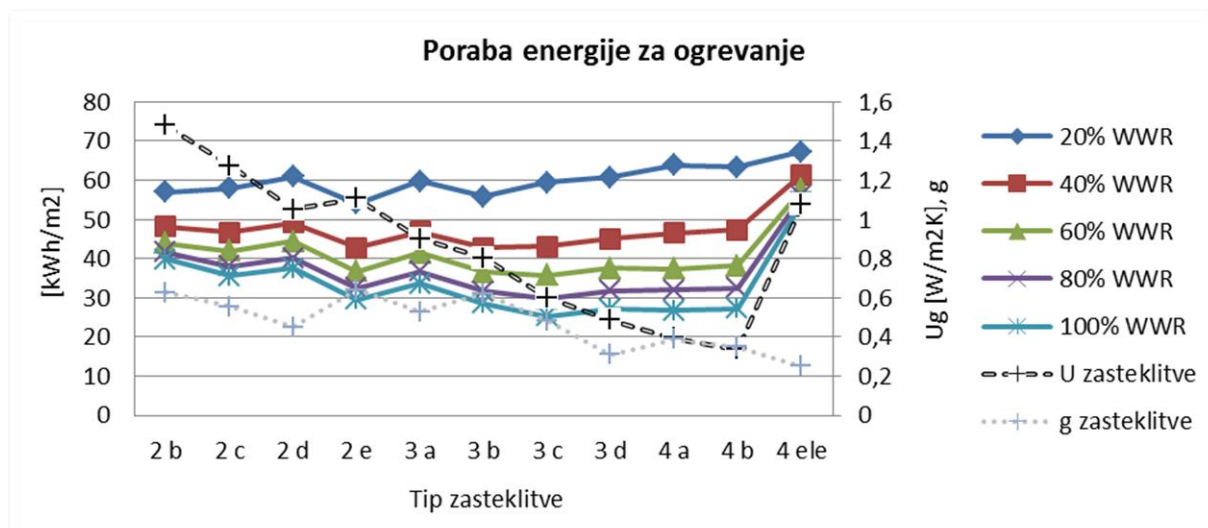
Iz rezultatov vidimo, da se pri vseh velikostih spleča namestiti polico na spodnji strani. Prav tako je pomembno, da pri teh dveh orientacijah poskrbimo za primerno senčenje (na primer z žaluzijami). Pri manjših oknih je toplotna prehodnost manj pomembna kot prepustnost za sončno sevanje. Z večanjem pa se ta vpliv večja, zato je z vidika skupne porabe energije ugodno uporabiti zasteklitev s čim manjšo toplotno prehodnostjo.

5.2.5 J fasada

Pri orientaciji zasteklitve proti jugu je za severno poloblo značilno, da so solarni dobitki največji (najvišja osončenost površin). Razlog za to je, da so površine z južno orientacijo najdalj časa izpostavljene direktnemu sončnemu sevanju (Slika 6). Zaradi visokih solarnih dobitkov je potrebno pazljivo izbrati tip zasteklitve kot tudi način in vrsto senčenja. Pričakujemo, da bodo imele police zaradi višje elevacije sonca v času, ko sije na J fasado, večji vpliv kot pri ostalih smereh (večji učinek senčenja). Za prostore z J orientiranimi zastekljenimi površinami pričakujemo majhno potrebno energijo za ogrevanje in osvetlitev ter visoko za ohlajanje prostorov. Skupna potrebna energija je pri tej orientaciji najmanjša.

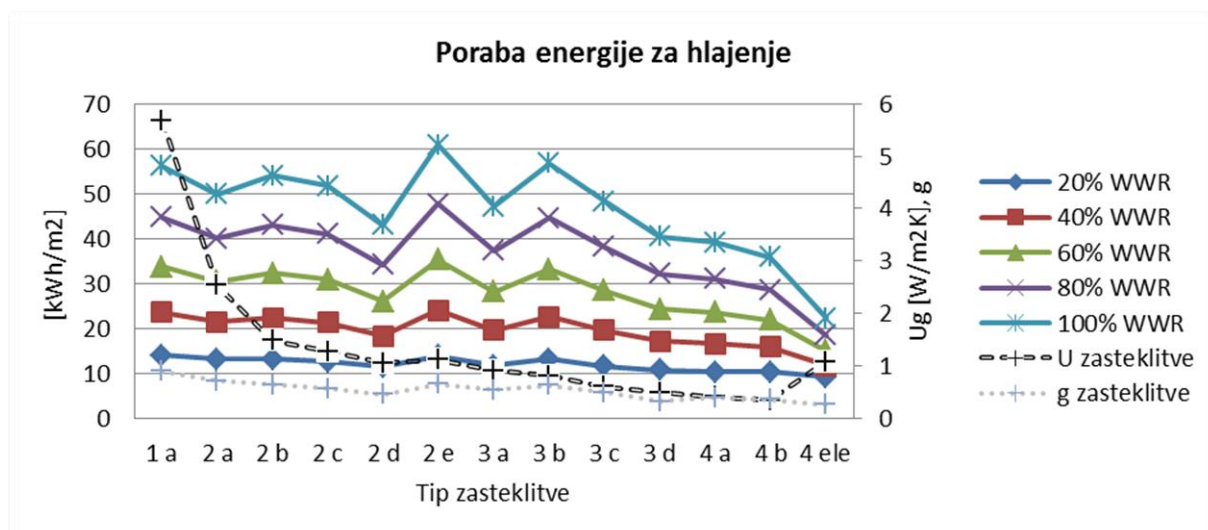
5.2.5.1 Vpliv tipa in velikosti zasteklitve

Pri primerjavi z JV in JZ stranjo dobimo zelo majhne razlike. Posledično tudi tu veljajo podobna navodila kot pri teh dveh orientacijah. Pri J orientaciji oken se izkaže, da se zasteklitev tipa 2 e zelo dobro odreže pri vseh velikostih (posebej pri manjših površinah), zato na južni strani okna s trojno oziroma celo štirikratno zasteklitvijo z vidika porabe energije za ogrevanje niso smiselna (Grafikon 55).



Grafikon 55: Porabe energije za ogrevanje za J fasado

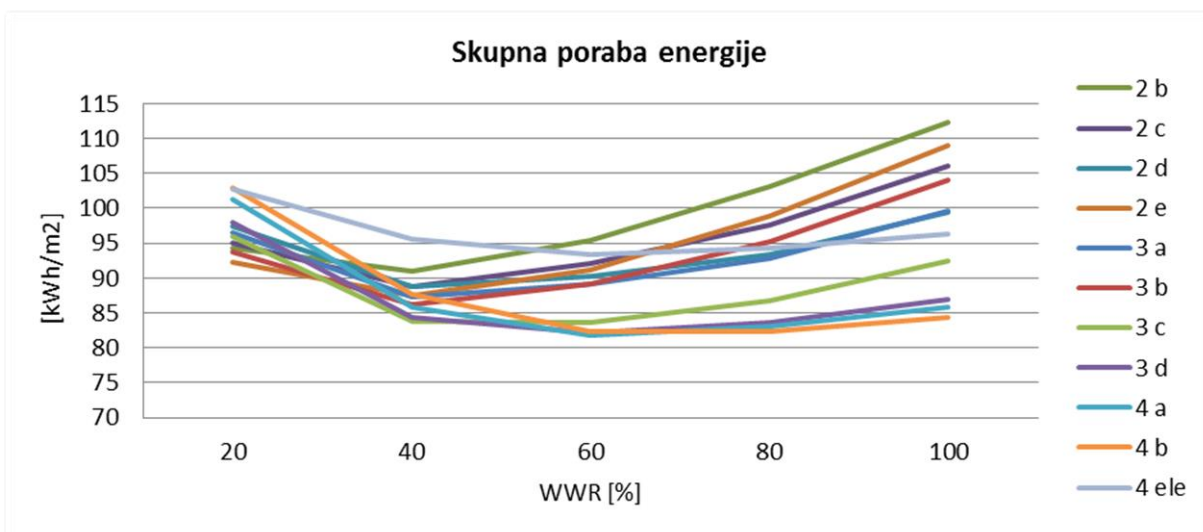
Poraba energije za hlajenje (Grafikon 56) se v primerjavi z orientacijo oken proti JV in JZ malenkost zmanjša. Posledica za zmanjšanje je višja elevacija sonca kot pri JV in JZ orientaciji. Pri majhnih oknih tip zasteklitve nima bistvenega vpliva na porabo energije za hlajenje. Z večanjem površine pa tako kot pri ostalih orientacijah z najmanjšo porabo izstopajo zasteklitve 2 d, 3 a in 4 ele. Najvišjo porabo pa dobimo pri zasteklitvi tipa 2 e, 3 b in 1 a.



Grafikon 56: Porabe energije za hlajenje za J fasado

Kot pri drugih orientacijah se tudi tu okna z zasteklitvijo, ki ima nizko toplotno prehodnost (3 c, 3 d, 4 a in 4 b), pri WWR 20 % ne odrežejo najboljše (Grafikon 57). Pri posameznih tipih

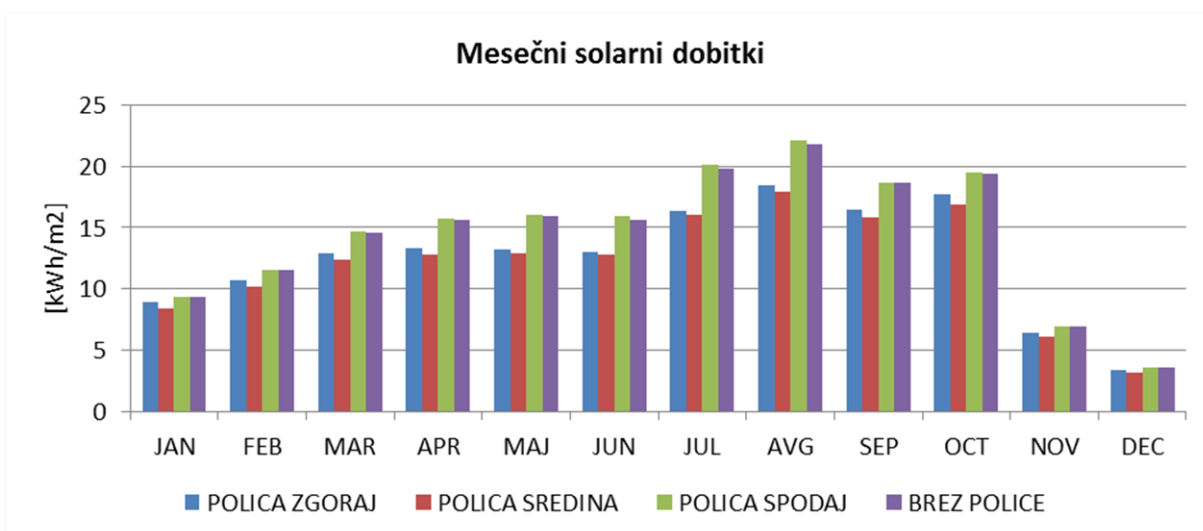
zasteklitve dobimo pri J orientaciji minimalne vrednosti skupne porabe energije. Te so le malenkost nižje kot pri JZ in JV orientaciji.



Grafikon 57: Celotna poraba energije za J fasado

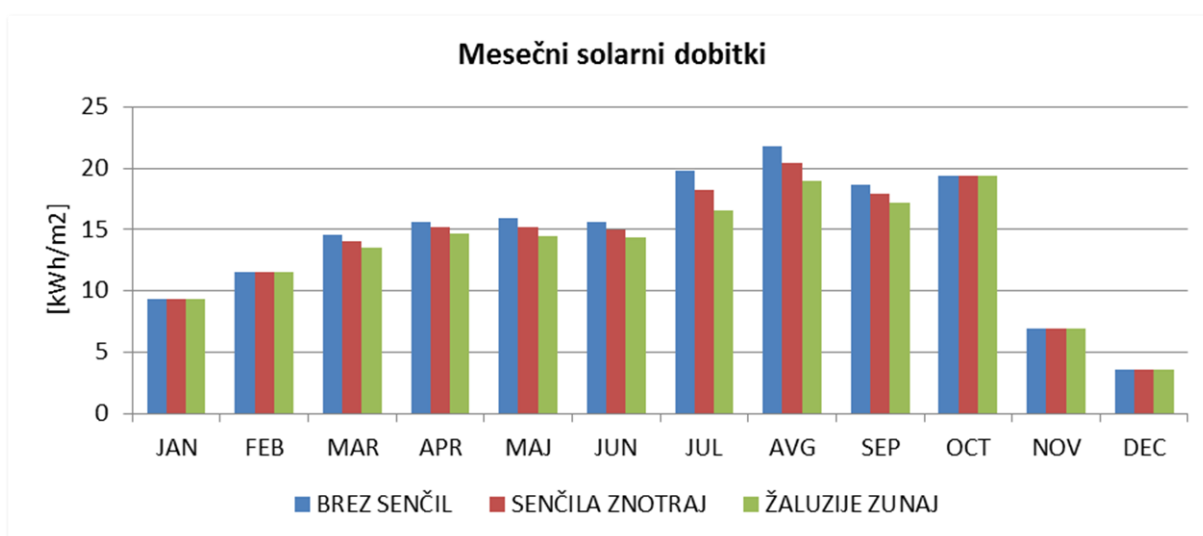
5.2.5.2 Vpliv namestitve police in senčil

Tako kot pri ostalih orientacijah smo tudi za J orientacijo preverili vpliv položaja police in namestitve senčil. V primerjavi z V in JV orientacijo opazimo, da so mesečne vrednosti nekoliko nižje. Vsota vseh solarnih dobitkov pa je pri J orientaciji najvišja.



Grafikon 58: Solarni dobitki na J fasadi v odvisnosti od položaja namestitve police

Razlog za tako porazdelitev solarnih dobitkov je elevacija sonca. V poletnih mesecih direktno sončno sevanje doseže J orientirano fasado blizu poldneva. Približno takrat ima sonce največjo elevacijo. Zaradi visokega vpadnega kota sončnega sevanja so dobitki v poletnih mesecih na J fasadi manjši kot na JZ in JV fasadah. V jesenskih mesecih se elevacija v času, ko direktno sončno sevanje doseže J fasado, zmanjša, zato so v tem obdobju dosežene visoke vrednosti solarnih dobitkov (Grafikon 58). Isti potek mesečnih vrednosti solarnih dobitkov se ponovi tudi pri vplivu senčil (Grafikon 59). Pričakovano imajo tu žaluzije in notranja senčila še večji vpliv kot pri prejšnjih orientacijah. Razlike se pojavijo le v mesecih, kjer je zunanja temperatura v določenem trenutku višja od 24 °C.

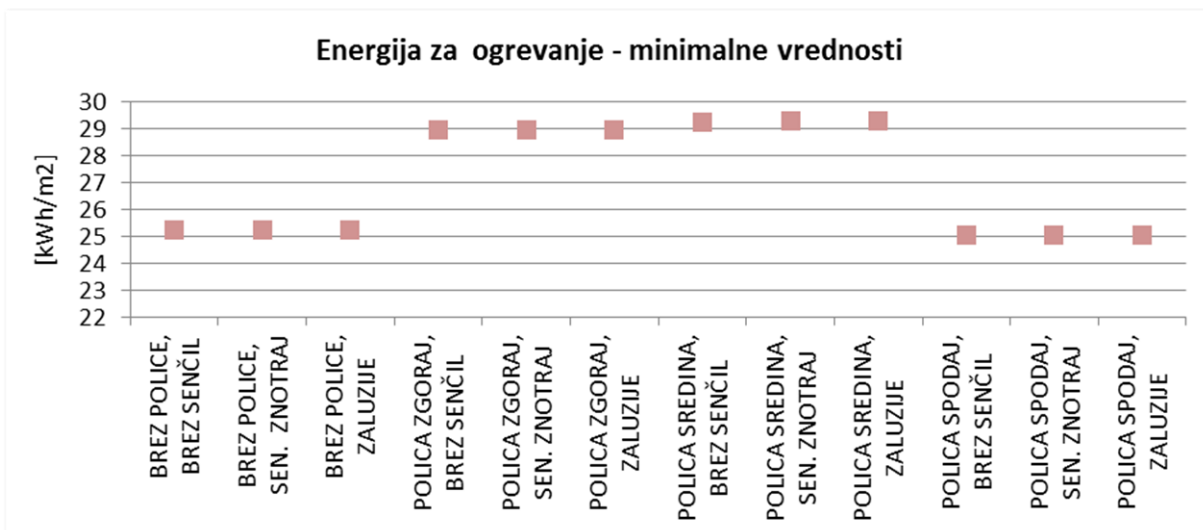


Grafikon 59: Solarni dobitki na J fasadi v odvisnosti od tipa senčil

5.2.5.3 Minimalne vrednosti porabe energije pri različnih tipih zasnove fasade

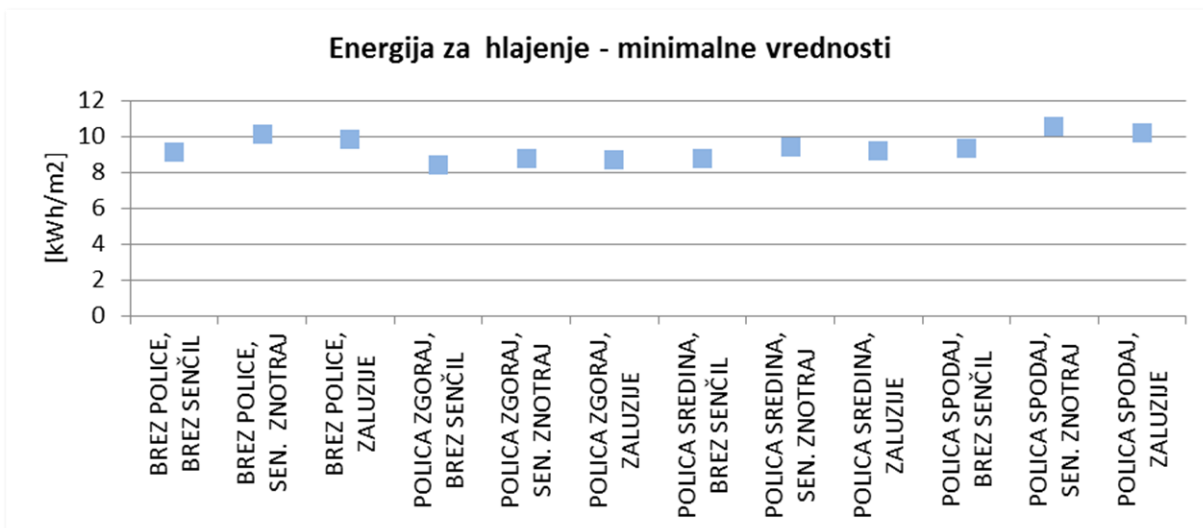
Pri iskanju načina za doseg minimalne potrebne energije za ogrevanje pri fasadi z J orientacijo dobimo podobne rezultate kot pri JV in JZ orientaciji. So pa vrednosti pri J orientaciji nekoliko višje. Ta rezultat v primerjavi z ostalimi študijami (Gostiša, T.) [36] predstavlja anomalijo. Razlog za ta pojav je lahko napaka, oziroma postopek izračuna v programu Comfen. Najverjetneje pa je razlog za odstopanje datoteka z vremenskimi vhodnimi podatki [32]. Podatki iz te datoteke se nekoliko razlikujejo od podatkov Agencije Republike Slovenije za okolje. To anomalijo bi lahko bolj podrobno preučili, npr. s pomočjo programa Energy plus. Zaradi minimalnih odstopanj med rezultati pri JV in J orientaciji, se za to nismo odločili. Rezultati izračuna solarnih dobitkov so smiselni, saj najvišje solarne dobitke dobimo na J orientaciji. Minimalno porabo energije za ogrevanje dobimo pri namestitvi police

na spodnji strani okna z WWR 100 % tipa 3 c brez nameščenih senčil (Grafikon 60), maksimum pa pri policah na sredini pri tipu 1 a.



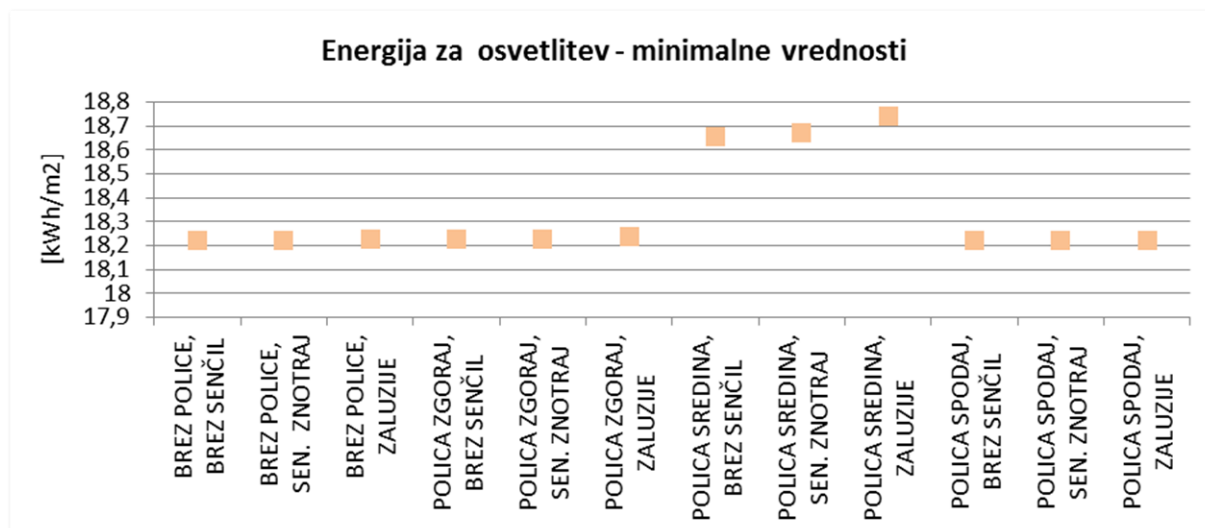
Grafikon 60: Minimalna energija za ogrevanje pri različnih načinih zasnove fasade

Pri hlajenju minimalne vrednosti (Grafikon 61) dosežemo pri polici nameščeni na zgornji strani, brez senčil z uporabo elektrokromne zasteklitve (tip 4 ele).



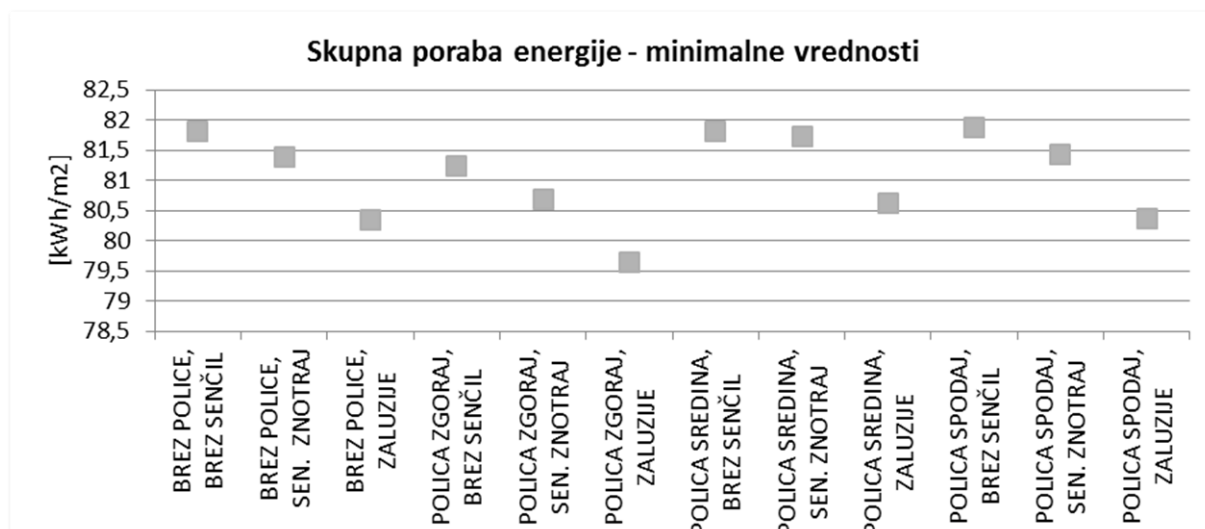
Grafikon 61: Minimalna energija za hlajenje pri različnih načinih zasnove fasade

Najboljšo naravno osvetljenost tako kot pri drugih primerih dobimo pri WWR 100 %, polici spodaj in tipu zasteklitve 1a (Grafikon 62).



