

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Pintar, N., 2013. Vpliv zasnove fasadnega ovoja na porabo energije v stavbi. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M., somentorica Kristl, Ž.): 31 str.

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



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

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

This is original version of final thesis.

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

Pintar, N., 2013. Vpliv zasnove fasadnega ovoja na porabo energije v stavbi. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M., co-supervisor Kristl, Ž.): 31 pp.

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

**PRVOSTOPENJSKI
ŠTUDIJSKI PROGRAM
GRADBENIŠTVO (UN)**
PROMETNA SMER

Kandidatka:

NUŠA PINTAR

**VPLIV ZASNOVE FASADNEGA OVOJA NA PORABO
ENERGIJE V STAVBI**

Diplomska naloga št.: 42/B-GR

**THE IMPACT OF THE DESIGN OF THE FACADE ON
ENERGY CONSUMPTION IN THE BUILDING**

Graduation thesis No.: 42/B-GR

Mentor:

doc. dr. Mitja Košir

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentorica:

doc. dr. Živa Kristl

Ljubljana 16. 09. 2013

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Podpisana Nuša Pintar izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom »**VPLIV ZASNOVE FASADNEGA OVOJA NA PORABO ENERGIJE V STAVBI**«.

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

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

Ljubljana, 9.9.2013

Nuša Pintar

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	004.4:692.23(043.2)
Avtor:	Nuša Pintar
Mentor:	doc. dr. Mitja Košir
Somentor:	doc. dr. Živa Kristl
Naslov:	Vpliv zasnove fasadnega ovoja na porabo energije v stavbi
Tip dokumenta:	Dipl. nal.-UNI
Obseg in oprema:	31 str., 14 pregl., 19 sl.
Ključne besede:	fasadni ovoj, poraba energije, solarni pritoki, transparentni elementi, orientacija

Izvleček

Znano je, da se danes vse več energije porabi za vzdrževanje stavb, kar pa se bo moralo v bližnji prihodnosti spremeniti. V pripravljenosti na to, da bodo vse nove hiše morale nekoč biti skoraj nič-energijske in porabiti omejeno količino energije, smo že danes tako pri novogradnjah kot tudi obnovitvenih delih ob zasnovanju stavb pozorni na vrsto dejavnikov, ki nam omogočajo varčno porabo energije.

V sklopu te diplomske naloge sem se tako ukvarjala z vplivom zasnove stavbnega ovoja na porabo energije ter analizirala kako količina transparentnih elementov ter orientacija vplivata na porabo le te. To sem storila s pomočjo programske opreme Comfen. V prvem delu analize sem tako izhodiščni varianti z nič okni dodajala okna ter spremljala razlike, ki so se pojavljaje tekom preračunavanja, v drugem delu pa steni s tremi okni z začetno južno lego spreminjala orientacijo. Poleg porabe energije sem spremljala tudi solarne pritoke, ki imajo prav tako velik vpliv pri snovanju stavbe. Vse možne variante sem nato preučila ter na koncu skušala najti najbolj racionalno kombinacijo obeh dejavnikov.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 004.4:692.23(043.2)
Author: Nuša Pintar
Supervisor: Assist. prof. Mitja Košir, Ph. D.
Cosupervisor: Assist. prof. Živa Kristl, Ph. D.
Title: The impact of the design of the facade on energy consumption in the building
Document type: Graduation Thesis-University studies
Scopeandtools: 31 p., 14 tab., 19 fig.
Keywords: facade cladding, energy consumption, solar gains, transparent element, orientation

Abstract

It is known that nowadays more and more energy is used for maintenance of buildings but this will have to change in near future. In standby on this that all the new buildings will be someday near zero-energy and that they will have to limit the energy consumption, today we all pay attention on different factors at the design of the building, whether it's a new construction or renovation.

In this Graduated thesis I have dealt with the impact of design of the facade on energy consumption and analyzed how the quantity of transparent elements and orientation influence on it. I did it throught the software Comfen. In first part of analysis I was adding windows to baseline variant with zero windows and monitoring the differences which were presented thru the calculations. In second part I was changing the orientation to the wall which had three windows and was at first turned to the south. In addition to the consumption of energy, I also monitored the solar gains which have also big influence on design of the building. At the end I examined all the variants and tried to find the most rational combination of both factors.

ZAHVALA

Za vso pomoč in podporo ob izdelavi diplomskega dela se zahvaljujem mentorju doc. dr. Mitji Koširju in somentorici doc. dr. Živi Kristl.

Za vse lepo izrečene besede ter veliko potrpljenja se zahvaljujem tudi svoji družini in Andražu.

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
1 UVOD	1
2 FASADNI OVOJ IN RABA ENERGIJE V STAVBAH	2
2.1 Pomen fasadnega ovoja	2
2.2 Učinkovita raba energije v stavbi	2
2.2.1 Zakonodaja na področju rabe energije.....	3
2.3 Energetski pritoki v stavbi.....	3
3 ANALIZA IZBRANIH ZASNOV FASADNEGA OVOJA	5
3.1 Uporabljena programska oprema.....	5
3.1.1 Lokacija	6
3.1.2 Knjižnica materialov.....	7
3.1.3 Konstrukcijski sklopi.....	8
3.1.3.1 Neprezračevani konstrukcijski sklopi.....	8
3.1.3.2 Prezračevani konstrukcijski sklopi	9
3.1.4 Podatki o analiziranem prostoru	11
3.2 Variante	12
4 REZULTATI	13
4.1 Poraba energije prostora	13
4.1.1 Vpliv količine transparentnih elementov	13
4.1.1.1 Varianta V0_J	13
4.1.1.2 Varianta V1_J	15
4.1.1.3 Varianta V2_J	16
4.1.1.4 Varianta V3_J	17
4.1.2 Spreminjanje orientacije	19

4.1.2.1	Varianta V3_S.....	19
4.1.2.2	Varianta V3_V.....	21
4.1.2.3	Varianta V3_Z.....	22
4.2	Solarni pritoki.....	23
4.2.1	Vpliv količine transparentnih elementov	23
4.2.2	Spreminjanje orientacije.....	24
5	ANALIZA REZULTATOV	26
5.1	Primerjava med energijo potrebno za ogrevanje in številom oken	26
5.2	Primerjava med energijo potrebno za hlajenje in številom oken	26
5.3	Primerjava med celotno letno potrebno energijo in številom oken.....	27
5.4	Primerjava med celotno letno energijo in U-faktorjem konstrukcijskega sklopa	28
6	ZAKLJUČEK.....	29
VIRI.....		30

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Materiali in njihove karakteristike	7
Preglednica 2: Vrednosti toplotnih prehodnosti	10
Preglednica 3: Podatki o prostoru	11
Preglednica 4: Podatki o oknu	11
Preglednica 5: Pregled vse možnih variant	12
Preglednica 6: Rezultati analize pri steni z nič okni	14
Preglednica 7: Rezultati analize pri steni z enim oknom	15
Preglednica 8: Rezultati analize pri steni z dvema oknoma	16
Preglednica 9: Rezultati analize pri steni s tremi okni	18
Preglednica 10: Rezultati analize pri steni s severno orientacijo	20
Preglednica 11: Rezultati analize pri steni z vzhodno orientacijo	21
Preglednica 12: Rezultati analize pri steni z zahodno orientacijo	22
Preglednica 13: Skupni letni solarni pritok skozi okna (na enoto površine tlorisa prostora)-odvisen od št. oken	23
Preglednica 14: Skupni letni solarni pritoki skozi okna (na enoto površine tlorisa prostora)-odvisen od orientacije	24

KAZALO SLIK

Slika 1: Možne kombinacije konstrukcijskih sklopov	5
Slika 2: Klimatski podatki za Ljubljano (vir slike [1])	6
Slika 3: Temperaturni razponi in povprečna zunanja temperatura (vir slike [1])	7
Slika 4: Neprezračevani konstrukcijski sklopi (vir slik [4, 8, 11, 13])	9
Slika 5: Prezračevani konstrukcijski sklopi (vir slik [8, 13])	10
Slika 6: Spreminjanje števila oken na obravnavani steni (vir slike [1])	13
Slika 7: Letna poraba energije pri steni brez oken	14
Slika 8: Letna poraba energije pri steni z enim oknom	16
Slika 9: Letna poraba energije pri steni z dvema oknoma	17
Slika 10: Letna poraba energije pri steni s tremi okni	19
Slika 11: Letna poraba energije stene s severno orientacijo	20
Slika 12: Letna poraba energije z vzhodno orientacijo	21
Slika 13: Letna poraba energije pri steni z zahodno orientacijo	23
Slika 14: Letni solarni pritoki pri steni z različnim številom oken	24
Slika 15: Letni solarni pritoki pri različni orientaciji	25
Slika 16: Letna potrebna energija za ogrevanje glede na število oken	26
Slika 17: Letna potrebna energija za hlajenje glede na število oken	27
Slika 18: Celotna letna potrebna energija glede na število oken	27
Slika 19: Celotna letna potrebna energija glede na U-faktor konstrukcijskega sklopa	28

»Ta stran je namenoma prazna.«

1 UVOD

V današnjih dneh se tako strokovnjaki kot tudi ljudje sami vse več srečujemo s problematiko porabe energije in emisijami toplogrednih plinov, ki pri tem nastajajo. Da bi temu »storili« konec, se je Evropska energetska politika odločila za boj proti podnebnim spremembam in skušala znižati koncentracijo CO₂ v zraku, ki nastaja s proizvodnjo ali porabo energije, kajti le ta je povzročitev za 80 % emisij toplogrednih plinov v Evropski Uniji [3].

Poraba energije v stavbah obsega približno 40 % celotne porabe energije v Evropski uniji. Ker se stavbni sektor veča in s tem dvig porabe energije, je potrebno primerno ukrepati ter zmanjšati porabo energije in emisije toplogrednih plinov. Zato se je Evropska unija tudi zavezala in bo do leta 2020 zmanjšala emisije za najmanj 20 % v primerjavi z letom 1990 [2]. S tem, ko bi se zmanjšala poraba energije v stavbah, bi se zmanjšala tudi potrošnja nafte, zemeljskih plinov in premoga.

Da dosežemo učinkovito rabo energije v posamezni stavbi, je potrebno pri gradnji in zasnovi upoštevati ustrezno orientiranost, razmerje med površino ovoja in prostornino stavbe mora biti ustrezno, prostori znotraj stavbe morajo biti smiselno razporejeni ter vsi materiali oziroma celotna zunanja površina mora omogočati učinkovito upravljanje z energijskimi tokovi [7].

V sklopu te diplomske naloge se bom dotaknila le nekaterih dejavnikov, ki vplivajo na porabo energije v stavbi. Tako bom skušala najti najbolj ustrezno orientacijo stene obravnavanega prostora ter najbolj optimalno rešitev pri količini transparentnih elementov. Pri vseh izračunih si bom pomagala s programsko opremo Comfen [1], ki bo hkrati tudi predstavljala moj večji del praktičnega dela naloge.

Pričakujem, da se bo z večanjem števila oken energija potrebna za ogrevanje zmanjšala, saj solarni pritoki predstavljajo energetske pritoke stavbe. Pri spreminjanju orientacije največje razlike pri rezultatih pričakujem med severom in jugom ter zanemarljive razlike med vzhodno in zahodno stranjo. Za najbolj primerno orientacijo bi si upala trditi, da bo južna, saj tu v prostor pride največ sončnega sevanja, ki zmanjša porabo energije za ogrevanje kot tudi potrebo po umetni razsvetljavi.

2 FASADNI OVOJ IN RABA ENERGIJE V STAVBAH

2.1 Pomen fasadnega ovoja

Beseda fasadni ovoj ali krajše fasada opisuje del stavbnega ovoja, ki v večini primerov predstavlja vertikalno pozicijo na zunanjem delu stavbe. Tako opravlja ločevalno funkcijo in s tem ločuje notranje prostore od zunanjih vplivov. Poleg ločevalne funkcije fasadni ovoj omogoča tudi interakcijo med zunanjim in notranjim okoljem in sicer s preprečevanjem toplotnih izgub, katere funkcijo opravlja toplotna izolacija, s preprečevanjem širjenja nezaželenega hrupa, ki ga dosežemo z zvočno izolacijo, s preprečitvijo vdora vode in vlage, ki jo nudi hidroizolacija, z nošenjem ovoja in/ali celotne stavbe, ki jo dosežemo z nosilno konstrukcijo (v nadaljevanju NK) in kot zadnje z odprtini, ki omogočajo komunikacijo med prostori in pogled v zunanost (npr. okna) [5].

Sistematično fasadni ovoj lahko razdelimo na netransparentni (npr. zunanja stena) in transparentni (npr. okno), na prezračevani (za fasadno oblogo je prezračevalna plast) in neprezračevani (vse plasti so tesno skupaj) ter glede na zasnovo NK in sekundarne NK na endoskeletni (NK sestavljena iz stebrov) in eksoskeletni (NK sestavljena iz sten ali zidov) fasadni ovoj, kjer je seveda možna tudi kombinacija obeh zasnov [5].

Glede na sestavo posameznega konstrukcijskega sklopa, ki je sestavni del fasadnega ovoja in karakteristik materialov iz katerih je sestavljen, ima le ta zato velik vpliv na porabo energije v stavbi s svojo toplotno prehodnostjo (U-faktor), ki je ključna za izračun porabe energije.

2.2 Učinkovita raba energije v stavbi

Na porabo energije poleg toplotne prehodnosti posameznega konstrukcijskega sklopa bistveno vpliva tudi arhitekturna zasnova in sicer tako, da je potrebno upoštevati:

- orientacijo stavbe,
- sončnemu sevanju izpostavljeni del zunanjega ovoja stavbe,
- razmerje in tip zasteklitve [10],

ter še mnoge druge vplive, kot so npr. razmerje med ovojem stavbe in njeno prostornino, površine, ki so namenjene za namestitev sprejemnikov sončne energije..., ki pa jih v okviru te diplomske naloge ne bom obravnavala.

