

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Zupančič, M., 2016. Energijska analiza zasnove lesene večstanovanjske modularne stavbe. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Košir, M., somentor Lopatič, J.): 80 str.

Datum arhiviranja: 16-09-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Zupančič, M., 2016. Energijska analiza zasnove lesene večstanovanjske modularne stavbe. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Košir, M., co-supervisor Lopatič, J.): 80 pp.

Archiving Date: 16-09-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

UNIVERZITETNI ŠTUDIJSKI
PROGRAM GRADBENIŠTVO
KONSTRUKCIJSKA SMER

Kandidat:

MATIC ZUPANČIČ

**ENERGIJSKA ANALIZA ZASNOVE LESENE
VEČSTANOVANJSKE MODULARNE STAVBE**

Diplomska naloga št.: 3497/KS

**ENERGY ANALYSIS OF CONCEPTUAL DESIGN OF
WOODEN MULTI-APARTMENT MODULAR BUILDING**

Graduation thesis No.: 3497/KS

Mentor:

doc. dr. Mitja Košir

Somentor:

izr. prof. dr. Jože Lopatič

Ljubljana, 15. 09. 2016

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Spodaj podpisani študent **Matic Zupančič**, vpisna številka **26108662**, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: »**Energijska analiza zasnove lesene večstanovanjske modularne stavbe.**«

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 vsa potrebna dovoljenja za uporabo podatkov in avtorskih del v pisnem zaključnem delu študija in jih v pisnem zaključnem delu študija jasno označil;
4. da sem pri pripravi pisnega zaključnega dela študija ravnal v skladu z etičnimi načeli in, kjer je to potrebno, za raziskavo pridobil soglasje etične komisije;
5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo 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: Novem mestu

Datum: 22. 08. 2016

Podpis študenta:

Zupančič Matic

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK:	502/504:694.14(043.2)
Avtor:	Matic Zupančič
Mentor:	doc. dr. Mitja Košir
Somentor:	izr. prof. dr. Jože Lopatič
Naslov:	Energijska analiza zasnove lesene večstanovanjske modularne stavbe
Tip dokumenta:	Diplomska naloga – univerzitetni študij
Obseg in oprema:	80 str., 46 pregl., 38 sl.
Ključne besede:	Modularna gradnja, les, okvirni sistem, masivni sistem, konstrukcijski sklop, križanje, toplotna prehodnost, difuzija vodne pare, energetska bilanca, energetska izkaznica

Izvleček

Analize rasti svetovne populacije kažejo, da se bo v naslednjih 30 letih število prebivalcev našega planeta povečalo za okoli 20 odstotkov, kar pomeni, da bo naraslo povpraševanje po bivalnih enotah. V diplomski nalogi predstavljamo nov koncept gradnje okolju prijazne lesene večstanovanjske modularne stavbe kot alternativo energetsko potrošni in okolju neprijazni klasični gradnji. Naloga obravnava izgradnjo energetsko učinkovite lesene večstanovanjske modularne stavbe. Tako smo v sklopu naloge zasnovali konstrukcijske sklope in s programoma URSA 4 ter THERM 7.3 preverili njihovo skladnost s trenutno veljavnim Pravilnikom o učinkoviti rabi energije v stavbah PURES 2010 in Tehnično smernico TSG-1-004. S programom THERM smo analizirali najbolj kritična križanja, ki se pojavijo v stavbnem ovoju zasnovane stavbe. Rezultate obeh analiz smo nato uporabili pri izračunu energetske bilance stavbe. Energetska bilanco smo izračunali s programom URSA 4, dobljene rezultate pa preverili s pomočjo kriterijev, ki jih določa Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. Z dobljenimi rezultati želimo pokazati, da je s pravilnim pristopom h konstruiranju stavbnega ovoja in nosilne konstrukcije mogoče ustvariti učinkovit modularni sistem.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC:	502/504:694.14(043.2)
Author:	Matic Zupančič
Supervisor:	assist. prof. Mitja Košir, Ph.D
Co-advisor:	assoc. prof. Jože Lopatič, Ph.D
Title:	Energy analysis of conceptual design of wooden multi-apartment modular building
Document type:	Graduation Thesis – University studies
Notes:	80 p., 46 tab., 38 fig.
Key words:	Modular construction, wood, frame system, massive system, building elements, intersection, heat transfer, vapor transfer, energy balance, energy performance certificate

Abstract

Growth analyses of the world population show, that in the next 30 years, the population of the planet will increase by 20 %, which means that demand for residential units will also increase. The thesis presents a new concept of constructing environmentally friendly wooden multi-apartment modular building as an alternative to energy consumptive and environmentally unfriendly classical building. The paper deals with the construction of energy efficient wooden multi-apartment modular building. We constructed construction elements and with programs URSA 4 and THERM 7.3 verified their compliance with the current Regulations on energy efficiency in buildings PURES 2010 and Technical guideline TSG-1-004. With THERM we will analyze the most critical intersections that occur in the building envelope of designed building. The results will be used to calculate the energy balance of the building. The energy balance will be calculated with program URSA 4. The results will be verified according to criteria laid down in the Regulations on energy efficiency in buildings. With results we want to show, that with the proper approach to constructing the building envelope and the supporting system, an effective modular system can be created.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju doc. dr. Mitji Koširju in somentorju izr. prof. dr. Jožetu Lopatiču za vso pomoč in podporo pri izdelavi diplomske naloge.

Zahvaljujem se tudi družini za vso strpnost in podporo, ki so mi jo nudili tekom študija, puncu Evi in sošolcem s katerimi smo skupaj preživeli mnogo lepih študentskih trenutkov.

KAZALO VSEBINE

IZJAVE	II
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA	V
1 UVOD	1
2 PREGLED STANJA IN REFERENCE	4
3 ZASNOVA MODULOV IN TLOVIS OBRAVNAVANE STAVBE	7
3.1 Les kot gradbeni material	9
3.1.1 Fizikalne lastnosti lesa	10
3.1.2 Mehanske lastnosti lesa	12
3.2 Lepljen lameliran les	12
3.3 Križno lepljene lesene plošče	13
3.4 Uporabljeni materiali	15
4 UPORABLJENI PREDPISI	16
4.1 SIST EN 1990:2004 – Evrokod – Osnove projektiranja konstrukcij [26]	16
4.2 SIST EN 1991-1-1:2004 – Evrokod 1 – Vplivi na konstrukcije – 1-1. del: Splošni vplivi – Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb [28]	16
4.3 SIST EN 1991-1-3:2004 – Evrokod 1 – Vplivi na konstrukcije – 1-3. del: Splošni vplivi – Obtežba snega [29]	16
4.4 SIST EN 1995-1-1:2005 – Evrokod 5 – Projektiranje lesenih konstrukcij – 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe [30]	17
4.5 Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010), Ur. l. RS, št. 52/2010: 7840 [10]	17
4.6 Tehnična smernica za graditev TSG-1-004 Učinkovita raba energije [31]	18
5 ANALIZA KONSTRUKCIJE	20
5.1 Predpostavke	20
5.2 Vplivi na konstrukcijo	21
5.2.1 Lastna teža nosilne konstrukcije	21
5.2.2 Stalna obtežba	22
5.2.2.1 Ravna streha	22
5.2.2.2 Medetažna konstrukcija	22
5.2.2.3 Zunanja stena	23
5.2.2.4 Notranja stena	24

5.2.2.5	Predelna stena	24
5.2.3	Koristna obtežba	24
5.2.4	Obtežba snega	25
5.2.4.1	Podatki o lokaciji	25
5.2.5	Obtežba vetra	25
5.2.5.1	Določitev tlaka vetra na ploskve	25
5.3	Določitev začetnih dimenzij	26
5.4	Rezultati analize konstrukcije	27
5.4.1	Notranje sile modula 1	27
5.4.2	Notranje sile modula 2	29
5.4.3	Notranje sile modula 3	31
5.5	Dimenzioniranje elementov	33
5.5.1	Steber	33
5.5.2	Nosilec	35
5.5.3	Plošča	35
6	DOLOČITEV KONSTRUKCIJSKIH SKLOPOV	37
6.1	Zasnova konstrukcijskih sklopov	38
6.1.1	Zunanja stena	38
6.1.2	Tla nad zunanjim zrakom	39
6.1.3	Strop proti neogrevanemu prostoru, stropi v sestavi ravnih ali poševnih streh	40
6.1.4	Medetažna konstrukcija	42
6.1.5	Notranja nosilna stena	43
6.1.6	Predelna stena	44
6.1.7	Okno	45
6.1.8	Armiranobetonska stena	46
6.1.9	Armiranobetonska streha	47
6.2	1D analiza konstrukcijskih sklopov	48
6.3	2D analiza konstrukcijskih sklopov	52
7	KRIŽANJA KONSTRUKCIJSKIH SKLOPOV	54
7.1	2D analiza križanj konstrukcijskih sklopov	55
7.1.1	Križanje v ravnini med zunanjo steno in odprtino	55
7.1.2	T križanje med zunanjo steno, tlemi nad zunanjim zrakom in linijskim AB temeljem	56
7.1.3	L križanje med dvema zunanjima stenama	57
7.1.4	T križanje med zunanjo steno in strešno konstrukcijo	58
8	ENERGETSKA BILANCA CELOTNE STAVBE	61
8.1	Vhodni podatki	61

8.1.1	Lokacija stavbe	61
8.1.2	Klimatski pogoji	62
8.2	Delitev objekta na cone	64
8.2.1	Bivalna cona 1, stanovanjski del	65
8.2.2	Bivalna cona 2, stanovanjski del	66
8.2.3	Nebivalna cona, stopnišče	67
8.3	Prezračevalne izgube	68
8.4	Priprava tople vode	68
8.5	Toplotna črpalka	68
8.6	Dovedena energija za hlajenje	68
8.7	Razsvetljava	69
8.8	Rezultati energetske bilance	69
8.9	Energetska izkaznica	71
9	ZAKLJUČEK	74
10	VIRI	76

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Prikaz trenutnega števila prebivalcev in ocenjenega števila prebivalcev čez 30 let, prirastek števila prebivalcev v 30 letih, povprečno število članov v gospodinjstvu in potrebno število novih bivalnih enot glede na regijo. [2], [3], [4], [5]	1
Preglednica 2: Poraba energije in vpliv na okolje pri pridobivanju in proizvodnji različnih materialov. [6].....	2
Preglednica 3: Pregled načinov gradnje in konstrukcijskih sistemov glede na stopnjo prefabrikacije. [11]	4
Preglednica 4: Prednosti in slabosti gradnje s prostorski moduli.	6
Preglednica 5: Gostota lesa v odvisnosti od botanične vrste lesa [20].	10
Preglednica 6: Hitrost oglenenja v primeru standardne požarne izpostavljenosti [21].....	11
Preglednica 8: Mejne vrednosti toplotne prehodnosti za gradbene elemente v stavbi. [31] ..	19
Preglednica 9: Sestava konstrukcijskega sklopa ravne strehe, uporabljenega pri statični analizi konstrukcije.	22
Preglednica 10: Sestava konstrukcijskega sklopa medetažne konstrukcije, uporabljenega pri statični analizi konstrukcije.	23
Preglednica 11: Sestava konstrukcijskega sklopa zunanje stene, uporabljenega pri statični analizi konstrukcije.	23
Preglednica 12: Sestava konstrukcijskega sklopa notranje stene, uporabljenega pri statični analizi konstrukcije.	24
Preglednica 13: Sestava konstrukcijskega sklopa predelne stene, uporabljenega pri statični analizi konstrukcije.	24
Preglednica 14: Rezultati statične analize 1. modula.	28
Preglednica 15: Rezultati statične analize 2. modula.	30
Preglednica 16: Rezultati statične analize 3. modula.	32
Preglednica 17: Prikaz sestave po plasteh zunanje stene s pripadajočimi vrednostmi toplotne prevodnosti, gostote, specifične prevodnosti in difuzijske upornosti.....	39
Preglednica 18: Prikaz sestave po plasteh tal nad zunanjim zrakom s pripadajočimi vrednostmi toplotne prevodnosti, gostote, specifične prevodnosti in difuzijske upornosti.	40
Preglednica 19: Prikaz sestave po plasteh strehe s pripadajočimi vrednostmi toplotne prevodnosti, gostote, specifične prevodnosti in difuzijske upornosti.....	41
Preglednica 20: Prikaz sestave po plasteh medetažne konstrukcije s pripadajočimi vrednostmi toplotne prevodnosti, gostote, specifične prevodnosti in difuzijske upornosti.	42
Preglednica 21: Prikaz sestave po plasteh notranje nosilne stene s pripadajočimi vrednostmi toplotne prevodnosti, gostote, specifične prevodnosti in difuzijske upornosti.	43

Preglednica 22: Prikaz sestave po plasteh predelne stene s pripadajočimi vrednostmi toplotne prevodnosti, gostote, specifične prevodnosti in difuzijske upornosti.	44
Preglednica 23: Lastnosti okna Udobje 3 [36].	45
Preglednica 24: Prikaz sestave po plasteh armiranobetonske stene s pripadajočimi vrednostmi toplotne prevodnosti, gostote, specifične prevodnosti in difuzijske upornosti.....	46
Preglednica 25: Prikaz sestave po plasteh armiranobetonske strehe s pripadajočimi vrednostmi toplotne prevodnosti, gostote, specifične prevodnosti in difuzijske upornosti.....	47
Preglednica 26: Rezultati 1D analize toplotna prehodnosti konstrukcijskih sklopov in primerjava teže dejanskega konstrukcijskega sklopa s predpostavljeno težo.	48
Preglednica 27: Prikaz difuzije vodne pare skozi zunanjo steno.....	49
Preglednica 28: Prikaz difuzije vodne pare skozi tla nad zunanjim zrakom.	50
Preglednica 29: Prikaz difuzije vodne pare strehe.....	51
Preglednica 30: Rezultati 2D analize konstrukcijskih sklopov stavbnega ovoja.	52
Preglednica 31: Primerjava rezultatov 1D in 2D analize konstrukcijskih sklopov stavbnega ovoja z mejnimi vrednostmi TSG4.	52
Preglednica 32: Podatki o lokaciji izbrane parcele.....	62
Preglednica 33: Klimatski pogoji na izbrani lokaciji obravnavane stavbe.....	62
Preglednica 34: Podatki o povprečni mesečni temperaturi, relativni vlažnosti ter podatki o številu ogrevanih oziroma ohlajevalnih dni glede na mesec v letu.	62
Preglednica 35: Podatki o globalnem sončnem sevanju [W/m^2] izbrane lokacije za navpične konstrukcije v odvisnosti od orientacije stavbe in meseca v letu.	63
Preglednica 36: Podatki o globalnem sončnem sevanju [W/m^2] izbrane lokacije za vodoravne konstrukcije v odvisnosti od orientacije stavbe in meseca v letu.	64
Preglednica 37: Splošne lastnosti bivalne cone 1.....	65
Preglednica 38: Sestava ovoja cone BC1.	65
Preglednica 39: Splošne lastnosti bivalne cone 2.....	66
Preglednica 40: Sestava ovoja cone BC2.	66
Preglednica 41: Splošne lastnosti nebivalne cone.....	67
Preglednica 42: Sestava ovoja cone NC.	67
Preglednica 43: Temperature delovanja toplotne črpalke [42].	68
Preglednica 44: Podatki o oblikovnih lastnostih celotne stavbe.	69
Preglednica 45: Parametri oziroma kazalniki učinkovite rabe energije.	70
Preglednica 46: Izračunane transmisijske in prezračevalne izgube ter izračunani notranji dobitki in dobitki sončnega sevanja.....	70

KAZALO SLIK

Slika 1: Seizmološka karta Evrope [12].....	5
Slika 2: Gradnja modularne zgradbe na Norveškem [13]	6
Slika 3: Prikaz sestave KLH plošče [14] (levo) in lepljenega lameliranega nosilca (desno) [15].	7
Slika 4: Ponazoritev delitve konstrukcijskih elementov modula.	8
Slika 5: Konceptualna zasnova modularne stavbe.	9
Slika 6: Postopek izdelave lepljenega lameliranega lesa. [23].....	13
Slika 7: Prikaz sestave križno lepljenega lesa. [24]	14
Slika 8: Postopek izdelave križno lepljenega lesa [25].	14
Slika 9: Prikaz razporeditve obtežbe plošče na linijske nosilce okvirne konstrukcije.	20
Slika 10: Prikaz členkastega spoja med KLH ploščami [32].	21
Slika 11: Računski model 1. modula.	27
Slika 12: Računski model 2. modula.	29
Slika 13: Računski model 3. modula.	31
Slika 14: Vrednosti maksimalne nefaktorirane ploskovne obtežbe glede na razpon za različne debeline KLH plošč [34].....	36
Slika 15: Sestava konstrukcijskega sklopa zunanje stene.....	38
Slika 16: Sestava konstrukcijskega sklopa tal nad zunanjim zrakom.....	40
Slika 17: Sestava konstrukcijskega sklopa strehe.	41
Slika 18: Sestava konstrukcijskega sklopa medetažne konstrukcije.....	42
Slika 19: Sestava konstrukcijskega sklopa notranje nosilne stene.	43
Slika 20: Sestava konstrukcijskega sklopa predelne stene.....	44
Slika 21: Okenski profil dvižno pomičnega okna (levo) in klasičnega okna (desno) [37].	45
Slika 22: Sestava konstrukcijskega sklopa armiranobetonske stene.	46
Slika 23: Sestava konstrukcijskega sklopa armiranobetonske strehe.....	47
Slika 24: Prikaz računskega modela 2D analize konstrukcijskega sklopa zunanje stene.	53
Slika 25: Prikaz temperaturne razporeditve skozi prerez konstrukcijskega sklopa zunanje stene ter robnih pogojev.	53
Slika 26: Prikaz križanj, ki se pojavljajo v stavbnem ovoju.....	54
Slika 27: Križanje v ravnini med zunanjo steno in odprtino.....	55
Slika 28: Prikaz razporeda temperature preko prereza križanja v ravnini med zunanjo steno in odprtino ter robnih pogojev križanja. V preglednicah z robnimi pogoji λ predstavlja toplotno prevodnost zračne plasti, T pa projektno temperaturo.....	55
Slika 29: T križanje med zunanjo steno, tlemi nad zunanjim zrakom in AB temeljem.	56

Slika 30: Prikaz razporeda temperature preko prereza T križanja med zunanjo steno, tlemi nad zunanjim zrakom in AB temeljem ter robnih pogojev križanja. V preglednicah z robnimi pogoji λ predstavlja toplotno prevodnost zračne plasti, T pa projektno temperaturo.	57
Slika 31: L križanje med dvema zunanjima stenama.....	57
Slika 32: Prikaz razporeda temperature preko prereza L križanja med dvema zunanjima stenama ter robnih pogojev križanja. V preglednici z robnimi pogoji λ predstavlja toplotno prevodnost zračne plasti, T pa projektno temperaturo.....	58
Slika 33: L križanje med zunanjo steno in streho.....	59
Slika 34: Prikaz razporeda temperature preko prereza L križanja med zunanjo steno in strešno konstrukcijo ter robnih pogojev križanja. V preglednicah z robnimi pogoji λ predstavlja toplotno prevodnost zračne plasti, T pa projektno temperaturo.....	60
Slika 35: Prikaz parcele v realnem okolju na kateri želimo postaviti naš objekt [40].	61
Slika 36: Prikaz delitve objekta na cone.	64
Slika 37: Energetska izkaznica. Stran 1/2.	72
Slika 38: Energetska izkaznica. Stran 2/2.	73

1 UVOD

Gradbeni sektor za svoje nemoteno delovanje trenutno porabi 40 odstotkov vse primarne energije, 50 odstotkov vseh pridobljenih materialov in pri tem proizvede 30 odstotkov ogljikovih emisij v Evropi [1]. Iz poročila Združenih Narodov o predvideni rasti svetovne populacije je razvidno, da se bo od danes pa do leta 2046 število prebivalcev našega planeta povzpelo preko devetih milijard [2]. To pomeni, da bo potrebno v dobrih tridesetih letih zagotoviti nove bivalne prostore za okoli 1,58 milijarde ljudi.

Preglednica 1: Prikaz trenutnega števila prebivalcev in ocenjenega števila prebivalcev čez 30 let, prirastek števila prebivalcev v 30 letih, povprečno število članov v gospodinjstvu in potrebno število novih bivalnih enot glede na regijo. [2], [3], [4], [5]

	2016*	2046*	Prirastek*	Povprečno število članov v gospodinjstvu	Število novih bivalnih enot*
Evropa	738599	681013	-57586	2,30	0
Severna Amerika	360446	411486	51040	2,59	19707
Južna Amerika in Karibi	640876	744678	103802	3,67	28284
Azija in Pacifik	4213085	4659717	446632	3,30	135343
Afrika in bližnji vzhod	1477201	2517136	1039935	5,13	202716
Skupaj	7430207	9014030	1583823		386050

* v tisočih

Iz Preglednice 1 je razvidno, da se bo v naslednjih tridesetih letih število prebivalcev povečalo v vseh regijah, do zmanjšanja bo prišlo samo v Evropi. Kljub vsemu bo treba na svetovni ravni zagotoviti 386 milijonov bivalnih enot. To je 12,9 milijonov bivalnih enot na leto. Glede na zgornje številke lahko hitro ugotovimo, da bi dosedanji način gradnje zelo obremenil okolje, v katerem živimo, kar bi posledično vplivalo tudi na zdravje človeka. Pospešena klasična gradnja bi privedla do povečane porabe energije in s tem tudi do povečanega onesnaževanja, kar lahko razberemo iz Preglednice 2.

Preglednica 2: Poraba energije in vpliv na okolje pri pridobivanju in proizvodnji različnih materialov. [6]

Material	Energija [GJ/m ³]	Vpliv na okolje		
		Potencial globalnega segrevanja ¹ [kg/m ³]	Potencial zakisljevanja ² [kg/m ³]	Potencial nastanka fotokemičnega ozona [kg/m ³]
Aluminij	497,00	29975,40	162,00	321,30
Opeka	5,40	342,00	3,60	30,60
Keramika	16,00	1142,00	8,00	102,00
Beton	4,80	156,00	2,40	0,72
Steklo	19,20	1365,60	96,00	4,80
Omet	4,50	238,50	2,70	1,80
Strešniki	2,20	288,20	2,20	2,20
PVC	116,00	1932,00	17,90	0,69
Jeklo	200,00	17840,00	80,00	6720,00
Les	1,65	63,80	0,55	0,55

¹ ekvivalent CO₂ v kg² ekvivalent SO₂ v kg

Če primerjamo vrednosti za les iz Preglednice 2 z vrednostmi za ostale materiale, ki se najpogosteje uporabljajo v gradbeništvo, vidimo, da je vrednost porabe energije pri pridobivanju kubičnega metra lesa za 3,27-krat manjša od porabe energije pri izdelavi kubičnega metra opeke, 2,91-krat manjša od porabe energije pridobivanja kubičnega metra betona in celo 121,21-krat manjša od potrebne energije za izdelavo kubičnega metra jekla. Manjša poraba energije pa pomeni tudi manjše onesnaževanje. Iz Preglednice 2 lahko vidimo, da je uporaba lesa okolju najbolj prijazna, saj bistveno prispeva k zniževanju izpustov CO₂-ja in povečuje njegovo skladiščenje. Je obnovljiv vir energije. Leseni izdelki so trajni, lahko jih recikliramo ali večkrat uporabimo. Recikliranje lesa je enostaven proces. Odpadni les s postopki razreza in drobljenja na različne frakcije lesnih iveri, predelamo v osnovno surovino za proizvodnjo raznih lesenih konstrukcijskih elementov. Do problema pri recikliranju lesa pa pride, ko želimo na primer podaljšati element nosilne konstrukcije. V takem primeru, ko recikliramo elemente nosilne konstrukcije brez strojne predelave, je jeklo celo lažje ponovno uporabiti. Krajšanje jeklenih elementov je enako enostavno kot pri lesu, je pa podaljševanje jeklene konstrukcije precej enostavnejše kot lesene, saj jo s postopki varjenja in ojačevanja enostavno povežemo v celosten element, medtem ko zaradi posebnosti povezovanja tega pri lesu ne moremo preprosto storiti. Zaradi majhne teže in velike nosilnosti, odličnih trdnostnih ter izolacijskih lastnosti, je les zelo uporaben kot gradbeni material [7]. Zaradi njegove

enostavne obdelave imamo možnost avtomatizirati proizvodnjo linijo, zato lahko rečemo, da je les idealen material za uporabo v modularni gradnji. Trenutno se pri modularni gradnji najbolj uporabljajo linijski in ploskovni elementi. Pri taki gradnji je potrebno po sami sestavi modulov opraviti še vrsto obrtniških del, da se lahko stavba preda v uporabo. Več dela na gradbišču pa lahko povzroči več napak pri izvedbi, podaljševanje rokov izgradnje in ostale nevšečnosti, ki so v veliki meri odvisne od človeškega faktorja. Rešitev za te težave lahko najdemo v proizvodnji lesenih "kontejnerskih" modulov. Izdelava teh bi omogočila, da bi bila večina obrtniških del opravljena v kontroliranih pogojih. S tem bi se zmanjšala možnost napak, oz. bi se povečala učinkovitost njihovega odkrivanja, saj je kontrola posameznega modula enostavnejša od kontrole celotnega objekta. Po dokončanju vseh modulov, ki so potrebni za izgradnjo objekta, bi se ti moduli prepeljali na gradbišče, kjer bi se jih s posebnimi dvigali zložilo v objekt.

V nalogi smo predstavili eno od možnih alternativ klasičnemu načinu gradnje, in sicer gradnjo večstanovanjske stavbe s prefabriciranimi lesenimi moduli. Tak način gradnje nam omogoča, da porabo materialov in delovni proces optimiziramo tako, da bomo imeli pri sami izvedbi minimalno količino odpada materiala in večjo ter lažjo kontrolo nad delovnim procesom. Samo načrtovanje take gradnje na potresnih območjih je zelo zahtevno. V nalogi smo naredili osnovni statični izračun za gravitacijske obtežbe, s katerimi smo določili okvirne dimenzije nosilne konstrukcije. Dobljene dimenzije so nam služile kot osnova za načrtovanje konstrukcijskih sklopov (v nadaljevanju KS), na katere smo se v nalogi tudi najbolj osredotočil.

V diplomski nalogi smo zasnovali večplastne KS, ki smo jih analizirali z računalniškimi programi URSA 4 [8] (1D analiza KS in izračun energetske bilance arhetipske stavbe) in THERM [9] (2D analiza KS).

Namen diplomske naloge je predstaviti nov koncept gradnje večstanovanjskih stavb v Sloveniji in izvesti analizo gradbene fizike KS in stavbe kot celote.


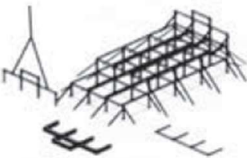
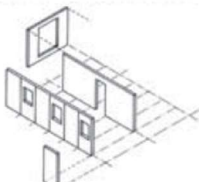
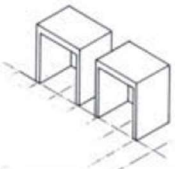
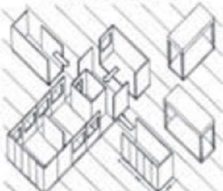
Zastavljeni cilji naloge so:

- Zasnovati module za gradnjo objekta.
- Izvesti osnovni statični izračun stavbe.
- Določitev KS.
- Izvesti analizo KS in križanj med njimi.
- Izračunati energetska bilanco stavbe glede na zahteve slovenskega Pravilnika o učinkoviti rabi energije v stavbah (v nadaljevanju PURES2010) [10].


