

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/>

V zbirki je izvirna različica izdajatelja.

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

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 a publisher's version PDF file.

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

Gosar, G. 2016. Energetska sanacija stavbnega ovoja s prefabriciranimi lesenimi moduli na primeru doma starejših občanov Petra Uzarja. Magistrsko delo. = Energy rehabilitation of building envelope using prefabricated wooden modules in the case of nursing home Dom Petra Uzarja. M. Sc. Thesis. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 78 str. (mentor: Košir, M.).

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/6169/>

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

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI
PROGRAM DRUGE STOPNJE
STAVBARSTVO**

Kandidat:

GAŠPER GOSAR

**ENERGETSKA SANACIJA STAVBNEGA OVOJA S
PREFABRICIRANIMI LESENIMI MODULI NA
PRIMERU DOMA STAREJŠIH OBČANOV PETRA
UZARJA**

Magistrsko delo št.: 12/II.ST

**ENERGY REHABILITATION OF BUILDING
ENVELOPE USING PREFABRICATED WOODEN
MODULES IN THE CASE OF NURSING HOME DOM
PETRA UZARJA**

Graduation – Master Thesis No.: 12/II.ST

Mentor:

doc. dr. Mitja Košir

Ljubljana, 16. 12. 2016

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

»Ta stran je namenoma prazna«

IZJAVA

Spodaj podpisani študent Gašper Gosar, vpisna številka 26420034, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Energetska sanacija stavbnega ovoja s prefabriciranimi lesenimi moduli na primeru doma starejših občanov Petra Uzarja.

IZJAVLJAM

1. *Obkrožite eno od variant a) ali b)*

- a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;
- b) da je pisno zaključno delo študija rezultat lastnega dela več kandidatov in izpolnjuje pogoje, ki jih Statut UL določa za skupna zaključna dela študija ter je v zahtevanem deležu rezultat mojega samostojnega dela;

2. da je tiskana oblika pisnega zaključnega dela študija istovetna elektronski obliki pisnega zaključnega dela študija;

3. da sem pridobil/-a vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil/-a;

4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal/-a v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil/-a soglasje etične komisije;

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programske opreme za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V: Tržiču

Datum: 5. 12. 2016

Podpis študenta:

»Ta stran je namenoma prazna«

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 628.86(043.3)
Avtor: Gašper Gosar
Mentor: doc. dr. Mitja Košir
Naslov: Energetska sanacija stavbnega ovoja s prefabriciranimi lesenimi moduli na primeru doma starejših občanov Petra Uzarja
Tip dokumenta: Magistrsko delo
Obseg in oprema: 78 str., 44 pregl., 60 sl.
Ključne besede: konstrukcijska gradbena fizika, osončenost, osvetljenost, toplotni mostovi, energetska sanacija, zasteklitev, parametrične analize, energetska učinkovitost

Izvleček

Predmet magistrskega dela je kritična ocena trenutnega stanja doma starejših občanov Petra Uzarja in optimiziran predlog prenove, ki bo zadovoljeval ne le energetske, ampak tudi arhitekturne vidike. V prvem koraku smo opravili obširen pregled raziskav s področja prenov stavb, še posebej pa smo se posvetili delom, ki se nanašajo na tehnološke in arhitekturne rešitve pri prenovi domov za starejše. Izdelali smo analizo konstrukcijske gradbene fizike obstoječega stanja v programu KI Energija 2014 in evidentirali kritične točke obravnavane stavbe. V drugem koraku smo izvedli parametrične analize rešitev identificiranih kritičnih točk na nivoju tipičnega prostora v programih KI Energija 2014, Window 7.4, Therm 7.4 in Comfen 5. Spreminjali smo lastnosti in površine transparentnih in netransparentnih delov fasadnega ovoja, dokler nismo prišli do zadovoljivega zaključka, ki je sprejemljiv tako glede na estetske kriterije, kot z vidika veljavnih pravilnikov. Na podlagi pridobljenih rezultatov smo izdelali predlog optimiziranega prefabriciranega lesenega fasadnega modula. Izdelali smo tipičen fasadni pas in izdelali 2D analizo njegovega toplotnega polja. V tretjem koraku smo predstavili konkretne rešitve na nivoju celotne stavbe in preverili novo energetske bilanco stavbe. V sklepnem delu smo podali končne ugotovitve in utemeljili izbrane tehnične rešitve.

»Ta stran je namenoma prazna«

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	628.86(043.3)
Author:	Gašper Gosar
Supervisor:	Assist. Prof. Mitja Košir, Ph.D.
Title:	Energy rehabilitation of building envelope using prefabricated wooden modules in the case of nursing home Dom Petra Uzarja
Document type:	M. Sc. Thesis
Scope and tools:	78 p., 44 tab., 60 fig.
Keywords:	building physics, solar irradiation, lightning, thermal bridges, energy rehabilitation, glazing, parametric analysis, energy efficiency

Abstract

This master thesis is a critical assessment of the current state of the Dom Petra Uzarja nursing home and an optimal proposal for the renewal that will satisfy not only the energy, but also the architectural aspect. In the first step, we conducted a comprehensive research review in the field of building renovations, focusing on works related to the technological and architectural solutions in the renovations of retirement homes. We made a building physics analysis of the existing construction in the KI Energija 2014 computer program and evaluated the buildings critical points. In the second step, we performed a parametric analysis of the identified critical points on the level of a typical living space, using the programs KI Energija 2014, Window 7.4, Therm 7.4 and Comfen 5. We varied the properties and surfaces of the transparent and non-transparent parts of the façade, until we came to an adequate conclusion, acceptable in terms of the aesthetic criteria and valid regulations. Based on the results obtained, we produced a proposal for an optimal prefabricated wooden façade module. We drew a typical façade zone and made a 2D analysis of its thermal field. In the third step, we presented concrete solutions for the entire building and calculated the energy consumption of the new building. In the closing part, we introduced the final findings and substantiated the chosen technical solutions.

»Ta stran je namenoma prazna«

ZAHVALA

Iskrena zahvala gre mentorju doc. dr. Mitju Koširju za pridobljeno znanje v času študija, za pomoč, motivacijo in usmerjanje pri nastajanju magistrskega dela.

Zahvaljujem se družini in prijateljem za pomoč, spodbudo in podporo v času študija in pisanja magistrskega dela.

»Ta stran je namenoma prazna«

KAZALO VSEBINE

Stran za popravke	I
Izjava	III
Bibliografsko – dokumentacijska stran in izvleček	V
Bibliographic – documentalistic information and abstract	VII
Zahvala	IX
Kazalo preglednic	XIII
Kazalo slik	XV
Okrajšave	XVII
Simboli	XVIII
1 UVOD	1
2 ANALIZA TRENUTNEGA STANJA	3
2.1 Pregled literature in raziskav	3
2.1.1 Energetske prenove domov za starejše	3
2.1.2 Uporaba lesa kot materiala za gradnjo	4
2.2 Zakonodajni okvir	4
2.3 Opis objekta in okolice	6
2.4 Analiza osončenosti stavbnega ovoja	11
2.4.1 Določitev osončenosti stavbnega ovoja za kritične dneve	11
2.5 Energetska analiza obstoječega stanja	13
2.5.1 Zasnova osnovnega modela	13
2.5.2 Določitev ogrevalnih con	14
2.5.3 Rezultati energetske analize celotne stavbe	16
2.5.4 Analiza tipičnega fasadnega pasu s pomočjo 2D toplotnega polja	17
3 PARAMETRIČNE ANALIZE	28
3.1 Rezultati parametričnih analiz	29
3.1.1 Sprememba U-faktorja in g-faktorja oken	29
3.1.2 Sprememba U-faktorja zunanjega ovoja stavbe	30
3.1.3 Vpliv uporabe senčil v poletnem času	31

4 ZASNOVA IN ANALIZA KONSTRUKCIJSKIH SKLOPOV	33
4.1 Izračun toplotne prehodnosti z 2D metodo	38
4.1.1 Vhodni podatki	38
4.1.2 Analiza rezultatov	39
4.2 Končna izbira konstrukcijskega sklopa	41
5 ZASNOVA IN ANALIZA ZASTEKLITEV	43
5.1 Vpliv polnila na toplotno prehodnost zasteklitve	43
5.2 Vpliv okvirja in površine zasteklitve na toplotno prehodnost okna	45
5.3 Vpliv senčil na lastnosti okna	46
5.4 Končna izbira okna	47
6 ANALIZA ZASNOV FASADNEGA OVOJA	48
6.1 Vpliv površine zasteklitve na energetska učinkovitost	48
6.2 Vpliv senčil	52
6.3 Končna izbira fasadnega ovoja	53
6.4 Fasadni pas	56
6.5 2D analiza toplotnega polja fasadnega pasu	58
6.6 Toplotni mostovi	67
6.7 Vhodni podatki za izdelavo energetske izkaznice stavbe po predlaganih ukrepih	68
6.8 Rezultati	70
7 ZAKLJUČEK	73
VIRI	75

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Pregled slovenske zakonodaje	5
Preglednica 2: Tloris in 3D pogled na objekt	8
Preglednica 3: Pogledi na fasade	9
Preglednica 4: Povprečna osončenost stavbnega ovoja	12
Preglednica 5: Splošni podatki	13
Preglednica 6: Podatki o načinu ogrevanja, hlajenja in pripravi sanitarne tople vode	13
Preglednica 7: Klimatski podatki	13
Preglednica 8: Podatki o povprečni temperaturi, vlažnosti in globalnem sončnem sevanju po mesecih	13
Preglednica 9: Podatki o ogrevalni coni	14
Preglednica 10: Podatki o prezračevanju	14
Preglednica 11: Podatki o stenah in strehi	15
Preglednica 12: Podatki o tleh pod terenom	15
Preglednica 13: Podatki o transparentnih konstrukcijskih sklopih	16
Preglednica 14: Letna potrebna toplota za ogrevanje in hlajenje, specifične transmisijske izgube in toplotna bilanca v ogrevalni sezoni	16
Preglednica 15: Prikaz izbranih križanj konstrukcijskih sklopov	20
Preglednica 16: Vhodni podatki za 2D metodo	21
Preglednica 17: Križanje 1	22
Preglednica 18: Križanje 2	24
Preglednica 19: Križanje 3	26
Preglednica 20: Letna potrebna toplota za ogrevanje in hlajenje, ter specifične transmisijske izgube	29
Preglednica 21: Letna potrebna toplota za ogrevanje in hlajenje, ter specifične transmisijske izgube	30
Preglednica 22: Letna potrebna toplota za ogrevanje in hlajenje, ter specifične transmisijske izgube	31
Preglednica 23: Vrste lesa za uporabo na fasadah stavb	34
Preglednica 24: Mejne vrednosti U faktorjev	38
Preglednica 25: Vhodni podatki za 2D metodo	38
Preglednica 26: Rezultati analiz zunanjih sten v programu Therm	39
Preglednica 27: Toplotne prehodnosti konstrukcijskih sklopov	41
Preglednica 28: Tehnični podatki o fasadnem sistemu	42
Preglednica 29: Mejne vrednosti oken	43
Preglednica 30: Optimalen razmik med stekli	44
Preglednica 31: Lastnosti zasteklitev z optimalnimi razmiki stekel	44
Preglednica 32: Vhodni podatki za analizo vpliva okvirja na toplotno prehodnost okna	45
Preglednica 33: Izbrana zasteklitev	47

Preglednica 34: Izbran okvir	47
Preglednica 35: Deleži zasteklitev	48
Preglednica 36: Ustreznost površine zasteklitve za neposredno osvetlitev	50
Preglednica 37: Tehnični podatki o izbranem oknu	54
Preglednica 38: Vhodni podatki za 2D metodo	58
Preglednica 39: Križanje 1	59
Preglednica 40: Križanje 2	61
Preglednica 41: Križanje 3	63
Preglednica 42: Križanje 4	65
Preglednica 43: Izračun toplotnih mostov	68
Preglednica 44: Letna potrebna toplota za ogrevanje in hlajenje, specifične transmisijske izgube in toplotna bilanca v ogrevalni sezoni	70
Preglednica 45: Dovedena energija za delovanje stavbe	70

KAZALO SLIK

Slika 1: Miselni vzorec potreb stanovalcev v domu za starejše (van Hoof et al., 2013)	3
Slika 2: Miselni vzorec zaželenih tehnologij v domu za starejše (van Hoof et al., 2013)	4
Slika 3: Makro (levo) in mikro (desno) lokacija stavbe (Google Maps, 2016)	6
Slika 4: Pogled iz južne smeri (pred sanacijo strehe)	7
Slika 5: Pogled iz severne strani (po sanaciji strehe)	7
Slika 6: Dva tipa bivalnih enot	10
Slika 7: Osončenost objekta dne 21.12.	11
Slika 8: Prikaz orientacije površin	11
Slika 9: Solarna diagrama za lokacijo obravnavanega objekta (SunEarthTools, 2016)	12
Slika 10: Ogrevalna cona	14
Slika 11: Koeficienti transmisijskih izgub skozi netransparentne dele fasadnega ovoja	17
Slika 12: Koeficienti transmisijskih izgub skozi transparentne dele fasadnega ovoja	17
Slika 13: Posledice geometrijskega toplotnega mostu (Terming, 2016)	18
Slika 14: Fasadni pas obstoječega stanja	19
Slika 15: Prikaz površin, zajetih v izračun toplotne prehodnosti križanja	23
Slika 16: Prikaz površin, zajetih v izračun toplotne prehodnosti križanja	26
Slika 17: Prikaz površin, zajetih v izračun toplotne prehodnosti križanja	27
Slika 18: Diagram poteka parametričnih študij	28
Slika 19: Vpliv U-faktorja in g-faktorja na porabo energije	29
Slika 20: Vpliv toplotne prehodnosti zunanjšega ovoja na porabo energije	30
Slika 21: Vpliv senčil na potrebo po hlajenju	32
Slika 22: Dom za starejše v kraju Esternberg, Avstrija (ArchDaily, 2016)	33
Slika 23: Dom Petra Uzarja - obstoječe stanje	33
Slika 24: Vodoravno postavljena deščena obloga (Turkulín et al., 2004)	35
Slika 25: Kotni spoji (Turkulín et al., 2004)	35
Slika 26: Sestava ekso-skeletne zunanje stene	36
Slika 27: Sestava endo-skeletne zunanje stene	36
Slika 28: Sestava ekso-skeletne obstoječe zunanje stene z dodano toplotno izolacijo – prezračevana varianta	37
Slika 29: Sestava ekso-skeletne obstoječe zunanje stene z dodano toplotno izolacijo - neprezračevana varianta	37
Slika 30: Sestava ekso-skeletne obstoječe zunanje stene z dodano toplotno izolacijo in tankoslojnim ometom	38
Slika 31: Shematski prikaz fasadnega sistema (Riko Hiše, 2016)	42
Slika 32: Primerjava različnih polnil na toplotno prehodnost zasteklitve	43

Slika 33: Primerjava U-faktorjev, g-faktorjev in T_{vis} med različnimi tipi zasteklitev	44
Slika 34: Toplotna prehodnost okna glede na različne materiale okvirjev in površino zasteklitve	45
Slika 35: Pozicije zunanjih senčil	46
Slika 36: Vpliv naklona lamel senčil na U-faktorje, g-faktorje in T_{vis}	46
Slika 37: Geometrija modelov	48
Slika 38: Letna poraba energije za ogrevanje, hlajenje, prezračevanje in razsvetljavo ob naravnem prezračevanju	49
Slika 39: Letna poraba energije za ogrevanje, hlajenje, prezračevanje in razsvetljavo ob naravnem prezračevanju	49
Slika 40: Osvetljenost prostora v štirih letnih časih	51
Slika 41: Vpliv senčil na letno porabo energije za ogrevanje, hlajenje, prezračevanje in razsvetljavo	52
Slika 42: Prikaz izbranega fasadnega sistema	53
Slika 43: Prikaz izbranega fasadnega sistema - pogled iz notranjosti	53
Slika 44: Okno s trojno zasteklitvijo in lesenim okvirjem z aluminijsko zaščito (Jelovica, 2016)	54
Slika 45: Detajl izvedbe nadometnih žaluzij	55
Slika 46: Shematski prikaz določitve netransparentnih delov fasadnega ovoja	56
Slika 47: Shematski prikaz določitve transparentnih delov fasadnega ovoja	56
Slika 48: Fasadni pas	57
Slika 49: Horizontalno križanje dveh zunanjih sten	58
Slika 50: Prikaz površin, zajetih v izračun toplotne prehodnosti križanja	60
Slika 51: Prikaz površin, zajetih v izračun toplotne prehodnosti križanja	62
Slika 52: Prikaz površin, zajetih v izračun toplotne prehodnosti križanja	64
Slika 53: Prikaz površin, zajetih v izračun toplotne prehodnosti križanja	66
Slika 54: Prikaz toplotnih mostov	67
Slika 55: Potrebne vrednosti za izračun vrednosti Ψ (Košir, 2014)	67
Slika 56: Struktura rabe celotne energije za delovanje stavbe	71
Slika 57: Pogled iz JV smeri	71
Slika 58: Pogled iz JZ smeri	72
Slika 59: Pogled iz V smeri	72
Slika 60: Pogled z južnega dvorišča	72

OKRAJŠAVE

CEN	= Evropski odbor za standardizacijo
EN	= Evropski standard
EPBD-r	= Direktiva o energetske učinkovitosti stavb – prenovljena
EU	= Evropska unija
ISO	= Mednarodno združenje za standardizacijo
PURES 2010	= Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah
RS	= Republika Slovenija
SIST	= Slovenski inštitut za standardizacijo
TSG-1-004:2010	= Tehnična smernica za graditev – Učinkovita raba energije
ZGO-1-UPB1	= Zakon o graditvi objektov

SIMBOLI

T_{vis}	= transmisivnost zasteklitve za dnevno svetlobo [%]
g	= prepustnost celotnega spektra sončnega sevanja [-]
Q_{NC}	= letna potrebna energija za hlajenje [kWh/m ² a]
Q_{NH}	= letna potrebna energija za ogrevanje [kWh/ m ² a]
T_e	= zunanja temperatura [°C]
T_i	= notranja temperatura [°C]
T_s	= temperatura površine [°C]
f_{RSI}	= temperaturni faktor [-]
V_e	= bruto prostornina [m ³]
A_u	= neto uporabna površina [m ²]
j	= gostota toplotnega toka [W/m ²]
λ	= koeficient toplotne prevodnosti [W/mK]
ΔT	= temperaturna razlika [K]
l	= debelina [m]
l_A	= dolžina prvega konstrukcijskega sklopa [m]
l_B	= dolžina drugega konstrukcijskega sklopa [m]
U_{1D-A}	= toplotna prehodnost prvega konstrukcijskega sklopa [W/m ² K]
U_{1D-B}	= toplotna prehodnost drugega konstrukcijskega sklopa [W/m ² K]
U_{2D}	= dvodimenzionalna toplotna prehodnost obeh konstrukcijskih sklopov [W/m ² K]
L_{1D}	= linearna prehodnost posameznega konstrukcijskega sklopa [W/mK]
L_{2D}	= linearna prehodnost celotnega križanja [W/mK]

1 UVOD

Domovi za starejše so oblika varstva namenjena starejšim od 65 let. Starostniki se za bivanje v tovrstnih domovih odločajo zaradi starosti, bolezni, osebnih stisk in drugih razlogov. Glede na statistične podatke Republike Slovenije za mesec januar 2016, znaša delež prebivalcev starih 65 ali več let 18,4 % (379.811) (Stat SI, 2016). V letu 2015 je bilo po podatkih Skupnosti socialnih zavodov Slovenije na voljo 20.224 mest v 98 domovih za starejše in v posebnih zavodih, zasedenost pa je skoraj 100 %. Upoštevajoč ta dva podatka lahko sklepamo, da v domovih za starejše živi relativno malo ljudi. Večina domov za starejše je v Sloveniji v državni lasti. Glede na direktive EU (Uredba EU 305/2011, Direktiva 2012/27/EU), spadajo tovrstne zgradbe med gradbene objekte, ki morajo izpolnjevati tehnične zahteve za učinkovito rabo energije (PURES 2010, Uradni list RS, št. 52/10). Stavbe morajo torej ob prenovi nadgraditi njihovo energetska učinkovitost.

Način energetske prenove in materiali, uporabljeni v sklopu le-te, niso določeni s pravilniki. Gre torej predvsem za upoštevanje želja investitorja in hkratno upoštevanje ZGO-1-UPB1, direktiv EU, pravilnika PURES 2010 in TSG-1-004:2010. V sklopu magistrskega dela smo se odločili, da se energetske prenove stavbe lotimo na sodoben način in s tehničnimi rešitvami, ki se vedno bolj uveljavljajo na tem področju. Odločili smo se za aplikacijo prefabriciranih modulov na obstoječ objekt. Za ta način smo se odločili iz več razlogov. Fasadni modul se v celoti in z veliko natančnostjo izdelava v industrijskem obratu, v modul pa se integrirajo tudi drugi elementi kot na primer okna, vrata, balkoni, sončni kolektorji, električni vodi in podobno. Moduli so fleksibilno izdelani glede na obliko in dimenzije primarne konstrukcije, na gradbišču pa jih enostavno lahko aplicirajo na obstoječo konstrukcijo (Treberspurg, 2010).

Predmet obravnave v tem magistrskem delu je Dom Petra Uzarja. Gre za dom starejših občanov iz Tržiča, zgrajen leta 1979. Namen je kritično oceniti trenutno stanje stavbe in podati optimalen predlog obnove, ki bo zadovoljeval ne le energetska, ampak tudi arhitekturni vidik. Definirali smo tri glavne korake.

1. Korak:
 - Pregled raziskav in obstoječe zakonodaje na področju graditve objektov.
 - Identifikacija kritičnih točk oziroma področij obravnavane stavbe.
2. Korak:
 - Parametrične analize rešitev identificiranih točk na nivoju tipičnega prostora.
3. Korak:
 - Predstavitev konkretne rešitve na nivoju celotne stavbe.

Najprej smo preučili obširno strokovno literaturo s področja prenov stavb, še posebej pa smo se posvetili delom, ki se nanašajo na tehnološke in arhitekturne rešitve pri prenovi domov za starejše. Analizirali smo tudi veljavno zakonodajo na tem področju. Nato smo izdelali osnovno energetska analizo. S

programskim orodjem smo modelirali model trenutnega stanja stavbe, s pomočjo katerega smo lahko identificirali kritična mesta v delovanju same stavbe. Veliko pozornosti smo namenili obravnavi križanj, stikovanj in prebojev konstrukcijskih sklopov. Tovrstni detajli lahko v primeru slabe izvedbe negativno vplivajo na energetska bilanco stavbe in posledično na počutje uporabnikov stavbe. V naslednjem koraku smo z različnimi programskimi orodji iskali optimalne rešitve za odpravo ugotovljenih kritičnih mest. Parametrično smo spreminjali lastnosti transparentnih in ne transparentnih delov fasadnega ovoja, dokler nismo prišli do zadovoljivega zaključka, ki je sprejemljiv tako glede na estetske kriterije, kot z vidika veljavnih pravilnikov. Na koncu smo izdelali predlog optimiziranega fasadnega modula, ga aplicirali na obstoječi objekt in analizirali novo stanje z energetskega in arhitekturnega vidika.

Delovne hipoteze, ki smo jih preverjali v magistrskem delu, so:

1. Stavba je v trenutni zasnovi energetska neučinkovita.
2. Kritični točki stavbnega ovoja sta prvotno leseno stavbno pohištvo iz osemdesetih let in leseni parapeti pod njimi.
3. Trenutni konstrukcijski sklopi so stikovani in križani neučinkovito. Posledica tega so številni toplotni mostovi.

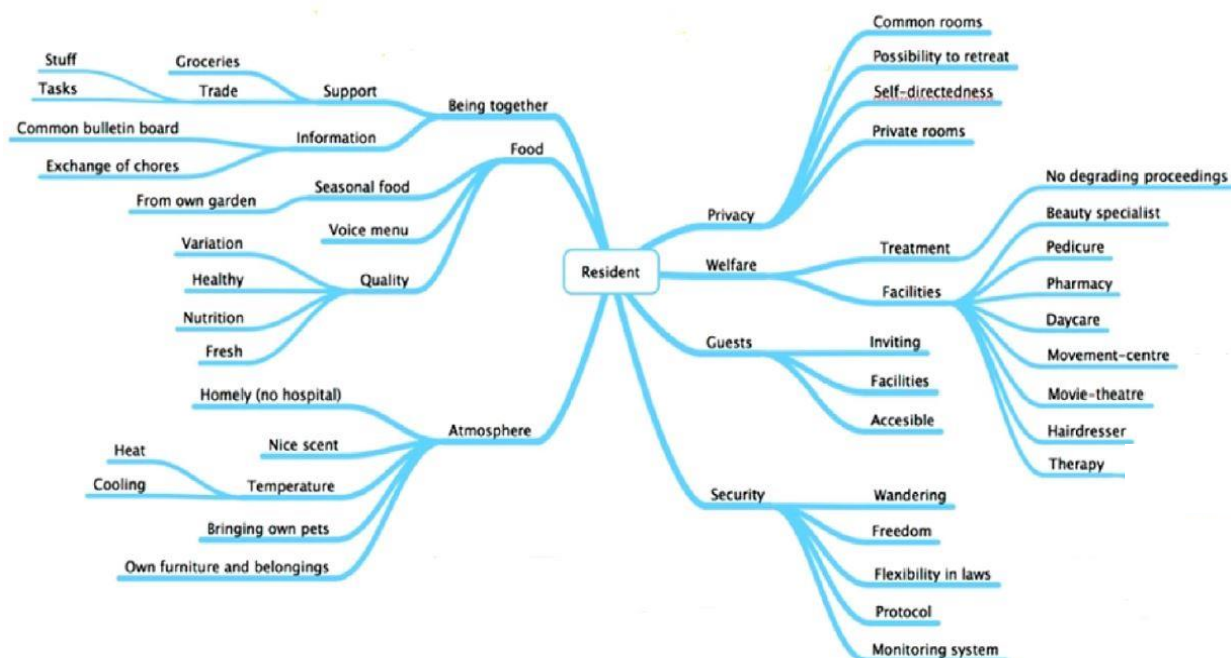
2 ANALIZA TRENUTNEGA STANJA

2.1 Pregled literature in raziskav

Naša prva naloga je bila preučiti, kako je obravnavano področje raziskano s strani znanstvenikov in institucij z vsega sveta. V veliko pomoč so nam bile spletne bibliografske baze (Science Direct, Cobiss, Digitalna knjižnica), pa tudi ostali naslovi (Statistični urad RS, Uradni list RS, Pravno informacijski sistem). Na področju gradbeništva obstaja nepregledna količina strokovne literature, zato je pomembno, da smo se iskanja lotili na sistematičen način. Najprej smo pripravili različne iskalne profile, s katerimi kar najbolj opišemo želeno področje in tako strnemo zadetke le na tiste, ki so zanimivi za nas. S pomočjo Boolovih operatorjev smo sestavili iskalni profil za spletne bibliografske baze, ki vrne izbrane zadetke (Dovjak, 2014). Glavnina raziskav je opisana v angleškem jeziku, zato se je iskalni profil glasil: »nursing home AND (thermal comfort OR renovation)« in v slovenščini: »dom za starejše IN (toplotno udobje ALI obnova)«. Iskanje nam je vrnilo 1237 zadetkov, ki smo jih nato dodatno filtrirali na področje gradbeništva in učinkovite rabe energije. To nam je skrčilo izbor na 48 rezultatov. Dokončno smo iz nabora izločili 7 strokovnih člankov, ki zajemajo ožje področje magistrskega dela.

2.1.1 Energetske preнове domov za starejše

V domovih za starejše je pomembno, da tehnologija in arhitekturne rešitve bistveno pripomorejo k dobremu počutju, vsakodnevnim aktivnostim in kvaliteti življenja starejših stanovalcev, kakor tudi k optimizaciji dela negovalcev in ostalih zaposlenih (van Hoof et al., 2013). Na Nizozemskem je skupina raziskovalcev želela izvedeti, kaj naj bi predstavljalo idealno različico doma za starejše. V študiji je sodelovalo 97 oseb, vse pa so imele izkušnje bodisi na področju zdravstvene nege, moderne tehnologije ali gradbeništva.



Slika 1: Miselni vzorec potreb stanovalcev v domu za starejše (van Hoof et al., 2013)



Slika 2: Miselni vzorec zaželenih tehnologij v domu za starejše (van Hoof et al., 2013)

Na podlagi Slike 1 in Slike 2 je razvidno, da bi si stanovanjci v prvi vrsti želeli okolje, ki jim daje občutek domačnosti. Čeprav poudarjajo potrebo po druženju in skupnih aktivnostih, je potrebno zagotoviti zasebne bivalne prostore, kamor se stanovanjci lahko umaknejo in kjer je zagotovljeno ustrezno bivalno udobje. Velik poudarek je na svetlih zračnih prostorih s primerno notranjo temperaturo. V tem času je jasno, da je tehnologija vpeta v naš vsakdan. Izziv za načrtovalce je vsekakor ta, kako sodobno tehniko umestiti v prostor tako, da bo učinkovito opravljala svoje naloge, a ob enem ne bo motila oseb, ki je niso vajene. Pomembno se je zavedati, da ljudje s starostjo izgubljajo senzorične in motorične sposobnosti. Pomembno je pravilno zasnovati prostor glede toplotnega udobja, saj starejši ljudje težje hitro zaznavajo spremembe v temperaturi. Glede na zmanjšanje motoričnih sposobnosti pa je treba smiselno projektirati tudi stavbno in notranje pohištvo (Henshaw et al., 2014).

2.1.2 Uporaba lesa kot materiala za gradnjo

V prizadevanjih za 20% zmanjšanje rabe primarne energije do leta 2020, je energijska učinkovitost ključnega pomena. Izbira gradiv za visoko energijsko učinkovite stavbe postaja čedalje bolj pomembna. Že v zgodnjih fazah načrtovanja bi morala biti v stavbe vključena regenerativna gradiva. Mednarodne smernice tako narekujejo uporabo lesenih konstrukcij (Kitek Kuzman et al., 2013). V primeru obravnavane stavbe v tem magistrskem delu gre za prenovo obstoječega stanja, zato smo se pri iskanju strokovne literature osredotočili na lesene fasadne sisteme. Lesene fasade so prava izbira v procesu rekonstrukcije obstoječih stavb, saj les kot tak pripomore tudi k estetski vrednosti, hkrati pa predstavlja tudi povezavo z regionalno arhitekturo (Ivanović-Šekularac et al., 2015). Zavedati se je potrebno, da je les v zunanjih pogojih izpostavljen vrsti kemičnih in fizikalnih sprememb, ki zmanjšujejo njegovo estetsko vrednost in obstojnost. Da bi se temu izognili, je potrebno les zaščititi na tri načine. To so fizična zaščita (preprečevanje škodljivih delovanj v dotiku z lesom), konstrukcijska zaščita (pravilno oblikovanje detajlov izdelka) in površinska zaščita (Turkulin et al., 2004).

2.2 Zakonodajni okvir

Pri načrtovanju kakovostnega bivalnega okolja moramo izpolnjevati določene zakonske zahteve, smernice in priporočila. V preglednici 1 so prikazani povzetki, ki se nanašajo na predmet obravnave magistrskega dela.

Preglednica 1: Pregled slovenske zakonodaje

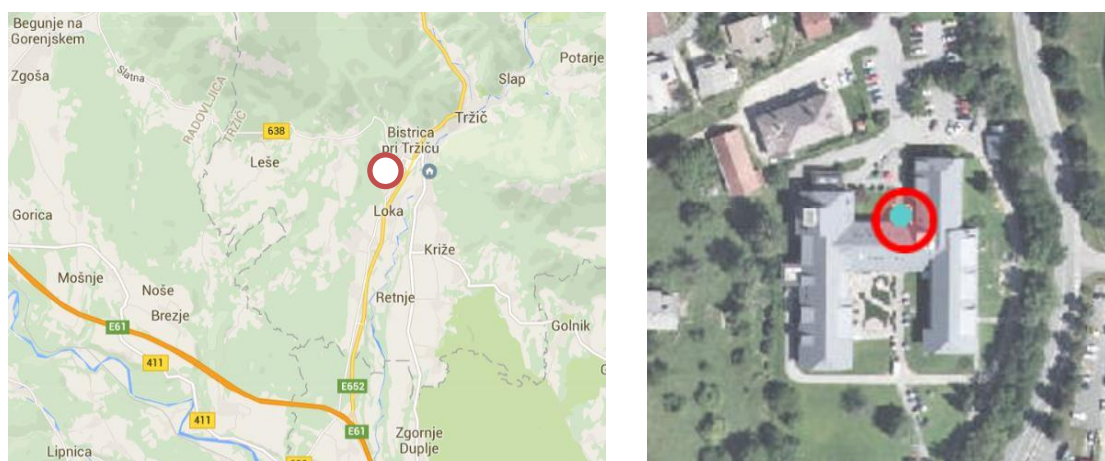
	Zakonski akti	Zakonske zahteve
Toplotno okolje	Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb (Uradni list RS, št. 42/2002)	Pri $20^{\circ}\text{C} \leq T_i \leq 26^{\circ}\text{C}$ je območje dopustne relativne vlažnosti od 30% do 70%
		Priporočljiva relativna vlažnost zraka v stanovanjskih prostorih je pod 60%, kar zmanjšuje rast alergenih in patogenih organizmov
		Čas brez ogrevanja: $20^{\circ}\text{C} \leq T_i \leq 26^{\circ}\text{C}$, priporočljivo od 23°C do 25°C Čas ogrevanja: $19^{\circ}\text{C} \leq T_i \leq 24^{\circ}\text{C}$, priporočljivo od 20°C do 22°C
		T_s poda med 17°C in 26°C
		Z oblikovanjem stavbe in senčili je treba v času hlajenja preprečiti vpliv neposrednega sončnega sevanja v bivalni coni
Svetlobno udobje	Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj (Uradni list RS, št. 1/2011)	Neposredna osvetlitev je dosežena, če skupna površina obdelanih zidarskih odprtih (pri tem se upošteva samo tisti del odprtine, ki je več kakor 0,50 metra nad gotovim podom), namenjenih osvetlitvi, dosega najmanj 20% neto tlorisne površine teh delov stanovanja
		Če je del stanovanja neposredno naravno osvetljen le z ene strani, njegova globina ne sme meriti več kot tri svetle višine prostora
		Najmanj ena odprtina za naravno osvetlitev prostora, ki omogoča bivanje v dnevnem času, je projektirana in grajena tako, da znaša višina parapeta največ 0,90 metra nad gotovim podom in omogoča pogled v zunanji prostor
	Vse odprtine za naravno osvetlitev imajo vgrajene elemente za preprečitev prekomernega vpliva sončnih žarkov in za zatemnitev	
	SIST EN 12464-1:2011	Osvetlitev bivalne enote z umetno svetlobo naj znaša ≥ 300 lx
Kakovost notranjega zraka	Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb (Uradni list RS, št. 42/2002)	V času prisotnosti ljudi v prostorih stavbe, ki so namenjeni za delo in bivanje ljudi, je treba dosegati volumsko izmenjavo zraka (n) vsaj $n = 0,5 \text{ h}^{-1}$
		V času odsotnosti ljudi v prostorih stavbe, ki so namenjeni za delo in bivanje ljudi, je treba zagotoviti in vzdrževati izmenjavo zraka najmanj $n = 0,2 \text{ h}^{-1}$

Kot je razvidno iz Preglednice 1, je slovenska zakonodaja na področju svetlobnega udobja nekoliko nepopolna. Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj nam ne podaja točnih vrednosti priporočene osvetljenosti z dnevno svetlobo, temveč le določitev le-te na podlagi globine prostora in deleža svetlobnih odprtih. Točno določene vrednosti so podane zgolj za

osvetlitev z umetno svetlobo. Področje zagotavljanja toplotnega udobja in kakovosti notranjega zraka sta zakonsko bolj urejena. Definirano je tako območje dopustne relativne vlažnosti, kot tudi priporočene temperature v prostoru v času ogrevanja in v času brez ogrevanja. Podane so tudi zahteve o volumski izmenjavi zraka v času prisotnosti ljudi v prostorih stavbe in v času odsotnosti ljudi v le-teh.