2.2.1 Zakonodaja na področju rabe energije

Kot je bilo že v uvodu omenjeno, se Evropska unija bori za učinkovito rabo energije v stavbah in posledično zmanjšanje emisij toplogrednih plinov. To pa je možno le s predpisi in pravilniki, ki nam podajo minimalne zahteve, katerih se moramo v največji možni meri držati.

V Sloveniji je od leta 2010 veljaven Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah ali krajše PURES 2010 [7] in določa tehnične zahteve na področju ogrevanja, hlajenja, prezračevanja, toplotne zaščite, priprave tople vode, osvetljevanja in zagotavljanja lastnih obnovljivih virov. Poleg PURES-a 2010 [7] je obvezno treba upoštevati tudi omejitve v Tehnični smernici za graditev TSG-1-004 [10] (v nadaljevanju TSG4), ki nam določa gradbene ukrepe oziroma rešitve za doseganje zahtev iz PURES-a 2010 in določa metodologijo izračuna energijskih lastnosti stavbe [7].

Med najpomembnejšimi omejitvami, ki sem ji v diplomskem delu tudi upoštevala in izhajajo iz TSG4 [10], so:

- Omejitev toplotne prehodnosti zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom in zunanosti ne presega $0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Omejitve toplotne prehodnosti zunanjih sten proti neogrevanim prostorom in zunanosti za manjše površine, ki skupaj ne presegajo 10 % površine neprozornega dela zunanje stene, ne presega $0,60 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Omejitev toplotne prehodnosti zasteklitve v ogrevanem prostoru je manjša od $1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$.
- Omejitev toplotne prehodnosti oken (steklo+okvir) ne sme presegati $1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$ pri oknih z lesenim okvirom ali okvirom iz umetnih mas, ter ne sme presegati $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$ pri oknih s kovinskimi okvirji.

2.3 Energetski pritoki v stavbi

Stavbo lahko obravnavamo kot toplotni sistem, s serijo različnih energetskih pritokov in odtokov. Pritoke in odtoke tako sestavljajo: notranji toplotni dobitki, transmisijski pritoki ali izgube, solarni dobitki, ventilacijski toplotni pritoki ali izgube ter izgube zaradi evaporacije [9].

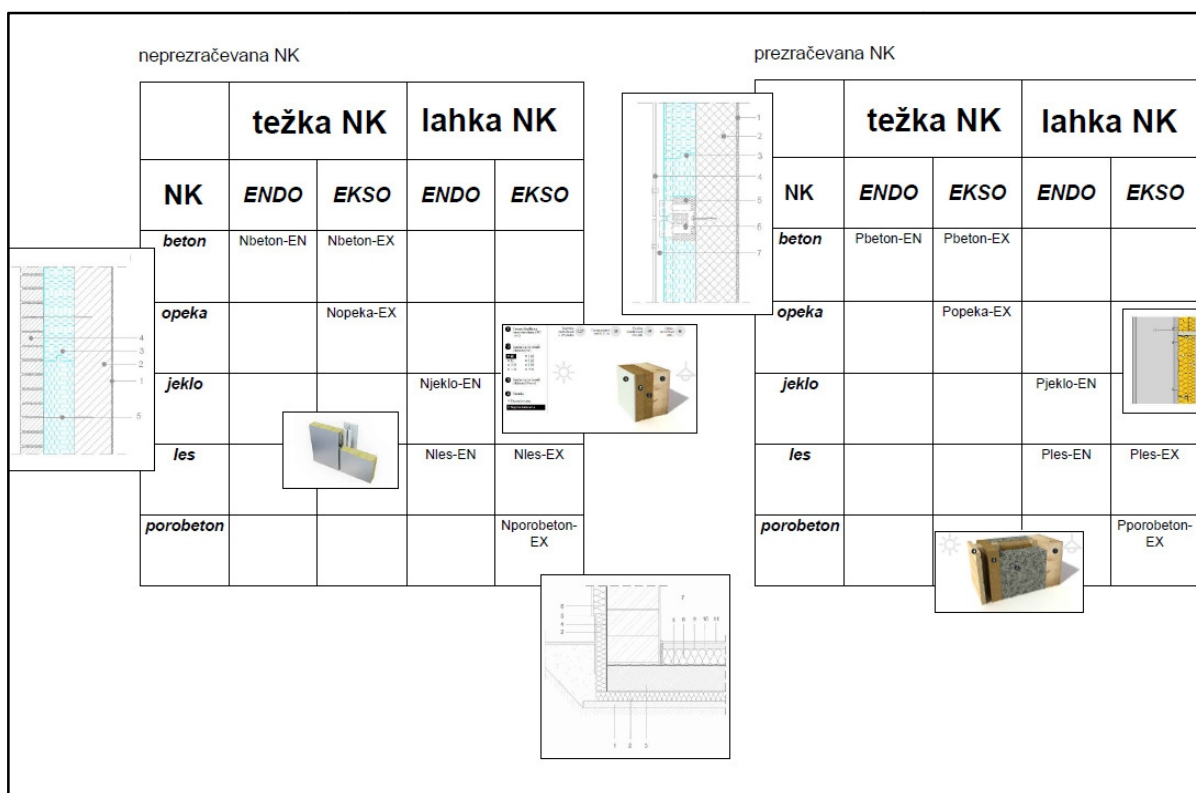
V tej diplomski nalogi se bom osredotočila le na solarne dobitke, ki v stavbo pridejo s pomočjo sončnega sevanja ter s transmisijskimi pritoki ali izgubami, vsi ostali pritoki in izgube pa bodo fiksirani ali zanemarjeni.

Zavedati se moramo, da toplotni tok prehaja v stavbo skozi transparentne in netransparentne elemente stene. V obsegu analize se bom dotaknila le transparentnih elementov, saj so solarni dobitki skozi netransparentne elemente v primerjavi z dobitki skozi transparentne, zanemarljivi.

Kot že vemo, transparentne elemente predstavljajo okna. Da lahko izračunamo solarni dobiček, ki skozi okna prehaja v stavbo, moramo poznati količino globalnega sončnega sevanje (G v W/m^2), površino transparentnega elementa (A) in optične lastnosti zasteklitve (θ). Kot skupen produkt vseh treh parametrov, dobimo solarni pritok skozi posamezno okno [9].

3 ANALIZA IZBRANIH ZASNOV FASADNEGA OVOJA

Kot je bilo že rečeno v predhodnem poglavju, se fasadni ovoji med drugim delijo na prezračevane in neprezračevane. Znotraj te delitve se tako lahko delijo naprej po vrsti oziroma zasnovi NK, ki je sestavni del stavbe. Kot reprezentativne materiale NK sem si izbrala beton, les, opeko, jeklo in porobeton ter jih znotraj posameznega materiala delila še na endoskeletne in eksoskeletne konstrukcije. Na sledeči način sem tako izdelala grafični prikaz, prikazan na Sliki 1, vseh možnih kombinacij, ki so pri gradnji glede na material izvedljive oziroma smiselne. S pomočjo katalogov ponudb raznih proizvajalcev sem zbrala izbrane konstrukcijske sklope in jih v nadaljevanju uporabila za izhodišče in posledično sam izračun porabe energije. Na Sliki 1 je tudi razvidno, da sem za izbrane konstrukcijske sklope uvedla okrajšave, ki sem jih pri sami analizi rezultatov tudi s pridom uporabila.



Slika 1: Možne kombinacije konstrukcijskih sklopov

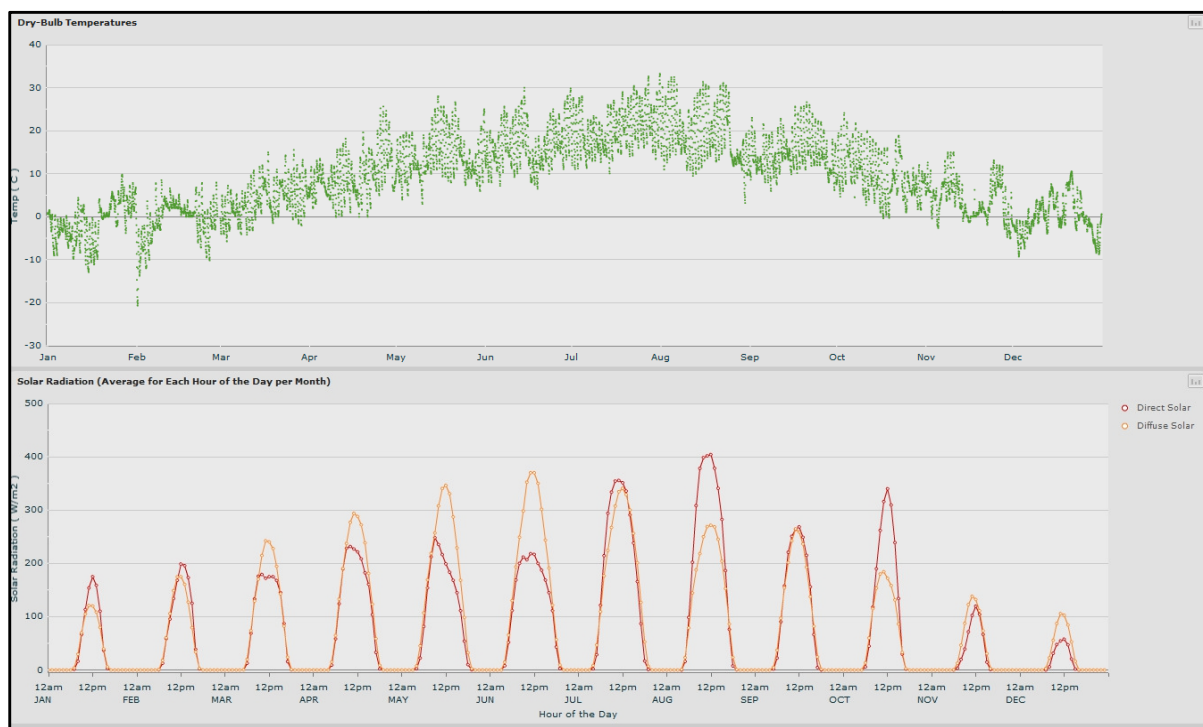
3.1 Uporabljena programska oprema

Za izračun porabe energije sem uporabila program Comfen, verzije 4.1 [1], ki je bil razvit s strani Lawrence Berkeley National Laboratory-ja. Gre za program, ki omogoča dinamični izračun porabe energije, ki je potrebna za hlajenje, ogrevanje, prezračevanje in osvetlitev, za izračun solarnih pritokov, udobja in mnogih drugih parametrov s katerimi pa se v tej diplomski nalogi nisem ukvarjala. Njegovo delovanje je zasnovano tako, da sem novo nastalemu projektu določila vhodne podatke, kot

sta lokacija in vrsta stavbe (pisarna, hotel, šola...). Z materiali, ki so že obstoječi v programski knjižnici materialov ter tisti, katere sem vnesla sama, sem v nadaljevanju sestavila poljubni konstrukcijski sklop, mu določila orientacijo, razsvetljava in število ljudi v analiziranem prostoru ter določila dimenzije obravnavanega prostora. S sledečimi podatki mi je program podal dinamični izračun s periodo 1 ure, tako v grafični kot tudi v tabelarni obliki.

3.1.1 Lokacija

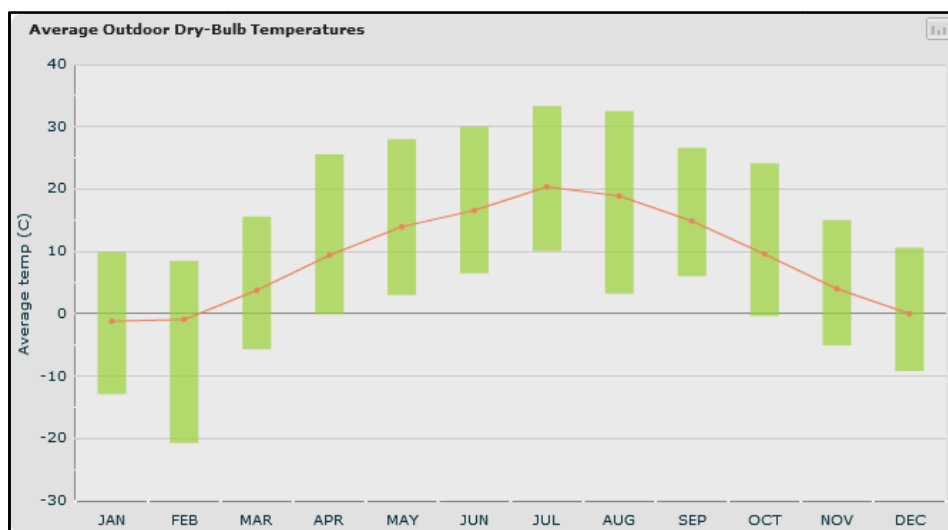
Na samem začetku uporabe programa sem morala določiti lokacijo, kjer naj bi bila moja stavba postavljena. Ker Slovenije še ni bilo na seznamu sem tako s pomočjo spletne strani EnergyPlus [12] dostopila do klimatskih podatkov za Ljubljano. Vsi izračunani primeri v nadaljevanju so izvedeni za isto lokacijo.



Slika 2: Klimatski podatki za Ljubljano (vir slike [1])

Slika 2 prikazuje osnovne klimatske podatke izpisane iz programa Comfen [1], kjer so zgoraj prikazani temperaturni razponi tekom leta za vsak dan v mesecu posebej in spodaj povprečno dnevno sončno sevanje za vsako uro vsakega meseca posebej. Sončno sevanje, kot je tudi razvidno iz Slike 2, je sestavljeno iz direktnega in difuznega sončnega sevanja, katerih vrednosti se tekom leta močno spreminjata.