Grafikon 62: Minimalna energija za osvetlitev pri različnih načinih zasnovne fasade

Z vidika skupne porabe energije je na fasadah z J orientacijo potrebno namestiti žaluzije oziroma kak drug učinkovit sistem senčenja. K zmanjšanju porabe energije pripomore tudi namestitev police na zgornji strani.



Grafikon 63: Minimalna skupna potrebna energija pri različnih načinih zasnovne fasade

Rezultati (Grafikon 63) so tako kot pri ostalih primerih doseženi pri različnih tipih in velikostih zasteklitve. Velikosti in tipi zasteklitve za doseg minimalnih vrednosti skupne porabe energije so odvisni od načina oblikovanja senčenja (Preglednica 16). Vrednosti so pri različnih tipih zelo podobne. Skoraj pri vseh načinih senčenja minimalne vrednosti skupne porabe energije dobimo pri tipu zasteklitve 4 a. Pri tem tipu zasteklitve zaradi nizke toplotne prehodnosti dobimo nizko porabo energije za ogrevanje. Zaradi nizke prepustnosti za sončno

sevanje dobimo tudi nizko potrebo po energiji za hlajenje. Pri zasteklitvah z WWR, večjim od 60 %, tip zasteklitve oziroma LT nima velikega vpliva, saj je na fasadah z J orientacijo na voljo največ svetlobe.

Preglednica 16: Tipi in velikosti zasteklitve za dosego minimalne skupne porabe energije

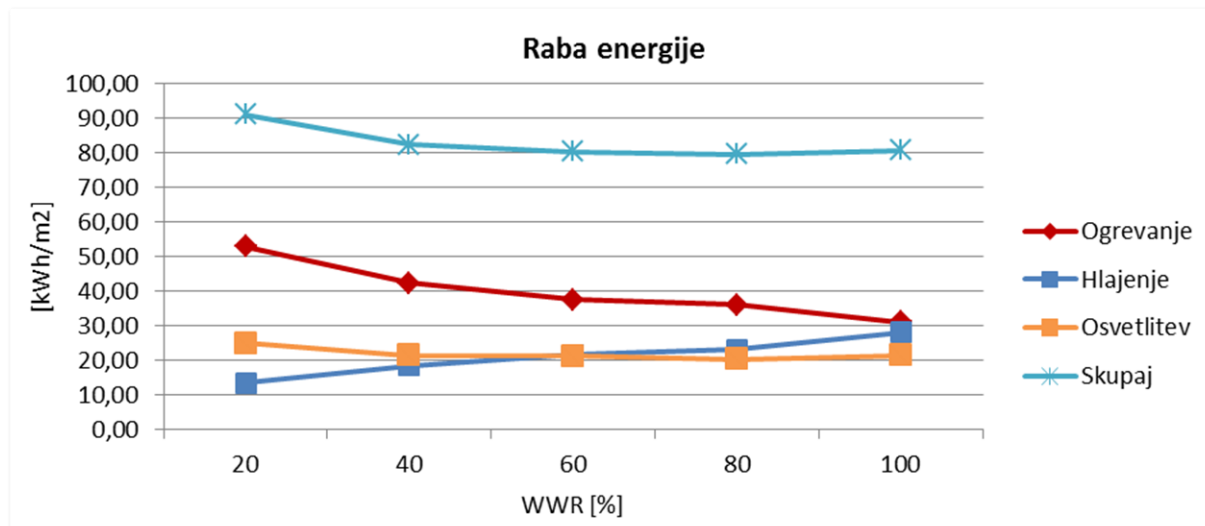
Skupna poraba energije [kWh/m ²]	WWR [%]	Tip	Senčila	Polica
81,81	60	4 a	BREZ	BREZ POLICE
81,34	60	4 a	ZNOTRAJ	BREZ POLICE
80,34	60	4 a	ŽALUZIJE	BREZ POLICE
81,24	80	4 b	BREZ	POLICA ZGORAJ
80,69	80	4 a	ZNOTRAJ	POLICA ZGORAJ
79,64	80	4 a	ŽALUZIJE	POLICA ZGORAJ
81,81	80	4 a	BREZ	POLICA SREDINA
81,73	80	4 a	ZNOTRAJ	POLICA SREDINA
80,63	80	4 a	ŽALUZIJE	POLICA SREDINA
81,87	60	4 a	BREZ	POLICA SPODAJ
81,43	60	4 a	ZNOTRAJ	POLICA SPODAJ
80,36	60	4 a	ŽALUZIJE	POLICA SPODAJ

5.2.5.4 Optimalna izbira pri različnih velikostih – navodila za prenovo

Minimalno skupno energijo na J orientaciji dosežemo pri WWR od 60 – 80 % (Preglednica 17). Iz rezultatov za posamezne velikosti zasteklitve opazimo, da je pri J orientacijah energija za hlajenje ključnega pomena (Grafikon 64), zato se spremeni položaj police. Polica spodaj namreč zmanjšuje porabo energije za ogrevanje, police zgoraj pa energijo za hlajenje. Energija za hlajenje je pri J orientacijah še bolj pomembna kot pri V in Z. Energija za hlajenje postane bolj pomembna kot energija za osvetlitev že pri velikosti WWR 40 %.

Preglednica 17: Minimalna skupna poraba energije in njej pripadajoče vrednosti za različne WWR

Energija za ogrevanje [kWh/m ²]	Energija za hlajenje [kWh/m ²]	Energija za osvetlitev [kWh/m ²]	Skupna poraba energije [kWh/m ²]	WWR [%]	Tip	Senčila	Polica
52,94	13,37	24,91	91,22	20	2 e	BREZ	POLICA SPODAJ
42,47	18,54	21,45	82,45	40	3 c	ŽALUZIJE	POLICA SPODAJ
37,49	21,63	21,22	80,34	60	4 a	ŽALUZIJE	BREZ POLICE
36,13	23,16	20,34	79,64	80	4 a	ŽALUZIJE	POLICA ZGORAJ
31,03	28,15	21,51	80,69	100	4 b	ŽALUZIJE	POLICA ZGORAJ



Grafikon 64: Prikaz rabe energije pri minimalni skupni porabi glede na velikost zasteklitve

5.2.5.5 Navodila za oblikovanje zasteklitve na J fasadi

Iz ekonomskih razlogov bi se zaradi majhnih razlik najbolj splačala namestitve oken z WWR 40 % in zasteklitvijo tipa 3 c (nižji strošek zaradi manjše površine in tipa zasteklitve). V vsakem primeru pa je potrebno poskrbeti za čim boljšo zaščito pred sončnim sevanjem v poletnem času.

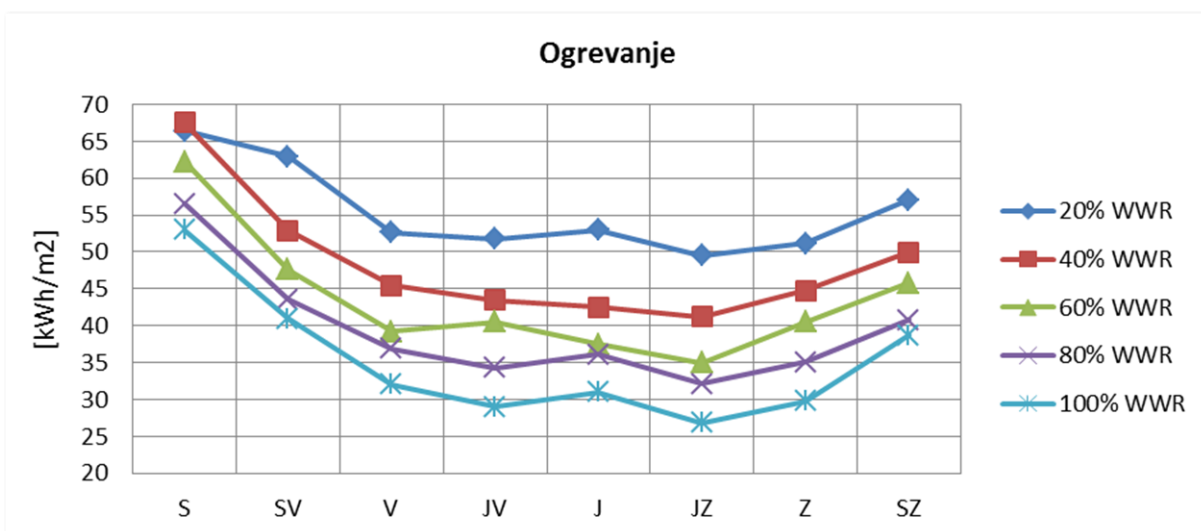
5.2.6 Splošna navodila

V prejšnjem poglavju smo si ogledali optimalne načine oblikovanja senčil in izbire tipa zasteklitve. V tem poglavju so podane primerjave optimiziranih izbir oblikovanja in zasteklitve pri določeni velikosti zasteklitve in strani neba. Rezultati so nazorno prikazani tako grafično kot tudi tabelarično.

5.2.6.1 Splošna navodila za prenove stavb (različne velikosti oken)

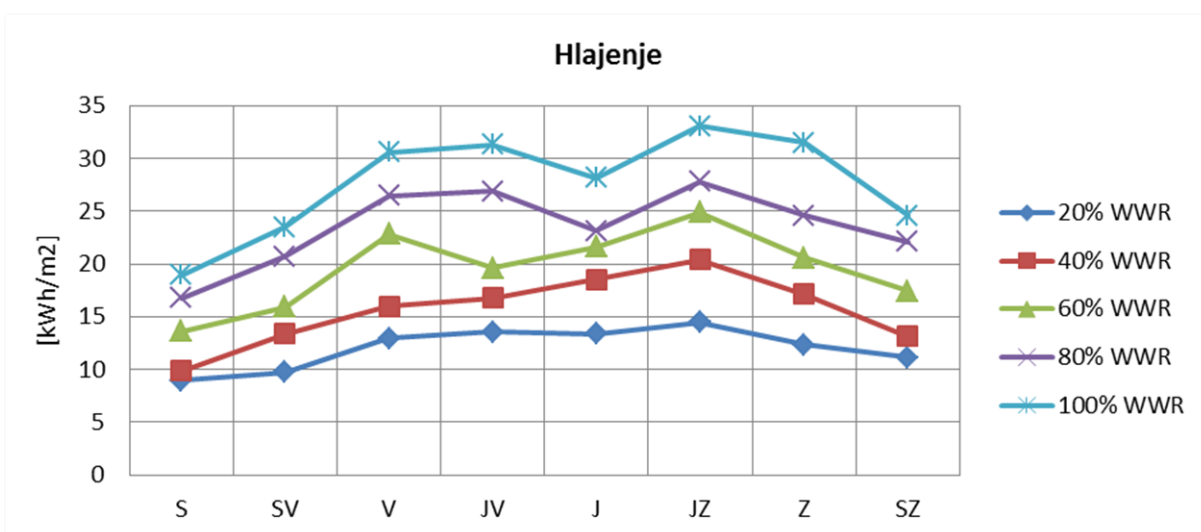
Pri načrtovanju in obnovi stavbnega povišja je smiselno poskrbeti za čim večjo energetsko učinkovitost novega stavbnega povišja. Ker k temu največ pripomore primerna izbira zasteklitve, se moramo pri izbiri le-te zavedati in razumeti vplive različnih faktorjev na porabo različnih vrst energije v stavbi (velikost zasteklitve, orientacija,...). Zato je za načrtovalca novih stavb glede na to, kaj hoče doseči (minimalna poraba skupne energije, optimalna osvetlitev, minimalna poraba energije za ogrevanje ali hlajenje), koristno, da hitro določi primerno velikost in orientacijo zasteklitve (Priloga B1). Za zamenjavo oken pa prav pride preglednica, kjer so prikazane oblike senčenja in izbira primerne tipa zasteklitve za

dosego minimalne skupne porabe energije pri določeni orientaciji (Preglednica 18). Največ energije za ogrevanje porabimo na S fasadah (Grafikon 65), nato pa se energija dokaj simetrično niža z orientacijo proti jugu. Potreba po energiji se zaradi specifičnih robnih pogojev (zunanja stena samo na eni strani prostora, visoki notranji dobitki) niža tudi z večanjem površine zasteklitve. Najnižja energija za ogrevanje bi morala biti pri J orientaciji.



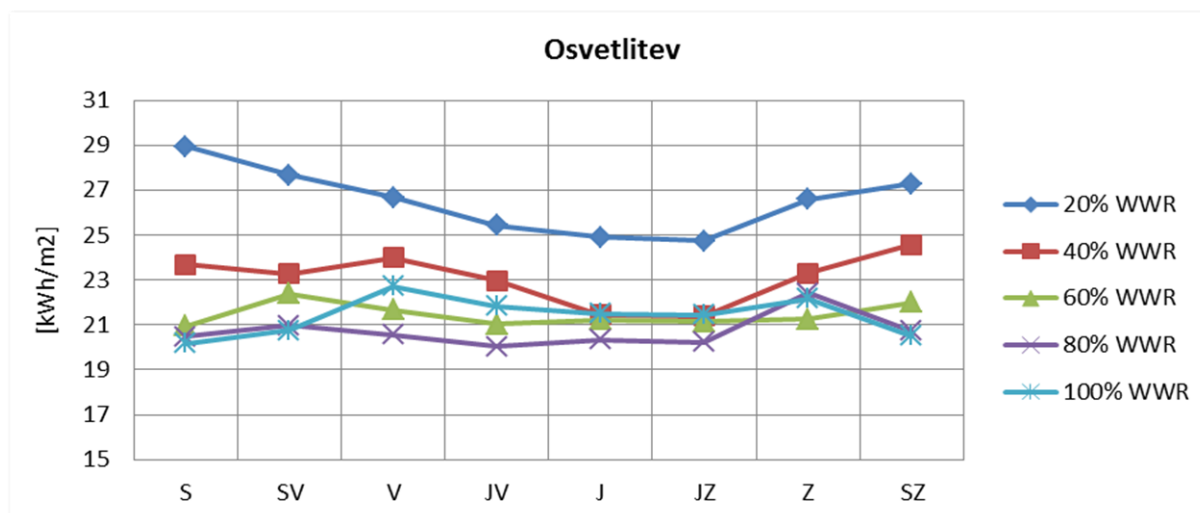
Grafikon 65: Energija, potrebna za ogrevanje, pri pogojih za doseg minimalne skupne energije

Prav tako (kljub temu, da je letna vsota solarnih dobitkov najvišja) pa energija, potrebna za hlajenje, ni najvišja pri prostorih z okni na južni strani objekta (Grafikon 66). Razlog za ta pojav je porazdelitev solarnih dobitkov preko celega leta (Grafikon 58).



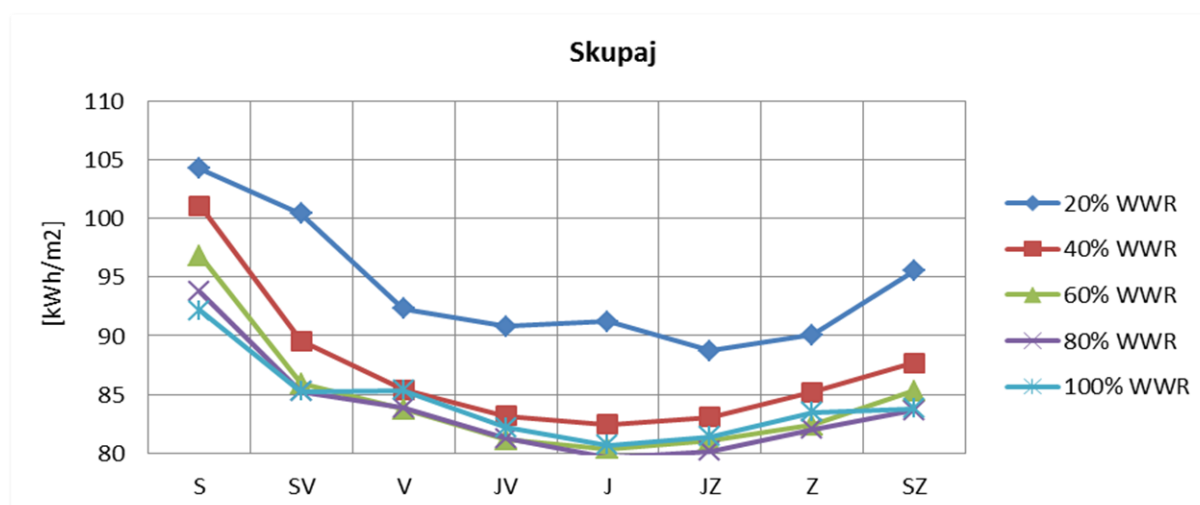
Grafikon 66: Energija, potrebna za hlajenje, pri pogojih za doseg minimalne skupne energije

Pri osvetlitvi ni večjih presenečenj. Najmanj energije zaradi najvišje naravne osvetljenosti dobimo na fasadah z južno orientacijo. Vpliv orientacije se pri večjih površinah zasteklitve močno zmanjša (pri WWR 60 – 100 % orientacija ne igra več vidnejše vloge).



Grafikon 67: Energija, potrebna za osvetlitev, pri pogojih za dosego minimalne skupne energije

Največkrat nas zanima le skupna poraba energije (Grafikon 68). Pri manjših površinah je najbolje izbrati JZ orientacijo oken, pri višjih površinah pa se najbolj splača izbrati J orientacijo oken. Tam je vsota energij za ogrevanje, hlajenje in osvetlitev najmanjša. To je povsem logičen in pričakovan rezultat, saj pri tako orientiranih oknih lahko prejmemo največ sončne energije. Pri tem pa moramo biti pazljivi, da viške energije v poletnih časih primerno odstranimo oziroma omejimo s primernim senčenjem.



Grafikon 68: Minimalna potrebna skupna energija pri različnih velikostih zasteklitve

Zbrali smo minimalne vrednosti skupne porabe energije (Preglednica 18). Podane so skupaj z informacijami o porabi posamezne vrste energije, pogoji in tipi zasteklitve za doseg te vrednosti pri določeni velikosti zasteklitve.

Preglednica 18: Minimalne vrednosti in načini oblikovanja za posamezno velikost zasteklitve

	Orientacija	WWR [%]	Tip	Senčila	Polica	Energija za ogrevanje [kWh/m ²]	Energija za hlajenje [kWh/m ²]	Energija za osvetlitev [kWh/m ²]	Skupna poraba energije [kWh/m ²]
20 %	S	20	3 c	BREZ	BREZ	66,35	8,95	28,96	104,26
	V	20	2 e	ŽALUZIJE	SPODAJ	52,63	12,96	26,69	92,29
	J	20	2 e	BREZ	SPODAJ	52,94	13,37	24,91	91,22
	Z	20	3 c	ŽALUZIJE	SPODAJ	51,15	12,33	26,60	90,08
40 %	S	40	3 c	BREZ	ZGORAJ	67,56	9,84	23,69	101,09
	V	40	3 d	ŽALUZIJE	SPODAJ	45,44	15,98	23,99	85,41
	J	40	3 c	ŽALUZIJE	SPODAJ	42,47	18,54	21,45	82,45
	Z	40	3 d	ŽALUZIJE	SPODAJ	44,74	17,12	23,32	85,18
60 %	S	60	3 c	BREZ	SPODAJ	62,24	13,66	20,95	96,84
	V	60	3 d	ŽALUZIJE	SPODAJ	39,20	22,86	21,68	83,74
	J	60	4 a	ŽALUZIJE	BREZ	37,49	21,63	21,22	80,34
	Z	60	3 d	ŽALUZIJE	ZGORAJ	40,53	20,61	21,25	82,39
80 %	S	80	3 c	ŽALUZIJE	SPODAJ	56,49	16,79	20,48	93,76
	V	80	3 d	ŽALUZIJE	ZGORAJ	36,84	26,45	20,57	83,86
	J	80	4 a	ŽALUZIJE	ZGORAJ	36,13	23,16	20,34	79,64
	Z	80	4 b	ŽALUZIJE	ZGORAJ	35,02	24,60	22,41	82,03
100 %	S	100	3 c	ŽALUZIJE	SPODAJ	53,01	18,95	20,18	92,14
	V	100	4 b	ŽALUZIJE	ZGORAJ	32,06	30,58	22,72	85,36
	J	100	4 b	ŽALUZIJE	ZGORAJ	31,03	28,15	21,51	80,69
	Z	100	4 b	ŽALUZIJE	ZGORAJ	29,81	31,50	22,18	83,49

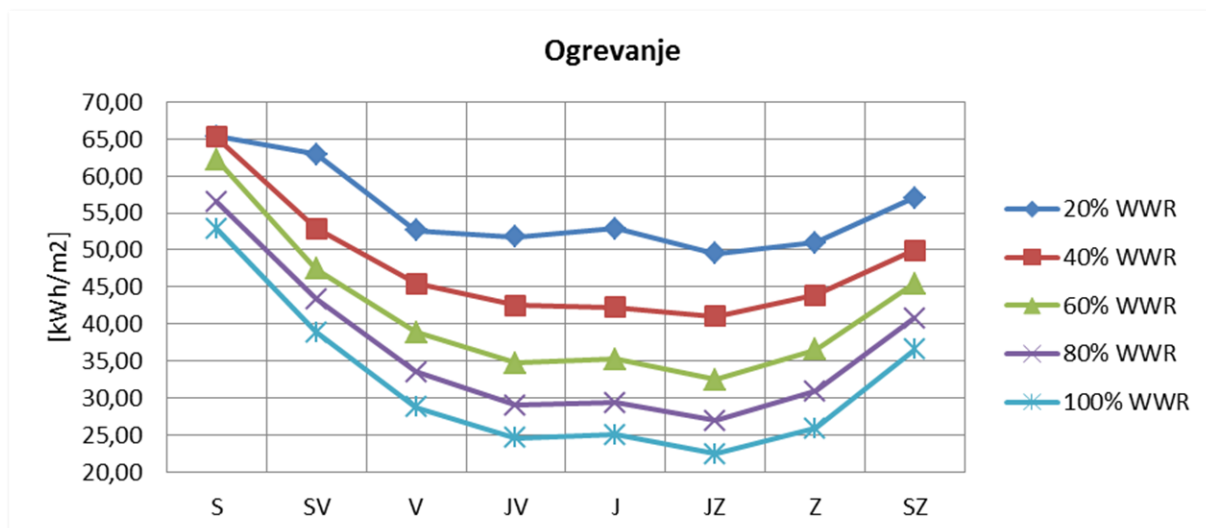
Ker smo predvideli, da se bo tehnologija zasteklitve še izboljševala, smo v analizi uporabili zasteklitev z zelo nizko toplotno prehodnostjo. Taka vrsta zasteklitve je zaradi težavnosti izvedbe in uporabljenih materialov trenutno cenovno nesprejemljiva, zato smo se za določitev sprejemljivejših rešitev omejili na zasteklitve s toplotno prehodnostjo višjo od 0,8 W/m²K. Rezultate smo zbrali v preglednici (Preglednica 19). Če primerjamo vrednosti teh dveh preglednic, vidimo, da so razlike sploh pri majhnih zasteklitvah, zelo majhne (majhen vpliv toplotne prehodnosti zasteklitve). S povečevanjem površine pa se ta razlika pričakovano povečuje.