2.3 Opis objekta in okolice

Dom Petra Uzarja Tržič je splošni javni socialno varstveni zavod, ki leži na nadmorski višini 521m, v zibelki gora Zelenice, Kriške gore, Dobrče in se z dolino odpira proti Kranju in Bledu. Nahaja se $46^{\circ}21'11''$ S in $14^{\circ}17'23''$ V glede na univerzalni koordinatni sistem. Koordinati po horizontalnem državnem koordinatnem sistemu (D48/GK) pa sta 445695 v smeri Y in 134562 v smeri X. Gre za objekt, ki spada v razred CC-SI klasifikacije: 11302 (stanovanjske stavbe za posebne družbene skupine). Na Sliki 3 je prikazana makro in mikro lokacija obravnavane stavbe.



Slika 3: Makro (levo) in mikro (desno) lokacija stavbe (Google Maps, 2016)

Zgrajen je bil leta 1979 po načrtih Arhitekt Biroja Kranj. Sestavljen je iz zahodnega, vzhodnega in veznega trakta (Slika 4 in Slika 5). Etažnost objekta je sledeča: klet + pritličje + 1. nadstropje + mansarda. Je klasično masivno grajen objekt, delno podkleten, s pritličjem, nadstropjem, mansardo in neizkoriščenim podstrešjem. Temeljen je z armiranobetonskimi pasovnimi temelji. Nosilni notranji in zunanji kletni zidovi so armiranobetonski, debeline 20cm, pritlični, nadstropni, mansardni in podstrešni zidovi pa iz opečnatih modularnih blokov, debeline 20cm. Skupna debelina z osnovnimi ometi in zaključnimi sloji je 25cm. Medetažne konstrukcije so lite armiranobetonske plošče. Vertikalna komunikacija v objektu je izvedena z dvoramnimi stopnicami in osebnimi dvigali. Stopnice in nosilni zidovi dvigalnih jaškov so armiranobetonski. Objekt pokriva sestavljena dvokapna lesena strešna konstrukcija s čopi in loputastimi ter trapeznimi fičadami. Stavba ima eno podzemno etažo in zaklониšče, pritličje, nadstropje in mansardni del. Osrednji prostor, namenjen druženju, se razteza preko dveh etaž. Dom ima 107 sob, ki so namenjene bivanju starostnikov. Od tega je 42 enoposteljnih sob, 57 dvoposteljnih sob in 8 triposteljnih sob.



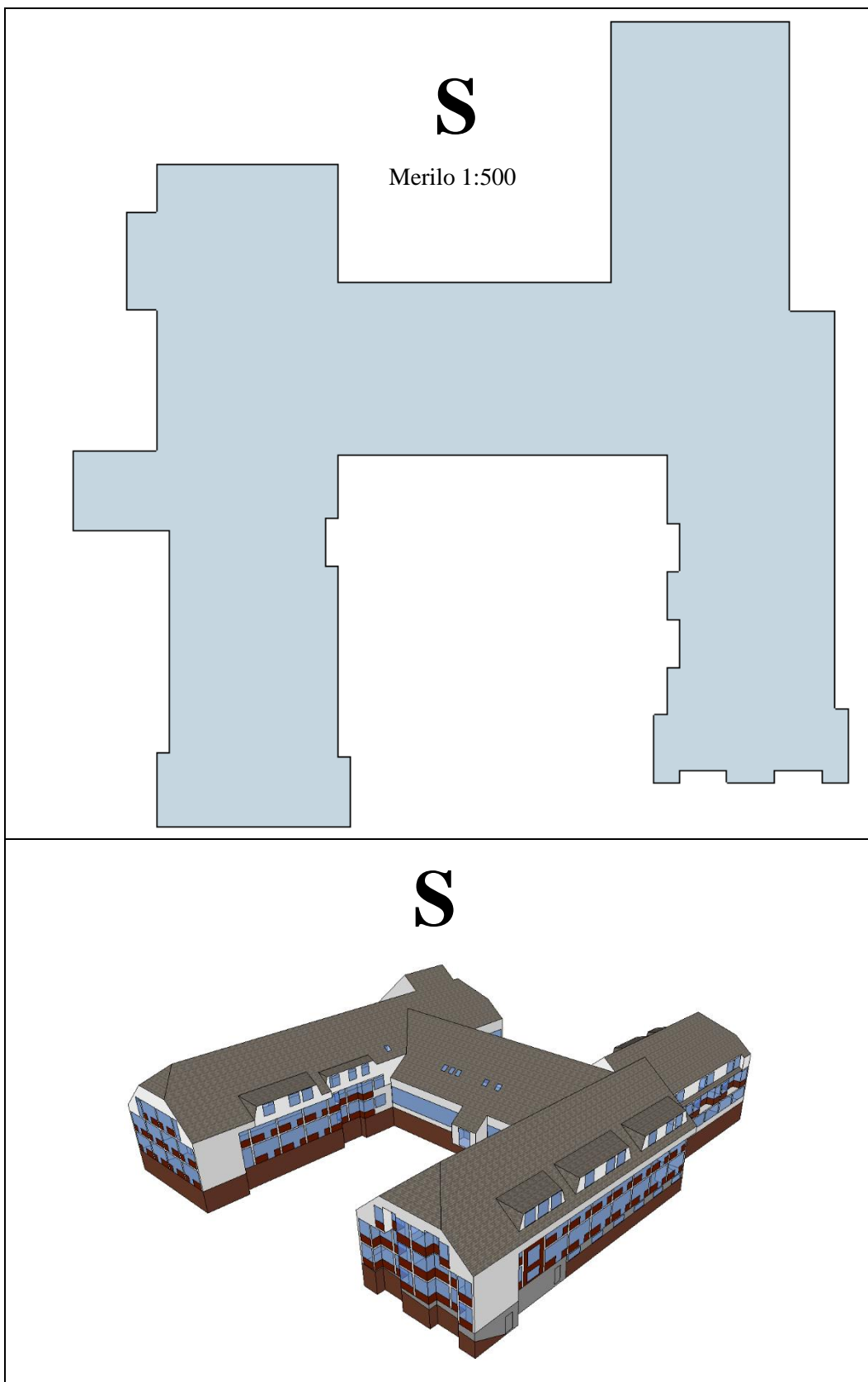
Slika 4: Pogled z južne smeri (pred sanacijo strehe)



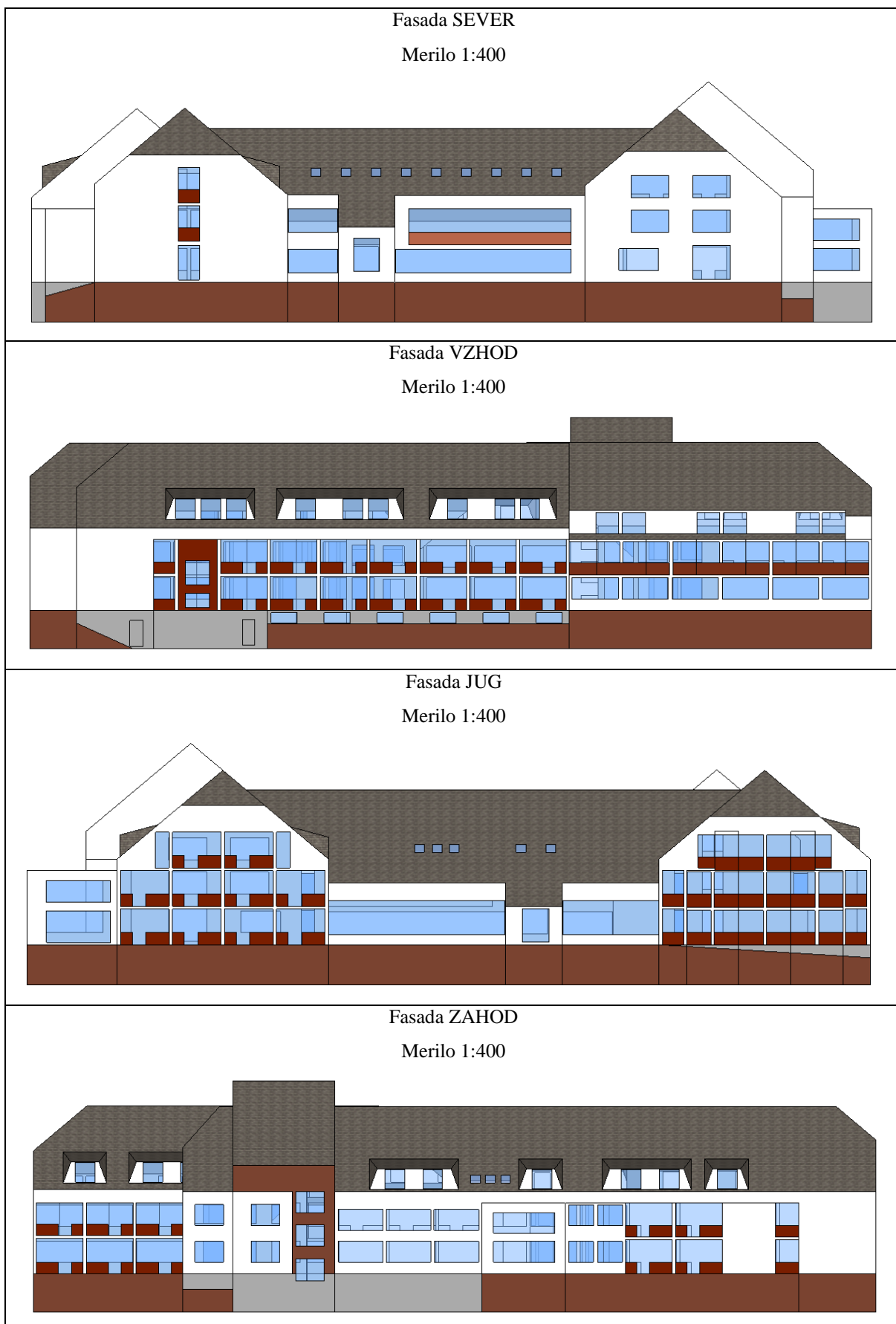
Slika 5: Pogled s severne strani (po sanaciji strehe)

Objekt je bil v obdobju od graditve pa do danes nekajkrat dograjen in deloma energetske saniran, zato ne obstaja enotna gradbena dokumentacija. Odločili smo se, da opravimo temeljit terenski ogled in izvedemo vse potrebne manjkajoče meritve, ki niso zajete v prvotno dokumentacijo iz leta 1979. Na podlagi fotografij in s pomočjo rezultatov, pridobljenih na terenskem ogledu, smo v računalniškem programu SketchUp (SketchUp, 2015) izdelali natančen geometrijski model, ki prikazuje obravnavan objekt.

Preglednica 2: Tloris in 3D pogled na objekt

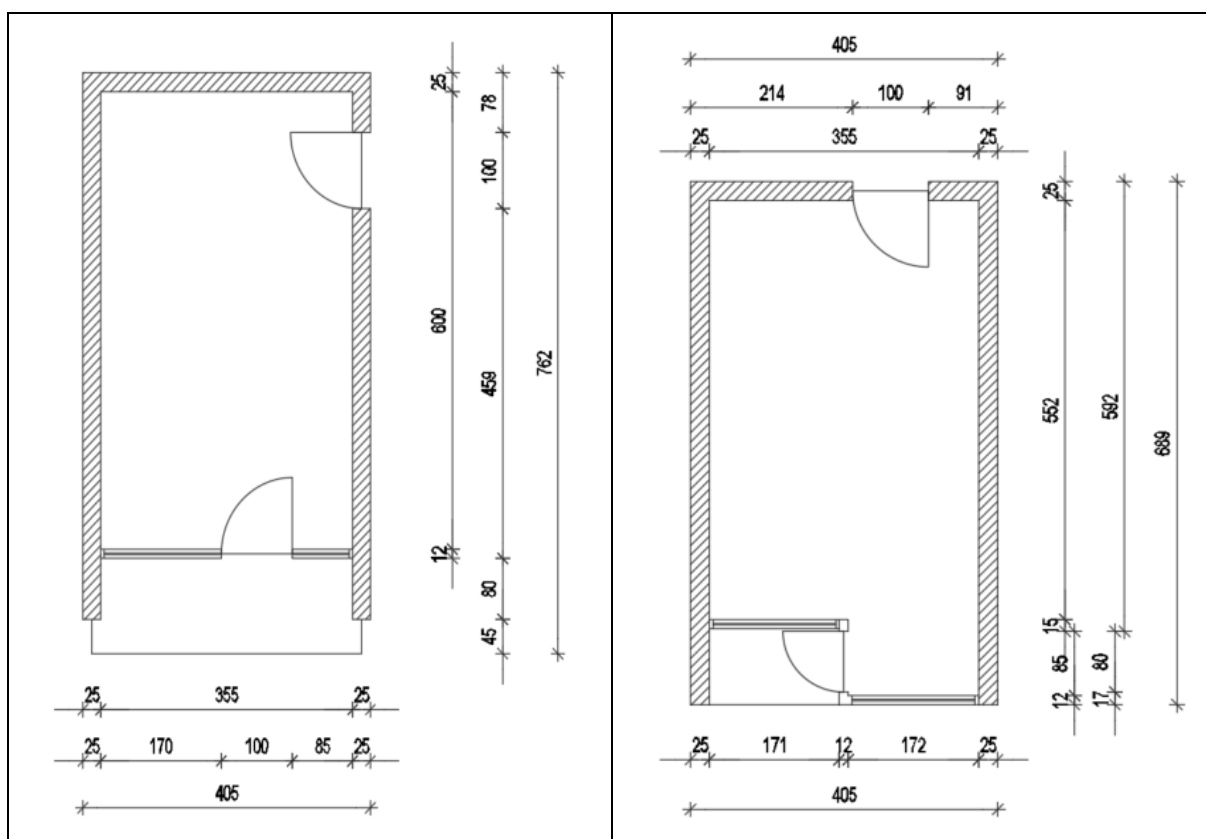


Preglednica 3: Pogledi na fasade



V Preglednici 2 in Preglednici 3 je slikovno prikazan model obravnavanega objekta. Tloris objekta je sestavljen iz treh ortogonalnih traktov. Zahodni trakt je dimenzij 15,5m x 52,8m, vzhodni trakt je dimenzij 14,2m x 60,7m, vezni trakt pa je dimenzij 13,8m x 26,3m. Kota strehe se nahaja na višini 12,8m od nivoja zunanjih tal. Ostali tehnični podatki o obravnavanem objektu so navedeni v poglavju 2.5.

Na modelu (Preglednica 2 in 3) so z rjavo barvo označene zunanje stene, ki so pod terenom, s temno sivo barvo pa so označene kletne stene, ki mejijo na zunanost. Večinski del objekta predstavljajo modularne bivalne enote, sanacija njihovih konstrukcijskih sklopov, ki mejijo proti zunanosti, pa je poglavitni del magistrskega dela. Na Sliki 6 sta prikazana tlorisa dveh prevladujočih tipov bivalnih enot. Enoto na levi smo poimenovali Bivalna enota 1, enoto na desni pa Bivalna enota 2.



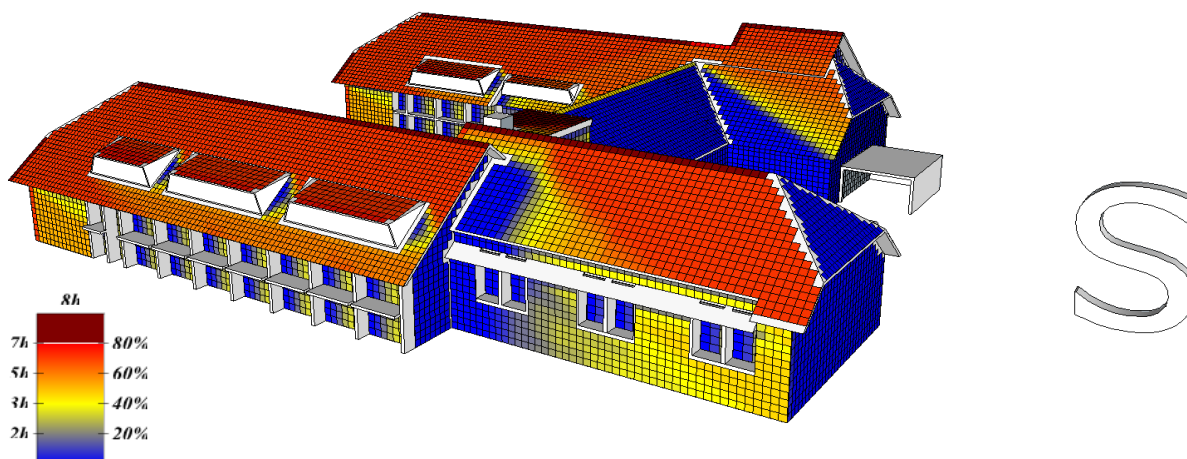
Slika 6: Dva tipa bivalnih enot

Svetla višina bivalnih enot znaša 2,5m. Tip Bivalna enota 1 ima balkon širine 1,25m in dolžine 3,80m. Gre za lito armiranobetonsko ploščo, ki je togo povezana z vertikalnimi zidovi. Tip Bivalna enota 2 ima manjši balkon širine 1,0m in dolžine 1,71m. Zunanjo steno predstavlja prvotno leseno stavbno pohištvo ($U \approx 2,8 \text{ W/m}^2\text{K}$) in lesen parapet v višini 90cm. Gre za lesen opaž debeline 1cm z obeh strani, med katerega je nameščenih približno 10cm mineralne volne.

2.4 Analiza osončenosti stavbnega ovoja

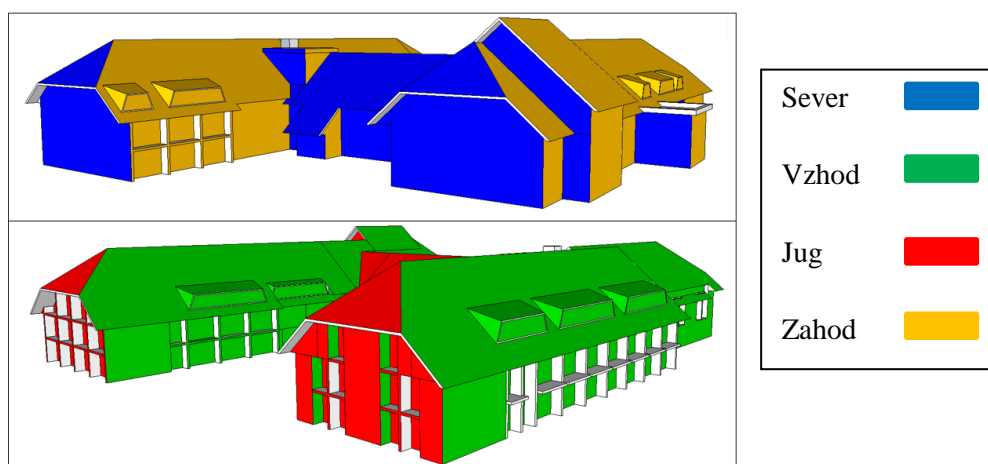
2.4.1 Določitev osončenosti stavbnega ovoja za kritične dneve

Najprej smo s pomočjo programa SketchUp izdelali trodimenzionalni model obravnavane stavbe. Gre za deloma poenostavljen model glede na model predstavljen v Preglednici 2 in Preglednici 3, ki pa v zadostni meri prikazuje bistvene elemente za izvedbo nadaljnjih analiz. Model smo preko geografskih koordinat umestili v prostor. Za potrebe analiz osončenosti ni bilo potrebno modelirati sosednjih objektov, saj so dovolj oddaljeni od obravnavanega objekta in nimajo vpliva na njegovo osončenost. Kot je razvidno iz Slike 3, so tudi okoliška drevesa dovolj oddaljena od objekta. Na zahodni strani je nekaj posameznih nižjih dreves, katera pa nimajo bistvenega vpliva na osončenost zahodnih fasad. S pomočjo programskega dodatka SunHours (SunHours, 2015), smo na fasade in strešne površine napeli mreže rastra 0,5m x 0,5m. Program nam je nato izračunal število ur osončenosti posameznega vozlišča. Model stavbe z vozlišči za analizo je prikazan na Sliki 7.



Slika 7: Osončenost objekta dne 21. 12.

Na Sliki 8 so prikazane površine objekta glede na orientacijo. Z modro barvo so označene površine, ki so orientirane severno, z zeleno površine, ki so orientirane vzhodno, z rdečo površine, ki so orientirane južno in z rumeno površine, ki so orientirane zahodno.



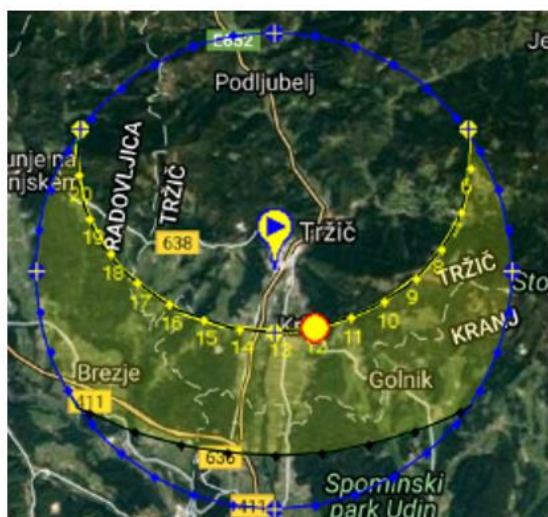
Slika 8: Prikaz orientacije površin

V Preglednici 4 so predstavljeni rezultati analize osončenosti za dneve 21. 3., 21. 6. in 21. 12. Podatke smo določili le za te dni ter dodatno še za 21. 9., saj predstavljajo kritične dni v letu, vrednosti za ostale mesece pa bi lahko pridobili z linearno interpolacijo, ki nam za naravo naše analize da dovolj natančne vrednosti.

Preglednica 4: Povprečna osončenost stavbnega ovoja

ORIENTACIJA POVRŠINE	POVPREČNA OSOŃENOST [%]			POVPREČNA OSOŃENOST [t]		
	21. 3.	21. 6.	21. 12.	21. 3.	21. 6.	21. 12.
Sever	1,7	10,4	0,0	00:12:14	01:27:22	00:00:00
Vzhod	15,8	17,5	17,2	01:53:46	02:27:00	01:22:34
Jug	34,6	9,5	52,8	04:09:07	01:19:48	04:13:26
Zahod	20,5	21,2	14,7	02:27:36	02:58:05	01:10:34
Streha sever	56,8	79,9	0,0	06:48:58	11:11:10	00:00:00
Streha vzhod	71,9	73,5	63,6	08:37:41	10:17:24	05:05:17
Streha jug	81,2	76,8	75,4	09:44:38	10:45:07	06:01:55
Streha zahod	64,7	70,2	54,8	07:45:50	09:49:41	04:23:02
Ravna streha	70,7	78,1	54,6	08:29:02	10:56:02	04:22:05

V Preglednici 4 so prikazane povprečne osončenosti posameznih površin glede na orientacijo. Gre za odstotke od maksimalnega potenciala osončenosti. Program SunHours v svojem izračunu upošteva, da med vzhodom in zahodom sonca dne 21. 3. preteče 12 ur, dne 21. 6. 14 ur in dne 21. 12. 8 ur. Na podlagi teh podatkov so prikazani rezultati osončenosti v urah. Po pričakovanjih se poleg vrednosti za strešne površine najvišje vrednosti pojavijo na južni fasadi. Izjema je le junijska vrednost. Gre za logičen trend, saj v poletnih mesecih sonce vzhaja in zahaja globoko proti severu in posledično v jutranjih in večernih urah bolj osonči vzhodne in zahodne površine. Diametralno nasprotje so severne površine, ki na celoletni ravni dobijo zelo majhen odstotek direktnega sončnega sevanja. Iz Slike 9 je razvidna pot sonca ob poletnem in zimskem solsticiju, območje v rumenem pa pomenijo poti sonca v vmesnem času.



a) 21.6.



b) 21.12.

Slika 9: Solarna diagrama za lokacijo obravnavanega objekta (SunEarthTools, 2016)

2.5 Energetska analiza obstoječega stanja

Energetsko analizo obstoječega stanja smo izvedli v programu KI Energija 2014 (KI Energija, 2016). Izdelava modela je potekala v skladu s pravilnikom PURES 2010, z metodo izdelovanja energetskih izkaznic (Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb, 2014) in TSG-1-004: 2010.

2.5.1 Zasnova osnovnega modela

V Preglednicah 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12 in 13 so prikazani vhodni podatki za izdelavo osnovnega modela stavbe.

Preglednica 5: Splošni podatki

Vrsta stavbe	stanovanjska
Lokacija stavbe	Bistrica pri Tržiču
GKX=	134563
GKY=	445694
Parcelna številka	270/1

Preglednica 6: Podatki o načinu ogrevanja, hlajenja in pripravi sanitarne tople vode

	Ogrevanje	Hlajenje	Sanitarna topla voda
Energent	Zemeljski plin	Klimatske naprave	Električni grelniki

Preglednica 7: Klimatski podatki

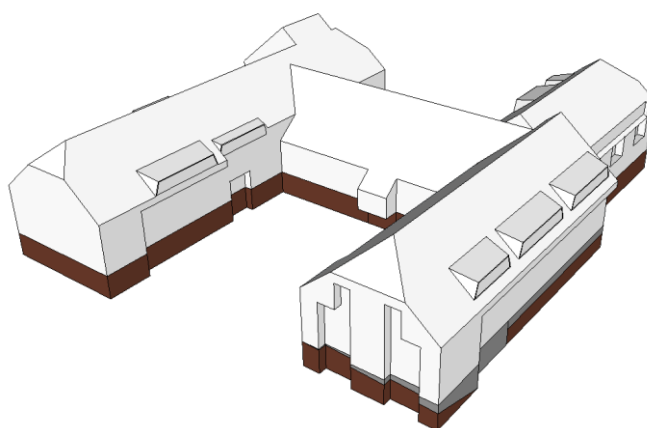
Temperaturni primanjkljaj [Kdan/a]	3700
Projektna temperatura [°C]	-10
Povprečna letna temperatura [°C]	7–8
Letna energija sončnega obsevanja [kWh/m²a]	1209

Preglednica 8: Podatki o povprečni temperaturi, vlažnosti in globalnem sončnem sevanju po mesecih

Mesec	Povprečna temperatura [°C]	Vlažnost [%]	Globalno sončno sevanje [Wh/m ²]
Januar	-2	82	1255
Februar	0	78	2037
Marec	3	75	2992
April	7	73	3993
Maj	12	74	5013
Junij	15	75	5478
Julij	18	75	5633
Avgust	17	77	4915
September	13	82	3634
Oktober	8	83	2277
November	3	84	1448
December	-1	84	1008

2.5.2 Določitev ogrevalnih con

Ogrevalne cone in ovoj smo določili po standardu SIST EN ISO 13790 (2008). V TSG-1-004: 2010 je v poglavju 9.2.3 zapisano, da toplotni ovoj stavbe sestavljajo vsi stavbni elementi, ki toplotno ščitijo kondicionirani prostor od zunanosti, sosednjih stavb in nekondicioniranih prostorov. V primeru, da toplotna cona obsega 80% ali več celotne stavbe, se celotna stavba lahko privzame kot enotna cona (TSG-1-004:2010, 2010). Po ogledu objekta na terenu in upoštevajoč obstoječo projektno dokumentacijo, smo se odločili, da stavbo upoštevamo kot eno ogrevano cono brez dodatnih neogrevalnih con. V kletnih prostorih se nahaja kotlovnica, nameščeni pa so tudi radiatorji. Kletne stene in stene v pritličju ter prvem nadstropju niso dodatno toplotno izolirane, mansardni del pa se je toplotno izoliral ob sanaciji ostrešja. Toplotni ovoj se nato kontinuirano nadaljuje med špirovci in pod njimi. Na Sliki 10 prikazujemo model objekta kot eno ogrevano cono. Z rjavo barvo so označene površine kletnih sten, ki so vkopane, s sivo barvo pa površine kletnih sten, ki so pod nivojem tal, a niso vkopane. Gre za dostop do kletnih prostorov preko zunanjega stopnišča.



Slika 10: Ogrevana cona

V Preglednicah 9, 10, 11, 12 in 13 so prikazani parametri, ki so deloma črpani iz standarda SIST EN ISO 13790, večina pa jih je odčitana iz izdelanega modela.

Preglednica 9: Podatki o ogrevani coni

Vhodni podatki / oznaka cone	Ogrevana cona	
Bruto prostornina cone V_e [m ³]	25.055	
Neto uporabna površina A_k [m ²]	4908	
Efektivna toplotna kapaciteta cone C	Srednje težka	
Projektna notranja temperatura [°C]	Poleti	Pozimi
Dan	26	20
Noč	26	15
Povprečna moč dobitkov notranjih virov [W/m ²]	4	

Preglednica 10: Podatki o prezračevanju

Vhodni podatki / oznaka cone	Ogrevana cona
Vrsta prezračevanja	naravno
Urna izmenjava zraka z zunanjim okoljem n [h ⁻¹]	0,5
Minimalna urna izmenjava zraka z zunanjim okoljem n [h ⁻¹]	0,5

Zunanje stene smo zaradi različnih toplotnih prehodnosti razdelili na štiri dele. Zunanje stene v pritličju in večina zunanjih sten v prvem nadstropju ni dodatno toplotno zaščitenih. Ob sanaciji ostrešja je bil poleg toplotne izolacije ostrešja dodatno toplotno izoliran tudi manjši del zunanjih sten v prvem nadstropju ter mansardni del, in sicer z 12cm mineralne volne. Kot površine pod okni smo upoštevali površine lesenih parapetov, opisanih v poglavju 2.3. Kletne stene so armiranobetonske, brez dodatne toplotne izolacije, posledično je toplotna prehodnost tega konstrukcijskega sklopa zelo visoka.

Preglednica 11: Podatki o stenah in strehi

Vhodni podatki / oznaka cone	Ogrevana cona				
	Zunanje stene	Neizoliran del	Izoliran del	Površine pod okni	Kletne stene
Površina netransparentnega dela [m ²]	1137	216	235	150	
Toplotna prehodnost U [W/m ² K]	1,171	0,233	0,387	3,131	
Streha	Poševna streha		Ravna streha		
Površina netransparentnega dela [m ²]	6065		42		
Toplotna prehodnost U [W/m ² K]	0,166		0,200		

Preglednica 12: Podatki o tleh pod terenom

Vhodni podatki / oznaka cone	Ogrevana cona
Toplotna prehodnost zunanje stene kleti nad terenom [W/m ² K]	3,131
Površina vkopanih tal A _{bf} [m ²]	1985
Izpostavljeni obseg tal P [m]	305
Prevodnost tal [W/mK]	2
Globina tal kleti pod nivojem terena z [m]	2,92

Podobno kot pri netransparentnem delu stavbnega ovoja tudi pri transparentnem v objekt ni vgrajeno enotno stavbno pohišstvo. V bivalnih enotah in delu preostale stavbe so vgrajena prvotna lesena okna z dvoslojno zasteklitvijo iz leta 1979. Okna so po današnjih standardih o učinkoviti rabi energije popolnoma neprimerna. Gre za vezana okna brez nizkoemisijjskih nanosov na steklu, medstekelni prostor pa je nezatesnjen in polnjen z zrakom. Na podlagi tega smo ocenili toplotno prehodnost takega okna na 2,8 W/m²K (Seliškar, 1997). Ob rekonstrukciji veznega trakta leta 2007 so bila stara okna na tem mestu zamenjana z novo dvoslojno zasteklitvijo z aluminijastimi okvirji. Hkrati so bila z enakimi okni zamenjana tudi nekatera druga dotrajana prvotna okna. Ob sanaciji ostrešja so se izdelale nove frčade, kamor so bila prav tako vgrajena aluminijasta okna. Vgrajenih je tudi 18 strešnih oken. Iz projektne dokumentacije ter iz oznake v medstekelnem prostoru okna je bilo razvidno, da gre za zasteklitev s toplotno prehodnostjo 1,1 W/m²K. Faktor prehoda celotnega sončnega sevanja »g« za prvotna lesena okna smo določili s pomočjo preglednice, objavljene v članku z naslovom Pasivna hiša-toplotne, optične in zvočne lastnosti zastekljenih površin (Grobovšek, 2008). Lastnosti za nova aluminijasta okna in strešna okna smo dobili s strani proizvajalca (MIK Celje, 2016).

Preglednica 13: Podatki o transparentnih konstrukcijskih sklopih

Vhodni podatki / oznaka cone	Ogrevana cona		
	Stara	Nova	Strešna
Površina A_w [m ²]: Sever	41,78	70,10	5,90
Površina A_w [m ²]: Vzhod	237,43	106,92	0,66
Površina A_w [m ²]: Jug	149,5	77,57	3,28
Površina A_w [m ²]: Zahod	227,36	45,98	5,24
Toplotna prehodnost oken U_w [W/m ² K]	2,8	1,1	1,1
Faktor prehoda celotnega sončnega sevanja g [-]	0,76	0,63	0,6

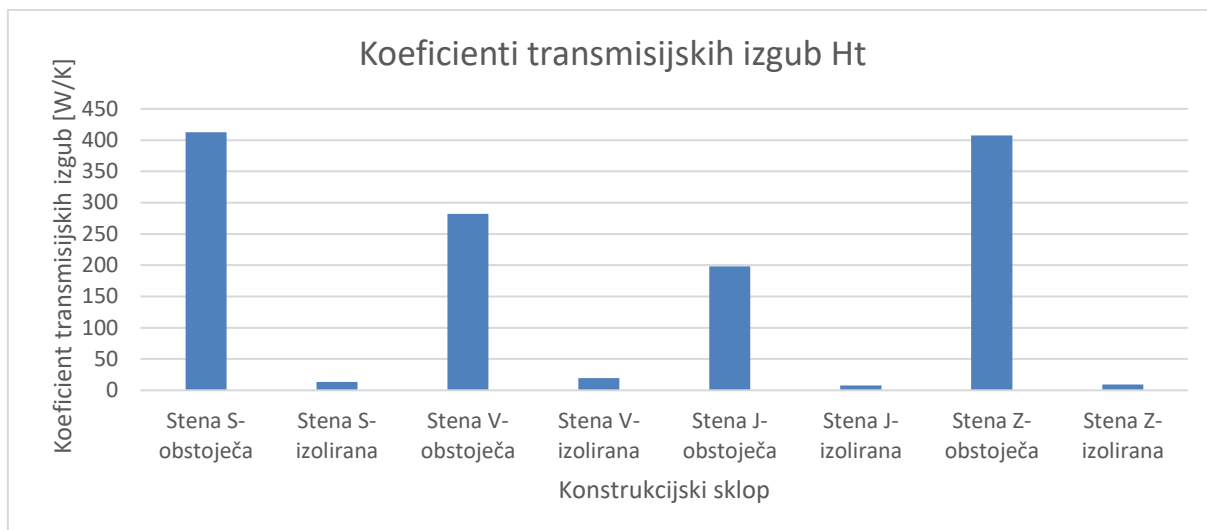
2.5.3 Rezultati energetske analize celotne stavbe

Rezultati izračuna gradbene fizike so pokazali, da letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe na enoto kondicionirane površine stavbe Q_{NH}/A_k znaša 136 kWh/m²a, kar stavbo uvršča v energetske razred E po definiciji v Pravilniku o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb (Uradni list RS, št. 92/14, 2016). V Preglednici 14 so prikazani rezultati letne energijske bilance.