Temperaturni razponi v posameznem mesecu in povprečna zunanja temperatura suhega termometra le teh so bolj jasno prikazani na Sliki 3, ki prav tako grafično prikaže program Comfen [1].



Slika 3: Temperaturni razponi in povprečna zunanja temperatura (vir slike [1])

3.1.2 Knjižnica materialov

V nadaljevanju je sledila izdelava knjižnice materialov, ki so se v izbranih konstrukcijskih sklopih pojavljali. Potrebno je bilo podati kar nekaj parametrov, kot so gostota (ρ), toplotna prevodnost (λ), specifična toplota (c) in drugi, do katerih sem prišla s pomočjo katalogov proizvajalcev, s pomočjo programa URSA Gradbena Fizika 4 [11] ter s pomočjo TSG4 [10], katera vsebuje tabelo s snovnimi podatki. Uporabljeni materiali z vsemi svojimi parametri so podani v Preglednici 1.

Preglednica 1: Materiali in njihove karakteristike

Ime	Debelina (mm)	Topl. prehodnost (W/m ² K)	Topl. odpornost (m ² K/W)	Gostota (kg/m ³)	Spec. toplota (KJ/kgK)
Opeka	250	1,32	0,756	800	0,92
Betonski blok	240	2,04	0,49	1400	1,05
Porobeton	300	0,4	2,5	400	0,86
Fibran Xps etics	150	0,23	4,438	33	1,5
Zunanji omet	10	80	0,013	1450	0,92
Notranji omet	10	80	0,013	1400	0,92
MVP	12,5	25,6	0,039	1150	1,1
OSB plošča	15	8,7	0,115	600	1,9
Celulozna TI	160	0,244	4,1	60	1,9
Lepljen les, stojke	160	0,96	1,449	380	1,6
Lepilo	6	90	0,011	1400	1,0
Zaključni sloj	2	350	0,003	1800	1,0

Se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 1

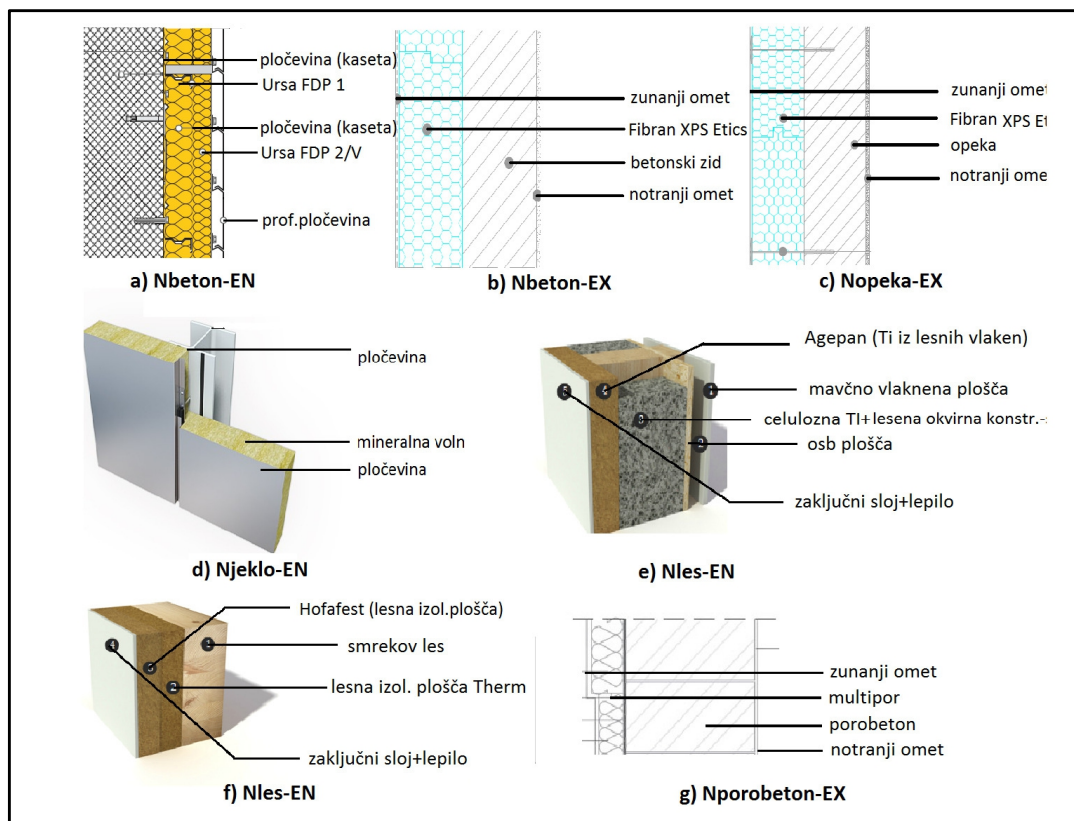
Smrekov les	100	1,1	0909	350	1,6
Agepan plošča	60	0,783	1,277	230	2,1
Jekl. pločevina	0,7	76428	0,0	7800	0,46
Mineralna volna	150	0,267	3,75	140	1,03
Multipor	100	0,42	2,38	115	0,9
Jeklo za kasete	1	53500	0,0	7800	0,46
Ursa FDP 1	50	0,758	1,32	80	0,84
Ursa FDP 2/V	100	0,35	2,86	80	0,84
Ursa FDP 2	100	0,35	2,86	80	0,84
Prof. pločevina	1	53500	0,0	7800	0,46
Fasadna opeka	65	12,15	0,082	1700	0,88
Lesena obloga	24	4,58	0,218	390	1,6
Marmor	30	77,67	0,013	2850	2,09
Therm plošča	80	0,49	2,041	160	2,1
Hofafest TI	22	2,22	0,45	260	2,1
Zračni kanal	38,10	5,567	0,18	/	/

3.1.3 Konstrukcijski sklopi

Z materiali, ki sem jih predstavila v prejšnjem poglavju, sem ustvarila konstrukcijske sklope na kar sem tako dobila 14 možnih kombinacij fasadnih ovojev. Pri vseh 14 konstrukcijskih sklopih sem upoštevala omejitev toplotne prehodnosti iz TSG4 [10].

3.1.3.1 Neprezračevani konstrukcijski sklopi

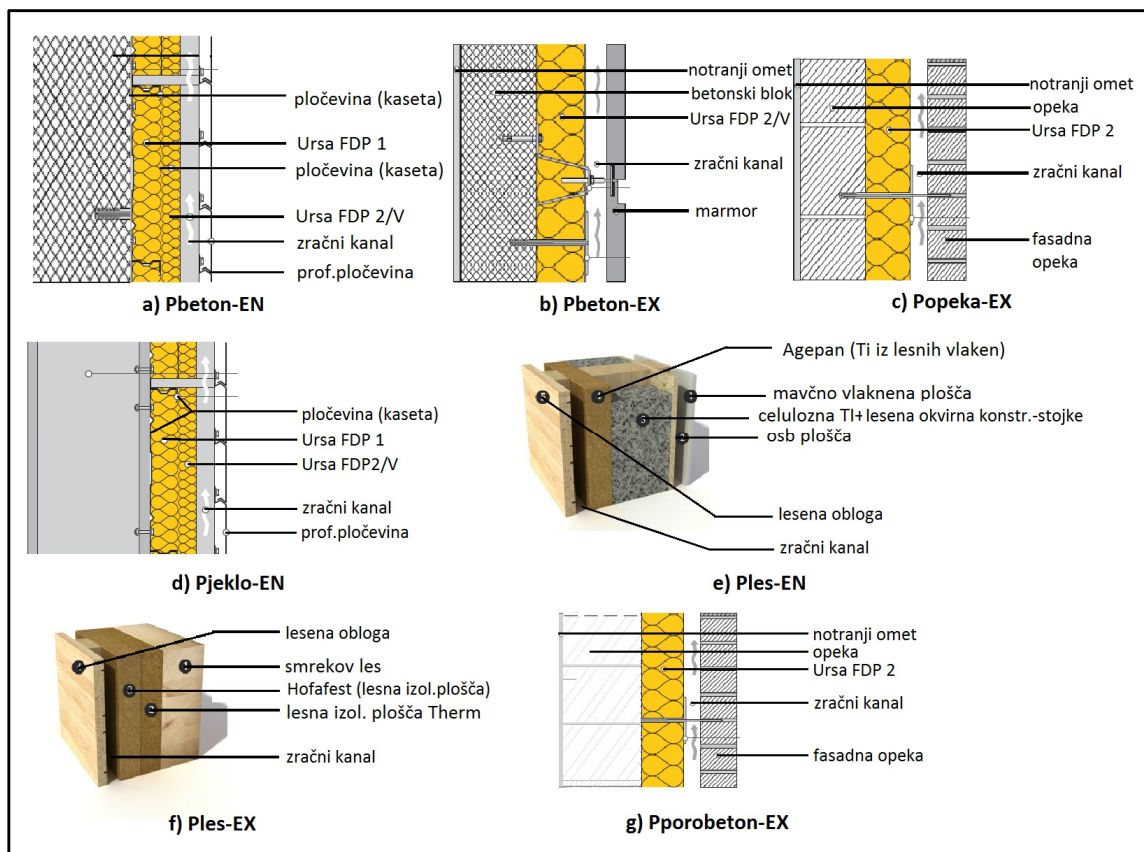
Na Sliki 4 so tako predstavljeni vsi konstrukcijski sklopi, ki so neprezračevani. Po slojih so poleg prikaza vsakega konstrukcijskega sloja posebej zapisani tudi materiali, kateri ga sestavljajo. Dimenzije posameznega sloja so za vsak konstrukcijski sklop enake, saj sem le take že v samem začetku tudi vnesla v knjižnico materialov. Pri endoskeletni NK sem v primeru Nbeton-EN in Njeklo-EN, betonske oziroma jeklene stebre zanemarila, saj z notranje strani nista zaprti in tako zanemarljivo vplivajo na končni rezultat. Tudi stojke v primeru Nles-EN, ki opredeljuje inštalacijsko ravnino sem na podoben način pri analizi zanemarila in upoštevala le zrak, ki se tu nahaja.



Slika 4: Nепrezračevani konstrukcijski sklopi (vir slik [4, 8, 11, 13])

3.1.3.2 Prezračevani konstrukcijski sklopi

Na Sliki 5 so tako kot že predhodno tudi prikazani konstrukcijski sklopi, le da so ti prezračevani in imajo vsi skoraj 4 cm debel vertikalni zračni kanal. Zračno plast se skoraj povsod izvaja s pritrdili, ki omogočajo konstanten razmik finalne obloge od toplotne izolacije. Poleg že prej omenjenih zanemarljivih dejstev, omenjenih v poglavju Nепrezračevani konstrukcijski sklopi, sem pri primeru Ples-EN pri analiziranju zanemarila tudi zračne letve, ki omogočajo prezračevanje, saj program ne omogoča dveh endoskeletnih konstrukcij v posameznem konstrukcijskem sklopu. Že prej omenjena pritrdilna sredstva v izračunu ravno tako nisem upoštevala.



Slika 5: Prezračeni konstrukcijski sklopi (vir slik [8, 13])

Po vseh vnesenih konstrukcijskih sklopih v program Comfen [1], sem končno dobila vrednosti toplotne prehodnosti (U-faktor), ki so razvidni v Preglednici 2.

Preglednica 2: Vrednosti toplotnih prehodnosti

Ime konstrukcijskega sklopa	Okrajšava imena konstrukcijskega sklopa	Toplotna prehodnost (W/m ² K)
Neprezračevan, beton, ekso	Nbeton-EX	0,1995
Neprezračevan, beton, endo	Nbeton-EN	0,2249
Neprezračevan, opeka, ekso	Nopeka-EX	0,1894
Neprezračevan, jeklo, endo	Njeklo-EN	0,2489
Neprezračevan, les, ekso	Nles-EX	0,2598
Neprezračevan, les, endo	Nles-EN	0,1851
Neprezračevan, porobeton, ekso	Nporobeton-EX	0,1978
Prezračevan, beton, ekso	Pbeton-EX	0,2699
Prezračevan, beton, endo	Pbeton-EN	0,2161*
Prezračevan, opeka, ekso	Popeka-EX	0,2474
Prezračevan, jeklo, endo	Pjeklo-EN	0,2161*
Prezračevan, les, ekso	Ples-EX	0,2533
Prezračevan, les, endo	Ples-EN	0,1764
Prezračevan, porobeton, ekso	Pporobeton-EX	0,1729

* Imata isto vrednost, kajti sta sestavljeni iz istih elementov, le NK je drugačna, v izračunu pa je ne upoštevam, ker z notranje strani ni zaprta z nikakršno oblogo in program Comfen[1] to poenostavi.

3.1.4 Podatki o analiziranem prostoru

Po vnesenih materialih in izdelanih fasadnih ovojih sem si v nadaljevanju izbrala dimenzije svojega prostora, za kakšen prostor pravzaprav gre, število ljudi, ki v tem prostoru opravlja svoje delo, začetno orientacijo, povprečno moč vgrajenih svetilk na enoto površine in ali imamo naravno prezračevanje ali ne. Vsi podatki so predstavljeni v Preglednici 3.

Preglednica 3: Podatki o prostoru

Tip prostora	pisarna
Tloris prostora	9 m x 5 m
Višina stene	3,5 m
Število ljudi v prostoru	10
Površina obravnavane stene	31,5 m ²
Začetna orientacija stene	jug
Moč svetilk	11 W/m ²
Možnost naravnega prezračevanja	ne

Tu bi omenila, da sem možnost naravnega prezračevanja izključila zaradi primerljivosti (vsi konstrukcijski sklopi imajo iste vhodne podatke), kajti pri fasadnem ovoju brez oken naravno prezračevanja seveda ni možno in bi v tem primeru program javil napako.

Poleg navedenih podatkov, sem potrebovala še podatke o morebitnih oknih, ki so razvidni v Preglednici 4.