Preglednica 19: Minimalne vrednosti in načini oblikovanja pri bolj dostopnih tipih zasteklitve

	Orientacija	WWR [%]	Tip	Senčila	Polica	Energija za ogrevanje [kWh/m ²]	Energija za hlajenje [kWh/m ²]	Energija za osvetlitev [kWh/m ²]	Skupna poraba energije [kWh/m ²]
20 %	S	20	3 b	BREZ	BREZ	67,75	9,06	28,57	105,38
	V	20	2 e	ŽALUZIJE	SPODAJ	52,63	12,96	26,69	92,29
	J	20	2 e	ŽALUZIJE	SPODAJ	52,94	13,37	24,91	91,22
	Z	20	3 c	ŽALUZIJE	SPODAJ	51,15	12,33	26,60	90,08
40 %	S	40	2 e	BREZ	SPODAJ	67,94	11,78	22,85	102,57
	V	40	3 c	ŽALUZIJE	SPODAJ	45,54	18,16	22,63	86,33
	J	40	3 b	ŽALUZIJE	SPODAJ	42,27	21,31	21,17	84,75
	Z	40	3 c	ŽALUZIJE	SPODAJ	44,09	19,29	22,05	85,43
60 %	S	60	3 b	ŽALUZIJE	SPODAJ	63,41	14,53	21,37	99,31
	V	60	3 b	ŽALUZIJE	ZGORAJ	44,98	26,59	20,36	91,93
	J	60	3 b	ŽALUZIJE	ZGORAJ	41,94	23,53	19,66	85,13
	Z	60	3 b	ŽALUZIJE	ZGORAJ	42,08	27,40	20,01	89,49
80 %	S	80	3 b	ŽALUZIJE	SPODAJ	61,16	18,46	20,10	99,72
	V	80	3 a	ŽALUZIJE	ZGORAJ	45,76	30,47	19,58	95,81
	J	80	3 a	ŽALUZIJE	ZGORAJ	42,23	27,40	19,01	88,63
	Z	80	3 a	ŽALUZIJE	ZGORAJ	42,64	31,46	19,29	93,39
100 %	S	100	3 b	ŽALUZIJE	SPODAJ	60,31	20,68	19,82	100,82
	V	100	3 a	ŽALUZIJE	ZGORAJ	41,45	39,54	19,43	100,42
	J	100	3 a	ŽALUZIJE	ZGORAJ	37,75	36,27	18,88	92,89
	Z	100	3 a	ŽALUZIJE	ZGORAJ	38,17	40,84	19,15	98,15

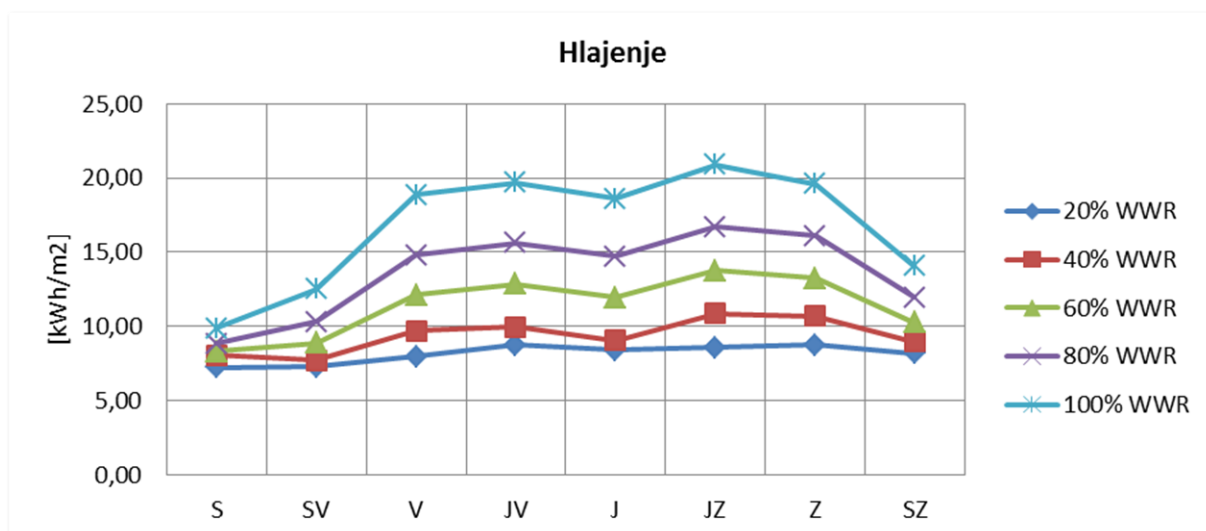
5.2.6.2 Splošna navodila za načrtovanje novih stavb

V prejšnjem poglavju so bile vrednosti podane za posamezno porabo energije doseženo pri pogojih, ki so zagotovili minimalno vrednost skupne rabe energije (seštevek energije za ogrevanje, hlajenje in osvetlitev je bil enak skupni energiji). V tem poglavju pa so predstavljene minimalne vrednosti glede na namen porabe energije (ogrevanje, hlajenje, osvetlitev) posebej (Prilogi B1). Seštevek ni enak minimalni skupni rabi energije. Razlog za to so različni tipi oblikovanja zastekljenih površin in senčenja. Potencialne vrednosti za dosego minimalne možne energije za ogrevanje (Grafikon 69) se pri različnih velikostih in orientacijah zasteklitve približno ujemajo s porazdelitvijo v prejšnjem poglavju. To pomeni, da je energija za ogrevanje najbolj pomembna pri iskanju optimalne rešitve.



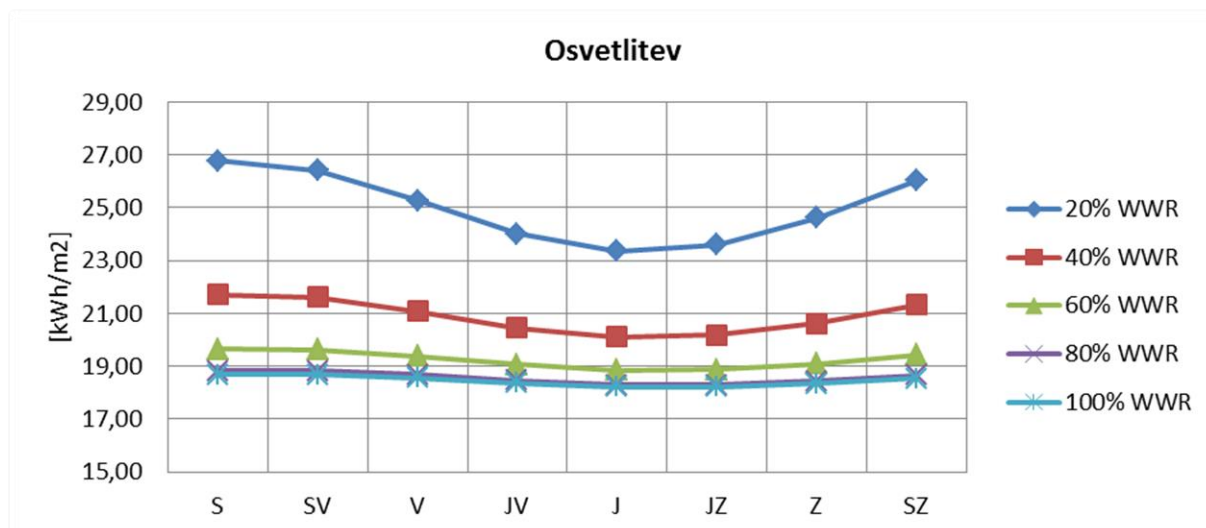
Grafikon 69: Minimalna energija, potrebna za ogrevanje, pri različnih velikostih zasteklitve

Potencialne vrednosti za doseg minimalne možne energije za hlajenje (Grafikon 70) so pri različnih velikostih in orientacijah zasteklitve v pričakovanih okvirjih. Največja poraba energije za hlajenje v učilnicah osnovnih šol v Ljubljani se pojavi pri zasteklitvi, nameščeni na fasadi z JZ orientacijo in WWR 100 %. Energija, potrebna za hlajenje, na splošno narašča skupaj s povečevanjem azimuta. Izjema se pojavi pri zasteklitvah nameščenih na J fasadi.



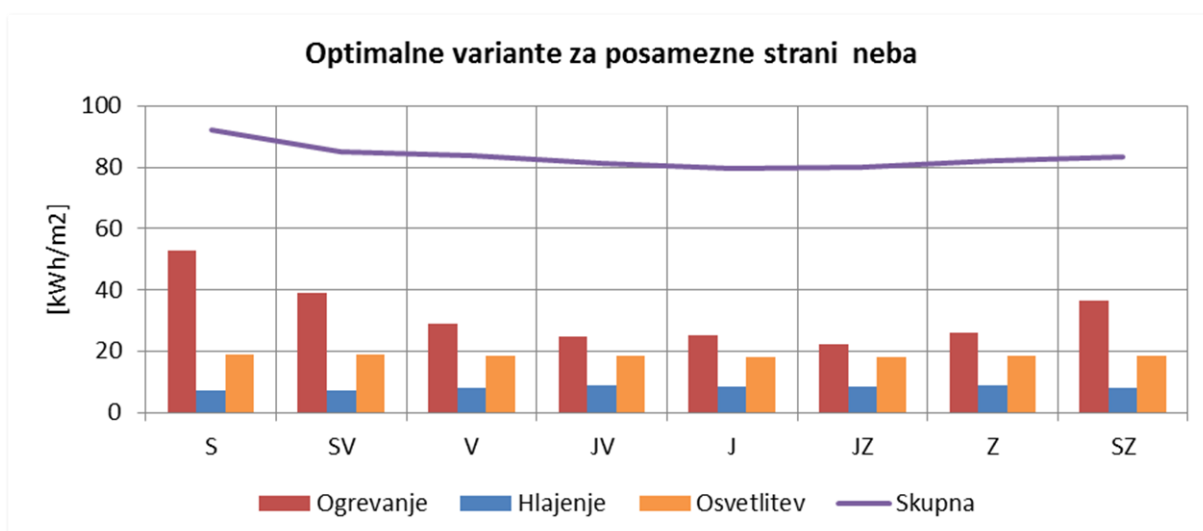
Grafikon 70: Minimalna energija, potrebna za hlajenje, pri različnih velikostih zasteklitve

Pri osvetlitvi ni večjih presenečenj. Zaradi najvišje naravne osvetljenosti, najmanj energije porabimo v prostorih z J orientirano zasteklitvijo z WWR 100 % (Grafikon 71). Vpliv orientacije se pri večjih površinah zasteklitve zmanjša (pri WWR 60 – 100 % orientacija ne igra več vidnejše vloge).



Grafikon 71: Minimalna energija, potrebna za osvetlitev, pri različnih velikostih zasteklitve

Zbrali smo vrednosti potencialnih minimalnih porab energije za posamezne namene (Grafikon 72). Te vrednosti so dosežene pri različnih načinih oblikovanja in zasteklitve. Tipi zasteklitve in načini senčenja za doseg minimalnih možnih vrednosti porabe različnih tipov energije so prikazani v preglednici (Priloga B2).



Grafikon 72: Minimalne vrednosti posameznih energij pri različnih smereh neba

5.2.6.3 Problem uporabe oken z enako zasteklitvijo za celotno stavbo

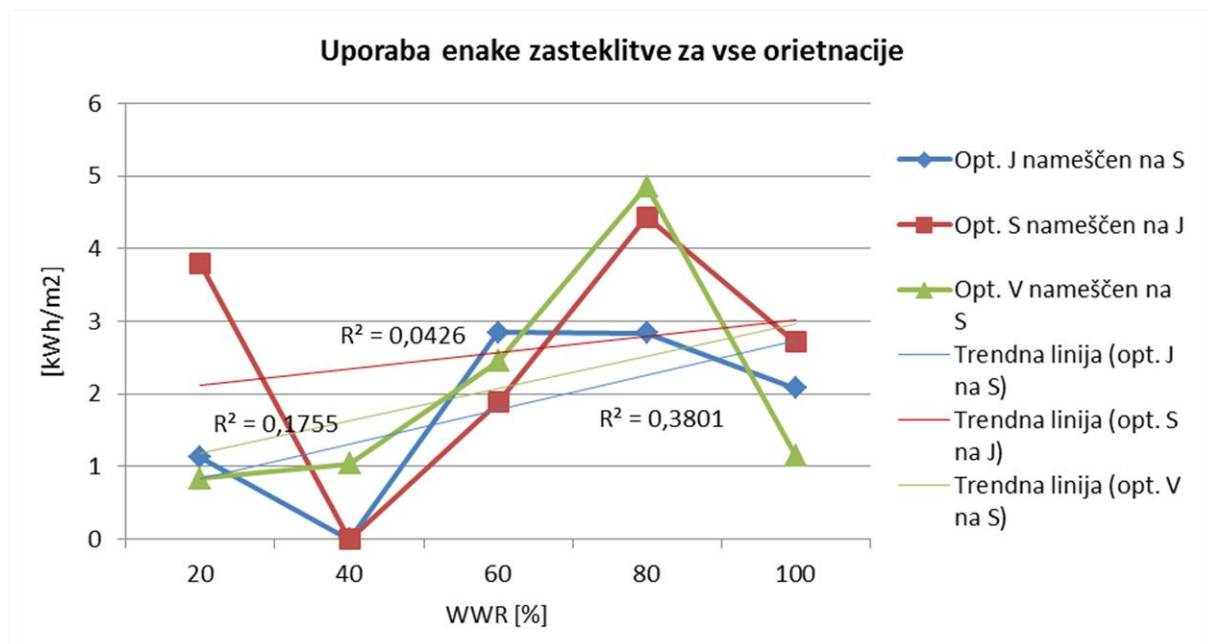
V prejšnjih analizah smo prikazali vpliv posameznih faktorjev (lastnosti in velikost zasteklitve, orientacija) na porabo energije v stavbi. Na podlagi rezultatov smo določili optimalno izbiro zasteklitve in oblikovanja odprtine v odvisnosti od orientacije fasade z zastekljenimi površinami. V praksi se pri vgrajevanju vse pre pogosto to zanemari oziroma pozabi. Tako se za celoten objekt ne glede na orientacijo in s tem povezane robne pogoje namesti okna z isto zasteklitvijo in sistemom senčenja. Pri tem pa zaradi neprimerne izbira oken pride do relativno velikih izgub. Hkrati pa lahko takšen pristop pripelje tudi do višjih stroškov nabave stavbnega pohištva. Primer: vgradi se trislojna zasteklitev (dražja) tja, kjer bi bila energijsko bolj učinkovita dvojna (večinoma cenejša). Na ta način izgublamo sredstva v fazi nakupa in nato še v celotni življenjski dobi objekta.

Zato smo si ogledali do kakšnih razlik lahko pride pri uporabi zasteklitve (Preglednica 20), ki je optimalna za S orientacijo na J in V oz. Z fasado. Potem smo isti postopek ponovili še za optimalno zasteklitev na J (V) fasadi in njeno uporabo na S in V (S in J) fasadi. To smo ponovili za vse površine zasteklitev (WWR 20 – 100 %).

Preglednica 20: Razlike ob vgraditvi zasteklitve optimalne za določeno orientacijo fasade na drugo

Razlike pri vgradnji istega tipa zasteklitve na vse strani				
WWR = 60 %	Tip	S [kWh/m ²]	V [kWh/m ²]	J [kWh/m ²]
Optimum S	3 c	96,95	86,83	83,69
Optimum V	3 d	98,60	84,38	82,19
Optimum J	4 a	99,79	85,19	81,81
Razlika		2,84	2,45	1,89

Grafikon na podlagi trendnih premic prikazuje, da se napaka z večanjem zasteklitve povečuje (Grafikon 73). Kot vidimo, je napaka največja, če na vse fasade stavbe (na vse orientacije) namestimo zasteklitev, ki je optimalna za S fasado. Najmanjšo napako naredimo, če zasteklitev, ki je primerna za J orientacijo, namestimo še na preostalih fasadah.



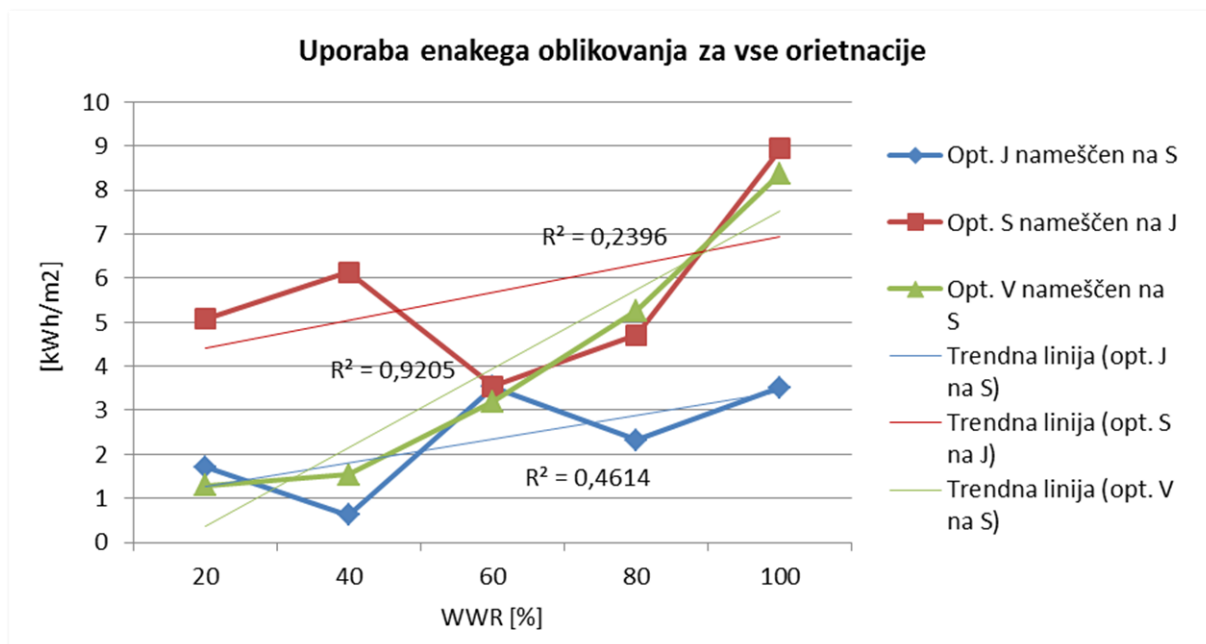
Grafikon 73: Razlike pri vgraditvi zasteklitve optimalne za določeno orientacijo na drugo orientacijo

Nato pa smo si ogledali še, kaj se zgodi z napako, če povsod namestimo sistem senčenja (polica, senčila) in tip zasteklitve, ki je optimalen za določeno orientacijo še na druge orientacije. Ugotovili smo, da se napaka še poveča (Preglednica 21, Grafikon 74).

Preglednica 21: Razlike ob vgraditvi enakega načina senčenja in tipa zasteklitve optimalne za določeno orientacijo fasade na drugo

Razlike pri vgradnji istega tipa zasteklitve na vse strani				
60 %	Tip	S [kWh/m²]	V [kWh/m²]	J [kWh/m²]
Optimum S	3 c, brez, spodaj	96,84	86,93	83,88
Optimum V	3 d, žaluzije, spodaj	99,05	83,74	80,69
Optimum J	4 a, žaluzije, brez	100,37	84,58	80,34
Razlika		3,53	3,19	3,54

Tudi tu imamo tako kot samo pri izbiri zasteklitve enak učinek (najslabše je vsa okna na stavbi izbrati na podlagi optimalne zasteklitve za S fasado). Poleg zasteklitve na porabo energije vpliva tudi način senčenja (položaj police oziroma nadstreška in tip senčil), zato se med optimalnimi načini oblikovanja odprtín za posamezne orientacije pojavijo razlike v rabi energije. Razlike so še večje kot v primeru, ko opazujemo le tip zasteklitve (Preglednica 20).



Grafikon 74: Razlike ob vgraditvi enakega načina senčenja in tipa zasteklitve optimalne za določeno orientacijo fasade na drugo

Na podlagi rezultatov smo ugotovili, da je nujno potrebno, da izbiro zasteklitve skupaj s sistemi senčenja prilagodimo orientaciji namestitve.

6 VPLIV OBLIKOVANJA ZASTEKLITVE NA OSVETLJENOST PROSTORA

6.1 Zasnova izvedene analize

V tem delu študije smo se ukvarjali z analizo vplivov različnih tipov zasteklitve in senčenja na osvetlitev učilnice šole. S pomočjo programov Ecotect, Daysim in Radiance smo izračunali DA, UDI in KDS za različne primere zasteklitve in senčenja. DA oziroma daylight autonomy je količina, ki nam v odstotkih pove, koliko časa je v času uporabe prostorov osvetljenost določene točke večja ali enaka od v naprej predpisane vrednosti. Druga količina, ki nas je zanimala, je UDI (uporabna naravna osvetljenost). Definirana je podobno kot DA. UDI ima za razliko od DA poleg spodnje tudi zgornjo mejo osvetljenosti. Osvetljenost, ki za človeka predstavlja uporabno svetlobo, je v intervalu od 100 - 2000 lx. Za analizo osvetljenosti smo uporabili tudi bolj pogosto uporabljan parameter KDS. Zanimala nas je povprečna ter minimalna vrednosti KDS in njegova porazdelitev po globini prostora. V programu Ecotect smo definirali geometrijo in fizikalne lastnosti analiziranih modelov, nato pa smo te podatke vnesli v Radiance in Daysim. Dobljene rezultate smo s pomočjo programa Ecotect nato pretvorili v pregledno obliko.

Izvedli smo:

- analizo vpliva velikosti zasteklitve za 3 orientacije in 5 različnih velikosti zasteklitve (15 simulacij)
- analizo vpliva položaja in velikosti police na osvetljenost prostora za 3 orientacije, 3 položaje namestitve polic in 4 različne globine polic (36 simulacij),
- analizo vpliva faktorja LT za 3 orientacije in 5 vrednosti koeficientov (15 simulacij),
- analizo vpliva senčenja za 3 orientacije in 2 tipa senčenja (6 simulacij).

6.1.1 Klimatski podatki

Uporabili smo vremenske pogoje oziroma podatke za Ljubljano. Ti so enaki kot v energetskem delu študije. Program Daysim za izračun UDI, DA in KDS uporablja isto bazo podatkov (datoteka tipa epw) kot Energy plus oziroma Comfen.

6.1.2 Gradbeno fizikalni podatki

Optične karakteristike materialov smo določili s pomočjo študije [14] in vaj, ki smo jih izvedli pri predmetu Zgradba, okolje, energija tekom študija. Izbrane karakteristike (Preglednica 22) smo uporabili v programu Ecotect in tako definirali lastnosti površin računalniškega modela učilnice.

Preglednica 22: Odbojnost materialov površin analizirane učilnice

Površina	Odbojnost
Strop	0,75
Stene	0,65
Tla	0,45
Polica	0,8

6.1.3 Vhodni podatki

Analizirani modeli imajo enake geometrijske karakteristike kot v energetskem delu študije (Preglednica 4). Okna in police so nameščena na istih višinah. Pri analizi položaja police nas je zanimal tudi vpliv globine police, zato smo poleg police z globino 0,5 m (uporabljena v energetskem delu študije) analizirali še police z globino 0,75 m in 1m. Za prikaz osvetljenosti posameznih površin smo uporabili vizualizacije s prikazom lažnih barv. Izračuni osvetljenosti so izvedeni za CIE jasno nebo. Osvetljenost smo preverili za 21. marec ob 12:00. Delovno

ravnino, na kateri smo opazovali osvetljenost tekom celega leta, smo predpostavili na višini 0,76 m nad nivojem tal učilnice.

