

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:

Nahtigal, M., 2015. Energetska prenova večstanovanjske stavbe in njen vpliv na osvetljenost bivalnih prostorov. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M., somentor Kunič, R.): 27 str.

Datum arhiviranja: 29-09-2015

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:

Nahtigal, M., 2015. Energetska prenova večstanovanjske stavbe in njen vpliv na osvetljenost bivalnih prostorov. B.Sc Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M., co-supervisor Kunič, R.): 27 pp.

Archiving Date: 29-09-2015

Univerza  
v Ljubljani

Fakulteta za  
*gradbeništvo in  
geodezijo*

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



UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM PRVE STOPNJE  
GRADBENIŠTVO

Kandidatka:

**MARUŠA NAHTIGAL**

**ENERGETSKA PRENOVA VEČSTANOVANJSKE  
STAVBE IN NJEN VPLIV NA OSVETLJENOST  
BIVALNIH PROSTOROV**

Diplomska naloga št.: 180/B-GR

**ENERGY RETROFIT OF SMALL MULTI-FAMILY  
BUILDING AND ITS INFLUENCE ON DAYLIGHTING**

Graduation thesis No.: 180/B-GR

**Mentor:**

doc. dr. Mitja Košir

**Somentor:**

doc. dr. Roman Kunič

Ljubljana, 29. 06. 2015

## **STRAN ZA POPRAVKE, ERRATA**

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

## IZJAVE

Podpisana Maruša Nahtigal izjavljam, da sem avtorica diplomske naloge z naslovom **»Energetska prenova večstanovanjske stavbe in njen vpliv na osvetljenost bivalnih prostorov«**.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Šentjanž, 28.4.2015

Maruša Nahtigal

## **BIBLIOGRAFSKO - DOKUMENTACIJSKA STRAN Z IZVLEČKOM**

<b>UDK:</b>	<b>662.99:728.2(497.4)(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Maruša Nahtigal</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Mitja Košir</b>
<b>Somentor:</b>	<b>doc. dr. Roman Kunič</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Energetska prenova večstanovanjske stavbe in njen vpliv na osvetljenost bivalnih prostorov</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Diplomska naloga – univerzitetni študij</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>27 str., 16 pregl., 6 sl., 4 graf., 1 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>Prenova, toplotna izolacija, potrebna toplota za ogrevanje, okna, dnevna osvetljenost, faktor g, faktor <math>\tau_v</math>, faktor U</b>

### **Izveček:**

Ker je energetska učinkovitost stavb danes upravičeno zelo aktualna tema, sem v diplomski nalogi za manjši večstanovanjski objekt preučila možnosti energetske sanacije le-tega in vpliv možnih sanacijskih ukrepov na dnevno osvetljenost v izbranih prostorih. Preverila sem tudi do kakšnih razlik prihaja, če želim s stavbnim toplotnim ovojem zagotoviti različne stopnje izolativnosti. Uporabila sem pet izolacijskih materialov z različno toplotno prevodnostjo in štiri tipe oken, ki se med seboj razlikujejo glede na tip zasteklitve in material okvira.

Ugotovila sem, da je z letno potrebno toploto za ogrevanje stavbe zelo težko ugoditi zakonskim zahtevam ter da na količino dnevne svetlobe v prostorih najbolj vpliva debelina dodatne toplotne izolacije in transparentnost stekla  $\tau_v$ . Z obravnavanimi kombinacijami sanacijskih ukrepov lahko količino dnevne svetlobe v referenčnih prostorih zmanjšam za 5,7% do 37,9%.

Presenetljivo je, da večina proizvajalcev oken svoje izdelke oglašuje le z vrednostjo toplotne prevodnosti  $U$ , o faktorju  $\tau_v$  pa laičnim strankam ostane zamolčano.

**BIBLIOGRAPHIC - DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 662.99:728.2(497.4)(043.2)

**Author:** Maruša Nahtigal

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

**CO-supervisor:** Assist. Prof. Roman Kunič, Ph.D.

**Title:** Energy retrofit of small multi-family building and its influence on daylighting.

**Document type:** Graduation Thesis – University studies

**Notes:** 27 p., 16 tab., 6 fig., 4 graph., 1 ann.

**Key words:** Energy, retrofit, thermal insulation, needed energy for heating, window, daylight illumination, g – value,  $\tau_v$  – factor, U - value

**Abstract:**

The energy efficiency of buildings is a very current topic, so in my graduation thesis, I decided to analyze the potential for energy retrofit of a small multi-family building and also how to provide more daylight in the spaces. I checked the differences between different levels of insulation, provided by building's thermal envelope. I used five thermal insulation products with different thermal resistance and four windows with different glass type and frame material.

I discovered that it is almost impossible to achieve the law requirements with the annual needed energy to heat up a building and that the amount of daylight in spaces depends on the thickness of extra thermal insulation and transparency of the window glass  $\tau_v$ . With the used combinations of retrofit measures, I can reduce the amount of daylight in referential spaces from 5,7% to 37,9%.

It is surprising to see that the majority of window manufacturers promote their products only with the information of the heat transfer coefficient U but the buyer gets almost no information about the factor  $\tau_v$ .

## **ZAHVALA**

Najlepša hvala mentorju doc. dr. Mitji Koširju za ves posvečen čas, nasvete in strokovno pomoč ter somentorju doc. dr. Romanu Kuniču za sodelovanje pri pisanju diplomske naloge.

Posebna zahvala pa gre vsekakor staršem in mojim bližnjim, Maticu, prijateljem in sošolcem za podporo in pomoč skozi celoten študij.

**KAZALO VSEBINE**

<b>1</b>	<b>UVOD .....</b>	<b>1</b>
1.1	CILJI NALOGE .....	2
1.2	PREGLED LITERATURE.....	3
1.2	HIPOTEZI.....	5
1.3	RAZLAGA OSNOVNIH POJMOV .....	5
1.4	ZAKONODAJNE ZAHTEVE .....	6
1.4.1	<i>Pravilnik o učinkoviti rabi energije 2010.....</i>	6
1.4.2	<i>Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije .....</i>	6
1.4.3	<i>Akcijski načrt za skoraj nič-energijske stavbe za obdobje do leta 2020 .....</i>	7
1.4.4	<i>Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj .....</i>	7
1.5	OPIS PROGRAMSKE OPREME .....	8
<b>2</b>	<b>ANALIZA OBSTOJEČEGA STANJA.....</b>	<b>9</b>
2.1	OPIS STAVBE .....	9
2.2	METODA ANALIZE.....	11
2.3	TRENTNO ENERGETSKO STANJE OBJEKTA .....	14
2.4	ANALIZA TRENTNE OSVETLJENOSTI BIVALNIH PROSTOROV .....	14
<b>3</b>	<b>REZULTATI.....</b>	<b>16</b>
<b>4</b>	<b>PRIMERJAVA REZULTATOV.....</b>	<b>19</b>
4.1	PRIMERJAVA REZULTATOV GLEDE NA RAZLIČNE VREDNOSTI FAKTORJEV TOPLOTNE PREHODNOSTI U .....	19
4.3	PRIMERJAVA REZULTATOV GLEDE NA KOLIČINO DNEVNE SVETLOBE V PROSTORIH .....	21
<b>5</b>	<b>ZAKLJUČKI .....</b>	<b>23</b>



## KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Največje dovoljene toplotne prehodnosti $U_{max}$ za posamezne gradbene elemente toplotnega ovoja, ki jih določa TSG4 [6].	7
Preglednica 2: Dimenzije posameznih con.	10
Preglednica 3: Sestava konstrukcijskih sklopov v enotah E1 in E2 in njihovi U faktorji.	11
Preglednica 4: Lastnosti starih in novih oken.	12
Preglednica 5: Vrednosti uporabljene v računu energetske bilance stavbe.	13
Preglednica 6: Refleksivnosti površin uporabljene v analizi.	14
Preglednica 7: Rezultati energetske bilance obstoječega objekta in zahteve pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah PURES 2010.	14
Preglednica 8: Lastnosti referenčnih prostorov za analizo vrednosti KDS.	14
Preglednica 9: Povprečna vrednost KDS in grafičen rezultat analize osvetljenosti za posamezen prostor.	15
Preglednica 10: Toplotne prevodnosti materialov in potrebne debeline dodatne toplotne izolacije pri določenem faktorju U za enoto E1.	16
Preglednica 11: Toplotne prevodnosti materialov in potrebne debeline dodatne toplotne izolacije pri določenem faktorju U za enoto E2.	16
Preglednica 12: Koeficienti specifičnih transmisijskih toplotnih izgub skozi površino toplotnega ovoja stavbe in vrednosti letne potrebne toplote za ogrevanje stavbe na enoto kondicionirane uporabne površine za vse kombinacije U faktorjev in različnih oken v primerjavi z zakonsko zahtevanimi vrednostmi.	17
Preglednica 13: Koeficienti specifičnih transmisijskih toplotnih izgub skozi površino toplotnega ovoja stavbe in vrednosti letne potrebne toplote za ogrevanje stavbe na enoto kondicionirane uporabne površine za dodatni primer z minimalnim zračenjem.	17
Preglednica 14: Povprečni KDS v referenčnih prostorih pri posameznem oknu in zmanjšanje KDS glede na dejansko stanje.	18
Preglednica 15: Odvisnost U faktorja KS od debeline bakelitne plošče, ki je dodana KS zunanje stene v enoti E1.	20
Preglednica 16: Cene izvedene fasade glede na vrsto TI. Cene vključujejo stroške vseh materialov, dela, najema odra in tudi DDV.	24

**KAZALO GRAFIKONOV**

Grafikon 1: Potrebne debeline dodatne toplotne izolacije za enoto E1. ....	19
Grafikon 2: Potrebne debeline dodatne toplotne izolacije za enoto E2. ....	20
Grafikon 3: Grafični prikaz odvisnosti U faktorja KS in debeline bakelitne plošče, ki je dodana KS zunanje stene v enoti E1. ....	21
Grafikon 4: KDS v odvisnosti od debeline dodatne TI za posamezno okno v posameznem prostoru. ....	22

## KAZALO SLIK

Slika 1: Uporabna površina stavb po posamezni skupini CC-SI enotne klasifikacije objektov v Sloveniji (Vir slike: [4]).....	2
Slika 2: Različne kombinacije debeline KS ovoja stavbe in tipov oken, ki so jih uporabili v analizi dnevne osvetljenosti pisarniških prostorov. (Vir slike: [10]).....	3
Slika 3: Povprečne mesečne vrednosti g faktorja in faktorja $\tau_v$ za posamezne tipe oken na južni fasadi v Štokholmu. (a) dvojna zasteklitev brez dodatnih nanosov, (b) dvojna zasteklitev z enim low-e slojem, (c) dvojna zasteklitev z enim low-e slojem in enim AR nanosom, (d) dvojna zasteklitev z enim low-e slojem in dvema AR nanosoma, (e) trojna zasteklitev z dvema low-e slojema in tremi AR nanosi. (Vir slike: [11]).....	4
Slika 4: Manjša večstanovanjska stavba deljena na enoto 1 (E1) in enoto 2 (E2). ....	9
Slika 5: Razdelitev objekta na štiri cone z enakimi lastnostmi. ....	10
Slika 6: Barvna lestvica vrednosti količnika dnevne osvetljenosti iz programa [16].....	15

## OKRAJŠAVE IN SIMBOLI

EU – Evropska unija

sNES – skoraj nič-energijske stavbe

AN sNES akcijski načrt za skoraj nič-energijske stavbe za obdobje do leta 2020

PURES 2010 – Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah, 2010

sNES prenova – skoraj nič-energijska prenova

TSG4 – Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije

OVE – obnovljivi viri energije

U – toplotna prehodnost konstrukcijskega sklopa ali gradbenega elementa [ $W/m^2K$ ]

KS – konstrukcijski sklop

$\tau_v$  – prepustnost zasteklitve za vidni del svetlobe, transparentnost [%]

EPS – ekspandirani polistiren

KDS – količnik dnevne svetlobe [%]

TI – toplotna izolacija

## 1 UVOD

Prva bivališča so znana že iz obdobja neolitika, ko je človek postal poljedelec in se je začel ustaljevati na izbranem območju. Želeli so se zaščititi pred vremenskimi vplivi in ustvarili so si dom, kjer so se počutili prijetno in varno. Primaren razlog za gradnjo današnjih stanovanj je popolnoma enak. Ljudje si s pomočjo nosilne konstrukcije in stavbnega ovoja oblikujemo bivalne prostore, ki nam nudijo zaščito pred okoljem, zadovoljevanje osnovnih življenjskih potreb in nam zagotavljajo določeno mero zasebnosti. Glede na to, da smo z današnjim tempom in načinom življenja primorani 80-90% življenja preživeti v notranjem okolju, je še toliko bolj pomembno kvalitetno bioklimatsko načrtovanje stavb [1].