Preglednica 4: Podatki o oknu

Tip okna	Trojna zasteklitev, čista stekla
Dimenzija okna	1,5 x 2 m
Debelina stekla	5,72 mm
Vrsta polnila	10 % zrak, 90 % argon
Vrsta okvirja	lesen
Toplotna prehodnost zasteklitve	1,078 W/m ² K
Možnost senčenja	ne
Višina parapeta	0,6 m
Število plasti nizkoemisijskih namazov	ena

3.2 Variante

Za analizo konstrukcijskih sklopov sem si najprej izbrala izhodiščno varianto z že predhodno omenjenimi karakteristikami, kot so prostornina prostora in začetna orientacija obravnavane stene, ki pa na začetku ni imela nobenega okna. V nadaljevanju sem izhodiščni varianti dodajala okna oziroma transparentne elemente, velikosti 1,5 x 2 m. Tako sem dobila tri nove variante z enim, dvema oziroma tremi okni na obravnavani steni, z orientacijo proti jugu, kjer so bila okna fiksna in niso imela možnosti odpiranja, kar tudi pomeni, da ni bilo možnosti naravnega prezračevanja. Sledila je še sprememba orientacije, na kar sem dobila dodatne tri variante. Tako sem steni s tremi okni, ki je pri slednji analizi postala nova izhodiščna varianta in ki je hkrati tudi najbolj optimalna varianta, saj zasteklitev predstavlja 20 % tlorisa prostora, kar je v Pravilniku o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj [6] v 14. členu tudi zapisano, spreminjala orientacijo analizirane stene. Čeprav sem si sama izbrala pisarniški objekt, ki seveda ni stanovanjska stavba, sem kljub temu upoštevala to omejitev, saj se mi je varianta z dvema oknoma, ki predstavlja le 13 % tlorisne površine vseeno zdela nekoliko prenizka. V Preglednici 5 so tako navedene vse možne variante analiziranega prostora ter njegove karakteristike. Opaziti je tudi krepko napisani varianti, ki ponazarjata izhodiščni varianti. Prva (V0_J) tako predstavlja izhodiščno varianto pri spreminjanju števila transparentnih elementov, druga (V3_J) pa izhodiščno varianto pri spreminjanju orientacije.

Preglednica 5: Pregled vse možnih variant

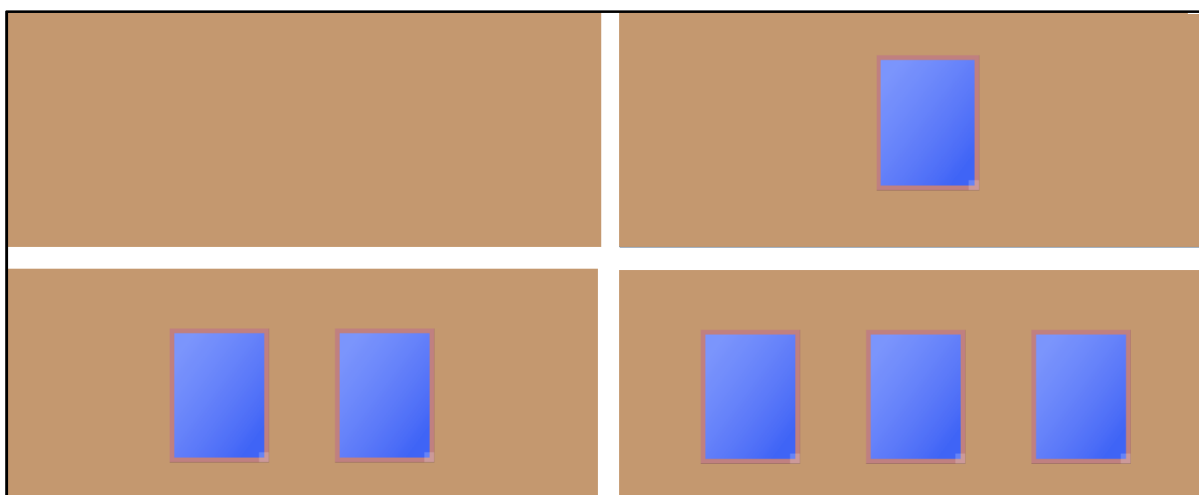
Varianta	Dim. prostora (m)	Površina okna (m ²)	Razmerje-površina okna:površina prostora	Razmerje-površina okna:površina stene	Orientacija	
V0_J	9 x 5 x 3,5	0	/	/	J	
V1_J		3	1:15	1:10,5		
V2_J		6	1:7,5	1:5,25		
V3_J		9	9	1:5	1:3,5	S
V3_S						Z
V3_Z						V
V3_V						

4 REZULTATI

4.1 Poraba energije prostora

4.1.1 Vpliv količine transparentnih elementov

Zelo pomemben dejavnik, ki vpliva na porabo energije v stavbi, je število oken oziroma transparentnih elementov na obravnavani steni. Na Sliki 6 je prikazano, kako sem skozi analiziranje povečevala število transparentnih elementov na posamezni steni in s tem dvigala delež zasteklitve, vse dokler nisem s površino treh oken dosegla 20 % tlorisne površine, ki hkrati dosega tudi minimalne zahteve glede osvetljenosti v prostoru. Ali se z večanjem števila oken zmanjšuje celotna poraba energije oziroma kaj se spremeni znotraj izračuna, pa je bila ena izmed mojih glavnih ugotovitev, preden sem začela z analizo.



Slika 6: Spreminjanje števila oken na obravnavani steni (vir slike [1])

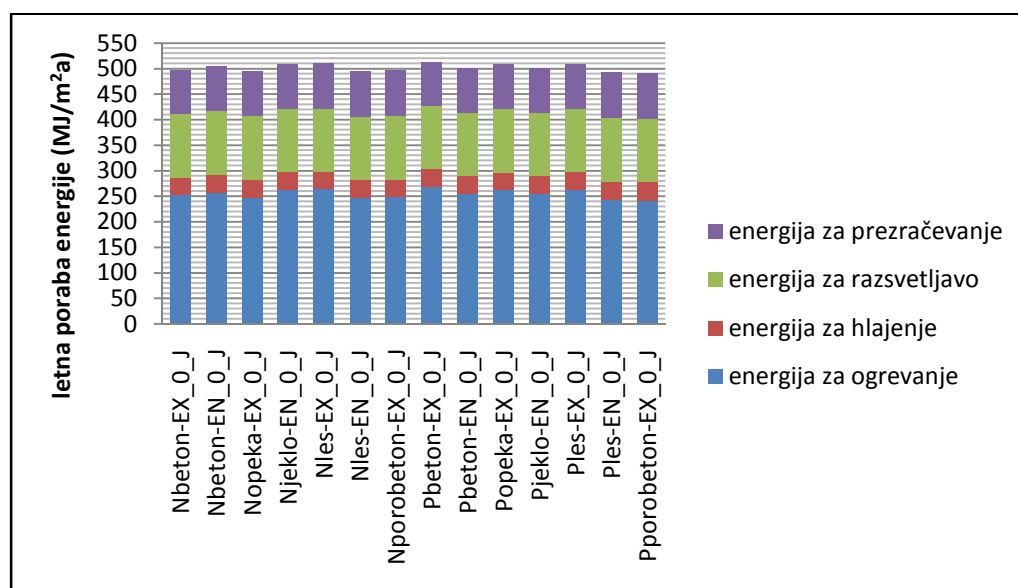
4.1.1.1 Varianta V0_J

Kot je bilo že predhodno omenjeno, sem za izhodiščno varianto izbrala konstrukcijski sklop brez oken orientiran proti jugu (V0_J). Čeprav pisarniški prostor brez zasteklitve ni realen in se v svetu za te namene praktično ne uporablja, sem to dejstvo zanemarila in ga vseeno uporabila pri analiziranju. Po vnesenih vhodnih podatkih in preračunavanju sem tako dobila sledeče rezultate, podane v Preglednici 6.

Preglednica 6: Rezultati analize pri steni z nič okni

Konstruktivski sklop	Celotna energija (MJ/m ² a)	Energija za ogrevanje (MJ/m ² a)	Energija za hlajenje (MJ/m ² a)	Energija za razsvetljavo (MJ/m ² a)	Energija za prezračevanje (MJ/m ² a)
Nbeton-EX_0_J	496,67	251,76 (51%)	34,96 (7%)	124,12 (25%)	85,84 (17%)
Nbeton-EN_0_J	503,83	256,77 (51%)	35,41 (7%)	124,12 (25%)	87,53 (17%)
Nopeka-EX_0_J	494,04	247,30 (50%)	35,29 (7%)	124,12 (25%)	87,34 (18%)
Njeklo-EN_0_J	509,51	262,76 (52%)	35,11 (7%)	124,12 (24%)	87,52 (17%)
Nles-EX_0_J	510,54	263,83 (52%)	34,76 (7%)	124,12 (24%)	87,83 (17%)
Nles-EN_0_J	495,29	246,66 (50%)	35,45 (7%)	124,12 (25%)	89,06 (18%)
Nporobeton-EX_0_J	496,07	247,87 (50%)	35,37 (7%)	124,12 (25%)	88,71 (18%)
Pbeton-EX_0_J	512,73	268,90 (52%)	34,17 (7%)	124,12 (24%)	85,55 (17%)
Pbeton-EN_0_J	501,74	254,48 (51%)	35,49 (7%)	124,12 (25%)	87,65 (17%)
Popeka-EX_0_J	507,62	261,69 (52%)	34,68 (7%)	124,12 (24%)	87,14 (17%)
Pjeklo-EN_0_J	501,74	254,48 (51%)	35,49 (7%)	124,12 (25%)	87,65 (17%)
Ples-EX_0_J	508,91	262,12 (52%)	34,82 (7%)	124,12 (24%)	87,84 (17%)
Ples-EN_0_J	491,95	243,18 (49%)	35,60 (7%)	124,12 (25%)	89,05 (18%)
Pporobeton-EX_0_J	490,30	241,85 (49%)	35,63 (7%)	124,12 (25%)	88,70 (18%)

Znotraj preglednice opazimo, da je kar polovica celotne energije porabljena za ogrevanje prostora. Sledi ji energija potrebna za razsvetljavo, kar smo lahko tudi pričakovali, saj drugega svetlobnega vira razen luči pri varianti V0_J ni. Opaziti je možno tudi, da ne glede na to kakšen konstrukcijski sklop sestavlja fasadni ovoj, je potrebna energija za razsvetljavo povsod enaka, kar je tudi logično, saj je poraba energije za razsvetljavo odvisna le od tipa zasteklitve in orientacije, ne pa od sestave netransparentnega konstrukcijskega sklopa. Energija za prezračevanje in hlajenje tako skupaj predstavljata le okoli 25 % celotne letne porabljene energije. Grafičen prikaz rezultatov variante V0_J je viden na Sliki 7.



Slika 7: Letna poraba energije pri steni brez oken

Slika 7 nam tako nazorno prikaže kakšne so razlike med neprezračevanimi in prezračevanimi konstrukcijskimi sklopi. Kot vidimo bistvenih razlik ni, so pa razlike med konstrukcijskimi sklopi z različnimi toplotnimi prehodnostmi (U-faktor). Kot je bilo za pričakovati, imajo konstrukcijski sklopi z višjim U-faktorjem tudi nekoliko višjo letno porabo energije.

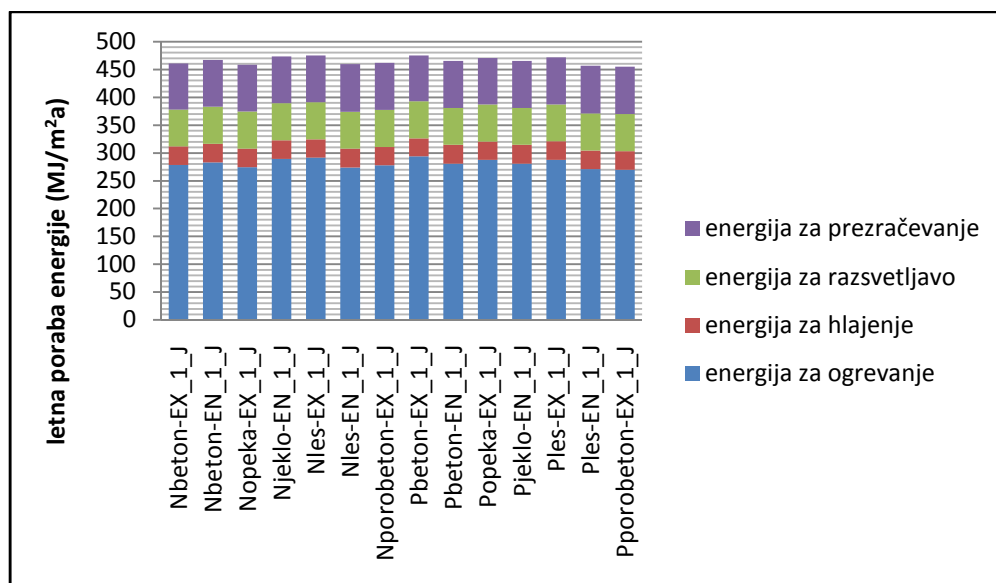
4.1.1.2 Varianta V1_J

Pri slednji varianti sem steni z južno orientacijo dodala prvo okno dimenzije 1,5 x 2 m, ga postavila na sredino stene, kar pomeni, da je bilo od vsakega vogala oddaljeno za 3,75 m, ter s tem dosegla slabih 10 % zasteklitve na 31,5 m² površine stene ter skoraj 7 % tlorisne površine pisarne. V Preglednici 7 so podani rezultati analize variante V1_J.