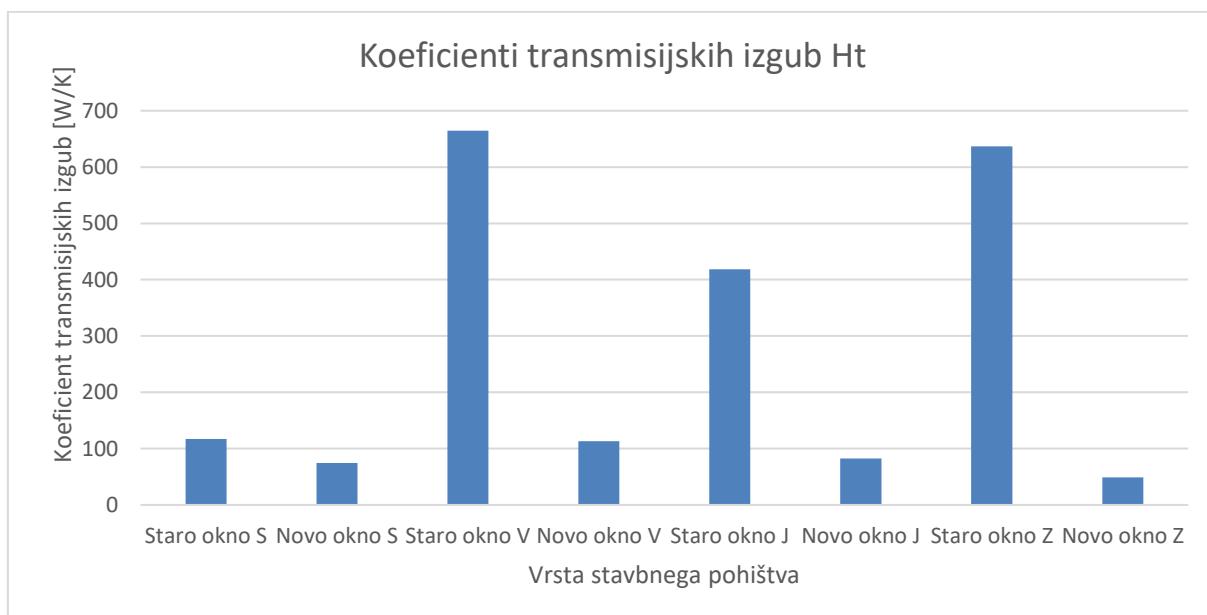
Preglednica 14: Letna potrebna toplota za ogrevanje in hlajenje, specifične transmissijske izgube in toplotna bilanca v ogrevalni sezoni

Potreba za ogrevanje Q_{NH} [kWh]	Potreba za hlajenje Q_{NC} [kWh]	Specifične transmissijske izgube H'_t [W/m ² K]	Toplotna bilanca v ogrevalni sezoni					
			Transmissijske izgube [kWh]	Ventilacijske izgube [kWh]	Skupne izgube [kWh]	Notranji dobitki [kWh]	Solarni dobitki [kWh]	Skupni dobitki [kWh]
667.554	11.524	0,762	620.398	337.013	957.411	127.215	174.016	301.231

Energijska učinkovitost stavbe je dosežena, če je izpolnjeno nekaj specifičnih pogojev. Koeficient specifičnih transmissijskih toplotnih izgub skozi površino toplotnega ovoja stavbe H'_t v našem primeru ne sme presežati vrednosti 0,458 W/m²K, dobljena vrednost pa znaša 0,762 W/m²K. Letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe Q_{NH}/A_k v našem primeru ne sme preseči 30,4 kWh/m²a, dobljena vrednost pa znaša 136 kWh/m²a. Letna primarna energija za delovanje sistemov v stavbi Q_p , preračunana na enoto ogrevane površine stavbe A_k za obstoječ objekt ne sme presežati vrednosti 183,9 kWh/m²a, dejanska vrednost pa je 233,4 kWh/m²a (PURES 2010, 2010). Vse presežene mejne vrednosti kažejo na to, da objekt ne spada med energijsko dovolj učinkovite in da so posegi na stavbnem ovoju v energetskem smislu upravičeni.



Slika 11: Koefficienti transmissijskih izgub skozi netransparentne dele fasadnega ovoja



Slika 12: Koefficienti transmissijskih izgub skozi transparentne dele fasadnega ovoja

Na Sliki 11 in Sliki 12 so prikazani koefficienti transmissijskih izgub. Koefficient izračunamo tako, da površino posameznega konstrukcijskega sklopa oziroma zasteklitve pomnožimo s pripadajočo toplotno prehodnostjo. Razvidno je, da so neizolirani deli fasadnega ovoja in prvotno stavbno pohištvo kritična mesta, nujna nadaljnje obravnave v magistrskem delu.

2.5.4 Analiza tipičnega fasadnega pasu s pomočjo 2D toplotnega polja

Glede na leto izgradnje obravnavane stavbe in nezadostno toplotno izolacijo fasadnega ovoja, smo bili zelo pozorni na mesta, kjer bi potencialno lahko prišlo do pojava toplotnih mostov. Toplotni mostovi so negativni pojavi na fasadnem ovoju stavbe, kjer je toplotni upor precej manjši od toplotnega upora na sosednjih mestih. Posledično to pomeni, da je toplotni tok iz notranjega okolja proti zunanemu v zimskem času močno povečan. Toplotni mostovi povzročijo povečano rabo energije za ogrevanje objekta in poslabšajo toplotno ugodje v prostoru, lahko pa vodijo do nastanka površinske kondenzacije vodne pare in s tem do nastanka plesni. Tega se je treba zavedati že v fazi izdelave projekta, posebno pozornost pa je treba nameniti tudi pravilni izvedbi vseh detajlov v fazi gradnje. Glede na vzrok nastanka

delimo toplotne mostove na konstrukcijske in geometrijske ter kombinacijo obeh. Do konstrukcijskega toplotnega mostu pride, ko je ovoj stavbe prekinjen ali predrt za materialom, ki ima veliko toplotno prevodnost (jeklo, armirani beton) in ni toplotno zaščiten ne z zunanje ne z notranje strani. Geometrijski toplotni most pa nastopi na delu ovoja stavbe, kjer je zunanja površina, preko katere toplota prehaja iz ogrevanega prostora v zunanje okolje, precej večja od notranje (na primer vogali). Geometrijskim toplotnim mostovom se ne moremo izogniti, lahko pa njihov vpliv omilimo. Ko večamo debelino toplotne izolacije na zunanji strani, se posledično notranja temperatura površine poveča, kar pri normalni vlažnosti in gibanju notranjega zraka prepreči nastanek površinske kondenzacije (Gradbeni inštitut ZRMK, 2011).

Da bi lahko predhodno napovedali in posledično preprečili nastanek površinske kondenzacije, moramo poznati temperaturni faktor f_{Rsi} . Gre za razmerje med razliko najnižje notranje površinske temperature in zunanje temperature ter spremembo temperature med notranjostjo in zunanjostjo. Upoštevajoč standarda SIST EN ISO 10211 (2008) in SIST EN ISO 13788 (2013), ga izračunamo po Enačbi 1:

$$f_{Rsi} = \frac{T_s - T_e}{T_i - T_e} \quad [-] \quad (1)$$

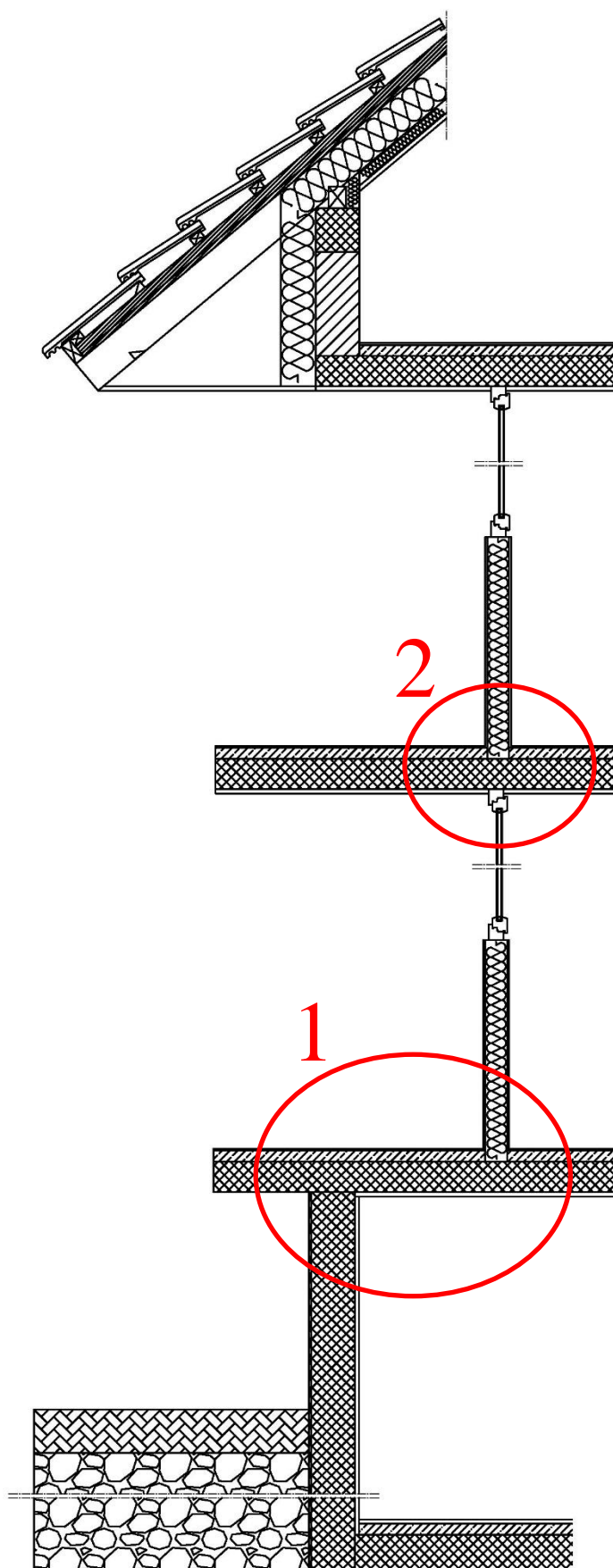
Zgornji členi v enačbi so predstavljeni v poglavju Simboli. Temperaturni faktor f_{Rsi} obsega vrednosti med 0 in 1. Vrednost 1 pomeni, da je notranja površinska temperatura enaka temperaturi drugje v prostoru. To vrednost je nemogoče doseči, pri projektiranju križanj pa se ji želimo čim bolj približati. Minimalna zahteva za vrednost f_{Rsi} ob predpostavki, da ne želimo pojava površinske kondenzacije, je 0,75 (Košir, 2014).



Slika 13: Posledice geometrijskega toplotnega mostu (Terming, 2016)

Na Sliki 13 je na desni strani prikazan termografski posnetek notranje stene, na levi strani slike pa vidimo, da je prišlo do kondenzacije vlage in razvoja plesni v kotu prostora. Sklepamo, da je temperatura stene v kotu pod temperaturo rosišča vsaj nekaj časa v letu.

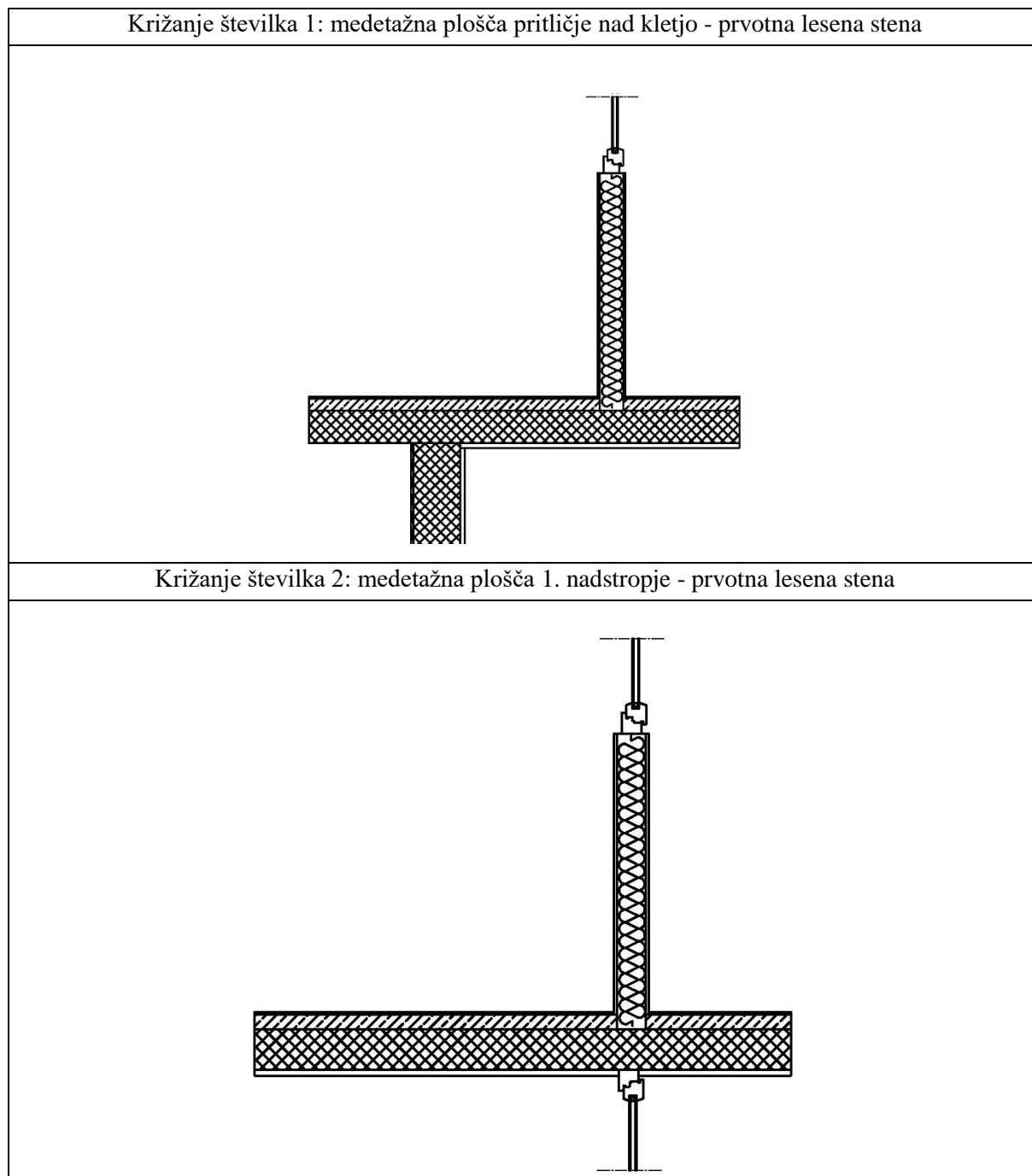
Za potrebe nadaljnje analize, smo izdelali fasadni pas obstoječega stanja. Na podlagi Slike 11 in Slike 12 ter znanja o toplotnih mostovih smo se odločili, da bomo analizirali tipičen presek v vzhodnem bivalnem traktu, ki zajema kletne prostore, bivalni enoti v pritličju in prvem nadstropju ter mansardni del. Fasadni pas je prikazan na Sliki 14.



Slika 14: Fasadni pas obstoječega stanja

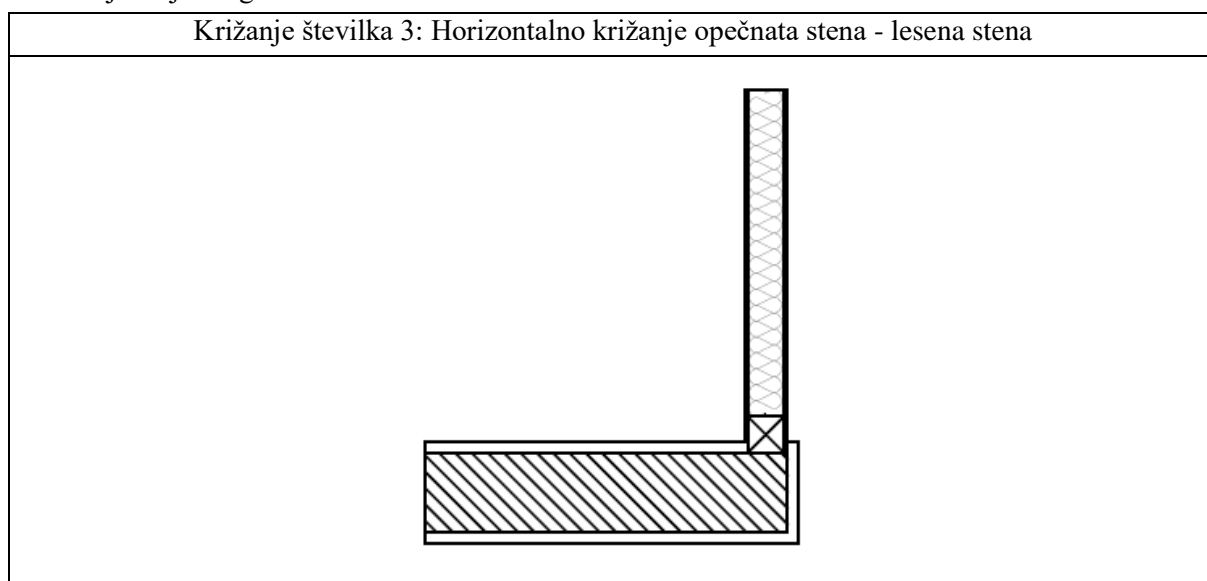
Na fasadnem pasu na Sliki 14 sta z rdečo barvo označeni kritični križanji, uporabljeni v nadaljnjih analizah. Poleg teh dveh smo analizirali tudi horizontalno križanje opečnate zunanje stene in lesenega parapeta pod okni. Izbrana križanja so prikazana v Preglednici 15.

Preglednica 15: Prikaz izbranih križanj konstrukcijskih sklopov



se nadaljuje ...

... nadaljevanje Preglednice 15



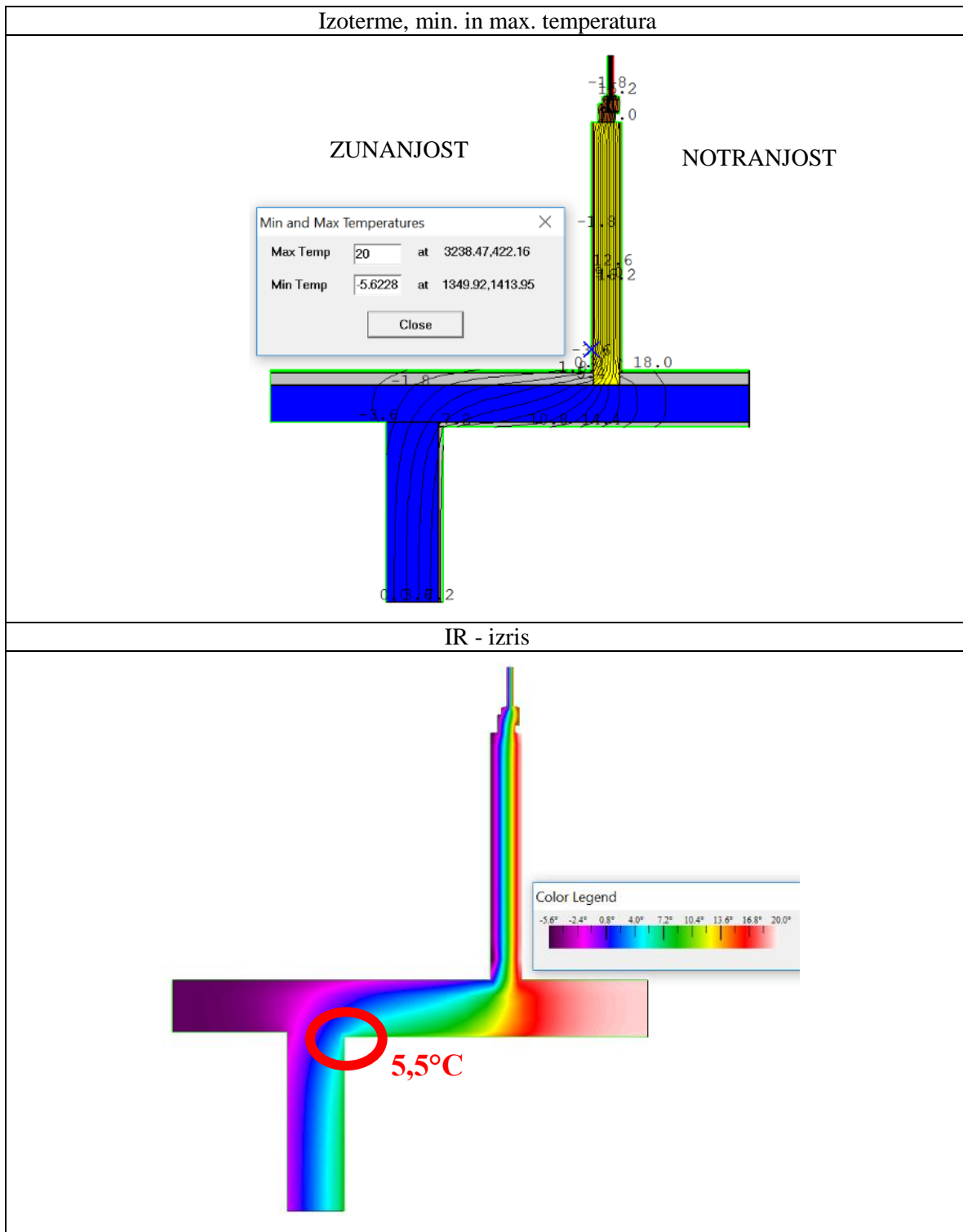
Izračun je bil izvršen v programu Therm (Therm 7.4, 2015). Program računa toplotno prehodnost skozi konstrukcijski sklop z dvodimenzionalno metodo. Gre za natančno metodo, kjer so zajeti tudi vsi linijski elementi v sklopu, kjer prihaja do povečanega toplotnega toka zaradi slabše izolativnih materialov. Prav tako so zajete tudi plasti, ki prekinajo homogeno sestavo konstrukcijskega sklopa (na primer podkonstrukcije lesenih fasad). V Preglednici 16 so prikazani materiali in njihove toplotne prevodnosti, uporabljeni v analizah.

Preglednica 16: Vhodni podatki za 2D metodo

Material	Toplotna prevodnost λ [W/mK]
Les	0,14
Modularna opeka	0,32
Armirani beton	2,33
Kamena volna	0,037
Cementni estrih	1,40
Cementno lepilo	0,90
Omet	0,87
Guma	0,16

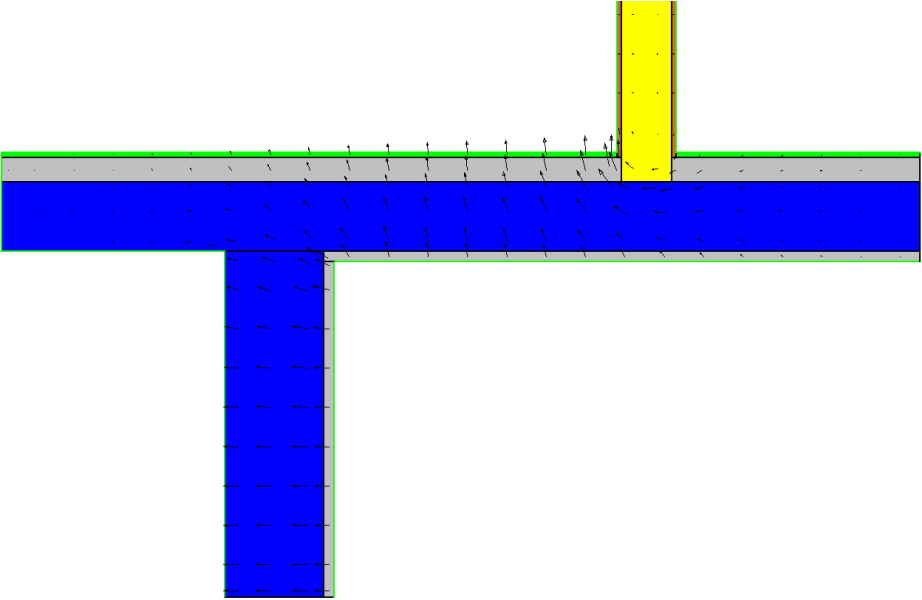
Toplotne prevodnosti λ so privzete v programu Therm. Pri računu toplotne prehodnosti skozi konstrukcijski sklop smo privzeli zunanjo robno temperaturo (T_e) -5°C in notranjo robno temperaturo (T_i) 20°C ter relativno vlažnost v prostoru 50%. Ob tem je nujno upoštevati še vrednosti faktorjev toplotne prestopnosti mejne zračne plasti. Vrednost na notranji strani konstrukcijskega sklopa znaša $h_n = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$, vrednost na zunanji strani pa $h_z = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$.

Preglednica 17: Križanje 1

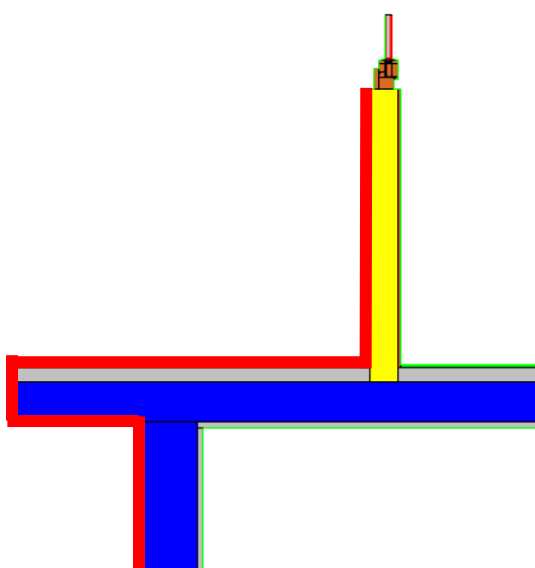


... se nadaljuje

...nadaljevanje Preglednice 17

Intenziteta toplotnega toka	
	
Faktor f_{Rsi}	
$T_e = -5^{\circ}\text{C}$	
$T_i = 20^{\circ}\text{C}$	
$T_s = 5,5^{\circ}\text{C}$	
$f_{Rsi} = (T_s - T_e)/(T_i - T_e) = 0,42 < 0,75$	

Zanimalo nas je, kolikšna je povprečna toplotna prehodnost U_{2D} vzdolž celotnega križanja. Površine, zajete v izračunu, so z rdečo barvo prikazane na Sliki 15.



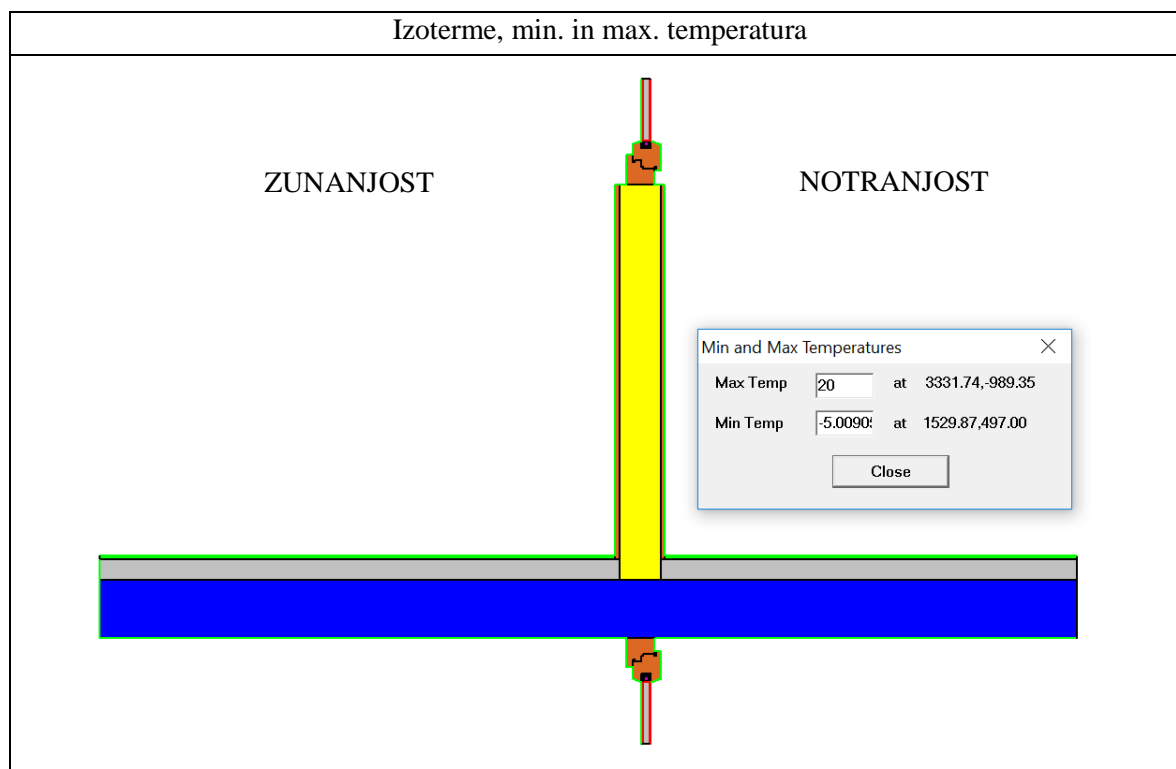
Slika 15: Prikaz površin, zajetih v izračun toplotne prehodnosti križanja

Izračunan faktor U_{2D} znaša $1,55 \text{ W/m}^2\text{K}$. Gre za relativno visoko vrednost. Iz rezultatov, prikazanih v Preglednici 17 je jasno, da armirano betonska plošča (balkon) deluje kot hladilno rebro. Dokaz o neučinkovito izvedenemu križanju je prikaz intenzitete toplotnega toka. V stacionarnem stanju se gostota toplotnega toka v toplotnem stiku z dano površino in debelino »|« med telesoma, med katerima obstaja temperaturna razlika ΔT izrazi z Enačbo (2):

$$j = -\lambda \frac{\Delta T}{l} \quad (2)$$

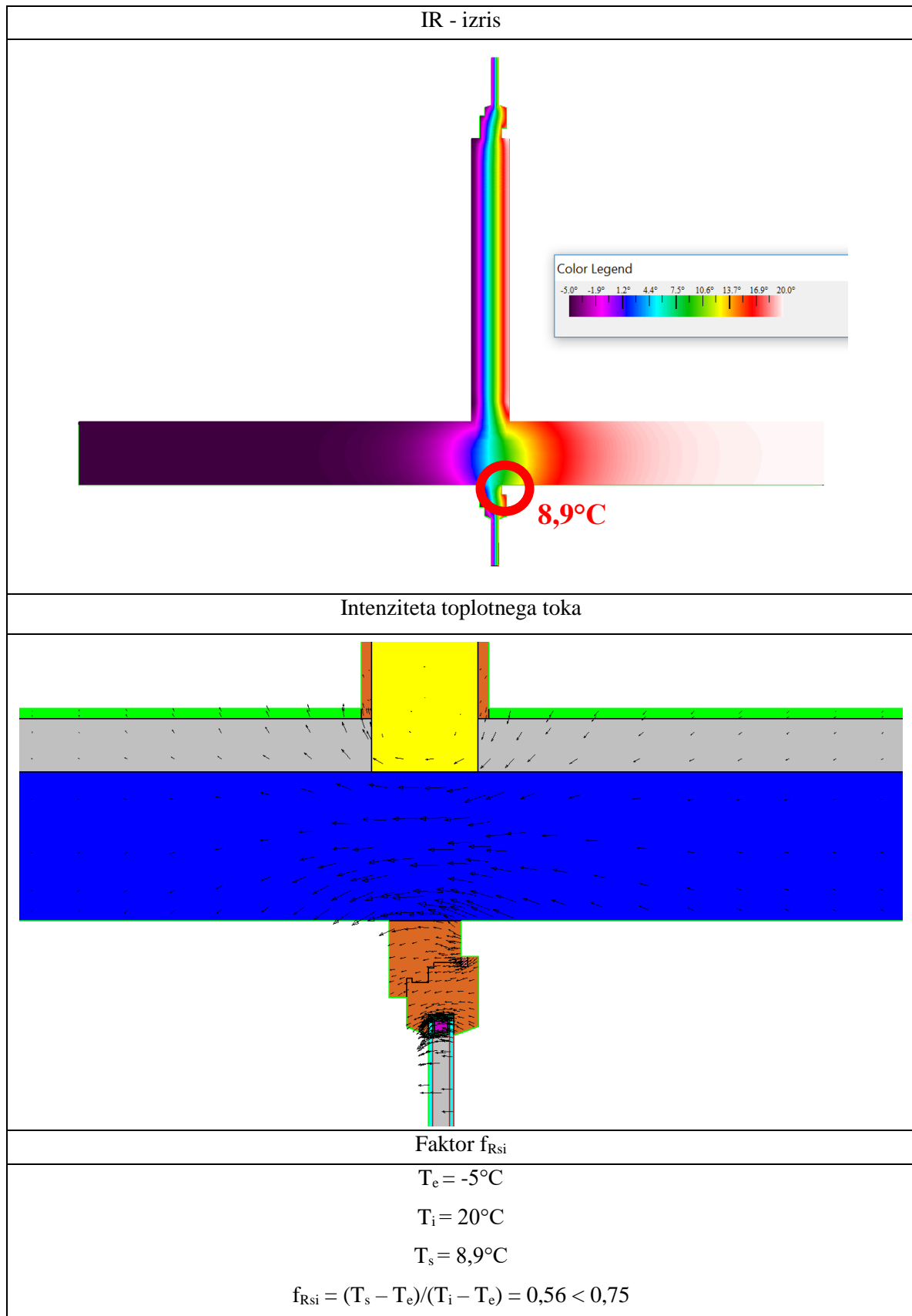
Toplotni tok tako kot vsak tok vedno teče tam, kjer ima najmanjši odpor. Največja intenzivnost toplotnega toka bo torej skozi dele stavbnega ovoja z najvišjo toplotno prehodnostjo. V našem primeru je vidno, da toplotni tok v veliki meri prehaja iz prostora z višjo temperaturo proti zunanosti skozi toplotno nezaščiteno armiranobetonsko ploščo. Izračunali smo, da se pri danih pogojih površinska kondenzacija pojavi pri $T_s = 9,3^\circ\text{C}$ (Dewpoint Calculator, 2016). Najnižja temperatura površine v zgornjem vogalu kletnega prostora znaša zgolj $5,5^\circ\text{C}$, kar nam da vedeti, da so izpolnjeni pogoji za rast plesni.

Preglednica 18: Križanje 2



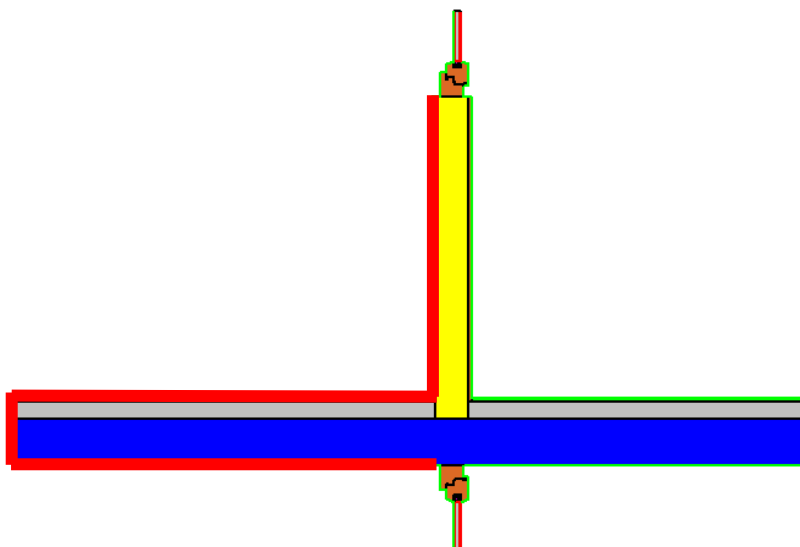
... se nadaljuje

...nadaljevanje Preglednice 18



Tudi pri Križanju 2 v Preglednici 18 je najnižja temperatura površine nižja od temperature rosišča, zato obstaja možnost nastanka plesni v zgornjih vogalih prostorov.