Kvaliteta stavbnega ovoja, s katerim ločimo notranjost od zunanosti, je zelo pomembna za udobje bivanja v notranjem prostoru, na katerega vplivamo tako z izbiro toplotne izolacije, kot tudi vrsto in velikostjo oken. S čim manjšo porabo energije si želimo zagotoviti svetle, primerno kondicionirane, prezračevane, nehrupne in suhe prostore.

Tematika energetske učinkovitosti stavb je danes zelo aktualna, saj 40% vse energije v EU porabi stavbni sektor. Ta se veča, zato bi moralo priti do še večje porabe energije. Zaradi tega predstavljata zmanjšanje porabe energije in raba energije iz obnovljivih virov v stavbnem sektorju pomembna ukrepa, potrebna za zmanjšanje energetske odvisnosti EU in emisij toplogrednih plinov [2]. Cilj EU je do leta 2020 zmanjšati skupno porabo energije za 20%. V evropskem parlamentu menijo, da je velik neizkoriščen potencial za doseganje tega cilja prav v stavbnem sektorju, zato so 19. maja 2010 izdali prenovljeno Direktivo o energetske učinkovitosti stavb (EPBD-r), ki državam članicam med drugim narekuje uvedbo nacionalnih načrtov za povečanje števila skoraj nič-energijskih stavb in energetske certificiranje stavb in stavbnih enot.

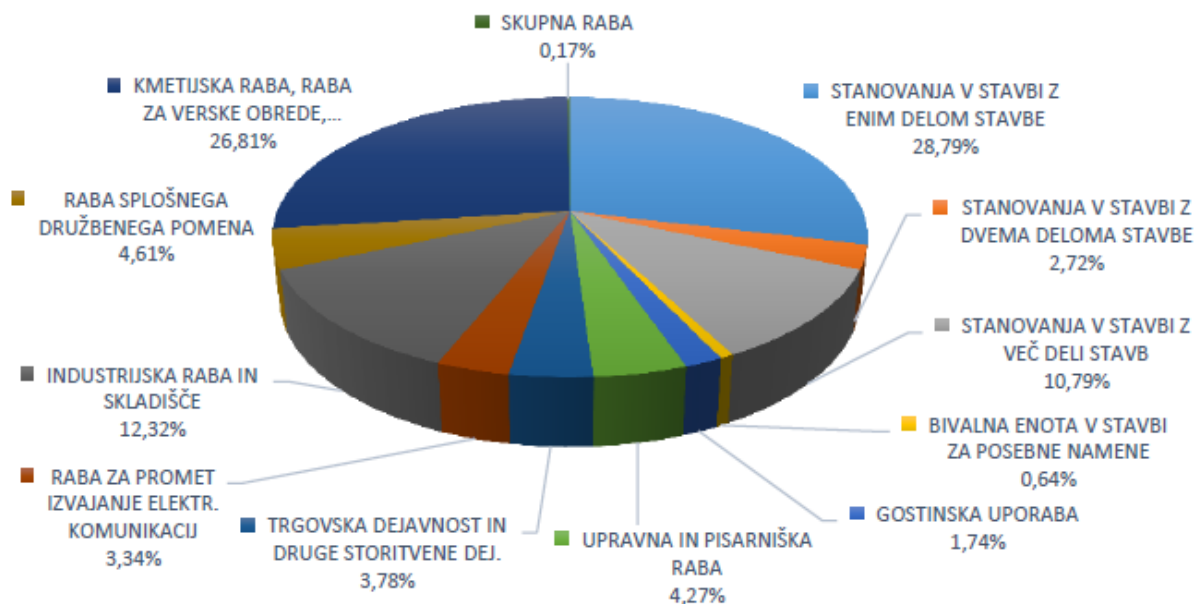
Na podlagi te direktive je Ministrstvo za okolje in prostor 1. julija 2010 v veljavo poslalo Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah [3], Ministrstvo za infrastrukturo pa je v letu 2014 izdalo Akcijski načrt za skoraj nič-energijske stavbe do leta 2020 [4] in Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetske izkaznice stavb [5]. Pomemben dokument v slovenski zakonodaji na področju učinkovite rabe energije je tudi Tehnična smernica za graditev TSG-1-004: Učinkovita raba energije [6], ki določa gradbene ukrepe oziroma rešitve za doseganje zahtev iz PURES-a 2010 in določa metodologijo izračuna energijskih lastnosti stavbe. Uporaba tehnične smernice je obvezna.

Z napredkom tehnologije izdelave okenskega stekla v 20. stoletju so se izboljšale toplotne izolativnosti oken, kar danes omogoča gradnjo z večjimi steklenimi površinami. Njihova največja prednost je večje osvetljevanje prostorov z dnevno svetlobo, ki ugodno vpliva na počutje uporabnika stavbe, hkrati pa zmanjšuje porabo energije, ki jo sicer potrebujemo za umetno osvetljevanje. Z inženirskega vidika je svetlobno ugodje zagotovljeno, če oseba v prostoru lahko nemoteno opravlja dela, pri katerih je vid najpomembnejši način zaznavanja okolice [7].

Pravilnika, ki bi izrecno obravnavala osvetljevanje prostorov z dnevno svetlobo v stavbah v Sloveniji še nimamo. Nekatero zahtevo iz tega področja so na kratko obravnavane v Pravilniku o minimalnih pogojih za stanovanja [8], Pravilniku o minimalnih zahtevah v vrtcih [9] in pravilnikih, ki obravnavajo pogoje na delovnih mestih.

Definicija sNES obsega določitev minimalnih zahtev glede največjih dovoljenih potreb za ogrevanje, hlajenje oz. klimatizacijo, pripravo tople vode in razsvetljavo v stavbi v skladu z gradbeno tehnično zakonodajo (PURES 2010), določitev največje dovoljene rabe primarne energije v stavbi ter določitev najmanjšega dovoljenega deleža obnovljivih virov energije v skupni dovedeni energiji za delovanje stavbe [4].

Iz strukture obstoječega stavbnega fonda v Sloveniji je razvidno, da smo Slovenci izrazito nagnjeni k bivanju v enodružinskih hišah, ki predstavljajo skoraj 30% vseh objektov v državi (Slika 1). Kar 89% stanovanjskega stavbnega fonda glede na število stavb predstavljajo enodružinske hiše [4]. Glede na to, da je število novogradenj od leta 2006 izrazito padlo, AN sNES opredeljuje potencialne za sNES prenove pri celoviti prenovi obstoječih stavb, to so enostanovanjske, večstanovanjske, javne in ostale nestanovanjske stavbe ter javne stavbe osrednje vlade. S predvidenim scenarijem sNES prenov bo do leta 2030 prenovljenih preko 45.000 enostanovanjskih stavb in preko 1.100 večstanovanjskih stavb [4].



Slika 1: Uporabna površina stavb po posamezni skupini CC-SI enotne klasifikacije objektov v Sloveniji (Vir slike: [4])

Ključni ukrepi v podporo uresničitvi zastavljenih ciljev pri prenovi obstoječih enostanovanjskih in večstanovanjskih stavb so predvsem: finančne spodbude, zagotavljanje virov povratnih sredstev za financiranje sNES prenov, informiranje lastnikov in upravnikov stavb, razvoj stimulatивne davčne politike za sNES prenove, navezava na sheme podpor za oskrbo s toploto iz OVE, finančne pomoči za ranljive skupine prebivalstva, itn. [4].

## 1.1 Cilji naloge

Za izbran manjši večstanovanjski objekt bom najprej ocenila trenutno energetsko stanje objekta in podala predloge za obnovo stavbnega ovoja, s katerim bom poskušala zadostiti zahtevam o toplotni zaščiti po PURES 2010. S toplotno zaščito površine ovoja stavbe želimo zmanjšati prehod energije skozi površino toplotnega ovoja stavbe, zmanjšati podhlajevanje ali pregrevanje stavbe, zagotoviti tako sestavo gradbenih konstrukcij, da ne prihaja do poškodb ali drugih škodljivih vplivov zaradi difuzijskega prehoda vodne pare in uravnati zrakotesnost stavbe [3].

V parametrični analizi bom uporabila pet različnih izolacijskih materialov in štiri različne tipe oken. Iskala bom kombinacijo sanacijskih ukrepov, s katerimi bom poskušala zadostiti zahtevam za sNES. Zanimalo me bo tudi kakšni ukrepi bi bili potrebni za doseganje še manjših U faktorjev in do katere meje je U faktor sploh še smiselno zmanjševati.

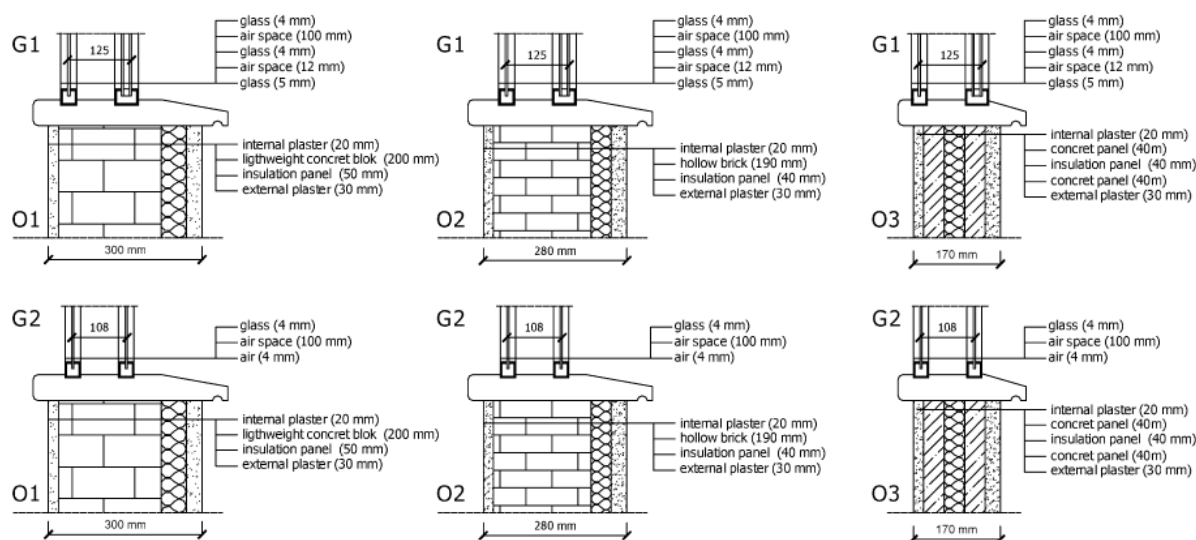
V nalogi želim preučiti obseg potencialnih negativnih vplivov ukrepov za izboljšanje energetske učinkovitosti obstoječe stavbe na osvetljenost bivalnih prostorov. Pri tem bom upoštevala vpliv debeline stavbnega ovoja, dimenzije okenskih prečnikov in pokončnikov ter lastnosti zasteklitve.