2 PREGLED STANJA IN REFERENCE

Gradnja z lesenimi prefabriciranimi moduli je razmeroma nov način gradnje, ki počasi prodira na zahteven trg gradbeništva. Iz Preglednice 3 lahko razberemo, da tak način gradnje spada med prostorske načine gradnje.

Preglednica 3: Pregled načinov gradnje in konstrukcijskih sistemov glede na stopnjo prefabrikacije. [11]

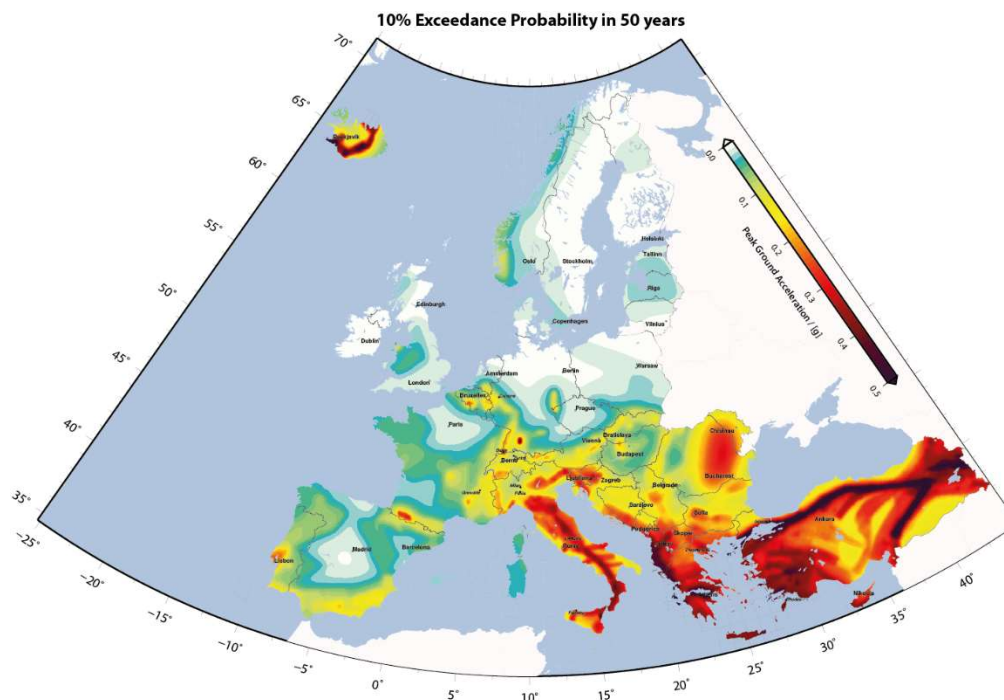
NAČIN GRADNJE	KONSTRUKCIJA	STOPNJA PREFABRIKACIJE
Elementarni - iz posameznih elementov 	Skeletna	Izdelava elementov v delavnicah ali tovarnah, sestavljanje na gradbišču.
	Okvirna	
	Masivna (kladna, leseni zidaki,...)	
Ploskovno etažno ali večetažno povezje 	Skeletna	Etažna ali večetažna povezja so sestavljena v tovarni.
Ploskovni panelni (velikostenski, malostenski) 	Okvirna	Stenski in stropni elementi so v celoti izdelani v tovarni.
	Masivna	
Prostorski 	Okvirna	Celice v celoti izdelane v tovarni in se sestavijo na terenu.
	Masivna	
Kombiniran 		

majhna



velika

Sam princip gradnje je zelo podoben gradnji večstanovanjskih stavb iz ladijskih kontejnerjev. Problem pa nastane pri že prej omenjenem zagotavljanju potresne varnosti. Prav zato je tak način gradnje v Evropi najbolj razširjen na Skandinavskem polotoku, saj tam praktično ni potresne ogroženosti, kar je lepo razvidno iz Slike 1.



Slika 1: Seizmološka karta Evrope [12]

Prva zgradba zgrajena na tak način je bila dokončana leta 2013 v Trondheimu na Norveškem. Kompleks štirih trinadstropnih stavb je zgrajen iz 102 modulov, kar zadostuje za 48 stanovanj s skupno površino 3403,5 m² [13]. Sami moduli so bili izdelani v proizvodni hali, kjer so module sestavili in tudi notranje opremili. Moduli, ki so bili pripeljani na gradbišče, so vsebovali že vso električno, vodovodno in kanalizacijsko instalacijo, vgrajene so bile vse finalne obloge, prav tako pa so že bili opremljeni s kuhinjskimi elementi in kopalnico. Slika 2 prikazuje gradnjo modularne večstanovanjske stavbe.



Slika 2: Gradnja modularne zgradbe na Norveškem [13]

Od takrat pa do danes je bilo na Norveškem in Švedskem zgrajenih še pet podobnih večstanovanjskih stavb, dve pa sta še v gradnji [13].

V Preglednici 4 so našteje prednosti in slabosti gradnje s prostorskimi moduli.

Preglednica 4: Prednosti in slabosti gradnje s prostorskimi moduli.

Prednosti	Slabosti
<ul style="list-style-type: none"> • Gradnja v proizvodnem obratu (visoka stopnja avtomatizacije). • Zelo visoka stopnja prefabrikacije omogoča hitro predajo stavbe v uporabo. • Lahka nosilna konstrukcija. • Možnost premestitve objekta na drugo lokacijo. • Velika svoboda pri načrtovanju stavb. 	<ul style="list-style-type: none"> • V večini primerov potreben izredni prevoz. • Za montažo potrebna večja dvigala. • Oteženo zagotavljanje potresne varnosti več etažnih stavb. • Zaradi visoke stopnje prefabrikacije, je sanacija morebitnih poškodb, zahtevnejša.

3 ZASNOVA MODULOV IN TLORIS OBRAVNAVANE STAVBE

Osnovni gradniki modulov so lepljeni lamelirani nosilci (LLN) in križno lepljene plošče (KLH plošče), katerih primera lahko vidimo na Sliki 3. Za uporabo KLH plošč in LLN smo se odločili, ker so lepljeni elementi oblikovno in dimenzijsko bolj stabilni, in ker nam omogočajo premostitev večjih razponov kot pa masivni les.

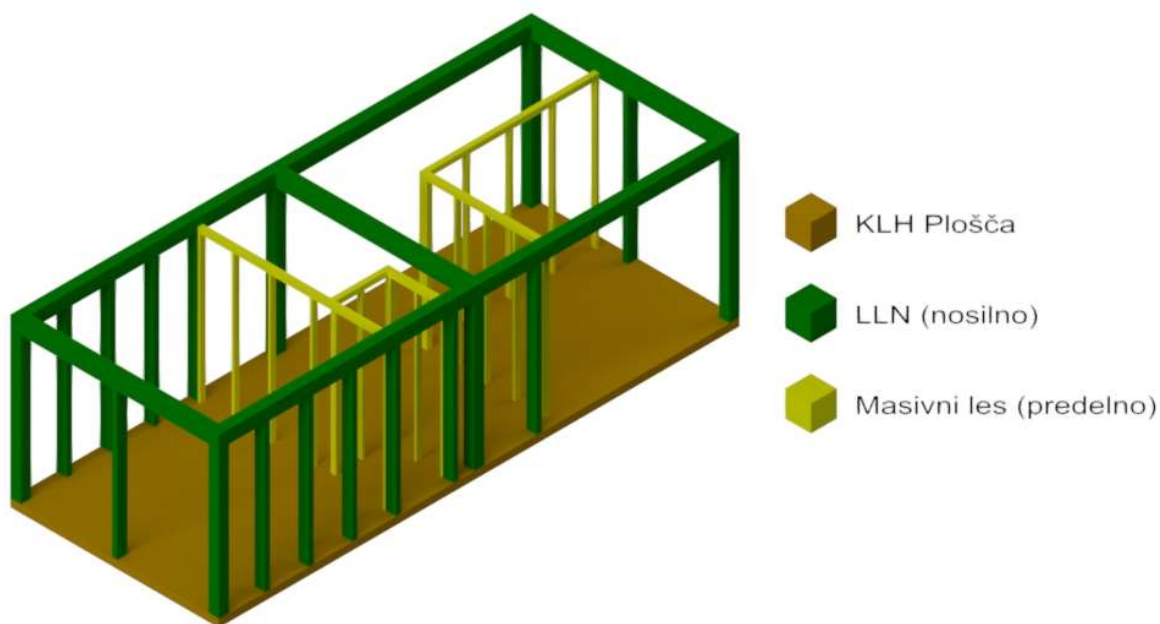


Slika 3: Prikaz sestave KLH plošče [14] (levo) in lepjenega lameliranega nosilca (desno) [15].

Izdelava modulov poteka v proizvodnem obratu. Tu se osnovni gradniki obdelajo z robotiziranimi stroji (CNC) v elemente nosilne konstrukcije in ostale konstrukcijske elemente po vnaprej določenih postopkih. Posamezni elementi se nato sestavijo v celoto in pripravijo na začasno skladiščenje ter transport na gradbišče.

V našem primeru smo se odločili, da zaključni sloji ne bodo izvedeni v tovarni, ampak se jih bo izvedlo naknadno na gradbišču, ko bodo moduli že sestavljeni v celoto. Tako izvedbo smo izbrali predvsem iz dveh razlogov. Prvi je ta, da lahko med samim transportom in sestavljanjem modulov pride do poškodb, ki bi jih bilo v primeru predhodnega popolnega dokončanja modulov težje sanirati. Boljša in kvalitetnejša izvedba stikov med moduli, ko so le ti že del stavbe, pa je naš drugi razlog.

Sam modul smo zasnovali tako, da smo za spodnjo horizontalno nosilno konstrukcijo izbrali KLH ploščo, za vertikalno nosilno konstrukcijo in poveznike sten pa smo izbrali LLN. Sestavo nosilnih gradnikov in elementov, ki služijo kot pregradni, lahko vidimo na Sliki 4. KLH plošča nam ob ustrezni povezavi v njihovi ravnini omogočajo, da se morebitne potresne in ostale horizontalne obremenitve preko njih prenesejo na betonsko jedro, prav tako pa ima njena masivnost pozitivne učinke na izboljšanje zvočne izolativnosti KS [16]. Z uporabo masivne plošče dosežemo tudi manjšo debelino KS. Endoskeletno izvedbo vertikalnih sten smo izbrali predvsem zato, da zmanjšamo težo nosilne konstrukcije, saj je teža modulov pri sestavljanju stavbe zelo pomembna. Manjša teža pomeni predvsem manjši strošek prevoza in montaže.



Slika 4: Ponazoritev delitve konstrukcijskih elementov modula.

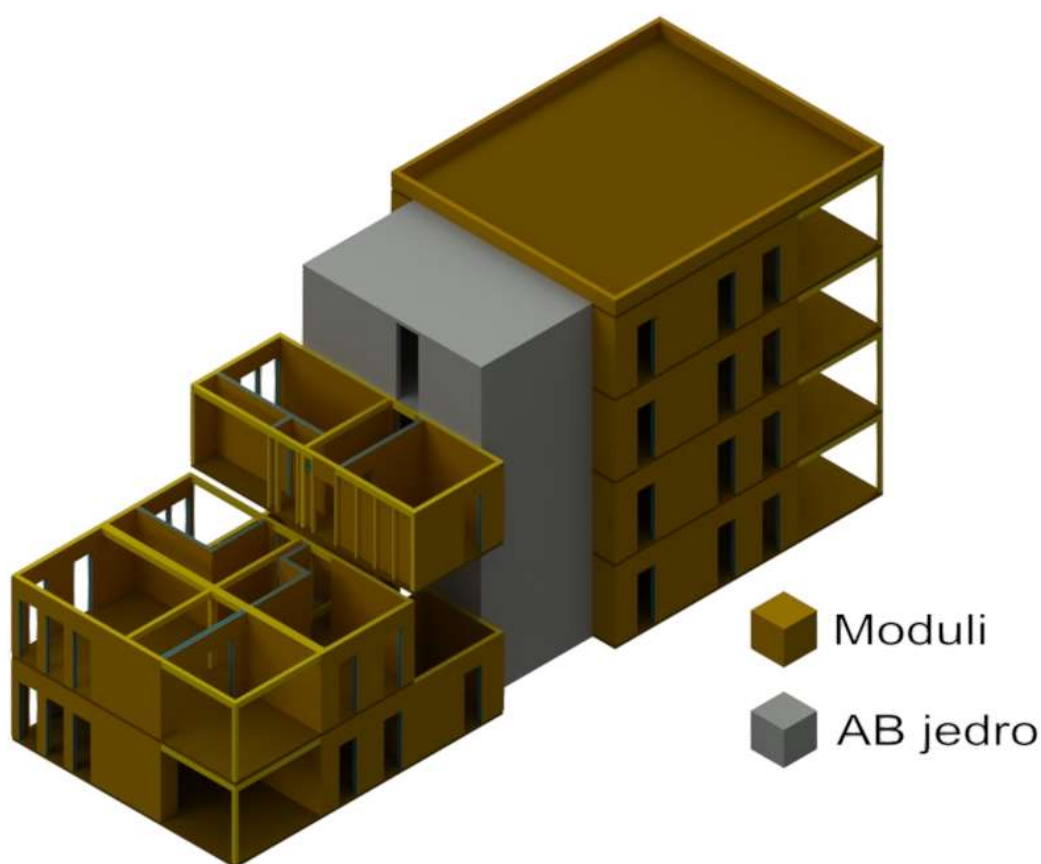
Vsi moduli so dimenzijsko enaki. Zunanje dimenzije nosilne konstrukcije modula so 4,0m x 10,0m x 3,2m. Te dimenzije nam omogočajo, da se moduli lahko transportirajo z izrednim transportom. Po 17. členu Pravilnika o pogojih in načinu opravljanja izrednih prevozov po javnih cestah ter o tranzitnih smereh za izredne prevoze v Republiki Sloveniji [17], je za transport takega modula po avtocesti in hitri cesti z enosmernim prometom ter vsaj dvema voznima pasovoma obvezno eno zahtevno spremstvo, za transport po ostalih cestah pa je potrebno poleg zahtevnega spremstva dodati še eno enostavno spremstvo za izredne prevoze. [17] Dodajanje plasti KS na nosilno konstrukcijo ne spremeni načina transporta modulov, saj je zgornja meja širine tovora izbranih načinov izrednega prevoza 4,5 m. Moduli se na gradbišče pripeljejo v pravilnem vrstnem redu, tako da se jih takoj umesti na njegovo mesto.

Glede na zasnovo našega objekta (Slika 5) je pred montažo modulov potrebno narediti predpripravo. Treba je izvesti armiranobetonske (AB) temelje in jedro, v katerem potekajo vertikalne komunikacije. Vse ostale inštalacijske vode se lahko izvede naknadno, saj predvidimo, da bomo izvedli tako spodnjo talno ploščo kot tla nad terenom.

Kot smo že omenili, pritlične module postavimo na AB temelje. Med leseno ploščo in temelj moramo umestiti ločilno plast, ki onemogoči prehod vlage z AB na les. To izvedemo z večplastnim varjenjem bitumenskih trakov na AB temelj. Ko so spodnji moduli na svojih mestih,

jih spojimo med seboj ter privijamo na temelj in AB jedro. Zlaganje modulov poteka enako za vsa nadstropja kot je ponazorjeno na Sliki 5. Module med seboj povežemo z direktnim vijachenjem ter s kombinacijo kovinskih veznih plošč in vijčnih veznih sredstev. Na koncu zgornji modul pokrijemo še z vnaprej pripravljeno strešno konstrukcijo.

Objekt na Sliki 5 je sestavljen iz 24 modulov. V eni etaži imamo 6 modulov, po tri na vsaki strani betonskega jedra. Bruto etažna površina ene bivalne enote znaša 120 m². Skupna višina stavbe pa 13,55 m. Višina bivalnih enot znaša 12,95 m, vendar pa je potrebno prišteti še višino atike 0,60 m, da dobimo končno višino stavbe. Poleg dveh lesenih bivalnih objektov, imamo še AB del stavbe, ki je namenjen vertikalnemu povezovanju bivalnih enot.



Slika 5: Konceptualna zasnova modularne stavbe.

3.1 Les kot gradbeni material

Les se uporablja kot gradbeni material že več tisočletji. Skupaj s kamnom sta bila ena prvih gradnikov stavb [18]. Les je naravni material, proizvod živih organizmov, zato ga je potrebno zaščititi pred zunanjimi vplivi in škodljivci, kot so paraziti in bakterije, ker ti povzročajo njegov propad in poslabšanje njegovih trdnostnih karakteristik. Kot primarni material nosilnih konstrukcij je bil v bližnji preteklosti zaradi razširjene uporabe armiranega betona nekoliko pozabljen. Z novimi načini obdelave in konstrukcijo nosilnih elementov so leseni elementi

postali "konkurenčnejši" jeklenim in betonskim. To so dosegli z izdelavo lepljenih nosilcev in križno lepljenih plošč, saj so bili pred uveljavitvijo teh leseni elementi dimenzijsko zelo omejeni. Poleg tega se les od drugih materialov razlikuje po tem, da je to nehomogen in anizotropen material. Kot smo že omenili, je les naravni material, kar je njegova velika prednost, saj je njegova obdelava razmeroma enostavna, zaradi njegove celične sestave je v primerjavi z drugimi gradbenimi materiali dober toplotni izolator, ima dobro razmerje med nosilnostjo in težo, je prijeten na dotik in ima ugoden psihološki vpliv na počutje uporabnikov, ob primerni izvedbi detajlov lahko rečemo, da je trajen in ima relativno dobro požarno odpornost [19].

3.1.1 Fizikalne lastnosti lesa

To so lastnosti, ki so odvisne od naravnih dejavnikov kot so, toplota, svetloba ter pretok lesnega soka in vode. Te lastnosti so:

- Poroznost: to je razmerje med celotnim volumnom por in volumnom suhega lesa in jo izražamo v odstotkih. Pri drevesnih vrstah, ki uspevajo pri nas, znaša odstotek poroznosti od 55 do 75 odstotkov [19], [20].
- Vlažnost: je razmerje med maso vode v lesu in maso popolnoma suhega lesa. Izražamo jo v odstotkih. Sama vlažnost je odvisna od količine vode v porah in močno vpliva na mehanske lastnosti lesa. Glede na vlažnost poznamo: sveži les (več kot 30 odstotkov vlage), polsuhi les (največ 30 odstotkov vlage), zračno suh les (največ 20 odstotkov vlage) in suhi les (največ 17 odstotkov vlage) [20].
- Sprememba prostornine: s sušenjem lesa se spreminja tudi njegova prostornina. Ta pojav nastane tudi pri vpijanju vlage in pri spremembi temperature. Sprememba prostornine zaradi spreminjanja vlažnosti znaša 7 do 21 odstotkov [19], [20].
- Gostota: je masa lesa na enoto volumna s porami in votlimi deli. Odvisna je od botanične vrste lesa in z njo povezane poroznosti. Vrednosti za različne vrste lesa so podane v Preglednici 5.

Preglednica 5: Gostota lesa v odvisnosti od botanične vrste lesa [20].

Vrsta lesa	Gostota v kg/m ³
Bor	490
Jelka	410
Smreka	430

»se nadaljuje ...«

»Nadaljevanje Preglednice 5«

Hrast	650
Bukev	690

- Požarna odpornost: je definirana kot čas od začetka segrevanja do trenutka, ko gradbeni element ne more več izpolnjevati svojih osnovnih nalog nosilnosti (R), izolativnosti (I) in celovitosti (E). Požarno odpornost povečujemo z nanosom zaščitnih premazov, oblaganjem in s povečevanjem dimenzij prečnega prereza. Preglednica 6 prikazuje hitrost oglenjenja konstrukcije, ko je ta izpostavljena standardnemu požaru za različne vrste lesa in lesene konstrukcijske elemente.

Preglednica 6: Hitrost oglenjenja v primeru standardne požarne izpostavljenosti [21].

	β_0 mm/min	β_n mm/min
Iglavci in bukev		
Lepljen lameliran les s karakteristično gostoto $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Masivni les s karakteristično gostoto $\geq 290 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,8
Listavci		
Masivni ali lepljen lameliran les s karakteristično gostoto 290 kg/m^3	0,65	0,7
Masivni ali lepljen lameliran les s karakteristično gostoto $\geq 450 \text{ kg/m}^3$	0,5	0,55
Furnirni slojnati les (LVL)		
s karakteristično gostoto $\geq 480 \text{ kg/m}^3$	0,65	0,7
Paneli		
Leseni paneli	0,9 ^a	-
Vezane plošče	1,0 ^a	-
Paneli na leseni osnovi razen vezane plošče	0,9 ^a	-

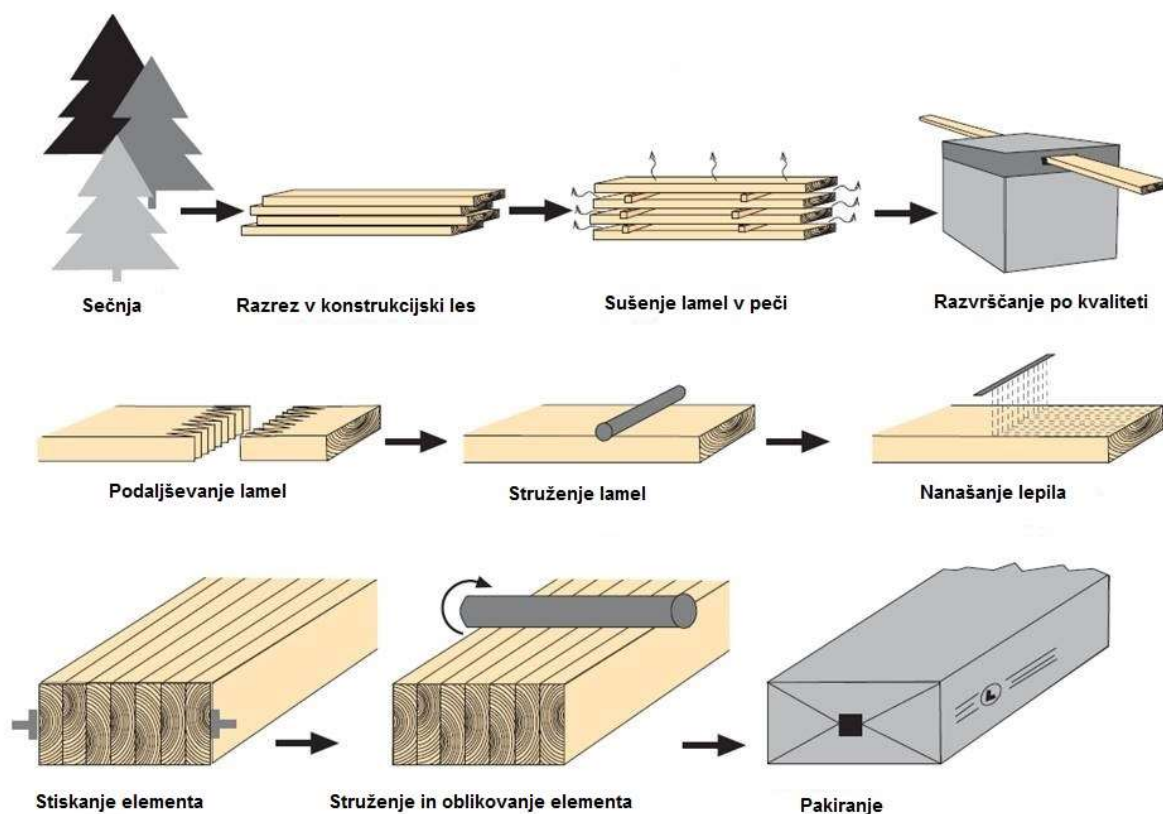
^a Vrednosti so določene za karakteristično gostoto 450 kg/m^3 in debelino panelov 20 mm.

3.1.2 Mehanske lastnosti lesa

- Trdnost: je sposobnost prenašanja napetosti in je praviloma definirana kot maksimalna napetost, ki jo prenese leseni element preden se poruši. Je močno odvisna od vrste in smeri obremenitve. Nanjo vpliva tudi vlažnost, postopek obdelave, način shranjevanja, poroznost, količina in vrsta napak, botanična vrsta lesa, struktura lesa in poroznost [19].
- Deformabilnost: za delo v projektantski praksi jo opisujemo z modulom elastičnosti in je pomembna pri analizi ter dimenzioniranju lesenih konstrukcij. Zaradi povezave z modulom elastičnosti je tudi deformabilnost odvisna od vlažnosti lesa, napak v lesni strukturi, gostote, poroznosti, smeri vlaken ter od reoloških pojavov, zaradi katerih se s starostjo deformabilnost lesa povečuje in strižnih modulov. [19].
- Lezenje: je napetostno odvisno povečevanje deformacij oziroma pomikov zaradi dolgotrajnega delovanja obtežbe. Odvisno je od vlažnosti. Zelo je občutljivo na ciklično spreminjanje vlažnosti lesa [19].

3.2 Lepljen lameliran les

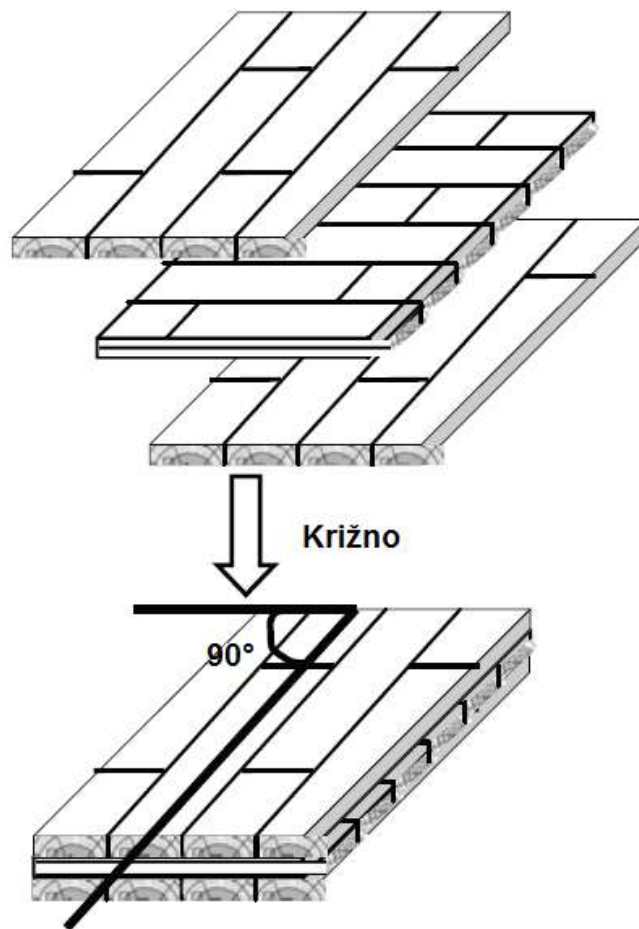
Lepljen lameliran les je sodobno kompozitno gradivo, ki ga sestavljajo tanke lamele, pri katerih je potek vlaken v glavnem vzporeden. Lamele so ploskovno zlepljene z lepili za konstrukcijsko uporabo, ki imajo visoko trdnost in trajnost. So odporne proti vodi, povišani vlažnosti in temperaturnim ter biološkim dejavnikom. Tako sestavljeno gradivo ima bolj enakomerne in boljše mehanske lastnosti kot masivni les. Leseni lepljeni lamelirani konstrukcijski elementi so industrijski gradbeni elementi, za katere velja velika stopnja prefabrikacije. So med najlažjimi konstrukcijskimi materiali, poleg tega pa se lahko zaradi svojih dobrih elastomehanskih lastnosti uporabljajo kot samostojni nosilci ali za ravninske in prostorske konstrukcije velikih razponov [22]. Potek izdelave lepljenega lameliranega lesa prikazuje Slika 7.