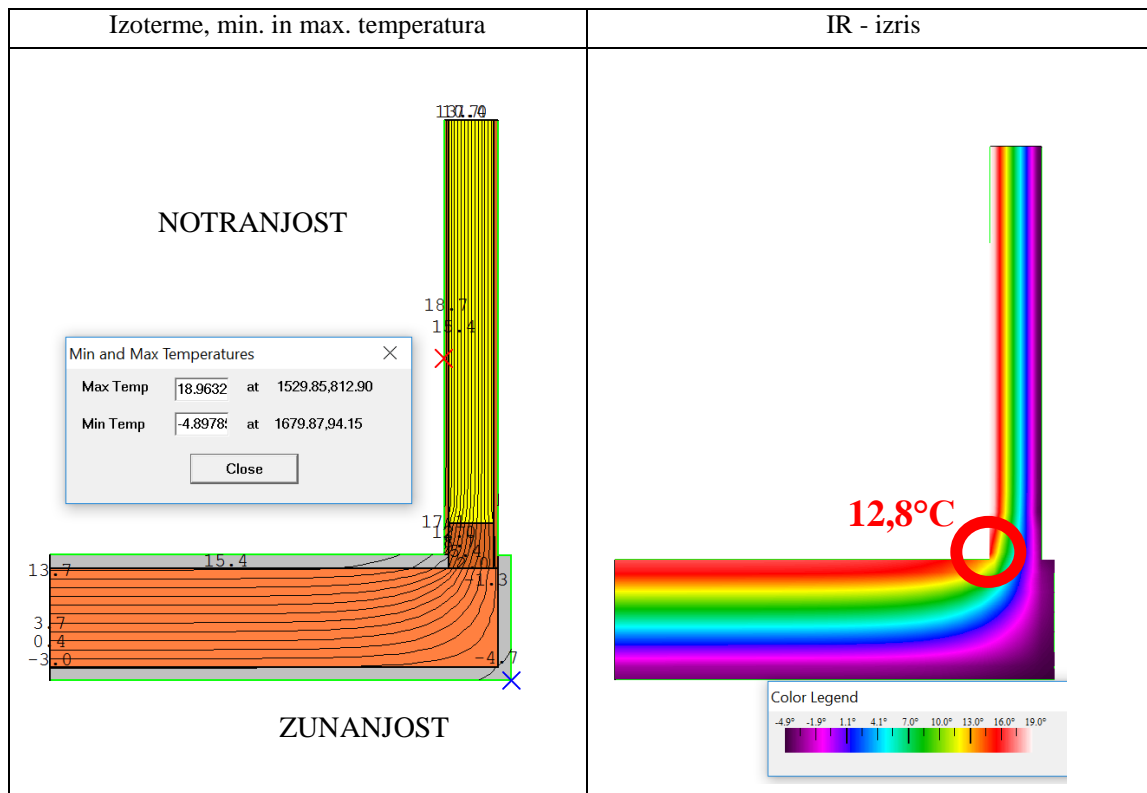
Površine, zajete v izračun toplotne prehodnosti U_{2D} vzdolž celotnega križanja, so z rdečo barvo prikazane na Sliki 16.



Slika 16: Prikaz površin, zajetih v izračun toplotne prehodnosti križanja

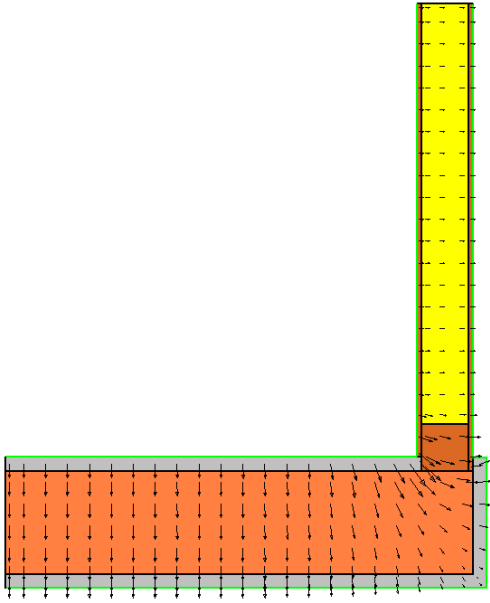
Izračunan faktor U_{2D} znaša $0,424 \text{ W/m}^2\text{K}$. Zopet gre za bistveno previsoko vrednost glede na trenutne zakonske zahteve.

Preglednica 19: Križanje 3

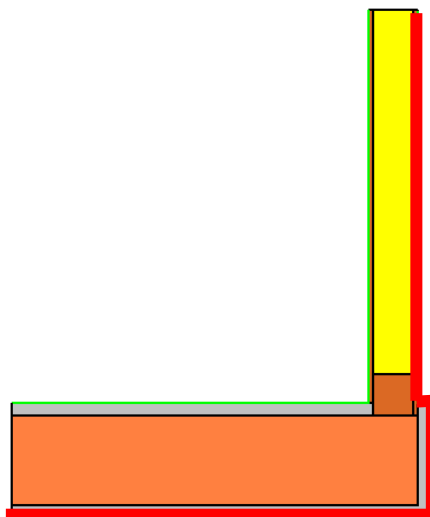


... se nadaljuje

... nadaljevanje Preglednice 19

Intenziteta toplotnega toka	Faktor f_{Rsi}
	$T_e = -5^{\circ}\text{C}$ $T_i = 20^{\circ}\text{C}$ $T_s = 12,8^{\circ}\text{C}$ $f_{Rsi} = (T_s - T_e)/(T_i - T_e) = 0,71 < 0,75$

Površine, zajete v izračun toplotne prehodnosti vzdolž celotnega križanja, so z rdečo barvo prikazane na Sliki 17.



Slika 17: Prikaz površin, zajetih v izračun toplotne prehodnosti križanja

Izračunan faktor U_{2D} znaša $0,63 \text{ W/m}^2\text{K}$, najnižja temperatura površine znotraj pa je tokrat $12,8^{\circ}\text{C}$ in je višja od temperature rosišča. Faktor f_{Rsi} znaša $0,71$, kar pomeni, da ob neugodnih pogojih lahko vseeno pričakujemo morebiten nastanek plesni.

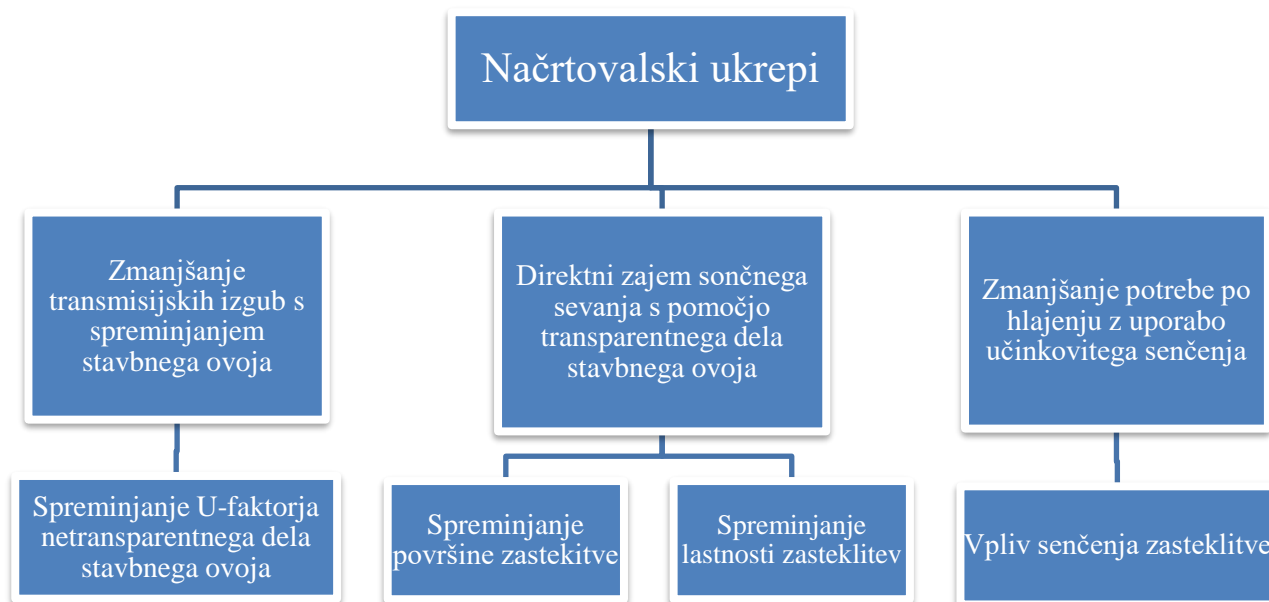
Ugotovili smo, da sta Križanje 1 in Križanje 2 popolnoma neustrezni. Pri obeh obstaja nevarnost pojava škodljive plesni, prav tako pa imata previsoko toplotno prehodnost glede na trenutne standarde o učinkoviti rabi energije. Računalniške analize so nam potrdile, da se preko armirano betonske plošče in balkona ter starega lesenega stavbnega pohištva formirajo toplotni mostovi.

3 PARAMETRIČNE ANALIZE

V fazi zasnove objekta je zelo pomembno izvesti večje število študij možnih izvedb in tako najti najbolj optimalno kombinacijo vplivnih faktorjev. S tem lahko ustvarimo velike prihranke tako v času gradnje, kot v celotni življenjski dobi stavbe. Namen tovrstnih študij je bil določitev optimiziranih elementov transparentnega in netransparentnega fasadnega ovoja. Končni cilj le-tega je izbira konkretnih rešitev, ki bodo zagotovile čim nižje izgube energije in hkrati nudile čim boljše bivalne pogoje v prostoru.

Na podlagi dejstev iz poglavja 2.5 smo zasnovali naslednje ukrepe:

- menjava preostalega lesenega stavbnega pohištva, ki je staro in toplotno slabo izolativno,
- vgradnja dodatne toplotne izolacije na mesta, kjer je še ni,
- odprava obstoječih toplotnih mostov z vgradnjo vnaprej izdelanih fasadnih elementov in z ustreznimi tehničnimi rešitvami.



Slika 18: Diagram poteka parametričnih analiz

Na Sliki 18 je shematično prikazan sistem izvedbe naših parametričnih analiz. Glede na to, da je dejavnikov, ki vplivajo na porabo energije ogromno, je smiselno in bolj razumljivo, da smo izbrali le nekaj glavnih. Pri transparentnem delu ovoja smo spremljali vpliv lastnosti in površine oken na porabo energije v stavbi. Poleg tega smo analizirali tudi ukrepe, s katerimi bi zmanjšali transmisijske izgube in s tem potrebo po ogrevanju v zimskem času. Med te ukrepe spada izboljšanje izolativnosti zunanega ovoja, tako netransparentnega, kot tudi transparentnega. Obenem nas je zanimal tudi vpliv uporabe senčil na potrebo po hlajenju.

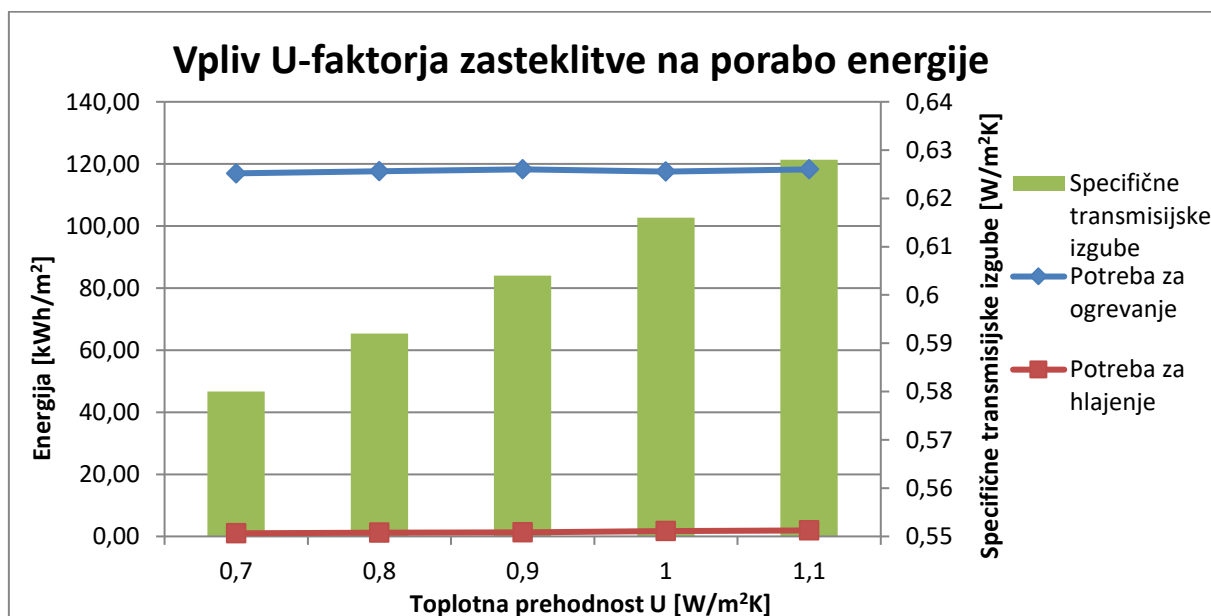
3.1 Rezultati parametričnih analiz

3.1.1 Sprememba U-faktorja in g-faktorja oken

V tej analizi smo analizirali, kako izboljšanje lastnosti zasteklitve vpliva na potrebo po ogrevanju in hlajenju stavbe. Spreminjali smo U-faktor zasteklitve od 0,7 do 1,1 W/m²K s korakom 0,1 W/m²K. U-faktorji dvojslojne zasteklitve z nizkoemisijemskim nanosom dosegajo vrednosti do 1,1 W/m²K, U-faktorji troslojne zasteklitve z nizkoemisijemskim nanosom pa imajo lahko vrednosti tudi 0,7 W/m²K. Na podlagi teh dveh dejstev smo določili obseg analize. Pri zasteklitvah je poleg toplotne prehodnosti pomembna tudi prepustnost celotnega spektra sončnega sevanja oziroma g-faktor. Prepustnost je odvisna od debeline stekel, njegove kemijske sestave, v primeru nizko emisijemskih nanosov pa tudi od njihovih lastnosti. Ob zniževanju toplotne prehodnosti se hkrati zmanjšuje tudi g-faktor. Lastnosti oken, uporabljenih v analizi in prikazanih v Preglednici 20, smo pridobili iz tehničnih podatkov proizvajalca Reflex (Reflex, 2016). Lastnosti oken smo spreminjali v izdelanem modelu trenutnega stanja stavbe.

Preglednica 20: Letna potrebna toplota za ogrevanje in hlajenje, ter specifične transmisijske izgube

U-faktor zasteklitve [W/m ² K]	g-faktor zasteklitve [-]	Potreba za ogrevanje Q _{NH} [kWh/m ²]	Potreba za hlajenje Q _{NC} [kWh/m ²]	Specifične transmisijske izgube H' _t [W/m ² K]
0,7	0,47	116,96	1,01	0,58
0,8	0,50	117,58	1,16	0,59
0,9	0,53	118,21	1,32	0,60
1,0	0,59	117,57	1,72	0,62
1,1	0,62	118,23	1,92	0,63



Slika 19: Vpliv U-faktorja in g-faktorja na porabo energije

Na podlagi Slike 19 smo ugotovili, da se z zmanjševanjem U-faktorja zasteklitve (boljšanje toplotnih lastnosti) zmanjšujejo specifične transmisijske izgube. Ta sprememba se odraža v tem, da se sočasno zmanjšuje tudi potreba za ogrevanje. Ugotovili smo, da smo z izboljšanjem U-faktorja zasteklitve zmanjšali potrebo za hlajenje za 43%, potrebo po ogrevanju pa za 3%. Zavedati se je potrebno, da gre

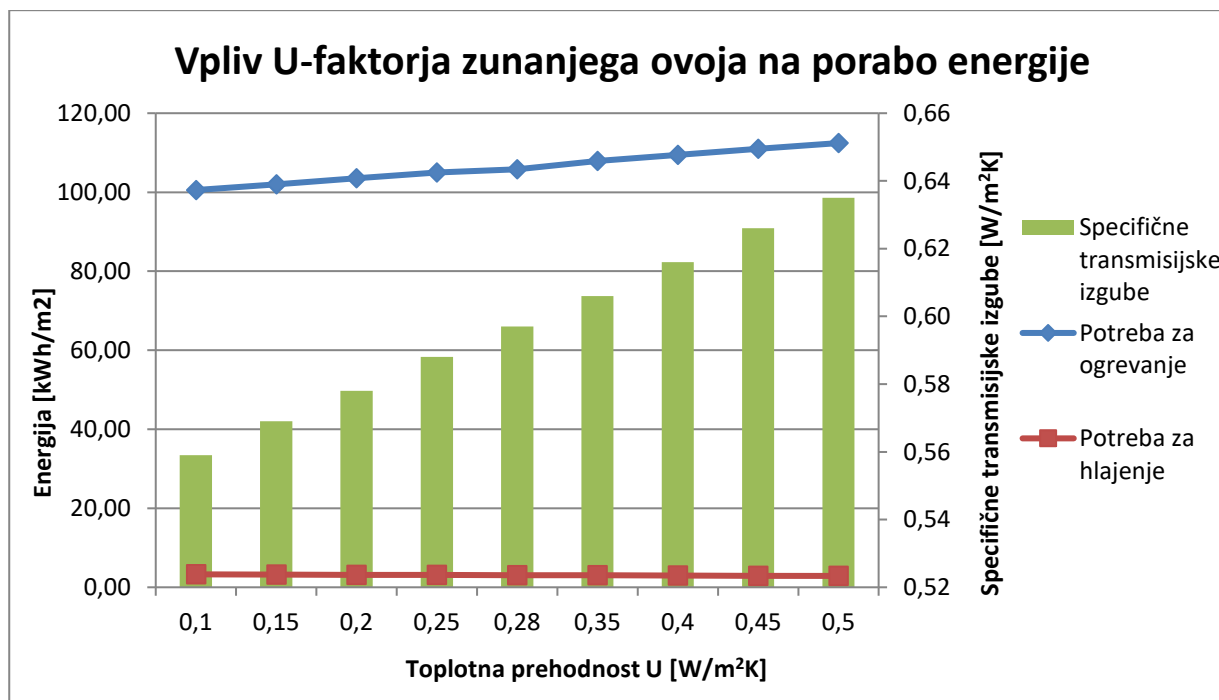
tu za relativne spremembe. Gledano absolutno, se je letna potrebna energija za delovanje stavbe zmanjšala za 1,4%. Logično je, da večji kot je g-faktor (več sončnega sevanja preide skozi zasteklitev), večji so solarni dobitki v stavbi. Rezultati simulacij so nam to tezo potrdili. S povečanjem g-faktorja se logično povečujejo potrebe po hlajenju stavbe. Iz Preglednice 20 je razvidno, da je rast potrebe za hlajenje večja od rasti potrebne energije za ogrevanje, tako se pri obravnavanju bolj splačajo zasteklitve z nižjim g-faktorjem (manjši solarni dobitki) v kombinaciji z uporabo senčil. Na podlagi te analize in s primerjavo potrebne energije za ogrevanje glede na U-faktor okna, smo za naš objekt predpostavili, da naj bo toplotna prehodnost oken od 0,6 do 1,0 W/m²K.

3.1.2 Sprememba U-faktorja zunanje ovojne stavbe

V tej analizi smo simulirali enega najbolj standardnih ukrepov za izboljšanje energetske učinkovitosti stavbe. Gre za namestitev dodatne toplotne izolacije na ovoj stavbe in s tem izboljšanje toplotne izolativnosti le-te. V analizi smo spreminjali debelino toplotne izolacije in s tem posledično tudi toplotno prehodnost konstrukcijskih sklopov sten. Izvedli smo 5 simulacij, pri čemer smo U-faktor zunanjih sten spreminjali od 0,1 do 0,25 W/m²K s korakom 0,05 W/m²K in analizirali še maksimalen dovoljen U-faktor zunanje ovojne, ki znaša 0,28 W/m²K.

Preglednica 21: Letna potrebna toplota za ogrevanje in hlajenje, ter specifične transmissijske izgube

U-faktor zunanje ovojne [W/m ² K]	Potreba za ogrevanje Q _{NH} [kWh/m ²]	Potreba za hlajenje Q _{NC} [kWh/m ²]	Specifične transmissijske izgube H _t [W/m ² K]
0,1	100,55	3,27	0,56
0,15	102,00	3,22	0,57
0,2	103,49	3,16	0,58
0,25	104,97	3,11	0,59
0,28	105,81	3,08	0,6



Slika 20: Vpliv toplotne prehodnosti zunanje ovojne na porabo energije

Podobno kot v analizi toplotne prehodnosti zasteklitev v poglavju 3.1.1 tudi tukaj opažamo, da se z zmanjševanjem toplotne prehodnosti konstrukcijskih sklopov sten močno zmanjšujejo specifične transmisijske izgube. Posledica tega je zmanjševanje potreb po ogrevanju a hkrati povečevanje potreb po hlajenju. Ugotovili smo, da je problem dobro izoliranih stavb v tem, da se posledično toplota dalj časa zadržuje v prostoru, vse to pa lahko vodi tudi do pregrevanja. Ob povečevanju toplotne prehodnosti zunanjsega ovoja, se nam je toplota potrebna za ogrevanje povečala za 5%, potreba za hlajenje pa zmanjšala za 6%. Gledano absolutno, smo ob povečanju toplotne prehodnosti zunanjsega ovoja povečali energijo potrebno za delovanje stavbe za 4,7%.

3.1.3 Vpliv uporabe senčil v poletnem času

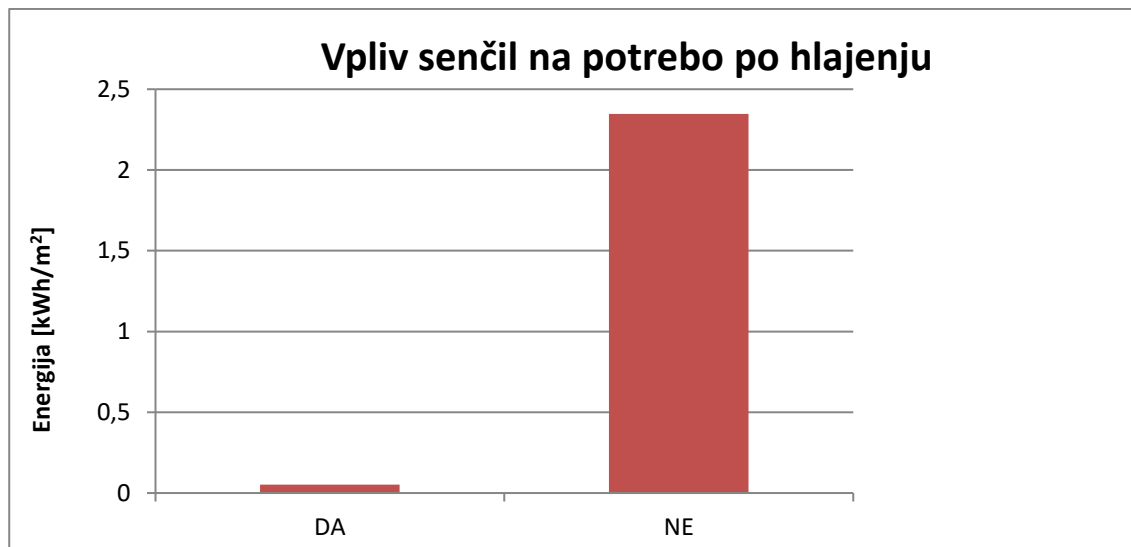
Zastekljene površine, večje od $0,5\text{m}^2$, morajo omogočati tako zaščito proti sončnemu obsevanju, pri kateri je faktor prepustnosti sončnega obsevanja stekla g_{st} in senčila g_s (upoštevaje vpliv položaja vgradnje) manjši od 0,5. Izjema so zastekljene površine, ki so obrnjene v smeri od severovzhoda preko severa do severozahoda ali so poleti trajno zasenčene z naravno oziroma umetno oviro. Faktor prepustnosti celotnega sončnega obsevanja stekla in senčila »g« se določi kot produkt faktorjev prepustnosti celotnega sončnega obsevanja posamičnih plasti (stekla in senčila) po Enačbi (3) (TSG-1-004:2010, 2010):

$$g = g_{st} * g_s \quad (3)$$

Vsa okna, ki so izpostavljena neposrednemu sončnemu obsevanju, morajo imeti vgrajena senčila, ki naj bi zmanjšala največjo sončno obsevanje za vsaj 70% (TSG-1-004:2010, 2010). V poletnem času senčila, ki senčijo transparentni del stavbnega ovoja, močno zmanjšujejo solarne pritoke. Nujno je, da so vgrajena na zunanji strani oken. Zanimalo nas je, koliko procentualno zmanjšamo potrebno energijo za hlajenje v primeru, da je senčenje zagotovljeno in v primeru, da tega ni. V teoretičnem primeru, ko na objektu ni senčil, je program privzel g-faktorje vgrajenega stavbnega pohišva. Za prvotna okna je ta vrednost 0,76, za novejša je ta vrednost 0,63, za strešna okna pa je vrednost 0,6. V primeru, ko pa so senčila v poletnem času v uporabi, pa program KI Energija, glede na to, da smo izbrali bele zunanje žaluzije, privzame, da je vrednost efektivnega g-faktorja 0,1.

Preglednica 22: Letna potrebna toplota za ogrevanje in hlajenje, ter specifične transmisijske izgube

Uporaba senčil v poletnem času	Potreba za hlajenje Q_{NC} [kWh/m ²]	Specifične transmisijske izgube H'_t [W/m ² K]
DA	0,05	0,72
NE	2,35	0,76



Slika 21: Vpliv senčil na potrebo po hlajenju

Rezultati na Sliki 21 so potrdili predvidevanje in smisel zahteve zapisane v TSG-1-004:2010. Brez senčil pride v stavbo veliko več solarnih dobitkov. Potrebna energija za hlajenje se torej ob ustrezni uporabi senčil na zunanji strani oken zmanjša iz 2,35 kWh/m² na 0,05 kWh/m², oziroma kar za 97,8%.

4 ZASNOVA IN ANALIZA KONSTRUKCIJSKIH SKLOPOV

V poglavju 2.5 smo analizirali obstoječ fasadni pas tipičnega dela obravnavanega objekta. Zasnova zunanjšega ovoja je v tej obliki energetske neučinkovita. Naš namen je bil najti rešitev, ki bo celostno rešila ta problem. Rešitev smo iskali v izvedbi konstrukcijskih sklopov z lesom. Les je prijazen okolju in je edini obnovljivi gradbeni material s čistim življenjskim ciklom. Ima ugodno razmerje med gostoto in trdnostjo, visoko površinsko temperaturo, nizko toplotno prevodnost, dobre akustične in elastične lastnosti (Kitek Kuzman, 2012). Motivacija za razmišljanje o lesu so bili tudi primeri dobre prakse iz Skandinavije, Nemčije in Avstrije.



Slika 22: Dom za starejše v kraju Esternberg, Avstrija (ArchDaily, 2016)

Objekt, obravnavan v tem magistrskem delu, temelji na principu modularnosti. Vsaka posamezna bivalna enota je povezana z balkonom širine 1m, ki pa glede na opravljen terenski pregled niso v stalni rabi. Modularne enote z južne strani so vidne levo na Sliki 23, modularne enote z vzhodne smeri pa desno na Sliki 23.



Slika 23: Dom Petra Uzarja - obstoječe stanje

Pri iskanju ustrezne konstrukcijske rešitve smo upoštevali več dejavnikov. Glede na to, da je ploskev bivalne enote, ki gleda proti zunanosti sestavljena iz stavbnega pohištva, ki je staro in toplotno slabo izolativno ter iz tanke lesene stene, je jasno, da tega stanja ne moremo obdržati. Prvi zaključek je torej popolna odstranitev vseh elementov na tem mestu. Rešitev bi bila pozidava in rekonstrukcija zunanje

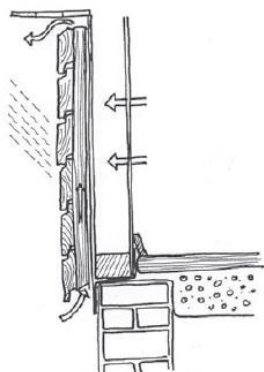
stene z modularno opeko oziroma porobetonskimi bloki. Ob tem se je potrebno zavedati, da bi morala biti bivalna enota v času gradnje izpraznjena. Glede na število kapacitet in starostno skupino ljudi, ki bivajo v njih, ta sistem ne bi bil najboljši. Možna rešitev bi bila premik ravnine zunanje stene iz obstoječega stanja za 1m proti zunanosti, oziroma na konec balkona. Zavedali smo se, da bi s to rešitvijo izgubili uporabno površino balkona. Najbolj elegantna rešitev tega problema je vgradnja tako imenovanega francoskega balkona. Glede na zgornja dejstva smo se odločili za panelno gradnjo. Dodaten argument tovrstne gradnje je tudi hitrost gradnje. Gre za suho montažni način gradnje z veliko stopnjo prefabrikacije elementov v tovarni. Tam so ves čas proizvodnje izenačeni pogoji za izdelavo elementov, zaradi dorečenih konstrukcijskih detajlov pa je tudi manjša verjetnost za napake na konstrukciji (Kitek Kuzman, 2008). Veliko pozornost smo namenili izbiri zaključnega sloja fasadnega sistema v obliki obdelanih lesenih desk. Zelo pomembna je tudi pravilna izbira vrste lesa. Ožji nabor možnih vrst lesa je prikazan v Preglednici 23 (Turkulin et al., 2004).

Preglednica 23: Vrste lesa za uporabo na fasadah stavb

Vrsta lesa	Naravna trajnost	Vpojnost za vodo	Stabilnost dimenzij in oblike	Odpornost na delovanje gliv in insektov	Možnost impregnacije	Uporaba
smrekovina	majhna	majhna	srednja	majhna	beljava zmerno, jedrovina slabo	Najvažnejši srednjeevropski gradbeni les za vse masivne in lamelirane elemente
borovina	zmerna	majhna	srednja	zmerna	zmerna	Kvaliteten gradbeni les za zunanje konstrukcije, okna in vrata
macesnovina	dobra	majhna	srednja	beljava slabo, jedrovina zmerno	beljava zmerno, jedrovina slabo	Ekskluziven les za hiše, okna, vrata in masivne konstrukcije
hrastovina	velika	majhna	srednja	zelo velika	beljava dobro, jedrovina slabo	Najvažnejši listavec za gradnjo

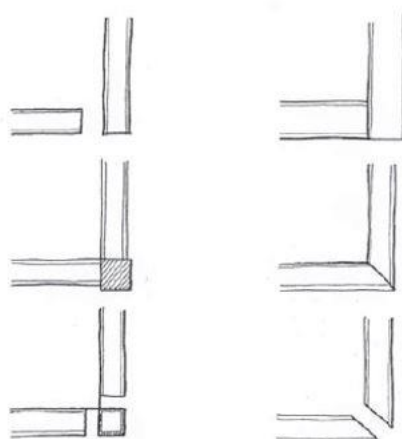
Običajno se lesena fasada izvede z oblaganjem desk ali plošč. Lahko se postavljajo navpično ali vodoravno, debelina pa mora znašati najmanj 20mm. Pri vodoravnem polaganju morajo biti zaradi boljšega naleganja deske profilirane. Med seboj se spajajo po sistemu pero in utor, pri čemer pero vedno predstavlja zgornji rob (utor bi zbiral padavinsko vodo). Deske se pritrjujejo na podložne letve, ki morajo biti prav tako impregnirane. Ta sistem hkrati omogoča, da se v medprostoru, ki ga definirajo letve, zagotovi kroženje zraka od spodaj navzgor. Zaključna lesena obloga je izpostavljena navlaženju z zunanje strani in tudi z notranje (difuzija vodne pare skozi zidove, ki se lahko kondenzira pod

zunanjsimi plastmi zidu). Kroženje zraka je torej bistvenega pomena pri preprečevanju pojava trohnenja (Turkulin et al., 2004). Na Sliki 24 je prikazana skica vodoravno postavljene deščene obloge. Vidno je, da je podkonstrukcija pritrjena vertikalno, ustvarjeni pa so tudi kanali za kroženje zraka.



Slika 24: Vodoravno postavljena deščena obloga (Turkulin et al., 2004)

Pri načrtovanju je potrebno upoštevati tudi dejstvo, da se les dimenzijsko spreminja. Deske, široke 100mm, lahko nabrekajo oziroma se krčijo za 2 do 3mm in bi v primeru popolnega fiksiranja popokale. V ta namen se uporabljajo različni preklopni spoji, ki omogočajo, da deske ena pod drugo delujejo znotraj predpisanih toleranc. Prikazani so na Sliki 25.



a) pravilna izvedba b) nepravilna izvedba

Slika 25: Kotni spoji (Turkulin et al., 2004)

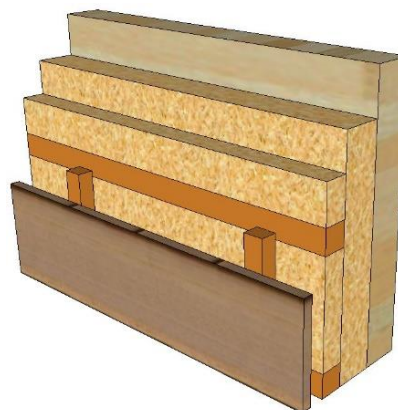
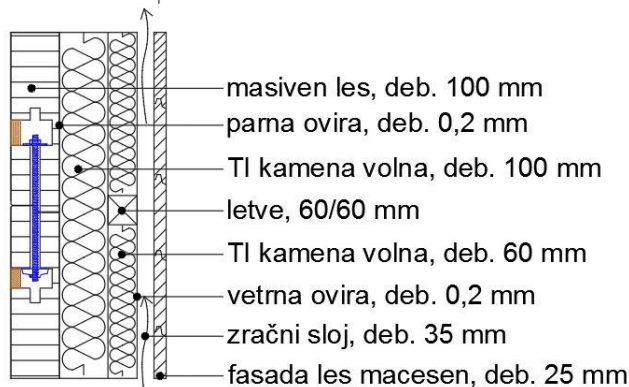
Za preostale površine zunanjega ovoja, ki ne mejijo na modularne bivalne enote, smo predpostavili, da se bodo dodatno toplotno izolirale na klasičen način z mineralno volno in tankslojnim ometom v dimenzijah, ki ustrezajo že izdelanemu toplotnemu ovoju na stavbi. Predvidena je uporaba uveljavljenega fasadnega sistema, ki je certificiran s strani proizvajalca. Izvedbe analiz teh konstrukcijskih sklopov in križanj tudi presegajo namen te magistrske naloge, zato jim nismo posvečali dodatne pozornosti.

Pri načrtovanju konstrukcijskih sklopov smo se opirali na konstrukcijske rešitve proizvajalcev fasadnih sistemov. Od Slike 26 do Slike 30 so predstavljeni izbrani konstrukcijski sklopi, ki smo jih analizirali v kasnejših študijah.