6.1.4 Predpostavke in omejitve izvedene analize

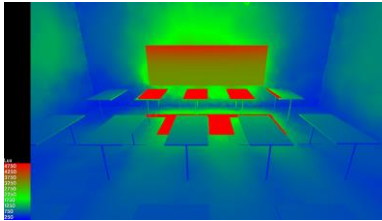
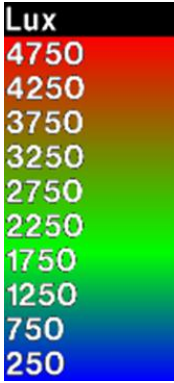
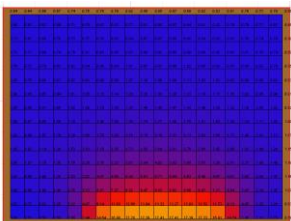
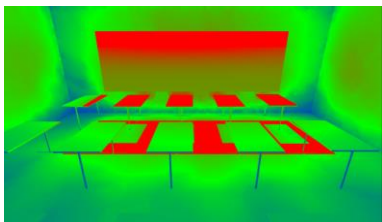
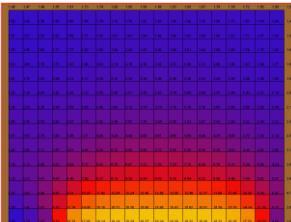
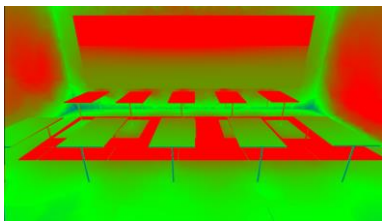
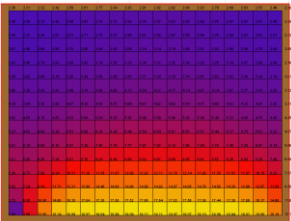
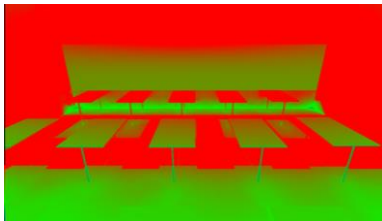
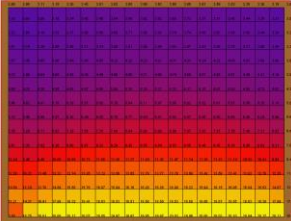
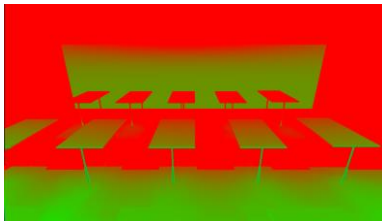
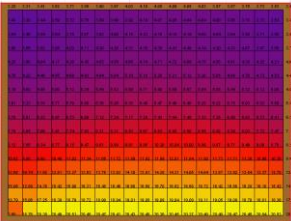
V analizi smo morali definirati urnik zasedenosti učilnice. Kreirati smo morali datoteko tipa csv. Predpostavili smo, da je učilnica zasedena med 8:00 do 18:00 (podobno kot je prikazano na Grafikonu 1). Skupna letna vsota ur zasedenosti učilnice tako znaša 2031 ur. Pri tem je upoštevan zamik ure od 1. aprila do 31. oktobra. Pri vseh modelih, razen pri analizi vpliva senčil, smo predpostavili okna brez senčil. V primeru senčil pa smo uporabili funkcijo enostavnega senčenja. V tej predpostavki so uporabljene enostavne žaluzije. Program v primeru spuščениh senčil uporabi žaluzije nameščene pod kotom 45 stopinj. Pri tem predpostavi, da taka senčila odbijejo 100 % direktnega in 75 % difuznega sončnega sevanja.

6.2 Rezultati

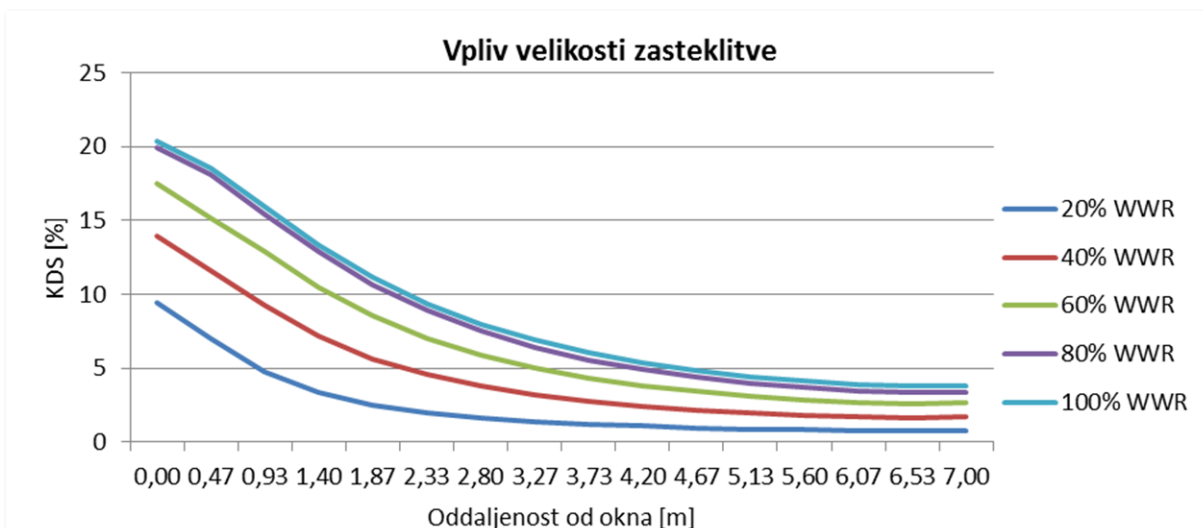
6.2.1 Vpliv velikosti zasteklitve na osvetljenost prostora

V tem delu analize smo preverili, kako velikost zasteklitve vpliva na osvetlitev učilnice. Vpliv smo preverili pri treh različnih orientacijah. Preglednica 23 prikazuje rezultate za okna z J orientacijo. To orientacijo smo izbrali, ker je razlika v osvetljenosti (posebej v primeru jasnega neba) za J največja. Iz rezultatov (Preglednica 23) je lepo vidno, kako se osvetljenost na površini miz z večanjem površine zasteklitve povečuje. Vidimo tudi vpliv intenzivne direktne svetlobe. Najvišje vrednosti se pojavijo na površinah osvetljenih z direktno svetlobo. Največje razlike v osvetljenosti se zaradi vpliva direktne svetlobe pojavljajo v prvi tretjini globine prostora. To je vidno tudi pri pregledu koeficienta dnevne svetlobe.

Preglednica 23: Vpliv velikosti zasteklitve

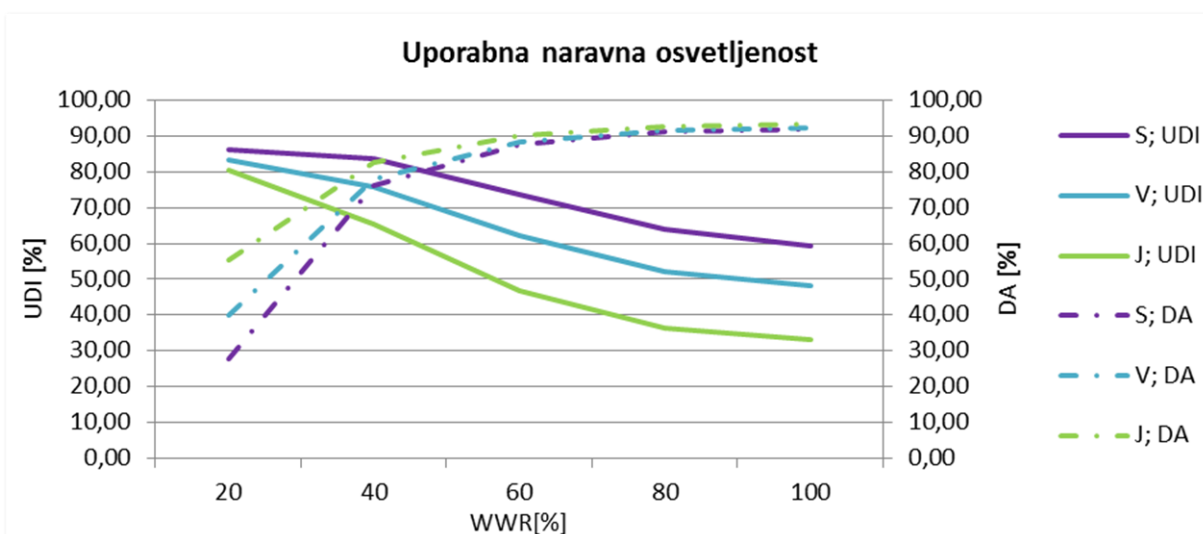
	Osvetlitev (jasen tip neba, 21.3., 12:00)	Skala	KDS (oblačen tip neba, 21.3., 12:00)	Skala
WWR 20 %				
WWR 40 %				
WWR 60 %				
WWR 80 %				
WWR 100 %				

Velikost zasteklitve ima pričakovano velik vpliv tudi na porazdeljenost dnevne svetlobe po prostoru (Grafikon 75). Vidimo, da se vpliv spremembe velikosti zasteklitve z oddaljevanjem od okna hitro zmanjšuje. Z večanjem WWR se razlike v porazdelitvi začnejo zmanjševati. WWR 80 in 100 % imata tako praktično identično porazdelitev po prostoru.



Grafikon 75: Porazdelitev KDS po globini prostora glede na velikost zasteklitve

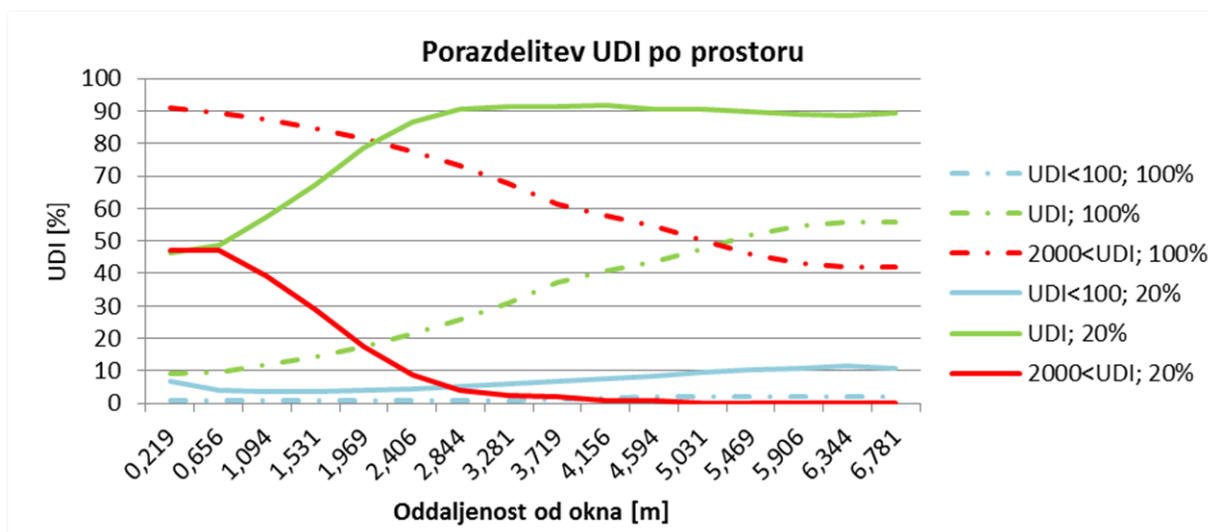
Veliko pozornosti smo namenili izračunu UDI in DA (Grafikon 76). Grafikon nazorno prikazuje rezultate analize (za J orientirana okna), izvedene s programom Daysim. Vidimo, da se s povečevanjem zasteklitve pri vseh orientacijah DA povečuje, UDI pa zmanjšuje. To pomeni, da se z večanjem površine zastekljenih površin osvetljenost nad 500 lx v času obratovanja tekom celotnega leta za področje Ljubljane večja. Posledično to pomeni, da lahko s primerno umetno razsvetljavo (primerno načrtovanje in uporaba) občutno zmanjšamo porabo električne energije. Iz stališča razpoložljive naravne svetlobe vidimo, da se rast DA pri WWR večjih od 40 % močno upočasni. Od tod lahko zaključimo, da z vidika količine naravne svetlobe v prostoru ni smiselno povečevati površine zasteklitve nad WWR 40 %.



Grafikon 76: UDI in DA v odvisnosti od velikosti zasteklitve

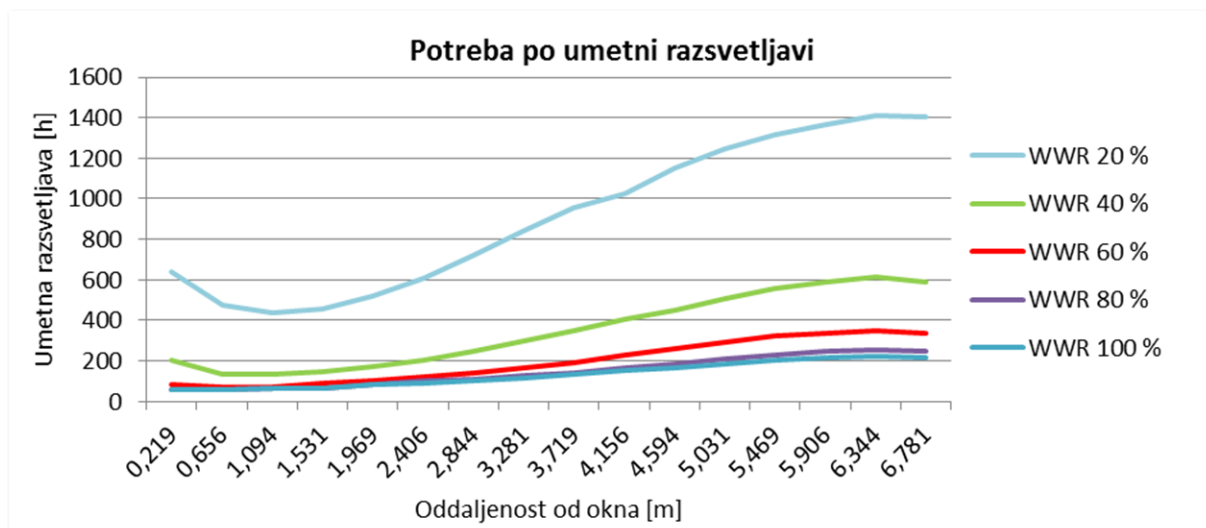
Na drugi strani vidimo, da se količina uporabne naravne svetlobe (UDI) s povečevanjem zasteklitve zmanjšuje. Razlog za to je relativno ozek interval uporabne osvetljenosti (100-2000 lx) in pogosta previsoka osvetljenost (nad 2000 lx). Iz teh rezultatov vidimo, da je potrebno z vidika primerne osvetljenosti nujno poskrbeti za primerno senčenje. V nasprotnem primeru pride do pojava bleščanja (velike razlike med osvetljenostjo površin). Pri povečevanju površine zasteklitve največje razlike v uporabni naravni osvetljenosti (UDI) dobimo pri J orientacijah (pri WWR 100 %, je osvetljenost le 30 % časa zasedenosti učilnice v za ljudi primernem intervalu). To je posledica direktnega sončnega sevanja, ki je na J orientiranih oknih občutno večje kot na S. Največje razlike v avtonomiji naravne svetlobe (DA) dobimo pri S orientiranih zasteklitvah. S povečevanjem zasteklitve lahko v učilnici zagotovimo, da bo umetna razsvetljava potrebna le 10 % časa v katerem je zasedena učilnica (cca 200 ur na leto).

Vpliv porazdelitve svetlobe in s tem tudi previsoke (neprimerne) osvetljenosti je za različne velikosti zasteklitve zelo različen (Grafikon 77). Črtkane črte pripadajo WWR 100 %, polne pa WWR 20 %. Vidimo, da se položaj uporabne naravne svetlobe (100 – 2000 lx) pri različnih površinah zasteklitve močno spreminja. Za WWR 20 % je uporabno področje bistveno bližje oknu kot za WWR 100 %. Porazdelitev uporabne naravne svetlobe po prostoru je praktično zrcalna slika previsokih vrednosti (UDI > 2000 lx).



Grafikon 77: Porazdelitev UDI za WWR 20 in 100 %

Na podlagi porazdelitve DA po prostoru smo izračunali, koliko časa je v posameznih delih učilnice potrebna umetna razsvetljava (Grafikon 78). Na podlagi teh rezultatov lahko določimo primerno regulacijo (po vrstah vzporednih oknu), tip in število svetilk.



Grafikon 78: Potreba po umetni razsvetljavi po globini prostora

Iz rezultatov (Preglednica 24) lahko lepo vidimo, da zahtevam, ki smo jih postavili v uvodu (Preglednica 1), ustrezajo primeri z WWR večjim ali enakim 60 %.

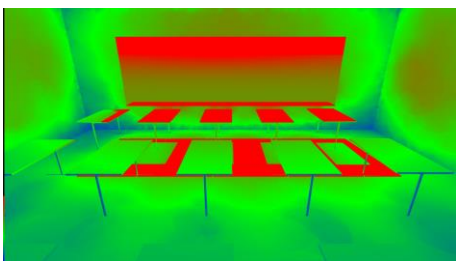
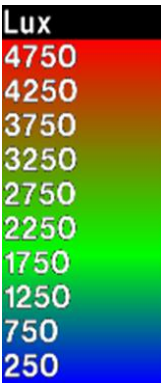
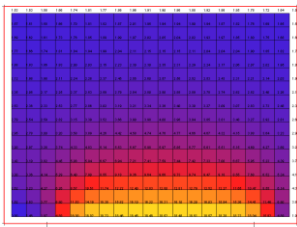
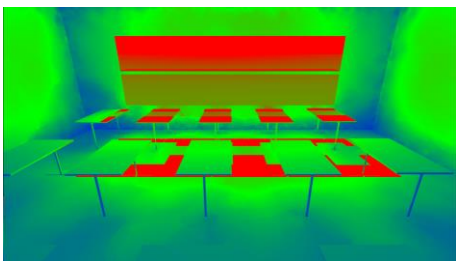
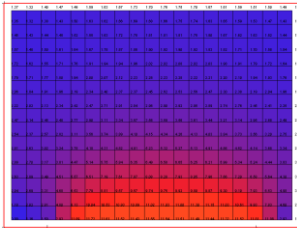
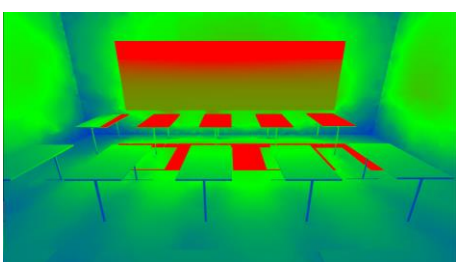
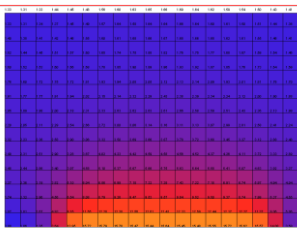
Preglednica 24: Vpliv velikosti zasteklitve za različne orientacije zasteklitve

Orientacija	WWR [%]	UDI<100 [%]	UDI [%]	2000<UDI [%]	KDS _{av} [%]	KDS _{av} /KDS _{min}	DA [%]
S	20	8,48	86,08	5,40	2,45	4,77	27,88
	40	3,21	83,76	13,00	4,71	3,52	76,11
	60	2,06	73,46	24,41	6,75	2,99	87,70
	80	1,68	63,78	34,49	8,29	2,83	91,21
	100	1,51	59,43	38,94	8,73	2,66	92,08
V	20	8,26	83,42	8,28	2,45	4,77	39,97
	40	3,11	75,81	21,05	4,71	3,52	77,79
	60	2,03	62,06	35,89	6,75	2,99	88,34
	80	1,71	52,12	46,19	8,29	2,83	91,48
	100	1,52	48,19	50,21	8,73	2,66	92,33
J	20	7,13	80,47	12,39	2,45	4,77	55,18
	40	2,99	65,49	31,49	4,71	3,52	82,76
	60	2,00	46,84	51,11	6,75	2,99	90,23
	80	1,60	36,21	62,26	8,29	2,83	92,76
	100	1,47	32,96	65,54	8,73	2,66	93,39

6.2.2 Vpliv položaja in velikosti police na osvetljenost prostora

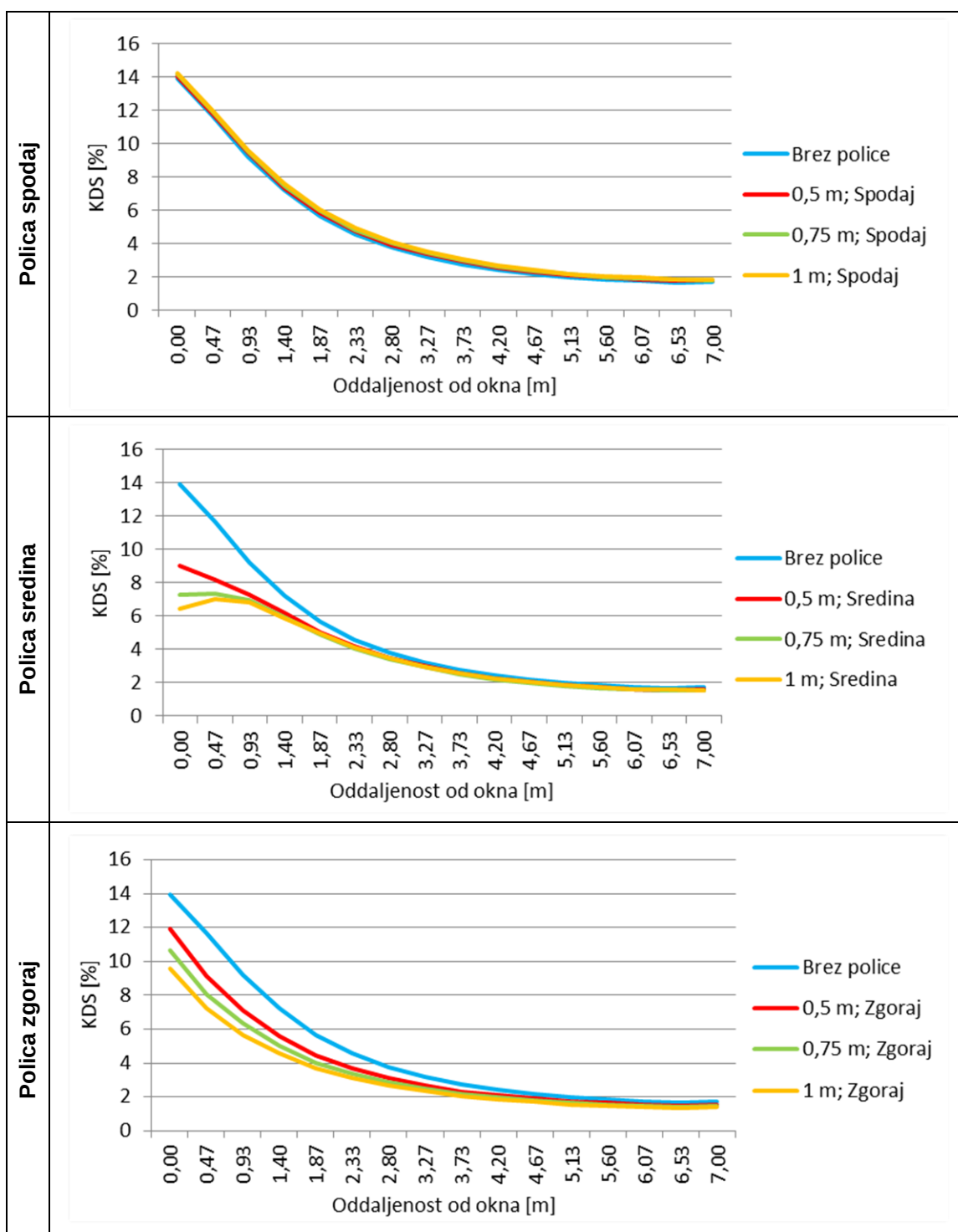
V analizi vpliva polic na osvetljenost notranjih prostorov smo najprej preverili vpliv položaja police. Uporabili smo enake dimenzije police kot v energetske delu študije. Za izhodiščno varianto smo uporabili primer z WWR 40 % in LT 0,75. Rezultati (Preglednica 25) prikazujejo, kako se osvetljenost v različnih primerih razlikuje tako v primeru jasnega (osvetlitev) kot tudi oblačnega neba (KDS). Že pri polici z globino le 50 cm položaj igra pomembno vlogo. Ker je taka polica (zlasti pri večjih WWR) zelo majhna, smo preverili še vpliv pri policah z globino 75 in 100 cm.