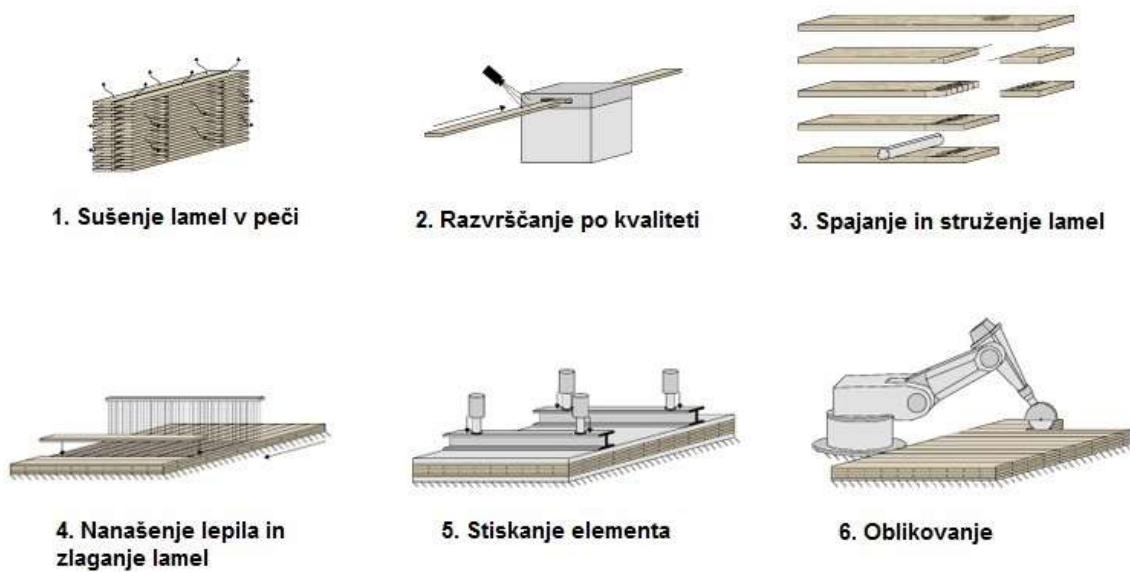
Slika 6: Postopek izdelave lepljenega lameliranega lesa. [23]

3.3 Križno lepljene lesene plošče

Križno lepljen les je bil razvit v centralni Evropi okoli leta 1996. Sestavljen je iz medsebojno križno postavljenih lepljenih plasti, kot prikazuje Slika 8. Križanje plasti omogoča prenos obremenitev v dveh smereh, povečuje strižno nosilnost v ravnini elementa, prav tako pa se zaradi križne postavitve lamel zmanjša pojav krčenja in raztezanja v ravnini elementa zaradi spreminjanja vlažnosti. Tako kot pri lepljenemu lameliranemu lesu tudi križno lepljene plošče omogočajo visoko stopnjo prefabrikacije. Najpogosteje so elementi sestavljeni iz tri, pet, sedem in več plasti. Lamele, ki sestavljajo elemente, so široke med 80 in 240 mm, visoke pa so med 10 in 40 mm. Maksimalne dimenzije križno lepljenih lesenih elementov dosegajo v dolžino med 16 do 20 m, v širino do 3 m, njihova debelina pa je zaradi tehničnih razlogov omejena na približno 500 mm [24]. Proizvodni proces križno lepljenih lesenih elementov prikazuje Slika 9.



Slika 7: Prikaz sestave križno lepljenega lesa. [24]



Slika 8: Postopek izdelave križno lepljenega lesa [25].

3.4 Uporabljeni materiali

Lastnosti materiala lepljenega lameliranega lesa (stebrov in nosilcev):

Kvaliteta: GL32h

- Karakteristična upogibna trdnost $f_{m,k} = 3,2 \text{ kN/cm}^2$.
- Karakteristična natezna trdnost v smeri vlaken $f_{t,k,0} = 2,25 \text{ kN/cm}^2$
- Karakteristična natezna trdnost pravokotno na vlakna $f_{t,k,90} = 0,05 \text{ kN/cm}^2$.
- Karakteristična tlačna trdnost v smeri vlaken $f_{c,k,0} = 2,9 \text{ kN/cm}^2$.
- Karakteristična tlačna trdnost pravokotno na vlakna $f_{c,k,90} = 0,33 \text{ kN/cm}^2$.
- Karakteristična strižna trdnost $f_{v,k} = 0,38 \text{ kN/cm}^2$.
- Povprečna vrednost modula elastičnosti v smeri vlaken $E_{0,mean} = 1370 \text{ kN/cm}^2$.
- Povprečna vrednost modula elastičnosti pravokotno na vlakna $E_{90,mean} = 46 \text{ kN/cm}^2$.
- Karakteristična vrednost modula elastičnosti pri pet odstotni fraktili v smeri vlaken $E_{0,05} = 1110 \text{ kN/cm}^2$.
- Povprečna vrednost strižnega modula $G_{mean} = 85 \text{ kN/cm}^2$.
- Gostota $\rho_{g,k} = 430 \text{ kN/cm}^2$.

4 UPORABLJENI PREDPISI

4.1 SIST EN 1990:2004 – Evrokod – Osnove projektiranja konstrukcij [26]

»Evrokod o osnovah projektiranja konstrukcij vsebuje načela in zahteve o zanesljivosti konstrukcij, ki vključuje varnost, uporabnost in trajnost konstrukcij. Uporablja se neposredno z evrokodi, ki določajo vplive na konstrukcije ter z evrokodi, ki obravnavajo projektiranje konstrukcij iz različnih gradiv, geotehnično projektiranje in potresnovarno projektiranje [27].«

4.2 SIST EN 1991-1-1:2004 – Evrokod 1 – Vplivi na konstrukcije – 1-1. del: Splošni vplivi – Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb [28]

»Ta standard je sestavljen iz šestih poglavij in dveh informativnih dodatkov. V prvem poglavju so navedena področja uporabe, zveze z drugimi standardi, pomen načel in pravil za uporabo, izrazi, definicije ter simboli. Drugo poglavje govori o razvrstitvi vplivov, ločeno za lastno težo in koristne obtežbe. Tretje poglavje določa projektna stanja na splošno, nato ločeno za lastno težo in koristne obtežbe. Četrto poglavje vsebuje splošne določbe glede upoštevanja prostorninske teže gradbenih in uskladiščenih materialov. Peto poglavje podrobno obravnava lastno težo gradbenih objektov. Določa predstavitev vplivov, karakteristične vrednosti lastne teže, splošne napotke za vse vrste objektov ter posebne napotke za stavbe in mostove. Šesto poglavje obravnava koristne obtežbe v stavbah. Določa njihovo predstavitev, razpored, posebnosti za tla, nosilce in strehe ter ločeno za stebre in stene. Navaja karakteristične vrednosti koristne obtežbe glede na različne namene uporabe stavb in delov stavb [27].«

4.3 SIST EN 1991-1-3:2004 – Evrokod 1 – Vplivi na konstrukcije – 1-3. del: Splošni vplivi – Obtežba snega [29]

»Standard ima šest poglavij, dva normativna in tri informativne dodatke. Prvo splošno poglavje navaja področje uporabe, zveze z drugimi standardi, predpostavke, pomen načel in pravil za uporabo, projektiranje, oprto na preskušanje, izraze in definicije ter simbole. Drugo poglavje govori o razvrstitvi vplivov snega. Tretje poglavje določa projektna stanja, najprej na splošno, nato ločeno za normalne in izjemne pogoje. Četrto poglavje določa obtežbo snega na tleh, njene karakteristične vrednosti, druge reprezentativne vrednosti in posebnosti pri obravnavi izjemne obtežbe snega na tleh. Peto poglavje določa obtežbo snega na strehah. Šesto poglavje obravnava lokalne vplive obtežbe snega ob ovirah na strehi, previse snega na kapu in sile na snegobrane ter druge ovire. Dodatki pa vsebujejo projektna stanja in razporeditve obtežbe za različne lokacije, oblikovne koeficiente pri izjemnem kopičenju snega, evropske

karte obtežbe snega, postopek za določitev obtežbe snega na tleh glede na povratno dobo in prostorninsko težo snega [27].«

4.4 SIST EN 1995-1-1:2005 – Evrokod 5 – Projektiranje lesenih konstrukcij – 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe [30]

»Evrokod 5 je namenjen projektiranju lesenih stavb in gradbenih inženirskih objektov. Razdeljen je na dva dela. Prvi del je splošni in obsega splošna pravila in pravila za stavbe ter projektiranje požarnovarnih konstrukcij. Drugi del pa obravnava mostove. Evrokod 5 se uporablja skupaj z Evrokodom 0 in Evrokodom 1. V primeru, da so lesene konstrukcije grajene na potresnih območjih, se povezuje še z Evrokodom 8 (Projektiranje potresnovarnih konstrukcij). Poleg tega se Evrokod 5 vsebinsko navezuje še na vrsto drugih standardov. To so standardi o lastnostih, kvaliteti, trajnosti in zaščiti materialov, zahtevah za uporabo, preizkušanju, določitvi karakterističnih vrednosti in podobnem. Osnovo za projektiranje lesenih konstrukcij predstavljajo standardi, ki določajo trdnostne razrede masivnega in lepljenega lameliranega lesa [27].«

4.5 Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah (PURES 2010), Ur. l. RS, št. 52/2010: 7840 [10]

»PURES 2010 določa tehnične zahteve, ki morajo biti izpolnjene za učinkovito rabo energije v stavbah na področju toplotne zaščite, ogrevanja, hlajenja, prezračevanja ali njihove kombinacije, priprave tople vode in razsvetljave v stavbah, zagotavljanja lastnih obnovljivih virov energije za delovanje sistemov v stavbi ter metodologijo za izračun energijskih lastnosti stavbe v skladu z Direktivo 31/2010/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 19. maja 2010 o energijski učinkovitosti stavb (UL L št. 153 z dne 18. 6. 2010, str. 13). [10]«

»Uporablja se pri gradnji novih stavb in rekonstrukciji stavbe oziroma njenega posameznega dela, kjer se posega v najmanj 25 odstotkov površine toplotnega ovoja, če je to tehnično izvedljivo.« [10]

PURES 2010 v svojem 5. členu uvaja obvezno uporabo Tehnične smernice smernica za graditev TSG-1-004 Učinkovita raba energije (v nadaljevanju TSG4). Ta določa gradbene ukrepe oziroma rešitve za doseganje zahtev iz tega pravilnika in določa metodologijo izračuna energijskih lastnosti stavbe [10].

Po 7. členu pravilnika PURES 2010 je energijska učinkovitost dosežena takrat, ko so izpolnjeni naslednji pogoji [10]:

- Koeficient specifičnih transmisijskih toplotnih izgub skozi površino toplotnega ovoja stavbe, določen z izrazom $H'_T \left[\frac{W}{m^2K} \right] = \frac{H_T}{A}$, ne presega:

$$H'_T \leq 0,28 + \frac{T_L}{300} + \frac{0,04}{f_0} + \frac{z}{4}, \quad (4-1)$$

kjer pomeni brezdimenzijsko razmerje med površino oken (gradbena odprtina) in površino toplotnega ovoja stavbe. Za kriterije velja:

- če je $f_0 < 0,2$, se upošteva, da je $f_0 = 0,2$,
 - če je $f_0 > 1,0$, se upošteva, da je $f_0 = 1,0$;
- dovoljena letna potrebna toplota za ogrevanje Q_{NH} stavbe, preračunana na enoto kondicionalne površine A_u oziroma prostornine V_e stavbe, ne presega:

- za stanovanjske stavbe: $\frac{Q_{NH}}{A_u} \leq 45 + 60f_0 - 4,4T_L$; (4-2)

- dovoljen letni potreben hlad za hlajenje Q_{NC} stavbe, preračunan na enoto hlajene površine stavbe A_u , ne presega:

- za stanovanjske stavbe: $\frac{Q_{NC}}{A_u} \leq 50 \frac{kWh}{m^2a}$; (4-3)

- letna primarna energija za delovanje sistemov v stavbi Q_p , preračunana na enoto ogrevane površine stavbe A_u , ne presega:

- za stanovanjske stavbe: $\frac{Q_p}{A_u} \leq 200 + 1,1(60f_0 - 4,4T_L) \left[\frac{kWh}{m^2a} \right]$; (4-4)

- ne sme biti presežena nobena od mejnih vrednosti, določenih v tabeli 1 točke 3.1.1 tehnične smernice. V diplomski nalogi del te tabele najdemo v Preglednici 8.

4.6 Tehnična smernica za graditev TSG-1-004 Učinkovita raba energije [31]

Tehnična smernica zajema predpise, izdane na podlagi zakona. Določa tehnične značilnosti objektov tako, da ti objekti izpolnjujejo eno, več ali vse bistvene zahteve [31].

Bistvene zahteve so:

- Mehanska odpornost in stabilnost.
- Varnost pred požarom.

- Higijenska in zdravstvena zaščita in zaščita okolice.
- Varnost pri uporabi.
- Zaščita pred hrupom.
- Varčevanje z energijo in ohranjanje toplote.

Za nas je, glede na temo, najbolj pomembna bistvena zahteva varčevanja z energijo in ohranjanja toplote. Ta nam določa toplotno prehodnost elementov zunanje površine stavbe in ločilnih elementov, ki ne smejo presegati vrednosti v Preglednici 8.

Preglednica 7: Mejne vrednosti toplotne prehodnosti za gradbene elemente v stavbi. [31]

	Gradbeni element, ki omejuje ogrevani prostor	U_{\max} [W/m ² K]
1	Zunanje stene in stene proti neogrevanim prostorom	0,28
2	Stene med stanovanji in stene proti stopniščem, hodnikom ter drugim manj ogrevanim prostorom	0,70
	Notranje stene in medetažne konstrukcije med ogrevanimi prostori različnih enot, različnih uporabnikov ali lastnikov v nestanovanjskih stavbah	0,90
3	Tla nad zunanjim zrakom	0,30
4	Strop proti neogrevanemu prostoru, stropi v sestavi ravnih ali poševnih streh (ravne ali poševne strehe)	0,20
5	Vertikalna okna ali balkonska vrata in greti zimski vrtovi z okvirji iz lesa ali umetnih mas	1,3
	Vertikalna okna ali balkonska vrata in greti zimski vrtovi z okvirji iz kovin	1,60

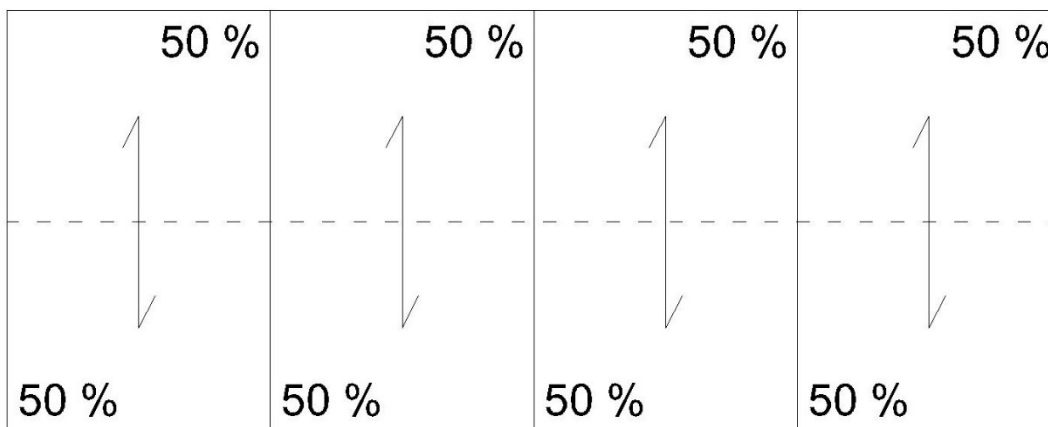
* v preglednici so navedeni samo elementi, ki smo jih uporabili pri konstruiranju zunanjega ovoja obravnavane zasnove stavbe.

Drugi pogoj, ki nam ga določa ta bistvena zahteva je, da morajo biti vplivi toplotnih mostov na letno potrebo po toploti čim manjši. Toplotnim mostovom z linijsko toplotno prehodnostjo $\psi_e > 0,2$ W/mK se je treba z ukrepi v skladu z zadnjim stanjem gradbene tehnike izogniti s popravki načrtovanih detajlov. Če pa to ni mogoče, je treba dokazati, da vodna para na mestih toplotnih mostov ne bo kondenzirala. Če imajo toplotni mostovi v stavbi linijsko toplotno prehodnost $\psi_e < 0,2$ W/mK, se njihov vpliv upošteva na poenostavljen način, s povečanjem toplotne prehodnosti celotnega ovoja stavbe za 0,06 W/m²K [31].

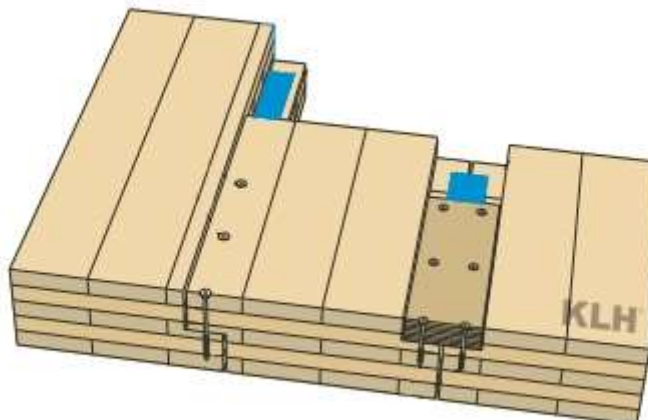
5 ANALIZA KONSTRUKCIJE

5.1 Predpostavke

- Ker je glavni namen diplomske naloge izračun energetske bilance naše zasnovane stavbe, smo konstrukcijo obravnavali samo z vidika gravitacijskih obtežb, saj trenutno v Evropi še ni standarda, ki bi določeval način potresno odpornega projektiranja takih več etažnih lesenih modularnih stavb.
- Globalno, obtežbo potresa in vetra prevzame armiranobetonsko jedro, pri tem je nosilni sistem za prečno smer simetričen. Module smo zasnovali tako, da se vsa horizontalna obtežba, ki deluje na module, preko v svoji ravnini togih stropov iz KLH plošč, prenese na betonsko jedro.
- Linijski elementi, ki sestavljajo posamezni modul, so med seboj povezani členkasto, stene pa so priključene tako, da je možen zasuk v stikih okoli šibke osi. S tem si bomo poenostavili določevanje dimenzij nosilne konstrukcije modulov, saj tako spremenimo globalni statični sistem v lokalnega, kar nam je omogočilo statično obravnavo vsakega modula zase.
- Izbrane KLH plošče so nosilne samo v eni smeri. Plošče so med seboj povezane z linijskim členkom, ki omogoča prenos notranjih sil v ravnini plošče. Slika 9 prikazuje prenos obtežbe plošče na linijske nosilce nosilne konstrukcije, Slika 10 pa način izvedbe povezave med KLH ploščami.



Slika 9: Prikaz razporeditve obtežbe plošče na linijske nosilce okvirne konstrukcije.



Slika 10: Prikaz členkastega spoja med KLH ploščami [32].

5.2 Vplivi na konstrukcijo

Zaradi same zasnove diplomske naloge smo vplive za dimenzioniranje elementov določili nekoliko drugače. Po navadi se stalne vplive konstrukcijskih sklopov na konstrukcijo določi na začetku, kot rezultat celotne statične analize pa dobimo dimenzije nosilne konstrukcije. V našem primeru namreč izvajamo energetska analizo zasnove stavbe, zato smo si v začetku izbrali konstrukcijske sklope, ki so nam služili samo kot računski vplivi za določitev dimenzij nosilne konstrukcije, v nadaljevanju diplomske naloge pa smo izpeljali nove sklope, v katerih smo upoštevali izračunane dimenzije nosilne konstrukcije in jih tudi analizirali. V Preglednicah 9 do 13 je prikazana sestava konstrukcijskih sklopov, ki smo jih uporabili pri statični analizi zasnove stavbe.

5.2.1 Lastna teža nosilne konstrukcije

Pri dimenzioniranju elementov modulov smo lastno težo upoštevali tako, da smo uporabili možnost samodejnega določevanja lastne teže v programu SAP2000 [33].

5.2.2 Stalna obtežba

5.2.2.1 Ravna streha

Konstruirali smo obrnjeno ravno streho. Za naklonski sloj in toplotno izolacijo smo uporabili XPS, za hidroizolacijo pa smo uporabili sintetične membrane na osnovi PVC in FPO materialov.

Ocena ploskovne obtežbe ravne strehe:

Preglednica 8: Sestava konstrukcijskega sklopa ravne strehe, uporabljenega pri statični analizi konstrukcije.

	Delež plasti na m ²	Debelina plasti [cm]	Prostorninska teža [kN/m ³]	Ploskovna obtežba KS [kN/m ²]
Strešna PVC folija (2mm)	1	0,2		0,02
Ekstrudiran polistiren	1	16,00	0,60	0,096
Križno lepljena lesena plošča	1	15,00	4,30	0,645
Mavčno kartonska plošča	1	1,25	9,00	0,113
Skupaj:		32,45		0,874

Stalno obtežbo ravne strehe ocenimo na 1,1 kN/m². To nam omogoča manjše spreminjanje konstrukcijskega sklopa med njihovo analizo.

5.2.2.2 Medetažna konstrukcija

Medetažna konstrukcija bo izvedena suho montažno. S tem bomo pri sami izgradnji privarčevali čas, ki bi bil drugače potreben za sušenje estrihov.

Ocena ploskovne obtežbe medetažne konstrukcije:

Preglednica 9: Sestava konstrukcijskega sklopa medetažne konstrukcije, uporabljenega pri statični analizi konstrukcije.

	Delež plasti na m²	Debelina plasti [cm]	Prostorninska teža [kN/m³]	Ploskovna obtežba KS [kN/m²]
Parket	1	2,00	8,00	0,160
OSB plošča (2kom)	1	5,00	6,50	0,325
Kamena volna	1	4,00	0,70	0,028
Križno lepljena lesena plošča	1	15,00	4,30	0,645
Mavčno kartonska plošča	1	1,25	9,00	0,113
Skupaj:		27,25		1,271

Iz istega razloga kot zgoraj za stalno obtežbo medetažne konstrukcije privzamemo nekoliko večjo vrednost 1,4 kN/m².

5.2.2.3 Zunanja stena

Preglednica 10: Sestava konstrukcijskega sklopa zunanje stene, uporabljenega pri statični analizi konstrukcije.

	Delež plasti na m²	Debelina plasti [cm]	Prostorninska teža [kN/m³]	Ploskovna obtežba KS [kN/m²]
Križno lepljena lesena plošča	1	5,00	4,30	0,215
Lesena podkonstrukcija C30	0,2	18,00	3,80	0,137
Kamena volna	0,8	18,00	0,70	0,101
Kamena volna	1	6,00	0,70	0,042
Mavčno kartonska plošča	1	1,25	9,00	0,113
Skupaj:		30,25		0,607

5.2.2.4 Notranja stena

Preglednica 11: Sestava konstrukcijskega sklopa notranje stene, uporabljenega pri statični analizi konstrukcije.

	Delež plasti na m ²	Debelina plasti [cm]	Prostorninska teža [kN/m ³]	Ploskovna obtežba KS [kN/m ²]
OSB plošča	1	2,50	6,50	0,163
Lesena podkonstrukcija C30	0,2	18,00	3,80	0,137
Kamena volna	0,8	18,00	0,70	0,101
Mavčno kartonska plošča	1	1,25	9,00	0,113
Skupaj:		21,75		0,513

5.2.2.5 Predelna stena

Preglednica 12: Sestava konstrukcijskega sklopa predelne stene, uporabljenega pri statični analizi konstrukcije.

	Delež plasti na m ²	Debelina plasti [cm]	Prostorninska teža [kN/m ³]	Ploskovna obtežba KS [kN/m ²]
Mavčno kartonska plošča	1	1,25	9,00	0,113
OSB plošča	1	1,60	6,50	0,104
Lesena podkonstrukcija C30	0,1	8,00	3,80	0,030
Kamena volna	0,9	8,00	0,70	0,050
OSB plošča	1	1,60	6,50	0,104
Mavčno kartonska plošča	1	1,25	9,00	0,113
Skupaj:		13,70		0,514

5.2.3 Koristna obtežba

- Streha, dostopna za vzdrževanje in popravila (kategorija H): $q = 0,4 \text{ kN/m}^2$, $Q = 1,0 \text{ kN}$.
- Kategorija stavbe A: $q = 2 \text{ kN/m}^2$, $Q = 2,0 \text{ kN}$.

5.2.4 Obtežba snega

5.2.4.1 Podatki o lokaciji

- Lokacija: Novo mesto, nadmorska višina 202 m.
- Obtežba snega: A2, A = 202 m.

Obtežbo snega na strehi izračunamo s pomočjo izrazov (5-1) in (5-2)

$$s = \mu \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 1,114 \text{ kN/m}^2 \quad (5-1)$$

$$s_k = 1,293 \left[1 + \left(\frac{202}{728} \right)^2 \right] = 1,393 \text{ kN/m}^2 \quad (5-2)$$

μ oblikovni koeficient (za ravne strehe je $\mu = 0,8$).

C_e koeficient izpostavljenosti ($C_e = 1,0$).

C_t termični koeficient ($C_t = 1,0$).

5.2.5 Obtežba vetra

Izbrana lokacija obravnavane stavbe spada v cono vplivov vetra 1. Za to cono je določena osnovna vrednosti hitrosti vetra $v_{b,0} = 20 \text{ m/s}$. Kategorija izpostavljenosti terena je III.

5.2.5.1 Določitev tlaka vetra na ploskve

$$v_m(z) = C_r(z) \cdot C_0(z) \cdot v_b = 0,605 \cdot 1,0 \cdot 20 \frac{\text{m}}{\text{s}} = 12,10 \frac{\text{m}}{\text{s}} \quad (5-3)$$

Pri čemer je:

C_r koeficient hrapavosti terena.