PURES 2010 določa, da je pri sNES prenovi potrebno rešiti tudi vprašanje o načinu ogrevanja, hlajenja in priprave tople vode ter vsaj 25% končne energije, ki se porabi za delovanje vseh sistemov v stavbi, nadomestiti z energijo, ki jo pridobimo iz obnovljivih virov [3]. Tega v okviru diplomske naloge ne bom obravnavala.

## 1.2 Pregled literature

Na temo energetske sanacije in njenega vpliva na notranjo dnevno osvetljenost je bilo izvedenih že kar nekaj študij.

Turški avtorji članka [10] z naslovom *Učinki fasadnih alternativ na dnevno osvetljenost v pisarnah* so preučevali osvetljenost prostora v odvisnosti od orientacije objekta, dneva v letu, zunanjih ovir, tipa oken, transparentnosti zasteklitve ter debeline stenskih konstrukcijskih sklopov (KS). Kombinacije vseh KS in različnih oken so prikazane na Slika 2.

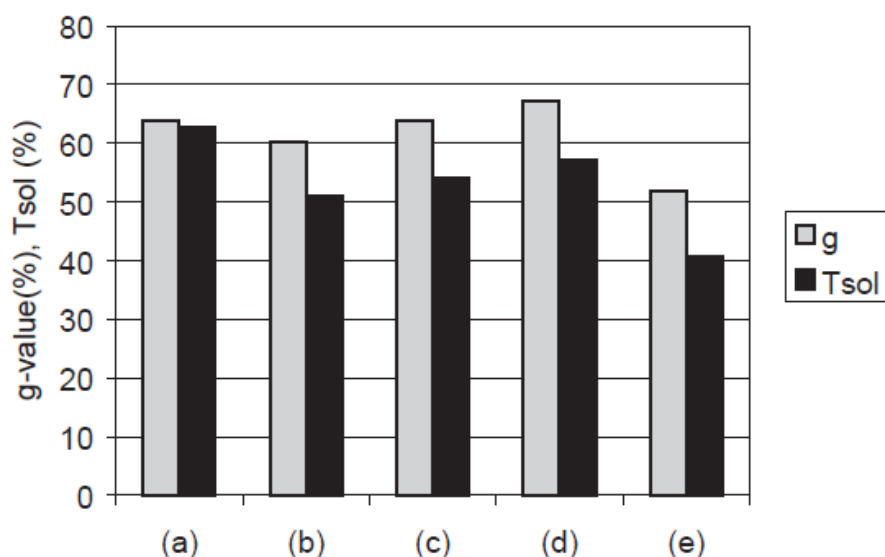


Slika 2: Različne kombinacije debeline KS ovoja stavbe in tipov oken, ki so jih uporabili v analizi dnevne osvetljenosti pisarniških prostorov. (Vir slike: [10])

Rezultati so pokazali, da na dnevno osvetljenost prostora najbolj vplivajo dan v letu oz. velikost vpadnega kota sončnih žarkov, orientiranost fasade, velikost in pozicija zunanjih ovir ter prepustnost svetlobe  $\tau_v$  oz. transparentnost zasteklitve, medtem ko je vpliv debeline stene in tipa oken v danem primeru zanemarljiva. Prostori so bili bolje osvetljeni junija kot decembra in tisti, ki so bili orientirani na vzhod ali jug in ne na zahod ali sever. Seveda so rezultati pokazali boljše rezultate v primerih, ko pred obravnavanim objektom ni bilo ovir. Pomembno je tudi razmerje med širino prostora in transparentnostjo zasteklitve, ki se mora

večati z večjo širino prostora, če želimo zagotoviti ustrezno osvetljenost delovne površine na območju miz po celotni pisarni.

Nedvomno pa ima tip zasteklitve velik vpliv na energetske učinkovitost oken. Medstekelni prostor pri večslojnih oknih najpogosteje polnijo z argonom, za še dodatno izboljšanje toplotne izolativnosti na notranjo stran vsaj enega od stekel nanesejo nizko-emisijski premaz (low-e), ki pa obenem zmanjša koeficient transmisivnosti tako za vidni, kot tudi za celotni sončni spekter. Kako doseči večji prehod dnevne svetlobe ob nespremenjenem U faktorju so raziskovali švedski strokovnjaki na primeru tipične skandinavske vrstne hiše v članku [11] z naslovom *Večji izkoristek sončne energije in dnevne svetlobe z uporabo anti-refleksijskega (AR) premaza v nizko-emisijskih oknih*. Pri dvojno zastekljenih oknih z enim low-e premazom se lahko z nanosom AR sloja na obe stekli transmisivnost poveča tudi do 15%, pri čemer U faktor ostane praktično nespremenjen. Rezultati raziskave za Stockholmsko podnebje so pokazali, da se z dodajanjem low-e prevleke na eno od dveh stekel letne energijske izgube pri izbranem objektu zmanjšajo iz 65 na 56 kWh/m<sup>2</sup> in na 55 kWh/m<sup>2</sup>, če dodamo še AR nanos [11]. Odvisnost faktorjev g in  $\tau_v$  od tipa zasteklitve je prikazana na spodnji sliki (Slika 3).



Slika 3: Povprečne mesečne vrednosti g faktorja in faktorja  $\tau_v$  za posamezne tipe oken na južni fasadi v Stockholmu. (a) dvojna zasteklitev brez dodatnih nanosov, (b) dvojna zasteklitev z enim low-e slojem, (c) dvojna zasteklitev z enim low-e slojem in enim AR nanosom, (d) dvojna zasteklitev z enim low-e slojem in dvema AR nanosoma, (e) trojna zasteklitev z dvema low-e slojema in tremi AR nanosi. (Vir slike: [11])

Simulacije z računalniškim programom ParaSol so pokazale, da se lahko letne toplotne izgube zaradi zamenjave navadnih dvoslojnih oken z zasteklitvijo brez posebnih nanosov z okni, ki imajo na enem od stekel nanesen low-e sloj, zmanjšajo za 12-14% pri normalno velikih oknih v obstoječih vrstnih hišah, kjer predstavlja zastekljena površina približno 10% tlorisne površine. Z zamenjavo oken hkrati zmanjšamo poletno pregrevanje prostorov, kar pomeni tudi nižje energijske stroške [11].

Poleg prihrankov pri energiji, ki je potrebna za delovanje sistemov v stavbi, je eden glavnih ciljev sNES prenove zagotoviti tudi udobje bivanja. Kljub temu pa je, glede na raziskavo danskega strokovnjaka K. Gram-Hanssen, še vedno prioriteta večine lastnikov hiš notranja



prenova prostorov, kot so kuhinje in kopalnice. S pomočjo anket, intervjujev in že izvedenih raziskav je avtor prišel do zaključka, da je vrsta in obseg prenove stanovanja oz. hiše odvisen od posameznikove mentalitete, razpoložljivega denarja in časa. Večina pri odločitvi za prenovo ne da poudarka na dejstvo, da se vložena sredstva za prenovo stavbnega ovoja povrnejo v določenem času, medtem ko se strošek prenove kuhinje in kopalnice ne povrne nikoli. Za prenovo notranjih prostorov se odločijo zato, ker si želijo spremembe in modernizacije pohištva in tehnike, s čimer se lahko pokažejo pred prijatelji, medtem ko se za prenovo strehe, fasade in oken odločijo le v primeru, ko je zamenjava potrebna zaradi dotrajanosti. Danska se v želji po zmanjšanju porabe energije poslužuje visokih energijskih taks. Na ta način jim je v zadnjih tridesetih letih uspelo porabo energije zmanjšati za 16%. Glede na to, da je večina anketirancev močno navezanih na svoj dom in želijo večino del na objektu opraviti sami, avtor podpira razvoj naredi-si-sam izdelkov na tem področju, ki bi dodatno vzpodbudili lastnike stavb k prenovi stavbnega ovoja, ta pa bi za njih hkrati bila tudi finančno ugodnejša [12].

## 1.2 Hipotezi

Na podlagi strokovne literature in Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah 2010 predpostavljam naslednji hipotezi:

1. *Obstoječi objekt ne zagotavlja učinkovite rabe energije, kot jo predpisuje PURES 2010 [3].*
2. *Energetsko sanacijski ukrepi na stavbnem ovoju objekta negativno vplivajo na osvetljenost bivalnih prostorov. Večji vpliv imajo lastnosti oken, vpliv debeline konstrukcijskega sklopa zunanjih sten je zanemarljiv.*

## 1.3 Razlaga osnovnih pojmov

**Low-e okna** = nizko-emisijska okna, ki imajo na notranji strani vsaj enega od stekel nanaseno zelo tanko in na mehanske poškodbe občutljivo funkcionalno plast, največkrat je to 10 nm debel nanos srebra [13].

**Količnik dnevne svetlobe KDS** = razmerje med osvetljenostjo izbrane točke v notranjosti in osvetljenostjo zunanje točke nad katero se neovirano razprostira polovica hemisfere pri oblačnem nebu. Vrednost je neodvisna od položaja Zemlje in s tem datuma opazovanja. Enota je [%].

**Primarna energija** = energija primarnih energijskih virov – premoga v rudniku, zemeljskega plina na črpališču, uranova ruda, energija sončnega sevanja, geotermalna energija, biomasa, kinetična energija vetra, potencialna energija vode,... [7].

**Kondicionirana površina** = neto zaprta greta/hlajena površina znotraj toplotnega ovoja stavbe [4].

**Faktor g** = delež prehoda celotnega sončnega sevanja skozi zasteklitev.

## 1.4 Zakonodajne zahteve

### 1.4.1 Pravilnik o učinkoviti rabi energije 2010

PURES 2010 se uporablja pri gradnji novih stavb in rekonstrukciji stavbe oziroma njenega posameznega dela, kjer se posega v najmanj 25% površine toplotnega ovoja, če je to tehnično izvedljivo [3].

Pravilnik v 7. členu določa, da je energijska učinkovitost stavbe dosežena, če je izpolnjenih 5 pogojev, ki definirajo zgornje vrednosti koeficienta specifičnih transmisijskih toplotnih izgub skozi površino toplotnega ovoja stavbe  $H'_T$ , dovoljene letne potrebne toplote za ogrevanje  $Q_{NH}$  stavbe, dovoljenega letnega potrebnega hladu za hlajenje  $Q_{NC}$  stavbe in letne primarne energije za delovanje sistemov v stavbi, hkrati pa ne sme biti presežena nobena od mejnih vrednosti, določenih v tabeli 1 točke 3.1.1. tehnične smernice (Preglednica 1) [3].

Na področju razsvetljave PURES 2010 določa, da se učinkovita raba energije zagotavlja z naravno osvetlitvijo, če to ni mogoče, pa je treba uporabiti energijsko učinkovita svetila in pripadajoče elemente ter ustrezno regulacijo. Pri tem je treba upoštevati tudi velikosti prostora in število njegovih uporabnikov [3].

### 1.4.2 Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije

TSG4 določa vrsto minimalnih zahtev za energijsko učinkovitost sistemov in podsistemov v stavbi, njena uporaba je obvezna po pravilniku PURES 2010.

V tabeli 1 so podane največje dovoljene toplotne prehodnosti  $U_{max}$  za posamezne gradbene elemente toplotnega ovoja stavbe, ki jih bom uporabila v nalogi.

V 8. točki tehnična smernica obravnava samo energijske kriterije razsvetljave. Upoštevati je treba tudi zahteve posebnih predpisov s področja gradnje stanovanj in stanovanjskih stavb ter predpise s področja zdravja in varstva pri delu [6].

TSG4 določa, da mora primarni vir osvetlitve v dnevnem času v prostorih, ki bi jih bilo mogoče neposredno osvetliti z dnevno svetlobo, zagotavljati primerna okenska ali strešna odprtina. Prepustnost stekla za dnevno svetlobo pri okenskih in strešnih odprtinah mora biti  $\tau_v > 0,50$  [6].