Preglednica 7: Rezultati analize pri steni z enim oknom

Konstrukcijski sklop	Celotna energija (MJ/m ² a)	Energija za ogrevanje (MJ/m ² a)	Energija za hlajenje (MJ/m ² a)	Energija za razsvetljavo (MJ/m ² a)	Energija za prezračevanje (MJ/m ² a)
Nbeton-EX_1_J	460,93	278,54 (61%)	33,19 (7%)	66,48 (14%)	82,72 (18%)
Nbeton-EN_1_J	467,40	283,02 (61%)	33,64 (7%)	66,48 (14%)	84,27 (18%)
Nopeka-EX_1_J	458,65	274,52 (60%)	33,52 (8%)	66,48 (14%)	84,13 (18%)
Njeklo-EN_1_J	472,51	288,40 (61%)	33,39 (7%)	66,48 (14%)	84,24 (18%)
Nles-EX_1_J	473,57	289,43 (62%)	33,09 (7%)	66,48 (13%)	84,57 (18%)
Nles-EN_1_J	459,75	273,88 (60%)	33,69 (7%)	66,48 (14%)	85,70 (19%)
Nporobeton-EX_1_J	460,55	275,06 (61%)	33,61 (7%)	66,48 (13%)	85,40 (19%)
Pbeton-EX_1_J	475,46	293,99 (62%)	32,53 (7%)	66,48 (14%)	82,46 (17%)
Pbeton-EN_1_J	465,48	280,91 (60%)	33,71 (7%)	66,48 (14%)	84,38 (19%)
Popeka-EX_1_J	470,91	287,51 (61%)	33,00 (7%)	66,48 (14%)	83,92 (18%)
Pjeklo-EN_1_J	465,48	280,91 (60%)	33,71 (7%)	66,48 (14%)	84,38 (19%)
Ples-EX_1_J	472,07	287,86 (61%)	33,15 (7%)	66,48 (14%)	84,57 (18%)
Ples-EN_1_J	456,83	270,81 (59%)	33,82 (7%)	66,48 (15%)	85,72 (19%)
Pporobeton-EX_1_J	455,26	269,59 (59%)	33,83 (7%)	66,48 (15%)	85,37 (19%)

Opaziti je mogoče, da se vrednost skupne letne potrebne energije pri steni z enim oknom nekoliko zniža, se pa zato močno dvigne vrednost energije za ogrevanje, saj tu predstavlja kar 60 % in več celotne potrebne energije. Razlog za to je visoka toplotna prehodnost zasteklitve v primerjavi s toplotno prehodnostjo netransparentnega konstrukcijskega sklopa, kar za lokacijo Ljubljane, kjer je večji del leta zunaj bolj hladno kot v prostoru samem, pomeni večje transmisijske izgube kot v primeru brez oken. Če se je energija potrebna za ogrevanje dvignila, pa se je spustila vrednost energije potrebne za razsvetljavo. Tako predstavlja le še 15 % celotne letne potrebne energije. Grafično so letne potrebne energije prikazane na naslednji Sliki 8.



Slika 8: Letna poraba energije pri steni z enim oknom

Z dodajanjem oken obravnavani steni pridobimo solarne pritoke s pomočjo sončnega sevanja, ki pa nujno ne zmanjšujejo porabe energije za ogrevanje, saj s tem, ko dodajamo okna povečujemo tudi transmisijske izgube, ki pa so v primerjavi z izgubami skozi netransparentni del ovoja, višje zaradi višjega U-faktorja oken.

4.1.1.3 Varianta V2_J

Pri varianti V2_J imam še vedno južno orientacijo. V primerjavi z izhodiščno varianto, se je spremenila le količina transparentnih elementov. Tako imam sedaj dve okni, med katerima je 1 m razmaka s skupno površino 6 m², kar predstavlja skupaj 19 % zasteklitev in dobrih 13 % tlorisne površine prostora. V Preglednici 8 so vidni rezultati analize.

Preglednica 8: Rezultati analize pri steni z dvema oknom

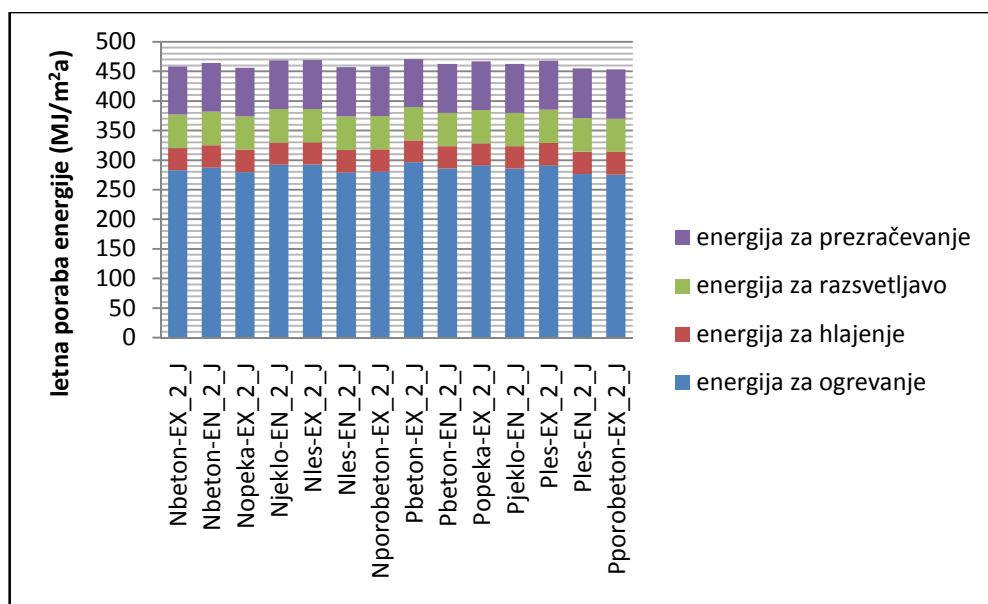
Konstrukcijski sklop	Celotna energija (MJ/m ² a)	Energija za ogrevanje (MJ/m ² a)	Energija za hlajenje (MJ/m ² a)	Energija za razsvetljava (MJ/m ² a)	Energija za prezračevanje (MJ/m ² a)
Nbeton-EX_2_J	458,27	283,11 (62%)	37,50 (8%)	56,51 (12%)	81,15 (18%)
Nbeton-EN_2_J	464,16	287,33 (62%)	37,97 (8%)	56,51 (12%)	82,35 (18%)
Nopeka-EX_2_J	456,41	279,70 (61%)	37,83 (8%)	56,51 (12%)	82,37 (18%)
Njeko-EN_2_J	468,58	292,02 (62%)	37,71 (8%)	56,51 (12%)	82,34 (18%)
Nles-EX_2_J	469,28	292,66 (62%)	37,40 (8%)	56,51 (12%)	82,70 (18%)
Nles-EN_2_J	457,46	279,21 (62%)	37,99 (8%)	56,51 (12%)	83,74 (18%)
Nporobeton-EX_2_J	458,09	280,22 (62%)	37,92 (8%)	56,51 (12%)	83,44 (18%)
Pbeton-EX_2_J	470,76	296,44 (63%)	36,84 (8%)	56,51 (12%)	80,97 (17%)
Pbeton-EN_2_J	462,48	285,47 (62%)	38,04 (8%)	56,51 (12%)	82,45 (18%)

Se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 8

Popeka-EX_2_J	466,96	290,93 (62%)	37,30 (8%)	56,51 (12%)	82,22 (18%)
Pjeklo-EN_2_J	462,48	285,47 (62%)	38,04 (8%)	56,51 (12%)	82,45 (18%)
Ples-EX_2_J	468,02	291,32 (62%)	37,47 (8%)	56,51 (12%)	82,72 (18%)
Ples-EN_2_J	454,93	276,53 (62%)	38,13 (8%)	56,51 (12%)	83,76 (18%)
Pporobeton-EX_2_J	453,60	275,53 (62%)	38,15 (8%)	56,51 (12%)	83,41 (18%)

Iz rezultatov je razvidno, da se skupna letna energija v primerjavi z varianto V1_J še nekoliko zniža, medtem ko se energija potrebna za ogrevanje zopet zviša, čeprav tokrat manj kot pri primerjavi med V0_J in V1_J, kar je bilo tudi pričakovano. Pri energiji potrebni za razsvetljavo se vrednosti zopet zmanjšajo in tokrat obsegajo le okoli 12 % celotne letne energije. Tu je mogoče opaziti, da kljub temu da se površina zasteklitve linearno povečuje skozi variante V0_J, V1_J ter V2_J, energija potrebna za razsvetljavo ne zmanjšuje linearno, kot bi mogoče pričakovali. Preglednici zopet sledi grafični prikaz s pomočjo Slike 9, kjer so našteje lastnosti bolj jasno ponazorjene.



Slika 9: Letna poraba energije pri steni z dvema oknomi

Ker okna v stavbah seveda potrebujemo, je pomembno vedeti kako le ta vplivajo na porabo energije v stavbi. Kot je do sedaj vidno iz rezultatov, zmanjšajo potrebo po elektriki za razsvetljavo ter nekoliko povečajo potrebno energijo za hlajenje in/ali ogrevanje.

4.1.1.4 Varianta V3_J

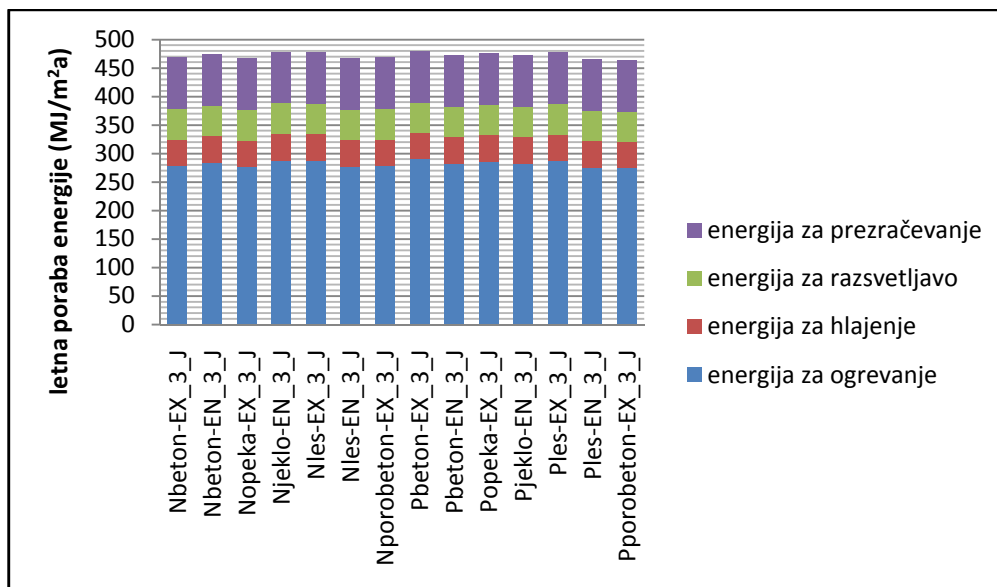
Kot zadnja varianta pri spreminjanju količine transparentnih elementov je varianta V3_J s tremi okni, med katerimi je 1 m stene. Tako okna skupno predstavljajo 6 m² površine, kar pomeni skoraj 29 % zasteklitve in točno 20 % tlorisne površine. Kot sem omenila že v predhodnem poglavju, je to tudi

najbolj optimalna rešitev, saj izpolnjuje minimalne zahteve. Tako sem zopet prišla do rezultatov, podanih v Preglednici 9.

Preglednica 9: Rezultati analize pri steni s tremi okni

Konstrukcijski sklop	Celotna energija (MJ/m ² a)	Energija za ogrevanje (MJ/m ² a)	Energija za hlajenje (MJ/m ² a)	Energija za razsvetljavo (MJ/m ² a)	Energija za prezračevanje (MJ/m ² a)
Nbeton-EX_3_J	468,41	278,89 (60%)	46,31 (10%)	53,24 (11%)	89,98 (19%)
Nbeton-EN_3_J	474,01	283,62 (60%)	47,15 (10%)	53,24 (11%)	90,00 (19%)
Nopeka-EX_3_J	466,73	276,82 (60%)	46,67 (10%)	53,24 (11%)	90,01 (19%)
Njeklo-EN_3_J	477,47	287,62 (60%)	46,89 (10%)	53,24 (11%)	89,73 (19%)
Nles-EX_3_J	477,78	288,25 (60%)	46,37 (10%)	53,24 (11%)	89,93 (19%)
Nles-EN_3_J	467,44	277,37 (60%)	46,93 (10%)	53,24 (11%)	89,90 (19%)
Nporobeton-EX_3_J	468,09	277,98 (60%)	46,89 (10%)	53,24 (11%)	90,01 (19%)
Pbeton-EX_3_J	479,00	290,19 (61%)	45,68 (9%)	53,24 (11%)	89,89 (19%)
Pbeton-EN_3_J	472,59	282,14 (60%)	47,22 (10%)	53,24 (11%)	89,99 (19%)
Popeka-EX_3_J	475,66	286,33 (60%)	46,16 (10%)	53,24 (11%)	89,95 (19%)
Pjeklo-EN_3_J	472,59	282,14 (60%)	47,22 (10%)	53,24 (11%)	89,99 (19%)
Ples-EX_3_J	476,69	287,09 (60%)	46,44 (10%)	53,24 (11%)	89,93 (19%)
Ples-EN_3_J	465,31	275,00 (60%)	47,07 (10%)	53,24 (11%)	90,01 (19%)
Pporobeton-EX_3_J	464,29	273,82 (60%)	47,10 (10%)	53,24 (11%)	90,14 (19%)

Tu pride pri dobljenih rezultatih do očitne razlike. Kar naenkrat se namreč skupna potrebna energija poveča, čeprav je pri vseh variantah do sedaj brez izjeme padala. Če pogledamo znotraj razčlenitve vsako energijo posebej opazimo, da je energija potrebna za razsvetljavo še vedno manjša, poviša pa se energija za prezračevanje ter energija za hlajenje, ki skupno sedaj predstavljata kar 30 % celotne letne energije, kar je bilo pričakovano in do sedaj tudi že večkrat potrjeno. Da bi se temu izognili bi seveda potrebovali senčila na transparentnih delih ovoja. Grafično to zopet lahko ponazorim s Sliko 10.