NOVE ZUNANJE STENE

- Ekso-skeletna zunanja stena

Vertikalni prerez

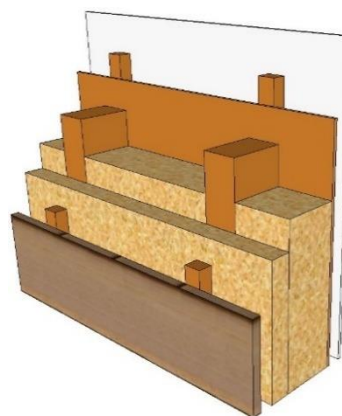
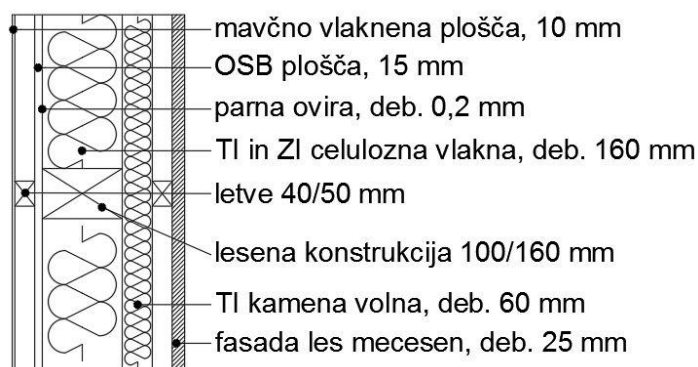


Slika 26: Sestava ekso-skeletne zunanje stene

Sestavo smo pridobili pri proizvajalcu Riko hiše (Riko Hiše, 2016). Predlagano toplotno izolacijo v obliki lesnih vlaken smo v istih dimenzijah nadomestili s kameno volno in s tem še bolj zmanjšali toplotno prehodnost konstrukcijskega sklopa. Ker je nosilna konstrukcija ekso-skeletna, bi zaradi kompaktnosti na preprost način izdelali modularne panele.

- Endo-skeletna zunanja stena

Horizontalni prerez



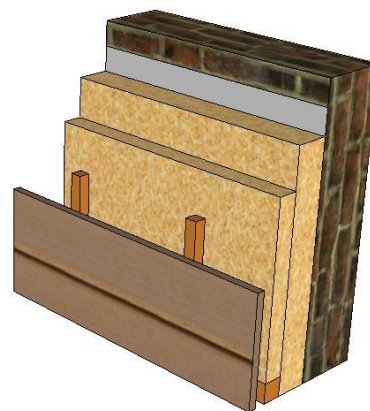
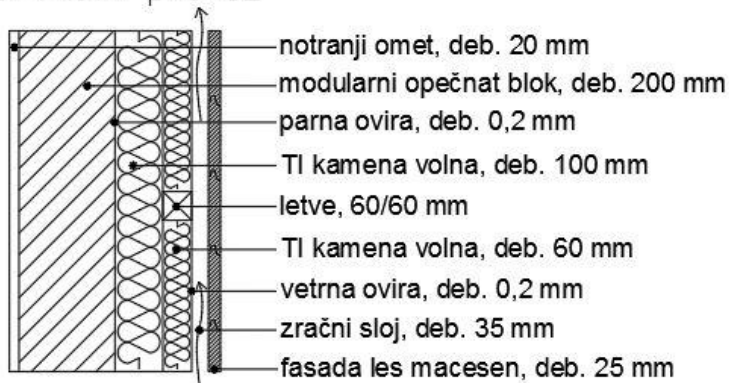
Slika 27: Sestava endo-skeletne zunanje stene

Izdelali smo tudi endo-skeletno varianto, pri kateri je masivno leseno steno zamenjala lesena konstrukcija, med katero je nameščenih 16cm toplotne izolacije v obliki celuloznih vlaken. Dodatno je zaradi preprečitve nastanka toplotnih mostov skozi lesene letve nameščenih še 6cm kamene volne. Konstrukcijski sklop bi bil zaradi relativno nizke teže primeren za izdelavo modularnih panelov, ki bi se obešali na prvotno horizontalno konstrukcijo.

TOPLOTNO IZOLIRANE OBSTOJEČE ZUNANJE STENE MODULARNIH ENOT

- Prezračevana zunanja stena

Vertikalni prerez

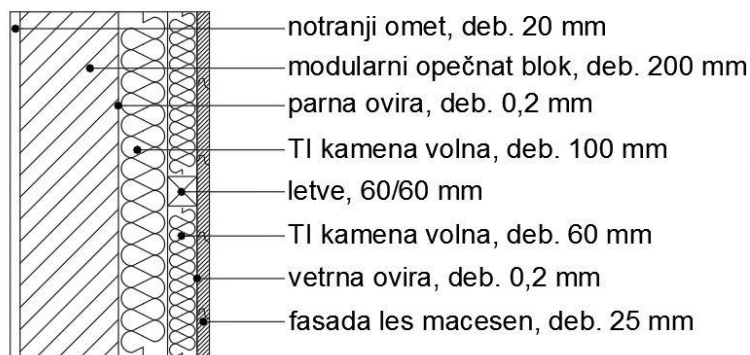


Slika 28: Sestava ekso-skeletne obstoječe zunanje stene z dodano toplotno izolacijo – prezračevana varianta

V primeru obstoječe zunanje stene modularnih enot smo se odločili za klasično toplotno izolacijo s kameno volno enakih dimenzij kot pri ekso-skeletni zunanji steni in leseno fasado, pritrjeno na leseno podkonstrukcijo.

- Neprezračevana zunanja stena

Vertikalni prerez

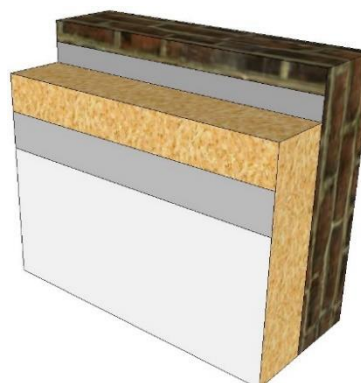
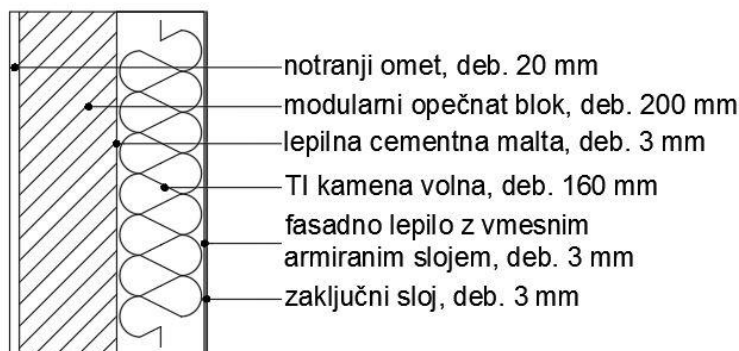


Slika 29: Sestava ekso-skeletne obstoječe zunanje stene z dodano toplotno izolacijo - neprezračevana varianta

Kot primer za analizo smo izdelali tudi primer neprezračevane zunanje stene, čeprav je jasno, da je zaradi stikovanja ploskev z modularnim panelom in trajnosti lesene obloge primernejša prezračevana varianta.

TOPLOTNO IZOLIRANE OBSTOJEČE ZUNANJE STENE KJER NI MODULARNIH ENOT

Vertikalni prerez



Slika 30: Sestava ekso-skeletne obstoječe zunanje stene z dodano toplotno izolacijo in tankoslojnim ometom

Za preostale zunanje stene, kjer trenutno ni nameščene dodatne toplotne izolacije in niso del modularnih enot, smo izdelali klasično varianto toplotne izolacije s kameno volno debeline 16cm in kontaktno fasado.

4.1 Izračun toplotne prehodnosti z 2D metodo

Konstruktivskim sklopom, določenim v poglavju 4, smo v naslednjem koraku morali določiti pripadajoče toplotne prehodnosti. Izračun je bil zopet izvršen na enak način kot v poglavju 2.5 v programu Therm. Zanimalo nas je, ali izbrani konstrukcijski sklopi izpolnjujejo zahtevo, prikazano v Preglednici 24.

Preglednica 24: Mejne vrednosti U faktorjev

Konstrukcijski sklop	U _{mejni} [W/m ² K]
Zunanja stena	0,28

4.1.1 Vhodni podatki

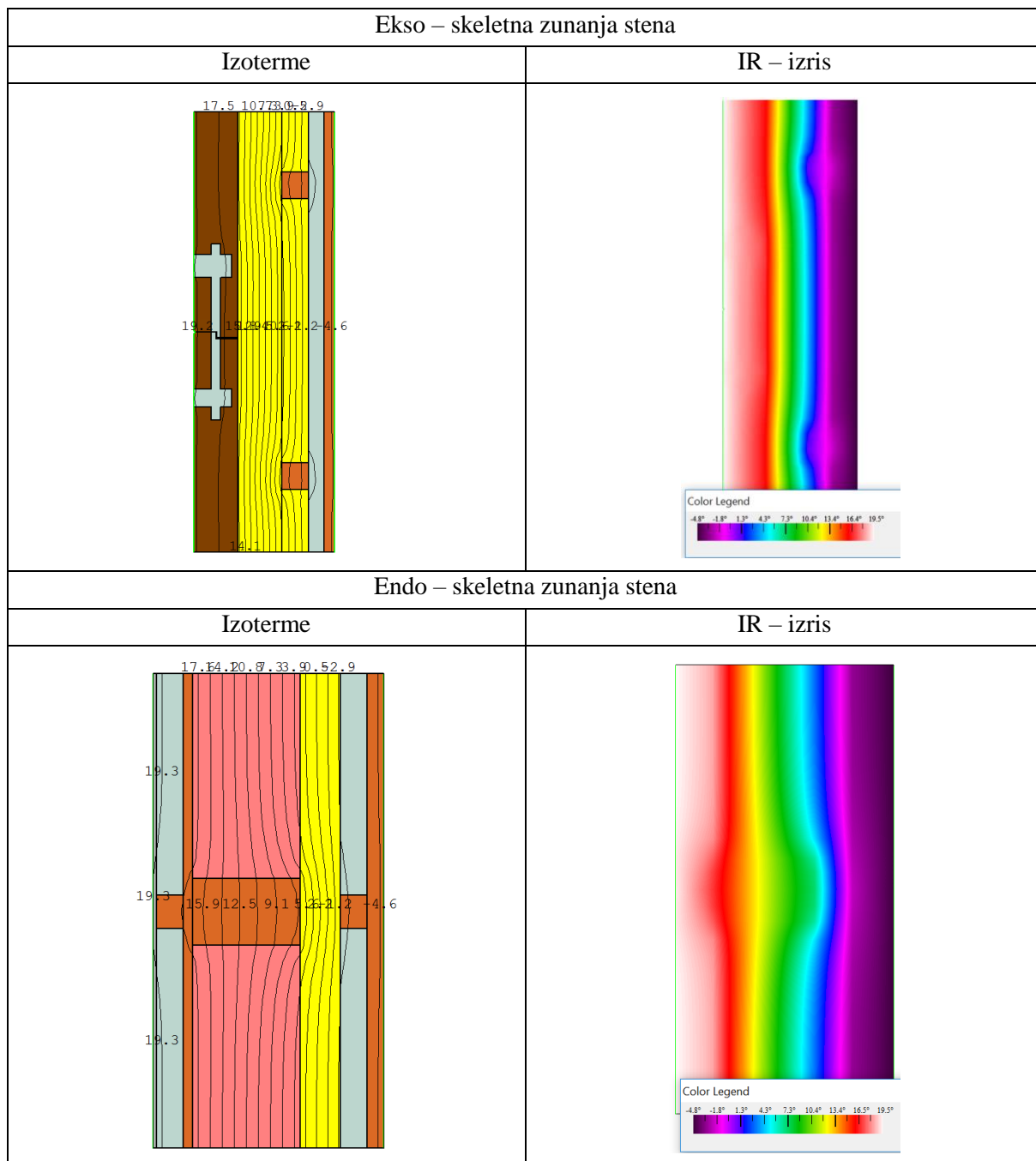
Preglednica 25: Vhodni podatki za 2D metodo

Material	Toplotna prevodnost λ [W/mK]
Les	0,140
Modularna opeka	0,320
Mavčno kartonske plošče	0,210
Kamena volna	0,037
Celulozna vlakna	0,040
Cementno lepilo	0,900
Omet	0,870

Toplotne prevodnosti λ so privzete v programu Therm. Pri računu toplotne prehodnosti skozi konstrukcijski sklop smo privzeli zunanjo robno temperaturo T_e je -5°C in notranjo robno temperaturo T_i je 20°C ter relativno vlažnost v prostoru 50%. Ob tem je nujno upoštevati še vrednosti faktorjev toplotne prestopnosti mejne zračne plasti. Vrednost na notranji strani konstrukcijskega sklopa znaša $h_n = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$, vrednost na zunanji strani pa $h_z = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$.

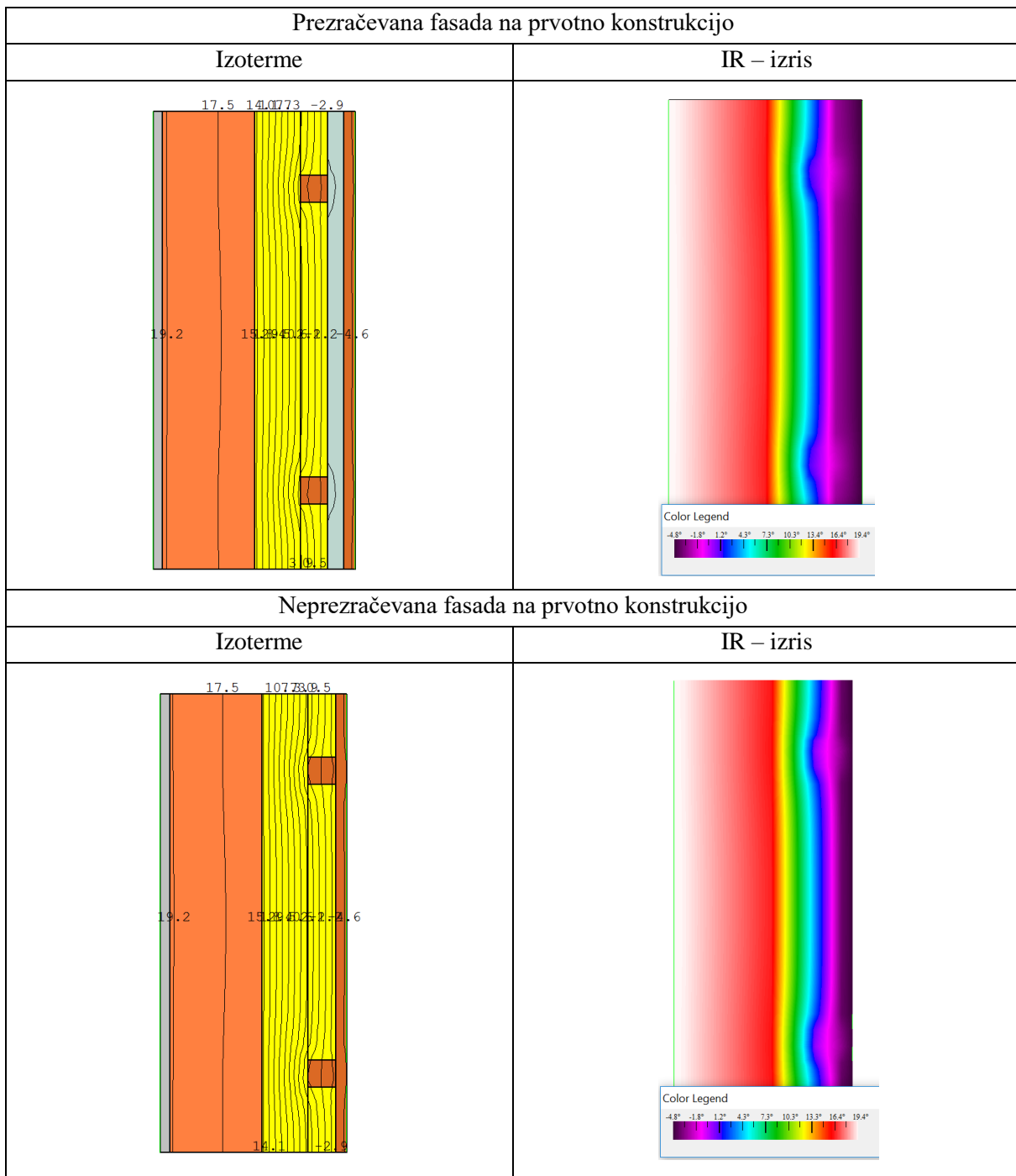
4.1.2 Analiza rezultatov

Preglednica 26: Rezultati analiz zunanjih sten v programu Therm



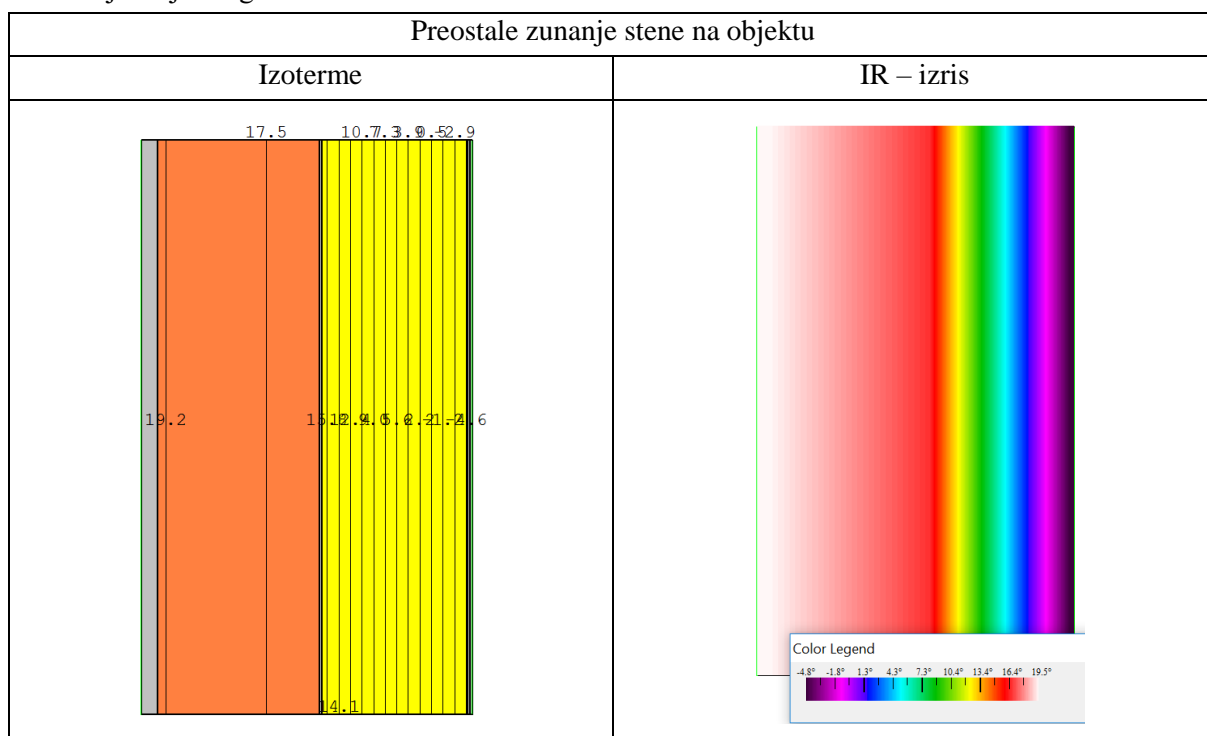
... se nadaljuje

... nadaljevanje Preglednice 26



... se nadaljuje

... nadaljevanje Preglednice 26



V Preglednici 27 so prikazane toplotne prehodnosti posameznih konstrukcijskih sklopov. Izračun je pokazal, da je toplotna prehodnost ekso-skeletnega fasadnega sistema za 7,8% višja od toplotne prehodnosti endo-skeletnega sistema. Prav tako sta tudi vrednosti za prezračevano in neprezračevano fasado, pritrjeno na prvotno zunanjo steno, zelo podobni. Gre za minimalna odstopanja, vrednosti pa so še vedno krepko pod zakonsko omejitvijo iz pravilnika PURES 2010. V energetskem smislu so torej vse rešitve zadovoljive.

Preglednica 27: Toplotne prehodnosti konstrukcijskih sklopov

Konstrukcijski sklop	Toplotna prehodnost [W/m ² K]
Ekso – skeletna zunanja stena	0,189
Endo – skeletna zunanja stena	0,174
Prezračevana fasada na prvotno konstrukcijo	0,189
Neprezračevana fasada na prvotno konstrukcijo	0,198
Preostale zunanje stene na objektu	0,176

4.2 Končna izbira konstrukcijskega sklopa

V procesu izbire smo se osredotočili tudi na druge pogoje, ne le na dovolj nizko toplotno prehodnost konstrukcijskega sklopa. Iskali smo sistem, ki se lahko v celoti izdelava na mestu proizvodnje in ne predstavlja logističnih ovir pri transportu do našega objekta. Izbrali smo velikostenski element proizvajalca Riko Hiše. Gre za element, sestavljen oziroma zlepljen iz poskoblanih smrekovih lamel. Lepilni sloj je horizontalen, zato zlepljena stena nima parozapornega sloja in je po preseku difuzijsko odprta. Nanjo je pritrjena naravna izolacija iz lesnih vlaken, na izolacijo pa prezračevana fasada, ki je privijačena na podkonstrukcijo.

Notranja stran stene je pobrušena in brez dodatnih ometov, kar daje prostoru rustikalen izgled. V stenah so predhodno narejene izvrtine za elektroinstalacije in odprtine za vgradnjo stavbnega pohištva (Riko Hiše, 2016).

Preglednica 28: Tehnični podatki o fasadnem sistemu

Toplotna prehodnost U [W/m ² K]	Temperaturni zamik D [h]	Zvočna izolativnost Rw [dB]	Ognje-odpornost [REI]
0,2	15,7	53	60



Slika 31: Shematski prikaz fasadnega sistema (Riko Hiše, 2016)

Na prvotno konstrukcijo (stene trenutnih balkonov) smo predvideli montažo prezračevane lesene fasade. V smislu toplotne prehodnosti razlike med prezračevano in neprezračevano praktično ni, gre le za zagotavljanje kontinuiranosti fasadnega ovoja.

5 ZASNOVA IN ANALIZA ZASTEKLITEV

V preliminarnih analizah v podpoglavjih 3.1.1 in 3.1.2 smo ugotovili, da pri zasnovi zasteklitve pomembno vlogo igrajo trije dejavniki. Pomembno je, da izberemo:

- okna s čim manjšimi transmisijskimi toplotnimi izgubami,
- okna, ki v čim večji meri prepuščajo sončno sevanje,
- okna, ki so zrakotesna.

V podpoglavju 3.1.1 smo izvajali parametrično analizo sprememb toplotne prehodnosti zasteklitve in sprememb g-faktorja in jo prikazali v Preglednici 20 in na Sliki 19. Na podlagi analize smo določili $U_{dopustni}$, U_{mejni} pa je določen v pravilniku PURES 2010. Mejne vrednosti so prikazane v Preglednici 29.

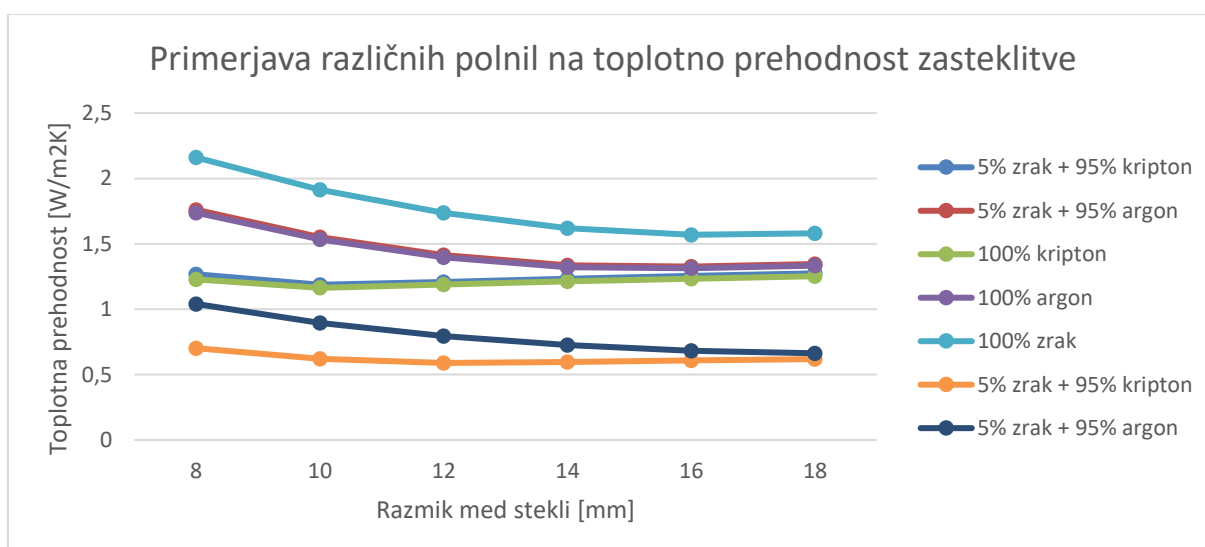
Preglednica 29: Mejne vrednosti oken

Tip okna	U_{mejni} [W/m^2K]	$U_{dopustni}$ [W/m^2K]
Okno z lesenim okvirjem	1,3	0,6 – 1,0

S pomočjo programa Window 7.4 (Berkeley Lab WINDOW, 2016), smo zasnovali več tipov zasteklitve, pri čemer smo spreminjali stekla, premaze, plinska polnjenja, materiale okvirjev in senčila. Za vsako od zasteklitvev smo določili U-faktor, T_{vis} in g-faktor. Na podlagi teh študij smo izbrali okna, ki s svojimi lastnostmi najbolj odgovarjajo našemu objektu.

5.1 Vpliv polnila na toplotno prehodnost zasteklitve

V analizi smo uporabili dvojno in trojno zasteklitve, kot polnilo pa smo uporabili zrak, čiste žlahtne pline (argon in kripton) in mešanice žlahtnih plinov in zraka. Hkrati smo spreminjali medstekelni prostor od 8mm do 18mm s korakom 1mm, saj smo želeli ugotoviti optimalen razmik, pri katerem je določeno polnilo najbolj učinkovito. Za notranje in zunanje steklo smo uporabili stekla debeline 4mm z nizkoemisijским premazom, nanesenim na stran proti polnilu, steklo na sredini pa je debeline 4mm in brez nizkoemisijškega premaza. T_{vis} zunanjšega in notranjšega stekla znaša 0,867, T_{vis} srednjega stekla pa 0,902. Graf rezultatov analize je prikazan na Sliki 32. Prvih pet analiz, gledano od zgoraj navzdol, pripada dvojni zasteklitvi, spodnji dve pa prikazujeta rezultate trojne zasteklitve.



Slika 32: Primerjava različnih polnil na toplotno prehodnost zasteklitve

Potrdilo se je, da s plinskim polnjenjem medstekelnega prostora lahko vplivamo na znižanje transmisijskih in konvekcijskih izgub skozi zasteklitve in s tem posledično na zmanjšanje U-faktorja zasteklitve. V osnovnem primeru smo medstekelni prostor dvojne zasteklitve napolnili z zrakom. Izkazalo se je, da je to najslabša možna rešitev. Najboljšo toplotno prehodnost dosežemo z čistimi plini, saj so le-ti najbolj inertni (molekule argona in kripton se počasneje gibljejo kot zrak), s čimer se zmanjšajo konvekcijske izgube. Malo slabše od čistih plinov se obnesejo različne mešanice plinov. Izkazalo se je, da se optimalen razmik med stekli spreminja glede na vrsto polnila in število stekel. Rezultati so prikazani v Preglednici 30.

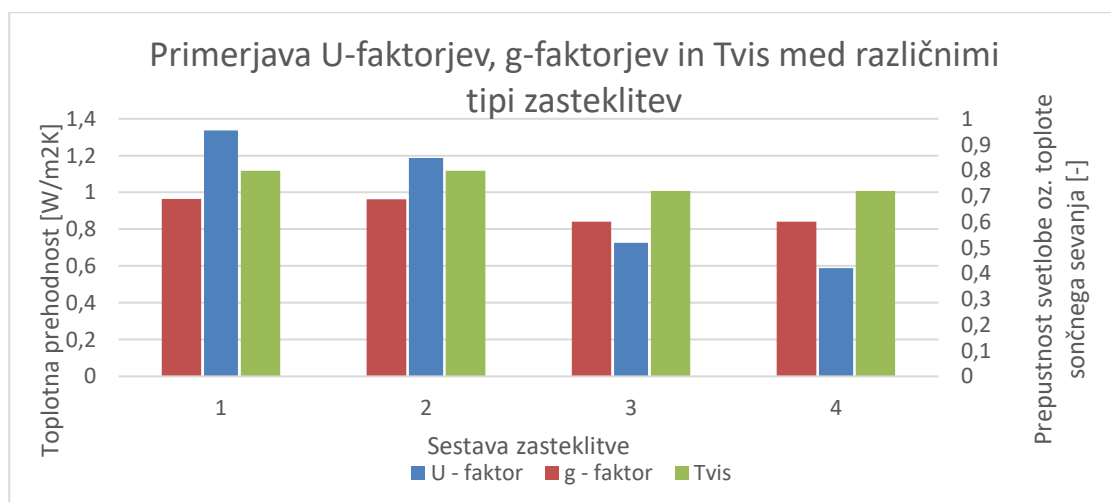
Preglednica 30: Optimalen razmik med stekli

Polnilo zasteklitve	Optimalen razmik stekel [mm]
Dvojna zasteklitve	
5% zrak + 95% argon	16
5% zrak + 95% kripton	10
Trojna zasteklitve	
5% zrak + 95% argon	2 x 18
5% zrak + 95% kripton	2 x 12

V Preglednici 31 in na Sliki 33 smo prikazali lastnosti zasteklitve z optimalnim razmikom stekel in primerjavo med njimi.

Preglednica 31: Lastnosti zasteklitve z optimalnimi razmiki stekel

Številka	Zasteklitve	U - faktor [W/m ² K]	g - faktor	T _{vis}
1	Dvojna zasteklitve 5% zrak + 95% Argon	1,34	0,69	0,80
2	Dvojna zasteklitve 5% zrak + 95% Kripton	1,19	0,69	0,80
3	Trojna zasteklitve 5% zrak + 95% Argon	0,73	0,60	0,72
4	Trojna zasteklitve 5% zrak + 95% Kripton	0,59	0,60	0,72



Slika 33: Primerjava U-faktorjev, g-faktorjev in Tvis med različnimi tipi zasteklitve

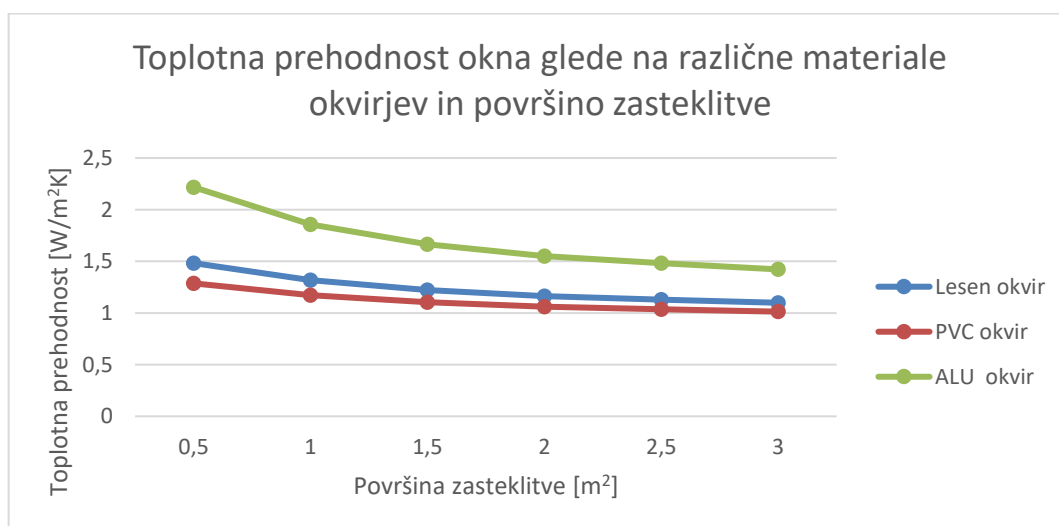
Glede na vse rezultate, zbrane v tej analizi, smo se odločili, da za primarno zasteklitev našega objekta izberemo okna s trojno zasteklitvijo. Medstekelni prostor naj znaša 14mm, polnjen pa naj bo z mešanico 5% zraka in 95% argona.

5.2 Vpliv okvirja in površine zasteklitve na toplotno prehodnost okna

Zanimal nas je vpliv okvirja na toplotno prehodnost okna v odvisnosti od materiala okvirja in od površine zasteklitve. Površino smo povečevali s korakom $0,5\text{m}^2$. Toplotna prehodnost okvirja iz lesa se giblje med 1,5 do $1,8\text{W/m}^2\text{K}$. Za izdelavo se pretežno uporablja les iglavcev. V primeru PVC okenskega okvirja smo privzeli sodobni pet komorni profil. Nasprotno je toplotna prevodnost aluminija relativno velika, zato je potrebno okvirje prekiniti po celotnem obsegu s toplotno izolacijskim ločilnim vložkom (Grobvšek, 2008).

