

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:

Končan, B., 2016. Projekt lesene hiše. Diplomski naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Saje, D., somentor Ber, B.): 67 str.

Datum arhiviranja: 08-07-2016

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:

Končan, B., 2016. Projekt lesene hiše. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Saje, D., co-supervisor Ber, B.): 67 pp.

Archiving Date: 08-07-2016

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

**VISOKOŠOLSKI STROKOVNI  
ŠTUDIJSKI PROGRAM PRVE  
STOPNJE OPERATIVNO  
GRADBENIŠTVO**

Kandidat:

**BOŠTJAN KONČAN**

**PROJEKT LESENE HIŠE**

Diplomska naloga št.: 121/OG-MK

**DESIGN OF A WOODEN HOUSE**

Graduation thesis No.: 121/OG-MK

**Mentor:**

doc. dr. Drago Saje

**Somentor:**

dr. Boštjan Ber

Ljubljana, 29. 06. 2016

## STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

**IZJAVE**

Podpisani Boštjan Končan izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom »Projekt lesene hiše«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 9.6.2016.

Boštjan Končan

## **BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>624.011.1:728.3(043.2)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Boštjan Končan</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Drago Saje</b>
<b>Somentor:</b>	<b>dr. Boštjan Ber</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Projekt lesene hiše</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Diplomska naloga –Visokošolski strokovni študij</b>
<b>Obseg in oprema:</b>	<b>67 str., 40 sl., 20 pregl., 41 en.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>lesene hiše, dimenzioniranje, evrokodi, panelna gradnja, križno lepljene plošče</b>

### **Izvleček**

V diplomskem delu sem projektriral leseno enodružinsko hišo pravokotnega tlorisa s stranicama 12,47 m x 7,10 m. V vertikalni smeri sem upošteval lastno težo, koristno obtežbo, sneg in veter. Koristno obtežbo sem določil po navodilih standardov SIST EN 1991-1-3 2004 in SIST EN-1-4 2004. Ostrešje je narejeno iz predalčnih lesenih nosilcev masivnega lesa, stikovanih z žebli. Za prevzemanje obtežbe v posamezni etaži, ki je določena po navodilih standarda SIST EN 1991-1-1 2004, so uporabljene križno lepljene plošče CLT, ang. Cross-laminated Timber. Na območju, kjer so steklene površine, leseni nosilci prenašajo vertikalne sile na stranske panele. Hiša stoji na potresno ogroženem področju. V izračunih so upoštevane horizontalne potresne sile, kot jih predpisuje standard SIST EN 1998. Potresno silo prevzemajo okvirno-panelne montažne stene. Notranje sile zaradi statične obtežbe v nosilnih elementih stavbe so izračunane z računalniškim programom SAP 2000, za izdelavo seizmičnega modela objekta pa je bil uporabljen računalniški program Tower 6.

**BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

<b>UDK:</b>	<b>624.011.1:728.3(043.2)</b>
<b>Author:</b>	<b>Boštjan Končan</b>
<b>Supervisor:</b>	<b>Assist. Prof. Drago Saje, Ph.D.</b>
<b>Co-supervisor</b>	<b>Boštjan Ber, Ph.D. CE</b>
<b>Title:</b>	<b>Design a wooden house</b>
<b>Document type:</b>	<b>Graduation Thesis – Higher professional studies</b>
<b>Notes:</b>	<b>67 p., 40 fig., 20 tab., 41 eq.</b>
<b>Key words:</b>	<b>wooden houses, design, eurocodes, panel construction, cross laminated slabs</b>

**Abstract**

In my diploma a wooden family house of rectangular ground plan with sides of 12.47 metres and 7.10 metres is designed. In vertical direction, its own weight and imposed loads were taken into account, as well as snow and wind load. Load analysis was done using Slovenian national code SIST EN 1991-1. The roofing is made of wooden truss members. To undertake loads in each floor, cross laminated timber plates are used. In the area with glass surfaces, wooden beams transmit vertical forces via wooden columns on the surrounding wall panels. The house is located in seismically active area. In the calculations the horizontal seismic forces are taken into account according to the national code SIST EN 1998. Seismic force is taken over by frame-panel walls. Internal forces due to static loads in the load-bearing elements of the building are calculated with a computer software SAP 2000, while a seismic model of the building is calculated with a Tower 6 model builder software.

## **ZAHVALA**

Največja zahvala za nastanek diplomske naloge gre mentorju doc. dr. Dragu Sajetu in somentorju dr. Boštjanu Beru za potrpežljivost in razlago med nastajanjem diplomskega dela.

Posebna zahvala gre tudi družini, sošolcem in prijateljem, ki so mi kakorkoli pomagali skozi študijska leta.

## KAZALO VSEBINE

<b>IZJAVE .....</b>	<b>II</b>
<b>BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....</b>	<b>III</b>
<b>BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT .....</b>	<b>IV</b>
<b>ZAHVALA.....</b>	<b>V</b>
<b>1 UVOD .....</b>	<b>1</b>
<b>2 MONTAŽNA GRADNJA.....</b>	<b>2</b>
2.1 SISTEMI LESENE MONTAŽNE GRADNJE .....	2
2.2 KRIŽEM LEPLJENE PLOŠČE – CLT .....	4
2.3 STENSKI PANELI .....	5
<b>3 TEHNIČNO POROČILO .....</b>	<b>5</b>
<b>4 ANALIZA OBTEŽB .....</b>	<b>7</b>
4.1 LASTNA TEŽA .....	7
4.2. SPREMENLJIVA OBTEŽBA.....	14
4.2.1. KORISTNA OBTEŽBA LJUDI IN OPREME.....	14
4.2.2. OBTEŽBA SNEGA.....	14
4.2.3 OBTEŽBA VETRA .....	15
4.2.4 POTRESNA OBTEŽBA.....	20
4.2.5. TOGOSTNA MATRIKA OBJEKTA.....	28
4.2.6 NIHAJNI ČASI OBJEKTA.....	29
4.2.7 POTRESNA OBTEŽBA.....	30
<b>5 ANALIZA KONSTRUKCIJE V VERTIKALNI SMERI .....</b>	<b>32</b>
5.1 DIMENZIONIRANJE ELEMENTOV OSTREŠJA .....	32
5.1.1 DOLOČITEV OBTEŽB .....	32
5.1.2 PREVERJANJE ELEMENTOV .....	33
5.1.3 DIMENZIONIRANJE SPOJA.....	39
5.2 DIMENZIONIRANJE PLOŠČE .....	40
5.3 DIMENZIONIRANJE PREKLAD .....	46



5.3.1 PREKLADA 1.....	47
5.3.2 PREKLADA 2.....	49
5.3.3 PREKLADA 3.....	50
5.4 KONTROLA UKLONA POKONČNIKA.....	51
<b>6 ANALIZA KONSTRUKCIJE V HORIZONTALNI SMERI .....</b>	<b>53</b>
6.1 NOSILNOST STENSKIH PANELOV V HORIZONTALNI SMERI.....	53
6.1.1 ZUNANJI STENSKI PANELI.....	53
6.1.2 NOTRANJI STENSKI PANELI .....	54
6.2 MODEL PANELA S FIKTIVNO DIAGONALO.....	56
6.3 SEIZMIČNI MODEL.....	57
6.4 SIDRANJE V PRITLIČJU .....	59
6.4.1 VERTIKALNO SIDRANJE.....	59
6.4.2 HORIZONTALNO SIDRANJE.....	61
6.5 PRIKAZ REZULTATOV .....	64
<b>7. ZAKJUČEK .....</b>	<b>65</b>
<b>VIRI.....</b>	<b>66</b>

**KAZALO SLIK**

<b>Slika 1: Skeletna konstrukcija (Kager hiša) .....</b>	<b>2</b>
<b>Slika 2: Masivna konstrukcija (Finska hiša) .....</b>	<b>3</b>
<b>Slika 3 : Panelna konstrukcija (Kager hiša) .....</b>	<b>4</b>
<b>Slika 4: 3D model izbrane hiše .....</b>	<b>5</b>
<b>Slika 5: 3D model izbrane hiše .....</b>	<b>6</b>
<b>Slika 6: Prikaz nahajanja konstrukcijskih sklopov na objektu .....</b>	<b>7</b>
<b>Slika 7: Konstrukcijski sklop poševnega dela ostrešja .....</b>	<b>8</b>
<b>Slika 8: Konstrukcijski sklop ravnega dela ostrešja brez koristne obtežbe .....</b>	<b>9</b>
<b>Slika 9: Konstrukcijski sklop ravnega dela ostrešja s koristno obtežbo .....</b>	<b>10</b>
<b>Slika 10: Konstrukcijski sklop zunanje stene .....</b>	<b>11</b>
<b>Slika 11: Konstrukcijski sklop notranje stene .....</b>	<b>12</b>
<b>Slika 12: Konstrukcijski sklop stropa .....</b>	<b>13</b>
<b>Slika 13: Prikaz razporeditve tlakov glede na višino stavbe (SIST EN 1991-1-4:2005; Slika 7.4) .....</b>	<b>15</b>
<b>Slika 14: Razdelitev sten na področja (SIST EN 1991-1-4:2005; Slika 7.5) .....</b>	<b>16</b>
<b>Slika 15: Razdelitev dvokapnice na področja (SIST EN 1991-1-4:2005; Slika 7.8) .....</b>	<b>18</b>
<b>Slika 16: Prikaz koncentriranja mas v etažah .....</b>	<b>20</b>
<b>Slika 17: Model računa togosti zunanje stene .....</b>	<b>23</b>
<b>Slika 18: Model računanja togosti notranje stene .....</b>	<b>26</b>
<b>Slika 19: Priporočni elastični spekter odziva (SIST EN 1998 1 2005 Slika 3.2.) .....</b>	<b>31</b>
<b>Slika 20: Delovanje obtežbe snega .....</b>	<b>32</b>
<b>Slika 21: Razporeditev obtežbe vetra .....</b>	<b>32</b>
<b>Slika 22: Delovanje lastne teže .....</b>	<b>33</b>
<b>Slika 23: Razporeditev koristne obtežbe .....</b>	<b>33</b>
<b>Slika 24: Statični model žebljanca z označenimi spoji .....</b>	<b>34</b>
<b>Slika 25: Prikaz žebljanega spoja .....</b>	<b>39</b>
<b>Slika 26: CLT plošča (VIR <a href="http://weberthompson.com/blog/wp-content/uploads/2013/06/CLT-Cross-laminated-timber.jpg">http://weberthompson.com/blog/wp-content/uploads/2013/06/CLT-Cross-laminated-timber.jpg</a>) .....</b>	<b>40</b>

<b>Slika 27: Statični model stropa 1 z dodano koristno obtežbo .....</b>	<b>43</b>
<b>Slika 28: Razdelitev stropa na različne statične modele glede na razpon in podpore ..</b>	<b>45</b>
<b>Slika 29: Prikaz pozicije preklad v pritličju.....</b>	<b>47</b>
<b>Slika 30: Prikaz pozicije preklad v nadstropju .....</b>	<b>47</b>
<b>Slika 31: Statični model preklade 1 z dodano obtežbo stene .....</b>	<b>48</b>
<b>Slika 32: Statični model preklade 2 z dodano obtežbo stropne konstrukcije .....</b>	<b>49</b>
<b>Slika 33: Statični model preklade 3 z dodano obtežbo strešne konstrukcije .....</b>	<b>50</b>
<b>Slika 34: Tipska sestava stenskega elementa ( dr. Kozem Silih Erika. Slika 2.10) .....</b>	<b>53</b>
<b>Slika 35: Model s fiktivno diagonalo (Uni Korez Mirjana, Slika 3.11).....</b>	<b>56</b>
<b>Slika 36: Seizmični model konstrukcije.....</b>	<b>57</b>
<b>Slika 37: Etažni pomiki konstrukcije.....</b>	<b>58</b>
<b>Slika 38, : WKR285 sidra (Rothoblaas).....</b>	<b>59</b>
<b>Slika 39: WBR100 sidra (Rothoblaas).....</b>	<b>61</b>
<b>Slika 40: WBR70 sidra (Rothoblaas).....</b>	<b>62</b>