Preglednica 25: Vpliv položaja police z globino 50 cm

	Osvetlitev (jasen tip neba, 21.3., 12:00)	Skala	KDS (oblačen tip neba, 21.3., 12:00)	Skala
Polica spodaj				
Polica sredina				
Polica zgoraj				

Vpliv položaja police na osvetljenost učilnice je lepo viden pri porazdelitvi KDS po globini prostora (Preglednica 26). Položaj in velikost police imata velik vpliv na porazdelitev KDS po prostoru. Pri polici, nameščeni na sredini okna, se vrednosti za različne velikosti police razlikujejo. Največje razlike se pojavijo blizu okna, nato pa se kmalu izenačijo.

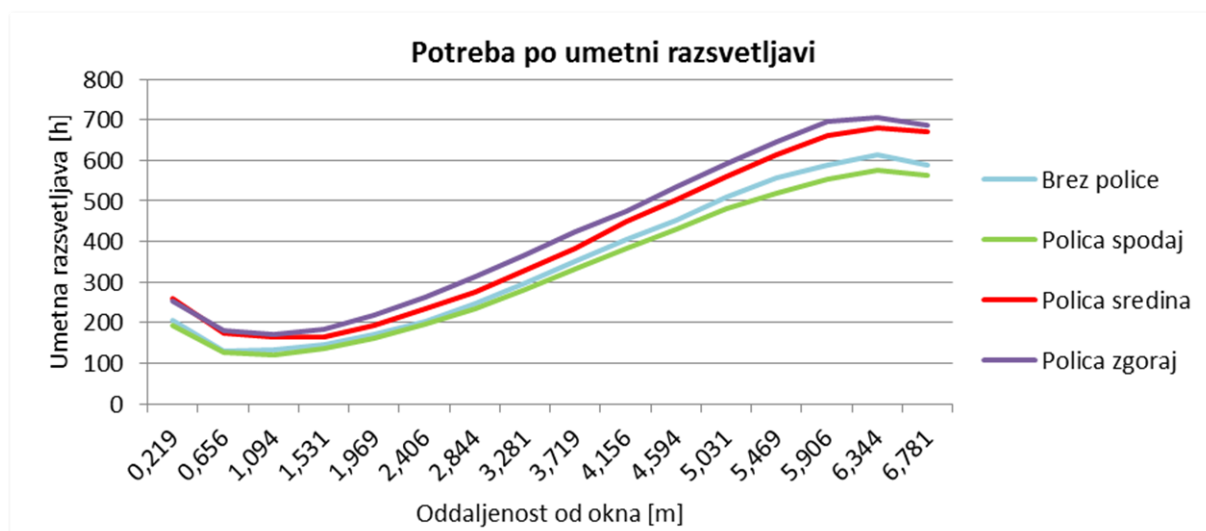
Preglednica 26: Porazdelitev KDS po globini prostora pri različnih položajih police



S polico na sredini lahko zmanjšamo ekstreme blizu okna brez, da bi poslabšali pogoje globlje v prostoru. Na ta način dosežemo bolj enakomerno osvetlitev po prostoru. Polica nameščena zgoraj zmanjša vrednosti KDS enakomerno po celotni globini prostora. Z namestitvijo police zgoraj zmanjšamo osvetljenost po celotni globini prostora. Večja, kot je

globina police, večje je znižanje KDS. Velikost police pri namestitvi na spodnji strani okna ima na porazdelitev KDS zelo majhen vpliv. Z večanjem police na spodnji strani se povprečna vrednost KDS počasi povečuje.

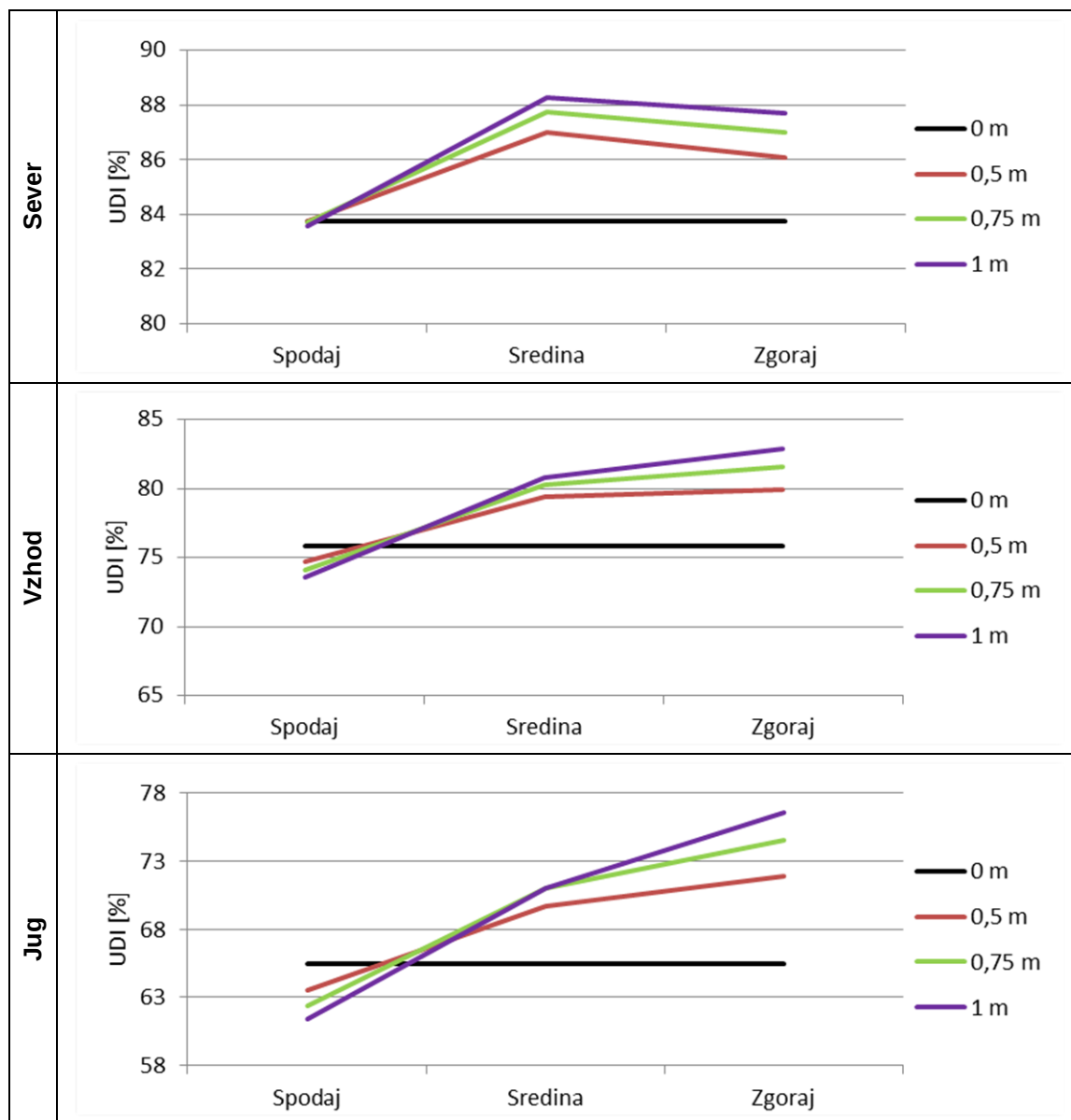
Za polico globine 0,5 m, nameščeno na različnih položajih okna smo izračunali število ur, ko je za zadostno osvetljenost potrebno vklopiti umetno razsvetljavo (Grafikon 79). Tako kot nakazujejo rezultati porazdelitve KDS (Preglednica 26), polica globine 0,5 m na porazdelitev in letno osvetljenost učilnice nima bistvenega vpliva. Največje število ur, ko je učilnico potrebno dodatno osvetliti z umetno razsvetljavo dobimo pri polici nameščeni zgoraj, sledi model s polico nameščečo na sredini nato pa model brez police. Polica nameščena na spodnji strani okna deluje ugodno na zmanjšanje porabe energije za osvetlitev prostorov. Višje vrednosti (oddaljenost od okna 0,219 in 0,656 m) so posledica nizke osvetljenosti v ogliščih prostora.



Grafikon 79: Potreba po umetni razsvetljavi

Preverili smo tudi vpliv posamezne velikosti in položaja namestitve police na delež uporabne naravne osvetljenosti prostorov (Preglednica 27). Najnižje vrednosti se pri vseh velikostih in orientacijah pojavijo pri policah na spodnji strani. Pri teh policah imamo (zlasti blizu okna) največji delež previsoke osvetljenosti (več kot 2000 lx). V večini primerov (velikost in namestitvev police) imamo največji delež uporabne naravne osvetljenosti pri polici, nameščeni na zgornji strani okna. Police, nameščene na sredini okna, nimajo bistveno nižjih vrednosti od police na zgornji strani. Iz rezultatov vidimo, da ima velikost in položaj police največji vpliv na zastekljene površine z J orientacijo.

Preglednica 27: Delež uporabne naravne osvetljenosti za različne velikosti in položaje polic pri različnih orientacijah



Rezultati UDI pokažejo, da v primerih ko na oknih nimamo nameščenih premičnih senčil, najboljše pogoje z vidika osvetlitve dobimo pri policah, nameščenih na zgornji strani okna. Izjema so zastekljene površine s S orientacijo. Tam največ uporabne naravne svetlobe dobimo pri polici na sredini okna. Povečevanje uporabne naravne osvetljenosti pri policah z večjo globino je posledica zmanjševanja vpliva direktne svetlobe, ki povzroča previsoko osvetljenost (ter povečuje verjetnost za pojav bleščanja). Polica globine 1 m, nameščena na zgornji strani okna v največji meri omeji dostop direktnega sončnega sevanja v prostor. Tako zmanjšaja nivo previsoke osvetljenosti in poveča čas, ko je osvetljenost v za človeka ugodnem intervalu (100 – 2000 lx). Ker previsoko osvetljenost lahko s primernim senčenjem

kontroliramo, so nas zanimala vrednosti osvetljenosti preko 500 lx (Priloga C). Rezultati so v tem primeru ravno nasprotni. Maksimalne vrednosti dosežemo pri policah na spodnji strani oken (Preglednica 28).

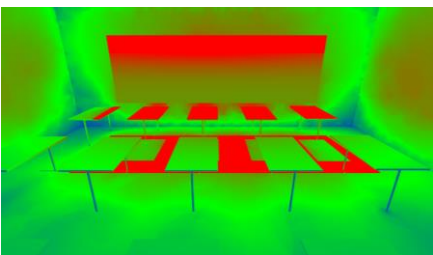
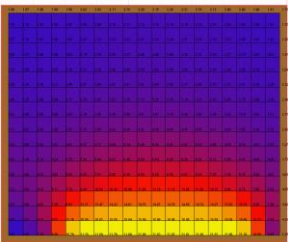
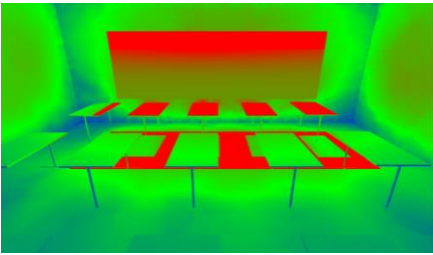
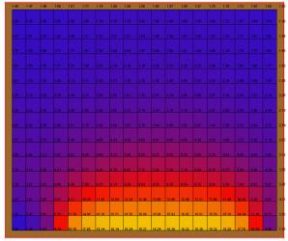
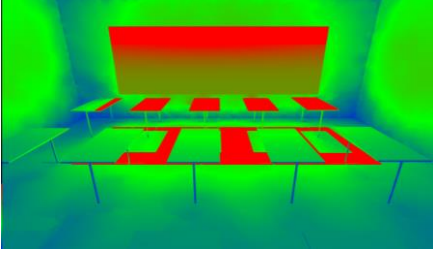
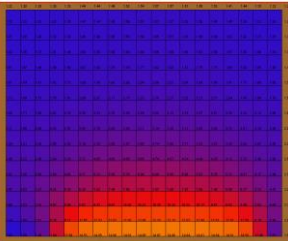
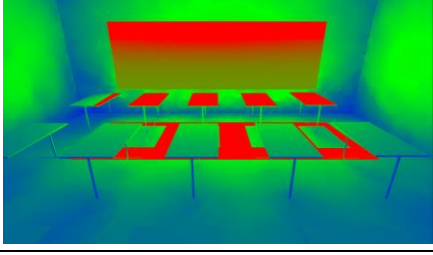
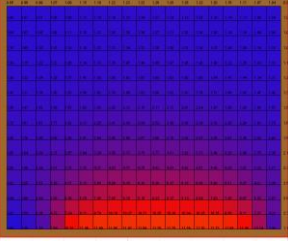
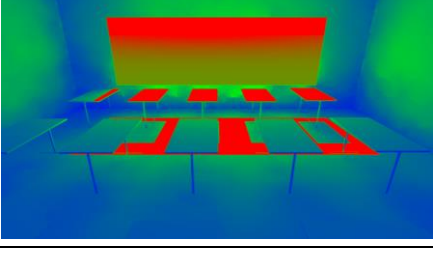
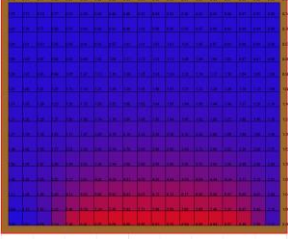
Preglednica 28: Rezultati analize položaja in velikosti police

	Orientacija	Položaj	UDI<100 [%]	UDI [%]	2000<UDI [%]	KDS _{av} [%]	KDS _{av} /KDS _{min}	DA [%]
Brez	S	/	3,21	83,76	13,00	4,71	3,52	76,11
	V	/	3,11	75,81	21,05	4,71	3,52	77,79
	J	/	2,99	65,49	31,49	4,71	3,52	82,76
0,5 m	S	Spodaj	3,05	83,76	13,13	4,85	3,32	77,12
		Sredina	3,46	87,02	9,47	3,83	3,30	72,18
		Zgoraj	3,67	86,10	10,18	3,86	3,64	71,29
	V	Spodaj	2,99	74,72	22,23	4,85	3,32	78,64
		Sredina	3,44	79,43	17,09	3,83	3,30	74,11
		Zgoraj	3,59	79,93	16,48	3,86	3,64	73,50
	J	Spodaj	2,86	63,50	33,58	4,85	3,32	83,70
		Sredina	3,26	69,68	27,07	3,83	3,30	80,58
		Zgoraj	3,43	71,89	24,67	3,86	3,64	79,34
0,75 m	S	Spodaj	2,99	83,70	13,26	4,93	3,24	77,55
		Sredina	3,50	87,75	8,66	3,59	3,20	71,56
		Zgoraj	3,87	86,98	9,09	3,52	3,61	69,17
	V	Spodaj	2,94	74,11	22,93	4,93	3,24	79,12
		Sredina	3,47	80,26	16,28	3,59	3,20	73,64
		Zgoraj	3,84	81,58	14,54	3,52	3,61	71,51
	J	Spodaj	2,81	62,39	34,79	4,93	3,24	84,08
		Sredina	3,33	70,97	25,69	3,59	3,20	79,82
		Zgoraj	3,64	74,57	21,79	3,52	3,61	77,81
1 m	S	Spodaj	2,94	83,56	13,43	5,00	3,18	77,99
		Sredina	3,53	88,27	8,13	3,53	3,04	71,27
		Zgoraj	4,15	87,69	8,12	3,23	3,57	67,18
	V	Spodaj	2,89	73,54	23,54	5,00	3,18	79,44
		Sredina	3,49	80,80	15,67	3,53	3,04	73,33
		Zgoraj	4,09	82,91	12,93	3,23	3,57	69,71
	J	Spodaj	2,77	61,43	35,77	5,00	3,18	84,47
		Sredina	3,32	70,99	25,69	3,53	3,04	80,07
		Zgoraj	3,81	76,58	19,59	3,23	3,57	76,27

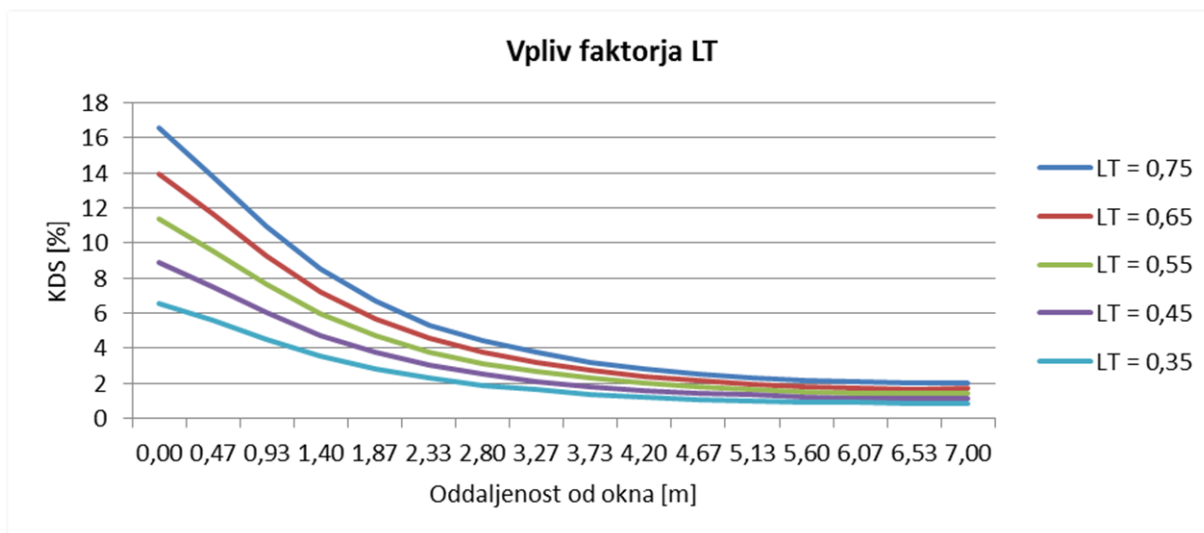
6.2.3 Vpliv faktorja prepustnosti sončnega sevanja na osvetljenost prostora

Zanimalo nas je, kako LT vpliva na osvetljenost prostora oziroma parametre KDS, UDI in DA, zato smo preizkusili 5 zasteklitev (LT 0,75; 0,65; 0,55; 0,45; 0,35). Najprej smo si ogledali vpliv faktorja LT na KDS in osvetlitev prostora (Preglednica 29).

Preglednica 29: Vpliv faktorja LT

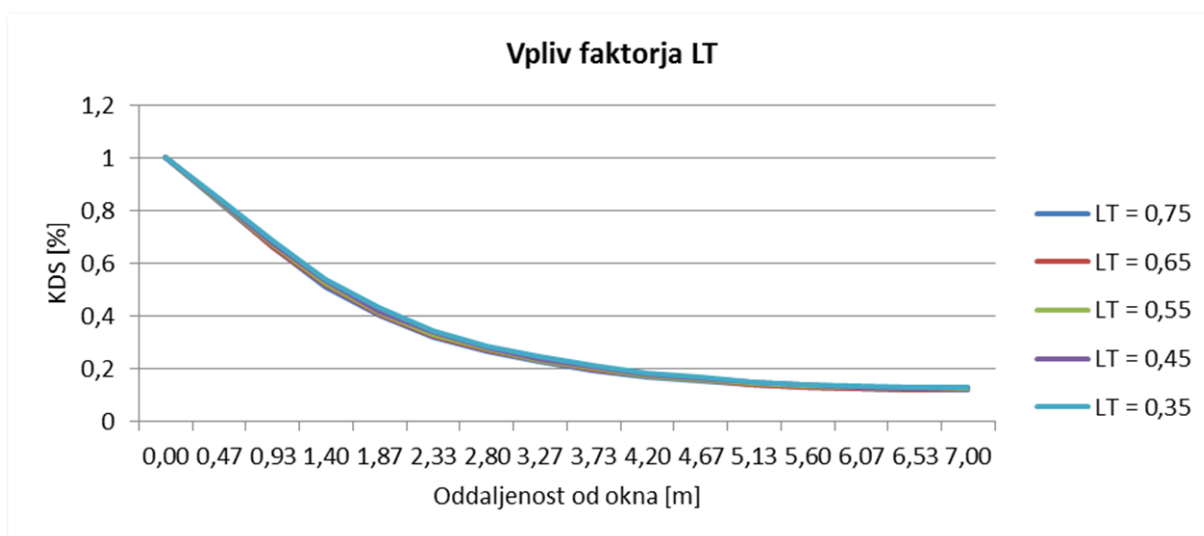
	Osvetlitev (jasen tip neba, 21.3., 12:00)	Skala	KDS (oblačen tip neba, 21.3., 12:00)	Skala
LT = 0,75				
LT = 0,65				
LT = 0,55				
LT = 0,45				
LT = 0,35				

Za izhodišče smo uporabili situacijo z WWR 40 %, brez senčil. Analizo osvetljenosti smo izvedli za prostor z J orientacijo v primeru jasnega neba za 21. marec ob 12:00. Rezultati (Preglednica 29, Grafikon 80) pokažejo pričakovan pojav zmanjševanja osvetljenosti prostora. Zmanjšanje se pojavi po celotni globini prostora.



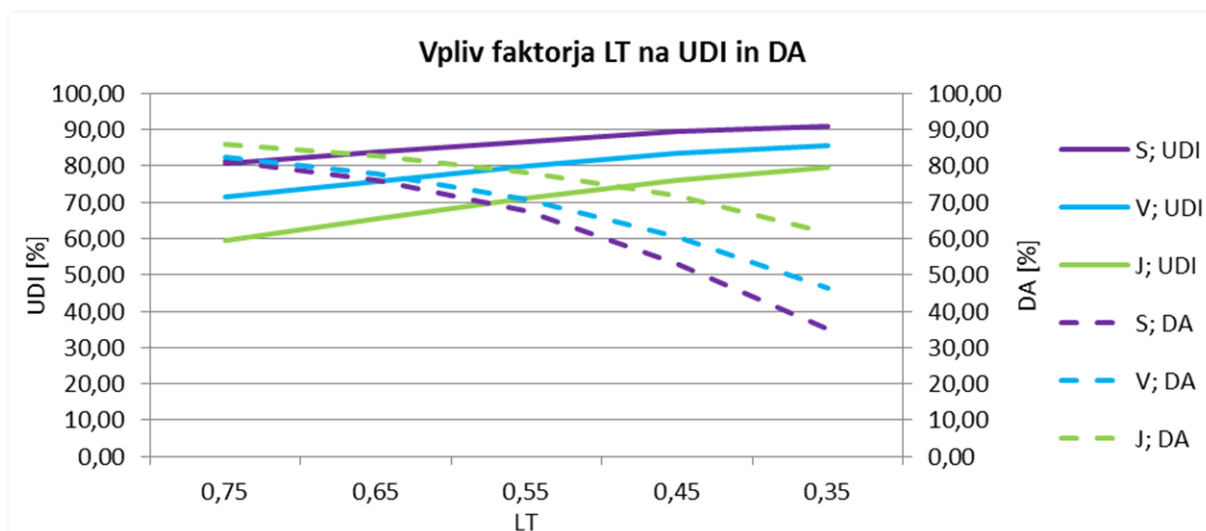
Grafikon 80: Porazdelitev KDS po globini prostora glede na LT

Da bi videli, kako faktor LT vpliva na hitrost padanja osvetlitve po prostoru, smo vrednosti KDS normirali (Grafikon 81). Iz grafa vidimo, da faktor LT ne vpliva na hitrost padanja osvetljenosti po prostoru. Tudi razporeditev osvetljenosti po prostoru ni odvisna od transmisivnosti.