C_0 koeficient hribovitosti terena (1,0).

$$C_r(z) = k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right) = 0,215 \cdot \ln \left(\frac{5,0 \text{ m}}{0,3 \text{ m}} \right) = 0,605 \quad (5-4)$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,30}{0,05} \right)^{0,07} = 0,215 \quad (5-5)$$

$$z = 1,6 \text{ m}$$

$$z_0 = 0,3 \text{ m}$$

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m}$$

$$z_{min} = 5,0 \text{ m}$$

$$I_v(z) = \frac{k_I}{c_0(z) \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{1,0}{1,0 \cdot \ln\left(\frac{5,0}{0,3}\right)} = 0,355 \quad (5-6)$$

$$k_I = 1,0$$

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = [1 + 7 \cdot 0,355] \cdot \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 12,10^2 = 0,319 \frac{kN}{m^2} \quad (5-7)$$

5.3 Določitev začetnih dimenzij

Projektno trdnost f_d dobimo po EC-5 iz karakteristične vrednosti f_k z izrazom: (5-8)

$$f_d = k_{mod} \frac{f_k}{\gamma_M} \quad (5-8)$$

Pri čemer so:

f_k karakteristična vrednost trdnosti,

γ_M varnostni faktor materiala in

k_{mod} modifikacijski faktor, s katerim upoštevamo vpliv vsebnosti vlage in trajanja obtežbe.

Zaradi načina gradnje nam zadostuje, da preverimo konstrukcijo zgolj na mejno stanje nosilnosti (MSN), saj so razponi horizontalnih elementov zelo majhni in s tem tudi njihovi povesi. MSN preverimo pri ustrezni kombinaciji vplivov. Določena je z enačbo (5-9).

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \Psi_{0,i} Q_{k,i} \quad (5-9)$$

Vrednosti za γ_G so: $\gamma_{G,sup} = 1,35$ in $\gamma_{G,inf} = 1,00$.

Vrednosti za $\gamma_{Q,1}$ so: $\gamma_{Q,1} = 1,50$, če je neugodno, sicer $\gamma_{Q,1} = 0,00$.

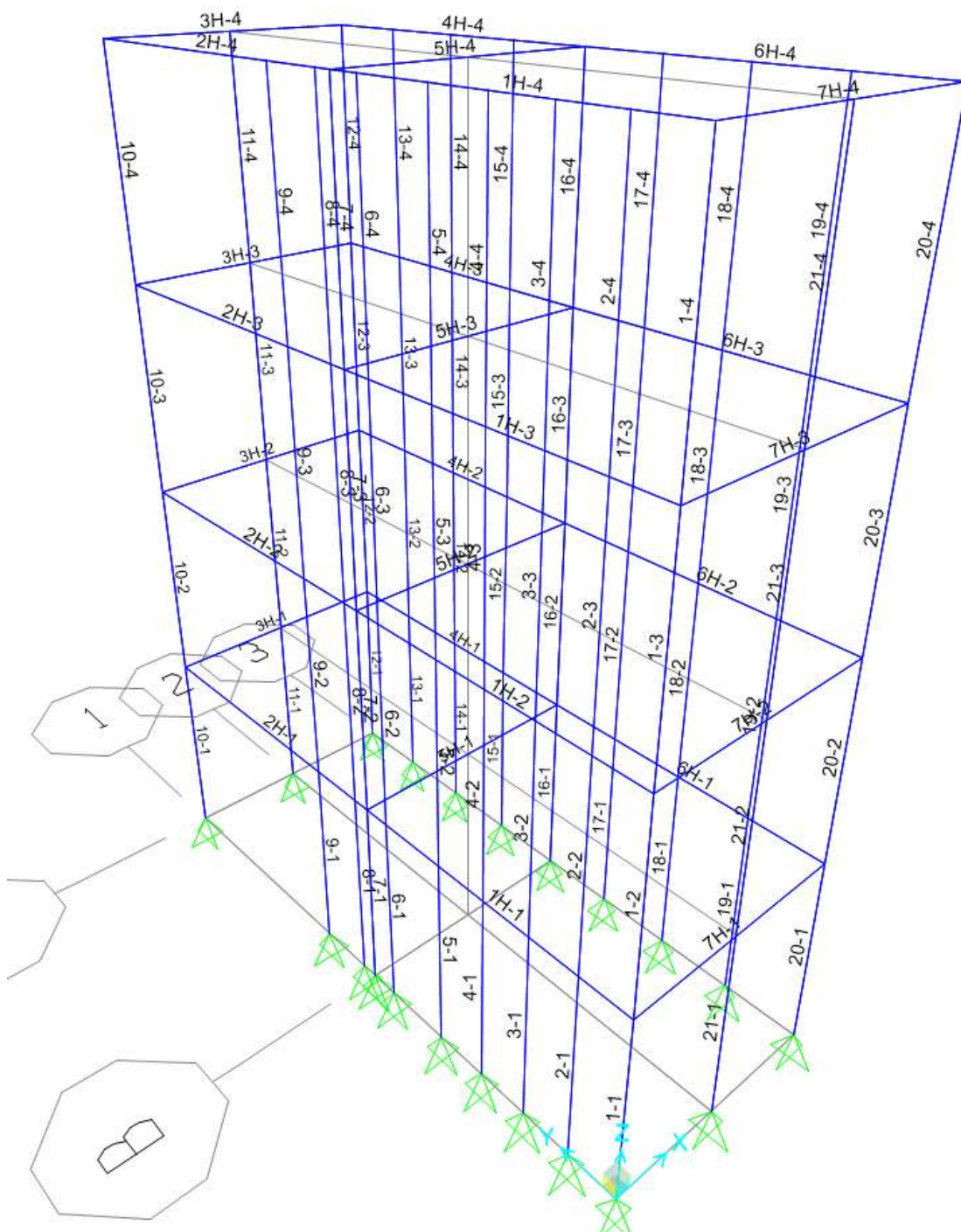
Vrednosti za $\gamma_{Q,i}$ so: $\gamma_{Q,i} = 1,50$, če je neugodno, sicer $\gamma_{Q,i} = 0,00$.

V primeru, da je obtežna kombinacija sestavljena iz vplivov z različnimi razredi trajanja, upoštevamo pri kombiniranju vplivov k_{mod} za vpliv, ki ima najkrajše trajanje.

5.4 Rezultati analize konstrukcije

Izračun notranjih sil nosilne konstrukcije smo izvedli s programom SAP2000 [33]. Največje notranje sile pričakujemo v spodnjem modulu. Preglednice 14, 15 in 16 prikazujejo notranje sile po elementih za vsak modul posebej.

5.4.1 Notranje sile modula 1

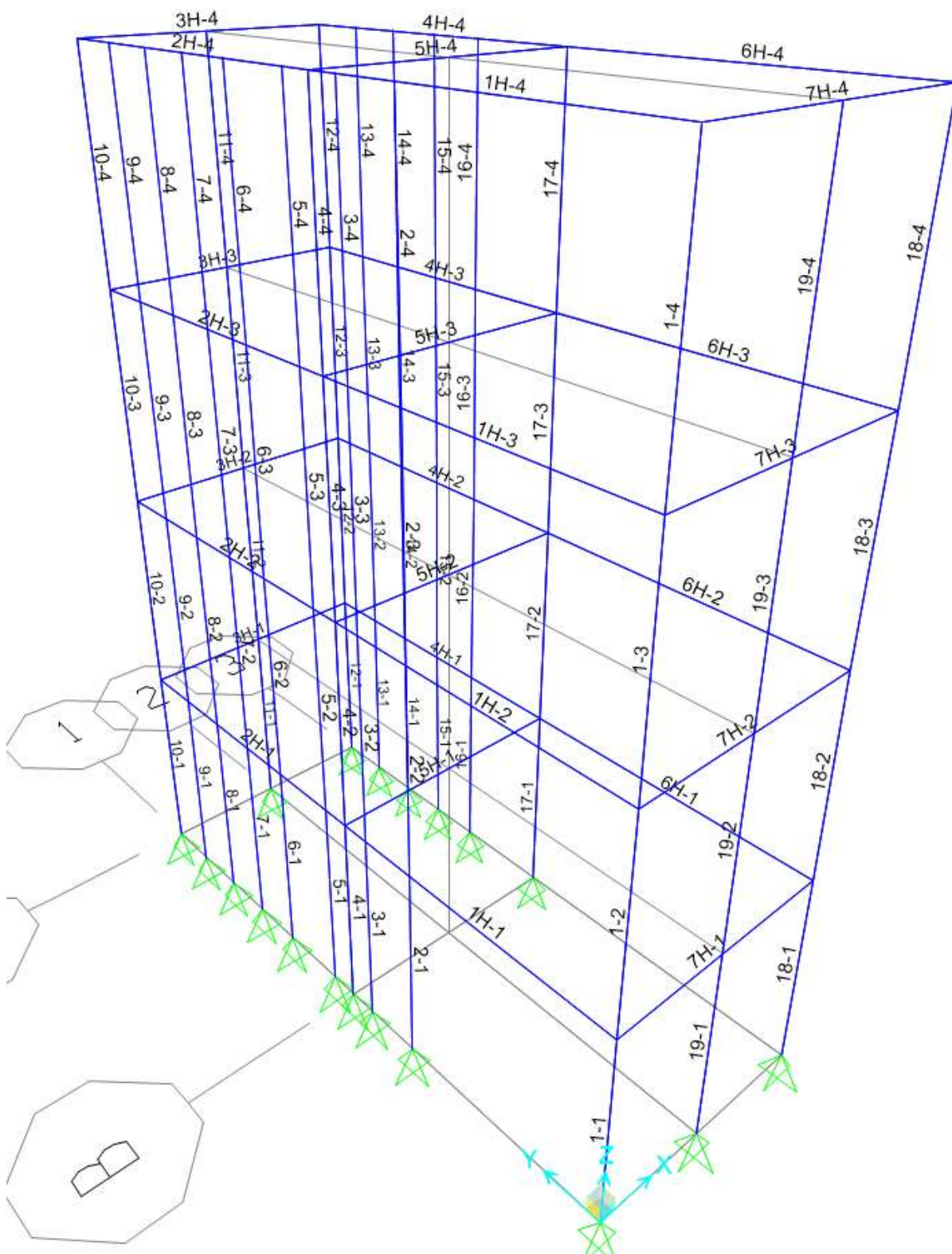


Slika 11: Računski model 1. modula.

Preglednica 13: Rezultati statične analize 1. modula.

Element	Prerez	N_d [kN]	V_d [kN]	M_d [kNm]
1-1	0	-36,24	0	0
2-1	0	-38,02	0	0
3-1	0	-48,27	0	0
4-1	0	-51,69	0	0
5-1	0	-51,36	0	0
6-1	0	-26,04	0	0
7-1	0	-9,19	0	0
8-1	0	-25,50	0	0
9-1	0	-145,90	0	0
10-1	0	-85,47	0	0
11-1	0	-31,89	0	0
12-1	0	-43,44	0	0
13-1	0	-63,62	0	0
14-1	0	-74,24	0	0
15-1	0	-66,10	0	0
16-1	0	-70,69	0	0
17-1	0	-66,08	0	0
18-1	0	-74,22	0	0
19-1	0	-63,70	0	0
20-1	0	-44,43	0	0
21-1	0	-29,81	0	0
1H-1	0,82	0	-1,71	2,21
1H-1	1,55	0	8,53	-0,30
2H-1	1,41	0	-2,25	14,77
2H-1	3,75	0	25,27	-12,21
3H-1	1,90	0	3,49	-1,50
4H-1	1,23	0	9,63	-1,02
4H-1	2,45	0	-9,32	-1,44
5H-1	1,90	0	0,00	0,39
5H-1	3,80	0	0,41	0,00
6H-1	0,41	0	-2,27	2,12
6H-1	3,68	0	-9,63	-1,02
7H-1	1,90	0	3,35	-1,23

5.4.2 Notranje sile modula 2

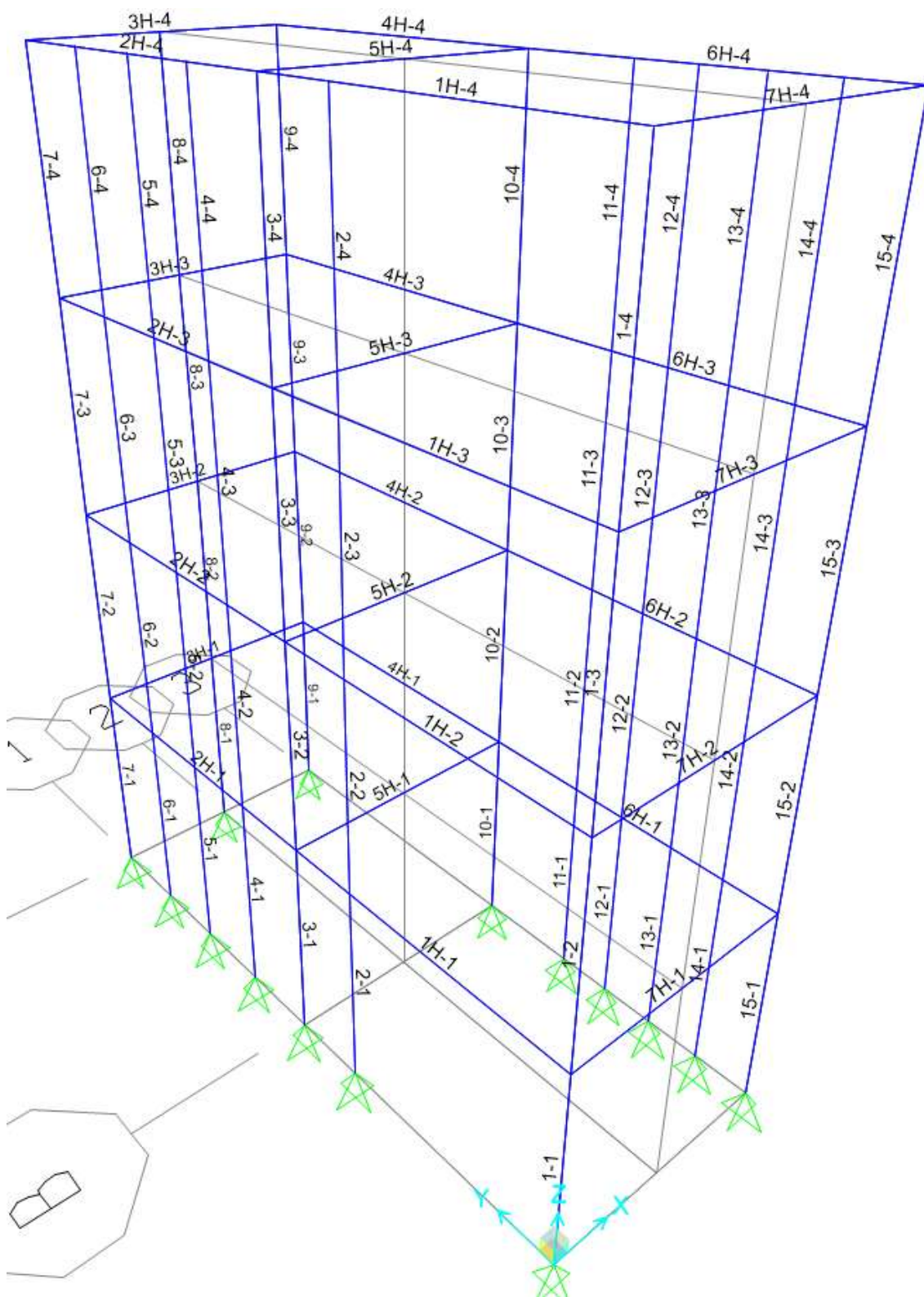


Slika 12: Računski model 2. modula.

Preglednica 14: Rezultati statične analize 2. modula.

Element	Prerez	N _d [kN]	V _d [kN]	M _d [kNm]
1-1	0	-79,97	0	0
2-1	0	-133,24	0	0
3-1	0	-34,87	0	0
4-1	0	-16,80	0	0
5-1	0	-25,28	0	0
6-1	0	-48,18	0	0
7-1	0	-50,44	0	0
8-1	0	-48,06	0	0
9-1	0	-38,10	0	0
10-1	0	-36,58	0	0
11-1	0	-30,99	0	0
12-1	0	-36,40	0	0
13-1	0	-36,91	0	0
14-1	0	-46,24	0	0
15-1	0	-51,01	0	0
16-1	0	-61,28	0	0
17-1	0	-150,05	0	0
18-1	0	-119,31	0	0
19-1	0	-36,40	0	0
1H-1	1,33	0	-2,16	13,28
1H-1	3,55	0	23,89	-10,82
2H-1	0,82	0	-1,43	1,76
2H-1	1,55	0	7,18	-0,36
2H-1	3,23	0	-6,53	-0,42
3H-1	1,90	0	3,31	-1,16
4H-1	3,35	0	-10,18	-1,68
4H-1	4,13	0	-1,08	2,69
5H-1	0,00	0	-0,41	0,00
5H-1	1,90	0	0,00	0,39
6H-1	0,00	0	-28,76	0,00
6H-1	2,45	0	0,00	35,23
7H-1	1,90	0	3,68	-1,87

5.4.3 Notranje sile modula 3



Slika 13: Računski model 3. modula.

Preglednica 15: Rezultati statične analize 3. modula.

Element	Prerez	N _d [kN]	V _d [kN]	M _d [kNm]
1-1	0	-79,65	0	0
2-1	0	-157,66	0	0
3-1	0	-40,65	0	0
4-1	0	-63,13	0	0
5-1	0	-72,33	0	0
6-1	0	-63,11	0	0
7-1	0	-42,88	0	0
8-1	0	-33,20	0	0
9-1	0	-118,01	0	0
10-1	0	-145,89	0	0
11-1	0	-61,29	0	0
12-1	0	-51,36	0	0
13-1	0	-46,72	0	0
14-1	0	-36,86	0	0
15-1	0	-31,88	0	0
1H-1	1,15	0	-26,30	-12,36
1H-1	3,49	0	2,26	14,79
2H-1	1,25	0	9,64	-0,83
2H-1	2,45	0	-9,09	-1,36
2H-1	4,48	0	2,36	2,23
3H-1	1,90	0	3,58	-1,68
4H-1	0,00	0	-28,76	0,00
4H-1	2,45	0	0,00	35,23
5H-1	0,00	0	-0,41	0,00
5H-1	1,90	0	0,00	0,39
6H-1	3,35	0	-10,68	-1,69
6H-1	4,13	0	-1,05	2,71
7H-1	0,00	0	-0,43	0,00
7H-1	1,90	0	-0,02	0,42

5.5 Dimenzioniranje elementov

5.5.1 Steber

Najbolj obremenjen steber je steber št. 2-1 v tretjem modulu (Slika 11). Osnova sila v njem znaša $N_x = 157,66 \text{ kN}$.

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \leq f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} \quad (5-10)$$

$$f_{c,0,d} = 0,8 \cdot \frac{2,9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,25} = 1,856 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (5-11)$$

$$A \geq \frac{157,66 \text{ kN}}{1,856 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 84,95 \text{ cm}^2 \quad (5-12)$$

Izberemo steber dimenzij 6/15 cm, $A_{dej} = 90 \text{ cm}^2$.

Stebre, razen stebra št. 1-1 in 10-1 3. modula (Slika 11), ni potrebno preveriti na uklon okoli šibke osi, saj so povezani z OSB ploščami, ki so nanje privijačene in tako onemogočajo pojav uklona zaradi tlačne obtežbe. Zaradi boljšega povezovanja nosilcev na stebre povečamo dimenzije stebra v vsakem stičišču med stebrom in nosilcem na 15/15 cm.

Kontrola uklona stebra št. 10-1 3. modula. Prerez tega stebra je 15/15 cm, saj je steber lociran na spoju horizontalnih nosilcev.

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \leq \begin{cases} f_{c,0,d} & \text{če je } \lambda_{rel} < 0,3 \\ k_c \cdot f_{c,0,d} & \lambda_{rel} \geq 0,3 \end{cases} \quad (5-13)$$

λ_{rel} relativna vitkost elementa

k_c uklonski koeficient odvisen od λ_{rel}

$$\lambda_{rel,z(y)} = \frac{\lambda_{z(y)}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,05}}} = \frac{64,66}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{2,9}{1110}} = 1,05 \quad (5-14)$$

$$\lambda_z = \frac{l_{u,z}}{i_z} = \frac{280 \text{ cm}}{4,33 \text{ cm}} = 64,66; \quad \lambda_y = \frac{l_{u,y}}{i_y} = \frac{280 \text{ cm}}{4,33 \text{ cm}} = 64,66 \quad (5-15)$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = \sqrt{\frac{4218,75 \text{ cm}^4}{225 \text{ cm}^2}} = 4,33 \text{ cm}; \quad i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = \sqrt{\frac{4218,75 \text{ cm}^4}{225 \text{ cm}^2}} = 4,33 \text{ cm} \quad (5-16)$$

λ_z vitkost elementa okoli osi z

λ_y vitkost elementa okoli osi y

$$k_{c,y} = k_{c,z} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = \frac{1}{1,09 + \sqrt{1,09^2 - 1,05^2}} = 0,723 \quad (5-17)$$

$$k_y = k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2) = 0,5 \cdot (1 + 0,1 \cdot (1,05 - 0,3) + 1,05^2) = 1,09 \quad (5-18)$$

$\beta_c = 0,1$ za lepljen lameliran les

$$k_c = \min \begin{cases} k_{c,y} \\ k_{c,z} \end{cases} \quad (5-19)$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{b \cdot h} = \frac{145,89 \text{ kN}}{15 \text{ cm} \cdot 15 \text{ cm}} = 0,648 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 0,723 \cdot 0,8 \cdot \frac{2,9 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{1,25} = 1,342 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (5-20)$$

Kontrola kombinacije obtežbe vetra in uklona za steber 18-1 drugega modula. Prerez obravnavanega stebra je 15/15 cm.

Za izbrani steber izberemo vplivno širino ploskve 4,0 m in določimo linijsko obtežbo vetra na steber 18-1.

$$q_{v,d} = 1,50 \cdot 4,0 \text{ m} \cdot q_p = 1,50 \cdot 4,0 \text{ m} \cdot 0,319 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 1,914 \frac{\text{kN}}{\text{m}} \quad (5-21)$$

Upogibni moment, ki ga povzroča ta obtežba je izračunan po enačbi (5-22).

$$M_{v,y,d} = \frac{q_{v,d} \cdot l^2}{8} = \frac{1,914 \cdot 2,8^2}{8} = 1,876 \text{ kNm} \quad (5-22)$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{v,y,d}}{W_y} = \frac{1,879 \cdot 100}{\frac{15 \cdot 15^2}{6}} = 0,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad (5-23)$$

Kontrola:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} \leq 1,0 \quad (5-24)$$

$$\frac{0,530}{1,342} + \frac{0,333}{2,048} = 0,558 < 1,0 \quad (5-25)$$

Iz enačbe 5-25 vidimo, da se kontrola kombinacije uklona zaradi gravitacijskih obtežb in upogibne obtežbe zaradi vetra v stebru 18-1 izide.

5.5.2 Nosilec

Najbolj obremenjen nosilec je nosilec št. 6H-1 v 2. modulu. Upogibni moment v njem znaša $M_y = 35,23$ kNm.

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W_y} \leq f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_M} \quad (5-26)$$

$$f_{m,d} = 0,8 \cdot \frac{3,2 \frac{kN}{cm^2}}{1,25} = 2,048 \frac{kN}{cm^2} \quad (5-27)$$

$$h^2 \geq \frac{3523 \frac{kNcm \cdot 6}{15 \text{ cm}} \cdot \frac{kN}{cm^2}}{2,048 \frac{kN}{cm^2}} = 688,09 \text{ cm}^2 \rightarrow h \geq 26,23 \text{ cm}^2 \quad (5-28)$$

Izberem nosilec dimenzij 15/27 cm.

Kontrola strižnih napetosti

$$\tau_d = \frac{V_{Ed}}{A^*} \leq f_{v,d}; \quad A^* = \frac{2}{3} \cdot A$$

$$A \geq \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{Ed}}{f_{v,d}} = \frac{3 \cdot 28,76 \text{ kN}}{2 \cdot 0,38 \frac{kN}{cm^2} \cdot 0,8} = 177,39 \text{ cm}^2 \quad \rightarrow \quad b/h = 15/12 \text{ cm}$$

5.5.3 Plošča

Določitev obremenitev strešne plošče:

$$g = 0,455 \text{ kN/m}^2 \text{ (preostala stalna obtežba),}$$

$$q = 1,458 \text{ kN/m}^2.$$

Na podlagi podatkov proizvajalca križno lepljenih plošč smo za nosilno konstrukcijo izbrali KLH 5 slojno ploščo 146 debeline 146 mm. [34]

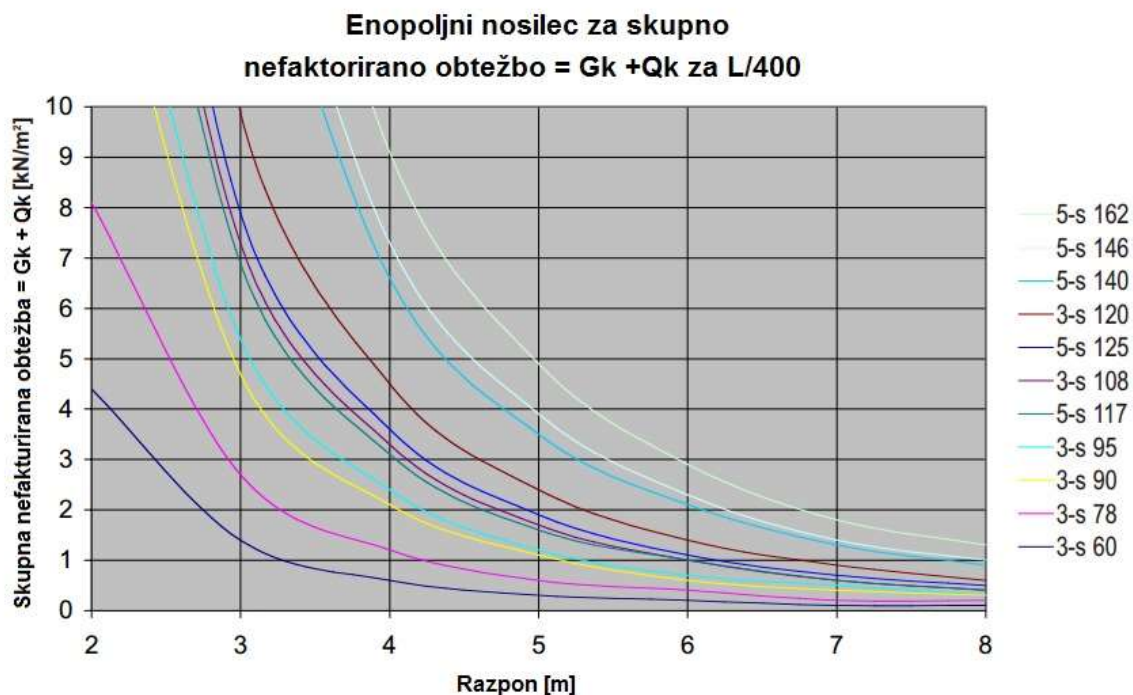
Določitev obremenitve medetažne plošče:

$$g = 0,755 \text{ kN/m}^2 \text{ (preostala stalna obtežba),}$$

$$q = 2,050 \text{ kN/m}^2.$$

Na podlagi podatkov proizvajalca križno lepljenih plošč smo za nosilno konstrukcijo izbrali KLH 5 slojno ploščo 146 debeline 146 mm. [34]

Slika 14 prikazuje vrednosti skupne nefaktorirane obtežbe v odvisnosti od razpona za različne debeline KLH plošč, s pomočjo katere smo določili naši debelini KLH plošč strešne in medetažne konstrukcije.



Slika 14: Vrednosti maksimalne nefaktorirane ploskovne obtežbe glede na razpon za različne debeline KLH plošč [34].