Za maksimalne dovoljene vrednosti toplotne prehodnosti  $U$  za okna TSG4 določa naslednje vrednosti:  $U_{g,max} = 1,1 \text{ W/m}^2\text{K}$  za zasteklitev in  $U_{w,max} = 1,3 \text{ W/m}^2\text{K}$  za celotno okno. Toplotna prevodnost oken s kovinskimi okvirji pa je lahko največ  $1,6 \text{ W/m}^2\text{K}$  [6].

Preglednica 1: Največje dovoljene toplotne prehodnosti  $U_{max}$  za posamezne gradbene elemente toplotnega ovoja, ki jih določa TSG4 [6].

	<b>Gradbeni elementi stavb, ki omejujejo ogrevane prostore</b>	<b><math>U_{max}</math> [W/(m<sup>2</sup>K)]</b>
1	Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom	0,28
2	Stene med stanovanji in stene proti stopniščem, hodnikom in drugim manj ogrevanim prostorom	0,7
3	Tla na terenu	0,35
4	Tla nad neogrevano kletjo, neogrevanim prostorom ali garažo	0,35
5	Tla na terenu in tla nad neogrevano kletjo, neogrevanim prostorom ali garažo pri panelnem - talnem ogrevanju (ploskovnem gretju)	0,3
6	Strop proti neogrevanemu prostoru, stropi v sestavi ravnih ali poševnih streh (ravne ali poševne strehe)	0,2
7	Vertikalna okna ali balkonska vrata in greti zimski vrtovi z okvirji iz lesa ali umetnih mas	1,3
8	Vertikalna okna ali balkonska vrata in greti zimski vrtovi z okvirji iz kovin	1,6
9	Vhodna vrata	1,6
10	Garažna vrata	2

#### 1.4.3 Akcijski načrt za skoraj nič-energijske stavbe za obdobje do leta 2020

AN sNES opredeli pojem sNES in opiše program s katerim želi vlada Republike Slovenije na predlog ministrstva pristojnega za energijo doseči zahtevo Energijskega zakona (EZ-1), ki v 330. členu pravi, da morajo biti vse nove stavbe skoraj nič-energijske [4]. EZ-1 je bil sprejet na podlagi Direktive 2010/31/EU [2].

AN sNES obravnava tudi potenciale za skoraj nič-energijsko prenovu pri celoviti prenovi obstoječih stavb in za njih predvideva največjo dovoljeno vrednost primarne energije na enoto kondicionirane površine na leto, ki za rekonstrukcijo večstanovanjske stavbe znaša 90 kWh/m<sup>2</sup>a, najmanjši dovoljeni delež OVE pa je enak 50% [4]. Potencial stavb za celovito prenovu predstavljajo stavbe, pri katerih sta vsaj dva elementa toplotnega ovoja (stena, okna, streha) že dosegla življenjsko dobo elementa in sta zato potrebna menjave [4].

#### 1.4.4 Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj

Pravilnik [8] osvetljenost stanovanja obravnava v 14. členu, s katerim med drugim določa, da:

- morajo biti prostori ali deli prostorov, ki so namenjeni uživanju in pripravi hrane, spanju in bivanju, naravno osvetljeni. Naravna osvetlitev je lahko neposredna ali posredna;
- je neposredna osvetlitev dosežena, če skupna površina obdelanih zidarskih odprtih (pri tem se upošteva samo tisti del odprtine, ki je več kakor 0,5 m nad gotovim podom), namenjenih osvetlitvi, dosega najmanj 20% neto tlorisne površine teh delov stanovanja;
- morajo vse odprtine za naravno osvetlitev imeti vgrajene elemente za preprečitev prekomernega vpliva sončnih žarkov in za zatemnitev.

## 1.5 Opis uporabljene programske opreme

Pri parametrični analizi sem si pomagala s tremi računalniškimi programi.

TEDI [14] je program za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po PURES 2010. Deluje v Excelovem okolju. Z njim sem izračunala faktorje toplotnih prehodnosti za posamezne dejanske KS in potrebne debeline dodatne izolacije, s katerimi bi dosegla zastavljen U faktor. Moji vhodni podatki so obsegali le debeline in vrednosti toplotne prevodnosti uporabljenih materialov. Splošna slabost programa je račun toplotne prehodnosti v samo eni dimenziji, kar je v skladu z veljavno zakonodajo, vendar lahko kljub temu rezultate nekoliko oddalji od dejanskih vrednosti U, predvsem pri endoskeletnih konstrukcijah, kjer v izračun ni zajet vpliv nehomogenosti konstrukcijskih sklopov.

TOST [15] deluje na podoben princip kot TEDI, namenjen pa je računu energetske bilance stavbe po PURES 2010 in TSG4. Program zahteva podatke o objektu in posameznih kondicioniranih conah, kot so vrsta in lokacija objekta, način ogrevanja, hlajenja in priprave tople vode, način obravnave toplotnih mostov, informacije o načinu uporabe in senčenju objekta, prezračevanju ter velikosti površin posameznih transparentnih in netransparentnih KS in njihovih lastnostih.

Za analizo osvetljenosti izbranih prostorov v stavbi pa sem uporabila prosto dostopen program VELUX Daylight Visualizer 2 [16]. Program je namenjen širši množici ljudi, zato je zelo enostaven za uporabo, hkrati pa nekoliko nenatančen, kar zahteva določene poenostavitve pri analizi. Omogoča oblikovanje prostora v samo eni etaži, definiranje debeline sten, reflektivnosti različnih površin, vstavitve stenskih in strešnih oken z različnimi faktorji transmisivnosti. Dodamo lahko zunanje ovire, ne moremo pa definirati dimenzij okenskih prečnikov in pokončnikov. Program izračuna količnike dnevne svetlobe (KDS) v prostoru na določeni delovni višini ter osvetljenost E in svetlost B ob izbranem tipu neba in referenčnem datumu. Rezultate poda grafično, odčitamo pa lahko tudi minimalno, maksimalno in povprečno vrednost izračunane količine.

## 2 ANALIZA OBSTOJEČEGA STANJA

### 2.1 Opis stavbe

Izbrana manjša večstanovanjska stavba je locirana v ruralno posavsko okolje z geografskimi koordinatami N: 46,012°, E: 15,169°. Grajena je bila v dveh fazah, zato jo smiselno delim na dve enoti, kot je prikazano na Slika 4.



Slika 4: Manjša večstanovanjska stavba deljena na enoto 1 (E1) in enoto 2 (E2).

Celotna stavba ima kletno in dve bivalni etaži. E1 je bila zgrajena leta 1972 in vključuje 2 stanovanji. E2 je bila dozidana v letu 1991 in vključuje 1 stanovanje v dveh etažah. E1 in E2 imata skupen vhod in stopnišče.

Za potrebe analize v programu TOST sem enoti razdelila na 3 ogrevane cone in eno nekondicionirano cono z neogrevano kletjo, ki predstavlja kletno etažo obeh enot. 1. kondicionirana cona predstavlja bivalni del v E1, 2. kondicionirana cona predstavlja spodnjo bivalno etažo v E2, 3. kondicionirana cona pa predstavlja zgornjo bivalno etažo v E2. Bivalni del E2 delim na dve coni zaradi različne sestave KS zunanje stene. Dimenzije posameznih con so povzete v preglednici 2.

Zunanje stene kletne etaže v E1 sestavljajo sloji notranjega ometa, betonskih blokov in kamnite oz. betonske okrasne obloge. Zunanje stene bivalnega dela E1 pa sestojijo iz notranjega ometa, porolita, navadnih opečnatih blokov in fasadnega ometa. Leta 2007 so bila stara okna zamenjana z novimi PVC okni.

Zunanje stene kletne etaže E2 predstavljajo le betonski bloki in notranji ter zunanji omet. KS zunanje stene prve etaže je sestavljen iz notranjega ometa, navadnih opečnatih blokov, starega EPS-a in fasadnega ometa. Zunanje stene zgornje etaže v E2 so na notranji strani dodatno oblečene še z leseno oblogo in slojem EPS-a. Okna v E2 so še stara, lesena z dvojno vezano zasteklitvijo in vmesnimi žaluzijami.

Vse medetažne plošče so armiranobetonske, razen v zgornji etaži v E1 je izveden monta strop. Na medetažno ploščo med zgornjo etažo in podstrešjem je v obeh enotah položena steklena volna. Stara salonitna kritina je bila leta 2011 zamenjana z novimi strešnimi sendvič paneli,  $U = 1,24 \text{ W/m}^2\text{K}$ . Naklon strehe je  $18^\circ$ . Sloji konstrukcijskih sklopov, njihove debeline in U faktorji so pregledno povzeti v preglednici 3.



Slika 5: Razdelitev objekta na štiri cone z enakimi lastnostmi.

Preglednica 2: Dimenzije posameznih con.

	1. kondicionirana cona (KC1)	2. kondicionirana cona (KC2)	3. kondicionirana cona (KC3)	Nekondicionirana cona z neogrevano kletjo (NKC)
Bruto tlorisna površina [m <sup>2</sup> ]	200	60	60	160
Neto tlorisna površina [m <sup>2</sup> ]	168	54,3	47,7	132,2
Bruto volumen cone [m <sup>3</sup> ]	1080	165	159	400
Neto volumen cone [m <sup>3</sup> ]	780	135,8	105	290,8
Bruto površina fasade [m <sup>2</sup> ]				
S fasada	54	16,5	15,9	24 + 16*
J fasada	54	16,5	15,9	40
V fasada	-	27,5	22	15 + 10*
Z fasada	54	-	-	15 + 10*
Skupaj	162	60,5	53,8	94 + 36*
Transparentni del fasade [m <sup>2</sup> ]				
S fasada	5,5	0,9	3,7	1,3
J fasada	11,5	4,8	4,8	0
V fasada	-	3,7	0,9	2
Z fasada	5,5	-	-	1,9
Skupaj	22,5	9,4	9,4	5,2
Netransparentni del fasade [m <sup>2</sup> ]				
S fasada	48,5	15,6	12,2	22,7 + 16*
J fasada	42,5	11,7	11,1	40
V fasada	-	23,8	21,1	13 + 10*
Z fasada	48,5	-	-	13,1 + 10*
Skupaj	139,5	51,1	44,4	88,8 + 36*

\* Površina vkopane stene.

Preglednica 3: Sestava konstrukcijskih sklopov v enotah E1 in E2 in njihovi U faktorji.