**KAZALO PREGLEDNIC**

<b>Preglednica 1: Prostorninske teže uporabljenih materialov .....</b>	<b>7</b>
<b>Preglednica 2: Izračun lastne teže poševnega dela ostrešja .....</b>	<b>8</b>
<b>Preglednica 3: Izračun lastne teže ravnega dela ostrešja brez koristne obtežbe.....</b>	<b>9</b>
<b>Preglednica 4: Izračun lastne teže ravnega dela ostrešja s koristno obtežbo.....</b>	<b>10</b>
<b>Preglednica 5: Izračun lastne teže zunanje stene.....</b>	<b>11</b>
<b>Preglednica 6: Izračun lastne teže notranje stene .....</b>	<b>12</b>
<b>Preglednica 7: Izračun lastne teže stropa .....</b>	<b>13</b>
<b>Preglednica 8: Izračun lastne teže steklenih površin .....</b>	<b>13</b>
<b>Preglednica 9: Zunanji tlak vetra vzdolžno na stavbo .....</b>	<b>16</b>
<b>Preglednica 10: Neto obtežba vetra vzdolžno na stavbo .....</b>	<b>16</b>
<b>Preglednica 11: Zunanji tlak vetra .....</b>	<b>17</b>
<b>Preglednica 12: Neto obtežba prečno na stavbo .....</b>	<b>17</b>
<b>Preglednica 13: Zunanji tlak vetra vzdolžno na streho .....</b>	<b>18</b>
<b>Preglednica 14: Zunanji srk vetra vzdolžno na streho .....</b>	<b>19</b>
<b>Preglednica 15: Zunanji srk vetra prečno na streho.....</b>	<b>19</b>
<b>Preglednica 16: Vrednosti parametrov, ki opisujejo elastični spekter odziva .....</b>	<b>30</b>
<b>Preglednica 17: Prikaz rezultatov vseh spojev .....</b>	<b>40</b>
<b>Preglednica 18: Prikaz rezultatov vseh različnih statičnih modelov plošč .....</b>	<b>45</b>
<b>Preglednica 19: Nihajne dobe konstrukcije .....</b>	<b>58</b>
<b>Preglednica 20: Prikaz rezultatov najbolj obremenjenih panelov glede na širino .....</b>	<b>64</b>

## 1 UVOD

Skozi zgodovino so se za gradbene materiale uporabljali predvsem materiali, ki so bili v bližini gradbenega delovišča, zato nas ne čudi, da je bil les v naših krajih najpogosteje uporabljeni gradbeni material. V bližnji preteklosti je bil uporabljen v manjši meri zaradi uporabe armiranega betona. Velik problem masivnega lesa je v tem, da v osnovni obliki z njim težko premoščamo velike razpetine, potrebna pa je tudi velika natančnost izdelave stikov, kar podaljša čas gradnje. Ob koncu 19. stoletja je Otto Hetzer postal prvi lastnik patentov na temo lepljenih konstrukcij. Tako je leta 1910 uspel premostiti razpetino 43 metrov na svetovni razstavi v Bruslju. Razvoj je potekal počasi zaradi slabših in neobstojećih lepil. Lepljene konstrukcije so postale konkurenčne v 60-ih letih prejšnjega stoletja. Za večjo konkurenčnost so poskrbela nova vezna sredstva, ki so močno poenostavila stike in hitrost gradnje (Domadenik 2015).

V nekaterih državah je lesena gradnja tradicionalna. Prednjačijo skandinavske države in ZDA s Kanado. Med države, v katerih se povečuje uporaba lesa v gradbeništvo, spada tudi Slovenija. Pri nas je delež uporabe lesa glede na lesne rezerve razmeroma majhen. Dandanes se lahko iz lesa naredi tako rekoč vse vrste objektov. V svoji diplomski nalogi sem se ukvarjal s projektiranjem enodružinske hiše.

## 2 MONTAŽNA GRADNJA

### 2.1 SISTEMI MONTAŽNE GRADNJE V LESU

Montažna gradnja vse bolj pridobiva na deležu pri gradnji stanovanjskih objektov zaradi svojih dobrih lastnosti. Eden glavnih vzrokov je vsekakor hitrost gradnje. Velika prednost montažne gradnje je, da so vsa dela, ki se izvajajo v proizvodnih halah, neodvisna od vremenskih pogojev, zato potekajo hitreje, lažje je določiti čas poteka dela, ker so postopki utečeni in elementi izdelani bolj natančno. Vsaka napaka lahko povzroča velike težave pri montaži. Poznamo več sistemov lesene montažne gradnje, ki so navedeni v nadaljevanju.

#### Skeletna konstrukcija

Nosilna konstrukcija je sestavljena iz stebrov in nosilcev, ki so postavljeni na določenem rastru. Omogočajo poljubno izvedbo fasad in pregradnih sten. Stene ne prevzemajo nosilne funkcije v smislu prenosa vertikalne obtežbe, zato so možne svobodnejše zasnove. Nad ali med primarne nosilne elemente se polagajo sekundarni nosilni elementi. Obremenitve se prenašajo izključno preko nosilcev na stebre. Nosilni elementi večinoma ostanejo vidni, da se poudari leseni skelet. Stene so lahko montažni elementi iz lesa ali stekla. Pogoste so kombinacije skeletne nosilne konstrukcije s steklenimi polnili in polnimi lesenimi elementi (Kitek Kuzman 2010).



Slika 1: Skeletna konstrukcija (vir: [www.kager.si](http://www.kager.si))

### Masivna konstrukcija

Pri masivnih izvedbah razlikujemo dva tipa zgradb. Prvi je skladovni sistem (brune) in drugi masivni panelni sistem (križno lepljene plošče). Stene so navadno enostransko obložene z izolacijo in ploščami, možna je tudi izvedba brez obloge, kjer je stena iz vidnih brun, tramov ali plošč iz lesa. Zunanje stene so lahko zaščitene z oblogo iz lesa ali z ometom ali obzidane s fasadno opeko. Stropne konstrukcije so navadno masivne lesene lepljene plošče ali stropni nosilci z obojestransko oblogo iz plošč in polnilom (Kitek Kuzman 2010).



Slika 2: Masivna konstrukcija (Finska hiša)

### Panelna konstrukcija

Pri panelni konstrukciji sestavljajo stene leseni okviri iz stebrov in prečk različnih dimenzij. Kot zunanja in notranja obloga so lahko uporabljene različne plošče. Prostor med ploščami je zapolnjen s toplotno izolacijo. Stropne konstrukcije sestavljajo leseni stropni nosilci različnih prerezov z obojestransko oblogo iz plošč ter izolacijo večje gostote. Na medetažni konstrukciji je možno izvesti tudi plavajočo talno konstrukcijo za boljšo zvočno zaščito. V Sloveniji je na tržišču največ ponudnikov lesenih hiš z leseno panelno konstrukcijo (Kitek Kuzman 2010).



Slika 3 : Panelna konstrukcija (vir: [www.kager.si](http://www.kager.si))

## 2.2 KRIŽNO LEPLJENE PLOŠČE – CLT

Kot že ime pove, gre pri križno lepljenih ploščah za konstrukcijske elemente sestavljene iz križno zloženih lesenih lamel ali desk, ki se ploskovno zlepijo v element večjih dimenzij. Najpogosteje se uporablja les iglavcev, ki se ga tehnično posuši, s čimer je omogočena naravna zaščita lesa pred škodljivci. Plošče so vedno sestavljene iz lihega števila slojev, do največje debeline 60 cm. Medsebojna orientiranost lamel v posameznih slojih znaša 90°.

Križno lepljenje bistveno izboljša lastnosti lesa, s čimer se poveča nosilnost elementa, precej pa mu izboljšamo tudi obnašanje pri krčenju in nabrekanju, ki ga spravimo na zanemarljivo vrednost. Zaradi križno orientiranih lamel lahko elementi prenašajo obtežbo v obeh smereh, kar omogoča njihovo uporabo tako za stropne kot za stenske elemente.

(<http://www.cbd.si/lesena-gradnja/krizno-lepljen-les-xlam>)



## 2.3 STENSKI PANELI

Stenske panele sestavlja lesen okvir iz stebrov in prečk različnih dimenzij. Kot obloga so lahko pritrjene različne plošče, v notranjosti pa je nameščena toplotna izolacija. Stenski elementi morajo biti narejeni tako, da prevzamejo vodoravne in navpične obtežbe, ki se lahko pojavijo na objektu. Zaradi horizontalne sile se v panelu pojavijo momenti, zato je potrebno panel v njegovi ravnini učvrstiti z obložnimi ploščami, diagonalnimi vezmi ali zvezami, ki prevzamejo momente.

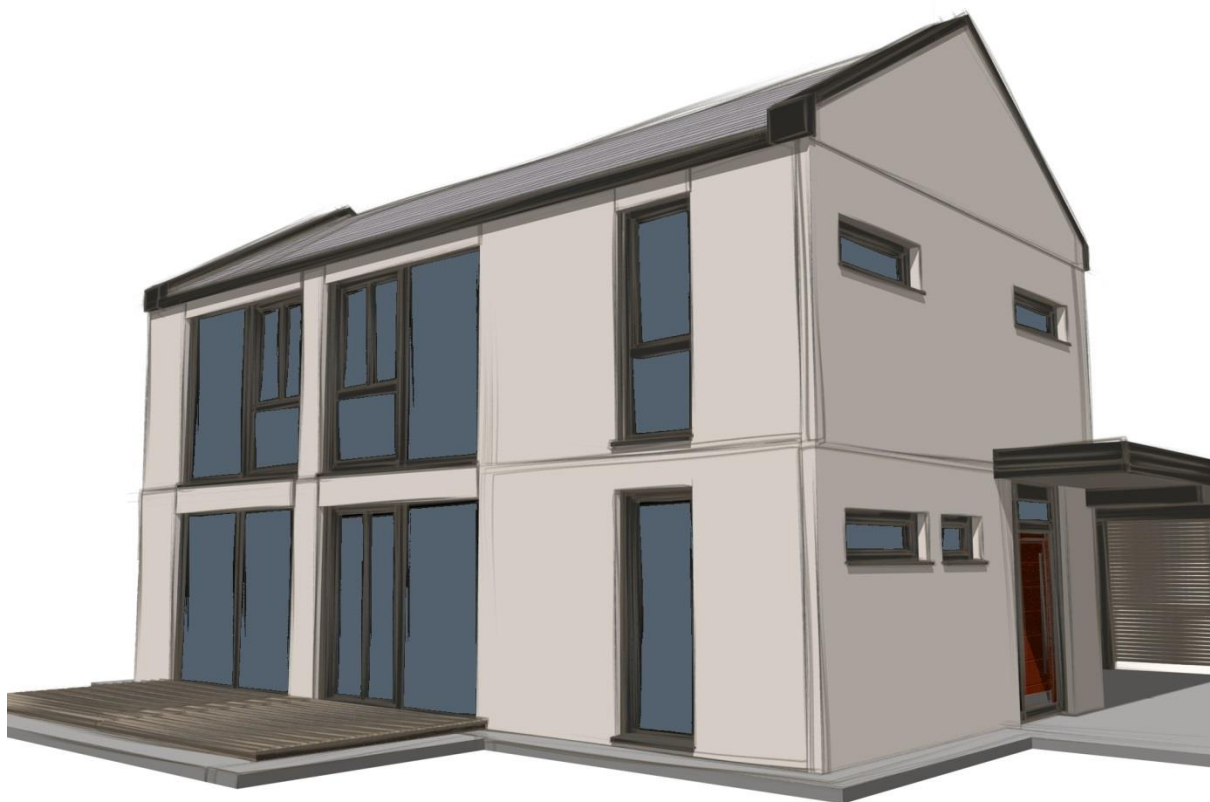
## 3 TEHNIČNO POROČILO

### LOKACIJA OBJEKTA

Objekt je predviden v vasi Žažar na nadmorski višini 520 m. Objekt leži na potresnem območju, kjer je projektni pospešek tal enak 0,225 g.