6 DOLOČITEV KONSTRUKCIJSKIH SKLOPOV

Konstrukcijske sklope smo določili tako, da smo upoštevali izbrano nosilno konstrukcijo iz poglavja 5.4, na te pa smo nato aplicirali plast za plastjo. Pri tem smo bili pozorni na to, da si plasti sledijo tako, da ima celotni konstrukcijski sistem smiselno sestavo, da pri križanjih ne bi prišlo do prekinitve toplotne in hidro izolacije, da je možna izvedba želene prefabrikacije in da bo v skladu z zahtevami tehnične smernice.

Konstrukcijske sklope smo analizirali v programu URSA 4 [8] (1D) in THERM 7.3 [9] (2D).

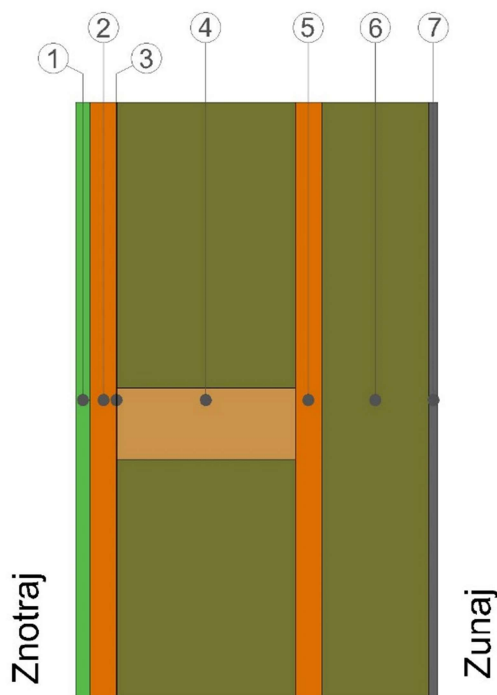
Računalniški program Gradbena fizika URSA 4 je narejen kot pomoč projektantom s strani URSA Slovenija. Vsebuje bogato knjižnico materialov in detajlov, ki se najpogosteje uporabljajo pri konstruiranju sklopov, prav tako pa omogoča tudi dodajanje novih. Ta funkcija je zelo dobrodošla, saj zaradi nje nismo "prisiljeni" v uporabo izključno njihovih komercialnih izdelkov. Zunanje pogoje, se pravi temperaturo in vlažnost, program določi sam na podlagi koordinat lokacije stavbe. Program ta parametra spreminja glede na izbrani mesec v letu, tako da nam za analizo konstrukcije zadostuje le en model. Poleg izračuna toplotne prehodnosti KS pa program vzporedno s tem izračunom analizira prehod vodne pare skozi KS. URSA 4 pa se ne uporablja samo za analizo KS, vendar lahko z njim izračunamo tudi energetsko bilanco celotne stavbe.

Računalniški program THERM 7.3. je bil razvit v Nacionalnem laboratoriju Lawrence Berkeley (LBNL) v ZDA za proizvajalce gradbenih komponent, inženirje, študente, arhitekta in vse preostale, ki jih zanima prehod toplote. Z uporabo THERM-a, lahko modeliramo 2D prehod toplote v konstrukcijskih elementih, kot so okna, zidovi, temelji, streha in vrata ter povsod tam, kjer se soočamo s problemom toplotnega mostu. THERM smo uporabili za 2D analizo konstrukcijskih sklopov in analiziranje križanj. Prav tako ima program bogato knjižnico standardnih materialov, v katero pa lahko dodajamo tudi svoje. Za razliko od programa URSA 4, THERM 7.3. omogoča, da lahko sami ustvarimo robne pogoje toplotnih in vlažnostnih vplivov na KS. Program rezultate podaja v grafični in tabelarni obliki.

6.1 Zasnova konstrukcijskih sklopov

6.1.1 Zunanja stena

Nosilna konstrukcija zunanje stene so lepljeni lamelirani nosilci. Prostori med vertikalami so zapolnjeni s kameno volno. Na obe strani nosilne konstrukcije so pritrjene OSB plošče. Te nudijo bočno podporo stebrom, da se ne morejo ukloniti izven svoje ravnine in pripomorejo k večji stabilnosti konstrukcije v primeru horizontalne obtežbe ter so hkrati podlaga za pritrnitev mavčno-kartonskih plošč in kamene volne. Fasada je izvedena z armirano fasadno malto, na katero je aplicirana tankoslojna zaključna plast. Sestavo po plasteh ponazarjata Slika 15 in Preglednica 17.



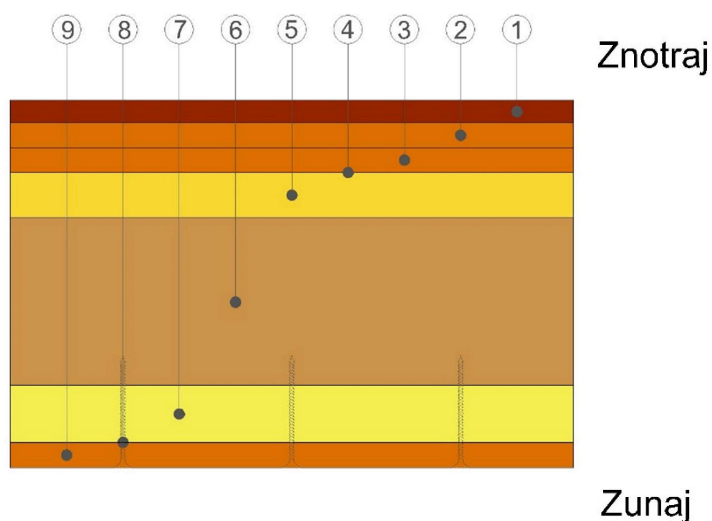
Slika 15: Sestava konstrukcijskega sklopa zunanje stene.

Preglednica 16: Prikaz sestave po plasteh zunanje stene s pripadajočimi vrednostmi toplotne prevodnosti, gostote, specifične prevodnosti in difuzijske upornosti.

	Debelina [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/m ² K]	Gostota ρ [kg/m ³]	Specifična prevodnost c [J/kgK]	Difuzijska upornost μ [l]	
1	Mavčno-kartonska plošča	1,25	0,210	900	840	12,0
2	OSB plošča	2,20	0,130	600	2100	200,0
3	Parna ovira	0,05	0,190	220	960	4000,0
4	LLN - steber 15/6 + Kamena volna	15,00	0,176	430	1663	70,0
5	OSB plošča	2,20	0,130	600	2100	200,0
6	Kamena volna	9,00	0,040	140	1030	1,0
7	Tankoslojna fasada	0,75	0,700	1200	1050	15,0
	Skupaj:	30,45				

6.1.2 Tla nad zunanjim zrakom

Nosilna konstrukcija tega KS-ja je križno lepljena plošča, ki je z obeh strani obdana s toplotno izolacijo (TI). Notranja plast TI je iz steklene volne, ki je namenjena za izdelavo plavajočih estrihov, zunanja plast TI pa je t.i. lahki izolacijski filc iz steklene mineralne volne. Zunanja plast TI je pred morebitno degradacijo zaščitena z OSB ploščo, ki jo preko točkovnih distančnikov privijamo na nosilno ploščo in se tako izognemo formiranju toplotnih mostov. Na notranjo TI so položene: parna ovira in dve plasti OSB plošče, ki imata funkcijo estriha. Na estrih je kot finalna plast nalepljen masivni parket. Pri določanju konstrukcijskega sklopa tal smo bili osredotočeni na to, da bo konstrukcijski sklop omogočal montažno gradnjo. Ker je naš primarni in edini material nosilne konstrukcije les, smo se odločil, da izvedemo konstrukcijski sklop tal nad terenom. Pri konstruiranju konstrukcijskega sklopa moramo paziti, da upoštevamo dva pomembna kriterija pri uporabi lesa. Ta kriterija sta, da mora biti les prezračevan in da ni izpostavljen cikličnemu spreminjanju vlažnosti, ki pripelje do hitrejšega propada. Sestavo po plasteh prikazujeta Slika 16 in Preglednica 18.



Slika 16: Sestava konstrukcijskega sklopa tal nad zunanjim zrakom.

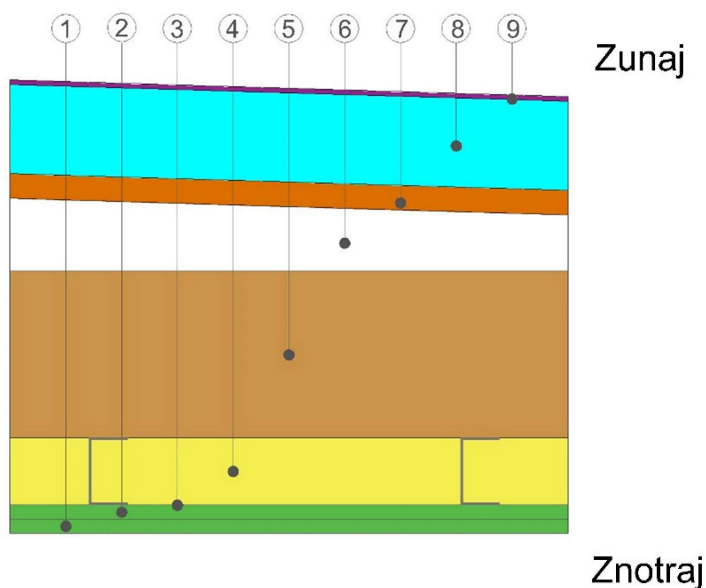
Preglednica 17: Prikaz sestave po plasteh tal nad zunanjim zrakom s pripadajočimi vrednostmi toplotne prevodnosti, gostote, specifične prevodnosti in difuzijske upornosti.

		Debelina [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/m ² K]	Gostota ρ [kg/m ³]	Specifična prevodnost c [J/kgK]	Difuzijska upornost μ [l]
1	Parket	2,00	0,210	700	1670	15,0
2	OSB plošča	2,20	0,130	600	2100	200,0
3	OSB plošča	2,20	0,130	600	2100	200,0
4	PVC folija 1200	0,20	0,190	1200	960	42000,0
5	Mineralna volna	4,00	0,032	72	1030	1,3
6	Križno lepljena plošča	15,00	0,176	430	1663	70,0
7	Lahki izolativni filc	5,00	0,039	13	1030	1,1
8	Paropropustna folija	0,04	0,190	215	960	54,0
9	OSB plošča	2,20	0,130	600	2100	200,0
Skupaj:		32,84				

6.1.3 Strop proti neogrevanemu prostoru, stropi v sestavi ravnih ali poševnih streh

Za streho lahko rečemo, da je najbolj izpostavljen in pomemben KS v ovojju stavbe. Pri konstruiranju strehe moramo biti pozorni na postavitve izolacijskih materialov, da ne bomo imeli pri križanjih z ostalimi KS težav s toplotnimi mostovi in prekinjeno hidroizolacijo. Tako kot pri vseh horizontalnih KS, je tudi pri strehi nosilna konstrukcija križno lepljena lesena plošča.

Z notranje strani nosilne konstrukcije je najprej nameščena TI v obliki lahkega izolativnega filca iz steklene mineralne volne. Preko TI so dvoplastno položene mavčno kartonske plošče, ki jih preko kovinskih profilov pritrdimo na nosilno konstrukcijo (NK). Na zunanji strani NK je najprej plast ne prezračevanega zraka, ki nastane pri izvedbi naklona strehe. Omenjeni naklon je izveden z OSB ploščami in podkonstrukcije iz letev. Na OSB plošče je položena plast ekstrudiranega polistirena, ki je pred zunanjimi vplivi zaščiten s PVC mehкими strešnimi trakovi. Sestavo po plasteh ponazarjata Slika 17 in Preglednica 19.



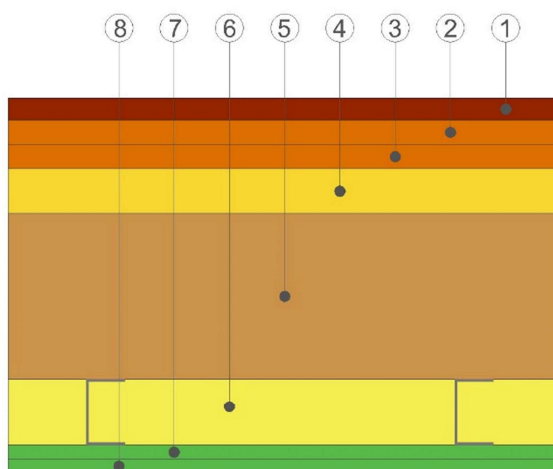
Slika 17: Sestava konstrukcijskega sklopa strehe.

Preglednica 18: Prikaz sestave po plasteh strehe s pripadajočimi vrednostmi toplotne prevodnosti, gostote, specifične prevodnosti in difuzijske upornosti.

	Debelina [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/mK]	Gostota ρ [kg/m ³]	Specifična prevodnost c [J/kgK]	Difuzijska upornost μ [l]
1 Mavčno-kartonska plošča	1,25	0,210	900	840	12,0
2 Mavčno-kartonska plošča	1,25	0,210	900	840	12,0
3 Parna ovira	0,02	0,190	900	960	4000,0
4 Lahki izolativni filc	6,00	0,039	13	1030	1,1
5 Križno lepljena plošča	15,00	0,176	430	1663	70,0
6 Sloj zraka	5,00	0,595	1	1005	1,0
7 OSB plošča v naklonu 2%	2,20	0,130	600	2100	200,0
8 Ekstrudiran polistiren	8,00	0,036	35	1500	80,0
9 PVC strešni trakovi	0,40	0,190	1200	960	20000,0
Skupaj:	39,12				

6.1.4 Medetažna konstrukcija

Medetažna konstrukcija je najbolj pomemben konstrukcijski element z vidika zvočne izolativnosti med prostori v sosednjih etažah. Preprečuje prehod udarnega zvoka in zvoka po zraku. Glede na to, da medetažna konstrukcija meji na dva ogrevana prostora, toplotna izolacija ne bi bila potrebna. Vendar pa mineralna volna in lahki izolativni filc nista vgrajena zaradi potreb po toplotni izolativnosti, vendar opravljata funkcijo zvočne izolacije in delujeta v sklopu kot nekakšni dušilni vzmeti. Sestava medetažne konstrukcije je prikazana na Sliki 18 in v Preglednici 20.



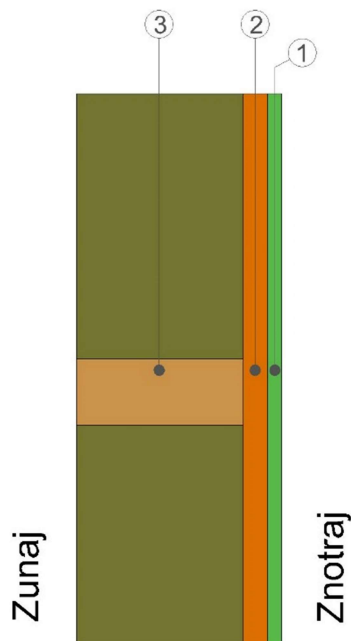
Slika 18: Sestava konstrukcijskega sklopa medetažne konstrukcije.

Preglednica 19: Prikaz sestave po plasteh medetažne konstrukcije s pripadajočimi vrednostmi toplotne prevodnosti, gostote, specifične prevodnosti in difuzijske upornosti.

		Debelina [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/mK]	Gostota ρ [kg/m ³]	Specifična prevodnost c [J/kgK]	Difuzijska upornost μ [l]
1	Parket	2,00	0,210	700	1670	15,0
2	OSB plošča	2,20	0,130	600	2100	200,0
3	OSB plošča	2,20	0,130	600	2100	200,0
4	Mineralna volna	4,00	0,032	72	1030	1,3
5	Križno lepljena plošča	15,00	0,176	430	1663	70,0
6	Lahki izolativni filc	6,00	0,039	13	1030	1,1
7	Mavčno-kartonska plošča	1,25	0,210	900	840	12,0
8	Mavčno-kartonska plošča	1,25	0,210	900	840	12,0
Skupaj:		33,90				

6.1.5 Notranja nosilna stena

Ta konstrukcijski sklop spada med ločilne konstrukcije, ki delijo ogrevane prostore. Kamena volna v sklopu opravlja funkcijo zvočne izolacije. Ker je to nosilna konstrukcija, imajo nosilni elementi enako debelino kot pri zunanji steni stavbnega ovoja.



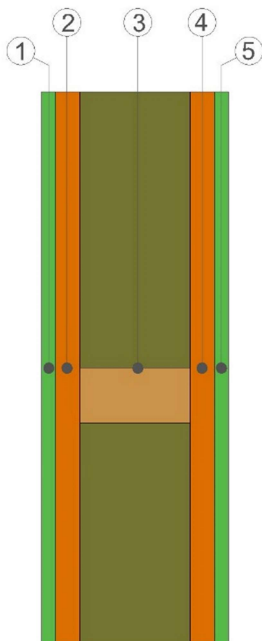
Slika 19: Sestava konstrukcijskega sklopa notranje nosilne stene.

Preglednica 20: Prikaz sestave po plasteh notranje nosilne stene s pripadajočimi vrednostmi toplotne prevodnosti, gostote, specifične prevodnosti in difuzijske upornosti.

		Debelina [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/mK]	Gostota ρ [kg/m ³]	Specifična prevodnost c [J/kgK]	Difuzijska upornost μ [l]
1	Mavčno-kartonska plošča	1,25	0,210	900	840	12,0
2	OSB plošča	2,20	0,130	600	2100	200,0
3	LLN - steber 15/6 + Kamena volna	15,00	0,176	430	1663	70,0
Skupaj:		18,45				

6.1.6 Predelna stena

Predelna stena ima ločilno funkcijo, zato so dimenzije nosilnih elementov v steni nekoliko manjše kot pri nosilnih stenah.



Slika 20: Sestava konstrukcijskega sklopa predelne stene.

Preglednica 21: Prikaz sestave po plasteh predelne stene s pripadajočimi vrednostmi toplotne prevodnosti, gostote, specifične prevodnosti in difuzijske upornosti.

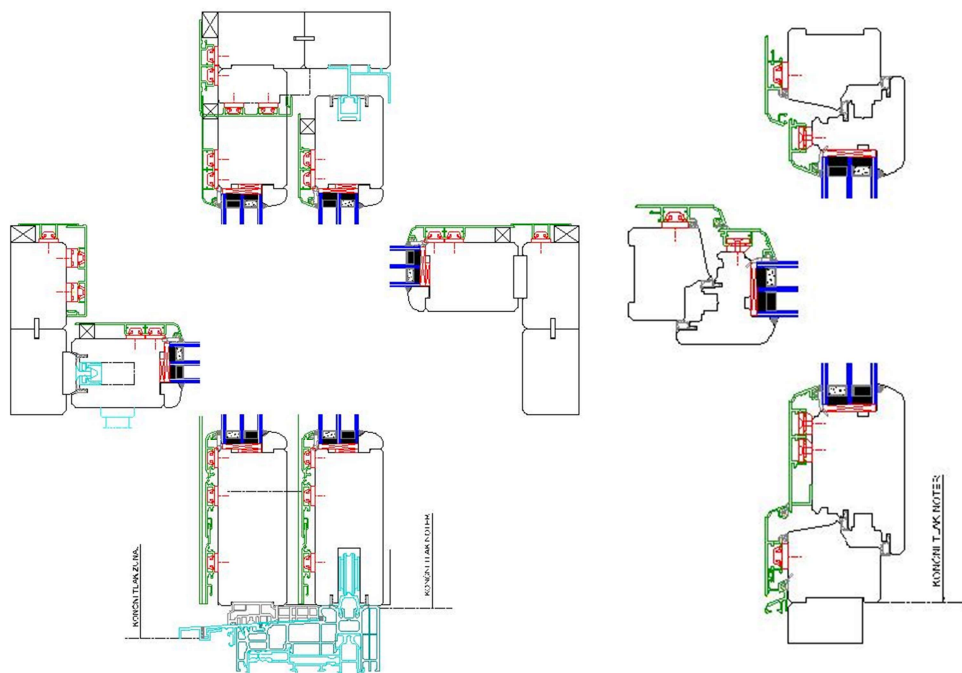
		Debelina [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/mK]	Gostota ρ [kg/m ³]	Specifična prevodnost c [J/kgK]	Difuzijska upornost μ [l]
1	Mavčno-kartonska plošča	1,25	0,210	900	840	12,0
2	OSB plošča	2,20	0,130	600	2100	200,0
3	LLN - steber 10/5 + Kamena volna	10,00	0,176	430	1663	70,0
4	OSB plošča	2,20	0,130	600	2100	200,0
5	Mavčno-kartonska plošča	1,25	0,210	900	840	12,0
Skupaj:		16,90				

6.1.7 Okno

Profila oken, uporabljena pri izračunih, so okna slovenskega proizvajalca M Sora. Udobje 3 je družina oken [35], čigar okenski profil je kombinacija lesa in aluminija. Prednost te kombinacije je, da je les z zunanje strani zaščiten z aluminijastim profilom, zato tako okno dejansko ne potrebuje vzdrževanja (brušenja in ponovnega barvanja lesenega okvirja), medtem ko imamo na notranji strani vidni leseni profil, ki daje prostoru naravnejši izgled. Glede na to, da so okna razmeroma velika, smo izbrali troslojno zasteklitev. Na stekla je nanešen nizko emisijski premaz, ki delno preprečuje prehod kratkovalovnega IR sevanja iz okolice v prostor, močno pa zmanjša izgube z dolgovalovnim IR sevanjem iz stavbe v okolico. Za dodatno toplotno izolacijo je prostor med stekli zapolnjen s plinom argon. Taka sestava zasteklitve ima lahko U faktor med 0,5 in 0,8 W/m²K. Za naš primer smo izbrali zasteklitev z U faktorjem 0,7 W/m²K. Podatki o sestavi in lastnostih okna so predstavljeni v Preglednici 23, uporabljeni profili pa so prikazani na Sliki 21.

Preglednica 22: Lastnosti okna Udobje 3 [36].

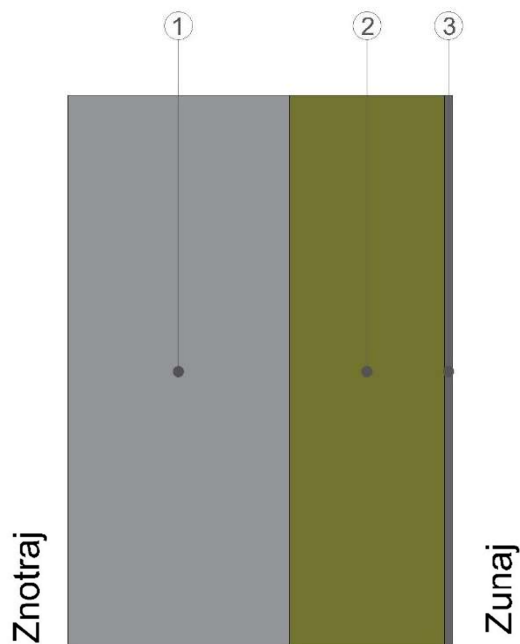
Material okvirja	Les – smreka
Toplotna prehodnost okna	$U_f = 1,20 \text{ W/m}^2\text{K}$ ($b_f = 107 \text{ mm}$)
Toplotna prehodnost ter sestava stekla	$U_g = 0,70 \text{ W/m}^2\text{K}$ (6/12 Ar/4/12 Ar/6)
Specifične toplotne izgube na distančniku	$\Psi = 0,048 \text{ W/mK}$



Slika 21: Okenski profil dvižno pomičnega okna (levo) in klasičnega okna (desno) [37].

6.1.8 Armiranobetonska stena

Armiranobetonska (v nadaljevanju AB) stena sestavlja zunanji ovoj AB jedra. Ker v diplomski nalogi nismo podrobneje določili debeline stene, jo predpostavimo sedaj. Sestava stene po plasteh je prikazana na Sliki 22 in v Preglednici 24.



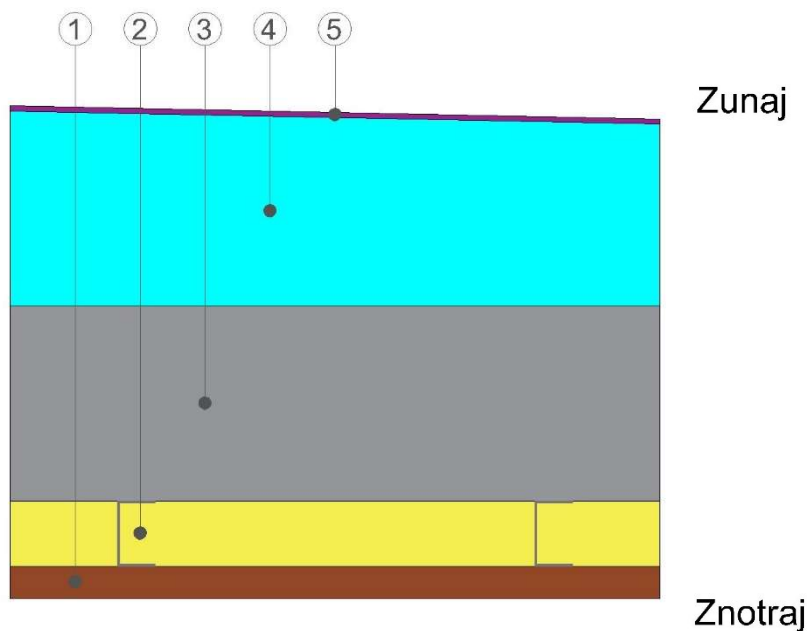
Slika 22: Sestava konstrukcijskega sklopa armiranobetonske stene.

Preglednica 23: Prikaz sestave po plasteh armiranobetonske stene s pripadajočimi vrednostmi toplotne prevodnosti, gostote, specifične prevodnosti in difuzijske upornosti.

		Debelina [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/mK]	Gostota ρ [kg/m ³]	Specifična prevodnost c [J/kgK]	Difuzijska upornost μ [s]
1	AB stena (vidni beton)	20,00	2,330	2500	960	90,0
2	Kamena volna	14,00	0,040	140	1030	1,0
3	Tankoslojna fasada	0,75	0,400	1200	1050	15,0
Skupaj:		34,75				

6.1.9 Armiranobetonska streha

Tako kot AB stena, tudi AB streha sestavlja ovoj AB jedra. Podatki o sestavi so prikazani na Sliki 23 in v Preglednici 25.



Slika 23: Sestava konstrukcijskega sklopa armiranobetonske strehe.

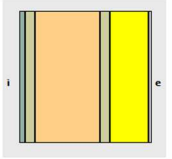
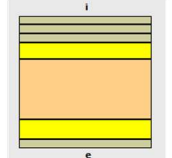
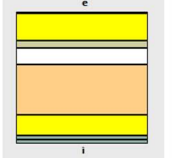
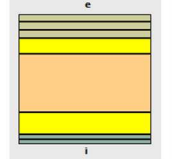
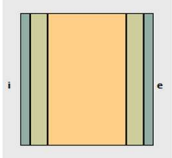
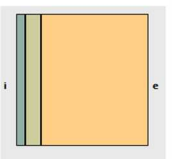
Preglednica 24: Prikaz sestave po plasteh armiranobetonske strehe s pripadajočimi vrednostmi toplotne prevodnosti, gostote, specifične prevodnosti in difuzijske upornosti.