Enota	Konstrukcijski sklop	Material	Debelina [cm]	Skupna debelina [cm]	Toplotna prevodnost [W/mK]	U [W/m <sup>2</sup> K]
E1	Kletna zunanja stena	Cementna malta	1,5	34,5	1,4	1,617
		Betonski bloki	30		0,74	
		Okrasna obloga	3		0,93	
	Zunanja stena v bivalni etaži	Cementna malta	1,5	43,5	1,4	1,17
		Porolit	8		0,52	
		Navadni opečnati bloki	30		0,61	
		Zunanji omet	4		1,4	
	Temeljna plošča	Armiran beton	15	15	1,51	3,713
	Medetažna plošča	Cementna malta	1,5	16,5	1,4	1,995
		Armiran beton	10		1,51	
		Tlak	3		1,4	
		Lesena obloga, bukev	2		0,14	
Strop v zgornji etaži	Cementna malta	1,5	22,5	1,4	0,637	
	Monta strop	16		*		
	Steklena volna	5		0,041		
E2	Kletna zunanja stena	Cementna malta	1,5	30,5	1,4	1,828
		Betonski bloki	25		0,74	
		Zunanji omet	4		1,4	
	Zunanja stena v prvi etaži	Cementna malta	1,5	27	1,4	0,566
		Navadni opečnati bloki	20		0,61	
		EPS (stari)	5		0,04	
		Fasadni omet	0,5		0,7	
	Zunanja stena v drugi etaži	Lesena obloga, smreka	1,6	32,1	0,14	0,321
		EPS (stari)	5		0,04	
		Navadni opečnati bloki	20		0,61	
		EPS (stari)	5		0,04	
	Fasadni omet		0,5		0,7	
	Temeljna plošča	Armiran beton	15	15	1,51	3,713
	Plošča med kletno in bivalno etažo	Cementna malta	2	24	1,4	0,598
		Armiran beton	10		1,51	
		Tlak	5		1,4	
		EPS (stari)	5		0,04	
Lesena obloga, bukev		2	0,14			
Plošča med bivalnima etažama	Cementna malta	1,5	21,5	1,4	0,851	
	Armiran beton	12		1,51		
	Tlak	3		1,4		
	EPS (stari)	3		0,04		
	Lesena obloga, bukev	2		0,14		
Strop v zgornji etaži	Lesena obloga, smreka	1,6	22,6	0,14	0,327	
	EPS (stari)	4		0,04		
	Armiran beton	10		1,51		
	Steklena volna	7		0,041		

\*  $U_{\text{monta}} = 4,75 \text{ W/m}^2\text{K}$

## 2.2 Metoda analize

Hipotezi, postavljeni v poglavju 1 Uvod, bom preverila z metodo analize, ki jo razdelim na pet korakov:

1. Izračun energetske bilance obstoječega objekta v programu TOST.
2. Izračun potrebnih debelin dodatne izolacije zunanjih sten, da bo dosežen faktor  $U = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$  za vsakega od petih izolacijskih materialov, uporaba programa TEDI.
3. Potrebna dodatna izolacija k obstoječi zunanji steni, za doseganje faktorjev  $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$  in  $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ , uporaba programa TEDI.

4. Energetska bilanca prenovljene stavbe, upoštevajoč različne U faktorje in različna okna v programu TOST.
5. Analiza vpliva debeline KS in lastnosti oken na KDS v treh bivalnih prostorih s programom VELUX Daylight Visualizer 2.

Na koncu bom rezultate primerjala med seboj in na podlagi le-teh predlagala najboljšo energetsko-sanacijsko rešitev za izbrani objekt, ki bo sprejemljiva tudi iz vidika investicijskega vložka.

V analizi bom uporabila pet izolacijskih materialov izmed vseh, ki jih ponuja slovenski trg. To so EPS, EPS z refleksijskimi dodatki (grafit), kamena volna v ploščah, vakuumsko izolacijski paneli in bakelitne plošče. Njihove toplotne prevodnosti  $\lambda$  so podane v preglednici 10.

Pri izbiri oken sem se odločila za dve leseni okni proizvajalca Jelovica okna d.o.o. [17] in dve PVC okni, ki jih izdeluje podjetje TERMOGLAS d.o.o. [18], njihove lastnosti so podane v preglednici 4. Z dvoslojnimi okni, ki glede U faktorja še ustrezajo zakonskim zahtevam, želim v prostorih zagotoviti čim boljšo dnevno osvetljenost, zanima pa me tudi za koliko se dnevna osvetljenost zmanjša pri izbiri trojno zastekljenih oken, ki so sicer veliko boljše iz vidika zmanjševanja toplotnih izgub.

Preglednica 4: Lastnosti starih in novih oken.

Zasteklitev	Material	Ime izdelka	$U_g$ [W/m <sup>2</sup> K]	$U_w$ [W/m <sup>2</sup> K]	$g_{gl}$	$T_v$ [%]	Faktor okvirja (klet)	Faktor okvirja (OC)
2-slojna	PVC	Staro okno v E1	1,1	1,4	58	74	0,53	0,34
2-slojna	LES	Staro okno v E2	-	2,8	76	82	0,53	0,3
2-slojna	PVC	Termoglas PREMIUM 1,1	1,1	1,3	61,5	79,3	0,48	0,34
	LES	Jelotech	1,1	1,3	61	79	0,45	0,31
3-slojna	PVC	Termoglas BluEvolution, PREMIUM 0,5	0,5	0,75	49	70,1	0,53	0,39
	LES	JELOPASIV	0,6	0,73	61	73	0,50	0,37

Streha je prezračevana, zato poenostavim račun U faktorja in zanemarim vpliv diskretnega dela tega KS (zračna plast in sendvič paneli) ter ostanem na varni strani.

Pri energetski prenovi objekta se bom ukvarjala le z ustrezno izolativnostjo zunanjih nevkopanih sten, za ostale konstrukcijske sklope in garažna vrata le predpostavim, da so primerno sanirani in zadoščajo zakonsko zahtevanim vrednostim U faktorja, ki so navedeni v preglednici 1. Dejansko bi bila izvedba dodatne izolacije v primerih medetažnih KS in temeljne plošče precej zahtevna, znatno bi se zmanjšala tudi svetla etažna višina, ki sedaj znaša 2,2 m v kletni in zgornji etaži in 2,5 m v srednji etaži.

Pri določevanju potrebnih dodatnih debelin toplotne izolacije sem vrednosti zaokroževala na centimeter natančno. Pri realizaciji sanacije bi te debeline morala nadomestiti s prvo večjo debelino plošče, ki jo ponuja proizvajalec.



Pri delu v programu TOST sem uporabila vrednosti iz spodnje preglednice (Preglednica 5) in upoštevala naslednje poenostavitve in predpostavke:

- objekt je orientiran v smeri vzhod-zahod,
- prispevek zemljine k izolativnosti vkopanih KS zanemarim, predpostavim najslabši možni primer, ko je zemljina 100% zasičena z vlago,
- za vrednosti transmisivnosti obstoječih oken, faktorja okvirja in toplotne prehodnosti sten v nekondicionirani coni z neogrevano kletjo uporabim uteženo povprečje koeficientov iz obeh enot,
- faktorje okvirja za PVC okna zaradi pomanjkanja informacij pri proizvajalcu ocenim sama,
- lastnosti starih oken v E1 in E2 so ocenjene glede na tip in starost oken,
- vpliv zaves na prehod celotnega sončnega sevanja transparentnih delov pri uporabi senčil zaradi neredne uporabe zanemarim.

Preglednica 5: Vrednosti uporabljene v računu energetske bilance stavbe<sup>1</sup>.

Energent za ogrevanje	Lahko kurilno olje
Energent za ogrevanje tople vode	Električna energija
X koordinata objekta	96467
Y koordinata objekta	513479
Način upoštevanja toplotnih mostov	Na poenostavljen način - TSG-01-004-3.1.2
Senčenje	V juniju, juliju in avgustu
Vrsta konstrukcije glede na toplotno kapaciteto	Težka
Vrsta prezračevanja	Naravno
Povprečna moč dobitkov notranjih virov	5 W/m <sup>2</sup>
Urna izmenjava zraka z zunanjim okoljem n [1/h]	
n pred sanacijo	1
n po sanaciji	0,7
Minimum n <sub>min</sub>	0,5
Prehod celotnega sončnega sevanja transparentnega dela ob uporabi senčil g <sub>gl+sh,w</sub>	g <sub>gl</sub> * 0,5
Gostota moči svetilk [W/m <sup>2</sup> ]	8

Toplotne dobitke oziroma notranje vire v kondicioniranih conah predstavljajo ljudje, naprave in razsvetljava. Cone prejmejo tudi solarne dobitke, ki so odvisni od orientacije oken, g faktorja zasteklitve in uporabe senčil. V mesecih, ko se uporabljajo žaluzije, predpostavim, da se le-te uporabljajo pod naklonom 30°, g<sub>s</sub> = 0,5.

V programu VELUX Daylight Visualizer 2 sem pri analizi dnevne svetlobe v treh referenčnih bivalnih prostorih (KC1, KC2, KC3) na delovni površini, ki je 85 cm nad tlemi, okna pozicionirala na razdalji iz notranje strani, ki je enaka polovici debeline obstoječe zunanje stene. Za vse prostore sem predpostavila enake koeficiente refleksivnosti površin, podani so v preglednici 6. Vrednosti teh koeficientov so bile v programu že privzete za določeno vrsto finalnih oblog.

<sup>1</sup> Ostale vrednosti, ki niso posebej navedene in so zahtevane za račun energijske bilance objekta so ostale enake prednastavljenim vrednostim.

Preglednica 6: Refleksivnosti površin uporabljene v analizi.

Površina	Refleksivnost površin [-]
Tla (parket)	0,65
Stene	0,63
Strop	0,78
Prizidek v KC1	0

V dnevnem prostoru KC2 sem upoštevala tudi svetlobo, ki prihaja iz odprtega stopnišča. Zaradi omejitev pri oblikovanju prostora v programu, sem morala predpostaviti nadstrešek (balkon) tudi nad stopnišnim oknom, ki je sicer neovirano osončen. Dimenzije okenskih okvirjev so fiksne.

### 2.3 Trenutno energetska stanje objekta

Največja dovoljena letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe  $Q_{NH}$ , ki jo določa PURES 2010, je odvisna od povprečne letne temperature zunanega zraka na lokaciji in razmerja med površino toplotnega ovoja stavbe in ogrevano prostornino stavbe, kar opišemo s faktorjem oblike  $f_0$ . Koeficient največjih dovoljenih specifičnih transmisijskih toplotnih izgub skozi površino toplotnega ovoja stavbe  $A$ , določen z izrazom  $H'_T$  pa je dodatno odvisen še od deleža zastekljenih površin v ovoju. Faktor oblike za obravnavan objekt znaša  $f_0 = 0,58 \text{ m}^{-1}$ .

Izračun, ki je povzet v preglednici 7, je pokazal, da obravnavan objekt pri obstoječi fasadi in vgrajenih oknih nikakor ne zadošča zahtevam, ki jih določa PURES 2010. Zato bom v nadaljevanju poskušala objekt sanirati na tak način, da bi z ukrepi zagotovila maksimalne dovoljene vrednosti  $H'_T$  in  $Q_{NH}$  na enoto kondicionirane površine stanovanj  $A_u$ .

Preglednica 7: Rezultati energetske bilance obstoječega objekta in zahteve pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah PURES 2010.

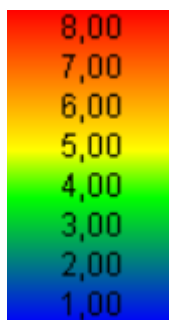
Obstoječe stanje	Izračunan	Največji dovoljen
$H'_T$ [ $\text{W}/\text{m}^2\text{K}$ ]	0,74	0,4
$Q_{NH}/A_u$ [ $\text{kWh}/\text{m}^2\text{a}$ ]	218,47	37,81

### 2.4 Analiza trenutne osvetljenosti bivalnih prostorov

Osvetljenost prostorov KC1, KC2 in KC3, katerih lastnosti so zbrane v preglednici 8, bom opisala s povprečnim količnikom dnevne svetlobe KDS v celotnem prostoru. Grafični rezultati in povprečne vrednosti KDS v prostorih pri obstoječem stanju objekta so podani v preglednici 9. Slika 6 prikazuje v grafičnih rezultatih uporabljeno barvno lestvico za označevanje izračunanega količnika KDS. Iz rezultatov je vidno, da se dnevna osvetljenost z oddaljenostjo od okna zelo hitro zmanjšuje.

Preglednica 8: Lastnosti referenčnih prostorov za analizo vrednosti KDS.

Prostor	KC1	KC2	KC3
Širina [m]	3,8	4,4	2,7
Dolžina [m]	4,3	8,1	3,8
Svetla višina [m]	2,5	2,5	2,2
Tlorisna površina [ $\text{m}^2$ ]	16,3	35,6	10,3
Površina okenskih odprtin [ $\text{m}^2$ ]	3,90	3,90	3,70
Orientacija oken	JV	JV	SV
			SZ



Slika 6: Barvna lestvica vrednosti količnika dnevne osvetljenosti iz programa [16].