### ZASNOVA

Objekt je zasnovan kot moderna dvonadstropna montažna lesena hiša. Tloris hiše je v velikosti 12,47 m x 7,10 m, višina slemena je 8,22 m. Objektu se priključuje garaža. Neto površina vseh bivalnih prostorov v hiši je 134,54 m<sup>2</sup>, bruto površina je 177,07 m<sup>2</sup>. Naklon strehe je 30°.



Slika 4: 3D model izbrane hiše

## KONSTRUKCIJA

Strešna konstrukcija je sestavljena iz žeblicev, ki so položeni na 1,02 m. Žeblice so sestavljeni iz treh različnih elementov, špirovcev in spodnje pasnice, ki sta enakega prereza ter opornika s prerezom 6 cm x 16 cm. Vse je narejeno iz lesa kvalitete C24.

Nad pritličjem je strop iz križno lepljenih plošč s tremi plastmi trdnostnega razreda C24. Debelina posamezne plasti je 4 cm, skupna debelina križno lepljene plošče je 12 cm.

Nad steklenimi površinami in praznimi prostori je predviden lesen nosilec s prerezom 10 cm x 26 cm in kvaliteto lesa C24.

Zunanji stenski paneli so narejeni iz pokončnikov dimenzij 8 cm x 16 cm, leseni elementi notranjih stenskih panelov so 8 cm x 10 cm, vsi trdnostnega razreda GL24h. Horizontalni nosilni elementi so obložne plošče. Na zunanji strani zunanje stene so plošče OSB (plošče z usmerjenimi ivermi), na notranji pa MVP (mavčnovlaknene plošče). Na notranjih stenah so MVP na obeh straneh. Vse plošče so debeline 1,5 cm in so na okvir pritrjene s sponkami.

Za sidranje sten so uporabljena dvižna sidra tipa WKR285, strižna sidra pa so tipa WBR100 in WBR70 glede na obremenjenost sten, proizvajalca Rothoblaas. Sidra so fiksirana v temeljno ploščo, debeline 20 cm in kvalitete betona C20/25. Plošča je dimenzij 12,17 m x 6,80 m.



Slika 5: 3D model izbrane hiše

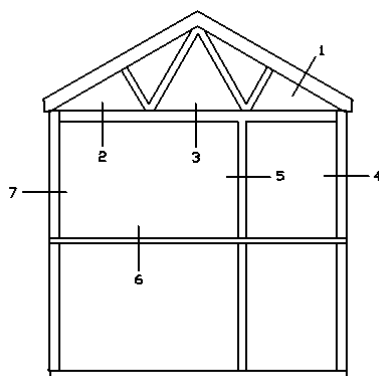
## 4 ANALIZA OBTEŽB

### 4.1 LASTNA TEŽA

V skladu s standardom SIST EN 1991-1-1 za lastno težo upoštevamo vse elemente konstrukcije, ki spadajo v konstrukcijski sklop posameznega dela objekta. Obtežba je podana za površino  $1 \text{ m}^2$ . Lastna teža konstrukcijskih elementov je upoštevana v programu za izračun notranjih sil.

Preglednica 1: Prostorninske teže uporabljenih materialov

Material ( $\text{kN/m}^3$ )		
prostorninska teža žaganega lesa	$\gamma_{C24}$	4,50
prostorninska teža lepljenega lesa	$\gamma_{GL24h}$	4,50
prostorninska teža MKP	$\gamma_{mkp}$	6,80
prostorninska teža MVP	$\gamma_{mvp}$	12,0
prostorninska teža OSB	$\gamma_{osb}$	6,00
prostorninska teža kamene volne	$\gamma_{kv}$	0,55
prostorninska teža fasadne obloge	$\gamma_{fo}$	15,0
prostorninska teža EPS	$\gamma_{eps}$	0,12
prostorninska teža talne obloge	$\gamma_{to}$	7,00
prostorninska teža lahkega izol. betona z EPS kroglicami	$\gamma_{beps}$	3,00
prostorninska teža cementnega estriha	$\gamma_{ce}$	18,0
prostorninska teža CLT plošče	$\gamma_{clt}$	4,80
prostorninska teža stekla	$\gamma_{ste}$	25,0



Slika 6: Prikaz nahajanja konstrukcijskih sklopov na objektu

## 1. STREHA (nagnjeni del)

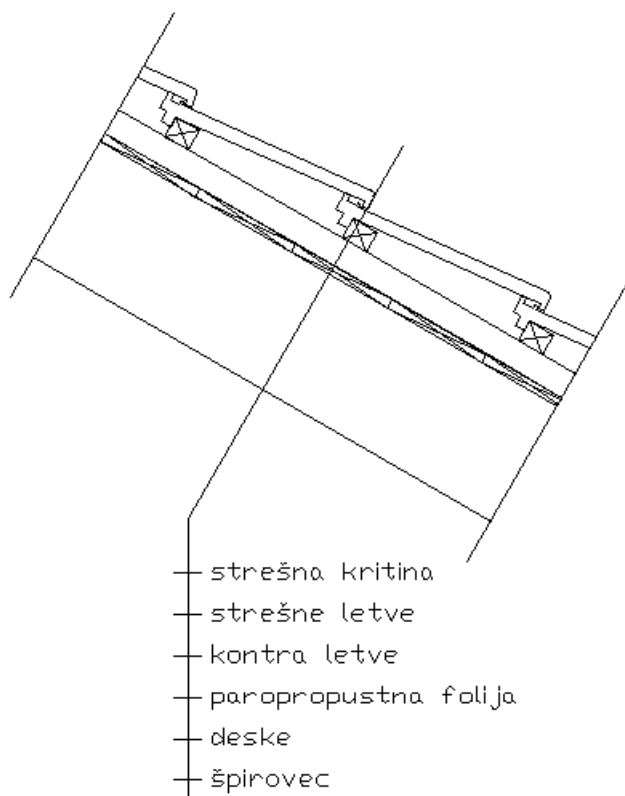
Podatki :

dolžina špirovcev

$L_s = 4,05 \text{ m}$

letvanje

$e_l = 0,37 \text{ m}$



Slika 7: Konstrukcijski sklop poševnega dela ostrešja

Preglednica 2: Izračun lastne teže poševnega dela ostrešja

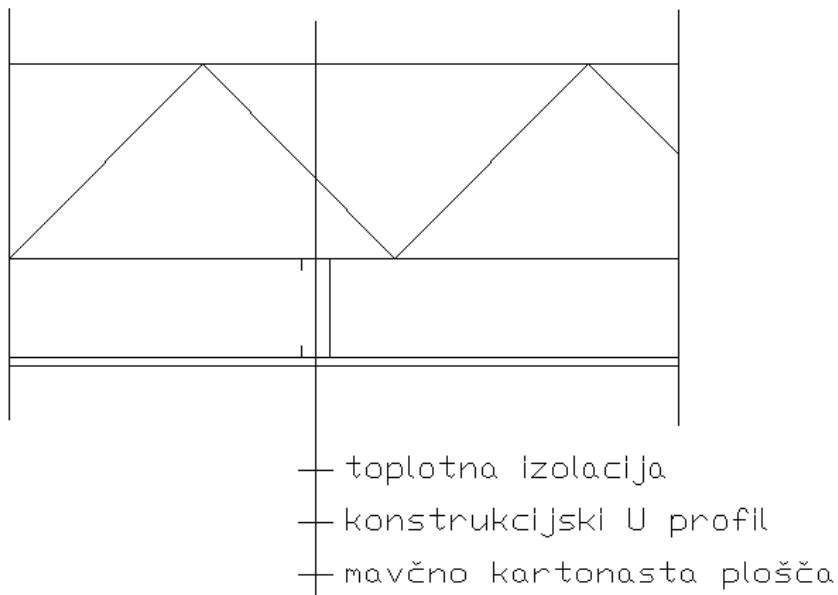
kritina (Tondach; Fidelio)	$g_{kr}$	0,43	$\text{kN/m}^2$
strešne letve, $b \times h = 5 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$	$g_{sl}$	0,02	$\text{kN/m}^2$
kontra letve, $b \times h = 5 \text{ cm} \times 4 \text{ cm}$	$g_{kl}$	0,01	$\text{kN/m}^2$
deske, $d = 1,9 \text{ cm}$	$g_{des}$	0,09	$\text{kN/m}^2$
<b>SKUPAJ</b>	$g_{stn}$	0,55	$\text{kN/m}^2$

## 2. STREHA (ravni del - brez koristne obtežbe)

Podatki:

konstrukcijski profili

$$e_2 = 1 \text{ m}$$



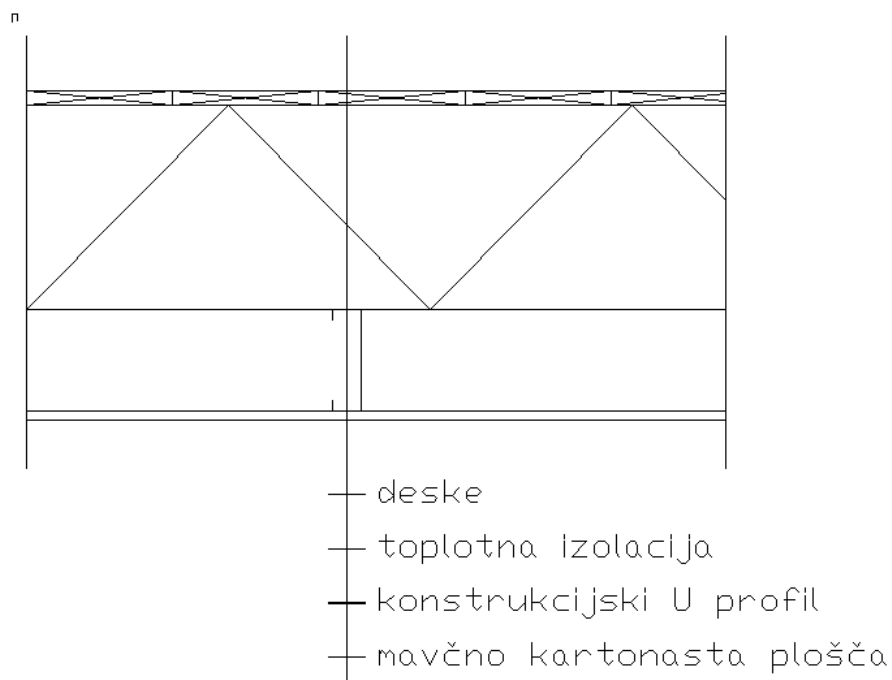
Slika 8: Konstrukcijski sklop ravnega dela ostrešja brez koristne obtežbe

Preglednica 3: Izračun lastne teže ravnega dela ostrešja brez koristne obtežbe

toplotna izolacija, d = 28 cm	$g_{ti.kv}$	0,15	$\text{kN/m}^2$
konstrukcijski U-profil, U140	$g_{kl}$	0,79	$\text{kN/m}^2$
mavčno kartonaste plošče, d = 1,3 cm	$g_{mkp}$	0,09	$\text{kN/m}^2$
SKUPAJ	$g_{str}$	1,03	$\text{kN/m}^2$

## 3. STREHA (ravni del - s koristno obtežbo)

Ta konstrukcijski sklop se nahaja, kjer je streha pohodna, zato so po vrhu pritrjene deske.