Grafikon 81: Normiran KDS po globini prostora glede na LT

Zanimalo nas je tudi, kakšen vpliv ima zmanjševanje faktorja LT na parametra UDI in DA (Grafikon 82). Največji vpliv na UDI ima zmanjševanje faktorja LT v prostorih z J orientacijo. Ravno obratno je z DA (največji vpliv na zastekljenih površina s S orientacijo).



Grafikon 82: UDI in DA v odvisnosti od velikosti zasteklitve

Največji UDI dobimo pri S orientaciji, najmanjšega pa pri J orientaciji. To je posledica previsokih nivojev naravne osvetlitve (veliko direktne svetlobe). To potrjujejo vrednosti DA, ki za razliko od UDI nimajo zgornje meje osvetljenosti. Vrednosti DA se zato z zmanjševanjem faktorja LT zmanjšujejo (Preglednica 30). Največje razlike za UDI se tako kot pri ostalih ukrepih (spreminjanje površine zasteklitve, položaj in velikost nameščenih polic) pojavijo pri zasteklitvah z J orientacijo. To pomeni, da moramo zlasti pri teh orientacijah poskrbeti za primerno senčenje (tip in regulacija). V nasprotnem primeru poleg visokih solarnih dobitkov, dobimo tudi zelo visoke nivoje naravne osvetljenosti. Te pa z vidika ugodja ljudi v prostoru niso zaželeni. V nasprotju z UDI, pa se za DA največje razlike pojavijo pri orientacijah blizu azimuta. Pri teh orientacijah je direktne osvetljenosti zelo malo, zato imajo ukrepi, kot je zmanjševanje faktorja LT zasteklitve, velik vpliv na letno osvetljenost prostora. Pri učilnici s S orientiranimi okni ($LT = 0,75$) je naravna osvetljenost prenizka (pod 500 lx) približno 406 h, pri zasteklitvi ($LT = 0,35$) pa 1320 h na leto. To pomeni, da lahko že z izbiro primerne zasteklitve (višji LT) močno zmanjšamo potrebo (v našem primeru 914 h) po umetni razsvetljavi.

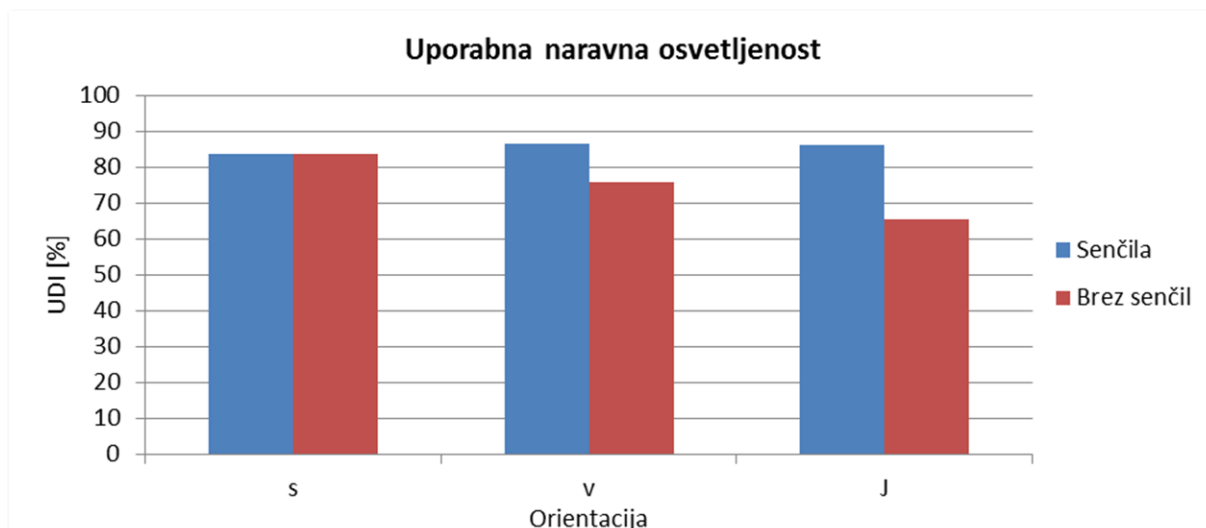
Preglednica 30: Rezultati vpliva faktorja LT

Orientacija	LT	UDI<100 [%]	UDI [%]	2000<UDI [%]	KDS _{av} [%]	KDS _{av} /KDS _{min}	DA [%]
S	0,75	2,77	80,67	16,51	5,56	3,47	81,24
	0,65	3,21	83,76	13,00	4,71	3,52	76,11
	0,55	3,78	86,72	9,42	3,89	3,56	67,70
	0,45	4,76	89,31	5,84	3,09	3,61	52,92
	0,35	6,73	90,98	2,25	2,31	3,65	34,90
V	0,75	2,73	71,29	25,96	5,56	3,47	82,44
	0,65	3,11	75,81	21,05	4,71	3,52	77,79
	0,55	3,73	80,03	16,24	3,89	3,56	70,79
	0,45	4,71	83,57	11,63	3,09	3,61	60,36
	0,35	6,49	85,70	7,78	2,31	3,65	46,31
J	0,75	2,58	59,58	37,77	5,56	3,47	85,90
	0,65	2,99	65,49	31,49	4,71	3,52	82,76
	0,55	3,53	71,12	25,36	3,89	3,56	78,21
	0,45	4,25	76,16	19,54	3,09	3,61	71,96
	0,35	5,72	79,75	14,53	2,31	3,65	61,43

Iz rezultatov je vidno, da moramo pri oknih brez polic s površino WWR 40 % za dosego primernih vrednosti naravne osvetlitve (Preglednica 1) uporabiti zastekljene površine s faktorjem LT okoli 0,7.

6.2.4 Vpliv senčil na osvetljenost prostora

V prejšnjih analizah osvetljenosti smo odkrili, da se z večanjem odprtih in faktorja LT vrednost uporabne naravne osvetljenosti (UDI) manjša. Razlog za to je v preveč intenzivni osvetlitvi prostorov. Za boljšo izrabo naravne svetlobe smo namestili preprosta senčila. Ta smo v programu simulirali tako, da se v času intenzivne osvetljenosti aktivirajo žaluzije. Te so nameščene pod kotom 45 stopinj. Vpliv senčil smo preverili na vseh treh orientacijah. Najprej smo si ogledali porazdelitev KDS po globini prostora. Pričakovano senčila nimajo vpliva na KDS. Razlog za to je, da pri izračunu KDS (po definiciji se KDS računa za CIE oblačno nebo) senčila niso aktivirana oziroma spuščena. Iz rezultatov (Preglednica 31) vidimo, da se je predvsem pri J orientaciji delež uporabne naravne svetlobe bistveno povečal (Grafikon 83). Poveča se predvsem na račun zmanjšanja previsoke osvetljenosti (več kot 2000 lx). Odstotek časa med zasedenostjo učilnice s preveliko osvetlenostjo se je pri J fasadi s senčili zmanjšal kar za 22,68 %.



Grafikon 83: Vpliv senčil na UDI

Preglednica 31: Rezultati analize vpliva senčil

Orientacija	Položaj	UDI<100 [%]	UDI [%]	2000<UDI [%]	KDS _{av} [%]	KDS _{av} /KDS _{min}	DA [%]
S	SENČILA	3,21	83,76	13,00	4,71	3,52	76,11
	BREZ	3,21	83,76	13,00	4,71	3,52	76,11
V	SENČILA	5,96	86,61	7,40	4,71	3,52	42,63
	BREZ	3,11	75,81	21,05	4,71	3,52	77,79
J	SENČILA	5,11	86,10	8,81	4,71	3,52	45,47
	BREZ	2,99	65,49	31,49	4,71	3,52	82,76

Iz rezultatov analize senčenja je očitno, da lahko s primernim senčenjem dosežemo bistveno boljše rezultate naravne osvetljenosti (zlasti pri J fasadah), zato moramo pri načrtovanju veliko pozornosti nameniti primernemu senčenju. Pomembna je pravilna izbira tipa senčil in tudi njihov nadzor oziroma uporaba (avtomatsko ali ročno vodenje).

7 UPORABA REZULTATOV ANALIZE V PRAKSI

Študijo vpliva zasteklitve na porabo energije in vizualne pogoje v prostoru smo izvedli z namenom lažje določitve primernih oken v šolah. S pomočjo rezultatov študije za hipotetično standardno učilnico lahko na preprost način določimo primerna okna za posamezne realne učilnice. To lahko naredimo pri načrtovanju nove stavbe (na tej stopnji lahko določimo tudi velikost zasteklitve) kot tudi pri prenovi stavbe. V osnovni šoli Simona Jenka Kranj – center so okna v zelo slabem stanju, zato smo ocenili prihranek energije pri zamenjavi oken. Vhodni

podatki so praktično enaki kot v izvedeni analizi (ista priključna moč luči, dimenzije učilnice 6,8 x 8,8 x 3,7 m, višina parapeta). Največja razlika se pojavi pri postavitvi oken (okna niso enovita kot v primeru simulacije, ampak so razdeljena na tri enake odprtine). Površina oken znaša 13,6 m². Pri površini zunanje fasade 32,56 m² to predstavlja WWR 41,8 % (Slika 9).



Slika 9: Notranjost učilnice na OŠ Simona Jenka Kranj

Učilnica ustreza slovenskim zahtevam tako z vidika geometrije kot tudi zahtev o naravni osvetljenosti. Azimut objekta je 13 stopinj. Ker je objekt pravilnih oblik (stene ovoja šole so med seboj pravokotne), to pomeni, da so zastekljene površine orientirane 13 stopinj v smeri proti V od glavnih strani neba (S, V, J, Z). Pri ogledu objekta smo si ogledali trenutno stanje oken v učilnici na zahodni strani objekta. Okna so lesena in na splošno v zelo slabem stanju. Dvoslojna zasteklitev je zaradi svoje starosti in tehnologije, ki so jo uporabljali pred cca. 20 leti brez nizko emisijskih nanosov. Medstekelni prostor je napolnjen z zrakom. To ustreza tipu okna 2 a iz naše analize (toplotna prehodnost cca. 2,5 W/m²K). V učilnici so nameščene žaluzije na notranji strani, ki pa so zelo dotrajane.

Dejansko situacijo smo analizirali s programom Comfen. Rezultati so pokazali, da minimalne vrednosti skupne porabe energije dobimo pri istih pogojih, kot smo jih uporabili za reprezentativno učilnico v Sloveniji. Razlike, ki se pojavijo zaradi drugačne orientacije in položaja oken, znašajo okrog 3 %. Ker so odstopanja od predpostavk naše analize dokaj majhna, smo za približni izračun prihrankov na račun zamenjave oken uporabili rezultate splošne analize. Za izhodiščno varianto smo vzeli primer brez senčil in brez police, s tipom

okna 2 a in WWR 40 %. S pomočjo izvedene analize in priporočil lahko hitro določimo optimiziran način oblikovanja in lastnosti zasteklitve (Preglednica 32).

Preglednica 32: Ocena prihrankov energije na podlagi izvedene analize

Varianta	Energija na enoto [kWh/m ²]	Skupna [kWh]	Zmanjšanje porabe energije [%]
Trenutna situacija	105,28	6299,95	/
Optimalna rešitev	85,18	5097,17	19,09
Ekonomsko dostopnejša	85,43	5112,13	18,85

Za učilnice je vsekakor smiselna namestitvev žaluzij in police na spodnji strani okna. S pomočjo senčil na zunanji strani namreč zmanjšamo solarne dobitke in hkrati izboljšamo vizualne pogoje v prostoru (Grafikon 83). Ker so razlike v prihranku energije med optimalno (3 d) in ekonomsko dostopnejšo rešitvijo majhne, priporočamo, da se vgradi cenovno bolj dostopna okna z zasteklitvijo tipa 3 c. Iz rezultatov analize osvetljenosti (Preglednica 30) vidimo, da moramo za doseg pogojev za primerno naravno osvetlitev prostorov z WWR 40 % pri V orientaciji izbrati zasteklitev z LT višjim od 0,7 (optimalna rešitev - Preglednica 32 tem pogojem ne ustreza).

8 DISKUSIJA

Oblikovanje odprtín v fasadnem ovoju stavbe ima ključen vpliv na energetska bilanco in vizualne pogoje v prostoru oziroma stavbi. Ker je število dejavnikov, povezanih z oblikovanjem odprtín, ki vplivajo na rabo energije za ogrevanje, hlajenje in osvetlitev prostora zelo veliko, je to postal kompleksen problem. V praksi se težave pojavijo že pri izbiri najbolj primerne tipa zasteklitve (razmerje med U_g , g in LT). V Sloveniji se namreč pri izbiri zasteklitve največ pozornosti posveča faktorju toplotne prehodnosti stekla oziroma oken kot celote. Po pregledu ponudbe večjih proizvajalcev oken (Jelovica, Mik Celje, Gevis,...) na spletu in Sejmu dom marca 2015 v Ljubljani smo ugotovili, da podatkov o prepustnosti zasteklitve za sončno sevanje in vidno svetlobo v večini ne navajajo in jih marsikje tudi zelo slabo poznajo. Ker smo v študiji potrdili, da imata ta dva parametra lastnosti zasteklitve velik vpliv na porabo energije in vizualne pogoje v prostoru, bi bilo smiselno, da se tudi v Sloveniji začne uporabljati bolj celovit pristop pri analizi vpliva in izbora zasteklitve. Fizikalno optične lastnosti zasteklitve bi morale postati lažje dostopne tako načrtovalcem kot tudi kupcem oken. Po zgledu nekaterih tujih držav bi se lahko uvedle oznake za okna oziroma zasteklitve (Slika 10). Tako bi načrtovalci, ki se ukvarjajo z zasteklitvijo, imeli boljše podatke, na podlagi

katerih bi lahko izbrali bolj primeren tip zasteklitve. V ZDA imajo skoraj vsa okna oznako, ki jo pridobijo na podlagi testov in procesa certificiranja, ki ga je določil nacionalni komite za ocenjevanje lastnosti zastekljenih površin National Fenestration Rating Council (NFRC) [37].

 World's Best Window Co. Millennium 2000+ Vinyl-Clad Wood Frame Double Glazing • Argon Fill • Low E Product Type: Vertical Slider	
ENERGY PERFORMANCE RATINGS	
U-Factor (U.S./I-P) 0.30	Solar Heat Gain Coefficient 0.30
ADDITIONAL PERFORMANCE RATINGS	
Visible Transmittance 0.51	Air Leakage (U.S./I-P) 0.2
Manufacturer stipulates that these ratings conform to applicable NFRC procedures for determining whole product performance. NFRC ratings are determined for a fixed set of environmental conditions and a specific product size. NFRC does not recommend any product and does not warrant the suitability of any product for any specific use. Consult manufacturer's literature for other product performance information. www.nfrc.org	

Slika 10: Oznaka za karakteristike okna v ZDA (Vir: [37])

Na oznaki (Slika 10) oken v ZDA in Kanadi, ki mora biti nameščena na oknu, dobimo podatke (U_w , g , LT , zrakotesnost), na podlagi katerih lahko dejansko določimo učinkovitost okna na določeni lokaciji in orientaciji fasade. Tako lahko pri prenovi kot tudi novogradnjah bolj realno ocenimo prihranke in s tem povezane učinke in vračilne dobe za investicije v novo stavbno pohištvo. S pomočjo teh informacij lahko tudi veliko bolj natančno izračunamo količino energije, ki jo bo potrebovala stavba po namestitvi novih oken oziroma zasteklitve. Podobne vrste informacij z oceno energetske učinkovitosti in karakteristik oken za kupce in strokovnjake najdemo tudi v Avstraliji, Novi Zelandiji, Kanadi, Veliki Britaniji in na Danskem [9]. V Evropski uniji je proces uvajanja poenotene kartice z lastnostmi oken še v teku. Cilj je ustvariti EBERS (European Window Energy Rating System) [10]. To bi bila neke vrste izkaznica učinkovitosti okna. Na izkaznici bi na podlagi U_g in g določili energetski razred okna za točno določeno državo oziroma območje. Na podlagi rezultatov podobne študije, kot smo jo izvedli, bi se lahko določila osnova za pripravo izkaznice energetske učinkovitosti okna. Zato taka vrste izkaznice ni preveč zahtevna. Na podlagi lastnosti podnebja je potrebno določiti vpliv faktorja g in U_g , ki se v čim večji meri ujemajo z rezultati simulacije. Še bolj natančna bi bila izkaznica, na kateri bi poleg fizikalno optičnih lastnosti našli tudi informacije o energetske učinkovitosti za določeno lokacijo, orientacijo in tip objekta (npr. stanovanje, šola, pisarna). Priprava take izkaznice bi bila bistveno bolj zahtevna. Za izdelavo bi

potrebovali natančna simulacijska orodja npr. Trnsys ali Energy plus in veliko število simulacij. Comfen, ki smo ga uporabili v naši analizi, ima za tako analizo preveč poenostavitev (obravnavajo samo zunanjo fasado, ostale površine prostora so adiabatne). Podrobnejša analiza bi bila smiselna za objekte, ki imajo podobne lastnosti (npr. šole in pisarne). Rezultati naše študije bi lahko predstavljali izhodišče oziroma osnovo za izvedbo detaljne analize oblikovanja odprtih fasadnega ovoja stavb. Pri iskanju energetsko najbolj primernih oken oziroma zastekljenih površin ne smemo pozabiti na vizualne pogoje v prostoru. S pomočjo naravne svetlobe lahko namreč bistveno zmanjšamo porabo energije za osvetlitev prostora [6]. Za učinkovito naravno osvetljenost prostorov moramo izbrati pravi tip senčenja in njegovo regulacijo. Naravna svetloba, poleg zmanjšanja porabe energije vpliva tudi na psihofiziološko delovanje ljudi [38]. Naravna svetloba ne omogoča le opravljanja vizualnih nalog, ampak preko cirkadianega ritma vpliva tudi na izločanje hormonov, razpoloženje, imunski sistem,... [5]. Neprimerno osvetljeno delovno in bivalno okolje zato negativno vpliva na zdravje, produktivnost in počutje ljudi. Slabo psihično in fizično stanje ljudi je vzrok za velike denarne izgube [39]. Zaradi neprimerne osvetljenosti prihaja do bolniških odsotnosti, poškodb pri delu in drugih težav. Zato bi bilo smiselno več časa, pozornosti in sredstev nameniti za primerno naravno osvetljenost. Preveriti bi bilo potrebno, koliko lahko z optimizacijo dnevne osvetljenosti v prostoru prihranimo na račun višje produktivnosti in boljšega zdravja.

9 ZAKLJUČEK

V študiji smo s spreminjanjem parametrov zasteklitve in oblikovanja odprtih ovoja stavbe analizirali porabo energije in vizualne pogoje v hipotetični šolski učilnici. Analizirali smo vpliv: orientacije, velikosti in tipa zasteklitve, načina senčenja in položaja namestitve zunanje police oziroma nadstreška. Za analizo učilnic smo se odločili zaradi konstantnih robnih pogojev (geometrija, zasteklitev, število učencev,...) in velikih potencialov za prihranek energije (število šol v Sloveniji). Najprej smo preverili vpliv posameznih lastnosti zasteklitve (U_g , g , LT) na porabo energije v učilnici. Opazovali smo energijo za ogrevanje, hlajenje in osvetlitev. Nato smo v analizo vključili še način oblikovanja odprtih (senčenje, zunanja police). V nadaljevanju študije smo se posvetili tudi analizi vpliva oblikovanja zastekljenih površin na vizualne pogoje v prostoru. V tem delu študije smo poleg standardnih količin (KDS osvetljenost v lx) s pomočjo programov Ecotect analysis, Radiance in Daysim na podlagi Perezovega modela neba določili vpliv posameznih faktorjev (velikost zasteklitve, orientacija,

LT, položaj namestitve zunanje police, senčila) na uporabno naravno osvetljenosti (UDI) in avtonomijo dnevne svetlobe (DA) v učilnici.

Potrdili smo domneve o tem, da se način oblikovanja odprtin (tip zasteklitve in senčenja) za dosego minimalne porabe energije in način za dosego optimalnih vizualnih pogojev v prostoru med seboj razlikujeta. Razlikujeta se v vseh opazovanih parametrih (WWR, položaj police, tip zasteklitve in senčil). Optimalna velikost zasteklitve WWR se v primeru avtomatskih senčil in zasteklitvijo z zelo nizko toplotno prehodnostjo nahaja v intervalu od 60 – 100 %. Z dobrim senčenjem lahko bistveno izboljšamo energijsko učinkovitost prostora, kot tudi vizualne pogoje v prostoru. Najbolj pomembno vlogo za dobro izbiro igrajo velikost in tip zasteklitve ter način senčenja. V analizi smo uspeli dokazati, da se pri prenovi oziroma načrtovanju zastekljenih površin celotne stavbe splača namestiti več različnih tipov zasteklitev in senčenja. Razlog za to so razlike v pogojih (količina sončnega sevanja) pri posameznih orientacijah. Najslabše je določiti okna, ki bi bila najbolj primerna na S fasadi, in jih nato vgraditi na vse ostale fasade objekta. Na ta način dobimo slabše vizualne lastnosti in izrabo energije v prostorih. Hkrati pa je taka investicija običajno tudi dražja. V nekaterih primerih se je med vsemi zasteklitvami (U_g 1,1 - 0,336 W/m²K) za najbolj primerno izkazala zasteklitev z U_g 1,1 W/m²K. To se zgodi zlasti pri majhnih površinah (WWR do 40 %) predvsem na J strani. Do tega pride, ker pri majhni površini toplotna prehodnost zasteklitve ni tako pomembna. Bolj pomembna sta faktorja g in LT. Na račun boljše prepustnosti sončnega sevanja in vidne svetlobe pri dvoslojnih zasteklitvah dobimo višje solarne dobitke in hkrati zmanjšamo energijo, potrebno za osvetlitev prostora. V študiji smo dokazali pomembnost vpliva faktorja g na porabo energije. Pri enaki toplotni prehodnosti zasteklitve so lahko razlike o porabi energije samo na račun faktorja g tudi do 60 %. Zato je nujno, da v izračunih in izbiri zasteklitve ne upoštevamo zgolj faktorja toplotne prehodnosti zasteklitve oziroma okna.

Rezultati študije so pokazali, da ima oblikovanje zastekljenih površin velik vpliv na porabo energije v prostorih. Energetske študije so na splošno zaradi izredno velikega števila faktorjev, ki vplivajo na rabo in dinamiko porabe energije zelo kompleksne in dolgotrajne. V študiji smo zajeli vpliv pomembnejših faktorjev, ki vplivajo na porabo energije in osvetlitev v učilnicah osnovnih šol v osrednji Sloveniji (položaj police, senčenje, orientacija, tip in velikost zasteklitve). Izvedena študija lahko služi kot podlaga za izdelavo priporočil za izbiro in oblikovanje stavbnega pohištva. Taka priporočila bi bilo smiselno izdelati vsaj še za pisarne oziroma javne prostore in stanovanjske objekte. V primeru pristopa k takemu projektu, bi bilo smiselno uporabiti bolj preverjeno in zanesljivo programsko orodje (npr. Energy plus). Pri tem bi morali upoštevati še površino okvirjev oken, vsaj tri za Slovenijo tipične tipe podnebij

(celinsko, submediteransko, alpsko) in urnike uporabe prostorov. Na podlagi rezultatov bi potem lahko oblikovali preprost sistem rangiranja in primernosti posameznih oken. Pomembno je, da so rezultati oziroma navodila čim bolj dostopna in razumljiva ter tako čim bolj aplikabilna. Dejstvo je, da so realni objekti večinoma veliko bolj kompleksni kot modeli uporabljeni v analizah. Zato je potrebno analizo izvesti tako, da bo imela čim bolj reprezentativne vhodne podatke. Le tako bo lahko namreč služila kot učinkovito in hitro sredstvo za določanje primernega načina oblikovanja zastekljenih površin.