Slika 10: Letna poraba energije pri steni s tremi okni

V tem primeru solarni pritoki le pripomorejo k ogrevanju stavbe, saj se vrednost porabe energije nekoliko zniža. Povečanje transmissijskih izgub je tako manjše v primerjavi s povečanjem solarnih pritokov.

4.1.2 Spreminjanje orientacije

Tokrat sem steni s tremi okni v južni legi, ki potrebuje najmanj energije za ogrevanje ter hkrati izpolnjuje kriterij minimalne osvetljenosti, spreminjala orientacijo v severno, vzhodno in zahodno lego. Ker so rezultati izhodiščne variante V3_J že podani v prejšnjem poglavju, jih zato nisem ponavljala, ampak sem kar takoj nadaljevala s spremembo orientacije in tako dobila novo varianto V3_S.

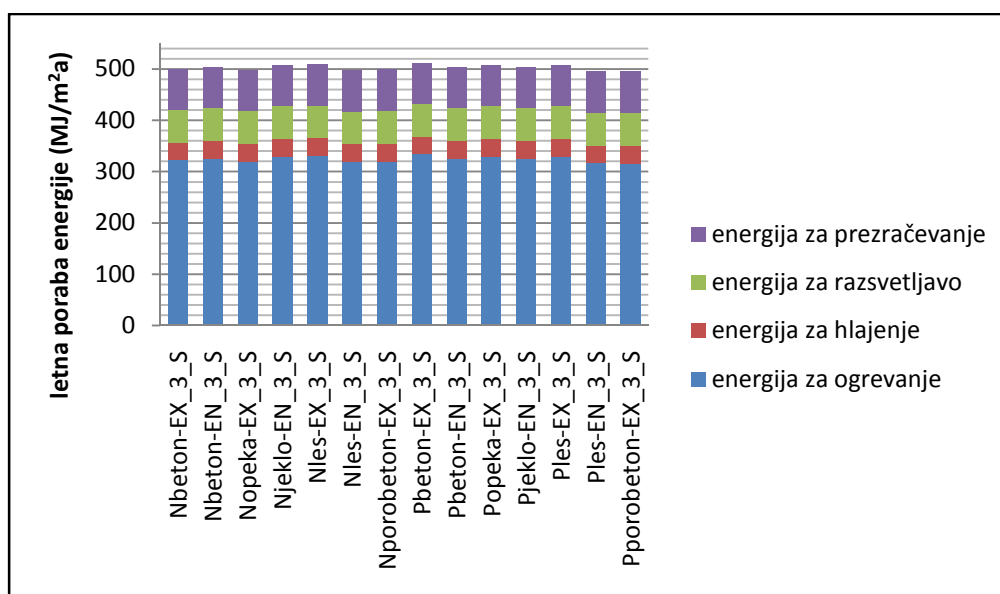
4.1.2.1 Varianta V3_S

Varianta V3_S je kar se oblike prostora in zasteklitve tiče popolnoma ista kot izhodišča varianta V3_J, le obravnavani steni sem spremenila orientacijo in sicer iz južne v severno. Rezultati v severni legi so podani v Preglednici 10.

Preglednica 10: Rezultati analize pri steni s severno orientacijo

Konstruktivski sklop	Celotna energija (MJ/m ² a)	Energija za ogrevanje (MJ/m ² a)	Energija za hlajenje (MJ/m ² a)	Energija za razsvetljavo (MJ/m ² a)	Energija za prezračevanje (MJ/m ² a)
Nbeton-EX_3_S	499,45	322,34 (65%)	34,25 (7%)	64,21 (13%)	78,66 (15%)
Nbeton-EN_3_S	504,19	325,45 (65%)	34,64 (7%)	64,21 (13%)	79,89 (15%)
Nopeka-EX_3_S	497,70	319,15 (64%)	34,53 (7%)	64,21 (13%)	79,82 (16%)
Njeklo-EN_3_S	508,11	329,57 (65%)	34,44 (7%)	64,21 (13%)	79,90 (16%)
Nles-EX_3_S	509,07	330,45 (65%)	34,20 (7%)	64,21 (13%)	80,21 (15%)
Nles-EN_3_S	498,57	318,50 (64%)	34,68 (7%)	64,21 (13%)	81,18 (16%)
Nporobeton-EX_3_S	499,03	319,04 (64%)	34,61 (7%)	64,21 (13%)	80,85 (16%)
Pbeton-EX_3_S	510,63	334,18 (65%)	33,72 (7%)	64,21 (13%)	78,52 (15%)
Pbeton-EN_3_S	502,70	323,81 (64%)	34,70 (7%)	64,21 (13%)	79,98 (16%)
Popeka-EX_3_S	507,13	329,09 (65%)	34,11 (7%)	64,21 (13%)	79,71 (15%)
Pjeklo-EN_3_S	502,70	323,81 (64%)	34,70 (7%)	64,21 (13%)	79,98 (16%)
Ples-EX_3_S	507,92	329,24 (65%)	34,25 (7%)	64,21 (13%)	80,22 (15%)
Ples-EN_3_S	496,20	316,07 (64%)	34,78 (7%)	64,21 (13%)	81,14 (16%)
Pporobeton-EX_3_S	494,99	315,21 (64%)	34,79 (7%)	64,21 (13%)	80,78 (16%)

Kot je bilo pričakovano, se je celotna potrebna energija občutno povečala in s tem tudi energija potrebna za ogrevanje, saj severna orientacija omogoča občutno manj solarnih pritokov v primerjavi z južno orientacijo. Posledično se je zato znižala vrednost energije za hlajenje. Tudi energija za razsvetljavo se je povečala, kar je ravno tako posledica orientacije ter manjše količine dnevne svetlobe, ki vstopa v prostor. Za bolj jasen prikaz letne porabe energije si lahko pomagamo s Sliko 11.



Slika 11: Letna poraba energije stene s severno orientacijo

4.1.2.2 Varianta V3_V

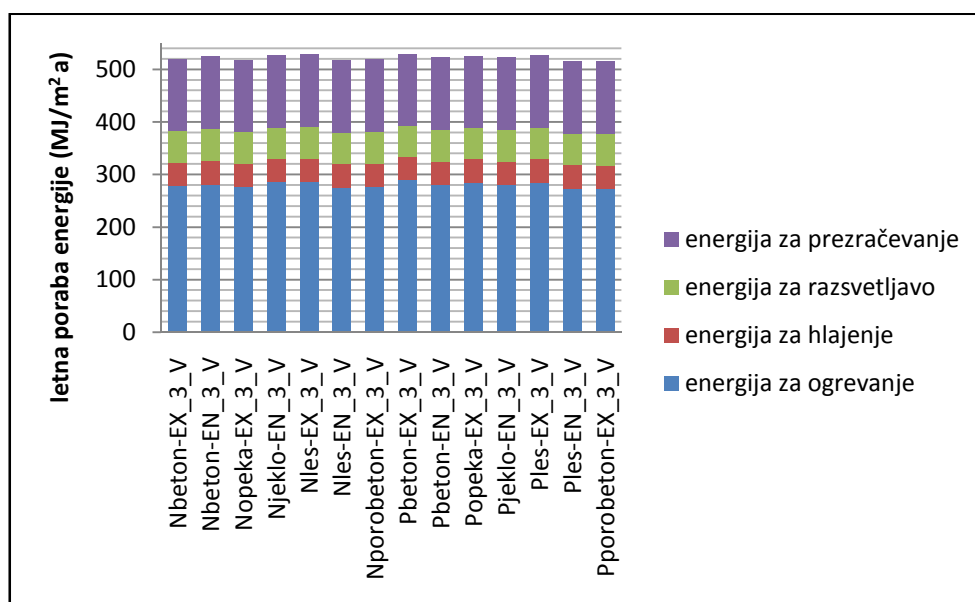
Varianti V3_V sem tako kot predhodni, spremenila le orientacijo in jo tako postavila na vzhod.

V Preglednici 11 so podani rezultati.

Preglednica 11: Rezultati analize pri steni z vzhodno orientacijo

Konstruktivski sklop	Celotna energija (MJ/m ² a)	Energija za gretje (MJ/m ² a)	Energija za hlajenje (MJ/m ² a)	Energija za razsvetljava (MJ/m ² a)	Energija za prezračevanje (MJ/m ² a)
Nbeton-EX_3_V	518,6	279,08 (54 %)	43,51 (8%)	60,36 (12%)	135,67 (26%)
Nbeton-EN_3_V	523,71	281,78 (54%)	44,18 (8%)	60,36 (12%)	137,39 (26%)
Nopeka-EX_3_V	517,02	276,25 (53%)	43,78 (8%)	60,36 (12%)	136,62 (25%)
Njeklo-EN_3_V	527,45	285,73 (54%)	44,00 (8%)	60,36 (12%)	137,37 (26%)
Nles-EX_3_V	528,22	286,22 (54%)	43,63 (8%)	60,36 (12%)	137,62 (26%)
Nles-EN_3_V	518,09	275,61 (53%)	44,10 (8%)	60,36 (12%)	138,03 (27 %)
Nporobeton-EX_3_V	518,51	276,41 (53%)	43,97 (8%)	60,36 (12%)	137,77 (27%)
Pbeton-EX_3_V	529,23	290,32 (54%)	43,03 (8%)	60,36 (12%)	135,52 (26%)
Pbeton-EN_3_V	522,34	280,26 (54%)	44,23 (8%)	60,36 (12%)	137,49 (26%)
Popeka-EX_3_V	525,99	285,62 (54%)	43,42 (8%)	60,36 (12%)	136,58 (26%)
Pjeklo-EN_3_V	522,34	280,26 (54%)	44,23 (8%)	60,36 (12%)	137,49 (26%)
Ples-EX_3_V	527,08	285,42 (54%)	43,68 (8%)	60,36 (12%)	137,63 (26%)
Ples-EN_3_V	515,96	273,40 (53%)	44,19 (8%)	60,36 (12%)	138,01 (27%)
Pporobeton-EX_3_V	514,98	272,40 (53%)	44,19 (8%)	60,36 (12%)	138,03 (27%)

Kot je bilo za pričakovati, se v vzhodni legi energija za ogrevanje v primerjavi z varianto V3_S zmanjša, se pa zato poveča energija za hlajenje. Če pa primerjamo varianto V3_V z izhodiščno varianto V3_J opazimo, da so le minimalne razlike v porabah energije za ogrevanje in hlajenje.



Slika 12: Letna poraba energije z vzhodno orientacijo

Na Sliki 12 je moč opaziti manjši porast energije za prezračevanje, kar je zopet v povezavi z energijo za hlajenje, saj bolj ko je potrebno prostor ohlajevati, bolj ga je tudi potrebno prezračevati.

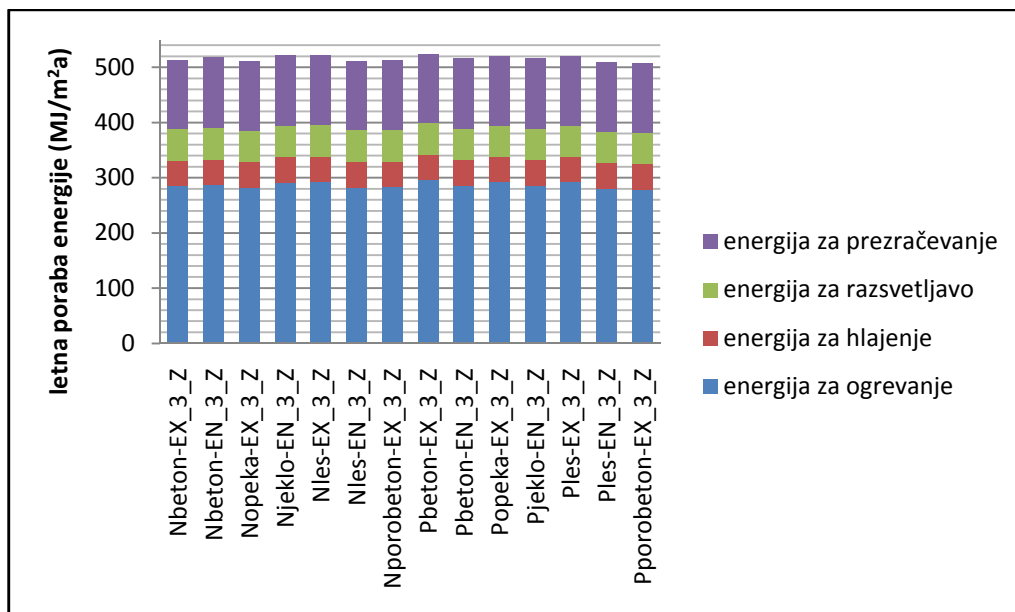
4.1.2.3 Varianta V3_Z

In kot zadnja med preglednicami z rezultati glede na orientacijo, je Preglednica 12, ki ponazarja rezultate analize ob postavitvi stene s tremi okni na zahodno stran neba.