Slika 9: Konstrukcijski sklop ravnega dela ostrešja s koristno obtežbo

Preglednica 4: Izračun lastne teže ravnega dela ostrešja s koristno obtežbo

deske, d = 1,9 cm	$g_{des}$	0,09	$\text{kN/m}^2$
toplotna izolacija, d = 28 cm	$g_{ti.kv}$	0,15	$\text{kN/m}^2$
konstrukcijski U-profil, U140	$g_{kl}$	0,79	$\text{kN/m}^2$
mavčno kartonaste plošče, d = 1,3 cm	$g_{mcp}$	0,09	$\text{kN/m}^2$
SKUPAJ	$g_{strk}$	1,11	$\text{kN/m}^2$

#### 4. STENA (zunanja)

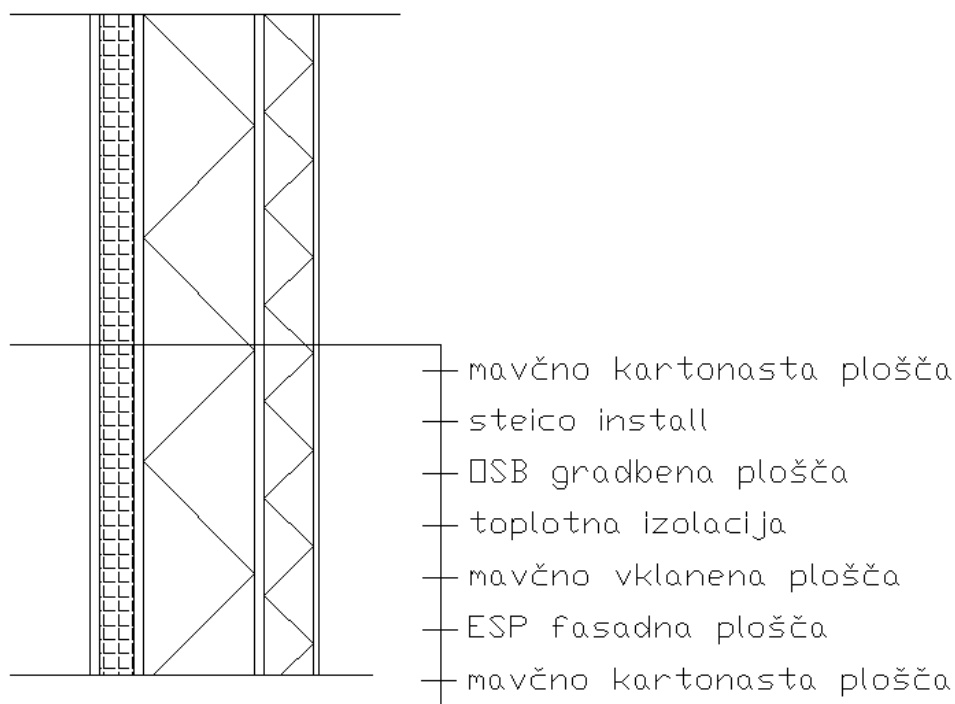
Podatki:

višina stene

$$h_{\text{stene,z}} = 2,9 \text{ m}$$

razmak pokončnikov

$$e_{\text{pok}} = 0,625 \text{ m}$$



Slika 10: Konstrukcijski sklop zunanje stene

Preglednica 5: Izračun lastne teže zunanje stene

fasadni omet, d = 0,8 cm	$g_{fo}$	0,12	$\text{kN/m}^2$
EPS fasadna plošča, d = 7 cm	$g_{eps}$	0,01	$\text{kN/m}^2$
mavčno vlaknena plošča, d = 1,5 cm	$g_{mvp}$	0,18	$\text{kN/m}^2$
toplotna izolacija, d = 16 cm	$g_{ti.kv}$	0,09	$\text{kN/m}^2$
leseni pokončniki, b x h= 8 cm x 16cm	$g_{pok}$	0,09	$\text{kN/m}^2$
OSB gradbena plošča, d = 1,5 cm	$g_{osb}$	0,09	$\text{kN/m}^2$
steico install, d = 5 cm	$g_{st.ins}$	0,08	$\text{kN/m}^2$
mavčno kartonska plošča, d = 1,25 cm	$g_{mkp}$	0,09	$\text{kN/m}^2$
spodnji venec, b x h= 16cm x 8 cm	$g_{sp.ven}$	0,02	$\text{kN/m}^2$
zgornji venec, b x h= 16cm x 8 cm	$g_{zg.ven}$	0,02	$\text{kN/m}^2$
<b>SKUPAJ</b>	$g_{stene}$	0,79	$\text{kN/m}^2$
	$g_{stene.h.z}$	2,28	$\text{kN/m}$

Pri tem izračunu dobim lastno težo  $g_{\text{stene}}$  enega kvadratnega metra, zato je obtežba upoštevana na tekoči meter stene. To pomeni, da je bila lastna teža kvadratnega metra stene pomnožena z njeno višino in sem tako dobil  $g_{\text{stene.h.z}}$ .

## 5. STENA (notranja)



Slika 11: Konstrukcijski sklop notranje stene

## Preglednica 6: Izračun lastne teže notranje stene

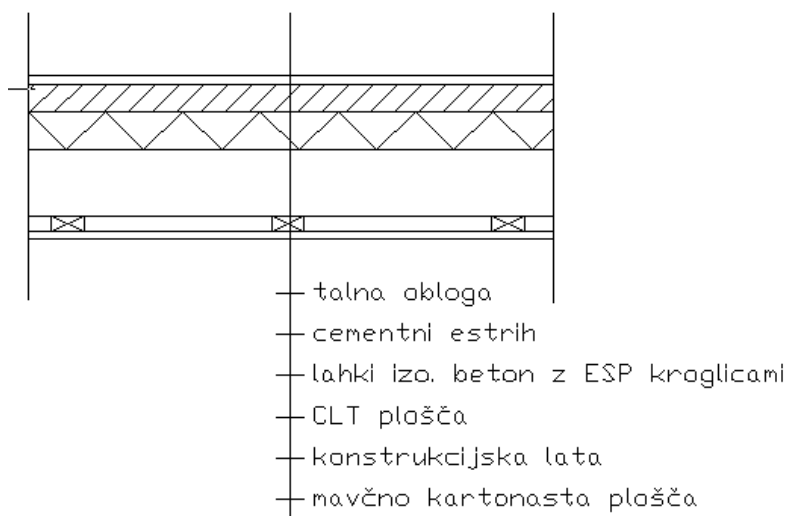
mavčno kartonska plošča, 1,25 cm	$g_{mkp}$	0,09	$\text{kN/m}^2$
mavčno vlaknena plošča, d = 1,5 cm	$g_{mvp}$	0,18	$\text{kN/m}^2$
leseni pokončniki, b x h = 8 cm x 10 cm	$g_{pok}$	0,06	$\text{kN/m}^2$
toplotna izolacija, d = 8 cm	$g_{ti.kv}$	0,04	$\text{kN/m}^2$
mavčno vlaknena plošča, d = 1,5 cm	$g_{mvp}$	0,18	$\text{kN/m}^2$
mavčno kartonska plošča, d = 1,25 cm	$g_{mkp}$	0,09	$\text{kN/m}^2$
spodnji venec, b x h = 10 cm x 8 cm	$g_{sp.ven}$	0,01	$\text{kN/m}^2$
zgornji venec, b x h = 10 cm x 8 cm	$g_{zg.ven}$	0,01	$\text{kN/m}^2$
<b>SKUPAJ</b>	$g_{stene}$	0,66	$\text{kN/m}^2$
	$g_{stene.h.z}$	1,91	$\text{kN/m}$



## 6. STROP

Podatki:

razmak konstrukcijskih letev  $e_{kl.str} = 0,4 \text{ m}$



Slika 12: Konstrukcijski sklop stropa

Preglednica 7: Izračun lastne teže stropa

talna obloga, $d = 1,5 \text{ cm}$	$g_{to}$	0,11	$\text{kN/m}^2$
cementni estrih, $d = 5 \text{ cm}$	$g_{ce}$	0,90	$\text{kN/m}^2$
lahki izolacijski beton z EPS kroglicami, $d = 7 \text{ cm}$	$g_{b.eps}$	0,21	$\text{kN/m}^2$
CLT plošče, $d = 12 \text{ cm}$	$g_{clt}$	0,58	$\text{kN/m}^2$
konstrukcijske late, $b \times h = 6 \text{ cm} \times 2,8 \text{ cm}$	$g_{kon.l}$	0,02	$\text{kN/m}^2$
mavčno kartonska plošča, $d = 1,25 \text{ cm}$	$g_{mkp}$	0,09	$\text{kN/m}^2$
<b>SKUPAJ</b>	$g_{stene}$	1,80	$\text{kN/m}^2$

## 7. STEKLENE POVRŠINE

Podatki:

višina okna  $h = 2,9 \text{ m}$   
 širina okna  $b = 3,3 \text{ m}$   
 površina stekla  $A_{st} = 6,44 \text{ m}^2$   
 površina lesa  $A_{les} = 3,13 \text{ m}^2$   
 skupna površina  $A = 9,57 \text{ m}^2$

Preglednica 8: Izračun lastne teže steklenih površin

stekleno okno troslojno, $d = 1,8 \text{ cm} (3 \times 6\text{mm})$	$G_{ste}$	2,57	kN
leseni elementi	$G_{le}$	2,48	kN
<b>SKUPAJ</b>	$G_{sp}$	5,05	kN
	$g_{sp}$	0,53	$\text{kN/m}^2$
	$g_{sp.h.z.}$	1,53	$\text{kN/m}$

Zaradi lažjega izračuna sem najprej določil celotno težo okna  $G_{sp}$ , ki sem jo razdelil enako kot pred tem stene.

## 4.2. SPREMENLJIVA OBTEŽBA

### 4.2.1. KORISTNA OBTEŽBA LJUDI IN OPREME

Koristna obtežba je upoštevana po standardu SIST EN 1991-1-1. Koristne obtežbe upoštevajo vrednosti za običajno uporabo ljudi in opremo prostora, ki je modelirana kot enakomerno porazdeljena obtežba. Velikosti koristne obtežbe se spreminjajo glede na vrsto namena. Obtežba je podana za površino  $1 \text{ m}^2$  ali kot točkovna obtežba, če je ta merodajna.

streha dostopna le za vzdrževanje in popravila- kategorija H

$$q_k = 0,4 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 1 \text{ kN}$$

pohodni del podstrešja je zaradi majhne višine težko dostopen, zato je obtežba zmanjšana

$$q_k = 1,5 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 2 \text{ kN}$$

pohodne površine - kategorija A

$$q_k = 2 \text{ kN/m}^2$$

$$Q_k = 2 \text{ kN}$$

### 4.2.2. OBTEŽBA SNEGA

Obtežba snega za začasna projektna stanja se izračuna po enačbi:

$$s = \mu_i * C_e * C_t * s_k \quad (4.1)$$

Karakteristična obtežba snega se izračuna po enačbi:

$$s_k = 1,29 * 3 * (1 + (\frac{A}{728})^2), \quad (4.2)$$

kjer je

$\mu_i$  ... oblikovni koeficient obtežbe snega prevzamemo 0,8,

$C_e$  ... koeficient izpostavljenosti, privzamemo 1,

$C_t$  ... toplotni koeficient, privzamemo 1,

$A$  ... nadmorska višina je 520 m,

$s_k$  ... karakteristična obtežba snega na tleh, ki je za cono A2 (dobimo jo v nacionalnem dodatku) izračunana po naslednji enačbi

$$s = 0,8 * 1,0 * 1,0 * 1,95 = 1,56 \text{ kN},$$

$$s_k = 1,293 * (1 + (\frac{520}{728})^2) = 1,95 \text{ kN/m}^2.$$

### 4.2.3 OBTEŽBA VETRA

Pri določitvi obtežbe z vetrom je potrebno določiti največji tlak pri največji hitrosti ob sunkih vetra  $q_p$  na višini  $z$ , ki vključuje srednjo hitrost in kratkotrajno spreminjanje hitrosti.

$$q_p = c_e * q_b \quad (4.3)$$

Osnovni tlak vetra je

$$q_b = \frac{1}{2} * \rho * v_b^2,$$

kjer je:

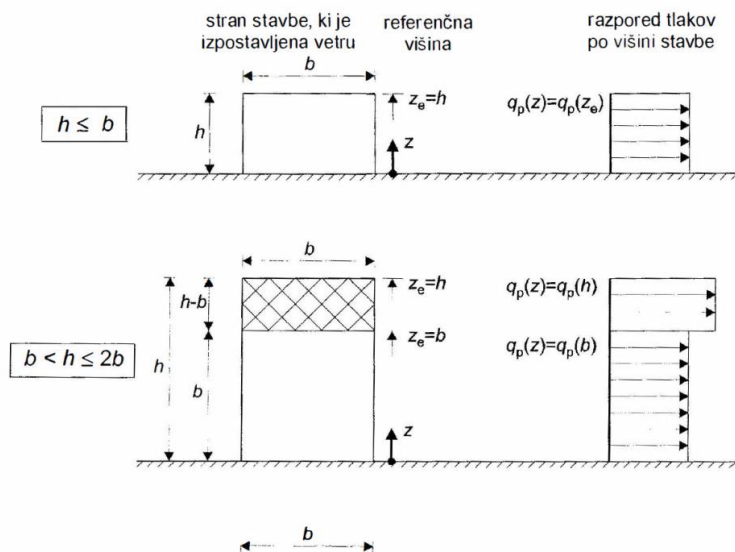
- $\rho$  ... gostota zraka, ki znaša  $1,25 \text{ kg/m}^3$ ,
- $c_e$  ... faktor izpostavljenosti, II. kategorija znaša  $2,1$ ,
- $v_b = v_{bo}$  ... projektna hitrost vetra v 1. coni po nacionalnem dodatku znaša  $20 \text{ m/s}$ .

$$q_b = \frac{1}{2} * 0,00125 * 20^2 = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

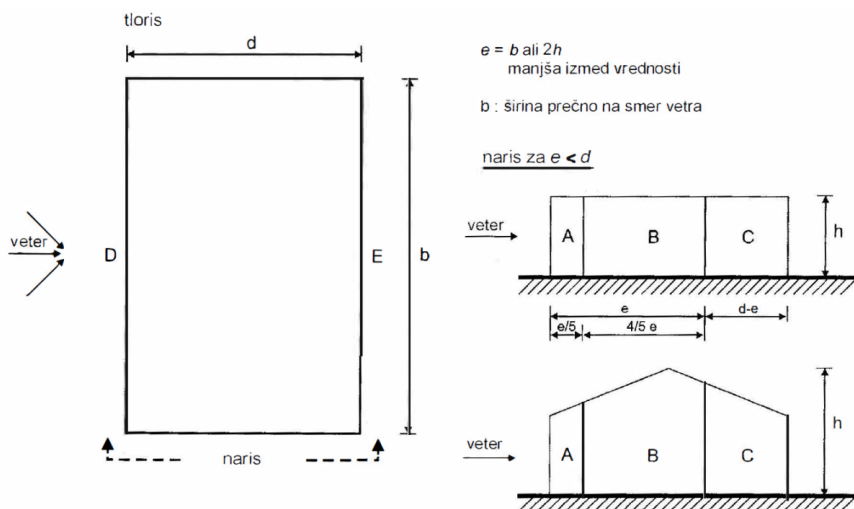
$$q_p = 2,1 * 0,25 = 0,53 \text{ kN/m}^2$$

### VETER VZDOLŽNO NA STAVBO

- $h$  ... višina stavbe
- $b$  ... širina stavbe glede na smer vetra
- $d$  ... dolžina stavbe glede na smer vetra
- $C_{pe}$  ... koeficient pritiskov na stene in pobočje, ki ga dobimo v ustreznih preglednicah
- $\frac{h}{d}$  ... razmerje za določitev koeficienta pritiskov na stene in področja



Slika 13: Prikaz razporeditve tlakov glede na višino stavbe (SIST EN 1991-1-4:2005; Slika 7.4)



Slika 14: Razdelitev sten na področja (SIST EN 1991-1-4:2005; Slika 7.5)

$h = 8,3 \text{ m}$

$b = 7,02 \text{ m}$

$d = 12,4 \text{ m}$

$b < h < 2b \Rightarrow 7,02 < 8,3 < 14,04$  Iz tega pogoja sledi, da je treba upoštevati tlak vetra v dveh različnih stopnjah, kot je prikazano na Sliki 13.

$e = \min(b \text{ ali } 2h) = 7,02 \text{ m}$

$e < d \Rightarrow 7,02 < 12,4$  Iz tega pogoja sledi, da je potrebno pri upoštevanju tlaka vetra steno razdeliti na tri polja, kot je prikazano na Sliki 14.

Preglednica 9: Zunanji tlak vetra vzdolžno na stavbo

	A	B	C	D	E
$C_{pe,10}$	-1,20	-0,80	-0,50	0,75	-0,40
$q_p$	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
$w_e$	-0,63	-0,42	-0,26	0,39	-0,21

notranji tlak vetra

$C_{pi}$  ... koeficient notranjega tlaka, katerega mejni vrednosti sta 0,2;-0,3

$\mu$  ... faktor odprtosti in prepustnosti ovoja, ker ga ne moremo določiti, prevzamemo mejni vrednosti  $C_{pi}$

$W_{i1} = 0,11 \text{ kN/m}$  notranji tlak

$W_{i2} = -0,16 \text{ kN/m}$  notranji srk

Preglednica 10: Neto obtežba vetra vzdolžno na stavbo

	A	B	C	D	E
w	-0,47	-0,26	-0,11	0,50	-0,37

### VETER PREČNO NA STAVBO

$$h = 8,3 \text{ m}$$

$$d = 7,02 \text{ m}$$

$$b = 12,4 \text{ m}$$

$h < b \Rightarrow 8,3 < 12,4$  Iz tega pogoja sledi, da se veter upošteva enakomerno od tal do vrha.

$$e = \min(b \text{ ali } 2h) = 12,4$$

$e > d \Rightarrow 12,4 > 7,02$  Iz tega pogoja sledi, da je potrebno pri upoštevanju tlaka vetra steno razdeliti na dve polji.

Preglednica 11: Zunanji tlak vetra

	A	B	D	E
$C_{pe,10}$	-1,20	-0,80	0,80	-0,50
$q_p$	0,53	0,53	0,53	0,53
$w_e$	-0,63	-0,42	0,42	-0,26

notranji tlak vetra

$$W_{i1} = 0,11 \text{ kN/m notranji tlak}$$

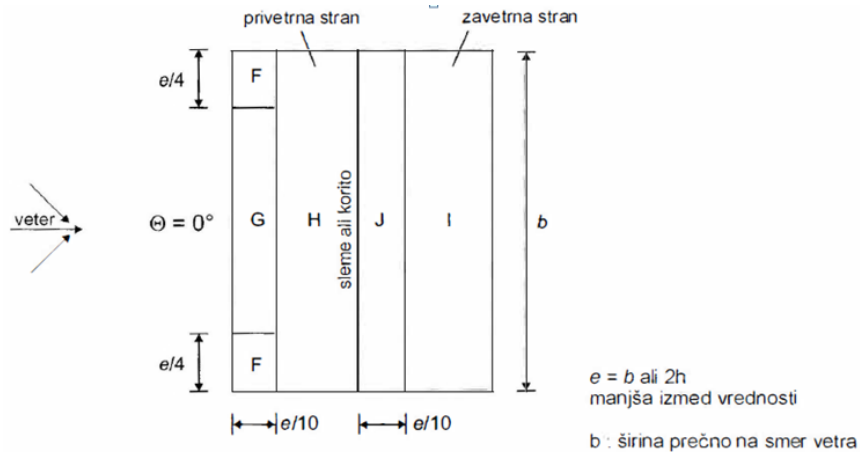
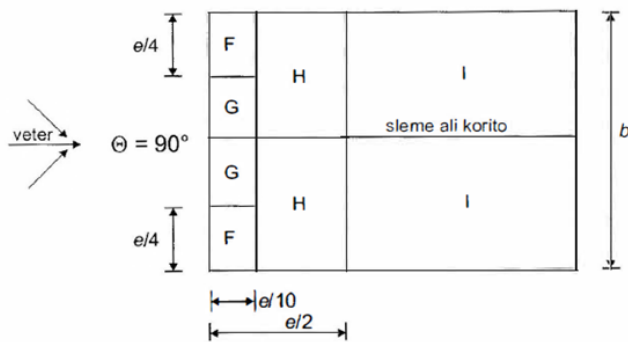
$$W_{i2} = -0,16 \text{ kN/m notranji srk}$$

Preglednica 12: Neto obtežba prečno na stavbo

	A	B	D	E
w	-0,79	-0,58	0,53	-0,42

VETER VZDOLŽNO NA STREHO

Pri vetru na streho je pomemben tudi naklon strehe, zato je potrebno paziti pri izbiranju ustreznih koeficientov.

(b) smer vetra  $\Theta = 0^\circ$ (c) smer vetra  $\Theta = 0^\circ$ 

Slika 15: Razdelitev dvokapnice na področja (SIST EN 1991-1-4:2005; Slika 7.8)

$\alpha$  ... naklon strehe, kateri znaša  $30^\circ$

$$h = 8,3 \text{ m}$$

$$b = 7,02 \text{ m}$$

$$d = 12,4 \text{ m}$$

$e = \min(b \text{ ali } 2h) = 7,02 \text{ m}$  V tem primeru faktor  $e$  določa velikost področja na strehi, kot je prikazano na Sliki 15.

Preglednica 13: Zunanji tlak vetra vzdolžno na streho

	F	G	H	I	J
$C_{pe,10}$	0,70	0,70	0,40	-0,40	-0,50
$q_p$	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
$w_e$	0,37	0,37	0,21	-0,21	-0,26

Preglednica 14: Zunanji srk vetra vzdolžno na streho

	F	G	H	I	J
$C_{pe,10}$	-0,50	-0,50	-0,20	-0,40	-0,50
$q_p$	0,53	0,53	0,53	0,53	0,53
$w_e$	-0,27	-0,27	-0,11	-0,21	-0,27

#### VETER PREČNO NA STREHO

$h = 8,3$  m

$d = 7,02$  m

$b = 12,4$  m

$e = \min(b \text{ ali } 2h) = 12,4$  m V tem primeru faktor e določa velikost področja na strehi, kot je prikazano na Sliki 15.

Pri tej kombinaciji vedno pride samo do srka.

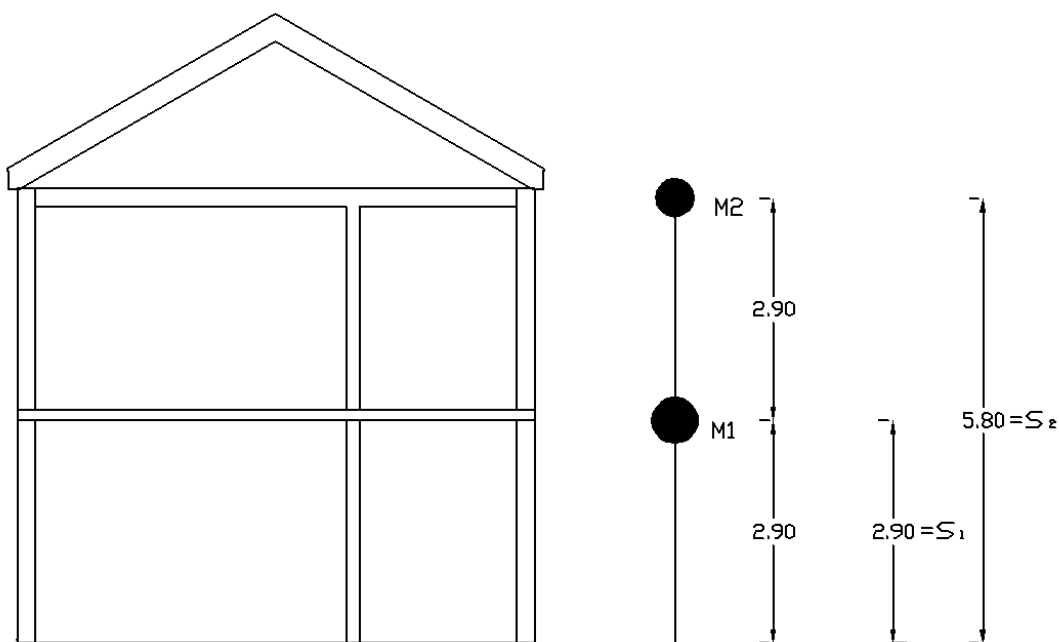
Preglednica 15: Zunanji srk vetra prečno na streho

	F	G	H	I
$C_{pe,10}$	-1,10	-1,40	-0,80	-0,50
$q_p$	0,53	0,53	0,53	0,53
$w_e$	-0,58	-0,74	-0,42	-0,26

#### 4.2.4 POTRESNA OBTEŽBA

Potresno silo določimo v skladu s potresno analizo objekta kot celote. Izračuni so narejeni v skladu s standardom Evrokod 8. Predpostavimo, da so mase koncentrirane na nivoju etaže in da je medetažna plošča toga diafragma.

$$F_b = S_d(T_1) * m * \lambda \quad (4.4)$$



Slika 16: Prikaz koncentriranja mas v etažah

##### 4.2.4.1 IZRAČUN MAS

Za določitev vseh mas v konstrukciji je potrebno upoštevati sledečo formulo:

$$\sum G_{k,j} + \sum \psi_{E,i} * Q_{k,i} \quad (4.5)$$

kjer je

$G_{k,j}$	skupna lastna in stalna obtežba,
$\psi_{E,i}$	koeficient za kombinacijo za spremenljivi vpliv $i$ ,
$Q_{k,i}$	koristna obtežba.