Preglednica 9: Povprečna vrednost KDS in grafičen rezultat analize osvetljenosti za posamezen prostor.

Prostor	Povprečen KDS [%]	Grafični rezultat
KC1	1,7	
KC2	3,5	
KC3	3,0	

### 3 REZULTATI

V preglednicah 10 in 11 so zbrane potrebne debeline dodatne toplotne izolacije, da KS zunanje stene v E1 in E2 dosežeta željen faktor U.

Preglednica 10: Toplotne prevodnosti materialov in potrebne debeline dodatne toplotne izolacije pri določenem faktorju U za enoto E1.

Zunanja stena v enoti E1			
U [W/m <sup>2</sup> K]	Material	Toplotna prevodnost $\lambda$ [W/mK]	Potrebna debelina [cm]
0,28	EPS	0,037	11
	EPS z refleksijskimi dodatki	0,032	9
	Kamena volna	0,033	9
	Vakuumsko izolacijski paneli	0,003	1
	Bakelitne plošče	0,02	6
0,15	EPS	0,037	22
	EPS z refleksijskimi dodatki	0,032	19
	Kamena volna	0,033	20
	Vakuumsko izolacijski paneli	0,003	2
	Bakelitne plošče	0,02	12
0,1	EPS	0,037	34
	EPS z refleksijskimi dodatki	0,032	30
	Kamena volna	0,033	30
	Vakuumsko izolacijski paneli	0,003	3
	Bakelitne plošče	0,02	19

Preglednica 11: Toplotne prevodnosti materialov in potrebne debeline dodatne toplotne izolacije pri določenem faktorju U za enoto E2.

Zunanja stena v enoti E2 (KC2)			
U [W/m <sup>2</sup> K]	Material	Toplotna prevodnost $\lambda$ [W/mK]	Potrebna debelina [cm]
0,28	EPS	0,037	7
	EPS z refleksijskimi dodatki	0,032	6
	Kamena volna	0,033	6
	Vakuumsko izolacijski paneli	0,003	1
	Bakelitne plošče	0,02	4
0,15	EPS	0,037	19
	EPS z refleksijskimi dodatki	0,032	16
	Kamena volna	0,033	17
	Vakuumsko izolacijski paneli	0,003	2
	Bakelitne plošče	0,02	10
0,1	EPS	0,037	31
	EPS z refleksijskimi dodatki	0,032	27
	Kamena volna	0,033	27
	Vakuumsko izolacijski paneli	0,003	3
	Bakelitne plošče	0,02	17

Rezultati energijske bilance stavbe za vse kombinacije U faktorjev in različne tipe oken so zbrani v preglednici 12.

Preglednica 12: Koeficienti specifičnih transmisijskih toplotnih izgub skozi površino toplotnega ovoja stavbe in vrednosti letne potrebne toplote za ogrevanje stavbe na enoto kondicionirane uporabne površine za vse kombinacije U faktorjev in različnih oken v primerjavi z zakonsko zahtevanimi vrednostmi.

U [W/m <sup>2</sup> K]	Okno	H <sub>T</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	Q <sub>NH</sub> /A <sub>u</sub> [kWh/m <sup>2</sup> a]
<b>0,28</b>	Staro okno	0,37	86,98
	OKNO2-LES	0,31	78,84
	OKNO2-PVC	0,31	79,36
	OKNO3-LES	0,27	73,26
	OKNO3-PVC	0,28	77,45
<b>0,15</b>	Staro okno	0,31	77,47
	OKNO2-LES	0,26	69,33
	OKNO2-PVC	0,26	69,85
	OKNO3-LES	0,22	63,77
	OKNO3-PVC	0,22	67,89
<b>0,1</b>	Staro okno	0,29	73,85
	OKNO2-LES	0,24	65,69
	OKNO2-PVC	0,24	66,20
	OKNO3-LES	0,2	60,20
	OKNO3-PVC	0,21	64,20
Maksimalne dovoljene vrednosti, kot jih določa PURES 2010		0,40	37,81

\* Zelena pisava – ustreza zahtevam pravilnika, rdeča pisava – ne ustreza zahtevam pravilnika.

Ker z nobenim sanacijskim ukrepom ne zadostim zahtevi pravilnika glede maksimalne dovoljene vrednosti letne potrebne toplote za ogrevanje stavbe na enoto kondicionirane uporabne površine in ker velik del toplotnih izgub predstavljajo ventilacijske izgube, preverim še energetsko bilanco stavbe za primer, ko je  $U = 0,10 \text{ W/m}^2\text{K}$ , okna so lesena in trojno zastekljena, zračenje pa zmanjšam na minimalno dovoljeno urno izmenjavo zraka z zunanjim okoljem  $n_{\min} = 0,5 \text{ h}^{-1}$ . Rezultat je podan v preglednici 13.

Preglednica 13: Koeficienti specifičnih transmisijskih toplotnih izgub skozi površino toplotnega ovoja stavbe in vrednosti letne potrebne toplote za ogrevanje stavbe na enoto kondicionirane uporabne površine za dodatni primer z minimalnim zračenjem.

U [W/m <sup>2</sup> K]	Okno	n [h <sup>-1</sup> ]	H <sub>T</sub> [W/m <sup>2</sup> K]	Q <sub>NH</sub> /A <sub>u</sub> [kWh/m <sup>2</sup> a]
0,1	OKNO3-LES	0,5	0,2	43,67
Maksimalne dovoljene vrednosti, kot jih določa PURES 2010			0,4	37,81

Analizo osvetljenosti treh referenčnih prostorov sem izvedla za 5 različnih debelin dodatne izolacije in za vsa okna. Grafični rezultati so zbrani v prilogi A, povprečne vrednosti KDS in deleži zmanjšanja KDS glede na obstoječe stanje pa so povzeti v preglednici 14.

Preglednica 14: Povprečni KDS v referenčnih prostorih pri posameznem oknu in zmanjšanje KDS glede na dejansko stanje.

Debelina dodane TI [cm]	Okno	Povprečni KDS [%]			Zmanjšanje KDS glede na dejansko stanje [%]		
		KC1	KC2	KC3	KC1	KC2	KC3
	Dejansko stanje	1,7	3,5	2,9	0	0,0	0,0
5	Staro okno	1,7	3,3	2,9	0,0	5,7	0,0
	OKNO2-PVC	1,8	3,3	2,7	-5,9	5,7	6,9
	OKNO2-LES	1,8	3,3	2,7	-5,9	5,7	6,9
	OKNO3-PVC	1,5	2,9	2,4	11,8	17,1	17,2
	OKNO3-LES	1,6	3,0	2,5	5,9	14,3	13,8
10	Staro okno	1,6	3,2	2,7	5,9	8,6	6,9
	OKNO2-PVC	1,7	3,1	2,6	0,0	11,4	10,3
	OKNO2-LES	1,7	3,1	2,6	0,0	11,4	10,3
	OKNO3-PVC	1,5	2,7	2,3	11,8	22,9	20,7
	OKNO3-LES	1,6	2,9	2,4	5,9	17,1	17,2
15	Staro okno	1,5	3,2	2,6	11,8	8,6	10,3
	OKNO2-PVC	1,6	3,1	2,4	5,9	11,4	17,2
	OKNO2-LES	1,6	3,1	2,4	5,9	11,4	17,2
	OKNO3-PVC	1,4	2,7	2,2	17,6	22,9	24,1
	OKNO3-LES	1,5	2,8	2,3	11,8	20,0	20,7
20	Staro okno	1,4	2,8	2,4	17,6	20,0	17,2
	OKNO2-PVC	1,6	2,7	2,3	5,9	22,9	20,7
	OKNO2-LES	1,6	2,7	2,3	5,9	22,9	20,7
	OKNO3-PVC	1,3	2,4	2	23,5	31,4	31,0
	OKNO3-LES	1,4	2,6	2,1	17,6	25,7	27,6
34	Staro okno	1,2	2,5	2,1	29,4	28,6	27,6
	OKNO2-PVC	1,4	2,4	2	17,6	31,4	31,0
	OKNO2-LES	1,4	2,4	2	17,6	31,4	31,0
	OKNO3-PVC	1,1	2,2	1,8	35,3	37,1	37,9
	OKNO3-LES	1,2	2,2	1,9	29,4	37,1	34,5

## 4 PRIMERJAVA REZULTATOV

### 4.1 Primerjava rezultatov glede na različne vrednosti faktorjev toplotne prehodnosti U

Željen faktor toplotne prehodnosti stavbnega ovoja lahko dosežemo z vsemi materiali, razlika je le v potrebni debelini posameznega materiala, ki pa je odvisna od toplotne prevodnosti  $\lambda$  materiala.

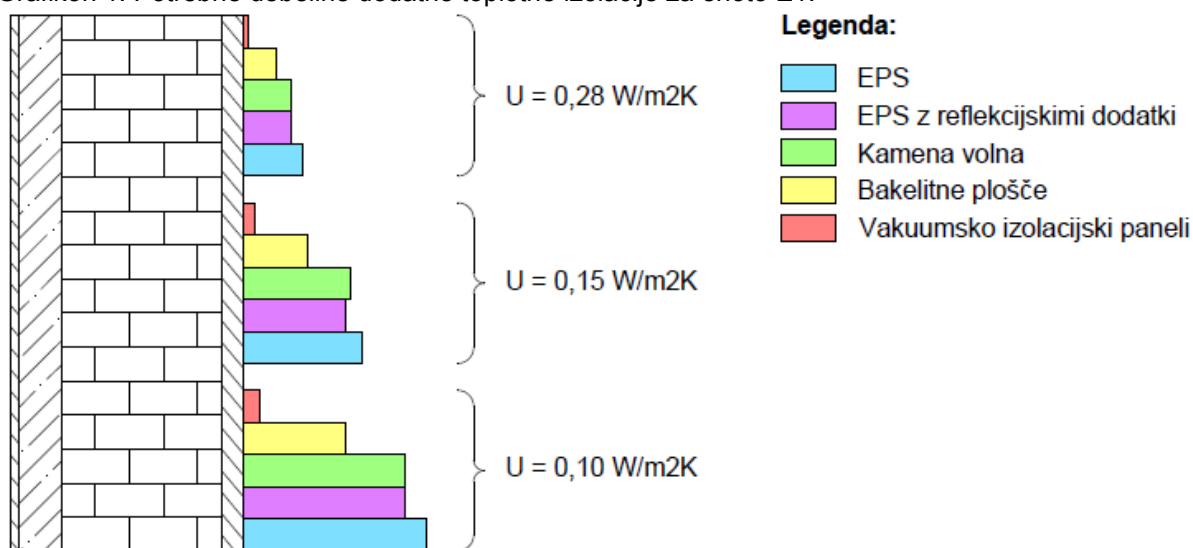
Iz primerjave rezultatov lahko povzamem, da:

- nižja kot je toplotna prevodnost materiala, manj ga potrebujem za doseganje določene vrednosti U faktorja;
- je razmerje potrebnih debelin med dvema materialoma približno enako razmerju njune toplotne prevodnosti;
- kljub temu, da je KS v E1 debelejši, bi za ustrezno toplotno izolativnost potrebovala več dodatne izolacije, kot pri KS v E2. Toplotno-izolativni učinek le 5 cm starega EPSa je torej veliko večji kot učinek 8 cm porolita, ki so ga v času gradnje enote E1 uporabljali v ta namen;
- zmanjševanje U faktorja je v nelinearni odvisnosti od večanja debeline toplotne izolacije. Torej obstaja meja, do katere se še splača zmanjševati U faktor.