Preglednica 12: Rezultati analize pri steni z zahodno orientacijo

Konstruktivski sklop	Celotna energija (MJ/m ² a)	Energija za gretje (MJ/m ² a)	Energija za hlajenje (MJ/m ² a)	Energija za razsvetljavo (MJ/m ² a)	Energija za prezračevanje (MJ/m ² a)
Nbeton-EX_3_Z	512,32	284,79 (56%)	45,40 (9%)	57,35 (11%)	124,78 (24%)
Nbeton-EN_3_Z	517,83	287,28 (55%)	45,98 (9%)	57,35 (11%)	127,23 (25%)
Nopeka-EX_3_Z	510,41	282,34 (55%)	45,69 (9%)	57,35 (11%)	125,04 (25%)
Njeklo-EN_3_Z	521,36	291,28 (56%)	45,64 (9%)	57,35 (11%)	127,10 (24%)
Nles-EX_3_Z	521,32	293,09 (56%)	45,40 (9%)	57,35 (11%)	125,49 (24%)
Nles-EN_3_Z	510,48	282,51 (55%)	45,67 (9%)	57,35 (11%)	124,96 (25%)
Nporobeton-EX_3_Z	511,41	282,97 (55%)	45,78 (9%)	57,35 (11%)	125,32 (25%)
Pbeton-EX_3_Z	522,98	296,04 (57%)	44,88 (9%)	57,35 (11%)	124,71 (23%)
Pbeton-EN_3_Z	516,43	285,88 (55%)	46,02 (9%)	57,35 (11%)	127,18 (25%)
Popeka-EX_3_Z	519,36	291,87 (56%)	45,24 (9%)	57,35 (11%)	124,90 (24%)
Pjeklo-EN_3_Z	516,43	285,88 (55%)	46,02 (9%)	57,35 (11%)	127,18 (25%)
Ples-EX_3_Z	520,24	291,93 (56%)	45,45 (9%)	57,35 (11%)	125,51 (24%)
Ples-EN_3_Z	508,40	280,26 (55%)	45,77 (9%)	57,35 (11%)	125,02 (25%)
Pporobeton-EX_3_Z	507,68	278,93 (55%)	45,96 (9%)	57,35 (11%)	125,45 (25%)

Čeprav sem pričakovala, da ne bo pravzaprav nikakršne razlike v primerjavi z varianto V3_V, do minimalnih sprememb vseeno pride. Nekoliko se dvigneta poraba energije za ogrevanje ter hlajenje, medtem ko se poraba energija za prezračevanje in razsvetljavo spustita. Zopet je to tudi grafično dobro prikazano s pomočjo Slike 13.



Slika 13: Letna poraba energije pri steni z zahodno orientacijo

4.2 Solarni pritoki

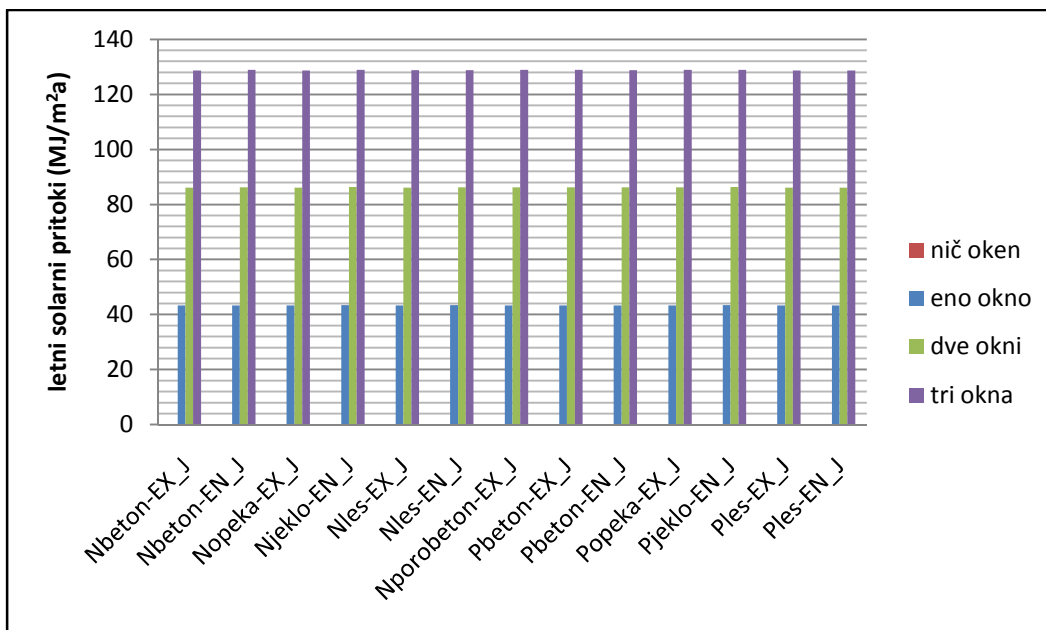
4.2.1 Vpliv količine transparentnih elementov

Kot že predhodno, sem tudi pri analizi solarnih pritokov izhodiščni varianti V0_J dodajala okna v velikosti 1,5 x 2 m ter pri vseh primerih ohranjala južno orientacijo. Zopet sem dobila rezultate podane v Preglednici 13.

Preglednica 13: Skupni letni solarni prtok skozi okna (na enoto površine tlorisa prostora)-odvisen od št. oken

Ime konstrukcijskega sklopa	Letni solarni pritoki (MJ/m ² a)			
	Nič oken	Eno okno	Dve okni	Tri okna
Nbeton-EX_J	0	43,25	86,15	128,72
Nbeton-EN_J	0	43,34	86,29	128,93
Nopeka-EX_J	0	43,25	86,14	128,73
Njeklo-EN_J	0	43,37	86,35	128,99
Nles-EX_J	0	43,35	86,32	128,95
Nles-EN_J	0	43,27	86,18	128,80
Nporobeton-EX_J	0	43,27	86,18	128,79
Pbeton-EX_J	0	43,34	86,29	128,91
Pbeton-EN_J	0	43,33	86,27	128,90
Poppeka-EX_J	0	43,32	86,27	128,88
Pjeklo-EN_J	0	43,33	86,27	128,90
Ples-EX_J	0	43,35	86,30	128,93
Ples-EN_J	0	43,26	86,15	128,76
Pporobeton-EX_J	0	43,24	86,13	128,72

Skozi rezultate lahko opazimo, da nam izbrano okno v povprečju letno prinese 43,3 MJ/m², seveda vrednosti med konstrukcijskimi sklopi nekoliko variirajo, toda govorimo o zanemarljivih razlikah.



Slika 14: Letni solarni pritoki pri steni z različnim številom oken

Na Sliki 14 lahko vidimo, da gre z večanjem števila oken pravzaprav za linearen porast solarnih pritokov, kar sem pred samo analizo tudi pričakovala.

4.2.2 Spreminjanje orientacije

Tudi tu sem varianti V3_J s tremi okni, kot pri analizi porabe energije, na obravnavani steni spreminjala smer orientacije. Rezultati so vidni v Preglednici 14.

Preglednica 14: Skupni letni solarni pritoki skozi okna (na enoto površine tlorisa prostora)-odvisen od orientacije

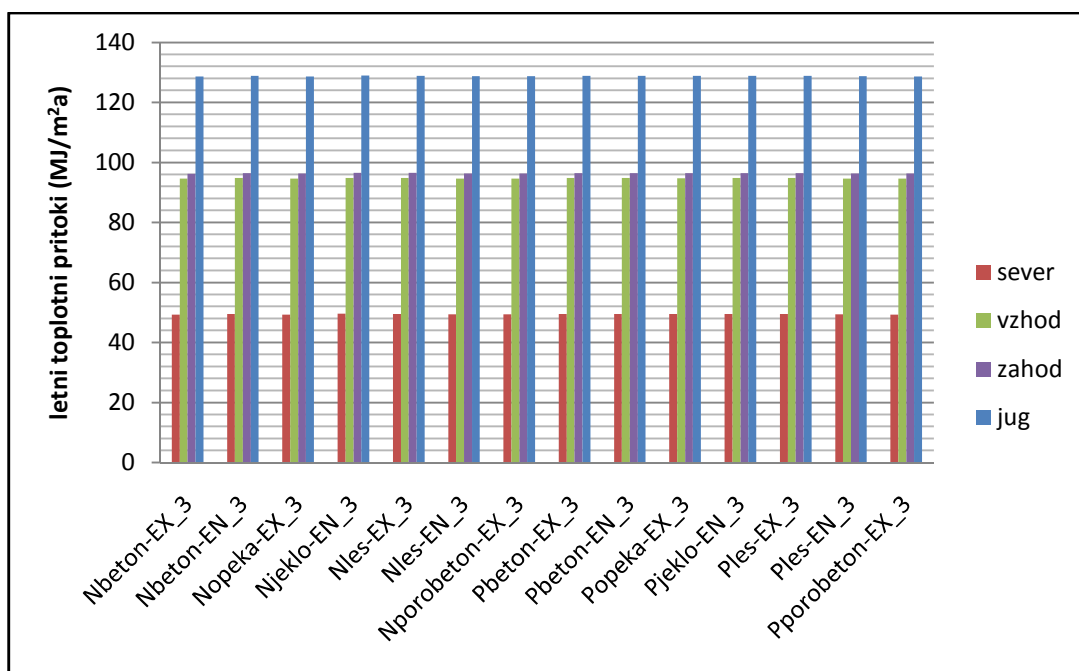
Ime konstrukcijskega sklopa	Letni toplotni pritok (MJ/m²a)			
	jug	sever	vzhod	zahod
Nbeton-EX_3	128,72	49,34	94,62	96,30
Nbeton-EN_3	128,93	49,54	94,83	96,51
Nopeka-EX_3	128,73	49,34	94,62	96,31
Njeklo-EN_3	128,99	49,60	94,90	96,57
Nles-EX_3	128,95	49,56	94,85	96,53
Nles-EN_3	128,80	49,40	94,69	96,37
Nporobeton-EX_3	128,79	49,40	94,68	96,37
Pbeton-EX_3	128,91	49,52	94,81	96,48
Pbeton-EN_3	128,90	49,52	94,81	96,49
Popeka-EX_3	128,88	49,49	94,78	96,46

Se nadaljuje...

...nadaljevanje Preglednice 14

Pjeklo-EN_3	128,90	49,52	94,81	96,49
Ples-EX_3	128,93	49,54	94,83	96,51
Ples-EN_3	128,76	49,36	94,65	96,34
Pporobeton-EX_3	128,72	49,34	94,62	96,31

Tudi tu so velike razlike, kot pri porabi energije, pri južni in severni orientaciji in dosti manjša odstopanja med vzhodno ter zahodno orientacijo, kot je dobro vidno tudi iz Slike 15.



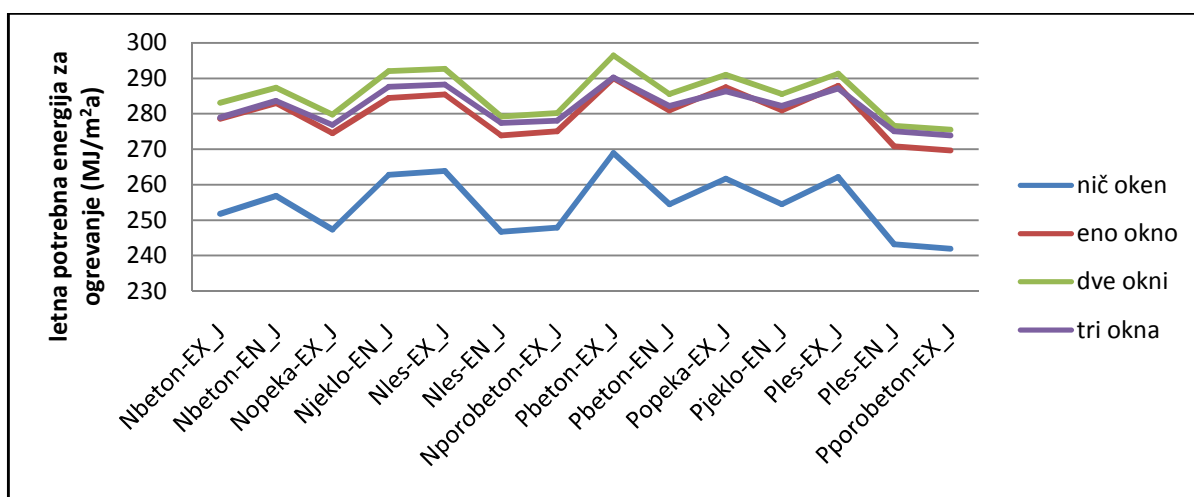
Slika 15: Letni solarni pritoki pri različni orientaciji

5 ANALIZA REZULTATOV

V nadaljevanju sledi analiza rezultatov oziroma primerjava določenih, najbolj ključnih rezultatov. Tako sem izvedla primerjavo med potrebnimi energijami in številom oken ter potrebno celotno energijo in različnimi U-faktorji.

5.1 Primerjava med energijo potrebno za ogrevanje in številom oken

Če analiziramo kaj se dogaja s potrebno energijo za ogrevanje pri različnem številu transparentnih elementov na posamezni steni, dobimo v grafični obliki rezultat podan na Sliki 16.



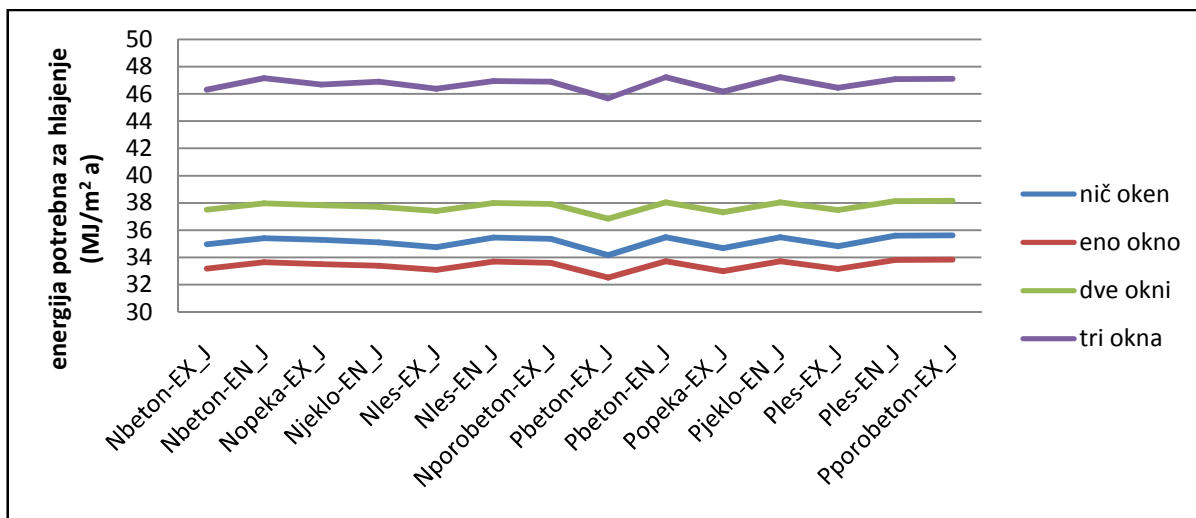
Slika 16: Letna potrebna energija za ogrevanje glede na število oken

Pričakovano daleč najmanj energije za ogrevanje potrebujemo pri steni z nič okni. Nato z nekoliko več potrebne energije sledita steni z enim in dvema oknom, pri steni s tremi okni pa se energija zopet nekoliko zmanjša. Za dobljene rezultate je »krivo« razmerje med solarnimi pritoki in transmisijskimi izgubami, ki kot razliko podajo energijo potrebno za ogrevanje prostora.