Koeficient za kombinacijo za spremenljivi vpliv  $i$  določimo po:

$$\psi_{E,i} = \varphi * \psi_{2,i} \quad (4.6)$$

kjer je:

$\varphi$  reducijski faktor, z vrednostjo 0,5 za stanovanjske objekte, kjer so etaže zasedene neodvisno.

Vrednosti faktorjev  $\psi_{2,i}$  za stavbe:

- bivalni prostori, kategorija A  $\psi_{2,i} = 0,3$



- strehe, kategorija H  $\psi_{2,i} = 0,0$
- obtežba snega in vetra na stavbo  $\psi_{2,i} = 0,0$

- MASA 1 ;  $G_1$

zunanje stene (pritličje)	$G = (25,5 \text{ m} * 2,28 \text{ kN/m}) / 2 =$	29.09 kN
zunanje stene (nadstropje)	$G = (26,3 \text{ m} * 2,28 \text{ kN/m}) / 2 =$	30.00 kN
notranje stene (pritličje)	$G = (17,6 \text{ m} * 1,91 \text{ kN/m}) / 2 =$	16.80 kN
notranje stene (nadstropje)	$G = (25,6 \text{ m} * 1,91 \text{ kN/m}) / 2 =$	24.48 kN
steklene površine	$G = (11 \text{ m} * 1,53 \text{ kN/m}) / 2 =$	8.42 kN
strop	$G = (12,3 \text{ m} * 6,9 \text{ m} * 1.8 \text{ kN/m}^2) =$	152.77 kN

$$G_1 = 261.55 \text{ kN}$$

- MASA 2 ;  $G_2$

zunanje stene (nadstropje)	$G = (1,8 \text{ m} * 6,9 \text{ m} * 0,787 \text{ kN/m}^2 + 26,3 \text{ m} * 2,28 \text{ kN/m}) / 2 =$	39.77 kN
notranje stene (nadstropje)	$G = (26,3 \text{ m} * 1,91 \text{ kN/m}) / 2 =$	25.10 kN
steklene površine	$G = (10 \text{ m} * 1,53 \text{ kN/m}) / 2 =$	7.65 kN
strop	$G = (2,2 \text{ m} * 12,3 \text{ m} * 1,11 \text{ kN/m}^2 + 4,4 \text{ m} * 12,3 \text{ m} * 1,03 \text{ kN/m}^2) =$	85.85 kN
streha	$G = (12,3 \text{ m} * 6,9 \text{ m} * 0.55 \text{ kN/m}^2) =$	46.57 kN

$$G_2 = 204.95 \text{ kN}$$

- koristna obtežba stropa:

$$Q_{\text{strop}} = 2 \text{ kN/m}^2 * 12,3 \text{ m} * 6,9 \text{ m} = 169,74 \text{ kN}$$

skupna masa:

kombinacija lastne teže + koristne obtežbe

1. etaža

$$\Sigma G_1 + \Sigma Q_{\text{strop}} * \psi_{e,i} = 261,55 \text{ kN} + 169,74 \text{ kN} * 0,3 * 0,5 = 287,02 \text{ kN}$$

$$m_1 = 29257,9 \text{ kg}$$

2. etaža

$$\Sigma G_2 + \Sigma Q_{\text{strop}} * \psi_{e,i} = 204,95 \text{ kN} + 169,74 \text{ kN} * 0,5 * 0,0 = 204,95 \text{ kN}$$

$$m_2 = 20892,1 \text{ kg}$$

$$M = m_1 + m_2 = 29257,9 \text{ kg} + 20892,1 \text{ kg} = 50149,57 \text{ kg}$$

masna matrika

$$M = \begin{bmatrix} m_1 & 0 \\ 0 & m_2 \end{bmatrix} \text{ kg} = \begin{bmatrix} 29257.9 & 0 \\ 0 & 20892.1 \end{bmatrix} \text{ kg}$$

## 4.2.4.2 IZRAČUN TOGOSTI STEN

Lastnosti plošč OSB, MVP in lepljenega lesa:

debelina plošče	$t_{OSB} =$	1.5 cm		
	$t_{MVP} =$	1.5 cm		
širina plošče	$b_{OSB} =$	125 cm		
	$b_{MVP} =$	125 cm		
višina plošče	$h_{OSB} =$	290 cm		
	$h_{MVP} =$	290 cm		
elastični modul	$E_{OSB.mean} =$	300 kN/cm <sup>2</sup>		
	$E_{MVP.mean} =$	380 kN/cm <sup>2</sup>		
	$E_{0.mean} =$	1160 kN/cm <sup>2</sup>		
strižni modul	$G_{OSB.mean} =$	108 kN/cm <sup>2</sup>		
	$G_{MVP.mean} =$	160 kN/cm <sup>2</sup>		
	$G_{0.mean} =$	72 kN/cm <sup>2</sup>		
karakteristična gostota	$\rho_{OSB.m} =$	600 kg/m <sup>3</sup>		
	$\rho_{MVP.m} =$	1150 kg/m <sup>3</sup>		
	$\rho_{t.m} =$	380 kg/m <sup>3</sup>		
preseki sponke	$d_s =$	1.53 mm		
efektivna razdalja	$s_{ef} =$	7.5 cm		
prerez pokončnika	zunaj $b_p =$	8 cm	$h_p =$	16 cm
	znotraj $b_p =$	8 cm	$h_p =$	10 cm

Togost stene se izračuna po enačbi:

$$k_z = \frac{1}{D_p}, \quad (4.7)$$

kjer je  $D_p$  podajnost panela

$$D_p = \frac{H^3}{3 \cdot E_{eff}} + \frac{H}{G \cdot A_s}, \quad (4.8)$$

in je

$H$  višina panela,

$GA$  strižna togost, od koder sledi  $A_s \approx \frac{A}{1.2}$  ... za pravokotne prereze  $GA_s = \frac{GA}{1.2}$ ,

$E_{eff}$  efektivna upogibna togost, ki je določena po  $E_{eff} = \sum E_i \cdot I_i$ .

$$E_{eff} = E_i \cdot \frac{2 \cdot t \cdot b^3}{12} + E_i \cdot \left( \frac{2 \cdot h_p \cdot b_p^3}{12} + \frac{h_p \cdot b_p^3}{12} + 2 \cdot \gamma \cdot A \cdot z_s^2 \right), \quad (4.9)$$

kjer je

$\gamma$  koeficient togosti veznih sredstev, ki je določen po  $\gamma_y = \left( 1 + \frac{\pi^2 \cdot A_t \cdot E_0 \cdot s_{ef}}{L_{eff}^2 \cdot 2 \cdot K} \right)^{-1}$ ,

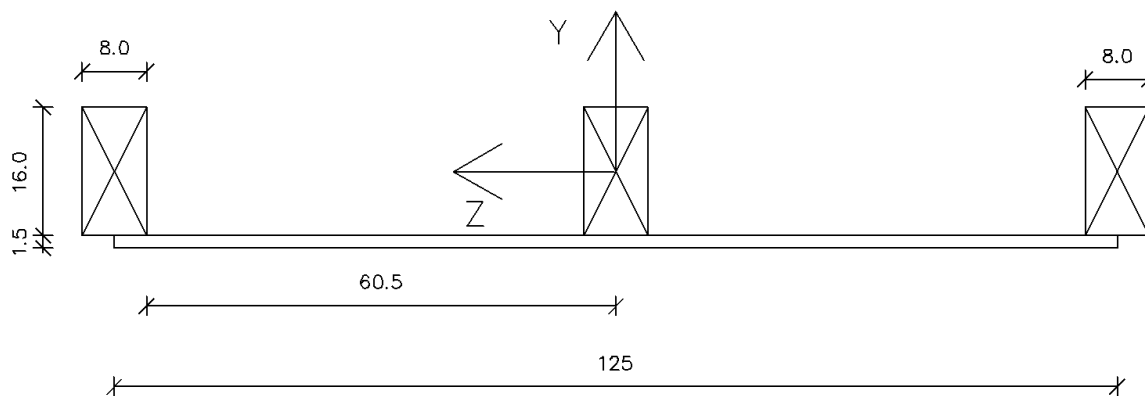
$K$  modul pomikov, ki se določi po  $K = \left( \frac{\rho^{1.5} \cdot d_s^{0.8}}{80} \right) \cdot 0,01$ ,

$\rho$  karakteristična gostota, ki se določi po  $\rho = \sqrt{\rho_i \cdot \rho_i}$ ,  
 $z_s$  razdalja med globalno osjo y in lokalno osjo y,  $z_s = \frac{b-bp}{2}$ .

#### 4.2.4.3 IZRAČUN TOGOSTI ZUNANJE STENE

Pri zunanji steni imamo različne materiale na zunanji in notranji stene, kar posledično predstavlja različna modula elastičnosti ter strižni modul, ki sta polno izkoriščena pri različnih deformacijah in jih zato ne smemo sešteti. To pomeni, da ju je potrebno izračunati za vsak sloj posebej. Izbral bom samo tistega z večjo togostjo, drugega ne bom upošteval.

zunanj stenski model:



Slika 17: Tehniška risba horizontalnega prereza zunanje stene

Upoštevana je enojna OSB plošča

Razdalja med globalno osjo y in lokalno osjo y

$$z_s = \frac{b - bp}{2} = \frac{125 \text{ cm} - 4 \text{ cm}}{2} = 60,50 \text{ cm},$$

karakteristična gostota je izračunana po:

$$\rho = \sqrt{\rho_{OSB} \cdot \rho_t} = \sqrt{600 \cdot 380} = 477,49 \text{ kg/m}^3,$$

modul pomikov za SLS (mejno stanje uporabnosti) ter USL (mejno stanje nosilnosti)

$$K_{ser} = \left( \frac{\rho^{1,5} \cdot d_s^{0,8}}{80} \right) \cdot 0,01 = \left( \frac{477,49^{1,5} \cdot 1,53^{0,8}}{80} \right) \cdot 0,01 = 1,83 \text{ kN/cm},$$