		Debelina [cm]	Toplotna prevodnost λ [W/mK]	Gostota ρ [kg/m ³]	Specifična prevodnost c [J/kgK]	Difuzijska upornost μ [l]
1	Lesena obloga	2,50	0,210	900	840	12,0
2	Lahki izolativni filc	5,00	0,039	13	1030	1,1
3	AB plošča	15,00	2,330	2500	960	90,0
4	Ekstrudiran polistiren v naklonu	14,00	0,036	35	1500	80,0
5	PVC strešni trakovi	0,40	0,190	1200	960	20000,0
	Skupaj:	36,90				

6.2 1D analiza konstrukcijskih sklopov

Analizo konstrukcijskih sistemov smo opravili s programom URSA 4. Preglednica 26 prikazuje rezultate analize toplotne prehodnosti konstrukcijskih sklopov, ki v celoti ustrezajo omejitvam toplotne prehodnosti, ki jo predpisuje TSG4. Primerjava teže dejanskih konstrukcijskih sklopov in sklopov, ki smo jih uporabili pri statični analizi konstrukcije pokaže, da so vsi konstrukcijski sklopi razen strehe in medetažne konstrukcije nekoliko težji od predpostavljenih.

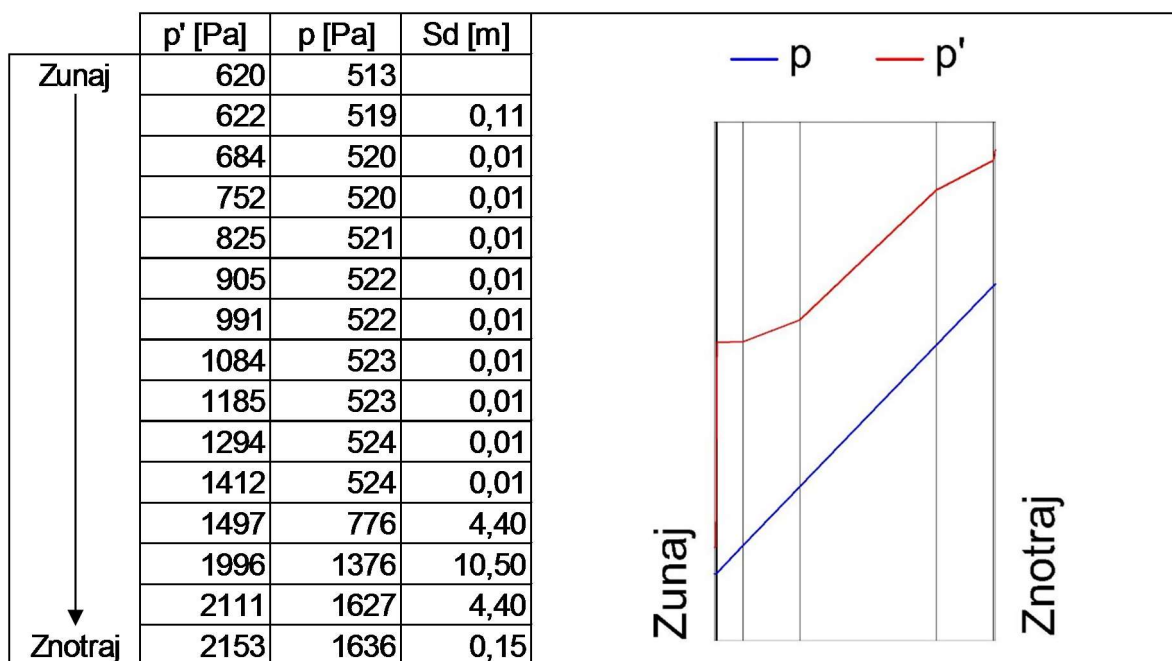
Preglednica 25: Rezultati 1D analize toplotna prehodnosti konstrukcijskih sklopov in primerjava teže dejanskega konstrukcijskega sklopa s predpostavljeno težo.

KS	Slika KS-ja	Toplotna prehodnost U [W/m^2K]	Maksimalna toplotna prehodnost po TSG4 U_{dop} [W/m^2K]	Teža KS-ja [kN/m^2]	Predpostavlje na teža KS-ja [kN/m^2]
Zunanja stena		0,267	0,280	0,822	0,607
Tla nad zunanjim zrakom		0,238	0,300	/*	/*
Streha		0,192	0,200	1,058	1,100
Medetažna konstrukcija		0,231	0,900	1,307	1,400
Predelna stena		0,836	0,900	0,539	0,514
Notranja nosilna stena		0,799	0,900	0,527	0,513

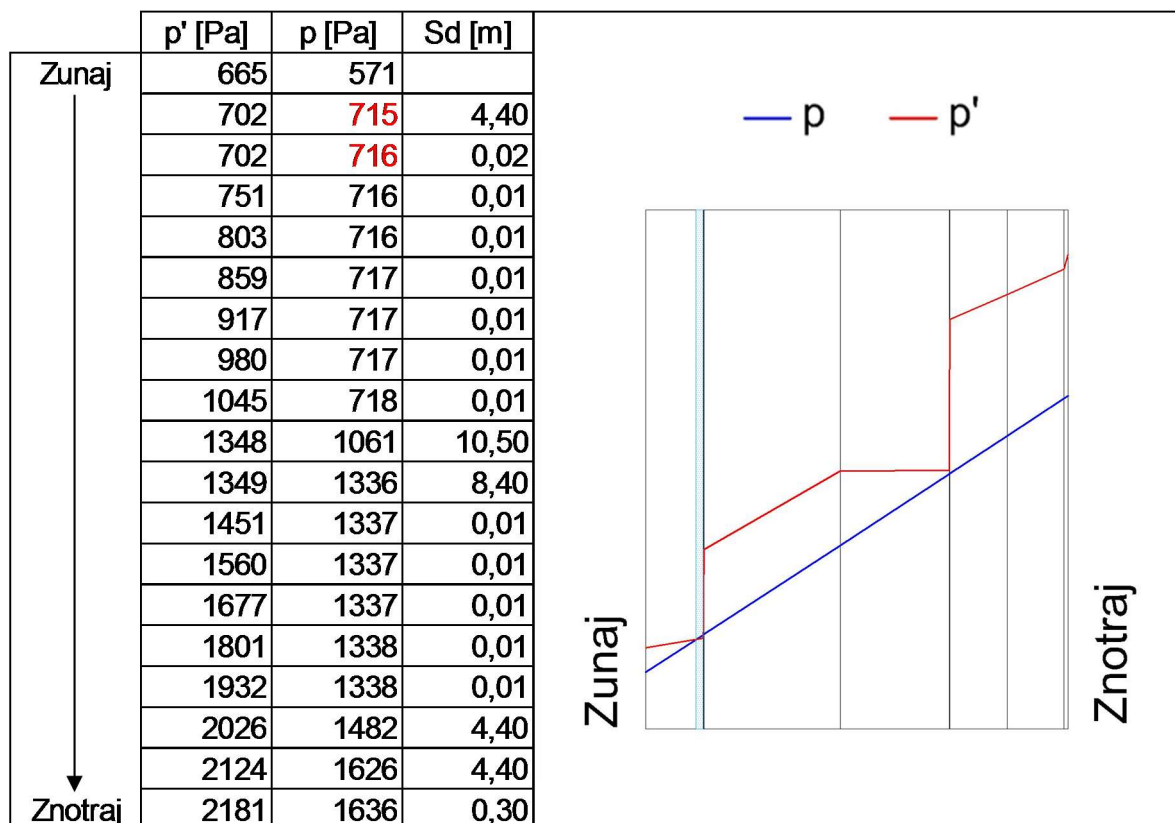
* Teže KS-ja nismo računali, ker je v statičnem izračunu konstrukcije zaradi njenega položaja nismo upoštevali.

Poleg analize toplotne prehodnosti konstrukcijskih sklopov smo konstrukcijske sklope analizirali tudi glede na prehodnost vodne pare. Difuzija vodne pare je pojav, ko v konstrukcijskem sklopu vlaga prehaja iz plasti z večjo nasičenostjo k plastem z manjšo nasičenostjo z vlago. Difuzni tok vodne pare spremlja toplotni tok, ki prehaja od bolj tople plasti k hladnejšim. Poznamo dva primera prehoda vodne pare. Prvi je ta, da vodna para prehaja čez vse plasti konstrukcijskega, pri tem pa ne pride do njenega izločanja. Take konstrukcijske sklope, ki omogočajo prost prehod vodne pare, imenujemo difuzijsko odprti. Pri takem KS se na notranji strani stene namesti parno oviro, ki uravnava prehod vodne pare skozi steno. Tak KS deluje na način, da vsak material od notranjosti proti zunanosti bolj prepušča vodno paro. Drugi način prehoda pa je, da se para kondenzira v enem ali več slojih KS. V tem primeru je potrebno izvesti dodatne kontrole. Določiti je treba, v katerih slojih se nabira vlaga, količino vlage, ki se nabere v KS, preveriti je potrebno, če celotna količina vlage izpari iz KS v času izsuševanja in ali lahko sloji KS, v katerih se nabira vlaga sprejmejo celotno količino vlage brez nevarnosti poškodb konstrukcije. Take KS imenujemo difuzijsko zaprti. Zaradi onemogočenega prehoda vodne pare od notranjosti proti zunanosti je potrebno pri takemu sistemu na notranjo stran KS vgraditi parno zaporo, ki preprečuje, da bi para iz prostora prešla v KS [38]. Preglednice 27, 28 in 29 prikazujejo izračun difuzije vodne pare analiziranih konstrukcijskih sklopov stavbnega ovoja zunanje stene, tal nad zunanjim zrakom in strehe, pri čemer oznaka p predstavlja delni tlak, p' pa nasičen tlak vodne pare.

Preglednica 26: Prikaz difuzije vodne pare skozi zunanjo steno.

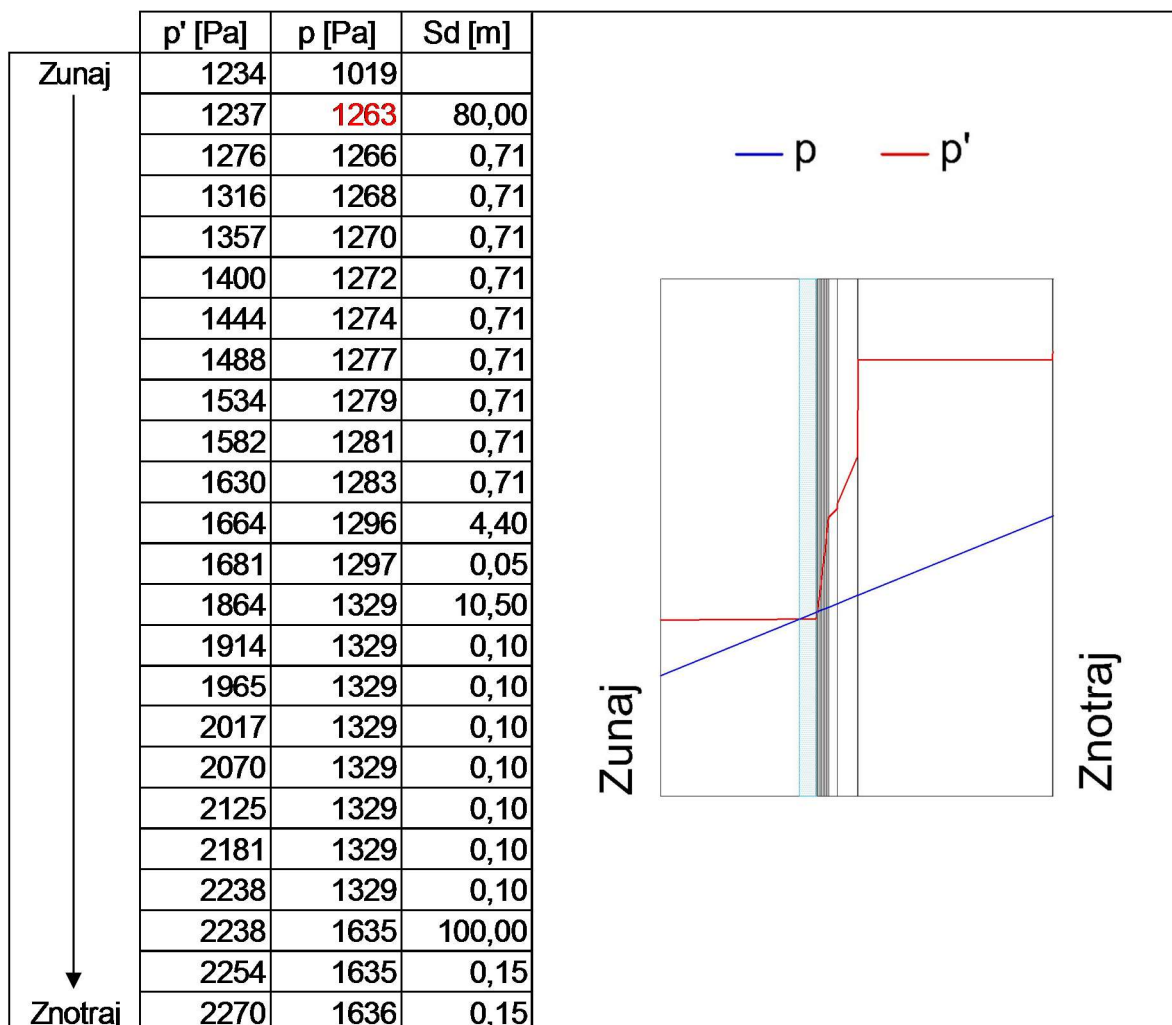


Preglednica 27: Prikaz difuzije vodne pare skozi tla nad zunanjim zrakom.



Kot lahko vidimo na grafu v Preglednici 28, pride v konstrukcijskem sklopu tal nad zunanjim zrakom do pojava kondenzacije. Kondenzacija se pojavi v plasti paropropustne folije. Količina kondenzirane vode, ki se v zimskem času nabere v plasti, znaša $0,003 \text{ kg/m}^2$. Potreben čas za izsušitev konstrukcijskega sklopa je 1,5 dneva, kar je manj, kot je razpoložljiv čas za izsuševanje v poletnem času.

Preglednica 28: Prikaz difuzije vodne pare strehe.



Iz Preglednice 29 lahko vidimo, da v konstrukcijskem sklopu strehe prav tako pride do kondenzacije. V zimskem času se v plasti med PVC strešnim trakom in ekstrudiranim polistirenom izloči $0,0139 \text{ kg/m}^2$ vodne pare. Izračunano število dni za izsušitev sklopa je 82 dni, kar je več kot 60 dni, ki so meja maksimalnega časa, v katerem se mora konstrukcijski sklop izsušiti. Nastali problem rešimo tako, da uporabljeno parno oviro zamenjamo za debelejšo (0,04 cm). Po omenjeni spremembi se je izračunano število dni za izsušitev sklopa zmanjšalo na 32 dni.

Iz analize difuzije vodne pare vidimo, da se samo v steni ne izloča vodna para. V obeh horizontalnih konstrukcijskih sklopih, se pravi pri tleh nad zunanjim zrakom in strehi, pa pride do izločanja, vendar je ta v mejah dovoljenega, zato oba konstrukcijska sklopa, kljub pojavljanju kondenzacije, ustrezata zahtevam TSG4 in PURES 2010.

6.3 2D analiza konstrukcijskih sklopov

Kot smo že omenili, smo 2D analizo konstrukcijskih sklopov izvedli v programu THERM 7.3. Prednost tega programa je v tem, da omogoča analizo endoskeletnih konstrukcijskih sklopov, zato lahko opravičeno pričakujemo, da bo največja razlika v toplotni prehodnosti ravno pri zunanji steni. Preglednica 27 prikazuje rezultate 2D analize konstrukcijskih sklopov stavbnega ovoja.

Preglednica 29: Rezultati 2D analize konstrukcijskih sklopov stavbnega ovoja.

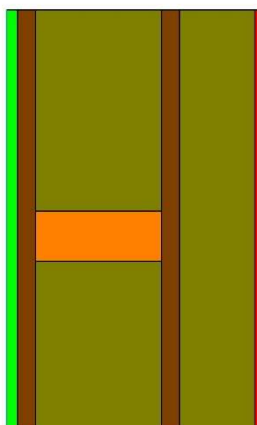
	Tla nad zunanjim zrakom	Zunanja stena	Streha
U [W/m ² K]	0,248	0,180	0,198

Preglednica 30: Primerjava rezultatov 1D in 2D analize konstrukcijskih sklopov stavbnega ovoja z mejnimi vrednostmi TSG4.

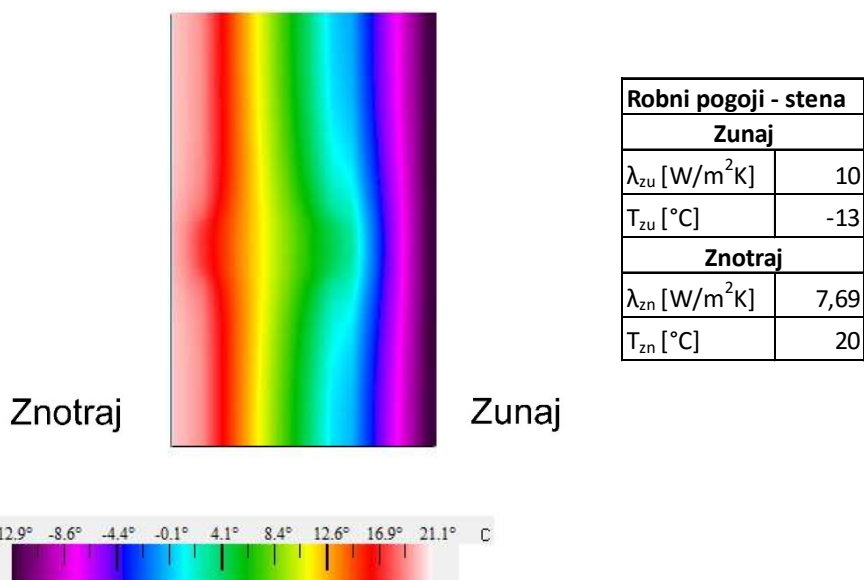
	1D	2D	TSG-1-004
U _{tla} [W/m ² K]	0,238	0,248	0,300
U _{stena} [W/m ² K]	0,267	0,180	0,280
U _{streha} [W/m ² K]	0,192	0,198	0,200

Primerjava analiz 1D in 2D (Preglednica 28) pokaže, da sta U faktorja eksoskeletnih konstrukcij tal in strehe, dobljena z 1D analizo manjša od U faktorjev dobljenih z 2D analizo. Do enake ugotovitve je prišla tudi Zavrl Eva, ki je v svoji diplomski nalogi primerjala enodimenzionalno in dvodimenzionalno analiziranje konstrukcijskih sklopov glede na prehod toplote. Ugotovila je, da se razlika med 1D in 2D analizo pojavi, ker programi za izračun toplotne prehodnosti po 1D metodi ne upoštevajo vpliva nehomogenosti sklopa oz. toplotnih mostov. Pravi tudi, da lahko slabosti poenostavljenega izračuna po 1D metodi pri analizi eksoskeletnih konstrukcij spregledamo. Pri analiziranju endoskeletnih sklopov pa priporoča uporabo 2D metode, saj so rezultati dobljeni z 2D analizo velikokrat boljši od rezultatov 1D analize [39]. V našem primeru se to izboljšanje rezultata endoskeletnega sklopa vidi pri primerjavi dobljenih U faktorjev analiz zunanje stene. Vidimo, da je rezultat dobljen z 2D analizo za 48 odstotkov nižji od rezultata 1D

analize. Iz Preglednice 31 lahko vidimo, da kljub povečanju U faktorjev, konstrukcijska sklopa tal in strehe ustrezata pogojem TSG4. Slika 24 prikazuje računski model 2D analize konstrukcijskega sklopa zunanje stene, po drugi strani pa Slika 25 prikazuje razpored temperature skozi prerez konstrukcijskega sklopa in robne pogoje, ki smo jih uporabili pri analizi. Robni pogoji so na vsaki strani konstrukcijskega sklopa določeni s toplotno prevodnostjo zračne plasti λ in projektno temperaturo T.



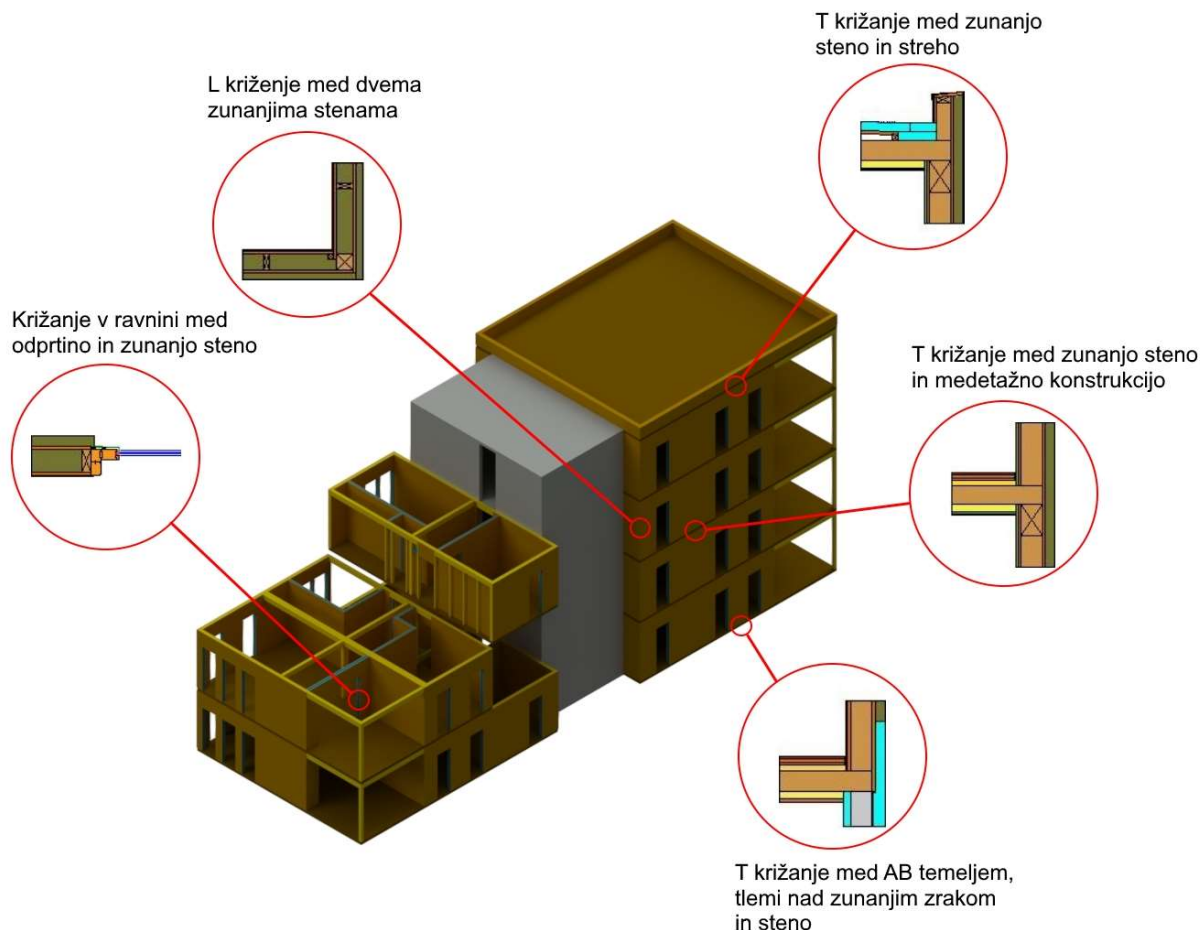
Slika 24: Prikaz računskega modela 2D analize konstrukcijskega sklopa zunanje stene.



Slika 25: Prikaz temperaturne razporeditve skozi prerez konstrukcijskega sklopa zunanje stene ter robnih pogojev.

7 KRIŽANJA KONSTRUKCIJSKIH SKLOPOV

Križanje nastane tam, kjer pride do stikanja dveh ali več različnih konstrukcijskih sklopov. Križanje lahko poteka v eni ali več ravninah. Osnovna naloga pri izpeljevanju križanj je, da povežemo plasti konstrukcijskih sklopov in da skozi križanje potekajo neprekinjeno. S tem preprečimo toplotne mostove, zamakanje zaradi prekinjene hidroizolacije, širjenje zvoka po konstrukciji itd. Slika 26 prikazuje križanja, ki smo jih podrobneje analizirali z 2D metodo. Preverili smo križanje v ravnini med odprtino in zunanjo steno, T križanje med AB temeljem, tlemi nad zunanjim zrakom in zunanjo steno, L križanje med dvema zunanjima stenama ter T križanje med zunanjo steno in streho. Na sliki je prikazano tudi T križanje med zunanjo steno in medetažno konstrukcijo. To križanje je sicer najbolj pogosto v stavbnem ovoju naše stavbe, vendar ga zaradi njegove enostavne geometrije nismo podrobneje analizirali.

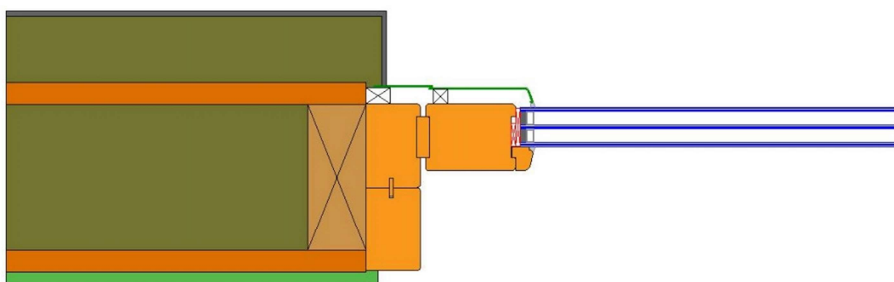


Slika 26: Prikaz križanj, ki se pojavljajo v stavbnem ovoju.

7.1 2D analiza križanj konstrukcijskih sklopov

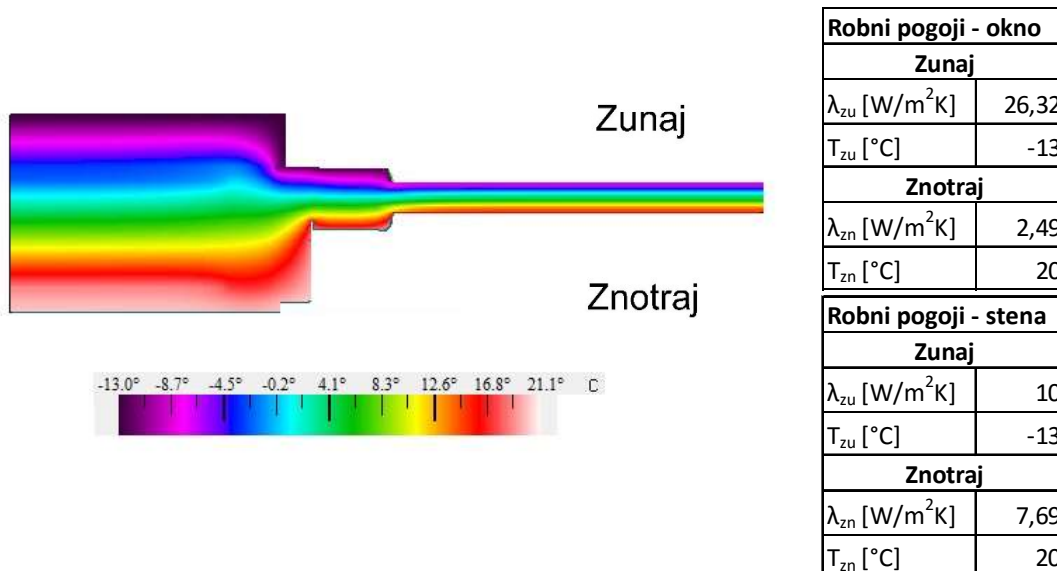
7.1.1 Križanje v ravnini med zunanjo steno in odprtino

Križanje med zunanjo steno in odprtino je eno od najzahtevnejših križanj stavbnega ovoja, saj moramo plasti toplotne in hidroizolacije priklopiti na okenski okvir tako, da se ne ustvari linijski toplotni mostovi, oziroma da ne pride do zamakanja v notranjost konstrukcijskega sklopa. Prav tako je pomembna tudi zrakotesnost spoja. Slika 27 prikazuje križanje med zunanjo steno in fiksnim delom dvižno pomičnega okna.