Preglednica 32: Vhodni podatki za analizo vpliva okvirja na toplotno prehodnost okna

Material	U-faktor okvirja [$\text{W/m}^2\text{K}$]	Debelina okvirja [mm]
Les	1,5	100
PVC	1,1	100
Aluminij	3	100



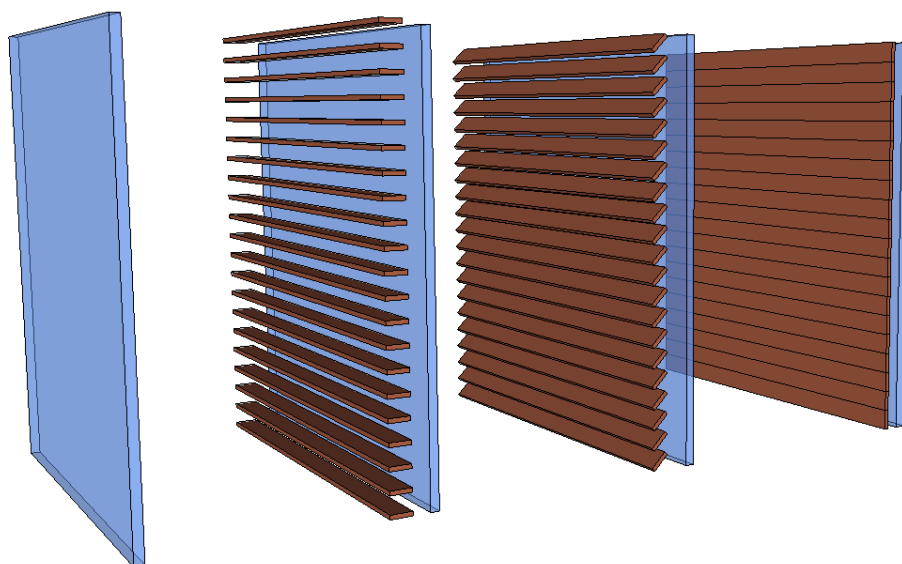
Slika 34: Toplotna prehodnost okna glede na različne materiale okvirjev in površino zasteklitve

Na Sliki 34 vidimo, da se z večanjem površine zasteklitve zmanjšuje faktor okvirja in posledično nižja toplotna prehodnost. Vpliv okvirja na toplotno prehodnost okna je odvisen od dveh parametrov; debeline okvirja in toplotne prevodnosti materiala, iz katerega je izdelan okvir. Bolj kot je material prevoden, večja bo toplotna prehodnost okna. Z grafa je razvidno, da je v smislu toplotne prehodnosti najboljša izbira PVC okvirjev. Gre za okvirje, ki so zelo dobro odporni na zunanje vplive, vzdrževanje pa praktično ni potrebno. Zaradi teže zasteklitve pa sčasoma lahko pride do ukrivljanja, zato je nujno, da so v okna z velikimi zasteklitvami vgrajeni kovinski vložki, ki to ukrivljanje preprečujejo. Najslabše, v smislu toplotne prehodnosti, se obnesejo okenski okvirji iz aluminija. Sicer gre za zelo vzdržljive okvirje, katerih življenjska doba je praktično večna, ne potrebujejo pa nikakršnega vzdrževanja. Njihova visoka konstrukcijska togost omogoča vgradnjo velikih in težkih stekel. Glede na to, da smo v poglavju 4 definirali konstrukcijske sklope v variantah z lesom, nas je še posebej zanimalo, kako se v analizi obnašajo leseni okenski okvirji. Njihova glavna pomanjkljivost je, da reagirajo na vplive iz okolja. Na

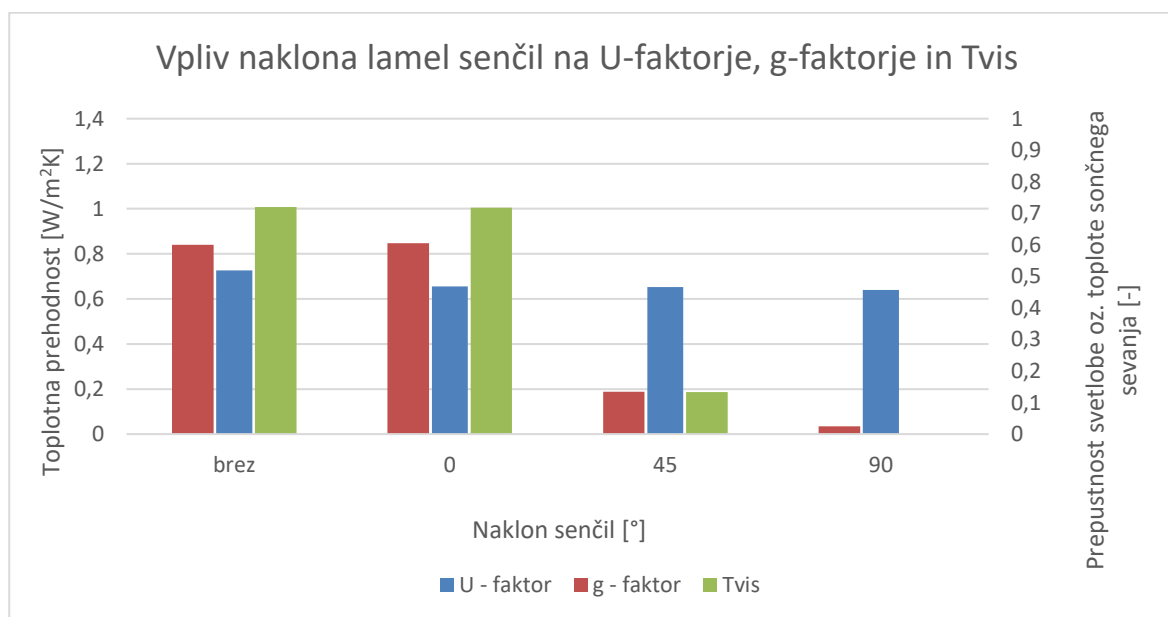
tem mestu je nujno, da jih zaščitimo z ustreznimi premazi. Glede na grafikon na Sliki 34 je jasno, da z lesenimi okvirji dosegamo dovolj dobre rezultate. Upoštevajoč zgornje ugotovitve, smo za naš objekt izbrali kombinacijo lesenih in aluminijastih profilov. Gre za uporabno kombinacijo, saj leseni del na notranji strani nudi prijeten izgled hkrati z dobro toplotno izolativnostjo, aluminijasti del na zunanji strani pa kljubuje vremenskim vplivom.

5.3 Vpliv senčil na lastnosti okna

V tej analizi smo analizirali, kakšen vpliv na lastnosti zasteklitve imajo senčila. Opravili smo štiri simulacije. Osnovno okno je bilo brez dodatnih zunanjih senčil, primerjali pa smo ga s primerom, ko so bile lamele žaluzij v horizontalnem položaju (naklon 0°), ko so imele naklon 45° in ko so bile popolnoma zaprte (naklon 90°). Uporabljeni modeli so prikazani na Sliki 35.



Slika 35: Pozicije zunanjih senčil



Slika 36: Vpliv naklona lamel senčil na U-faktorje, g-faktorje in T_{vis}

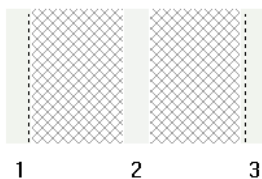
Iz rezultata je razviden velik vpliv naklona lamel na pretok vidne svetlobe (T_{vis}), ki prodre v prostor. Z zapiranjem lamel se zmanjšuje tudi g-faktor. Rezultat tega je zmanjševanje solarnih pritokov v prostor in posledično nižja potreba po hlajenju prostora. Zelo zanimivo je tudi dejstvo, da se z zapiranjem lamel malenkost zmanjša tudi toplotna prehodnost okna. Razlog tiči v tem, da se med zaprtim senčilom in zasteklitvijo formira plast zraka, ki deluje kot dodatni toplotni izolator.

5.4 Končna izbira okna

Na podlagi parametričnih analiz v poglavju 3 in analiz v poglavjih 5.1, 5.2 in 5.3, smo izbrali optimalno okno, ki bo vgrajeno v naš objekt. Gre za leseno aluminijasta okna Jelovica, za katera je značilna odlična konstrukcijska trdnost in trajnost. (Jelovica okna, 2016). Tehnični podatki so prikazani v Preglednici 33 in Preglednici 34.

Preglednica 33: Izbrana zasteklitev

Položaj	Vrsta	Debelina [mm]	T_{sol}	T_{vis}	Emisivnost
1	Low-e steklo	4,0	0,737	0,895	0,082/0,837
	5% zraka + 95 % Argon	14,0	-	-	-
2	Navadno steklo	4,0	0,808	0,891	0,837
	5% zraka + 95 % Argon	14,0	-	-	-
3	Low-e steklo	4,0	0,737	0,895	0,082/0,837



Preglednica 34: Izbran okvir

Material	$U_{okvirja}$ [W/m^2K]	Absorbtivnost α [-]	Debelina profila [mm]
les + aluminij	1,5	0,95	78

6 ANALIZA ZASNOV FASADNEGA OVOJA

V prejšnjih poglavjih smo izvedli analize in študije posameznih komponent fasadnega ovoja in določili njihove končne izbire. V tem poglavju pa smo analizirali, kako izbrani elementi vplivajo na celotno delovanje fasadnega ovoja. Analize smo izvedli s pomočjo programskega orodja Comfen 5 (Comfen, 2013). Definirali smo svojo lokacijo z vsemi meteorološkimi podatki, dodali pa smo tudi izbrane konstrukcijske sklope in okna. Program nam omogoča modeliranje enega prostora v objektu. Izbrali smo si tipično bivalno enoto, ki je na Sliki 6 poimenovana Bivalna enota 1.

6.1 Vpliv površine zasteklitve na energetska učinkovitost

Parametrično analizo vpliva površine zasteklitve smo izvedli na tipični bivalni enoti na južni strani. Tam povečan delež zasteklitve ugodno vpliva na energijske potrebe za ogrevanje. S pomočjo tehničnih podatkov s strani proizvajalca oken Jelovica smo kombinirali različne dimenzije oken in dobili glavne štiri variante. V varianti 1 sta vgrajeni okni dimenzij 90cm x 100cm, v varianti 2 sta vgrajeni okni dimenzij 100cm x 140cm, v varianti 3 sta vgrajeni okni dimenzij 100cm x 180cm, v varianti 4 pa sta vgrajeni okni dimenzij 100cm x 230cm. Širina stene je 3,8m, višina pa 2,8m. Izračunane površine so prikazane v Preglednici 35, geometrija modelov pa na Sliki 37.

Preglednica 35: Deleži zasteklitvev

	Varianta 1	Varianta 2	Varianta 3	Varianta 4
Površina zasteklitve [m²]	1,8	2,8	3,6	4,6
Celotna površina stene [m²]	10,64	10,64	10,64	10,64
Delež zasteklitve [%]	17	26	34	43



a) varianta 1

b) varianta 2

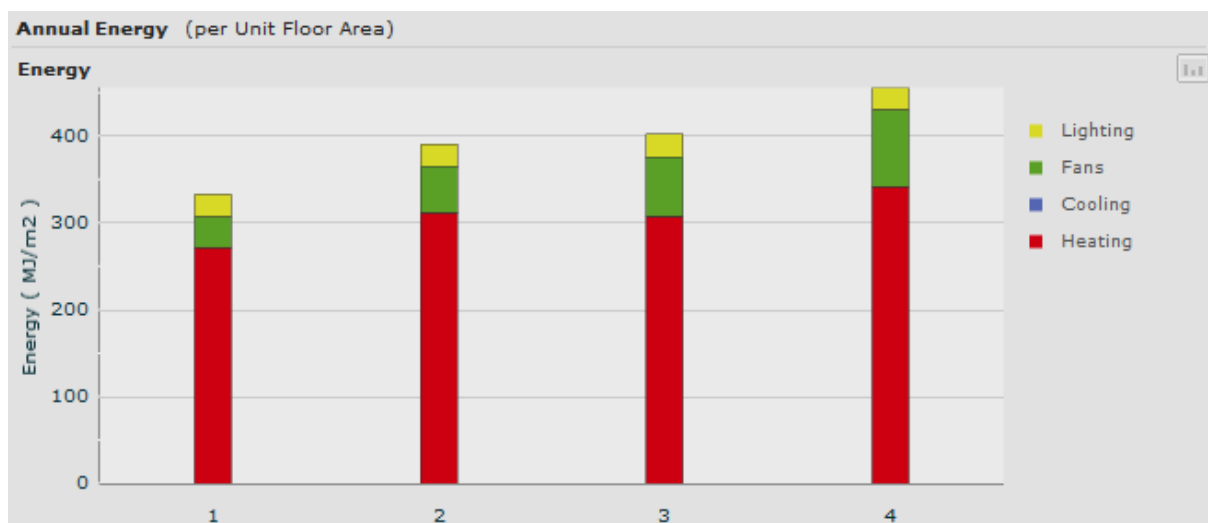
c) varianta 3

d) varianta 4

Slika 37: Geometrija modelov

V osnovi smo predpostavili, da se objekt prezračuje naravno. Pri tem se je potrebno zavedati naslednjih omejitev oziroma predpostavk:

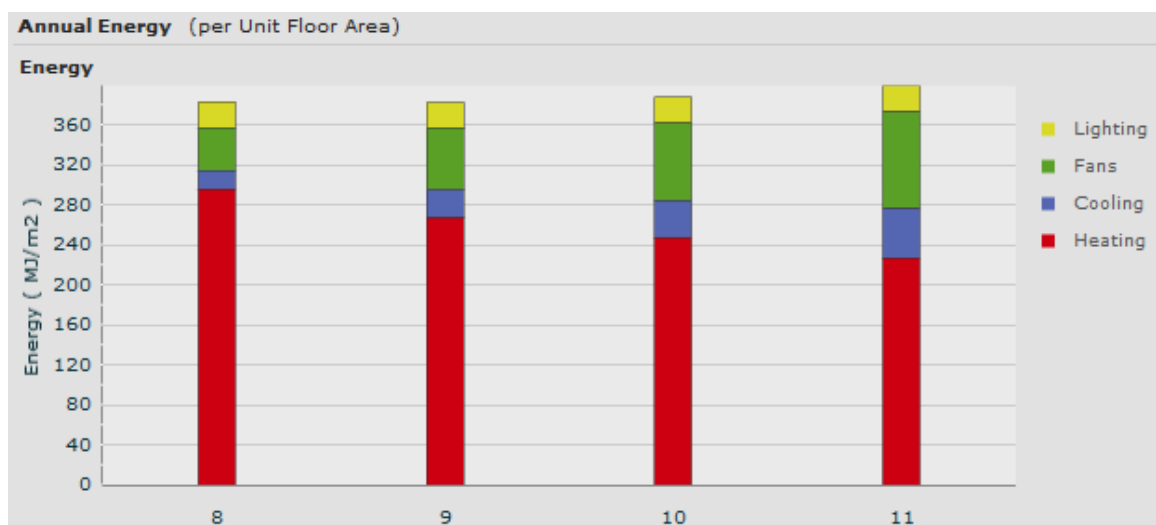
- mehansko hlajenje je izklopljeno skozi celotno leto,
- okna se odprejo, ko notranja temperatura preseže 23°C, a le v primeru, da je zunanja temperatura nižja od 23°C,
- ogrevanje se v času, ko so okna odprta, ne prekine.



Slika 38: Letna poraba energije za ogrevanje, hlajenje, prezračevanje in razsvetljavo ob naravnem prezračevanju

Rezultati analize so potrdili, da tak način prezračevanja predstavlja v hladnih dneh veliko izgubo toplotne energije potrebne za ogrevanje, podhlajujejo pa se tudi površine v neposredni okolici okna. Za lažjo predstavbo smo pri interpretaciji rezultatov spremenili enoto MJ/m² v kWh/m², ki smo jo uporabljali že v prejšnjih analizah. Skupna letna potrebna energija se je zvišala iz 92,5 kWh/m² na 126,6 kWh/m², torej za slabih 37%. Na povečanje potrebne energije vplivata dva dejavnika. Toplotna prehodnost zunanje stene v našem primeru znaša 0,195 W/m²K, toplotna prehodnost okna pa 0,88 W/m²K. Jasno je torej, da s povečevanjem površine oken slabšamo skupno toplotno prehodnost zunanjšega ovoja, kar posledično vodi k povečanju energije, potrebne za ogrevanje. Program predpostavlja, da je učinkovita površina odprtega okna pri naravnem prezračevanju 90%. Posledično se ob povečanju površine oken povečuje tudi količina hladnega zraka, ki vstopa v prostor ob naravnem prezračevanju.

Nato smo za iste štiri variante izvedli novo analizo, pri kateri so vsi parametri ostali enaki, le prezračevanje smo spremenili v mehansko. Rezultati so prikazani na Sliki 39. Varianta 1 ima oznako 8, varianta 2 ima oznako 9, varianta 3 ima oznako 10 in varianta 4 ima oznako 11.



Slika 39: Letna poraba energije za ogrevanje, hlajenje, prezračevanje in razsvetljavo ob naravnem prezračevanju

Pri varianti 1 se je skupna potrebna energija v primerjavi z analizo z naravnim prezračevanjem povečala za 15%, pri varianti 2 se je zmanjšala za 2%, pri varianti 3 se je zmanjšala za 4%, pri varianti 4 pa kar za 12%. Z večanjem površine zasteklitve smo omogočili večje solarne dobitke in posledično zmanjšali potrebo po ogrevanju. Potrebna energija za ogrevanje se je iz 82,1 kWh/m² zmanjšala na 63,1 kWh/m², torej za dobrih 23%. Hkrati se je povečala potreba po hlajenju in sicer iz 5,2 kWh/m² na 13,7 kWh/m², oziroma kar za 162%. Povečevala se je tudi energija, potrebna za prezračevanje prostora in sicer za 127% če primerjamo varianto 1 in varianto 4. Zanimivo je tudi dejstvo, da se je generalno gledano vsota vseh energij povečala zgolj za 4%, če primerjamo varianto 1 in varianto 4. Na podlagi naših ugotovitev smo za vse nadaljnje analize predpostavili mehansko prezračevanje.

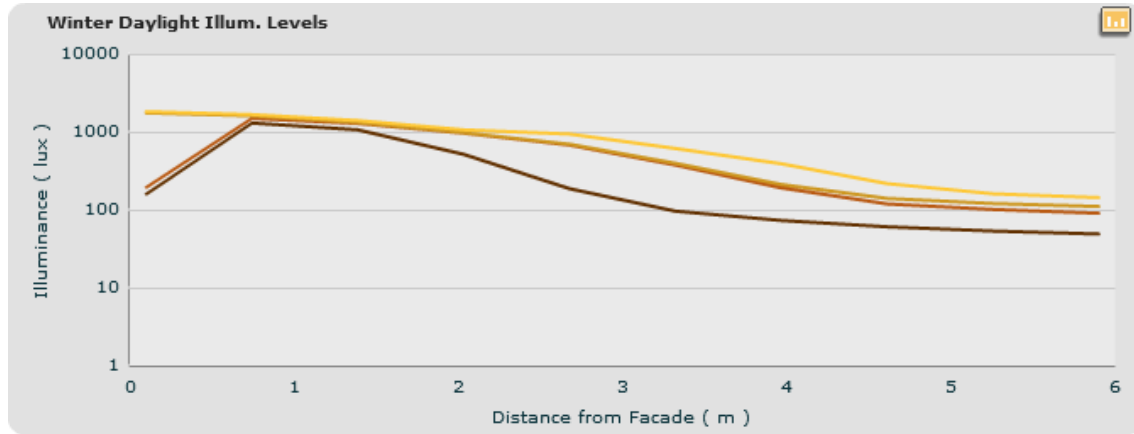
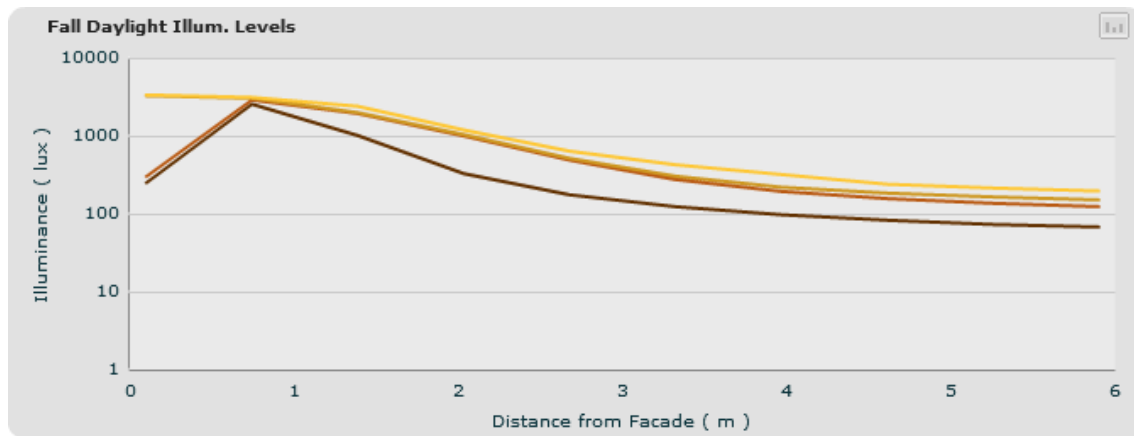
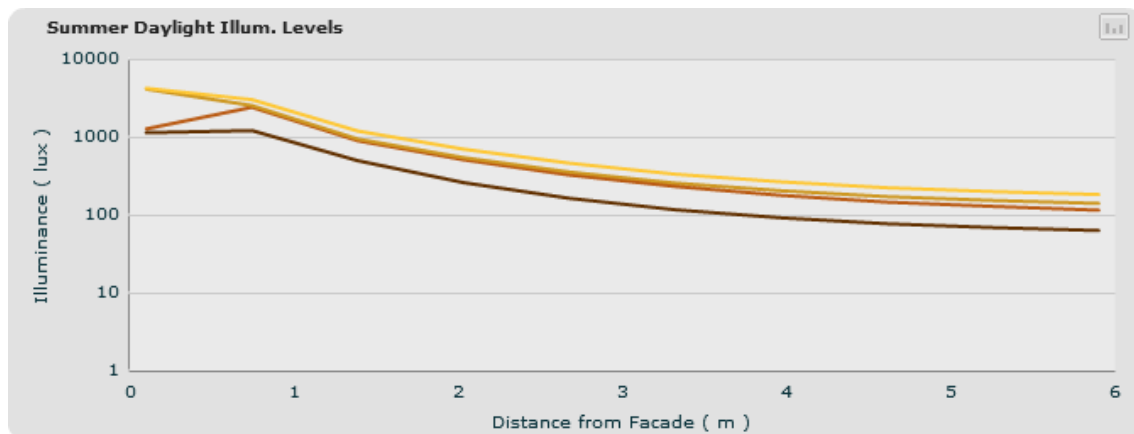
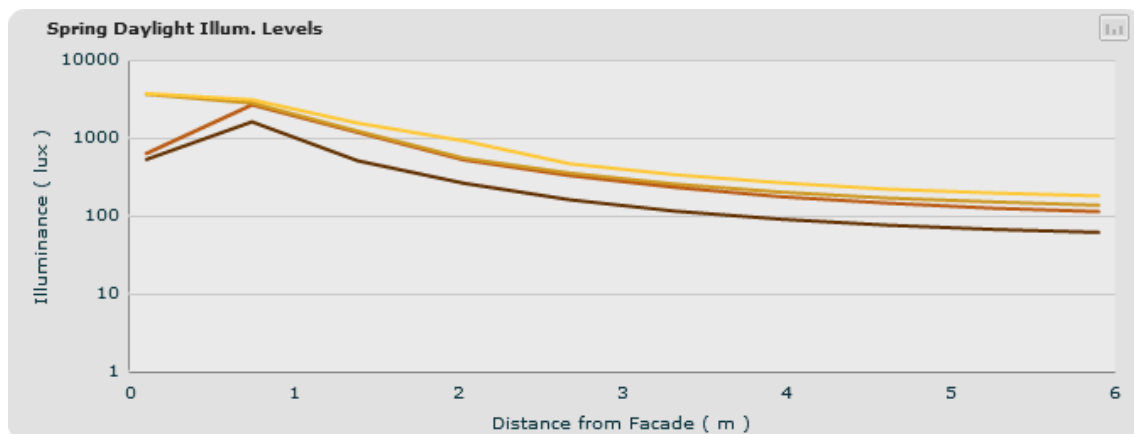
Nato smo analizirali variante z vidika distribucije dnevne svetlobe. Neposredna osvetlitev je dosežena, če skupna površina obdelanih zidarskih odprtin (pri tem se upošteva samo tisti del odprtine, ki je več kakor 0,50 metra nad gotovim podom), namenjenih osvetlitvi, dosega najmanj 20 odstotkov neto florisne površine teh delov stanovanja. Če je del stanovanja neposredno naravno osvetljen le z ene strani, njegova globina ne sme meriti več kot tri svetle višine prostora (Uradni list RS, 2011).

Preglednica 36: Ustreznost površine zasteklitve za neposredno osvetlitev

Analiza	Površina zasteklitve [m ²]	20% neto florisne površine [m ²]
Varianta 1	1,8	4,56
Varianta 2	2,8	4,56
Varianta 3	3,6	4,56
Varianta 4	4,6	4,56

Iz Preglednice 36 je razvidno, da le v četrti varianti izpolnjujemo zakonska določila o neposredni osvetlitvi prostorov. Da bi bila ta zagotovljena, bi v našem primeru površina zasteklitve morala znašati 43% celote površine fasade posamezne modularne enote ali več.

Preverili smo, kaj se ob spreminjanju površine zasteklitve dejansko dogaja z dnevno svetlobo v prostoru. V ta namen smo izvedli analizo osvetljenosti prostorov. Osvetljenost je količina, ki nam pove koliko svetlobnega toka pade na določeno površino. Meri se v luksih (kratica lx) z optično napravo imenovano Lux meter, v našem primeru pa jo je simuliralo programsko orodje Comfen 5. Na Sliki 40 so prikazani rezultati za vse štiri variante zasteklitve.



■ 8. Zasteklitev17_mehansko ■ 9. Zasteklitev 26_mehansko ■ 10. Zasteklitev 34_mehansko ■ 11. Zasteklitev 43_mehansko

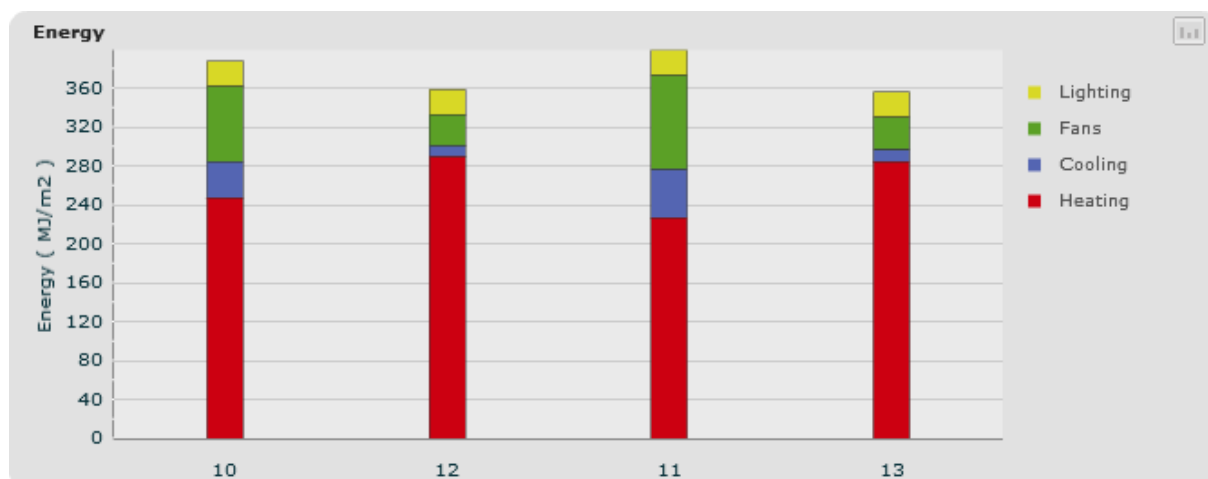
Slika 40: Osvetljenost prostora v štirih letnih časih

Graf s temno rjavo barvo prikazuje vrednosti osvetljenosti pri najmanjši zasteklitvi. Vidno je precejšnje odstopanje od ostalih primerov. Površina zasteklitve je popolnoma neustrezna, saj že na oddaljenosti 2,5m od okna znaša vrednost osvetljenosti v povprečju manj kot 200 lx. Potek linije osvetljenosti za varianto 3 in varianto 4 v večji meri sovpađa, zato smo se odločili, da analizo nadaljujemo le s tema dvema možnostma.

6.2 Vpliv senčil

S tem, ko smo povečevali površino zasteklitve, smo zmanjševali potrebno energijo za ogrevanje, a hkrati precej povečevali potrebno energijo za hlajenje. Logična rešitev je namestitev senčil, ki preprečijo pregrevanje v poletnih mesecih, ko so hladilne naprave najbolj obremenjene. Analizirali smo varianto 3 in varianto 4, ki smo jima na zunanjo stran dodali žaluzije, katerih lamele so v naklonu 45°. Žaluzije so pospravljene, aktivirajo pa se, ko se notranja temperatura v prostoru povzpne nad 23°C.

Ugotovili smo, da s pravilno uporabo senčil lahko zmanjšamo potrebe po hlajenju prostorov do 64%. To nam je potrdilo predpostavko, da je senčenje nujno. Na Sliki 41 oznaka 10 velja za varianto 3 z mehanskim prezračevanjem, oznaka 11 za varianto 4 z mehanskim prezračevanjem, oznaka 12 za varianto 3 z dodatno spuščeni žaluzijami in oznaka 13 za varianto 4 z dodatno spuščeni žaluzijami.



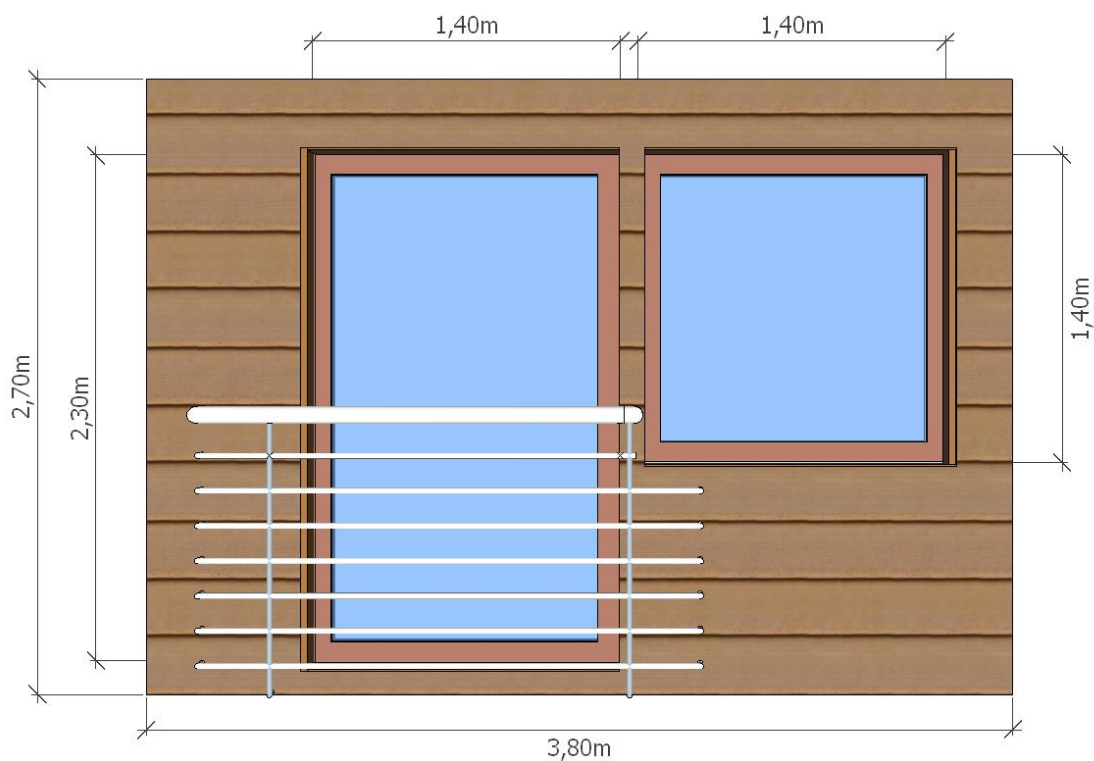
Slika 41: Vpliv senčil na letno porabo energije za ogrevanje, hlajenje, prezračevanje in razsvetljavo

Pri varianti 3 se je skupna letna potrebna energija zmanjšala iz 107,6 kWh/m² na 99,6 kWh/m², torej za 7%. Od tega se je potrebna energija za hlajenje zmanjšala iz 10,2 kWh/m² na 3 kWh/m², kar znaša 71%. Pri varianti 4 se je skupna letna potrebna energija zmanjšala iz 110,9 kWh/m² na 98,8 kWh/m², torej za 11%. Od tega se je potrebna energija za hlajenje zmanjšala iz 13,7 kWh/m² na 3,2 kWh/m², kar znaša 76%. Analiza nam je potrdila predpostavko, da je senčenje z zunanji senčili nujno potrebno.

Na podlagi analiz v poglavjih 6.1 in 6.2 smo prišli do zaključka, da z večanjem površine zasteklitve z nizko toplotno prehodnostjo in pravilno uporabo zunanji senčil lahko izboljšamo udobje uporabnika v prostoru in ob tem obdržimo potrebne energetske karakteristike stavbe. Ob upoštevanju minimalnih zahtev za osvetljenost prostorov smo prišli do zaključka, da lahko optimalna površina transparentnega dela obravnavane bivalne enote znaša od 40 do 50% celotne površine zunanje ovojja. Ob tem se je potrebno zavedati, da imajo bivalne enote relativno malo zunanje ovojja.

6.3 Končna izbira fasadnega ovoja

Rezultati vseh izvedenih analiz v sklopu magistrskega dela so nam dali temelje za izdelavo dokončne systemske rešitve. Izbrali smo modularne velikostenske elemente Riko s toplotno prehodnostjo $0,2 \text{ W/m}^2\text{K}$. Elementi bodo predhodno v celoti izdelani v proizvodnji in prepeljani na obstoječ objekt. Vanj bodo vgrajena troslojno zastekljena okna Jelovica (Slika 44). Shematski prikaz fasadnega sistema je prikazan na Sliki 42 in Sliki 43.



Slika 42: Prikaz izbranega fasadnega sistema



Slika 43: Prikaz izbranega fasadnega sistema - pogled iz notranjosti



Slika 44: Okno s trojno zasteklitvijo in lesenim okvirjem z aluminijasto zaščito (Jelovica, 2016)

S pomočjo podatkov, pridobljenih s strani proizvajalca stavbnega pohištva, smo se odločili za okno dimenzij 140cm x 140cm in široka balkonska vrata 230cm x 140cm. Skupna površina zasteklitve tako znaša 5,18m². Glede na celotno površino velikostenskega elementa, gre za 50% zasteklitve. Analizi iz poglavij 6.1 in 6.2 nam potrjujeta ustrezno izbiro. Balkonska vrata se lahko odpirajo okoli vertikalne osi, zato je nujno, da se prednje vgradi ograja, ki preprečuje morebitne nesreče. S tem smo ustvarili fasadni sistem s tako imenovanim francoskim balkonom. V Preglednici 37 so prikazani tehnični podatki o izbranem oknu.

Preglednica 37: Tehnični podatki o izbranem oknu

Zasteklitvev	U - faktor zasteklitve [W/m ² K]	U - faktor okna [W/m ² K]	g - faktor	Tvis
Les-alu okna Jelostar Premium	0,60	0,88	0,60	0,68

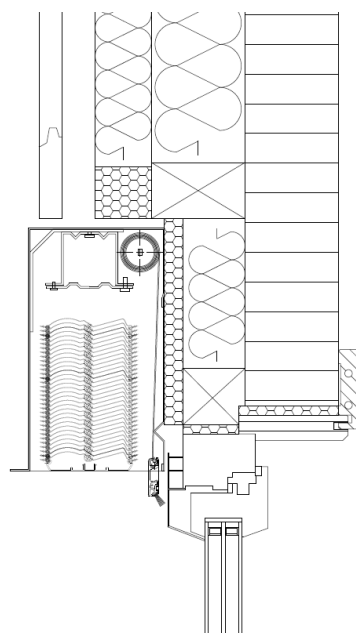
Zaradi lažjega pritrjevanja nosilne konstrukcije na obstoječ objekt smo predvideli, da se dva modularna panela združita in tvorita nov element, ki se razteza preko dveh etaž. S tem smo se znebili težav, ki bi nastale ob montiranju panelnih elementov med dve horizontalni plošči (zatikanje in težko vstavljanje s pomočjo dvigala). Paneli bodo postavljeni na utrjena tla na terenu in prislonjeni na obstoječo horizontalno nosilno konstrukcijo. Povezava med njima bo izvedena s kovinskimi »L« elementi, pritrjenimi na horizontalno nosilno konstrukcijo z zgornje strani. Na vzhodnem delu, kjer so bivalne enote nad nivojem terena, se bodo panelni elementi obesili na obstoječo horizontalno nosilno konstrukcijo. Ob tem se mora nujno izvesti dodatna statična presoja, če so obstoječi balkoni zmožni nositi dodatno obremenitev. V nasprotnem primeru jih je potrebno ojačiti.

Odločili smo se za vgradnjo sistema za mehansko prezračevanje z vračanjem toplote (rekuperator). Rekuperator poleg vračanja toplote vrača tudi vlago, s čimer se poveča vlažnost zraka v zimskem času in poveča učinek rekuperacije, saj pri rekuperaciji sodeluje tudi kondenzacijska (entalpijska) energija vlage, ki se na tem prenosniku toplote kondenzira (E-NETSI d.o.o., 2016). Izdelava ustreznih odprtin mora biti prav tako izvedena že v proizvodnem obratu.

Izbrali smo lokalno prezračevalno enoto Helios KWL EC 60 (Agregat d.o.o., 2016). Njegove tehnične lastnosti so:

- maksimalna zmogljivost do 60 m³/h,
- toplotni izkoristek okoli 70%,
- nizka poraba električne energije (do 4W),
- vsi elementi obodnega ohišja so iz ekspaniranega izolativnega polimera,
- delovno območje: od -20°C do +40°C.