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser} = \frac{2}{3} 1,83 \text{ kN/cm} = 1,22 \text{ kN/cm},$$

koeficient togosti veznih sredstev

$$\gamma_{y,ser} = \left(1 + \frac{\pi^2 \cdot A_t \cdot E_o \cdot s_{ef}}{L_{eff}^2 \cdot 2 \cdot K_{ser}}\right)^{-1} = \left(1 + \frac{\pi^2 \cdot 8 \cdot 16 \cdot 1160 \cdot 7,5}{290^2 \cdot 2 \cdot 1,83}\right)^{-1} = 0,027,$$

$$\gamma_{y,u} = \left(1 + \frac{\pi^2 \cdot A_t \cdot E_o \cdot s_{ef}}{L_{eff}^2 \cdot 2 \cdot K_u}\right)^{-1} = \left(1 + \frac{\pi^2 \cdot 8 \cdot 16 \cdot 1160 \cdot 7,5}{290^2 \cdot 2 \cdot 1,22}\right)^{-1} = 0,018,$$

efektivna upogibna togost

$$\begin{aligned} (EI_y)_{eff,ser} &= E_{osb} \cdot I_{osb} + E_o \cdot I_o = E_{osb} \cdot \frac{2 \cdot t \cdot b^3}{12} + E_t \cdot \left(\frac{2 \cdot h_p \cdot b_p^3}{12} + \frac{h_p \cdot b_p^3}{12}\right) + 2 \cdot \gamma_{yi} \cdot A_{tl} \cdot z_s^2 = \\ &= 300 \cdot \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 125^3}{12} + 1160 \cdot \left(\frac{2 \cdot 16 \cdot 8^3}{12} + \frac{16 \cdot 8^3}{12}\right) + 0,027 \cdot 8 \cdot 16 \cdot 60,50^2 = \\ (EI_y)_{eff,ser} &= 1,65 \cdot 10^8 \text{ kN/cm}^2 = 1,65 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (EI_y)_{eff,u} &= E_{osb} \cdot I_{osb} + E_o \cdot I_o = E_{osb} \cdot \frac{2 \cdot t \cdot b^3}{12} + E_t \cdot \left(\frac{2 \cdot h_p \cdot b_p^3}{12} + \frac{h_p \cdot b_p^3}{12}\right) + 2 \cdot \gamma_{yi} \cdot A_{tl} \cdot z_s^2 = \\ &= 300 \cdot \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 125^3}{12} + 1160 \cdot \left(\frac{2 \cdot 16 \cdot 8^3}{12} + \frac{16 \cdot 8^3}{12}\right) + 2 \cdot 0,018 \cdot 8 \cdot 16 \cdot 60,50^2 = \\ (EI_y)_{eff,u} &= 1,59 \cdot 10^8 \text{ kN/cm}^2 = 1,59 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2, \end{aligned}$$

strižna togost

$$GA = G_{osb} \cdot A_{osb} + G_o \cdot A_o = 108 \cdot (1,5 \cdot 125) + 72 \cdot (2 \cdot 8 \cdot 16 + 8 \cdot 16) = 47898 \text{ kN},$$

$A_s \approx \frac{A}{1,2}$  ... za pravokotne prereze

$$GA_s = \frac{GA}{1,2} = \frac{47898}{1,2} = 39915 \text{ kN},$$

podajnost stenskega panela

$$D_p = \frac{H^3}{3 \cdot EI_{eff}} + \frac{H}{G \cdot A_s},$$

$$D_{p,ser} = \frac{2,90^3}{3 \cdot 1,65 \cdot 10^4} + \frac{2,90}{39915} = 5,7 \cdot 10^{-4} \text{ m/kN},$$

$$D_{p,u} = \frac{2,90^3}{3 \cdot 1,59 \cdot 10^4} + \frac{2,90}{39915} = 5,8 \cdot 10^{-4} \text{ m/kN},$$

togost stenskega panela

$$k_{ser,z} = \frac{1}{D_{p,ser}} = \frac{1}{4,7 \cdot 10^{-4}} = 1764,1 \text{ kN/m},$$

$$k_{u,z} = \frac{1}{D_{p,u}} = \frac{1}{5,0 \cdot 10^{-4}} = 1715,2 \text{ kN/m},$$

### Upoštevana je enojna MVP ploščo

Razdalja med globalno osjo y in lokalno osjo y

$$z_s = \frac{b-b_p}{2} = \frac{125\text{cm} \cdot 4\text{cm}}{2} = 60,50\text{ cm},$$

karakteristična gostota

$$\rho = \sqrt{\rho_{MVP} \cdot \rho_t} = \sqrt{1150 \cdot 380} = 661,06\text{ kg/m}^3,$$

modul pomikov za SLS (mejno stanje uporabnosti) ter USL ( mejno stanje nosilnosti)

$$K_{ser} = \left( \frac{\rho^{1,5} \cdot d_s^{0,8}}{80} \right) \cdot 0,01 = \left( \frac{661,06^{1,5} \cdot 1,53^{0,8}}{80} \right) \cdot 0,01 = 2,99\text{ kN/cm},$$

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser} = \frac{2}{3} 2,99\text{ kN/cm} = 1,99\text{ kN/cm},$$

koeficient togosti veznih sredstev

$$\gamma_{y,ser} = \left( 1 + \frac{\pi^2 \cdot A_t \cdot E_o \cdot s_{ef}}{L_{eff}^2 \cdot 2 \cdot K_{ser}} \right)^{-1} = \left( 1 + \frac{\pi^2 \cdot 8 \cdot 16 \cdot 1160 \cdot 7,5}{290^2 \cdot 2 \cdot 2,99} \right)^{-1} = 0,044,$$

$$\gamma_{y,u} = \left( 1 + \frac{\pi^2 \cdot A_t \cdot E_o \cdot s_{ef}}{L_{eff}^2 \cdot 2 \cdot K_u} \right)^{-1} = \left( 1 + \frac{\pi^2 \cdot 8 \cdot 16 \cdot 1160 \cdot 7,5}{290^2 \cdot 2 \cdot 1,99} \right)^{-1} = 0,029,$$

efektivna upogibna togost

$$\begin{aligned} (EI_y)_{eff,ser} &= E_{mvp} \cdot I_{mvp} + E_o \cdot I_o = E_{mvp} \cdot \frac{2 \cdot t \cdot b^3}{12} + E_t \cdot \left( \frac{2 \cdot h_p \cdot b_p^3}{12} + \frac{h_p \cdot b_p^3}{12} \right) + 2 \cdot \gamma_{yi} \cdot A_{tl} \cdot z_s^2 = \\ &= 380 \cdot \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 125^3}{12} + 1160 \cdot \left( \frac{2 \cdot 16 \cdot 8^3}{12} + \frac{16 \cdot 8^3}{12} \right) + 0,044 \cdot 8 \cdot 16 \cdot 60,50^2 = \\ (EI_y)_{eff,ser} &= 2,13 \cdot 10^8\text{ kN/cm}^2 = 2,13 \cdot 10^4\text{ kN/m}^2, \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (EI_y)_{eff,u} &= E_{osb} \cdot I_{osb} + E_o \cdot I_o = E_{osb} \cdot \frac{2 \cdot t \cdot b^3}{12} + E_t \cdot \left( \frac{2 \cdot h_p \cdot b_p^3}{12} + \frac{h_p \cdot b_p^3}{12} \right) + 2 \cdot \gamma_{yi} \cdot A_{tl} \cdot z_s^2 = \\ &= 380 \cdot \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 125^3}{12} + 1160 \cdot \left( \frac{2 \cdot 16 \cdot 8^3}{12} + \frac{16 \cdot 8^3}{12} \right) + 0,029 \cdot 8 \cdot 16 \cdot 60,50^2 = \\ (EI_y)_{eff,u} &= 2,05 \cdot 10^8\text{ kN/cm}^2 = 2,05 \cdot 10^4\text{ kN/m}^2, \end{aligned}$$

strižna togost

$$G A = G_{mvp} \cdot A_{mvp} + G_o \cdot A_o = 160 \cdot (1,5 \cdot 125) + 72 \cdot (2 \cdot 8 \cdot 16 + 8 \cdot 16) = 57648\text{ kN},$$

$A_s \approx \frac{A}{1,2}$  ... za pravokotne prereze

$$G A_s = \frac{G A}{1,2} = \frac{57648}{1,2} = 48040\text{ kN},$$

podajnost stenskega panela

$$D_p = \frac{H^3}{3 \cdot EI_{eff}} + \frac{H}{G \cdot A_s'}$$

$$D_{p,ser} = \frac{2.90^3}{3 \cdot 2,13 \cdot 10^4} + \frac{2.90}{48040} = 4,4 \cdot 10^{-4} \text{ m/kN},$$

$$D_{p,u} = \frac{2.90^3}{3 \cdot 2,05 \cdot 10^4} + \frac{2.90}{48040} = 4,6 \cdot 10^{-4} \text{ m/kN},$$

togost stenskega panela

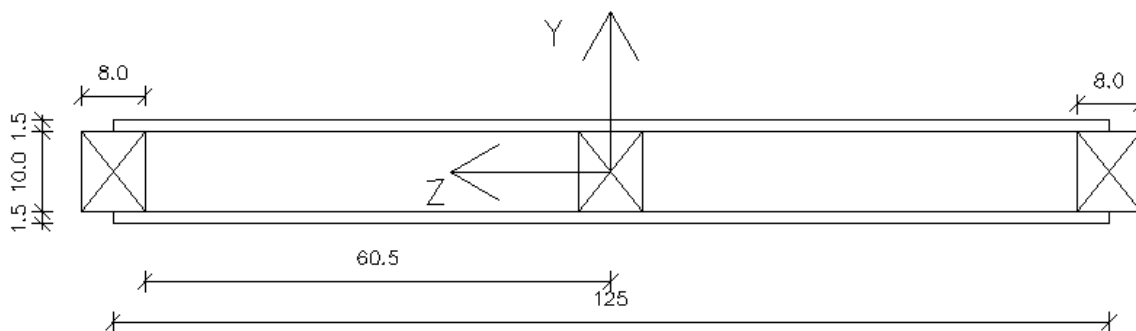
$$k_{ser,z} = \frac{1}{D_{p,ser}} = \frac{1}{4,4 \cdot 10^{-4}} = 2266,3 \text{ kN/m},$$

$$k_{u,z} = \frac{1}{D_{p,u}} = \frac{1}{4,6 \cdot 10^{-4}} = 2186,1 \text{ kN/m}.$$

#### 4.2.4.4 IZRAČUN TOGOSTI NOTRANJE STENE

V primeru notranje stene gre na obeh straneh za enaki plošči, zato lahko togosti seštejem.

Upoštevam dvakrat MVP ploščo



Slika 18: Prečni prerez notranje stene

Razdalja med globalno osjo y in lokalno osjo y:

$$z_s = \frac{b - bp}{2} = \frac{125 \text{ cm} - 4 \text{ cm}}{2} = 60,50 \text{ cm}$$

karakteristična gostota:

$$\rho = \sqrt{\rho_{MVP} \cdot \rho_t} = \sqrt{1150 \cdot 380} = 661,06 \text{ kg/m}^3$$

modul pomikov za SLS (mejno stanje uporabnosti) ter USL( mejno stanje nosilnosti):

$$K_{ser} = \left( \frac{\rho^{1,5} \cdot d_s^{0,8}}{80} \right) \cdot 0,01 = \left( \frac{661,06^{1,5} \cdot 1,53^{0,8}}{80} \right) \cdot 0,01 = 2,99 \text{ kN/cm}$$