Slika 27: Križanje v ravnini med zunanjo steno in odprtino.

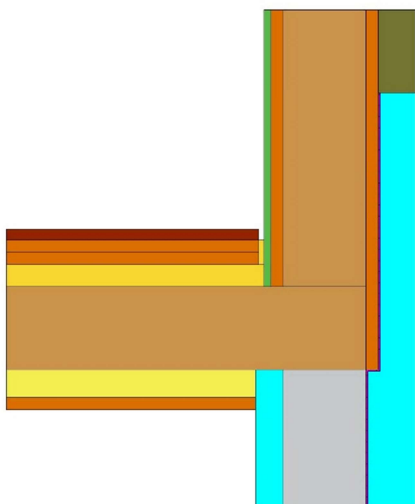
Analiza križanja pokaže, da temperatura prehaja preko prereza brez večjih anomalij in da pri spajanju odprtine ter nosilne stene ne pride do linijskega toplotnega mostu. Razpored temperature po prerezu prikazuje Slika 28.



Slika 28: Prikaz razporeda temperature preko prereza križanja v ravnini med zunanjo steno in odprtino ter robnih pogojev križanja. V preglednicah z robnimi pogoji λ predstavlja toplotno prevodnost zračne plasti, T pa projektno temperaturo.

7.1.2 T križanje med zunanjo steno, tlemi nad zunanjim zrakom in linijskim AB temeljem

Obravnavano križanje ima en šibek element in to je AB temelj, saj ima občutno višji faktor toplotne prevodnosti λ ($\lambda_{AB} = 2,330 \text{ W/mK}$) od ostalih elementov križanja. Prav zaradi tega, smo morali biti pri konstruiranju tega križanja pozorni, da se nam ne bi ustvaril linijski toplotni most. To težavo smo rešili tako, da smo AB temelj dodatno izolirali z ekstrudiranim polistirenom. Prav tako pa smo morali med AB temelj in križno lepljeno ploščo umestiti ločilno plast, ki onemogoča prehod vlage z AB temelja na nosilno konstrukcijo tal nad zunanjim zrakom. Slika 29 prikazuje T križanje med zunanjo steno, tlemi nad zunanjim zrakom in AB temeljem.

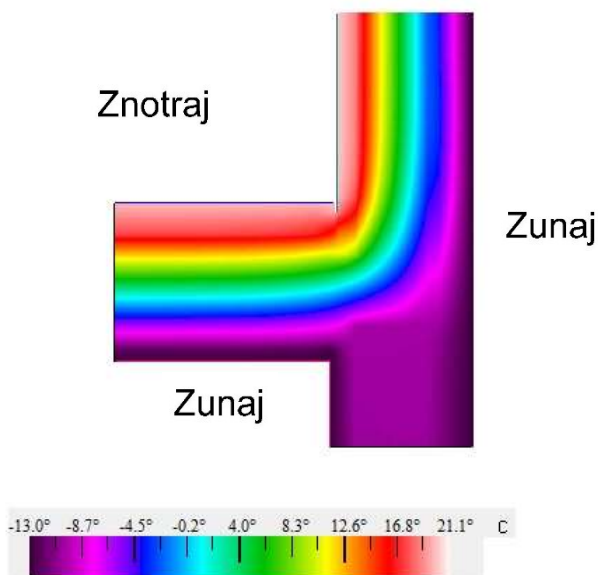


Slika 29: T križanje med zunanjo steno, tlemi nad zunanjim zrakom in AB temeljem.

Analiza konstrukcije pokaže, da v obravnavanem križanju ne formira linijski toplotni most, kar je tudi lepo razvidno s Slike 30, ki prikazuje razpored toplote skozi prerez križanja.

Robni pogoji - stena	
Zunaj	
λ_{zu} [W/m ² K]	10
T_{zu} [°C]	-13
Znotraj	
λ_{zn} [W/m ² K]	7,69
T_{zn} [°C]	20

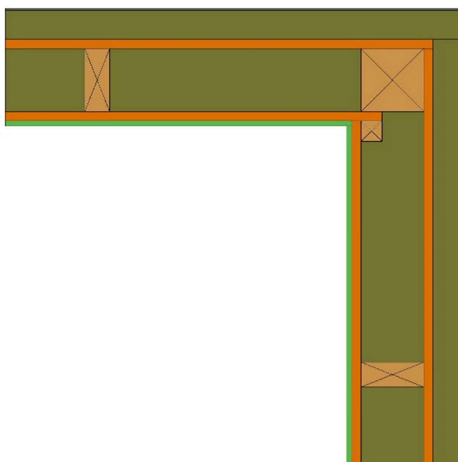
Robni pogoji - tla	
Zunaj	
λ_{zu} [W/m ² K]	25
T_{zu} [°C]	-13
Znotraj	
λ_{zn} [W/m ² K]	5,88
T_{zn} [°C]	20



Slika 30: Prikaz razporeda temperature preko prereza T križanja med zunanjo steno, tlemi nad zunanjim zrakom in AB temeljem ter robnih pogojev križanja. V preglednicah z robnimi pogoji λ predstavlja toplotno prevodnost zračne plasti, T pa projektno temperaturo.

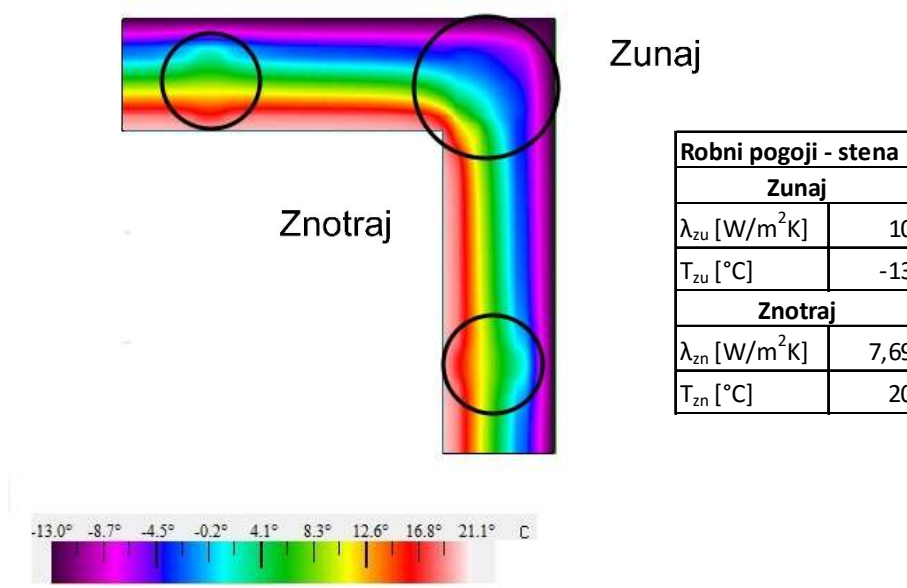
7.1.3 L križanje med dvema zunanjima stenama

Križanje med dvema zunanjima stenama, ki je prikazano na Sliki 31, je v našem primeru drugo najpogostejše križanje v stavbnem ovoju, takoj za križanjem med zunanjo steno in medetažno konstrukcijo. Dolžinsko je takih križanj v ovoju naše zasnovane stavbe 134,4 m¹. Samo križanje je zelo enostavno, bi pa ob morebitnem pojavu linijskega toplotnega mostu lahko izgubili veliko toplotne energije. To je tudi razlog, zakaj smo se odločili preveriti to križanje.



Slika 31: L križanje med dvema zunanjima stenama.

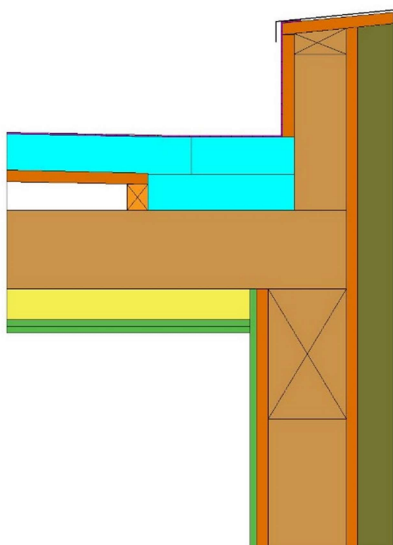
Analiza križanja pokaže, da tudi pri križanju dveh zunanjih sten ne pride do formiranja linijskega toplotnega mostu. Tak rezultat smo tudi pričakovali, saj smo bili že pri zasnovi konstrukcijskih sklopov pozorni na potencialno možnost nastanka linijskega toplotnega mostu ter zaradi tega del toplotne izolacije predstavili na zunanjo plast stavbnega ovoja. Na Sliki 32 lahko vidimo, kako pride na mestih nosilne konstrukcije do odklona izotermnih linij. Ta mesta so na Sliki 32 označena s črnimi krogi. Odkloni so posledica večjega U faktorja konstrukcijskega sklopa na mestih, kjer je umeščena nosilna konstrukcija.



Slika 32: Prikaz razporeda temperature preko prereza L križanja med dvema zunanjima stenama ter robnih pogojev križanja. V preglednici z robnimi pogoji λ predstavlja toplotno prevodnost zračne plasti, T pa projektno temperaturo.

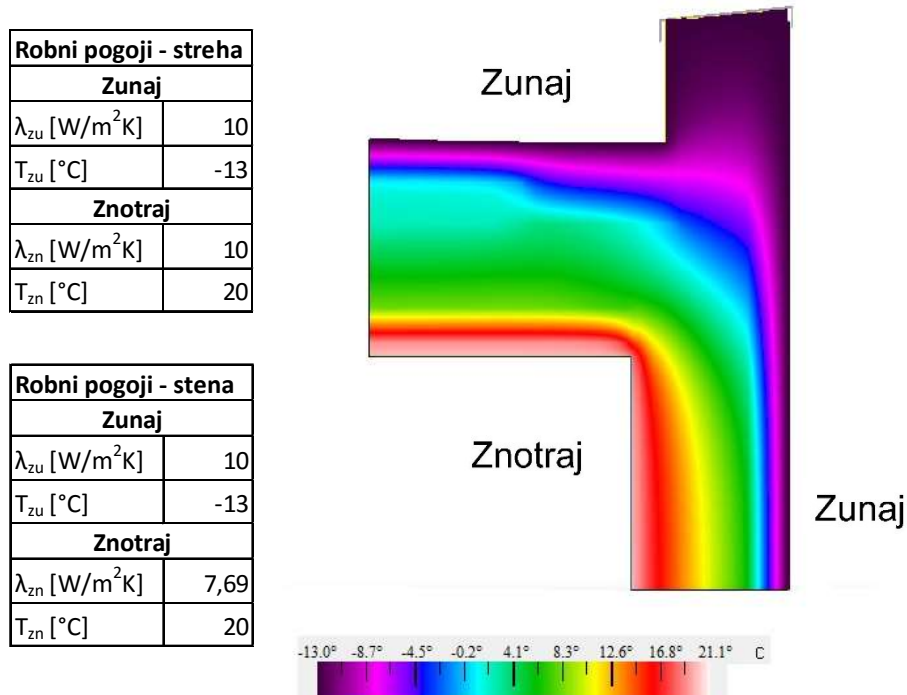
7.1.4 T križanje med zunanjo steno in strešno konstrukcijo

Križanje med streho in zunanjo steno zna biti zelo zahtevno, saj združujemo dva najpomembnejša elementa stavbnega ovoja. Problem se največkrat pojavi pri križanju zunanje stene z ravno streho. Pri takem križanju moramo paziti na pravilne prehode toplotne izolacije, da se izognemo formiranju že večkrat omenjenega linijskega toplotnega mostu in pravilno namestitvev hidroizolacije, da ne bi prišlo do zamakanja. V našem primeru smo za zvezen prehod na robu strehe konstruirali atiko. Ta »podaljšek« stene nam omogoča kontinuiran prehod plasti toplotne in hidroizolacije z enega konstrukcijskega sklopa na drugega (Slika 33).



Slika 33: L križanje med zunanjo steno in streho.

Podobno kot pri ostalih križanjih (Slike 28, 30 in 32) analiza pokaže, da se pri križanju zunanje stene in strehe zaradi pravilne izvedbe toplotne izolacije ne pojavi linijski toplotni most. Potrebno je povedati, da ima ravna strešna konstrukcija, z delno ali celotno toplotno izolacijo na zunanji strani konstrukcijskega sklopa, potencialno višjo možnost nastanka točkovnih toplotnih mostov na mestih odvodnjavanja vode s strehe, saj je na teh mestih po navadi toplotna izolacija najtanjša, dodatno pa jo zmanjšujejo še odtočni sifoni in cevi. Slika 34 prikazuje razporeditev temperature preko prereza križanja.



Slika 34: Prikaz razporeda temperature preko prereza L križanja med zunanjo steno in strešno konstrukcijo ter robnih pogojev križanja. V preglednicah z robnimi pogoji λ predstavlja toplotno prevodnost zračne plasti, T pa projektno temperaturo.

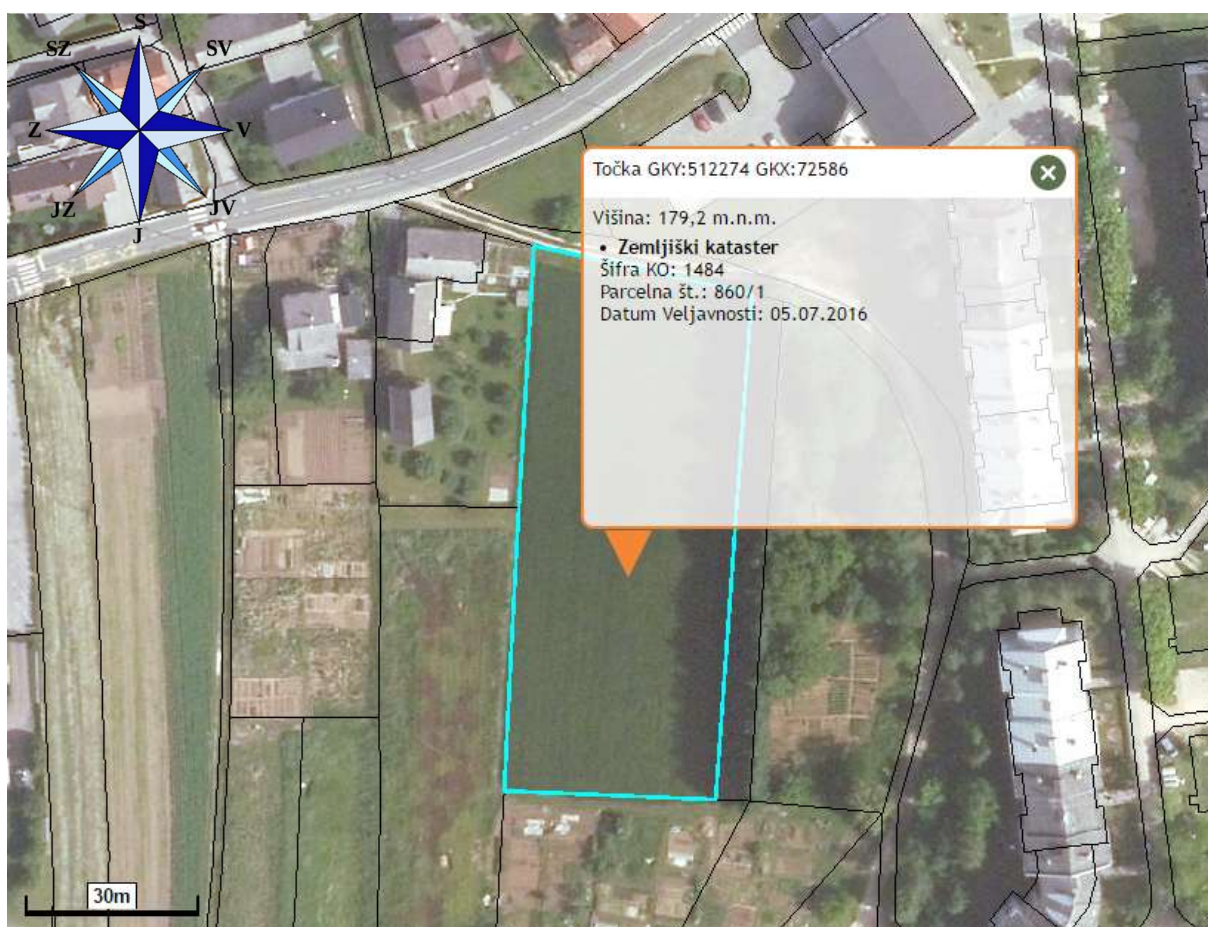
2D analiza pokaže, da v nobenem od križanj ne pride do pojava linijskega toplotnega mostu. Dobljeni rezultat je pričakovan, saj smo bili že pri konstruiranju križanj pozorni na morebitne šibke točke pri prehodu toplotne izolacije z enega konstrukcijskega sklopa na drugega. Prav tako morajo imeti križanja pravilno izvedeno hidroizolacijo. Te lastnosti s programom THERM ne moremo preveriti, lahko pa vodotesnost preverimo s hitrim pregledom detajlov izvedenih križanj, ki pokaže, da nimamo v nobenem primeru križanja prekinjene hidroizolacije, kar pomeni, da so ta ustrezno izvedena.

8 ENERGETSKA BILANCA CELOTNE STAVBE

8.1 Vhodni podatki

8.1.1 Lokacija stavbe

Naš objekt je lociran na Ulici Slavka Gruma v Novem mestu. V tem delu mesta prevladujejo večstanovanjske visoke stavbe, ki so zgrajene po klasičnih metodah gradnje. Na Sliki 35 vidimo, da je orientacija parcele S-J, V-Z.



Slika 35: Prikaz parcele v realnem okolju na kateri želimo postaviti naš objekt [40].

Na Sliki 35 prav tako vidimo, da so na vzhodnem delu parcele visoka drevesa, ki smo jih v izračunu energetske bilance pri oknih vzhodne fasade upoštevali kot senčenje zunanjih ovir. Podatki o parceli so podani v Preglednici 32.

Preglednica 31: Podatki o lokaciji izbrane parcele.

Katastrska občina	Šmihel pri Novem mestu	
Številka parcele	860/1	
Lokacija (X,Y)	75586 N	512273 E

8.1.2 Klimatski pogoji

Klimatski pogoji so odvisni od koordinat lokacije objekta oziroma parcele, na kateri bo stal objekt. S spreminjanjem lokacije stavbe se spreminjajo povprečna zunanja temperatura in vlažnost, projektna temperatura, dobitki sončnega sevanja ter dnevni temperaturni primanjkljaj. Program URSA 4 z izbiro koordinat lokacije stavbe avtomatsko določi klimatske podatke. Podatki za izbrano lokacijo obravnavane stavbe so podani v Preglednicah 33 do 36.

Preglednica 32: Klimatski pogoji na izbrani lokaciji obravnavane stavbe.

Temperaturni primanjkljaj [danK]	3100	
Začetek kurilne sezone [dan]	265	22.09.
Konec kurilne sezone [dan]	135	15.05.
Energija sončnega obsevanja [kWh/m²]	1160	
Projektna temperatura [°C]	-13,0	
Povprečna letna temperatura [°C]	10,1	
Povprečna mesečna zunanja temperatura najhladnejšega meseca [°C]	0,0	
Povprečna mesečna zunanja temperatura najtoplejšega meseca [°C]	20,0	

Preglednica 33: Podatki o povprečni mesečni temperaturi, relativni vlažnosti ter podatki o številu ogrevanih oziroma ohlajevalnih dni glede na mesec v letu.

	Θ_{mm} [°C]	φ_{mm} [%]	Ogrevanje [dan]	Hlajenje [dan]
Januar	0,0	84,0	31	0
Februar	2,0	78,0	28	0
Marec	6,0	73,0	31	0
April	10,0	71,0	30	0

»se nadaljuje...«

»nadaljevanje Preglednice 34«

Maj	15,0	72,0	15	16
Junij	18,0	73,0	0	30
Julij	20,0	73,0	0	31
Avgust	19,0	77,0	0	31
September	15,0	81,0	4	26
Oktober	10,0	83,0	31	0
November	5,0	85,0	30	0
December	1,0	87,0	31	0
Povprečje/Skupaj	10,1	78,1	231	134

Θ_{mm} – povprečna mesečna zunanja temperatura [°C]

φ_{mm} – povprečna mesečna relativna vlažnost [%]

Preglednica 34: Podatki o globalnem sončnem sevanju [W/m²] izbrane lokacije za navpične konstrukcije v odvisnosti od orientacije stavbe in meseca v letu.

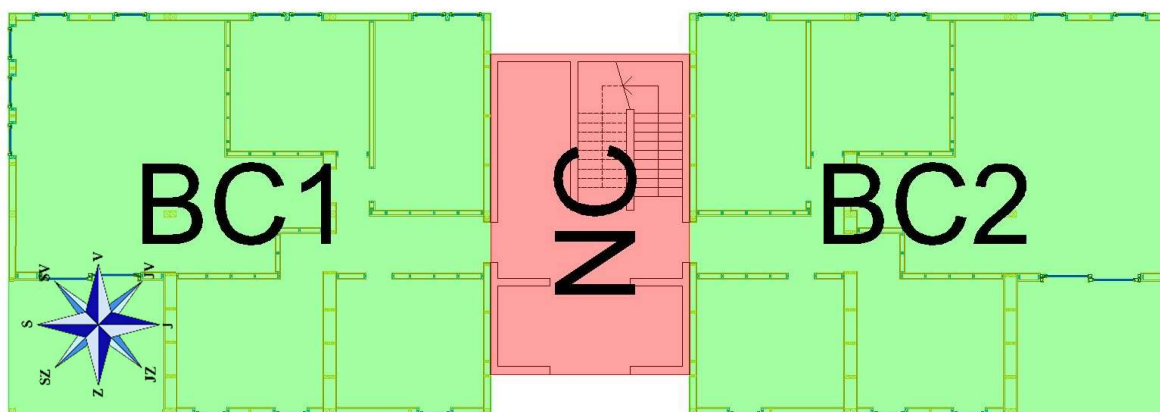
	Orientacija							
	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ
Januar	295	307	568	1123	1602	1353	740	320
Februar	454	497	938	1681	2342	2071	1276	584
Marec	645	823	1397	1978	2369	2179	1591	896
April	1053	1446	2062	2377	2371	2371	2052	1439
Maj	1189	1737	2351	2412	2109	2261	2173	1635
Junij	1450	1911	2410	2366	2077	2417	2499	1984
Julij	1322	1850	2503	2550	2245	2584	2618	1979
Avgust	1036	1490	2184	2480	2415	2545	2296	1584
September	809	1035	1618	2159	2446	2267	1722	1075
Oktober	572	649	1025	1566	1951	1674	1096	643
November	369	389	625	1040	1275	1012	600	381
December	273	280	495	922	1200	945	509	277

Preglednica 35: Podatki o globalnem sončnem sevanju [W/m^2] izbrane lokacije za vodoravne konstrukcije v odvisnosti od orientacije stavbe in meseca v letu.

	Orientacija							
	S	SV	V	JV	J	JZ	Z	SZ
Januar	1049	1049	1049	1049	1049	1049	1049	1049
Februar	1903	1903	1903	1903	1903	1903	1903	1903
Marec	2804	2804	2804	2804	2804	2804	2804	2804
April	4132	4132	4132	4132	4132	4132	4132	4132
Maj	4854	4854	4854	4854	4854	4854	4854	4854
Junij	5414	5414	5414	5414	5414	5414	5414	5414
Julij	5710	5710	5710	5710	5710	5710	5710	5710
Avgust	4750	4750	4750	4750	4750	4750	4750	4750
September	3426	3426	3426	3426	3426	3426	3426	3426
Oktober	2053	2053	2053	2053	2053	2053	2053	2053
November	1114	1114	1114	1114	1114	1114	1114	1114
December	836	836	836	836	836	836	836	836

8.2 Delitev objekta na cone

Stavbo smo razdelili na tri kondicionirane cone, ki so predstavljene na Sliki 36. Dve coni sta bivalni (v nadaljevanju BC), ena cona pa je ne bivalna (v nadaljevanju NC). BC in NC se med seboj razlikujeta po režimu ogrevanja in hlajenja, ter po notranjih projektnih temperaturah.



Slika 36: Prikaz delitve objekta na cone.

8.2.1 Bivalna cona 1, stanovanjski del

BC1 je sestavljena iz štirih enakih stanovanj. Cona ima okna orientirana proti vzhodu, severu in zahodu. Vsi podatki o coni BC1 so prikazani v Preglednici 37 in 38.

Preglednica 36: Splošne lastnosti bivalne cone 1.

Opis cone	BC 1, stanovanjski del
Ogrevana prostornina cone, V_e [m³]	1382,5
Neto uporabna površina cone, A_u [m²]	377,96
Projektna notranja T, pozimi [°C]	20
Projektna notranja T, poleti [°C]	26
Povprečna moč notranjih virov [kW]	1,5
Vrsta prezračevanja	Mehansko z vračanjem toplote odpadnega zraka
Izkoristek izmenjave toplote prezračevanja	90%
Urna izmenjava zraka z zunanjim okoljem, n [h⁻¹]	0,5

Preglednica 37: Sestava ovoja cone BC1.

Zunanja stena					
Površina netransparentnega dela, A [m ²]	350,83				
Toplotna prehodnost, U [W/m ² K]	0,267				
Streha					
Površina, A [m ²]	108,00				
Toplotna prehodnost, U [W/m ² K]	0,192				
Tla nad zunanjim zrakom					
Površina, A [m ²]	108,00				
Toplotna prehodnost, U [W/m ² K]	0,238				
Odprtine v zunanjem ovoju stavbe	S	J	V	Z	
Površina odprtine, A_w [m ²]	21,12	0	42,24	21,12	27,50
Toplotna prehodnost, U_w [W/m ² K]	1,17	0	1,17	1,17	1,03
Faktor prehoda celotnega sončnega sevanja, $g_{gl,w}$ [/]	0,55	0	0,55	0,55	0,55
Faktor okvirja F_f	0,64	0	0,64	0,64	0,67

8.2.2 Bivalna cone 2, stanovanjski del

BC2 je prav tako sestavljena iz štirih enakih stanovanj. Od BC1 se razlikuje po orientaciji oken, saj so orientirana proti vzhodu, jugu in zahodu. Podatki o BC2 so prikazani v Preglednici 39 in 40.