Na zunanji strani bodo nadometno vgrajene žaluzije, ki imajo poleg tega, da se spustijo pred okno, tudi možnost vrtenja okrog horizontalne osi. Gre za izvedbo z vidno aluminijasto masko, ki pokriva dvignjene žaluzije. Vgradnja žaluzij vodi do potencialne oslabitve toplotne izolacije na mestu nad oknom. Ta problem smo rešili tako, da smo okrog škatle, kamor se žaluzije dvignejo, namestili ekstrudiran polistiren s toplotno prevodnostjo 0,029 W/mK. Detajl je prikazan na Sliki 45.

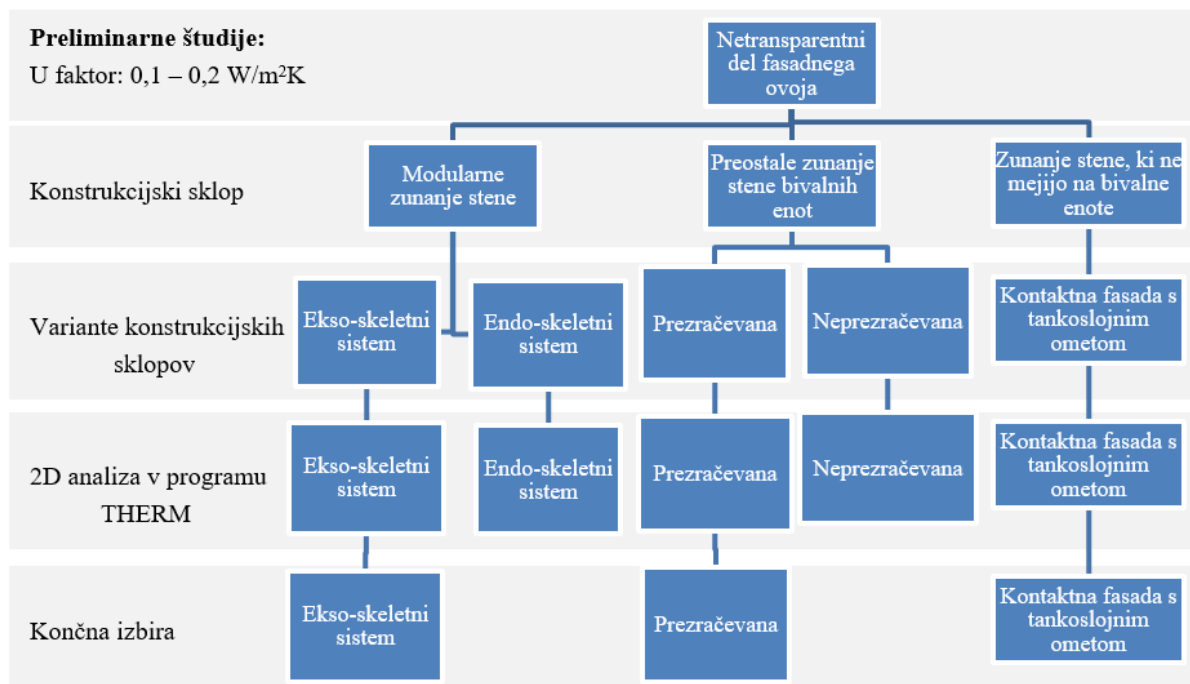


Slika 45: Detajl izvedbe nadometnih žaluzij

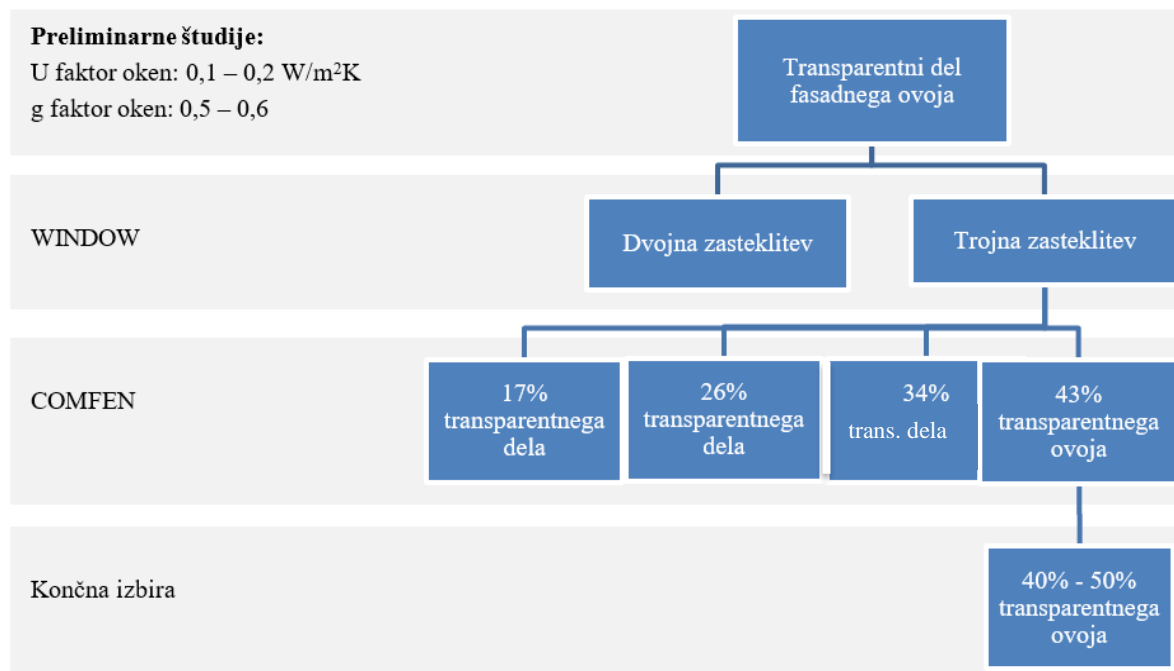
Glede na vrsto obravnavanega objekta je jasno, da je primarna naloga zaposlenih skrb za starejše. V ta namen smo predvideli, da bo s senčenjem upravljal računalniški sistem, saj bo s tem razbremenili zaposlene, ki v trenutnem stanju operirajo s senčenjem ročno v celotni stavbi. Glede na to, da v objektu stanuje veliko oseb, smo upoštevali tudi želje posameznikov. Vgrajen sistem senčenja bo tako še vedno imel možnost ročnega upravljanja, ki bo prevladovalo nad računalniškim, ko bo to zaželeno. Centralno krmiljenje lahko upošteva več različnih logičnih zank. Senčenje se lahko aktivira, ko je dosežena določena temperatura zunaj ali znotraj, lahko se aktivira, ko je dosežna prevelika osvetljenost prostorov, lahko pa se kombinira več parametrov. V našem primeru smo izbrali krmiljenje, ki senčila aktivira, ko se pojavijo potrebe po hlajenju zaradi visokih vrednosti sončnega sevanja.

6.4 Fasadni pas

Na Sliki 46 je shematsko prikazan postopek določitve netransparentnega fasadnega ovoja, na Sliki 47 pa postopek določitve transparentnega fasadnega ovoja.

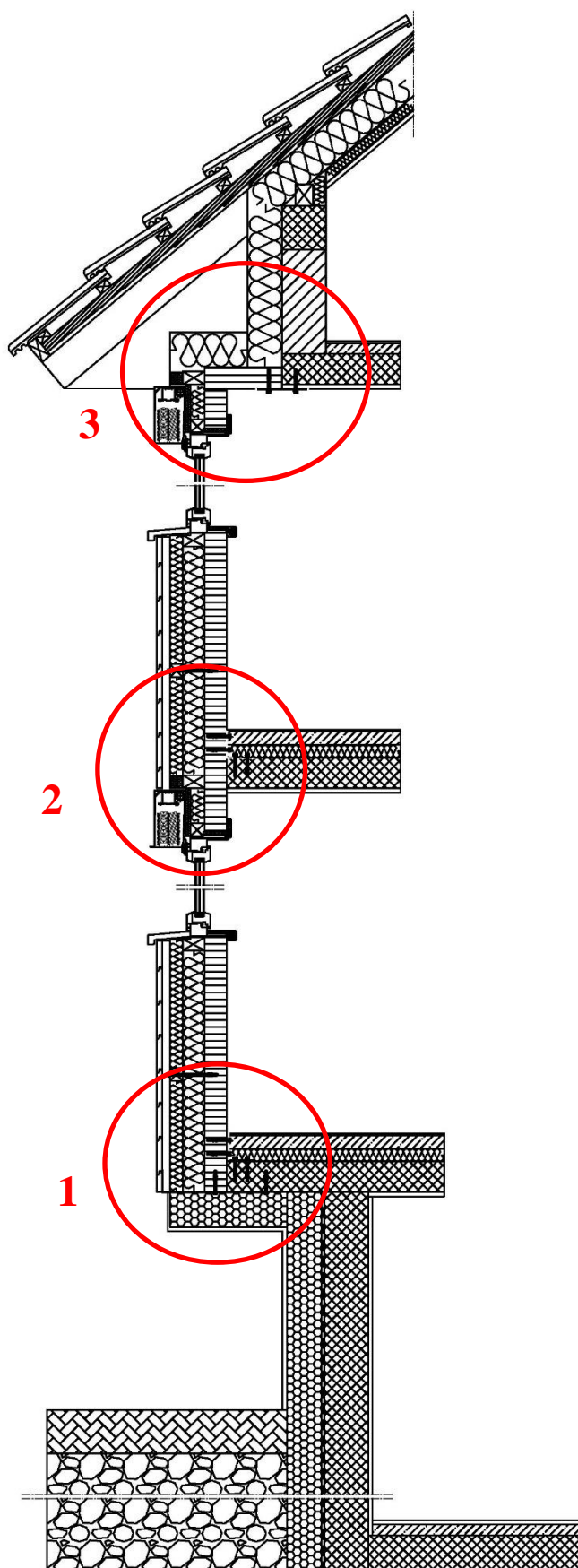


Slika 46: Shematski prikaz določitve netransparentnih delov fasadnega ovoja

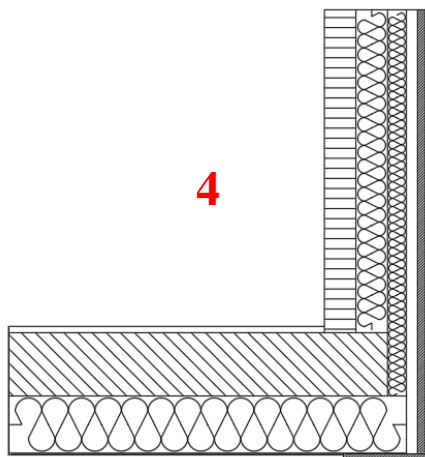


Slika 47: Shematski prikaz določitve transparentnih delov fasadnega ovoja

Na podlagi vseh zbranih podatkov smo lahko oblikovali nov fasadni pas na Sliki 48. Z rdečimi krogi so označena križanja, ki smo jih dodatno analizirali v programu Therm.



Slika 48: Fasadni pas



Slika 49: Horizontalno križanje dveh zunanjih sten

6.5 2D analiza toplotnega polja fasadnega pasu

V Preglednici 38 so prikazani materiali in njihove toplotne prevodnosti, uporabljeni v naslednjih analizah.

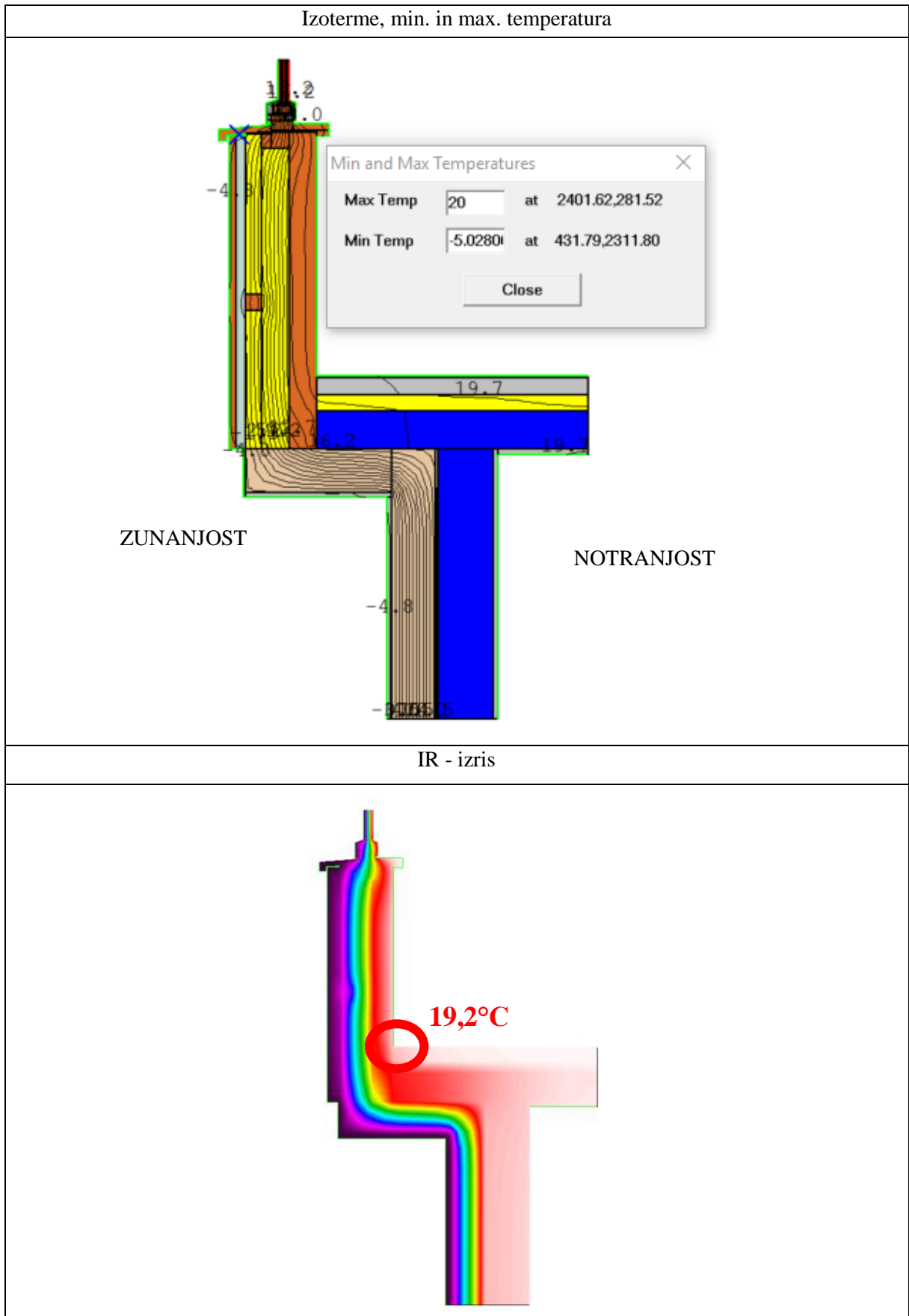
Preglednica 38: Vhodni podatki za 2D metodo

Material	Toplotna prevodnost λ [W/mK]
Les	0,14
Modularna opeka	0,32
Armirani beton	2,33
Kamena volna	0,037
Ekstrudiran polistiren XPS	0,029
Cementni estrih	1,40
Cementno lepilo	0,90
Poliuretanska pena	0,21
Omet	0,87
Guma	0,16

Toplotne prevodnosti λ so privzete v programu Therm. Pri računu toplotne prehodnosti skozi konstrukcijski sklop smo privzeli zunanjo robno temperaturo T_e je -5°C in notranjo robno temperaturo T_i je 20°C ter relativno vlažnost v prostoru 50%. Ob tem je nujno upoštevati še vrednosti faktorjev toplotne prestopnosti mejne zračne plasti. Vrednost na notranji strani konstrukcijskega sklopa znaša $h_n = 8 \text{ W/m}^2\text{K}$, vrednost na zunanji strani pa $h_z = 25 \text{ W/m}^2\text{K}$.

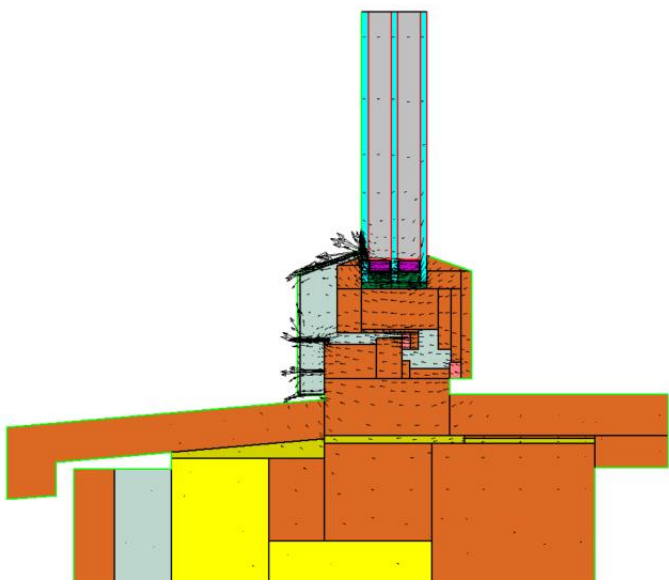
V Preglednici 39, Preglednici 40, Preglednici 41 in Preglednici 42 so prikazani rezultati 2D analize toplotnega polja. Zanimal nas je nov potek temperature skozi konstrukcijski sklop, nove najnižje vrednosti temperature površine v primerjavi z obstoječimi, jakost toplotnega toka ter nov izračunan faktor U_{2D} . Hkrati smo iskali potrditev, da so vsi novi faktorji f_{Rsi} višji od vrednosti 0,75, torej, da je nevarnost za morebiten nastanek plesni majhna.

Preglednica 39: Križanje 1

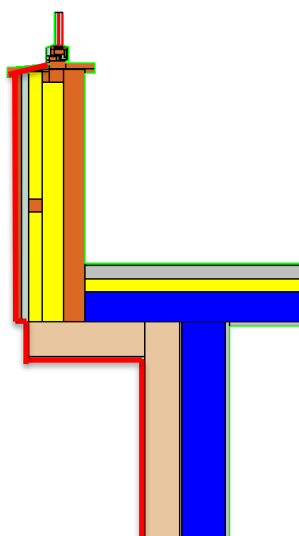


... se nadaljuje

...nadaljevanje Preglednice 39

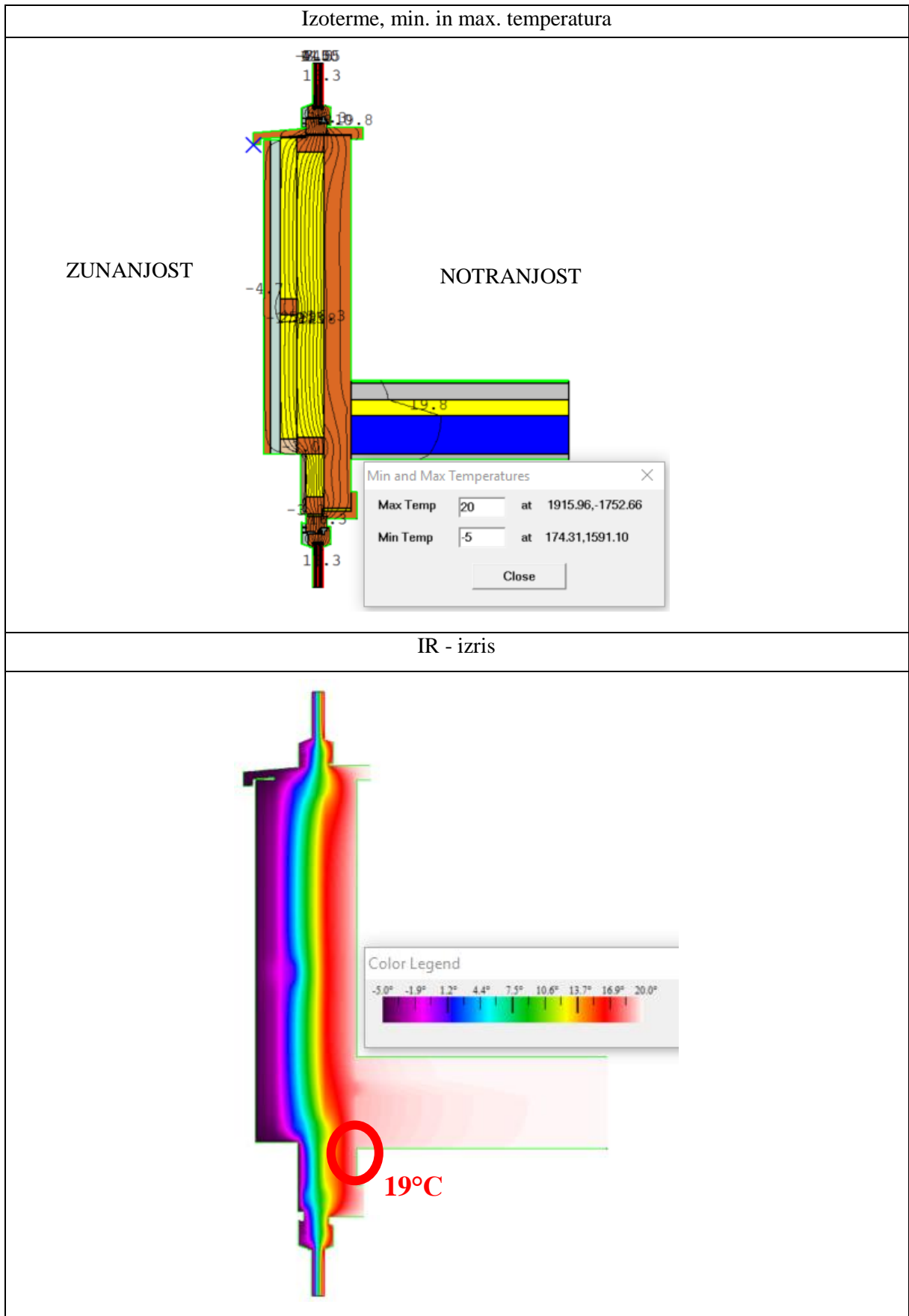
Intenziteta toplotnega toka	
	
Faktor f_{Rsi}	
$T_e = -5^{\circ}\text{C}$	
$T_i = 20^{\circ}\text{C}$	
$T_s = 19,2^{\circ}\text{C}$	
$f_{Rsi} = (T_s - T_e)/(T_i - T_e) = 0,97 > 0,75$	

Odločili smo se, da kletne stene in del armiranobetonske plošče, ki trenutno služi kot balkon, dodatno toplotno izoliramo s 16cm ekstrudiranega polistirena. Gre za upravičen ukrep, saj se skozi trenutne toplotno neizolirane lite betonske stene izgublja dobršen del toplote. Analiza je pokazala, da notranja temperatura površine po sanaciji ne bo nižja od $19,2^{\circ}\text{C}$, kar pomeni, da tudi na enem izmed najbolj kritičnih mest ne more pridi do nastanka površinske kondenzacije. Izračunan faktor U_{2D} znaša $0,189 \text{ W/m}^2\text{K}$. Površine, zajete v izračun faktorja U_{2D} , so z rdečo barvo prikazane na Sliki 50.



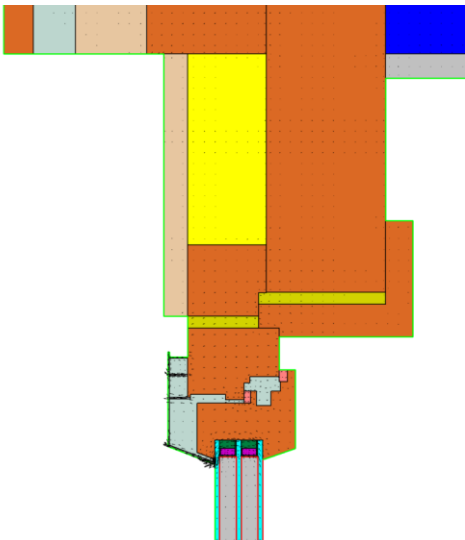
Slika 50: Prikaz površin, zajetih v izračun toplotne prehodnosti križanja

Preglednica 40: Križanje 2

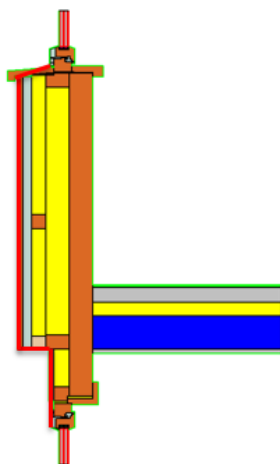


... se nadaljuje

...nadaljevanje Preglednice 40

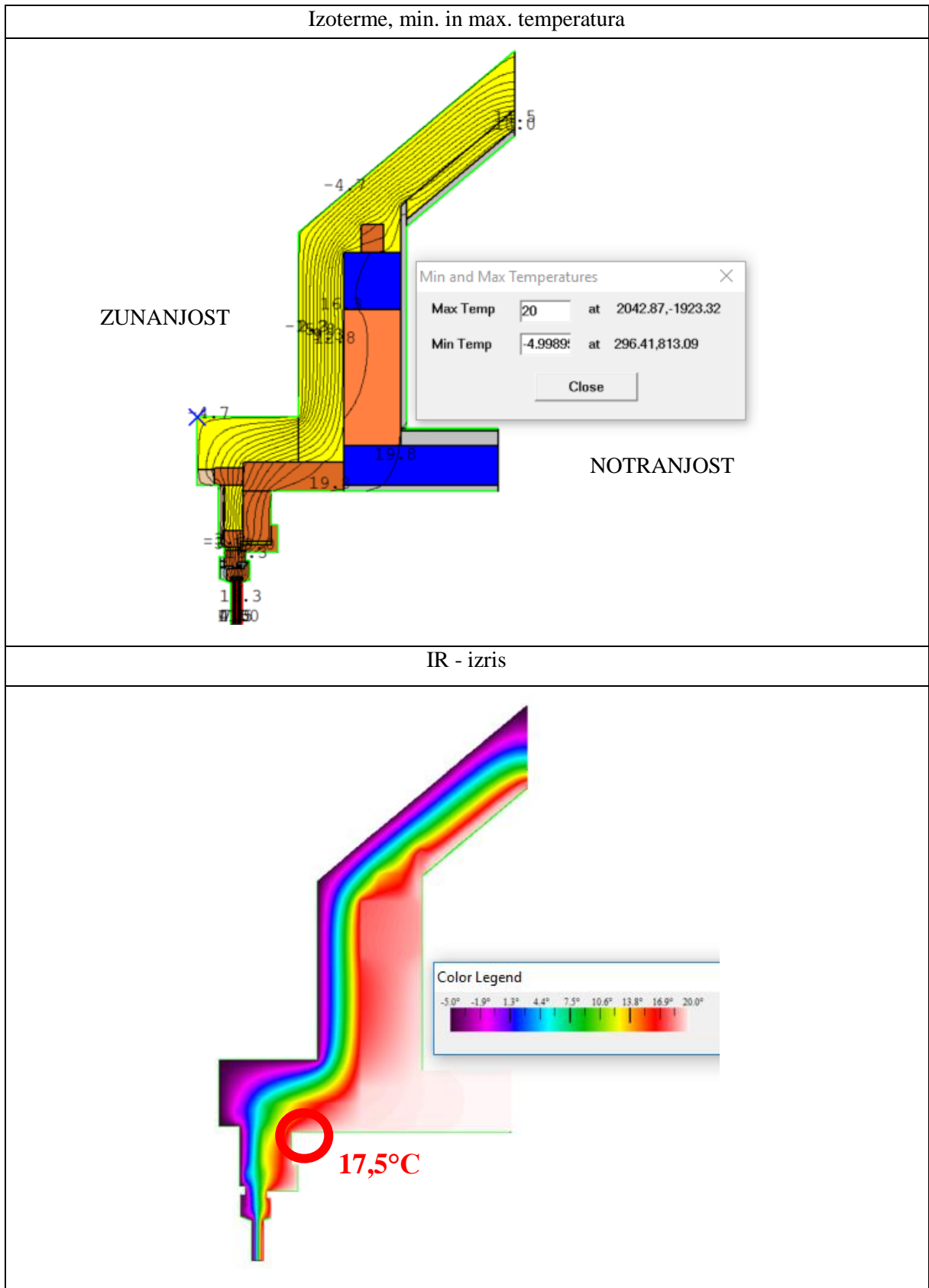
Intenziteta toplotnega toka	
	
Faktor f_{Rsi}	
$T_e = -5^{\circ}\text{C}$	
$T_i = 20^{\circ}\text{C}$	
$T_s = 19^{\circ}\text{C}$	
$f_{Rsi} = (T_s - T_e)/(T_i - T_e) = 0,96 > 0,75$	

S pomočjo analize smo pridobili zadovoljive rezultate. Zunanja stena je zelo dobro toplotno zaščitena. Intenziteta toplotnega toka skozi križanje je nizka in skoncentrirana na območje okenskega okvira. Lesena masivna stena in toplotna izolacija se neprekinjeno nadaljujeta na mestu križanja z armiranobetonsko ploščo. Pri križanju z njo smo izločili možnost nastanka toplotnega mostu in posledično površinske kondenzacije ter preprečili nastanek škodljive plesni. To nam potrjuje izračunan faktor f_{Rsi} , ki znaša kar 0,96. Glede na največji koeficient toplotne prevodnosti in najmanjšo debelino, je največja intenziteta toplotnega toka v okenskem okvirju, kar je bilo pričakovano. Izračunan faktor U_{2D} znaša $0,312 \text{ W/m}^2\text{K}$. Površine, zajete v izračun faktorja U_{2D} , so z rdečo barvo prikazane na Sliki 51.



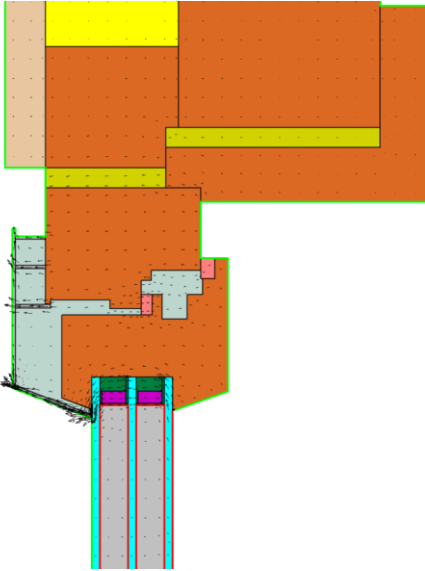
Slika 51: Prikaz površin, zajetih v izračun toplotne prehodnosti križanja

Preglednica 41: Križanje 3

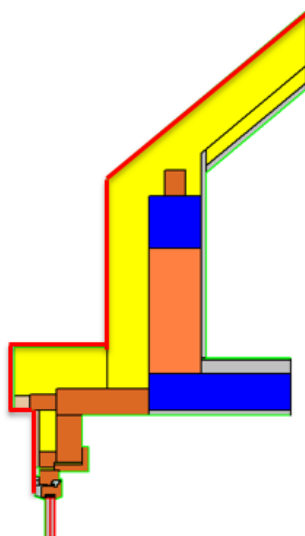


... se nadaljuje

... nadaljevanje Preglednice 41

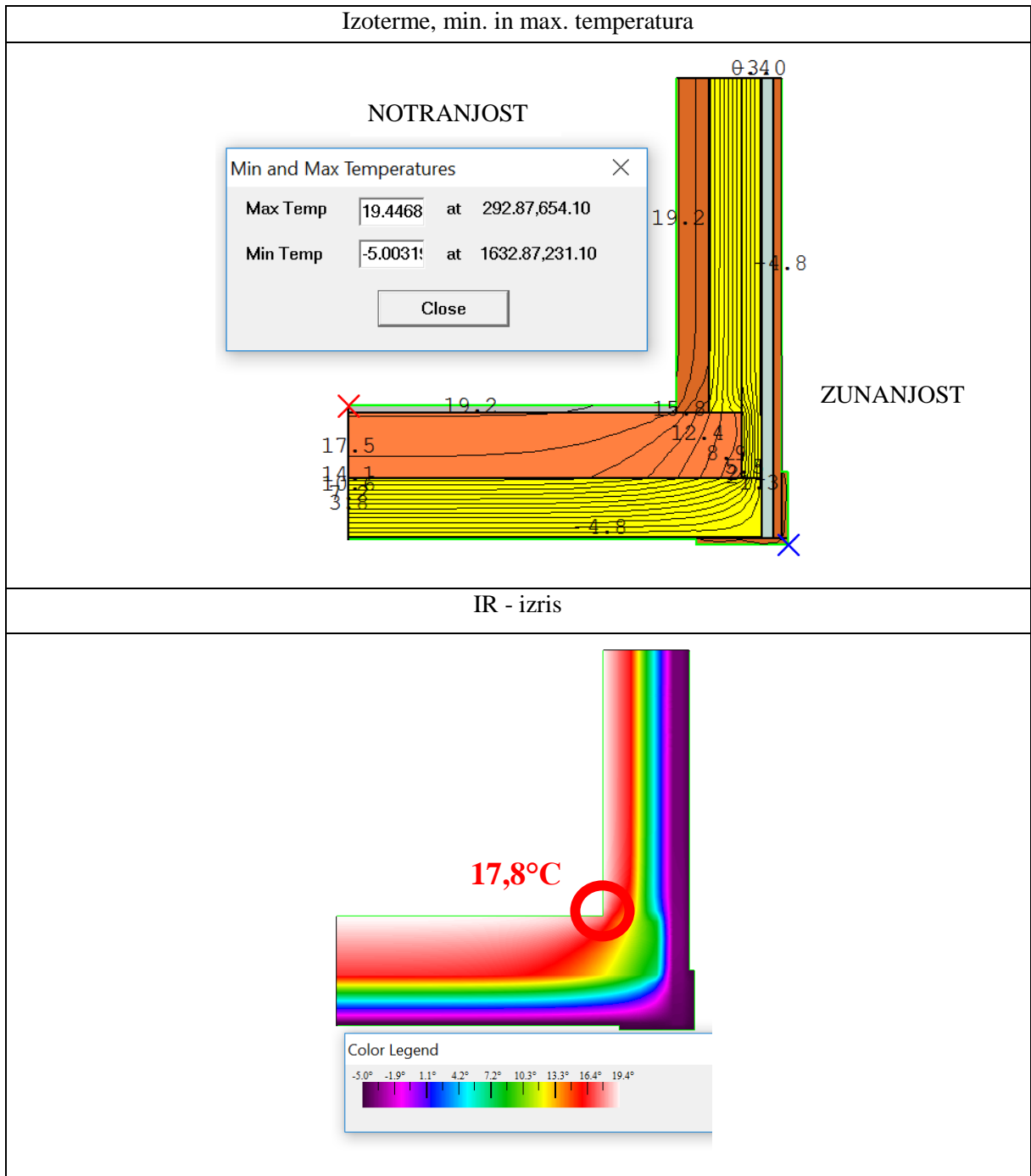
Intenziteta toplotnega toka

Faktor f_{Rsi}
$T_e = -5^{\circ}\text{C}$
$T_i = 20^{\circ}\text{C}$
$T_s = 17,5^{\circ}\text{C}$
$f_{Rsi} = (T_s - T_e)/(T_i - T_e) = 0,90 > 0,75$

Pred nekaj leti je bila izvedena sanacija ostrešja z namestitvijo toplotne izolacije med špirovce in pod njih, zato tega stanja nismo spreminjali. S pomočjo analize in izračuna faktorja f_{Rsi} smo ugotovili, da je križanje obstoječega ostrešja z novo zunanjo steno ustrezno projektirano, kombinirani toplotni mostovi pa so ustrezno prekinjeni. Obstoječe ostrešje ne potrebuje namestitve dodatne toplotne izolacije. Toplotna prehodnost vzdolž križanja znaša $0,232 \text{ W/m}^2\text{K}$. Površine, zajete v izračun faktorja U_{2D} , so z rdečo barvo prikazane na Sliki 52.