Primerna izbira oken, predvsem pa njihove zasteklitve, je pomembna za porabo energije, vizualne in delovne pogoje v prostoru, zato je pomembno, da tej tematiki posvetimo več pozornosti in okna začnemo obravnavi bolj celostno. Naučiti se moramo uporabljati bolj kompleksno simulacijsko orodje in s pomočjo sistematizacije doseči, da bodo podatki o tehničnih lastnostih zasteklitve postali bolj dostopni. Še boljše bi bilo, če bi tako kot v tujini, uspeli uveljaviti energetske izkaznice okna. Tako bi lahko projektantom in širši javnosti olajšali izbiro primerne zasteklitve in tako zmanjšali stroške za porabo energije, izboljšali energetske učinkovitost stavb in pripomogli k ohranjanju okolja.

VIRI

[1] Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 19. maja 2010 o energetske učinkovitosti stavb (prenovitev). Uradni list Evropske unije, L 153, 18.6.2010. str. 13, 18.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:SL:PDF>
(Pridobljeno 16. 12. 2014.)

[2] Trajnostna, zanesljiva in cenovno dostopna energija za evropske prebivalce. 2014. str. 3, 8. http://bookshop.europa.eu/en/energy-pbNA0614043/downloads/NA-06-0614043-043-SL-C/NA0614043SLC_002.pdf?FileName=NA0614043SLC_002.pdf&SKU=NA0614043SLC_PDF&CatalogueNumber=NA-06-0614043-043-SL-C

(Pridobljeno 8. 1. 2015.)

[3] Windows & Energy Ratings An opportunity to seize Energy to save. 2015. str. 3.

http://www.glassforeurope.com/images/cont/178_91457_file.pdf

(Pridobljeno 8. 1. 2015.)

[4] NFRC's Energy Codes Solutions Series: Commercial Fenestration Code Compliance.

2015. <http://nfrccommunity.site-ym.com/?page=Webinars>

(Pridobljeno 10. 12. 2014.)

[5] Kristl, Ž., Košir, M., Dovjak, M., Krainer, A. 2011. Študija dnevne osvetljenosti pisarniškega prostora glede na vizualne in biološke vplive. Gradbeni vestnik 60, 3: 84-92.

[6] Tzempelikos, A., Athienitis, K. A. 2007. The impact of shading design and control on building cooling and lighting demand. Solar Energy 81, 3: 369–382.

[7] Šijanec, Z. M., Tomšič, M. Energetsko učinkovita zasteklitev in okna. 1999. Ljubljana, Gradbeni inštitut ZRMK, Razvojna skupina za bivalno okolje in gradbeno fiziko. Konzorcij FEMOPET Slovenija: str. 2-14. [http://www.energetika-](http://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/arhiv_aure/v8-zasteklitev.pdf)

[portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/arhiv_aure/v8-zasteklitev.pdf](http://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/arhiv_aure/v8-zasteklitev.pdf)

(Pridobljeno 12. 12. 2014.)

[8] Hajdinjak, R. 2009. Gradimo s steklom 3. popravljena izdaja. Gornja Radgona, REFLEX d.o.o.: 32-55, 62-67, 90-103, 360-367. http://www.reflex.si/si/files/default/knjiga-gradimo-s-steklom/Gradimo_s_steklom_Book_SLO_web.pdf

(Pridobljeno 10. 1. 2015.)

[9] Culp, D. T., de Vries, R., Quach, S. Solar Heat Gain Ignorance: A Comparison of Window Energy Rating Systems. 2003.

<http://www.certincoat.com/export/sites/glasscoatings/.content/medias/downloads/literature/solar-heat-gain-ignorance.pdf>

(Pridobljeno 17. 1. 2015.)

[10] Avasoo, D., Andersson, A. European window energy rating system. EWERS. The future European - , national - or International standard?. 2003.

http://www.energifonster.nu/backnet/media_archive/original/3049f993f8c48275837275fc65c8d543.pdf

(Pridobljeno 17. 1. 2015.)

[11] Seok-Hyun, K., Sun-Sook, K., Kwang-Woo, K., Young-Hum, C. 2014. A study on the proposes of energy analysis indicator by the windowelements of office buildings in Korea. Energy and Buildings 73, 4: 153–165.

[12] Lee, J. W., Jung, H. J., Park, J. Y., idr. 2013. Optimization of building window system in Asian regions by analyzing solar heat gain and daylighting elements. Renewable Energy 50, 2: 522-531.

[13] Khezri, A. N. 2012. Comparative Analysis of PV Shading Devices for Energy Performance and Daylight. Magistersko delo. Trondheim, Norwegian University of Science and Technology. Faculty of Architecture and Fine Art. (Samozaložba N. A. Khezri): 16-30, 57-60 f.

https://www.ntnu.no/wiki/download/attachments/48431699/Master_Noora.pdf?version=1&modificationDate=1340098697442

(Pridobljeno 11. 12. 2014.)

[14] Tagliabuea, L. C., Buzzetti, M., Arosio, B. 2012. Energy saving through the sun: Analysis of visual comfort and energy consumption in office space. Energy Procedia 30: 693 – 703.

- [15] Lam, K. P., Mahdavi, A., Ullah, M. B., idr. Comparative study of sky luminance models in the tropical context. 2007. http://www.ibpsa.org/proceedings/bs1997/bs97_p041.pdf
(Pridobljeno 10. 3. 2015.)
- [16] Nabil, A., Mardaljevic, J. 2006. Useful daylight illuminances: A replacement for daylight factors. *Energy and Buildings* 38, 7: 905-913.
- [17] Neufert, E. 2002. Projektiranje v stavbarstvu. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije, (Mladinska knjiga tiskarna, d.d.): 297-302.
- [18] Odgovor na PREDLOG 1466: določitev velikosti razredov v šoli. 2011.
http://predlagam.vladi.si/webroot/files/1466_PVS%201466%20MSS.pdf
(Pridobljeno 10. 12. 2014.)
- [19] Navodila za graditev osnovnih šol v Republiki Sloveniji. 2007.
http://www.mizs.gov.si/fileadmin/mizs.gov.si/pageuploads/razpisi/investicije/inv_6__navodila_OS.pdf
(Pridobljeno 10. 12. 2014.)
- [20] Pravilnik o normativih in minimalnih tehničnih pogojih za prostor in opremo vrtca. Uradni list RS, št. 73/00, 75/05, 33/08, 126/08, 47/10 in 47/13 z dne 14.7.2000.
<http://pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV3140>
(Pridobljeno 16. 12. 2014.)
- [21] SIST EN 12464-1:2011. Svetloba in razsvetljava – Razsvetljava na delovnem mestu – 1. Del: Notranji delovni prostori.
- [22] Pravilniko prezračevanju in klimatizaciji stavb. 2002. Uradni list RS, št. 42/2002: 4139.
<https://www.uradni-list.si/1/content?id=36371>
(Pridobljeno 16. 12. 2014.)
- [23] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. 2010. Uradni list RS št. 52/2010: 7840.
<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=201052&stevilka=2856>
(Pridobljeno 16. 12. 2014.)
- [24] University of California. Comfen 5.0.8. 2015.

<http://windows.lbl.gov/software/comfen/comfen.html>

(Pridobljeno 2. 12. 2014.)

[25] U.S. Department of Energy. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. Energy plus 8.1. 2015.

<http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus>

(Pridobljeno 2. 12. 2014.)

[26] Building Technologies Program. Lawrence Berkeley National Laboratory. Radiance 4.2. 2015. <http://radsite.lbl.gov/radiance/>

(Pridobljeno 10. 12. 2014.)

[27] Building Technologies Program. Lawrence Berkeley National Laboratory. Comfen user manual. Comfen 4.1. 2012.

<http://windows.lbl.gov/software/comfen/4.1/COMFEN4.1-UserManual.pdf>

(Pridobljeno 10. 12. 2014.)

[28] Autodesk. Ecotect Analysis 2011. 2015.

<http://www.autodesk.com/education/free-software/ecotect-analysis>

(Pridobljeno 12. 12. 2014.)

[29]] Building Technologies Program. Lawrence Berkeley National Laboratory. Daysim 3.0. 2015. <http://daysim.ning.com>

(Pridobljeno 10. 12. 2014.)

[30] Tancer, M. 1999. Prostori za pouk fizike v osnovni šoli. Diplomsko naloga. Maribor, Univerza v Mariboru, Pedagoška fakulteta Maribor (samozaložba M. Tancer).

http://splet-stari.fnm.uni-mb.si/pefmb_old/didgradiva/diplome/tancer/defr04.html

(Pridobljeno 10. 12. 2014.)

[31] KSKE, ZOE. 2012. Navodila za izvedbo vaje pri predmetu ZOE, Osvetljenost prostora z dnevno svetlobo. Ljubljana, UL FGG, KSKE. Neobjavljeno študijsko gradivo: 8 str.

[32] Vremenska datoteka za Ljubljano. 2015.

http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/cfm/weather_data3.cfm/region=6_europe_wmo_region_6/country=SVN/cname=Slovenia

(Pridobljeno 2. 12. 2014.)

[33] Building Technologies Program. Lawrence Berkeley National Laboratory. Window 7.3.

2015. http://windows.lbl.gov/software/window/7/index_7_3_4.html

(Pridobljeno 2. 12. 2014.)

[34] Arasteh, D., Kohler, C., Griffith, B. 2009. Modeling Windows in Energy Plus with Simple Performance Indices. 2009.

<http://gaia.lbl.gov/btech/papers/2804.pdf>

(Pridobljeno 12. 3. 2015.)

[35] Spekter sončnega sevanja. 2015.

http://commons.wikimedia.org/wiki/File:Solar_Spectrum.png

(Pridobljeno 10. 1. 2015.)

[36] Gostiša, T. 2013. Analiza vplivnih dejavnikov oblikovanja nič-energetske stavbe.

Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo

(samozaložba T. Gostiša): 25 f.

[37] Oznaka za karakteristike oken ZDA. 2015.

https://www.energystar.gov/index.cfm?c=windows_doors.pr_ind_tested

(Pridobljeno 5. 3. 2015.)

[38] Slak, G. 2013. Sveloba v šolskem prostoru. Diplomska naloga. Ljubljana, Univerza v

Ljubljani, Pedagoška fakulteta (samozaložba G. Slak): f. 7, 8.

[39] Vlaganje v zdravje zaposlenih - donosna naložba. 2011.

<http://www.iri-lj.si/index.php/zanimivo/novice/60-vlaganje-v-zdravje-zaposlenih-donosna-naloba>

(Pridobljeno 28. 3. 2015.)

PRAZNA STRAN

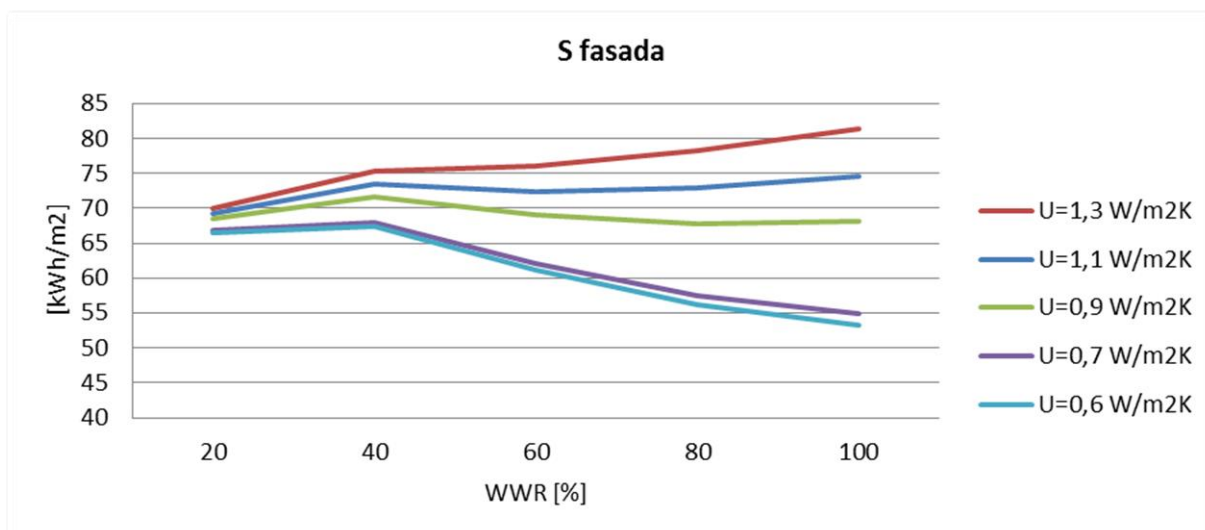
SEZNAM PRILOG

- Priloga A** U_g – ogrevanje, g - ogrevanje
 B1: Minimalne vrednosti porabe posameznih energij za vse velikosti
Priloga B zasteklitve
 B2: Minimalne vrednosti posameznih energij pri različnih smereh neba
Priloga C Vpliv položaja police na avtonomijo dnevne svetlobe

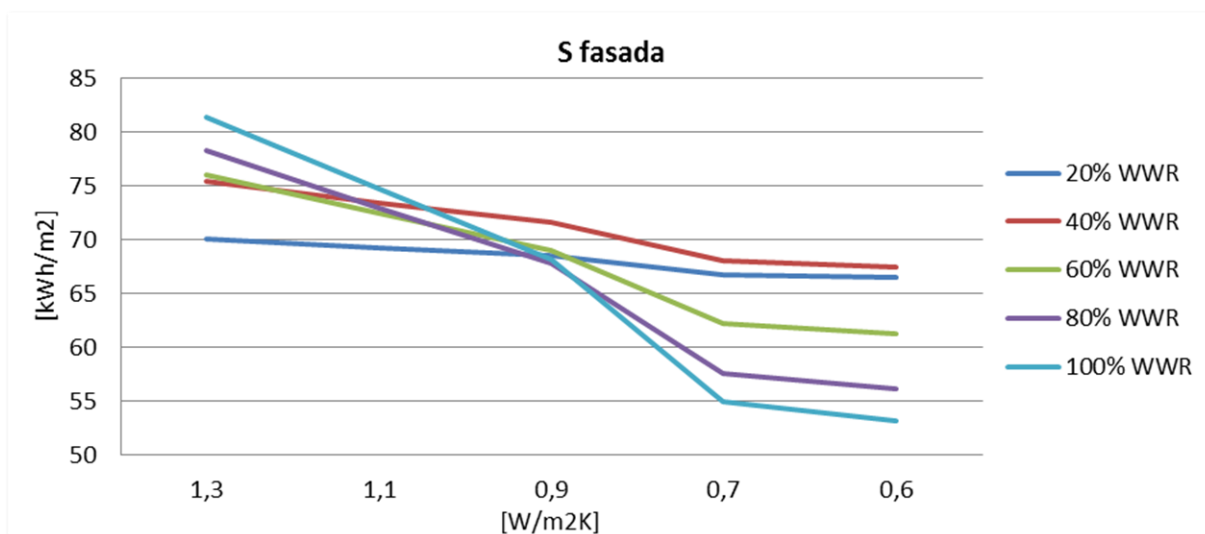
PRAZNA STRAN

Priloga A

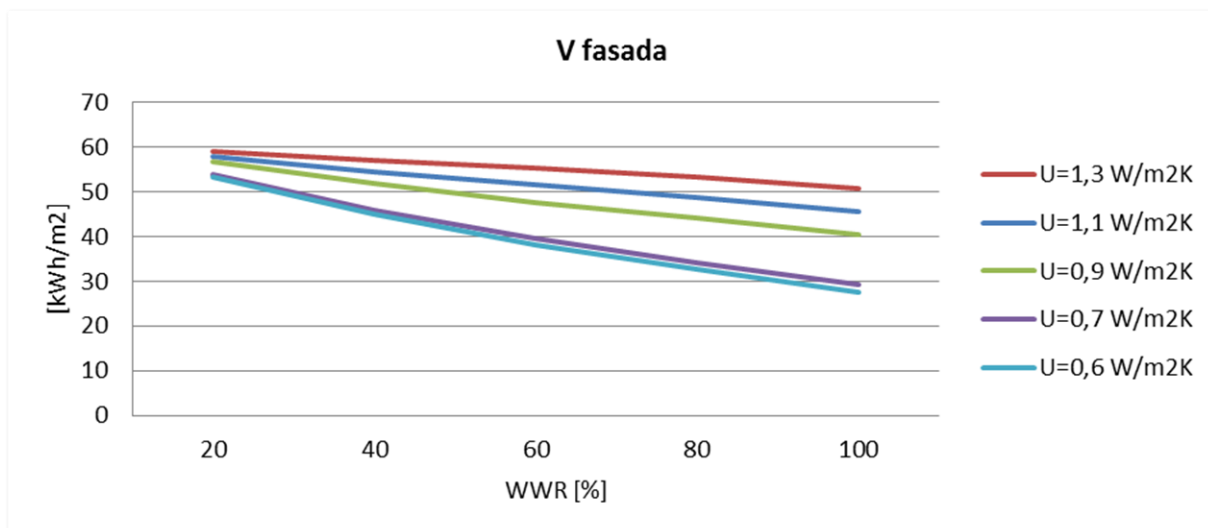
U_g – ogrevanje



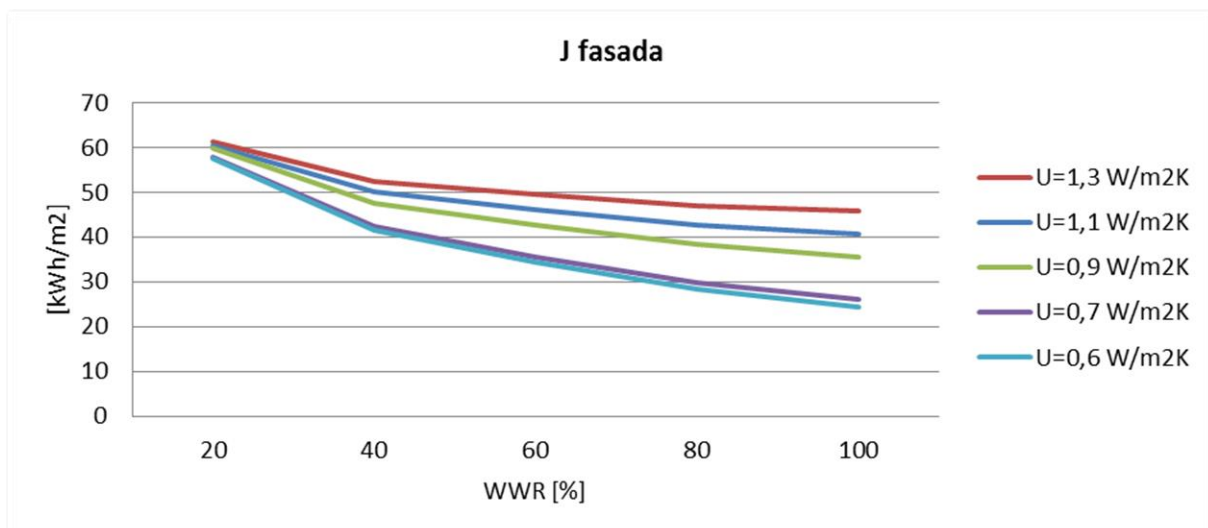
Odvisnost porabe energije za ogrevanje od WWR na S fasadi pri različnih toplotnih prehodnostih zasteklitve



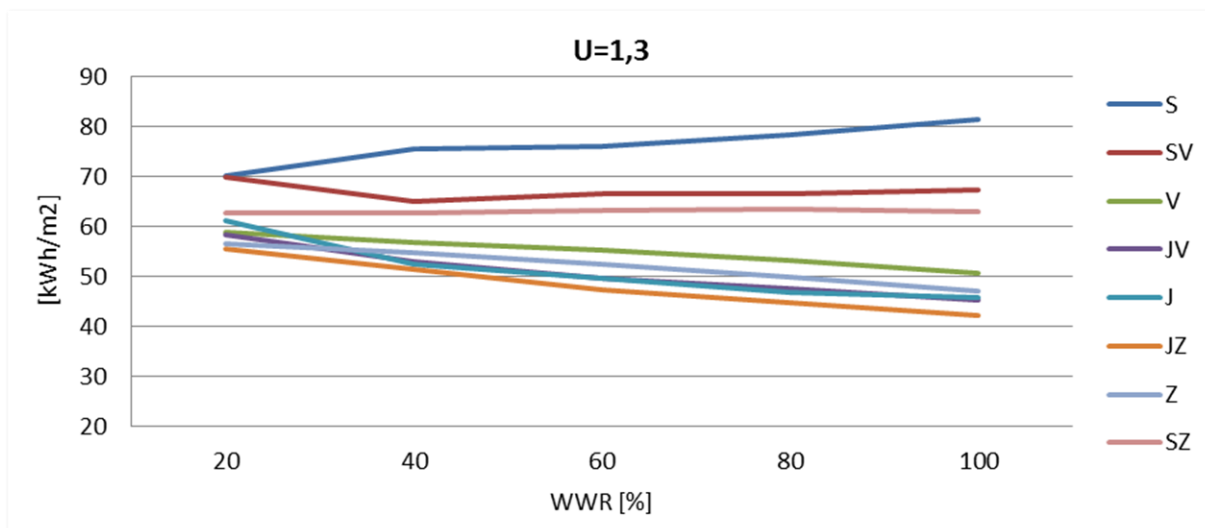
Odvisnost porabe energije za ogrevanje od toplotne prehodnosti na S fasadi pri različnih velikostih zasteklitve



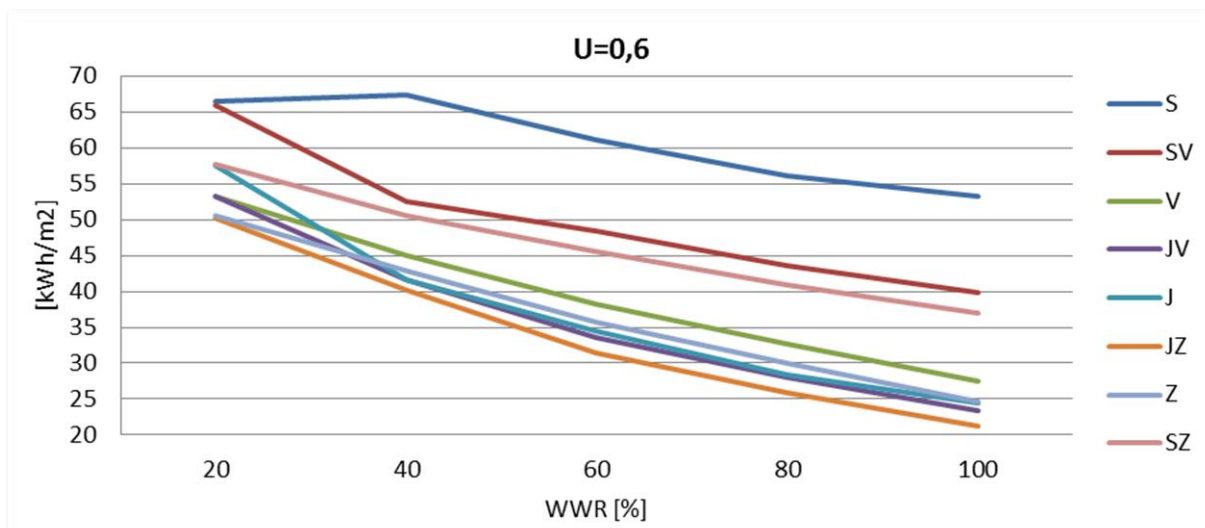
Odvisnost porabe energije za ogrevanje od WWR na V fasadi pri različnih toplotnih prehodnostih zasteklitve