Preglednica 38: Splošne lastnosti bivalne cone 2.

Opis cone	BC 2, stanovanjski del
Ogrevana prostornina cone, V_e [m³]	1382,5
Neto uporabna površina cone, A_u [m²]	377,96
Projektna notranja T, pozimi [°C]	20
Projektna notranja T, poleti [°C]	26
Povprečna moč notranjih virov [kW]	1,5
Vrsta prezračevanja	Mehansko z vračanjem toplote odpadnega zraka
Izkoristek izmenjave toplote prezračevanja	90%
Urna izmenjava zraka z zunanjim okoljem, n [h⁻¹]	0,5

Preglednica 39: Sestava ovoja cone BC2.

Zunanja stena	
Površina netransparentnega dela, A [m ²]	350,83
Toplotna prehodnost, U [W/m ² K]	0,267
Streha	
Površina, A [m ²]	108,00
Toplotna prehodnost, U [W/m ² K]	0,192
Tla nad zunanjim zrakom	
Površina, A [m ²]	108,00
Toplotna prehodnost, U [W/m ² K]	0,238

»se nadaljuje ...«

»nadaljevanje Preglednice 40«

Odprtine v zunanjem ovoju stavbe	S	J	V	Z	
Površina odprtine, A_w [m ²]	0	21,12	42,24	21,12	27,50
Toplotna prehodnost, U_w [W/m ² K]	0	1,17	1,17	1,17	1,03
Faktor prehoda celotnega sončnega sevanja, $g_{gl,w}$ [/]	0	0,55	0,55	0,55	0,55
Faktor okvirja F_f	0	0,64	0,64	0,64	0,67

8.2.3 Nebivalna cona, stopnišče

NC ima drugačen režim ogrevanja od BC1 in BC2, saj je cona namenjena vertikalnemu povezovanju med stanovanji. V coni se nahaja stopnišče in dvigalo. Natančnejši podatki o coni so podani v Preglednici 41 in 42.

Preglednica 40: Splošne lastnosti nebivalne cone.

Opis cone	NC, stopnišče
Ogrevana prostornina cone, V_e [m³]	542,0
Neto uporabna površina cone, A_u [m²]	136,2
Projektna notranja T, pozimi [°C]	16
Projektna notranja T, poleti [°C]	27
Povprečna moč notranjih virov [kW]	0
Vrsta prezračevanja	Naravno
Izkoristek izmenjave toplote prezračevanja	0%
Urna izmenjava zraka z zunanjim okoljem, n [h⁻¹]	0,5

Preglednica 41: Sestava ovoja cone NC.

Zunanja stena	
Površina netransparentnega dela, A [m ²]	93,26
Toplotna prehodnost, U [W/m ² K]	0,265
Streha	
Površina, A [m ²]	40,00
Toplotna prehodnost, U [W/m ² K]	0,199

»se nadaljuje ...«

»nadaljevanje Preglednice 42«

Odprtine v zunanjem ovoju stavbe	S	J	V	Z
Površina odprtine, A_w [m ²]	0	0	21,12	21,12
Toplotna prehodnost, U_w [W/m ² K]	0	0	1,17	1,17
Faktor prehoda celotnega sončnega sevanja, $g_{gl,w}$ [/]	0	0	0,55	0,55
Faktor okvirja F_f	0	0	0,64	0,64

8.3 Prezračevalne izgube

Za prezračevanje BC1 in BC2 smo izbrali mehansko prezračevanje z vračanjem toplote odpadnega zraka. Izbrana stopnja izmenjave zraka je 0,50 1/h. Izkoristek sistema je 90-odstoten in porabi 0,09 W električne energije pri izmenjavi m³ zraka na uro [W/(m³/h)] [41]. Prezračevanje v NC je naravno.

8.4 Priprava tople vode

Primarni sistem za gretje tople vode je toplotna črpalka skupaj z električnim grelcem, ki je vgrajen v hranilnik tople vode. V izračunu energetske bilance smo upoštevali, da zagotavljamo pripravo tople vode v BC1 in BC2. Toplo vodo zagotavljamo vseh sedem dni v tednu.

8.5 Toplotna črpalka

Stavbo ogrevamo s toplotno črpalko zrak/voda. Upoštevali smo, da toplotna črpalka segreva ogrevalni medij na 55 °C/45 °C. Skupna moč toplotnih črpalk, ki ogrevajo stavbo in toplo vodo, je 89,8 kW (COP = 4,88) [42]. Ostali podatki o toplotni črpalki so prikazani v Preglednici 43.

Preglednica 42: Temperature delovanja toplotne črpalke [42].

$\Theta_{op,TC}$ - najvišja temperatura delovanja toplotne črpalke [°C]	55
Θ_{itc} - spodnja temperaturna meja izklopa delovanja toplotne črpalke [°C]	-15
Θ_{bp} - bivalentna točka [°C]	-4

8.6 Dovedena energija za hlajenje

Toplotne črpalke, ki smo jih uporabili za ogrevanje stavbe, uporabimo tudi za hlajenje. Toplotno črpalko, s katero lahko ogrevamo in ohlajamo prostore, imenujemo inverterska toplotna

črpalka. V vseh conah dovoljujemo najvišjo notranjo temperaturo 26 °C. Predvideli smo, da je temperatura medija hladilnega sistema 8 °C/14 °C. Faktor energetske učinkovitosti našega sistema je 3,07 kW/kW [42].

8.7 Razsvetljava

Pri izračunu energije, ki je potrebna za razsvetljavo, smo upoštevali poenostavljen izračun letno dovedene energije za stanovanjske stavbe. Za našo stavbo smo izbrali pretežno uporabo sijalk.

8.8 Rezultati energetske bilance

Oblika stavbe ima pri izračunu energetske bilance velik vpliv, saj se skozi stavbni ovoje izgubi največ toplote, zato je potrebno strmeti h gradnji stavb s čim manjšim faktorjem oblike. Faktor oblike f_o je razmerje med površino stavbnega ovoja A in neto volumnom ogrevane prostornine V_e stavbe [10]. V Preglednici 44 sta prikazani površini, volumen in oblikovni faktor naše stavbe, ki imajo direktni vpliv na končni rezultat energetske bilance naše stavbe.

Preglednica 43: Podatki o oblikovnih lastnostih celotne stavbe.

A_u – Uporabna površina stavbe [m ²]	892,12
V_e – Ogrevalna prostornina [m ³]	3307,00
A – Površina stavbnega ovoja [m ²]	1523,50
f_o – Oblikovni faktor [m ⁻¹]	0,46

PURES 2010 določa največje dovoljene vrednosti, ki jih stavba ne sme preseči, da jo lahko opredelimo kot energetsko učinkovito. V Preglednici 45 lahko vidimo primerjavo izračunanih kazalnikov energetske učinkovitosti stavbe z največjimi dovoljenimi vrednostmi iz PURES 2010.

Preglednica 44: Parametri oziroma kazalniki učinkovite rabe energije.

	Izračunani	Največji dovoljeni
H'_T - Koeficient specifičnih transmisijских toplotnih izgub stavbe [W/m ² K]	0,398	0,443
Q_P – Letna poraba primarne energije [kWh]	87696,51	161939,41
Q_{NH} – Letna potrebna toplota za ogrevanje [kWh]	24379,86	25158,68
Q_{NC} – Letni potrebni hlad za hlajenje [kWh]	6286,77	44606,00
Q_{NH}/A_u – Letna potrebna toplota za ogrevanje na enoto neto uporabne površine [kWh/m ² a]	27,33	28,20
f_{OVE} - Delež obnovljivih virov energije [%]	27 (toplota okolice)	
Letni izpust CO ₂ [kg]	18406,80	

Ostale izračunane vrednosti energetske bilance stavbe so podane v Preglednici 46.

Preglednica 45: Izračunane transmisijske in prezračevalne izgube ter izračunani notranji dobitki in dobitki sončnega sevanja.

L_D – Transmisijske izgube [W/K]	606,94
H_v – Izgube zaradi prezračevanja [W/K]	111,32
Q_i – Notranji dobitki [W]	3023,68
Dobitki sončnega sevanja - ogrevanje [kWh]	12513
Dobitki sončnega sevanja - hlajenje [kWh]	12099

Rezultati, izračunani s programom URSA 4, nakazujejo na to, da smo skonstruirali energetsko učinkovito stavbo, saj so vsi kazalniki učinkovite rabe energije znotraj vrednosti, ki jih pripisuje pravilnik PURES 2010. Bolj nazoren pregled na to, kako energetsko učinkovita je naša stavba, nam prikaže računski energetski izkaznica.

8.9 Energetska izkaznica

Vsebino in obliko energetske izkaznice stavbe določa Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb [43]. Poleg vsebine in oblike energetske izkaznice pravilnik določa tudi metodologijo za izdelavo in izdajo energetske izkaznice ter vsebino podatkov, način vodenja registra energetskih izkaznic in način prijave energetske izkaznice za vpis v register. Pravilnik prav tako določa podrobnejšo vsebino, obliko, metodologijo in roke za nadzor nad izdanimi energetskimi izkaznicami ter vrste stavb, za katere velja obveznost namestitve energetske izkaznice na vidno mesto v skladu z 11. členom Direktive 2010/31/EU Evropskega parlamenta in Sveta z dne 19. maj 2010 o energetske učinkovitosti stavb (UL L št. 153 z dne 18. 6. 2010, str. 153) [43]. Na Sliki 37 in 38 je prikazana računsko energetska izkaznica za obravnavano stavbo.

ENERGETSKA IZKAZNICA STAVBE

Podatki o stavbi

Št. izkaznice: / Velja do: /

Vrsta izkaznice: **računska**

Vrsta stavbe: **stanovanjska**

Naziv stavbe: **modularna stavba**

Identifikacijska oznaka stavbe, posameznega dela ali delov stavbe: **Večstanovanjska stavba**

Klasifikacija stavbe: **11221 Tri- in večstanovanjske stavbe**

Leto izgradnje: **2016**

Naslov stavbe:

Kondicionalna površina stavbe A_k [m²]: **892,12**

Parcelna št.: **860/1**

Katastrska občina: **Šmihel pri Novem mestu**

Potrebna toplota za ogrevanje

Razred: **B2** 27,328 kWh/m²a



28,201 kWh/m²a

MINIMALNE ZAHTEVE LETO 2016

Dovedena energija za delovanje stavbe

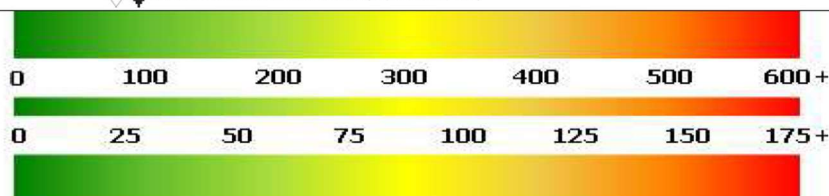
54,442 kWh/m²a



Primarna energija in CO₂

98,300 kWh/m²a

KORAJ NIČ-ENERGIJSKA STAVBA (80,000 kWh/m²a)



20,633 kg/m²a

Slika 37: Energetska izkaznica. Stran 1/2.

ENERGETSKA IZKAZNICA STAVBE

Podatki o stavbi

Št. Izkaznice: / Velja do: /

Vrsta izkaznice: **računska**

Vrsta stavbe: **stanovanjska**

Podatki o velikosti stavbe

Kondicionalna prostornina stavbe V_e [m³]

3307,00

Celotna zunanja površina stavbe A_e [m²]

1523,50

Faktor oblike $f_u = AV_e$ [m⁻¹]

0,46

Koordinati stavbe (X,Y)

X (N) = 72368, Y (E) = 511474

Klimatski podatki

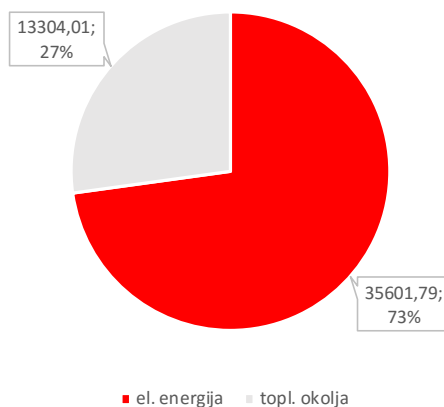
Povprečna letna temperatura T_{pop} [°C]

10,1

Dovedena energija za delovanje stavbe

Dovedena energija za delovanje stavbe	Dovedena energija kWh/a	Dovedena energija kWh/m ² a
Gretje $Q_{f,h}$	27875,25	31,25
Hlajenje $Q_{f,c}$	6775,48	7,59
Prezračevanje $Q_{f,v}$	871,97	0,98
Ovlaževanje $Q_{f,st}$	0,00	0,00
Priprava tople vode $Q_{f,w}$	8877,93	9,95
Razsvetljava $Q_{f,l}$	3345,45	3,75
Električna energija $Q_{f,aux}$	822,40	0,92
Skupaj dovedena energija za delovanje stavbe	48568,48	54,44

Struktura rabe celotne energije za delovanje stavbe po virih energije in energentih [kWh/a]



Obnovljiva energija porabljena na stavbi [kWh/a]

12967,69

Primarna energija za delovanje stavbe [kWh/a]

87696,51

Emisija CO₂ [kg/a]

18406,80

Slika 38: Energetska izkaznica. Stran 2/2.

9 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo si izbrali modularni koncept gradnje lesene večstanovanjske stavbe, na katero smo aplicirali konstrukcijske sklope. Preverili smo ustreznost konstrukcijskih sklopov, križanja med konstrukcijskimi sklopi in energetske bilanco stavbe po merilih, ki jih določata PURES2010 in TSG4.

Za določitev dimenzij nosilne konstrukcije smo zasnovali tri module. Pri modeliranju s pomočjo programa SAP2000 smo upoštevali nekaj predpostavk. Vse povezave med elementi nosilne konstrukcije smo modelirali členkaste. Predvideli smo, da na konstrukcijo delujejo samo obtežbe, ki imajo isto smer kot gravitacija ter da vse morebitne vodoravne obtežbe prevzame armiranobetonsko jedro. Pri določevanju vplivov na računski model smo del nosilne konstrukcije upoštevali tudi pri linijski obtežbi konstrukcijskega sklopa. Dobljene notranje sile smo upoštevali kot osnovo za izračun dimenzij nosilne konstrukcije.

Modeliranje in analizo konstrukcijskih sklopov smo izvedli s programoma URSA 4 in THERM 7.3. Na izračunano nosilno konstrukcijo smo dodajali plasti oblog, toplotne izolacije, parnih zapor in hidroizolacije tako, da smo dobili konceptualno smiselne konstrukcijske sklope, ki so izpolnjevali kriterije toplotne prehodnosti in difuzije vodne pare, ki ju določa TSG4. Primerjava obeh analiz je pokazala, da pri eksoskelernih konstrukcijah ne pride do večjih razlik v toplotni prehodnosti konstrukcijskega sklopa, medtem ko je razlika pri endoskelernih konstrukcijah zaradi drugačnega načina modeliranja, razlika dosti višja.

Velik vpliv na to, ali bomo lahko skonstruirali energetske učinkovito stavbo, imajo tudi spoji med konstrukcijskimi sklopi. Spoji oziroma križanja morajo biti izvedena tako, da v križanju med dvema ali več sklopi ne pride do prekinitve plasti nosilne konstrukcije ter toplotne in hidroizolacije. Analiza, ki smo jo izvedli s programskim orodjem THERM 7.3, je pokazala, da v nobenem križanju med konstrukcijskimi sklopi ne pride do pojava linijskega toplotnega mostu, zato lahko na podlagi rezultatov sklepamo, da smo določili primerne konstrukcijske sklope stavbnega ovoja.

Izračun energetske bilance stavbe smo prav tako izvedli s programskim orodjem URSA 4. Rezultati analize pokažejo, da naša stavba po porabi energije za ogrevanje spada v energetski razred B2, čeprav ima zaradi lahke montažne konstrukcije, majhno toplotno akumulativnost. Akumulativnost konstrukcije je odvisna od mase in specifične prevodnosti vgrajenih materialov. Kot smo že omenili, imajo lahke konstrukcije majhno toplotno akumulativnost, zato je za vzdrževanje ugodnih bivalnih pogojev potrebno v prostore konstantno dovajati toploto,

saj montažne konstrukcije s svojo majhno akumulativnostjo skoraj nič ne pripomorejo k višji toplotni stabilnosti prostorov. Analiza tudi pokaže, da ima naša stavba sorazmerno nizko letno porabo primarne energije Q_p . Vrednost Q_p , ki jo naša stavba doseže, je 87696,51 kWh/a, kar predstavlja 54 odstotkov maksimalne letne porabe primarne energije, ki jo določa PURES 2010. Nižjo porabo primarne energije smo dosegli z vgradnjo mehanskega prezračevalnega sistema z 90-odstotnim izkoristkom vračanja toplote odpadnega zraka in vgradnjo toplotnih črpalk. S tema sistemoma v našo stavbo dovedemo 27 odstotkov celotne energije, ki je potrebna za njeno delovanje.

Menim, da gre razvoj energetske učinkovitih stavb v pravo smer, vendar pa bomo morali v prihodnosti, strmeti ne le k čim večji učinkovitosti stavb, temveč tudi k čim večji vgradnji naravnih materialov v naše stavbe in k boljši učinkovitosti gradbenega sektorja. Klasična gradnja je še vedno energetske zelo potrošna, saj je za pridobivanje osnovnih surovin in samo gradnjo potrebno veliko energije. Rešitev vidim v montažni gradnji. Pri izdelavi montažnih hiš gre za visoko avtomatizirano linijo, kjer se nenehno izvaja kontrola izdelave. To omogoča hitro in učinkovito odpravljanje napak. Poleg tega se montažne hiše izdelujejo v proizvodnih halah, tako da vreme ne vpliva na proces izgradnje, tako da lahko priprava elementov stavbe poteka tudi v zimskem času, ko je klasična gradnja zaradi vremenskih pogojev onemogočena.

Slovenija je po gozdnatosti na tretjem mestu v Evropski uniji, saj gozdovi pokrivajo 58,4 odstotkov njenega ozemlja [44]. Prav v tem vidim priložnost, da v Sloveniji dvignemo odstotek montažnih, okolju prijaznih novogradenj in tako prevzamemo svoj del odgovornosti pri ohranjanju domačega in globalnega okolja.

10 VIRI

- [1] New method to improve building sustainability. 2015.
<https://ec.europa.eu/jrc/en/news/new-method-improve-building-sustainability> (Pridobljeno: 09.12.2015)
- [2] United Nations, Department of Economic and Social Affairs, Population Division. 2015. World Population Prospects: The 2015 Revision, DVD Edition.
<http://esa.un.org/unpd/wpp/Download/Standard/Population/> (Pridobljeno: 09.12.2015)
- [3] Household comparison statistics. 2015.
http://ec.europa.eu/eurostat/statistics-explained/index.php/Household_composition_statistics
(Pridobljeno: 09.12.2015)
- [4] NAKONO.com. 2015.
<http://www.nakono.com/tekcarta/databank/households-average-household-size/> (Pridobljeno: 28.06.2016)
- [5] WIKIPEDIA.com. 2016.
https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_countries_by_number_of_households (Pridobljeno: 28.06.2016)
- [6] Asif, M. 2009. Sustainability of timber, wood and bamboo in construction. V: J. M. Khatib (ur.), *Sustainability of construction materials*. Woodhead publishing limited, str. 31-54.
<http://ebooks.narotama.ac.id/files/Sustainability%20of%20Construction%20Materials/Chapter%202%20Sustainability%20Of%20Timber,%20Wood%20And%20Bamboo%20In%20Construction.pdf> (Pridobljeno: 29.06. 2016)
- [7] Filipič, P., Kavčič, L., Kuhar, Š., Maljavac, T., Struna Bregar, A., Šubic, B.V. 2014. Igriva arhitektura. Priročnik za izobraževanje o grajenem prostoru, str. 24.
<http://www.zrss.si/pdf/igriva-arhitektura.pdf> (Pridobljeno: 30.6.2016)
- [8] Saje, M. za URSA Slovenija d.o.o. Gradbena fizika URSA v4.0 – 3.05.
<http://ursa.tmedia.biz/si/fizika/> (Pridobljeno: 24.03.2016)

- [9] Huizenga, C., Arasteh, D., Curcija, C., Mitchell, R., Kohler, C., Finlayson, E., Zhu, L., Czarnecki, S., Vidanovic, S., Zelenay, K. 2014. THERM Finite Element Simulator v7.3.4.0. https://windows.lbl.gov/software/window/7/index_7_3_4.html (Pridobljeno: 04.05.2016)
- [10] Pravilnik o učinkoviti rabi energije v stavbah. Ur. l. RS, št. 52/2010: 7840. <https://www.uradni-list.si/1/content?id=98727> (Pridobljeno: 01.07.2016)
- [11] Hrovatin, J., Kitek Kuzman, M., Kušar, J. 2005. Členitev sistemov lesene montažne gradnje glede na postopek gradnje. Revija Les 57, str. 360 – 365
- [12] EFEHR.com. <http://www.efehr.org:8080/jetspeed/portal/hazard.psm1> (Pridobljeno: 20.12.2015)
- [13] NORDHUS.com.pl <http://www.nordhus.com.pl/> (Pridobljeno: 20.12.2015)
- [14] KWOOD.be. 2014. <http://www.kwood.be/#!panneaux-en-lamel%C3%A9s-coll%C3%A9s/zoom/mainPage/imagei68> (Pridobljeno: 22.07.2016)
- [15] ARCHIEXPO.com. 2016. <http://www.archiexpo.com/prod/hasslacher-norica-timber/product-59471-909831.html> (Pridobljeno: 22.07.2016)
- [16] URSA Slovenija, d.o.o. Zvočna in toplotna izolacija pohodnih konstrukcij. Tehnične informacije in navodila za pravilno uporabo izolacijskih materialov URSA GLASSWOOL® in URSA XPS® pri izvedbi podnih konstrukcij, str. 6. <http://www.mgt.si/sites/default/files/katalogi/Izolacija%20podnih%20konstrukcij.pdf> (Pridobljeno 15.07.2016)
- [17] Pravilnik o pogojih in načinu opravljanja izrednih prevozov po javnih cestah ter o tranzitnih smereh za izredne prevoze v Republiki Sloveniji. Ur. l. RS, št. 4/2008 <https://www.uradni-list.si/1/content?id=84586> (Pridobljeno: 15.07.2016)
- [18] UNDERSTANDCONSTRUCTION.com. 2016. <http://www.understandconstruction.com/wood.html> (Pridobljeno: 22.03.2016)

- [19] Lopatič, J. 2007. Lesene konstrukcije I – študijsko gradivo. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, str. 2 – 15.
- [20] Berdajs, A., idr. 2004. Gradbeni priročnik. Tretja predelana in razširjena izdaja. Ljubljana, Tehniška založba Slovenije, str. 233 – 262.
- [21] SIST EN 1995-1-2:2004. Evrokod 5: Projektiranje lesenih konstrukcij – 1-2. del: Splošni del – Projektiranje požarnovarnih konstrukcij.
- [22] Kitek Kuzman, M., Hrovatin, J., Kušar, J. 2006. Leseni lepljeni lamelirani konstrukcijski elementi. Revija Les 58, str. 106 – 114
- [23] CLAESENDER.se. 2012.
<http://claesender.se/wp-content/uploads/2012/03/Limtr%C3%A4Glulam.jpg> (Pridobljeno: 12.07.2016)
- [24] Van De Kuilen, J. W. G., Ceccotti, A., Zhouyan, X., Minjuan, H. 2011. Very tall wooden buildings with cross laminated timber. Procedia Engineering 14, 1621-1628.
[Doi:10.1016/j.proeng.2011.07.204](https://doi.org/10.1016/j.proeng.2011.07.204)
- [25] EN.BRETTSPERRHOLZ.org.
http://www.en.brettsperholz.org/cross-laminated-timber-clt-x-lam/manufacture/mn_45176
(Pridobljeno: 12.07.2016)
- [26] SIST EN 1990:2004 – Evrokod 0 – Osnove projektiranja konstrukcij
- [27] Beg, D., Pogačnik, A. 2009. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije.
- [28] SIST EN 1991-1-1:2004 – Evrokod 1 – Vplivi na konstrukcije – 1-1. del: Splošni vplivi – Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb
- [29] SIST EN 1991-1-3:2004 – Evrokod 1 – Vplivi na konstrukcije – 1-3. del: Splošni vplivi – Obtežba snega
- [30] SIST EN 1995-1-1:2005 – Evrokod 5 – Projektiranje lesenih konstrukcij – 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe

[31] Tehnična smernica za graditev TSG-1-004:2010. Učinkovita raba energije. Ministrstvo za okolje in prostor. 2010.

http://www.arhiv.mop.gov.si/fileadmin/mop.gov.si/pageuploads/zakonodaja/prostor/graditev/TSG-01-004_2010.pdf (Pridobljeno: 15.02.2016)

[32] KLH Massivholz GmbH. 2012. Component Catalogue for Cross laminated timber Structures.

[33] Computers and Structures, Inc. Računalniški program SAP2000.

[34] KLHUK.com

<http://www.klhuk.com/media/16583/klh%20engineering%20en%202008.pdf> (Pridobljeno: 23.07.2016)

[35] M Sora. 2016.

<http://www.m-sora.si/si/> (Pridobljeno: 07.07.2016)

[36] M Sora d.o.o. 2014. Certifikat izračuna toplotne prehodnosti okenskega profila UDOBJE 3.

http://issuu.com/msora/docs/toplotna_prehodnost_udobje_3_0_7_20_ee6673334edd4f/1?e=Q (Pridobljeno: 07.07.2016)

[37] M Sora. 2016. Osnovni detajli za okna Udobje 3 CAD. Sporočilo poslano: Čadež, T. 21. 06. 2013. Osebna komunikacija.

[38] HARCO d.o.o. 2015. Sistemi gradnje. Gradnja stanovanjske hiše. HARCO d.o.o. blog, objavljeno 04.06.2015.

<http://www.harco.si/gradnja-stanovanjske-hise/> (Pridobljeno: 22.07.2016)

[39] Zavrl, E. 2014. Prehod toplote skozi konstrukcijski sklop-primerjava enodimenzionalnega in dvodimenzionalnega izračuna. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba E. Zavrl): 39 str.

[40] Agencija RS za okolje. Atlas okolja. 2016.

http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso (Pridobljeno: 26.07.2016)

[41] Lunos. 2016.

<http://lunos.si/rekuperacija-e2.html?qclid=Cj0KEQjwv467BRCbkMvs5O3kioUBEiQAGDZHL4cCG2sk9mnpNdE-aDYGbIFveC6zr8eE-56Wq-SZcUaAk0I8P8HAQ> (Pridobljeno: 22.07.2016)

[42] TOSHIBA. 2016. Air to water heat pump installation manual.

[43] Pravilnik o metodologiji izdelave in izdaji energetskih izkaznic stavb. Ur. l. RS, št. 92/2014: 10302

<https://www.uradni-list.si/1/content?id=119788> (Pridobljeno: 30.07.2016)

[44] Zavod za gozdove Slovenije. 2015.

http://www.zgs.si/slo/gozdovi_slovenije/o_gozdovih_slovenije/gozdnatost_in_pestrost/index.html (Pridobljeno: 24.07.2016)