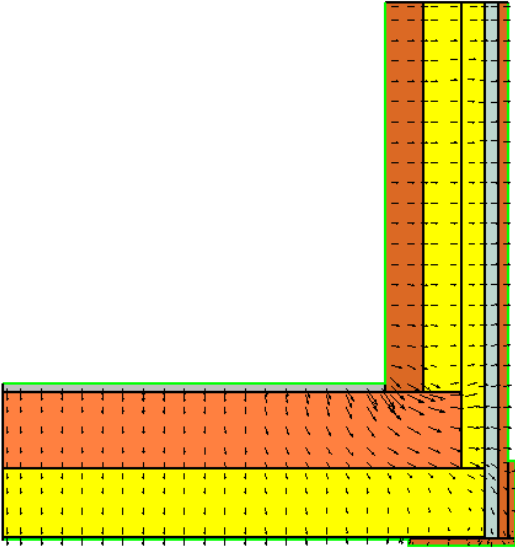
Slika 52: Prikaz površin, zajetih v izračun toplotne prehodnosti križanja

Preglednica 42: Križanje 4

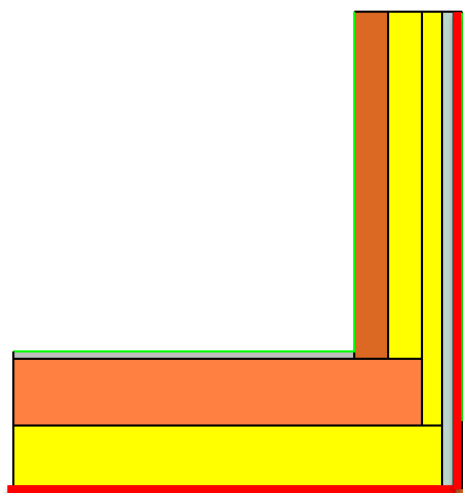


... se nadaljuje

...nadaljevanje Preglednice 42

Intenziteta toplotnega toka	
	
Faktor f_{Rsi}	
$T_e = -5^{\circ}\text{C}$	
$T_i = 20^{\circ}\text{C}$	
$T_s = 17,8^{\circ}\text{C}$	
$f_{Rsi} = (T_s - T_e)/(T_i - T_e) = 0,91 > 0,75$	

Tudi v tem primeru smo s kombinacijo prezračevane lesene fasade in klasične kontaktne fasade s tankoslojnim ometom rešili problem toplotnega mostu in preprečili možnost nastanka plesni. Intenziteta toplotnega toka je razumljivo najvišja v kotu križanja, a zaradi kontinuirane toplotne izolacije iz zunanje strani še vedno dovolj majhna. Geometrijski toplotni most na tem mestu je učinkovito prekinjen. Toplotna prehodnost vzdolž križanja znaša $0,163 \text{ W/m}^2\text{K}$. Površine, zajete v izračun faktorja U_{2D} , so z rdečo barvo prikazane na Sliki 53.



Slika 53: Prikaz površin, zajetih v izračun toplotne prehodnosti križanja

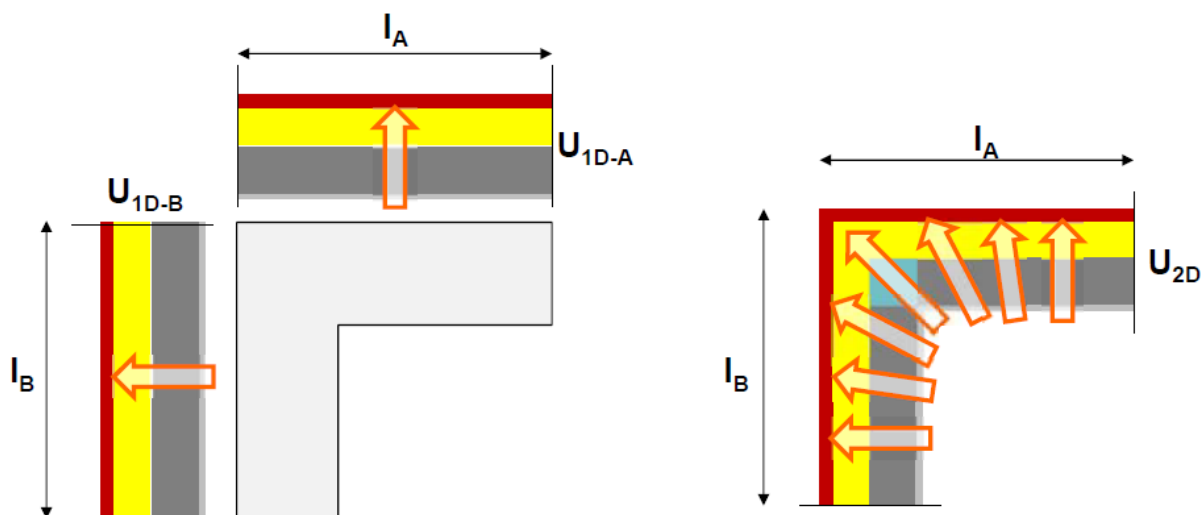
6.6 Toplotni mostovi

Predlog sanacije obravnavane stavbe je zasnovan tako, da je možnost pojava toplotnih mostov v veliki meri preprečena oziroma se toplotni mostovi pojavljajo v minimalnem obsegu. Da bi potrdili to tezo, smo izračunali dve tipični poziciji na stavbi, kjer bi se lahko pojavili toplotni mostovi. Poziciji geometrijskih toplotnih mostov sta prikazani na Sliki 54. Z oznako TM 1 je označen toplotni most na vogalu fasadnega ovoja, oznaka TM 2 pa označuje toplotni most na mestu, kjer se stikujejo tla nad terenom in zunanja stena.



Slika 54: Prikaz toplotnih mostov

Toplotna mostova smo izračunali po metodi, določeni po SIST EN ISO 10211 (2008). Vrednost toplotnega mostu Ψ je določena kot razlika med 2D preходом toplote skozi območje toplotnega mostu in 1D preходом toplote skozi mejne konstrukcijske sklope. Na Sliki 55 je grafični prikaz potrebnih podatkov za izračun.



Slika 55: Potrebne vrednosti za izračun vrednosti Ψ (Košir, 2014)

Najprej smo izračunali linearno prehodnost posameznega konstrukcijskega sklopa L_{1D} po Enačbi 4:

$$L_{1D} = (U_{1D-A} \times I_A) + (U_{1D-B} \times I_B) \quad (4)$$

V naslednjem koraku smo izračunali linearno prehodnost celotnega križanja L_{2D} po Enačbi 5:

$$L_{2D} = U_{2D} \times (I_A + I_B) \quad (5)$$

Končno vrednost Ψ smo določili z Enačbo 6:

$$\Psi = L_{2D} - L_{1D} \quad (6)$$

Pomen oznak je razložen v poglavju Simboli. Rezultati izračunov so prikazani v Preglednici 43. Potrdili smo našo tezo o ustreznosti izvedbe detajlov. Predpostavili smo, da so tudi preostali detajli rešeni na podobno učinkovit način. Vrednosti Ψ so manjše od 0,2 W/mK, zato se lahko v nadaljnjem izračunu energetske bilance upošteva vpliv toplotnih mostov na poenostavljen način, in sicer s povečanjem toplotne prehodnosti celotnega ovoja stavbe za 0,06 W/m²K (TSG-1-004:2010, 2010).

Preglednica 43: Izračun toplotnih mostov

	U_{2D} [W/m ² K]	U_{1D-A} [W/m ² K]	U_{1D-B} [W/m ² K]	I_A [m]	I_B [m]	L_{A+B} [m]	L_{1D} [W/mK]	L_{2D} [W/mK]	Ψ_e [W/mK]
TM1	0,163	0,341	0,321	1,34	1,34	2,68	0,887	0,437	-0,45
TM2	0,233	1,761	0,291	0,38	2,28	2,66	1,332	0,619	-0,71

6.7 Vhodni podatki za izdelavo energetske izkaznice stavbe po predlaganih ukrepih

V programu KI Energija smo modelirali potencialno stanje obravnavane stavbe po izvedbi predlagane sanacije. Urnik delovanja stavbe ostaja enak, in sicer vse dni v letu. Stavbo smo modelirali kot eno ogrevano cono iz več razlogov. Tudi v kleti so, tako kot v ostalih etažah, nameščeni radiatorji, umeščena pa je znotraj kontinuiranega toplotnega fasadnega ovoja.

Nova neto ogrevana prostornina znaša 21.050m³, nova neto uporabna površina pa se je zaradi povečanja neto tlorisa bivalnih enot povečala za 227m² in sedaj znaša 5135m². Konstrukcija stavbe je izvedena deloma iz lesenih modularnih sten, deloma pa še vedno iz modularne opeke, zato smo predpostavili srednje težko gradnjo. Toplotna kapaciteta znaša 1590,19 MJ/K.

Projektna notranja temperatura v zimskem času znaša 20°C, v poletnem času pa 26°C. Te temperature ustvarjajo ustrezno toplotno ugodje uporabnikov, prav tako pa pozitivno vplivajo na porabo letne energije za obratovanje stavbe. Predpostavljena vlažnost zraka je 65%. Notranje vire v stavbi tvorijo naprave (računalniki, tiskalniki, kopirni stroji, kuhinjske naprave, medicinske naprave), razsvetljava in ljudje. Upoštevajoč poenostavitve glede notranjih virov v SIST EN ISO 13790:2008, smo določili povprečne notranje vire, ki znašajo 4 W/m².

Zaradi potrebe po zmanjšanju ventilacijskih izgub, smo uporabili mehansko prezračevanje z vračanjem toplote (rekuperacija). Glede na zahteve iz TSG-1-004:2010, je potrebno pri nizkoenergijskih stavbah zagotoviti sistem mehanskega prezračevanja s stopnjo vračanja zavrženega zraka s temperaturnim izkoristkom najmanj 75%. Program je sam predpostavil 80% izkoristek vračanja toplote, kar smo tudi upoštevali. Število izmenjav zraka smo določili kot 0,5/h. To pomeni, da smo omogočili pretok 10525m^3 zraka v eni uri.

Površina netransparentnega fasadnega ovoja znaša 1906m^2 , od tega je 1171m^2 kontaktne fasade s toplotno prehodnostjo $0,195\text{ W/m}^2\text{K}$ in $144,9\text{m}^2$ kontaktne fasade s toplotno prehodnostjo $0,169\text{ W/m}^2\text{K}$. Lesene prezračevane fasade je $590,1\text{m}^2$, toplotna prehodnost pa znaša $0,192\text{ W/m}^2\text{K}$. Strešnih površin je $2690,4\text{m}^2$, njihova toplotna prehodnost pa je $0,166\text{ W/m}^2\text{K}$. Površina vkopanih sten s toplotno prehodnostjo $0,110\text{ W/m}^2\text{K}$ je 829m^2 , površina vkopanih tal s toplotno prehodnostjo $0,273\text{ W/m}^2\text{K}$ pa $2061,8\text{m}^2$. Tla nad terenom na vzhodnem bivalnem traktu imajo toplotno prehodnost $1,32\text{ W/m}^2\text{K}$ in površino 391m^2 . Toplotni mostovi na objektu so upoštevani tako, da smo povečali toplotno prehodnost celotnega ovoja stavbe za $0,06\text{ W/m}^2\text{K}$.

Na stavbi je bilo pred leti na določenih mestih zamenjano stavbno pohištvo, ki pa še ni amortizirano. Zamenjava v tem trenutku z ekonomskega vidika ne bi imela smisla. Gre za okna s toplotno prehodnostjo $1,1\text{ W/m}^2\text{K}$. Njihova površina na severni fasadi je $107,5\text{m}^2$, na vzhodni $233,7\text{m}^2$, na južni $72,6\text{m}^2$ in na zahodni $133,7\text{m}^2$. Prav tako so obstoječa tudi strešna okna s toplotno prehodnostjo $1,1\text{ W/m}^2\text{K}$. Na severnem delu poševne strehe je $5,9\text{m}^2$ zasteklitve, na vzhodnem $0,66\text{m}^2$, na južnem $3,28\text{m}^2$, na zahodnem pa $5,24\text{m}^2$. Preostala zasteklitve je nova in vgrajena v fasadne module. Na severni fasadi ni vgrajene nove zasteklitve, na vzhodni fasadi znaša površina transparentnega dela $138,3\text{m}^2$, na južni fasadi $87,1\text{m}^2$ in na zahodni fasadi $104,8\text{m}^2$. Toplotna prehodnost novih oken znaša $0,87\text{ W/m}^2\text{K}$. V skladu z metodologijo izdelave energetskih izkaznic znaša delež zasteklitve 0,7, nismo pa upoštevali senčenja transparentnih delov stavbe z žaluzijami.

Objekt je za potrebe ogrevanja vezan na kotel na zemeljski plin, nameščen v kotlovnici v kleti. Sanitarna topla voda se vse dni v letu pripravlja s pomočjo električnih grelnikov. Za potrebe hlajenja so vgrajene stenske split klimatske naprave z zunanjimi enotami. Naprave se aktivirajo, ko zgolj s senčenjem z žaluzijami ne moremo več zagotavljati zelenih pogojev v prostoru. Razsvetljava je deloma vodena ročno, vgrajena pa so varčna svetila. Gostota moči svetilk znaša $2,5\text{ W/m}^2$.

6.8 Rezultati

Rezultati izračuna gradbene fizike so pokazali, da nova letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe na enoto kondicionirane površine stavbe Q_{NH}/A_k znaša 28 kWh/m²a, kar stavbo uvršča v energetski razred B2. V Preglednici 44 so prikazani rezultati in toplotna bilanca v ogrevalni sezoni.

Preglednica 44: Letna potrebna toplota za ogrevanje in hlajenje, specifične transmisijske izgube in toplotna bilanca v ogrevalni sezoni

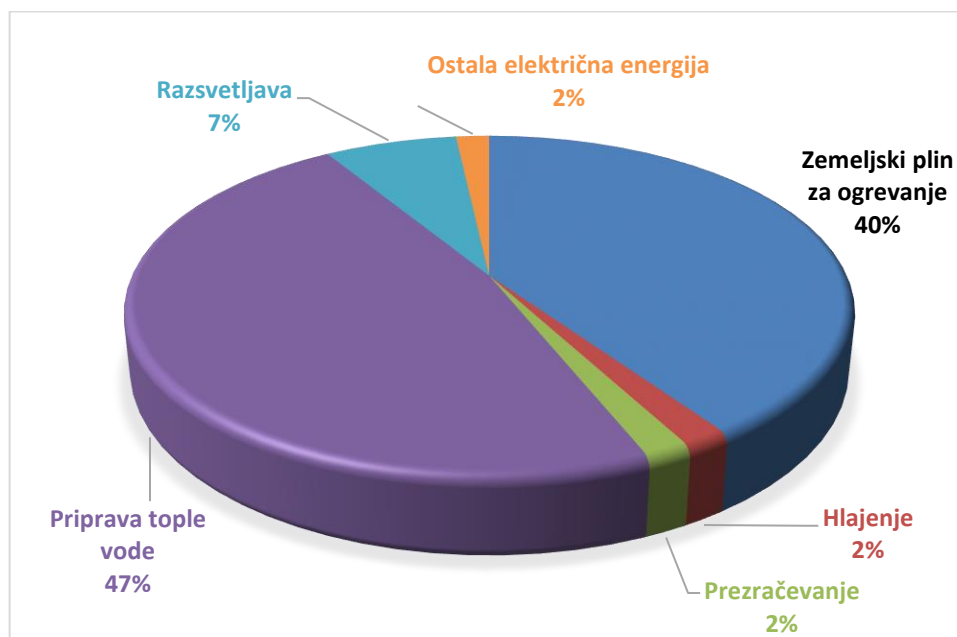
Toplotna bilanca v ogrevalni sezoni								
Potreba za ogrevanje Q_{NH} [kWh]	Potreba za hlajenje Q_{NC} [kWh]	Specifične transmisijske izgube H'_t [W/m ² K]	Transmisijske izgube [kWh]	Ventilacijske izgube [kWh]	Skupne izgube [kWh]	Notranji dobitki [kWh]	Solarni dobitki [kWh]	Skupni dobitki [kWh]
143.246	13.062	0,345	286.986	84.530	371.516	131.127	129.569	260.696

Izkazalo se je, da smo z ukrepi zmanjšali potrebo za ogrevanje kar za 78,5%. Pri tem se je malenkost povečala potreba za hlajenje stavbe in sicer za 13%. Preverili smo še energijsko učinkovitost sanirane stavbe. Energijska učinkovitost stavbe je dosežena, če je izpolnjeno nekaj specifičnih pogojev. Koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub skozi površino toplotnega ovoja stavbe H'_t v našem primeru ne sme presegati vrednosti 0,458 W/m²K, dobljena vrednost pa znaša 0,345 W/m²K. Letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe Q_{NH}/A_k v našem primeru ne sme preseči 29,9 kWh/m²a, dobljena vrednost pa znaša 27,9 kWh/m²a. Letna primarna energija za delovanje sistemov v stavbi Q_p , preračunana na enoto ogrevane površine stavbe A_k za obstoječ objekt ne sme presegati vrednosti 183,4 kWh/m²a, dejanska vrednost pa je 108,7 kWh/m²a (PURES 2010, 2010). Za še boljšo energetsko učinkovitost stavbe pa bi bila zaradi ugodne lege smiselna tudi uporaba obnovljivih virov energije. Na dele strehe, ki so orientirani proti jugu bi bilo smiselno namestiti fotovoltaične panele (PV) ali sončne kolektorje. V primeru, da bi na površino 355m² namestili PV panele z izkoristkom 16%, bi s tem pridobili kar 17% celoletne potrebne energije za delovanje stavbe.

Preglednica 45: Dovedena energija za delovanje stavbe

Dovedena energija za delovanje stavbe	Dovedena energija	
	kWh/a	kWh/m ² a
Gretje	115.710	23
Hlajenje	5895	1
Prezračevanje	5151	1
Ovlaževanje	0	0
Priprava tople vode	139.212	27
Razsvetljava	19.256	4
Električna energija	2811	1
Skupaj dovedena energija za delovanje stavbe	288.035	56

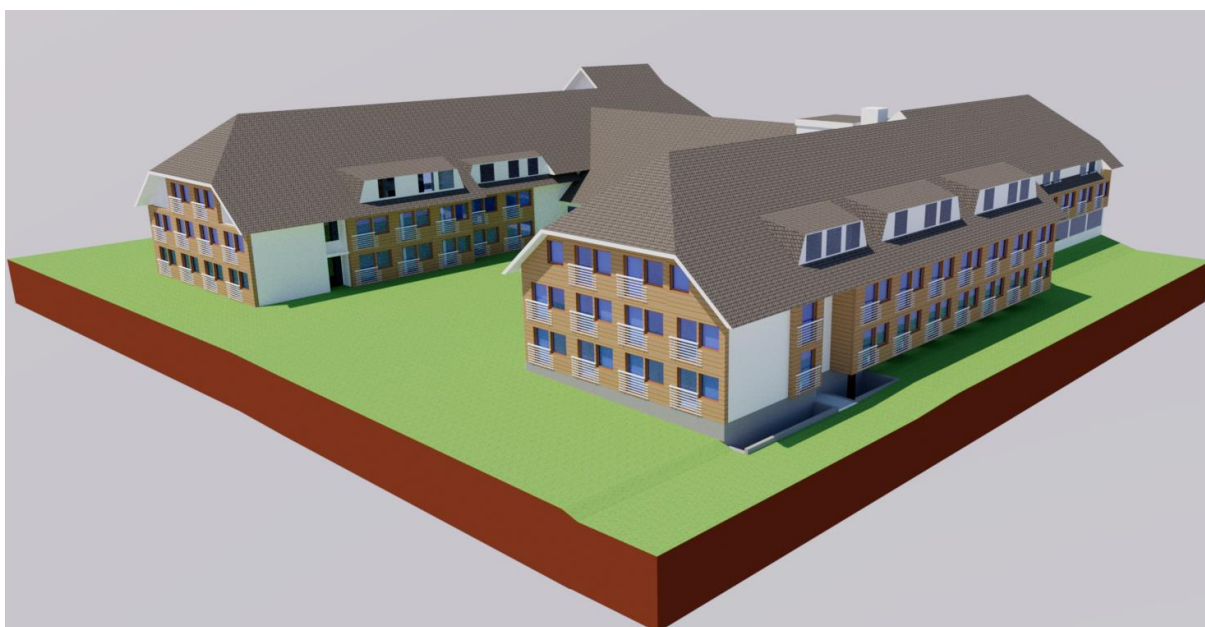
Na Sliki 56 je prikazana struktura rabe celotne energije za delovanje stavbe. Dobljeni podatki so prikazani v Preglednici 45.



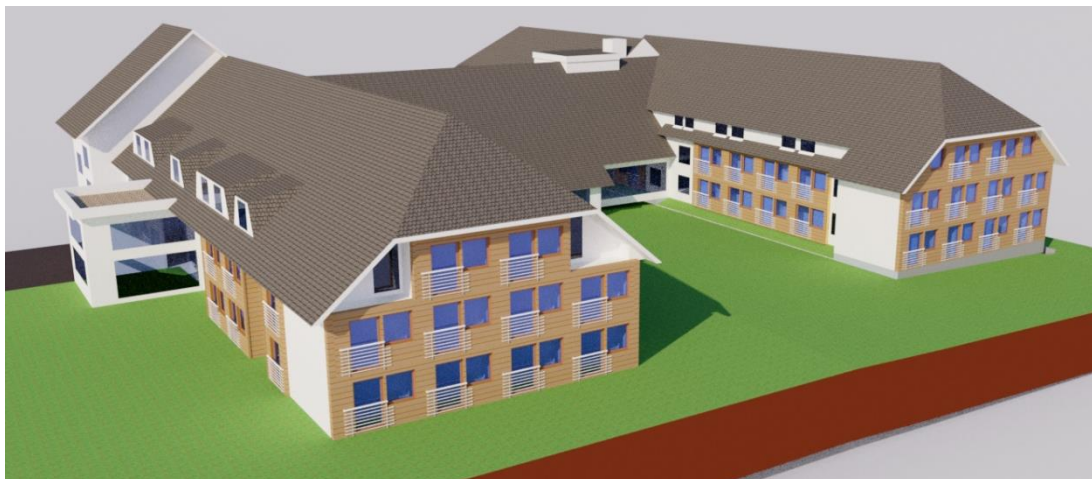
Slika 56: Struktura rabe celotne energije za delovanje stavbe

Vidimo lahko, da za ogrevanje stavbe potrebujemo 40% celotne energije, za hlajenje, prezračevanje, pripravo sanitarne tople vode, razsvetljava in ostalo električno energijo pa 60%.

Izdelali smo še vizualizacijo končnega stanja objekta z detajlno izdelanimi modularnimi fasadnimi paneli. Pogledi z V, JV, J in JZ smeri so prikazani na Sliki 57, Sliki 58, Sliki 59 in Sliki 60.



Slika 57: Pogled z JV smeri



Slika 58: Pogled z JZ smeri



Slika 59: Pogled z V smeri



Slika 60: Pogled z južnega dvorišča

7 ZAKLJUČEK

Predmet obravnave v magistrskem delu je bil dom starejših občanov Dom Petra Uzarja. Izdelali smo celovito analizo stavbe in predlagali končno rešitev v smislu energetske učinkovitosti objekta. Pri tem smo upoštevali idejo, da se pri energetske sanaciji stavbe uporabi les kot gradbeni material.

Delovne hipoteze, ki smo jih preverjali v magistrskem delu so bile:

1. stavba je v trenutni zasnovi energetske neučinkovita,
2. kritični točki stavbnega ovoja sta prvotno leseno stavbno pohišstvo iz osemdesetih let in leseni parapeti pod njimi,
3. trenutni konstrukcijski sklopi so stikovani in križani neučinkovito. Posledica tega so številni toplotni mostovi.

Z vrsto izvedenih analiz smo potrdili vse tri delovne hipoteze. V podpoglavju 2.5.3 smo z rezultati energetske analize obstoječega stanja potrdili prvi dve hipotezi. Stavba se uvršča v energetske razred E, razlog za to pa je v veliki meri prvotno stavbno pohišstvo in neustrezno oziroma pomanjkljivo toplotno zaščiten fasadni ovoj. Dvodimenzionalne analize toplotnih polj v podpoglavju 2.5.4 so potrdile tretjo hipotezo. Obstoječe konstrukcijske rešitve križanj so se izkazale za relativno slabe, posledično so povsod visoke možnosti za nastanek škodljive plesni. Na podlagi dobljenih rezultatov smo torej oblikovali predloge za izboljšanje.

Izvedli smo analizo osončenosti za dneve 21. 3., 21. 6. in 21. 12. Trenutno so bivalne enote, predvsem tip Bivalna enota 1, močno senčene, razlog pa je v veliki meri geometrija same stavbe. Tloris objekta je v obliki črke H, kar pomeni, da vzhodni in zahodni bivalni trakt senčita drug drugega. Na podlagi tega smo se odločili, da pozicijo zunanjih sten bivalnih enot prestavimo na konec dosedanjih balkonov. S tem bi zagotovili večjo osvetljenost prostorov z naravno svetlobo, posledično pa bi bili višji tudi solarni dobitki v zimskem času, ko je navidezna pot sonca na nebu nižja.

Na podlagi energetske analize obstoječega stanja smo določili glavna mesta v fasadnem oboju, ki so izvedena neustrezno glede na trenutne standarde in pravilnike o učinkoviti rabi energije. Dvodimenzionalna analiza toplotnega polja obstoječih križanj je potrdila naše hipoteze, izpostavila pa je tudi relativno resen problem. V vseh variantah križanj obstoječih konstrukcijskih sklopov so bili izpolnjeni pogoji za nastanek škodljive plesni v prostoru.

Namen magistrskega dela je bil zasnova optimalnega modularnega fasadnega panela, ki bi odpravil vse zgoraj naštetih pomanjkljivosti trenutnega fasadnega ovoja. Izvedli smo parametrično analizo sprememb potreb stavbe po ogrevanju in hlajenju glede na spremembo U-faktorja in g-faktorja oken, analizirali vpliv sencil v poletnem času in spreminjali U-faktor netransparentnega zunanjskega ovoja.

Na podlagi znanj s področja učinkovite rabe energije in glede na rezultate parametričnih analiz smo nato oblikovali možne variante konstrukcijskih sklopov modularnega panela in preostalega fasadnega ovoja. Za vsakega smo izdelali dvodimenzionalno analizo toplotnega polja in se tako prepričali, da konstrukcijski sklop ustreza zakonskim regulativam glede toplotne prehodnosti in difuzije vodne pare. Na podoben način smo določili tudi optimalno zasteklitev, ki bo vgrajena v fasadni modul. Izvedli smo analizo vpliva polnila na toplotno prehodnost zasteklitve. Glede na vse rezultate, zbrane v tej analizi,

smo se odločili, da izberemo okna s trojno zasteklitvijo. Na podlagi analize vpliva okvirja in površine zasteklitve na toplotno prehodnost okna smo izbrali kombinacijo lesenih in aluminijastih profilov.

Na koncu smo izdelali še energetska analizo potencialne stavbe po izvedbi energetske sanacije. Letna potrebna toplota za ogrevanje stavbe na enoto kondicionirane površine stavbe Q_{NH}/A_k se je iz prvotne $136 \text{ kWh/m}^2\text{a}$ zmanjšala na zgolj $28 \text{ kWh/m}^2\text{a}$, oziroma kar za 78,5%. Pri tem se je malenkost povečala potreba za hlajenje stavbe, in sicer za 13%. Stavba bi se po predvideni energetska sanaciji uvrstila v energetska razred B2.

Pri projektiranju stavb je potrebno upoštevati veliko različnih vidikov. Stavba mora biti zasnovana kot kompromis med energetska učinkovitostjo in zdravim ter udobnim okoljem za uporabnika. Objekt, energetska saniran na podlagi naših ugotovitev in predlogov, bo v skladu z vsemi najnovejšimi zahtevami, ki zagotavljajo učinkovito energetska učinkovitost stavbe in dobre bivalne pogoje za uporabnike stavbe.

Naj zaključim z mislijo prof. dr. Aleša Krainerja, ki pravi: »Končni cilj gradnje stavb naj bi bilo oblikovanje zdravega in udobnega okolja z najmanjšo možno porabo energije in ne najmanjša možna poraba energije ob zagotavljanju fizioloških minimumov« (Krainer, 2008).

VIRI

Comfen 5 Beta. 2013.

<https://windows.lbl.gov/software/comfen/comfen.html> (Pridobljeno 12. 6. 2016.)

Dewpoint calculator. 2016.

<http://www.decatour.de/javascript/dew/> (Pridobljeno 5. 6. 2016.)

Direktiva 2012/27/EU. 2012. Directive 2012/27/EU of the European Parliament and of the Council of 25 October 2012 on energy efficiency, amending Directives 2009/125/EC and 2010/30/EU and repealing Directives 2004/8/EC and 2006/32/EC.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2012:315:0001:0056:EN:PDF>
(Pridobljeno 10. 4. 2016.)

Dovjak, M. 2014. Bivalno okolje, Izbor literature. Študijsko gradivo (UNI ST-B II. stopnja)

E-NETSI, d.o.o. 2016.

<http://www.e-netsi.si/> (Pridobljeno 20. 6. 2016.)

EPBD-r 2010/31/EU. 2010. Directive 2010/31/EU of the European Parliament and of the Council of 19 May 2010 on the energy performance of buildings (recast).

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2010:153:0013:0035:EN:PDF>
(Pridobljeno 10. 4. 2016.)

Google Maps. 2016.

<https://maps.google.com/> (Pridobljeno 10. 4. 2016.)

Grobovšek, B. 2008. Pasivna hiša-toplotne, optične in zvočne lastnosti zastekljenih površin.

<http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT267.htm> (Pridobljeno 25. 4. 2016.)

Grobovšek, B. 2008. Izbira energijsko varčnih oken.

<http://gcs.gi-zrmk.si/Svetovanje/Clanki/Grobovsek/PT32.htm> (Pridobljeno 25. 4. 2016.)

Hajdinjak, R. 2009. Gradimo s steklom, REFLEX d.o.o..

Henshaw, V., Guy, S. 2014. Embodied thermal environments: an examination of older-people's sensory experiences in a variety of residential types. Energy Policy 84: 233-240.

Ivanović-Šekularac, J., Čikić-Tovarović, J., Šekularac, N. 2015. Application of wood as an element of facade cladding in construction and reconstruction of architectural objects to improve their energy efficiency. Energy and Buildings 115: 85-93.

Jelovica. 2016.

<http://www.jelovica-okna.si/> (Pridobljeno 13. 6. 2016.)

Krainer, A., 2008. Passivhaus contra bioclimatic design – Dedicated to em. Univ.-Prof. Dr. Ing. habil. Dr.h.c. mult. Karl Gertis on the occasion of his 70th birthday. V: Bauphysik, Let. 30, št. 6, 393-404.

KI Energija 2014. 2015.

<http://www.knaufinsulation.si/program-ki-energija-2014> (Pridobljeno 21. 12. 2015.)

Kitek Kuzman, M., Kariž, M., Zbašnik-Senegačnik, M. 2013. Sodobne konstrukcije lesenih pasivnih hiš v Sloveniji. AR: 13-18.

Kitek Kuzman, M. 2012. Lesene konstrukcije v stanovanjski in javni gradnji. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.

Kitek Kuzman, M. 2008. Gradnja z lesom – izziv in priložnost za Slovenijo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta.

Košir, M. 2014. Učinkovita raba energije, Izbor literature. Študijsko gradivo (UNI ST-B II. stopnja)

MIK Celje. 2016.

<http://www.mik-ce.si/okna/alu-okna/> (Pridobljeno 13. 6. 2016.)

Ministrstvo za gospodarske dejavnosti, Agencija RS za učinkovito rabo. Gradbeni inštitut ZRMK - Gradbeni center Slovenije. Zbirka informativnih listov "ZA UČINKOVITO RABO ENERGIJE". Informativni list 2/11: Toplotni mostovi.

Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb (Uradni list RS, št. 92/14).

<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV11883> (Pridobljeno 12. 4. 2016.)

Pravilnik o minimalnih tehničnih zahtevah za graditev stanovanjskih stavb in stanovanj (Uradni list RS, št. 1/2011).

<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV10213> (Pridobljeno 12. 4. 2016.)

Pravilnik o prezračevanju in klimatizaciji stavb (Uradni list RS, št. 42/02).

<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV4223> (Pridobljeno 12. 4. 2016.)

PURES. Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (Uradni list RS, št. 52/10).

<http://www.pisrs.si/Pis.web/pregledPredpisa?id=PRAV10043> (Pridobljeno 10. 4. 2016.)

Reflex. 2016.

www.reflex.si (Pridobljeno 4. 6. 2016.)

Riko Hiše. 2016.

<http://www.riko-hise.si/si/prerezi-zunanjih-sten> (Pridobljeno 15. 6. 2016.)

Seliškar, N. 1997. Stavbarstvo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo.

SIST EN 12464-1:2011. Svetloba in razsvetljava-Razsvetljava na delovnem mestu-1.del: Notranji delovni prostori.

SIST EN ISO 10211-1:2008. Toplotni mostovi v stavbah - Toplotni tokovi in površinske temperature - Podrobni izračuni.

SIST EN ISO 13788:2013. Higrotermalno obnašanje sestavnih delov stavb in elementov stavb- Notranja površinska temperatura za preprečevanje kritične vlage na površini konstrukcije in kondenzacije v konstrukciji-Računska metoda.

SIST EN ISO 13790:2008. Energijske lastnosti stavb-Račun rabe energije za ogrevanje in hlajenje prostorov.

SketchUp. 2015.

<http://www.sketchup.com/> (Pridobljeno 21. 12. 2015.)

Stat SI. 2016. Število in sestava prebivalstva. Statistični urad Republike Slovenije.

<http://www.stat.si/StatWeb/pregled-podrocja?idp=104&headerbar=15> (Pridobljeno 10. 4. 2016.)

SunHours. 2015.

<http://www.sunhoursplugin.com/> (Pridobljeno 2. 12. 2015.)

Therm 7.4. 2015.

https://windows.lbl.gov/software/therm/7/index_7_4_3.html (Pridobljeno 12. 6. 2016.)

Trebenspurg, M., Djalili, M. 2010. New technical solutions for energy efficient buildings.

http://www.sci-network.eu/fileadmin/templates/sci-network/files/Resource_Centre/Innovative_Technologies/State_of_the_Art_Report_Multifunctional_Facade_Systems.pdf (Pridobljeno 13. 3. 2016.)

TSG-1-004:2010. Tehnična smernica TSG-1-004:2010. Učinkovita raba energije.

Turkulin, H., Jirouš-Rajković, V. 2004. Faktorji obstojnosti lesenih fasad. Les 56: 189-197.

Uredba EU 305/2011. 2011. Regulation (EU) no 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonised conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC.

<http://eur-lex.europa.eu/LexUriServ/LexUriServ.do?uri=OJ:L:2011:088:0005:0043:EN:PDF> (Pridobljeno 10. 4. 2016.)

van Hoof, J., Wetzels, M.H., Dooremalen, A.M.C. et al. 2013. Technological and architectural solutions for Dutch nursing homes: Results of a multidisciplinary mind mapping session with professional stakeholders. Technology in Society 36: 1-12.

Window 7.4. 2016.

https://windows.lbl.gov/software/window/7/index_7_4_8.html (Pridobljeno 12. 6. 2016.)

Žegarac Leskovar, V., Premrov, M. 2011. Vpliv zasteklitve na energetska učinkovitost montažnih lesenih stavb. Gradbeni vestnik 60: 47-54.