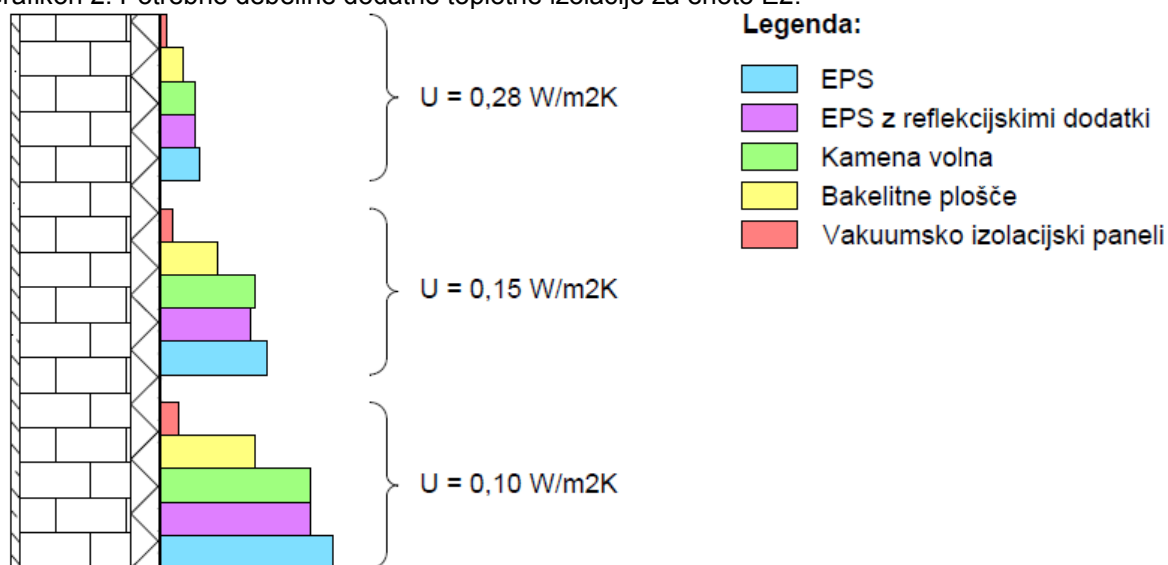
Potrebne dodatne debeline posameznega materiala za določen faktor U pri obeh KS so v merilu prikazane v spodnjih grafikonih (Grafikon 1, Grafikon 2).

Poleg tega, da debelina izolacije vpliva na izvedbo detajlov stavbne opreme (odmaknjenost žlebov, stikovanje balkonske ograje in stene, vgradnja morebitnih škatel za rolete ipd.), le-ta predstavlja tudi nezanemarljiv parameter pri načrtovanju dnevne osvetljenosti v prostorih. Več v podpoglavju 4.3.

Grafikon 1: Potrebne debeline dodatne toplotne izolacije za enoto E1.



Grafikon 2: Potrebne debeline dodatne toplotne izolacije za enoto E2.



Za odgovor na vprašanje katera vrednost faktorja U je tista, kateri lahko še zadostimo s smiselno debelino dodatne izolacije, sem izbrala primer računa potrebne debeline bakelitne plošče za KS v enoti E1 v odvisnosti od U faktorja. Rezultati so zbrani v preglednici 15 in grafično prikazani v grafikonu 3.

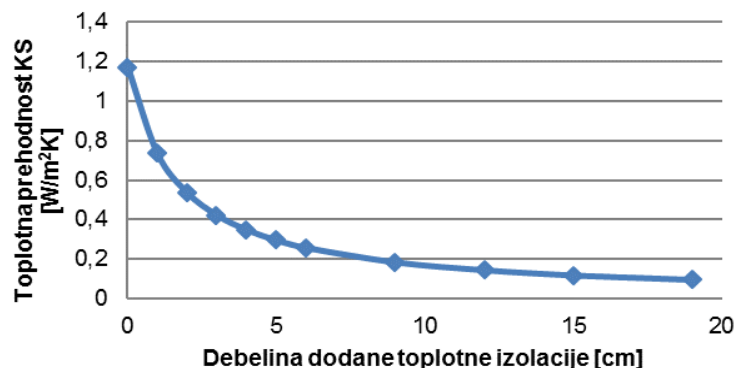
Ocenila bi, da se ta meja giblje med vrednostima  $U = 0,15 \text{ W/m}^2\text{K}$  in  $U = 0,25 \text{ W/m}^2\text{K}$ , saj je za doseganje nižjih U faktorjev potrebno dodati veliko večji delež TI, kot je velik delež zmanjšanja toplotne izolativnosti KS zaradi le-te.

Preglednica 15: Odvisnost U faktorja KS od debeline bakelitne plošče, ki je dodana KS zunanje stene v enoti E1.

Bakelitne plošče, E1	
d [cm]	U [W/m <sup>2</sup> K]
0	1,17
1	0,734
2	0,537
3	0,423
4	0,349
5	0,297
6	0,259
9	0,186
12	0,146
15	0,12
19	0,097



Grafikon 3: Grafični prikaz odvisnosti U faktorja KS in debeline bakelitne plošče, ki je dodana KS zunanje stene v enoti E1.



#### 4.2 Primerjava rezultatov glede na energetske učinkovitost stavbe

Rezultati izračunov energijske bilance stavbe pričakovano pokažejo, da se transmisijske toplotne izgube skozi površino toplotnega ovoja stavbe in potrebna toplota za ogrevanje stavbe zmanjšujejo z boljšim toplotnim ovojem in bolj izolativnimi okni. Pri obravnavanih oknih ima na porabo energije za ogrevanje stavbe največji vpliv toplotna prevodnost celotnega okna  $U_w$ , vpliv velikosti okvirja in g faktorja pa je zanemarljiv.

Koeficiente specifičnih transmisijskih toplotnih izgub skozi površino toplotnega ovoja stavbe  $H'_T$  s predlaganimi energetskimi sanacijami zmanjšamo za 58% do 73% glede na obstoječe stanje in brez težav zadostimo zahtevi, ki jo predpisuje PURES 2010,  $H'_{Tmax} \leq 0,40 \text{ W/m}^2\text{K}$ .

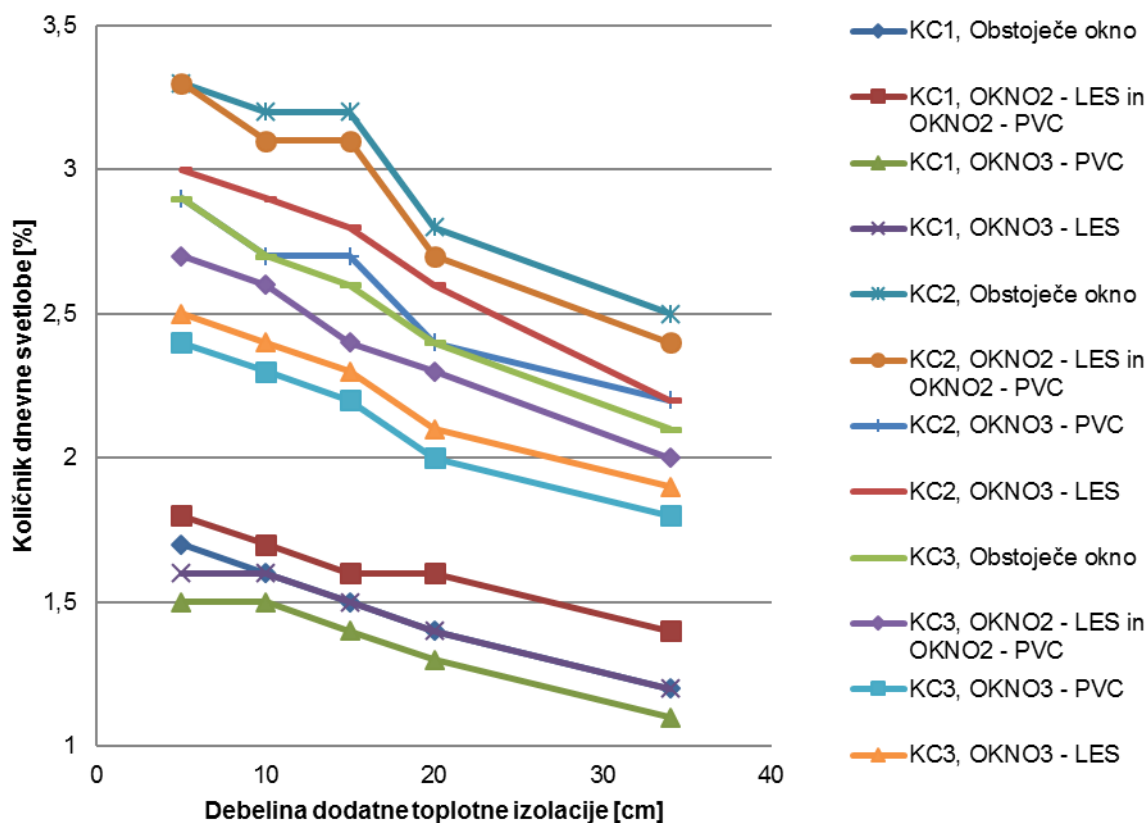
Na drugi strani pa z nobenim od predlaganih ukrepov ne zadostim zahtevi pravilnika glede največje dovoljene letne potrebne toplote za ogrevanje na enoto kondicionirane uporabne površine  $Q_{HN}/A_u$ , kljub temu, da vsi konstrukcijski sklopi in transparentni deli stavbnega ovoja ustrezajo zahtevam glede U faktorja iz preglednice 1. To poskusim rešiti še z dodatnim primerom, ko energijsko najvarčnejši varianti sanacijskega ukrepa zmanjšam ventilacijske toplotne izgube. Kljub upoštevanemu minimalnemu dovoljenemu zračenju še vedno presegam največjo dovoljeno vrednost  $Q_{HN}/A_u$  za 15,5%.

#### 4.3 Primerjava rezultatov glede na količino dnevne svetlobe v prostorih

Prostori opremljeni z dvojno zastekljenimi okni, ki imajo višji transmisijski koeficient  $\tau_v$ , so znatno bolj osvetljeni z dnevno svetlobo. Osvetljenost prostorov se manjša z večanjem debeline KS zunanje stene. Grafikon 4 je grafičen prikaz rezultatov analize dnevne osvetljenosti, iz katere izvirata zgornji trditvi.

Okvirna vrednost povprečnega KDS se spreminja tudi glede na lastnosti posameznega prostora. Na to ima velik vpliv razmerje med površino transparentnih odprtih in tlorisno površino prostora ter prisotnost nadstreška oziroma balkona nad okenskimi zasteklitvami. V prostoru KC1 je osvetljenost dodatno zmanjšana zaradi zamaknjenosti balkona (lože) v notranjost tlorisa bivalnega prostora. V tem prostoru se KDS v dveh primerih zamenjave okna celo izboljša glede na dejansko stanje.

Grafikon 4: KDS v odvisnosti od debeline dodatne TI za posamezno okno v posameznem prostoru.



Iz rezultatov je razvidno, da lahko s predlaganimi sanacijskimi ukrepi dnevno osvetljenost prostorov zmanjšamo tudi za skoraj 38 % glede na obstoječe stanje. Pri enakem oknu lahko samo s spreminjanjem debeline dodatnega TI sloja KDS zmanjšamo za 30%. Pri fiksni debelini KS pa lahko z menjavo oken dnevno osvetljenost v prostoru zmanjšamo za 21%. To velja za tipe oken in debeline dodatnega sloja, ki so bile vključene v analizo in so navedene v preglednici 14.

## 5 ZAKLJUČKI

V diplomski nalogi sem s pomočjo treh računalniških programov analizirala predlagane sanacijske ukrepe iz vidika energetske učinkovitosti stavbe in količine dnevne svetlobe v bivalnih prostorih za izbran manjši večstanovanjski objekt. Na podlagi te parameterizacije lahko ovrednotim hipotezi, ki sem jih postavila na začetku.