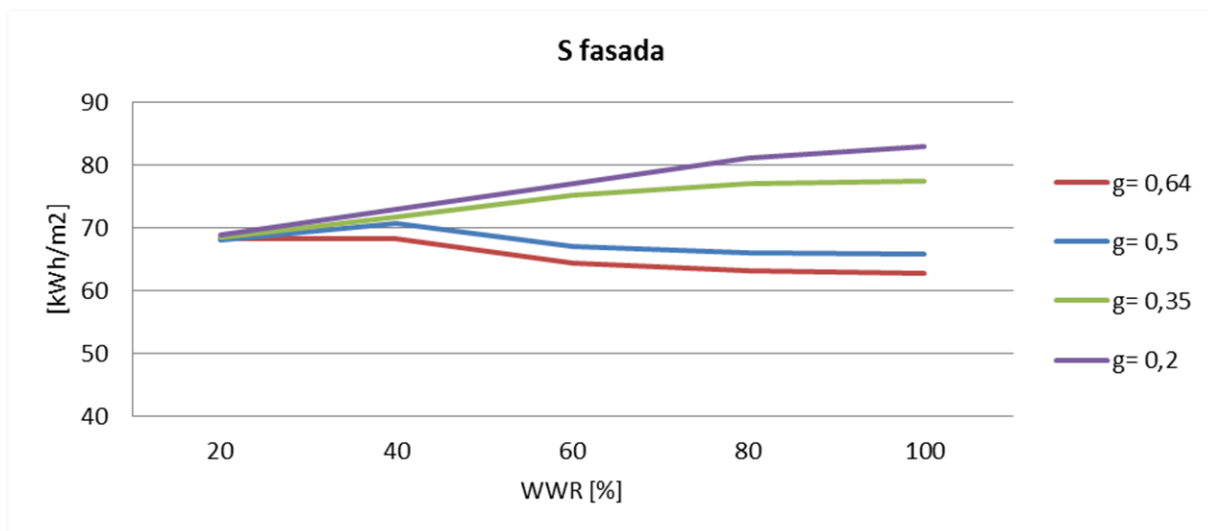
Odvisnost porabe energije za ogrevanje od WWR na J fasadi pri različnih toplotnih prehodnostih zasteklitve



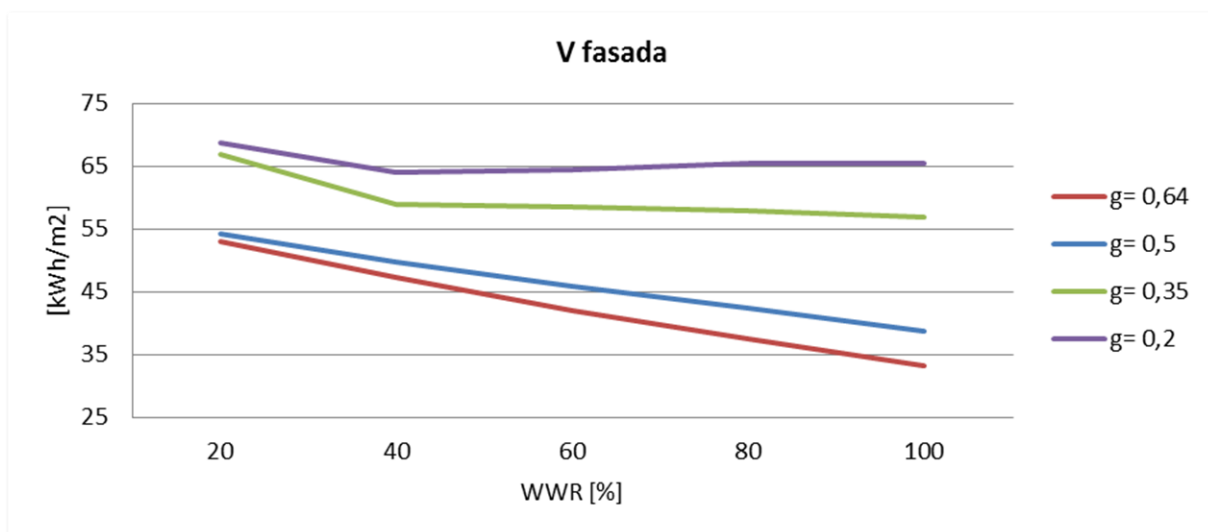
Odvisnost porabe energije za ogrevanje od WWR glede na orientacijo zastekljenih površin s faktorjem toplotne prehodnosti $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$



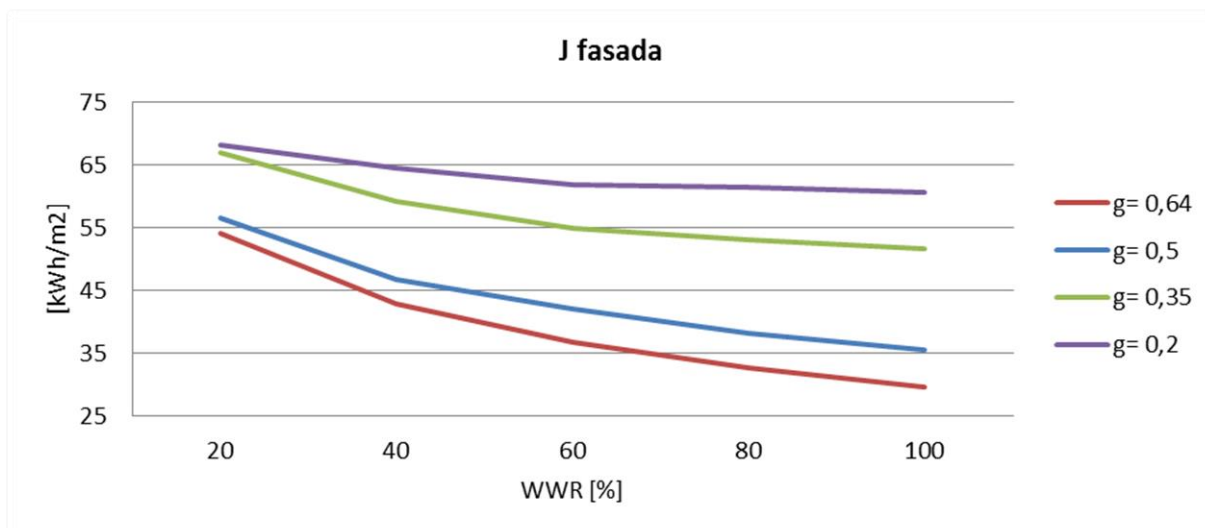
Odvisnost porabe energije za ogrevanje od WWR glede na orientacijo zastekljenih površin s faktorjem toplotne prehodnosti $0,6 \text{ W/m}^2\text{K}$

g – ogrevanje

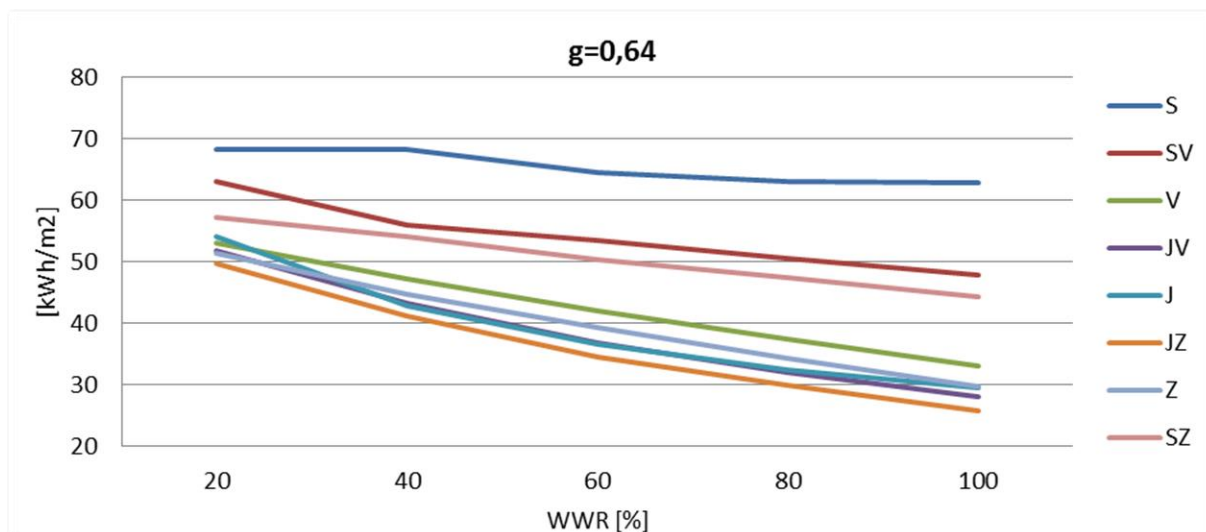
Odvisnost porabe energije za ogrevanje od WWR na S fasadi pri različnih faktorjih prehodnosti sončnega sevanja



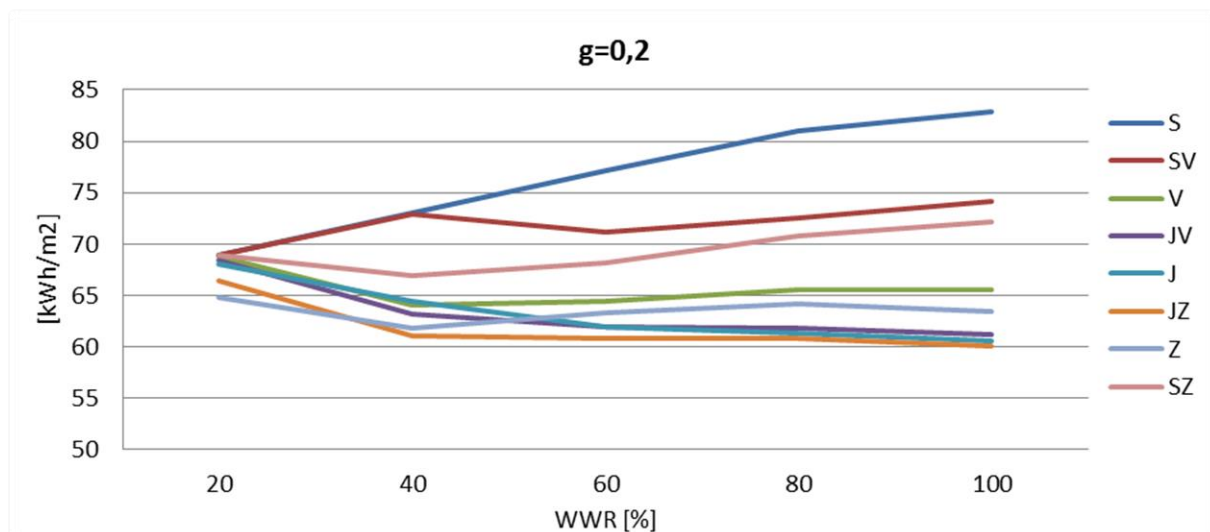
Odvisnost porabe energije za ogrevanje od WWR na V fasadi pri različnih faktorjih prehodnosti sončnega sevanja



Odvisnost porabe energije za ogrevanje od WWR na J fasadi pri različnih faktorjih prehodnosti sončnega sevanja



Odvisnost porabe energije za ogrevanje od WWR glede na orientacijo zastekljenih površin s faktorjem prehodnosti sončnega sevanja 0,64



Odvisnost porabe energije za ogrevanje od WWR glede na orientacijo zastekljenih površin s faktorjem prehodnosti sončnega sevanja 0,2

Priloga B1

Preglednica 1: Način oblikovanja in tip zasteklitve za doseg minimalne porabe energije za ogrevanje in hlajenje

	Ogrevanje					Hlajenje			
	Orient.	Poraba [kWh/m ²]	Tip	Senčenje	Položaj police	Poraba [kWh/m ²]	Tip	Senčenje	Položaj police
20 %	S	65,39	4 b	ŽAL.	P. SPODAJ	7,21	1 a	ŽAL.	P. ZGORAJ
	SV	62,96	2 e	ŽAL.	P. SPODAJ	7,26	1 a	ŽAL.	P. ZGORAJ
	V	52,63	2 e	ŽAL.	P. SPODAJ	7,97	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
	JV	51,76	2 e	BREZ	P. SPODAJ	8,75	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
	J	52,91	2 e	BREZ	P. SPODAJ	8,40	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
	JZ	49,51	2 e	ŽAL.	P. SPODAJ	8,55	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
	Z	51,00	3 b	ŽAL.	P. SPODAJ	8,74	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
	SZ	57,08	2 e	ŽAL.	P. SPODAJ	8,16	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
40 %	S	65,30	4 b	ŽAL.	P. SREDINA	8,06	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
	SV	52,90	3 c	ŽAL.	P. SPODAJ	7,68	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
	V	45,44	3 d	BREZ	P. SPODAJ	9,67	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
	JV	42,51	3 c	BREZ	P. SPODAJ	9,94	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
	J	42,20	3 b	BREZ	P. SPODAJ	9,02	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
	JZ	41,05	2 e	BREZ	P. SPODAJ	10,85	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
	Z	43,91	3 b	ŽAL.	P. SPODAJ	10,70	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
	SZ	49,93	4 b	ŽAL.	P. SPODAJ	8,96	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
60 %	S	62,24	3 c	ŽAL.	P. SPODAJ	8,32	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
	SV	47,40	4 b	ŽAL.	P. SPODAJ	8,87	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
	V	38,84	3 c	BREZ	P. SPODAJ	12,13	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
	JV	34,75	3 c	BREZ	P. SPODAJ	12,84	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
	J	35,27	3 c	BREZ	P. SPODAJ	11,93	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
	JZ	32,44	3 c	BREZ	P. SPODAJ	13,77	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
	Z	36,52	3 c	ŽAL.	P. SPODAJ	13,26	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
	SZ	45,41	4 b	ŽAL.	P. SPODAJ	10,27	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
80 %	S	56,49	3 c	BREZ	P. SPODAJ	8,82	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
	SV	43,32	3 d	ŽAL.	P. SPODAJ	10,29	4 ele	BREZ	P. SREDINA
	V	33,52	3 c	BREZ	P. SPODAJ	14,80	4 ele	BREZ	P. SREDINA
	JV	29,02	3 c	BREZ	P. SPODAJ	15,61	4 ele	BREZ	P. SREDINA
	J	29,34	3 c	BREZ	P. SPODAJ	14,71	4 ele	BREZ	P. SREDINA
	JZ	26,89	3 c	BREZ	P. SPODAJ	16,70	4 ele	BREZ	P. SREDINA
	Z	30,88	3 c	ŽAL.	P. SPODAJ	16,09	4 ele	BREZ	P. SREDINA
	SZ	40,78	3 d	ŽAL.	P. SPODAJ	11,93	4 ele	BREZ	P. SREDINA
100 %	S	52,90	4 b	ŽAL.	P. SREDINA	9,87	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
	SV	38,90	3 d	BREZ	BREZ P.	12,51	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
	V	28,73	3 c	BREZ	P. SPODAJ	18,85	4 ele	BREZ	P. SREDINA
	JV	24,54	3 c	BREZ	BREZ P.	19,69	4 ele	BREZ	P. SREDINA
	J	25,03	3 c	BREZ	P. SPODAJ	18,62	4 ele	BREZ	P. SREDINA
	JZ	22,40	3 c	ŽAL.	P. SPODAJ	20,90	4 ele	BREZ	P. SREDINA
	Z	25,90	3 c	BREZ	P. SPODAJ	19,60	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ
	SZ	36,52	4 b	ZNOTRAJ	P. SPODAJ	14,04	4 ele	BREZ	P. ZGORAJ

Preglednica 2: Način oblikovanja in tip zasteklitve za doseg minimalne porabe energije za
osvetlitev in skupno porabo energije

	Osvetlitev					Skupaj			
	Orient.	Poraba [kWh/m ²]	Tip	Senčenje	Položaj police	Poraba [kWh/m ²]	Tip	Senčenje	Položaj police
20 %	S	26,77	1 a	BREZ	P. SPODAJ	104,26	3 c	BREZ	BREZ P.
	SV	26,40	1 a	BREZ	P. SPODAJ	100,38	2 e	BREZ	P. SPODAJ
	V	25,28	1 a	BREZ	P. SPODAJ	92,29	2 e	ŽAL.	P. SPODAJ
	JV	24,01	1 a	BREZ	P. SPODAJ	90,79	2 e	ŽAL.	P. SPODAJ
	J	23,37	1 a	BREZ	P. SPODAJ	91,22	2 e	ŽAL.	P. SPODAJ
	JZ	23,59	1 a	BREZ	P. SPODAJ	88,72	2 e	ŽAL.	P. SPODAJ
	Z	24,62	1 a	BREZ	P. SPODAJ	90,08	3 c	ŽAL.	P. SPODAJ
	SZ	26,02	1 a	BREZ	P. SPODAJ	95,52	2 e	BREZ	P. SPODAJ
40 %	S	21,72	1 a	BREZ	P. SPODAJ	101,09	3 c	BREZ	P. ZGORAJ
	SV	21,61	1 a	BREZ	P. SPODAJ	89,55	3 c	BREZ	P. SPODAJ
	V	21,07	1 a	BREZ	P. SPODAJ	85,41	3 d	ŽAL.	P. SPODAJ
	JV	20,45	1 a	BREZ	P. SPODAJ	83,18	3 d	ŽAL.	P. SPODAJ
	J	20,11	1 a	BREZ	P. SPODAJ	82,45	3 c	ŽAL.	P. SPODAJ
	JZ	20,19	1 a	BREZ	P. SPODAJ	83,04	3 c	ŽAL.	P. SPODAJ
	Z	20,63	1 a	BREZ	P. SPODAJ	85,18	3 d	ŽAL.	P. SPODAJ
	SZ	21,31	1 a	BREZ	P. SPODAJ	87,69	3 d	ŽAL.	P. SPODAJ
60 %	S	19,65	1 a	BREZ	P. SPODAJ	96,84	3 c	BREZ	P. SPODAJ
	SV	19,63	1 a	BREZ	P. SPODAJ	85,89	3 d	ŽAL.	P. SPODAJ
	V	19,39	1 a	BREZ	P. SPODAJ	83,74	3 d	ŽAL.	P. SPODAJ
	JV	19,06	1 a	BREZ	P. SPODAJ	81,13	3 d	ŽAL.	P. ZGORAJ
	J	18,85	1 a	BREZ	P. SPODAJ	80,34	4 a	ŽAL.	BREZ P.
	JZ	18,87	1 a	BREZ	P. SPODAJ	81,01	4 a	ŽAL.	P. SPODAJ
	Z	19,10	1 a	BREZ	P. SPODAJ	82,39	3 d	ŽAL.	P. ZGORAJ
	SZ	19,43	1 a	BREZ	P. SPODAJ	85,29	3 d	ŽAL.	P. SPODAJ
80 %	S	18,83	1 a	BREZ	P. SPODAJ	93,76	3 c	ŽAL.	P. SPODAJ
	SV	18,83	1 a	BREZ	P. SPODAJ	85,24	3 d	ŽAL.	BREZ P.
	V	18,68	1 a	BREZ	P. SPODAJ	83,86	3 d	ŽAL.	P. ZGORAJ
	JV	18,46	1 a	BREZ	P. SPODAJ	81,23	3 d	ŽAL.	P. ZGORAJ
	J	18,30	1 a	BREZ	P. SPODAJ	79,64	4 a	ŽAL.	P. ZGORAJ
	JZ	18,30	1 a	BREZ	P. SPODAJ	80,15	4 a	ŽAL.	P. ZGORAJ
	Z	18,45	1 a	BREZ	P. SPODAJ	82,03	4 b	ŽAL.	P. ZGORAJ
	SZ	18,67	1 a	BREZ	P. SPODAJ	83,61	3 d	ŽAL.	P. SPODAJ
100 %	S	18,69	1 a	BREZ	P. SPODAJ	92,14	3 c	ŽAL.	P. SPODAJ
	SV	18,69	1 a	BREZ	P. SPODAJ	85,24	3 d	ŽAL.	P. ZGORAJ
	V	18,56	1 a	BREZ	P. SPODAJ	85,36	4 b	ŽAL.	P. ZGORAJ
	JV	18,36	1 a	BREZ	P. SPODAJ	82,18	4 b	ŽAL.	P. ZGORAJ
	J	18,22	1 a	BREZ	P. SPODAJ	80,69	4 b	ŽAL.	P. ZGORAJ
	JZ	18,21	1 a	BREZ	P. SPODAJ	81,42	4 b	ŽAL.	P. ZGORAJ
	Z	18,34	1 a	BREZ	P. SPODAJ	83,49	4 b	ŽAL.	P. ZGORAJ
	SZ	18,54	1 a	BREZ	P. SPODAJ	83,80	3 d	ŽAL.	P. ZGORAJ

Priloga B2

Preglednica 1: Način oblikovanja, tip in velikost zasteklitve za doseg minimalne porabe energije za ogrevanje, hlajenje, osvetlitev in skupno porabo

Ogrevanje					
Orientacija	WWR [%]	Tip	Senčenje	Polica	Vrednost [kwh/m ²]
S	100	4 b	ŽALUZIJE	SREDINA	52,90
SV	100	3 d	BREZ	BREZ	38,90
V	100	3 c	BREZ	SPODAJ	28,73
JV	100	3 c	BREZ	BREZ	24,54
J	100	3 c	BREZ	SPODAJ	25,03
JZ	100	3 c	ŽALUZIJE	SPODAJ	22,40
Z	100	3 c	BREZ	SPODAJ	25,90
SZ	100	4 b	ZNOTRAJ	SPODAJ	36,52
Hlajenje					
S	20	1 a	ŽALUZIJE	ZGORAJ	7,21
SV	20	1 a	ŽALUZIJE	ZGORAJ	7,26
V	20	4 ele	BREZ	ZGORAJ	7,97
JV	20	4 ele	BREZ	ZGORAJ	8,75
J	20	4 ele	BREZ	ZGORAJ	8,40
JZ	20	4 ele	BREZ	ZGORAJ	8,55
Z	20	4 ele	BREZ	ZGORAJ	8,74
SZ	20	4 ele	BREZ	ZGORAJ	8,16
Osvetlitev					
S	100	1 a	BREZ	SPODAJ	18,69
SV	100	1 a	BREZ	SPODAJ	18,69
V	100	1 a	BREZ	SPODAJ	18,56
JV	100	1 a	BREZ	SPODAJ	18,36
J	100	1 a	BREZ	SPODAJ	18,22
JZ	100	1 a	BREZ	SPODAJ	18,21
Z	100	1 a	BREZ	SPODAJ	18,34
SZ	100	1 a	BREZ	SPODAJ	18,54
Skupaj					
S	100	3 c	ŽALUZIJE	SPODAJ	92,14
SV	100	3 d	ŽALUZIJE	ZGORAJ	85,24
V	60	3 d	ŽALUZIJE	SPODAJ	83,74
JV	60	3 d	ŽALUZIJE	ZGORAJ	81,13
J	80	4 a	ŽALUZIJE	ZGORAJ	79,64
JZ	80	4 a	ŽALUZIJE	ZGORAJ	80,15
Z	80	4 b	ŽALUZIJE	ZGORAJ	82,03
SZ	80	3 d	ŽALUZIJE	SPODAJ	83,61

Priloga C

Vpliv položaja police na avtonomijo dnevne svetlobe