5.2 Primerjava med energijo potrebno za hlajenje in številom oken

V nadaljevanju je sledila študija, kako število oken na posamezni steni vpliva na porabo energije za hlajenje v stavbi. Po pričakovanju bi lahko rekli, da se energija potrebna za hlajenje veča s številom oken. Predvidevanja so delno pravilna, saj glede na rezultate, podane na Sliki 17, s prvim oknom energija nekoliko pade (zaradi povečanja transmisijskih izgub), naprej pa z večanjem števila oken, vrednost potrebne energije za hlajenje hitro narašča. Kot je bilo že v prejšnjem poglavju omenjeno, se

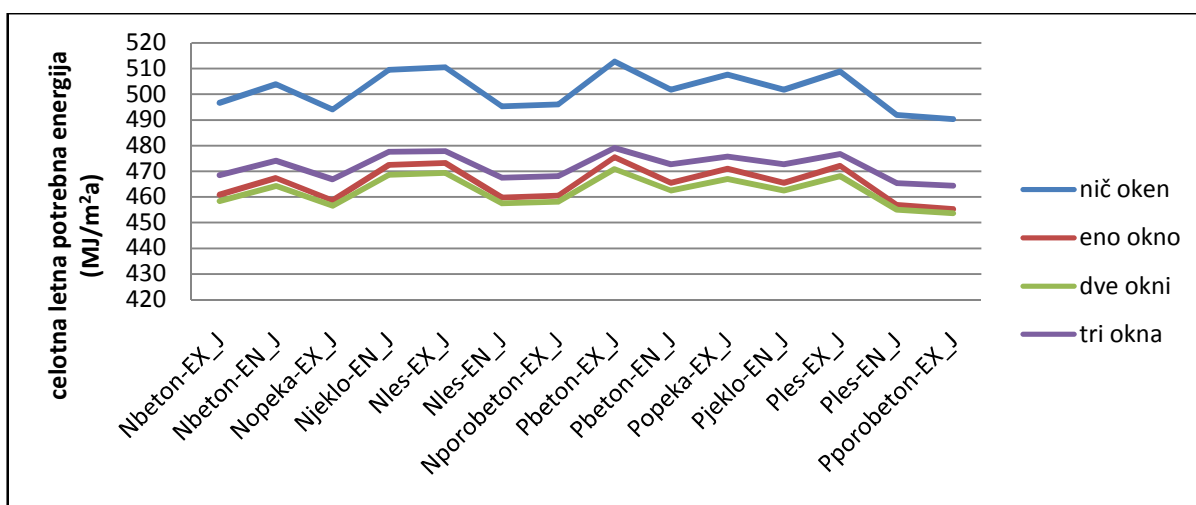
da ta problem rešiti s senčili na transparentnih elementih, ki preprečujejo pregrevanje prostora s pomočjo solarnih pritokov.



Slika 17: Letna potrebna energija za hlajenje glede na število oken

5.3 Primerjava med celotno letno potrebno energijo in številom oken

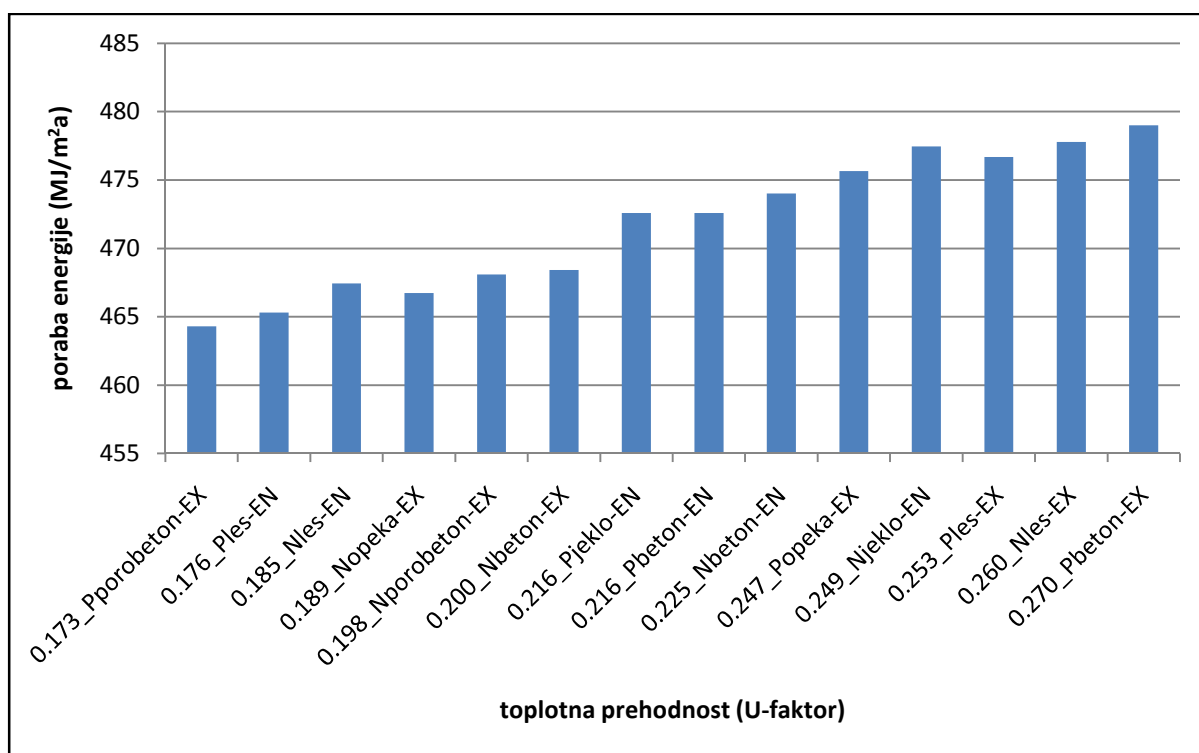
Na Sliki 18 je prikazana analiza, ki nam poda, kako na celotno porabo energije vpliva število transparentnih elementov. Opazimo sicer, da so le majhne razlike med konstrukcijskimi sklopi z enim, dvema in tremi okni, je pa vsekakor presenetljiv rezultat, da najmanj letne energije potrebuje ravno prostor z dvema oknom. Očitno je energija potrebna za hlajenje pri steni s tremi okni tako velika, da hkrati vpliva tudi na skupno potrebno energijo in ji s tem poveša vrednost.



Slika 18: Celotna letna potrebna energija glede na število oken

5.4 Primerjava med celotno letno energijo in U-faktorjem konstrukcijskega sklopa

V uvodnem delu te diplomske naloge je bilo že omenjeno, da na porabo energije v stavbi vpliva poleg orientacije, števila transparentnih elementov in drugih dejavnikov, tudi sama toplotna prehodnost (U-faktor) konstrukcijskega sklopa. Glede na to, da so omejene zgornje vrednosti U-faktorja, ki se jih moramo pri snovanju stavbe po predpisih v TSG4 [10] držati, lahko sklepamo, da višji U-faktor pomeni tudi večjo porabo energije v stavbi. Za analizo sem si izbrala varianto V3_J, ki sem jo predhodno že izbrala za izhodiščno varianto pri spreminjanju orientacije, saj zadošča kriteriju minimalne osvetljenosti prostora in s svojo južno lego potrebuje najmanjšo energijo potrebno za ogrevanje. Na Sliki 19 torej lahko vidimo kako je od U-faktorja odvisna celotna letna poraba energije.



Slika 19: Celotna letna potrebna energija glede na U-faktor konstrukcijskega sklopa

Čeprav sem mogoče pričakovala, da se bo z višanjem U-faktorja višala tudi skupna letna poraba energije, se je izkazalo, da ni čisto tako. Opazimo lahko, da v večini ta predpostavka drži, se pa pri dveh konstrukcijskih sklopih pojavita odstopanji (Nles-EN in Njeklo-EN). Na tem mestu bi lahko sklepali, da skupna poraba energije ni odvisna le od nizkega U-faktorja, ampak je odvisna tudi od drugih dejavnikov, kot sta npr. toplotna stabilnost in fazni zamik prehoda toplote skozi konstrukcijski sklop.

6 ZAKLJUČEK

Večkrat sem že omenila kako pomembno je pri sami zasnovi stavbe biti pozoren na razne dejavnike, ki omogočajo zgraditi varčno oziroma tako imenovano skoraj nič-energijsko stavbo. Vsak dejavnik zase je dojemljiv in nimamo nikakršnih problemov razumeti delovanje le tega, ko pa moramo iz večih dejavnikov zasnovati stavbo, ki bo iz vseh pogledov racionalna, je to malo težje.

Ob pogledu na rezultate pri spreminjanju števila transparentnih elementov in orientacije, sem tako skušala združiti oba dejavnika, skupno iskala najboljšo rešitev in ugotovila naslednje. Čeprav sem pred samo analizo pričakovala, da bo v vseh pogledih najbolj ustrezna rešitev s tremi okni, se je izkazalo nasprotno, kajti prostor, katerega del je stena z dvema oknoma, ima najmanjšo skupno porabo energije v letu. Poleg visoke celotne porabe energije potrebujemo tudi precej energije za ogrevanje in hlajenje v primerjavi z drugimi konstrukcijskimi sklopi. Sicer površina oken, ki predstavljata le 13 % tlorisne površine prostora, ne ustreza minimalnim zahtevam osvetljenosti prostora, zato bi bilo najbrž vseeno bolje vgraditi tri okna, ter imeti zadostno količino naravne svetlobe, v zakup pa vzeti nekoliko višjo skupno letno porabo energije (približno $10 \text{ MJ/m}^2\text{a}$), katere vrednost bi npr. z ustreznimi senčili in uporabo obnovljivih virov lahko zelo zmanjšali.

V analizi sem ugotovila tudi, da na letno porabo energije delno vpliva tudi toplotna prehodnost (U-faktor), toda ob zavedanju, da z nizkim U-faktorjem ne dosežemo nujno nizke porabe energije. Na tem mestu se je pomembno zavedati, kakšne materiale smo pri gradnji uporabili in kakšne so njihove lastnosti poleg toplotne prevodnosti, ki tudi vplivajo na porabo energije.

Pri orientaciji stene s tremi okni je vsekakor najboljša rešitev z južno lego, vsaj kar se skupne letne porabe energije ter energije potrebne za ogrevanje tiče. Slabost je le v tem, da potrebuje prostor pri tej orientaciji v primerjavi z drugimi zelo veliko energije za hlajenje, sicer bi bila skupna energija še nižja. To bi vsekakor zopet lahko dosegli s senčili na oknih in z naravnim prezračevanjem.

Vsi ti faktorji, kar je več kot očitno, zelo vplivajo na porabo energije, nanje pa bomo morali biti še kako pozorni, če se bo dejstvo, da bodo po letu 2020 morale biti vse nove stavbe skoraj nič-energijske in za vzdrževanje v večini uporabljati samo obnovljive vire energije, res uresničilo.

VIRI

[1] Comfen. 2013

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

(Pridobljeno 16. 4. 2013.)

[2] 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.

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

str. 13 (Pridobljeno 15. 4. 2013.)

[3] Energap. 2013

<http://www.energap.si/?viewPage=75>

(Pridobljeno 12. 7. 2013.)

[4] Fragmat. 2013

<http://www.fibran.si/frontend/articles.php?cid=44&scid=47>

(Pridobljeno 17. 3. 2013.)

[5] Kristl, Ž. 2012. Vertikalni konstrukcijski sklopi. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Katedra za stavbe in konstrukcijske elemente

<http://www.kske.fgg.uni-lj.si>

(Pridobljeno 3. 10. 2012.)

[6] Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj.

Uradni list RS št. 1/2011 z dne 7.1.2011

<http://www.uradni-list.si/1/content?id=101837>

(Pridobljeno 16. 6. 2013.)

[7] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. Uradni list RS, št. 52/2010 z dne 30.6.2010

<http://www.uradni-list.si/1/objava.jsp?urlid=201052&stevilka=2856>

(Pridobljeno 16. 3. 2013.)

[8] Riko Hiše. 2013

<http://www.riko-hise.si/si/prerezi-zunanjih-sten>

(Pridobljeno 12. 5. 2013.)

[9] Szokolay, S. V., 2008. Introduction to Architectural Science: The Basis of Sustainable Design.
str. 35, 39

[10] Tehnična smernica TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije. Ministrstvo za okolje in prostor.
www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/graditev/TSG-01-004_2010.pdf

(Pridobljeno 15. 3. 2013.)

[11] URSA Gradbena Fizika 4.0-1.01.2013

<http://ursa.tmedia.biz/si/fizika/>

(Pridobljeno 7. 5. 2013.)

[12] U.S. Department of Energy. Office of Energy Efficiency & Renewable Energy. EnergyPlus.2013

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

(Pridobljeno 15. 4. 2013.)

[13] Ytong. 2013

http://www.ytong.si/si/content/zunanji_zidovi_1318.php

(Pridobljeno 12. 5. 2013.)