1. *Obstoječi objekt ne zagotavlja učinkovite rabe energije, kot jo predpisuje PURES 2010 [3].*

Ta hipoteza popolnoma drži. Obstoječi objekt kar 5,8-krat presega vrednosti, ki bi stavbo uvrščale med energetske učinkovite. Zato je energetska sanacija objekta več kot potrebna.

2. *Energetske sanacijske ukrepi na stavbnem ovoju objekta negativno vplivajo na osvetljenost bivalnih prostorov. Večji vpliv imajo lastnosti oken, vpliv debeline konstrukcijskega sklopa zunanjih sten je zanemarljiv.*

Postavljena hipoteza drži le delno. Energetske sanacijske ukrepi na stavbnem ovoju objekta v večini primerov res negativno vplivajo na osvetljenost bivalnih prostorov, presenetljivi pa so rezultati, ki kažejo, da vpliv debeline konstrukcijskega sklopa ni zanemarljiv pri načrtovanju količine dnevne svetlobe v prostoru. Pri enakem vgrajenem oknu lahko z različno debelino dodatne TI KDS zmanjšamo za 30%. V najslabšem primeru kombinacije sanacijskega ukrepa (34 cm dodatne TI in troslojno PVC okno) bi dnevno osvetljenost v prostoru KC3 zmanjšali za skoraj 38% glede na obstoječe stanje.

Ta ugotovitev pa je v nasprotju z zaključkom avtorjev članka [10], ki so v svoji analizi sklenili, da je vpliv debeline stene na dnevno osvetljenost v pisarnah zanemarljiva. Iz tega sklepam, da je vpliv debeline dodatne TI zanemarljiv glede na vpliv orientiranosti fasade, velikostjo kota vpadnih sončnih žarkov in oviranosti objekta ali pa je v mojem primeru vpliv debeline KS tolikšen zaradi relativno majhnih okenskih odprtin. To pa je morda tudi najbolj zaskrbljujoče, saj lahko obravnavano stavbo smatramo kot tipično predstavnico slovenskega stavbnega fonda enodružinskih stavb, ki pa se ravno v tem obdobju energetske sanirajo.

Do presenetljivih rezultatov sem prišla tudi z računom energetske bilance stavbe, kjer z nobenim od predlaganih ukrepov nisem zadostila največji dovoljeni letni potrebni toploti za ogrevanje na enoto kondicionirane površine  $Q_{NH}/A_u$ , ki jo predpisuje PURES 2010. Kljub upoštevanju vseh zahtev glede U faktorjev in minimalizaciji ventilacijskih toplotnih izgub sem v najboljšem primeru še vedno za dobrih 15% odstopala od zahtevanih vrednosti  $Q_{NH}/A_u$ . Na podobno težavo je naletela tudi kolegica Slekovec v svoji diplomski nalogi [19], kjer je med drugim energetske sanirala dva objekta grajena v letu 1920 in 1964. Ugotovila je, da lahko objekt s kombinacijo sanacijskih ukrepov postane energetske varčen, ne pa tudi energetske učinkovit.

Stavbni ovoj po energetske prenovi, predvsem zaradi zamenjave starih oken z novimi, postane veliko bolj zrakotesen, kar zahteva posebno rešitev glede zračenja stavbe. Glede na stroge zahteve pravilnika [3], predvidevam, da le-ta želi lastnike stavb prisiliti k uporabi rekuperacijskega sistema zračenja, ki v prostor vrača toploto, ki je sicer izgubljena zaradi ventilacije. Morda pa pravilnik predpisuje le slabo preverjene zahteve oziroma je v določenih

aspektih nerealen glede zahtev postavljenih za prenove stavb (večje prenove naj bi izpolnjevale enake zahteve kot novogradnje).

Če bi se v vlogi investitorja morala odločiti za enega od predlaganih sanacijskih ukrepov, bi velik dejavnik poleg rezultatov analize predstavljala tudi cena prenove.

Menim, da oken v enoti E1 ne bi bilo potrebno menjati, saj z novimi ne bi pridobila toliko, kolikor bi se povečala investicija. Torej bi menjala le okna v enoti E2. Ker je v nekaterih prostorih že sedaj slaba dnevna osvetljenost, bi pri izbiri novih oken večji poudarek dala  $\tau_v$  faktorju, kot U faktorju. Izbrala bi lesena dvojno zastekljena nizko emisijska okna *Jelotech*. Dodatno bi prehod sončne svetlobe skozi transparentne dele ovoja lahko povečala z anti-reflektivnimi nanosi na stekla, ki bi glede na rezultate analize v članku [11] lahko KDS povečali tudi do 15%, vendar bi ta izbira verjetno na drugi strani pomenila precejšen dodatni finančni zalogaj.

Tako me zanima le še cena fasade. V preglednici 16 so zbrane okvirne cene kvadratnega metra izvedene fasade na območju Ljubljane z debelino, ki ustreza minimalnim zakonskim zahtevam. Cene poleg materiala vključujejo tudi strošek postavitve odra in dela, vključen je tudi 9,5% DDV.

Preglednica 16: Cene izvedene fasade glede na vrsto TI. Cene vključujejo stroške vseh materialov, dela, najema odra in tudi DDV.

Material	Cena [€/m <sup>2</sup> ]	Površina stavbnega ovoja [m <sup>2</sup> ]	Investicija [€]
EPS	50	330	16.500,00
EPS z refleksijskimi dodatki	54		17.820,00
Kamena volna	60		19.800,00
Vakuumsko izolacijski paneli	135		44.550,00
Bakelitne plošče	80		26.400,00

Načeloma so bolj izolativni materiali, ki omogočajo boljši KDS pri enakem U faktorju, hkrati tudi občutno dražji. Zato uporaba vakuumsko izolacijskih panelov ekonomsko ni upravičena izbira, čeprav bi z njimi dosegla najboljši možni KDS.

Sicer velja, da vsak nadaljnji centimeter TI nad minimalnimi zahtevami naložbo podraži le za 2% [20], vendar menim, da je predvsem na račun osvetljenosti prostora potrebno najti kompromis med debelino oziroma toplotno učinkovitostjo, ceno in dnevno osvetljenostjo prostorov.

Glede na grafikon 3 se mi za obravnavan objekt zdi smiselna fasada z  $U = 0,28 \text{ W/m}^2\text{K}$ , saj bi v kombinaciji z izbranimi okni letno energijo za ogrevanje tako zmanjšala že za 2,8-krat ( $78,84 \text{ kWh/m}^2\text{a}$  namesto  $218,47 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ ).

Na podlagi cene in potrebne debeline bi izbrala EPS z refleksijskimi dodatki.

Pri dejanski odločitvi bi me kot investitorja zanimal tudi prihranek na račun zmanjšanja energijskih potreb za ogrevanje in čas v katerem bi si z njim povrnila investicijo. Upoštevati je treba tudi to, da so cene izvajalcev fasad na območju Ljubljane lahko nekoliko višje od cen lokalnih izvajalcev.

Na koncu bi želela izpostaviti še pomanjkljivost oglaševanja proizvajalcev oken, ki sem jo opazila med iskanjem podatkov na spletnih straneh posameznih podjetij. Skoraj vsi pri oglaševanju svojih oken v ospredje postavljajo čim nižje U faktorje, medtem ko podatkov o  $g$  in  $\tau_v$  faktorjih ni možno najti na njihovih spletnih straneh. Favoriziranje U faktorja bi pripisala dejstvu, da se z njegovim izboljševanjem ostala dva faktorja znatno slabšata, kar bi kupca lahko odvrnilo od izbire toplotno najučinkovitejših in hkrati dražjih oken.

## VIRI

- [1] M. Košir. 2015. Prosojnice iz predavanj pri predmetu Bioklimatsko načrtovanje. <http://kske.fgg.uni-lj.si/> (Pridobljeno 15. 2. 2015.)
- [2] EPBD-r 2010/31/EU. 2010. Direktiva 2010/31/EU Evropskega parlamenta in sveta z dne 19. maja 2010 o energetske učinkovitosti stavb (prenovitev).
- [3] PURES. Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. Uradni list RS št. 52/10.
- [4] Akcijski načrt za skoraj nič-energijske stavbe za obdobje do leta 2020 (AN sNES). [http://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/an\\_snes/ansnes\\_final\\_apr\\_2015.pdf](http://www.energetika-portal.si/fileadmin/dokumenti/publikacije/an_snes/ansnes_final_apr_2015.pdf) (Pridobljeno 12. 1. 2015.)
- [5] Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetske izkaznice stavb. Uradni list RS št. 92/2014.
- [6] Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010 Učinkovita raba energije. Ljubljana, Ministrstvo za okolje in prostor. 2010. [http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/graditev/TSG-01-004\\_2010.pdf](http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/graditev/TSG-01-004_2010.pdf) (Pridobljeno 12. 1. 2015.)
- [7] S. Medved. 2010. Gradbena fizika. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo: str. 14, 173.
- [8] Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj. Uradni list RS št. 1/201.
- [9] Pravilnik o normativih in minimalnih tehničnih pogojih za prostor in opremo vrtca. Uradni list RS št. 73/00 z dne 19. 8. 2000.
- [10] R. Ünver, L. Öztürk, Ş. Adigüzel, Ö. Çelik. 2003. Effect of the facade alternatives on the daylight illuminance in offices. *Energy and Buildings* 35 (2003): str. 737-746.
- [11] T. Rosencrantz, H. Bülow-Hübe, B. Karlsson, A. Roos. 2005. Increased solar energy and daylight utilisation using anti-reflective coating in energy-efficient windows. *Solar Energy Materials & Solar Cells* 89 (2005): str. 249-260.
- [12] K. Gram-Hanssen. 2014. Existing buildings – Users, renovations and energy policy. *Renewable Energy. Energy and Buildings* 49 (2012): str. 136-140.
- [13] Toplo steklo low-e. 2015. [http://www.reflex.si/si/files/default/knjiga-gradimo-s-steklom/knjiga-poglavjih/005\\_5.4\\_Proizvodni\\_Program\\_SLO\\_web.pdf](http://www.reflex.si/si/files/default/knjiga-gradimo-s-steklom/knjiga-poglavjih/005_5.4_Proizvodni_Program_SLO_web.pdf) (Pridobljeno 1. 3. 2015.)
- [14] Krainer, A., Perdan, R. 2009. Računalniški program (TEDI) za račun toplotne prehodnosti, analizo toplotnega prehoda in difuzije vodne pare skozi večplastne KS po Pravilniku o toplotni zaščiti in učinkoviti rabi energije v stavbah. Ljubljana, UL FGG.
- [15] Krainer, A., Perdan, R. 2009. Računalniški program (TOST) za izračun energetske bilance stavbe po Pravilniku o učinkoviti rabi energije v stavbah. Ljubljana, UL FGG.

[16] VELUX Daylight Visualizer 2. 2015.

[http://www.velux.si/za\\_stroko/tehnichni\\_info\\_in\\_orodja/daylight\\_visualizer](http://www.velux.si/za_stroko/tehnichni_info_in_orodja/daylight_visualizer) (Pridobljeno 18. 3. 2015.)

[17] Jelovica okna d.o.o. 2015. <http://www.jelovica-okna.si/> (Pridobljeno 20. 3. 2015.)

[18] TERMOGLAS d.o.o. 2015. <http://www.termoglasokna.si/si/> (Pridobljeno 20. 3. 2015.)

[19] Slekovec, A. 2014. Primerjalna analiza ukrepov za zmanjšanje porabe energije za ogrevanje pri prenovi stavb. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba A. Slekovec): 86 str.

[20] Kunič, R. 2015. Tema razgovora. Osebna komunikacija. (24. 3. 2015.)





## **SEZNAM PRILOG**

**PRILOGA A:** GRAFIČNI REZULTATI ANALIZ OSVETLJENOSTI V REFERENČNIH PROSTORIH, PODLAGA ZA PREGLEDNICO 14