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser} = \frac{2}{3} \cdot 2,99 \text{ kN/cm} = 1,99 \text{ kN/cm}$$

koeficient togosti veznih sredstev:

$$\gamma_{y,ser} = \left( 1 + \frac{\pi^2 \cdot A_t \cdot E_o \cdot s_{eff}}{L_{eff}^2 \cdot 2 \cdot K_{ser}} \right)^{-1} = \left( 1 + \frac{\pi^2 \cdot 8 \cdot 16 \cdot 1160 \cdot 7,5}{2 \cdot 290^2 \cdot 2 \cdot 2,99} \right)^{-1} = 0,226$$

$$\gamma_{y,u} = \left( 1 + \frac{\pi^2 \cdot A_t \cdot E_o \cdot s_{eff}}{L_{eff}^2 \cdot 2 \cdot K_u} \right)^{-1} = \left( 1 + \frac{\pi^2 \cdot 8 \cdot 16 \cdot 1160 \cdot 7,5}{2 \cdot 290^2 \cdot 2 \cdot 1,99} \right)^{-1} = 0,163$$

efektivna upogibna togost:

$$\begin{aligned} (EI_y)_{eff,ser} &= E_{mvp} \cdot I_{mvp} + E_o \cdot I_o = E_{mvp} \cdot \frac{2 \cdot t \cdot b^3}{12} + E_t \cdot \left( \frac{2 \cdot h_p \cdot b_p^3}{12} + \frac{h_p \cdot b_p^3}{12} + 2 \cdot \gamma_{yi} \cdot A_{tl} \cdot z_s^2 \right) = \\ &= 380 \cdot \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 125^3}{12} + 1160 \cdot \left( \frac{2 \cdot 10 \cdot 8^3}{12} + \frac{10 \cdot 8^3}{12} + 2 \cdot 0,226 \cdot 8 \cdot 10 \cdot 60,50^2 \right) \\ (EI_y)_{eff,ser} &= 3,80 \cdot 10^8 \text{ kN/cm}^2 = 3,80 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (EI_y)_{eff,u} &= E_{osb} \cdot I_{osb} + E_o \cdot I_o = E_{osb} \cdot \frac{2 \cdot t \cdot b^3}{12} + E_t \cdot \left( \frac{2 \cdot h_p \cdot b_p^3}{12} + \frac{h_p \cdot b_p^3}{12} + 2 \cdot \gamma_{yi} \cdot A_{tl} \cdot z_s^2 \right) = \\ &= 380 \cdot \frac{2 \cdot 1,5 \cdot 125^3}{12} + 1160 \cdot \left( \frac{2 \cdot 10 \cdot 8^3}{12} + \frac{10 \cdot 8^3}{12} + 2 \cdot 0,163 \cdot 8 \cdot 10 \cdot 60,50^2 \right) \\ (EI_y)_{eff,u} &= 3,05 \cdot 10^8 \text{ kN/cm}^2 = 3,05 \cdot 10^4 \text{ kN/m}^2 \end{aligned}$$

strižna togost:

$$G A = G_{mvp} \cdot A_{mvp} + G_o \cdot A_o = 160 \cdot (2 \cdot 1,5 \cdot 125) + 72 \cdot (2 \cdot 8 \cdot 10 + 8 \cdot 10) = 77280 \text{ kN}$$

$$A_s \approx \frac{A}{1,2} \dots \text{ za pravokotne prereze}$$

$$G A_s = \frac{G A}{1,2} = \frac{41280}{1,2} = 64400 \text{ kN}$$

podajnost stenskega panela:

$$D_p = \frac{H^3}{3 \cdot EI_{eff}} + \frac{H}{G \cdot A_s}$$

$$D_{p,ser} = \frac{2,90^3}{3 \cdot 3,80 \cdot 10^4} + \frac{2,90}{64400} = 2,6 \cdot 10^{-4} \text{ m/kN}$$

$$D_{p,u} = \frac{2,90^3}{3 \cdot 3,05 \cdot 10^4} + \frac{2,90}{64400} = 3,1 \cdot 10^{-4} \text{ m/kN}$$

togost stenskega panela:

$$k_{ser,n} = \frac{1}{D_{p,ser}} = \frac{1}{2,6 \cdot 10^{-4}} = 3860,3 \text{ kN/m}$$

$$k_{u,n} = \frac{1}{D_{p,u}} = \frac{1}{4,3 \cdot 10^{-4}} = 3211,2 \text{ kN/m}$$

#### 4.2.5. TOGOSTNA MATRIKA OBJEKTA

Za določanje togostne matrike je najprej potrebno določiti togost nadstropij v smereh x in y. Za določitev togosti zunanjih sten je potrebno vzeti samo en sloj zunanjih oblog panela zaradi različnih deformacijskih lastnosti materialov. Določi se po enačbi:

$$k = \sum L_i * k_{u,i}, \quad (4.10)$$

kjer je

$L_i$  dolžina stene v etaži, v metrih,  
 $k_{u,i}$  togost stene;

togost nadstropij:

$L_{x1z} = 13,5 \text{ m}$  število metrov zunanje stene v pritličju, v smeri x  
 $L_{x1n} = 7,3 \text{ m}$  število metrov notranje stene v pritličju, v smeri x  
 $L_{x2z} = 13,9 \text{ m}$  število metrov zunanje stene v nadstropju, v smeri x  
 $L_{x2n} = 8,4 \text{ m}$  število metrov notranje stene v nadstropju, v smeri x  
 $L_{y1z} = 8,2 \text{ m}$  število metrov zunanje stene v pritličju, v smeri y  
 $L_{y1n} = 7,4 \text{ m}$  število metrov notranje stene v pritličju, v smeri y  
 $L_{y2z} = 8,1 \text{ m}$  število metrov zunanje stene v nadstropju, v smeri y  
 $L_{y2n} = 12,3 \text{ m}$  število metrov notranje stene v nadstropju, v smeri y

smer x:

pritličje

$$k_{1x} = L_{x1z} * k_{u,z} + L_{x1n} * k_{u,n} = 13,5 * 2186,1 + 7,3 * 3211,2 = 52953,9 \text{ kN/m}$$

nadstropje

$$k_{2x} = L_{x2z} * k_{u,z} + L_{x2n} * k_{u,n} = 13,9 * 2186,1 + 8,4 * 3211,2 = 57360,7 \text{ kN/m}$$

smer y:

pritličje

$$k_{1y} = L_{y1z} * k_{u,z} + L_{y1n} * k_{u,n} = 8,2 * 2186,1 + 7,4 * 3211,2 = 41688,8 \text{ kN/m}$$

nadstropje

$$k_{2y} = L_{y2z} * k_{u,z} + L_{y2n} * k_{u,n} = 8,1 * 2186,1 + 12,3 * 3211,2 = 57205,0 \text{ kN/m}$$



### togostna matrika

$$K_x = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 110315,0 & -57360,7 \\ -57360,7 & 57360,7 \end{bmatrix}$$

$$K_y = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 \\ -k_2 & k_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 98893,8 & -57205,0 \\ -57205,0 & 57205,0 \end{bmatrix}$$

### **4.2.6 NIHAJNI ČASI OBJEKTA**

Togosti v obeh smereh se razlikujeta. Prav tako se razlikujeta nihajna časa v obeh smereh, vendar je ta razlika majhna.

#### SMER X:

$$[K] \cdot \{\phi\} = \omega^2 \cdot [M] \cdot \{\phi\} \quad (4.11)$$

$$[K] \cdot \{\phi\} - \omega^2 \cdot [M] \cdot \{\phi\} = 0$$

$$[[K] - \omega^2 \cdot [M]] \cdot \{\phi\} = 0$$

Rešitev enačbe obstaja, če je:  $\det[[K] - \omega^2 \cdot [M]] = 0$

$$\det \begin{bmatrix} 110315,0 - 29,26 \cdot \omega^2 & -57360,7 \\ -57360,7 & 57360,7 - 20,89 \cdot \omega^2 \end{bmatrix} = 0$$

Krožne frekvence (lastne vrednosti):

$$\omega_1^2 = 1092 \text{ s} \quad \implies \quad \omega_1 = 33,05 \text{ s}^{-1}$$

$$\omega_2^2 = 11478 \text{ s} \quad \implies \quad \omega_2 = 107,14 \text{ s}^{-1}$$

Nihajni časi:

$$T_{1,x} = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_1} = \frac{2 \cdot \pi}{33,05} = 0,190 \text{ s}$$

$$T_{2,x} = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_2} = \frac{2 \cdot \pi}{107,14} = 0,059 \text{ s}$$

SMER Y:

$$[K] \cdot \{\phi\} = \omega^2 \cdot [M] \cdot \{\phi\}$$

$$[K] \cdot \{\phi\} - \omega^2 \cdot [M] \cdot \{\phi\} = 0$$

$$[[K] - \omega^2 \cdot [M]] \cdot \{\phi\} = 0$$

Rešitev enačbe obstaja, če je:  $\det[[K] - \omega^2 \cdot [M]] = 0$

$$\det \begin{bmatrix} 98893,8 - 29,26 \cdot \omega^2 & -57205,0 \\ -57205,0 & 57205,0 - 20,89 \cdot \omega^2 \end{bmatrix} = 0$$

Krožne frekvence (lastne vrednosti):

$$\omega_1^2 = 901,6 \text{ s} \quad \implies \quad \omega_1 = 30,03 \text{ s}^{-1}$$

$$\omega_2^2 = 10468,6 \text{ s} \quad \implies \quad \omega_2 = 102,32 \text{ s}^{-1}$$

Nihajni časi:

$$T_{1,y} = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_1} = \frac{2 \cdot \pi}{30,03} = 0,209 \text{ s}$$

$$T_{2,y} = \frac{2 \cdot \pi}{\omega_2} = \frac{2 \cdot \pi}{102,32} = 0,061 \text{ s}$$

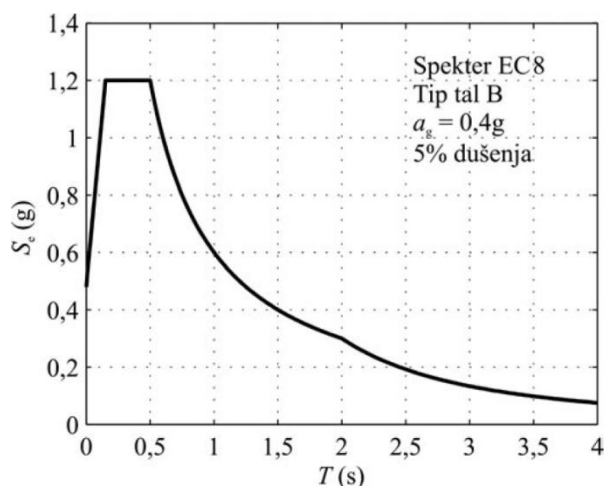
#### 4.2.7 POTRESNA OBTEŽBA

Potresno obtežbo določimo po:

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda \tag{4.12}$$

Preglednica 16: Vrednosti parametrov, ki opisujejo elastični spekter odziva

tip tal	S	Tb(s)	Tc(s)	Td(s)
B	1.2	0.15	0.5	2



Slika 19: Elastični spekter odziva po EC8 (Kreslin, M., Fajfar, P. 2011. Razširjena N2 metoda z upoštevanjem vplivov višjih nihajnih oblik. Gradbeni vestnik 60, 112)

$$T_B \leq T \leq T_C \implies S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \quad (4.13)$$

Lokacija: Žažar  $a_{g,r} = 0.225g$

Kategorija pomembnosti stavbe: II  $\implies \gamma_1 = 1,0$

$$a_g = \gamma_1 \cdot a_{g,R} = 1,0 \cdot 0,225 \cdot 9,81 = 2,21 \frac{m}{s^2}$$

$$S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} = 2,21 \cdot 1,2 \cdot \frac{2,5}{3} = 2,21$$

$$F_b = S_d(T_1) \cdot m \cdot \lambda = 2,21 \cdot 50,15 \cdot 1,0 = 110,69 \text{ kN}$$

Razdelitev obtežbe po etažah

$s_1 = 2,9 \text{ m}$  razdalja od tal do prve etaže

$s_2 = 5,8 \text{ m}$  razdalja od tal do druge etaže

$$F_{x1} = F_{y1} = F_b \cdot \frac{s_1 \cdot m_1}{s_1 \cdot m_1 + s_2 \cdot m_2} = 110,69 \cdot \frac{2,9 \cdot 29,26}{2,9 \cdot 29,26 + 5,8 \cdot 20,89} = 45,56 \text{ kN}$$

$$F_{x2} = F_{y2} = F_b \cdot \frac{s_2 \cdot m_2}{s_1 \cdot m_1 + s_2 \cdot m_2} = 110,69 \cdot \frac{5,8 \cdot 20,89}{2,9 \cdot 29,26 + 5,8 \cdot 20,89} = 65,11 \text{ kN}$$

## 5 ANALIZA KONSTRUKCIJE V VERTIKALNI SMERI

### 5.1 DIMENZIONIRANJE ELEMENTOV OSTREŠJA

#### 5.1.1 DOLOČITEV OBTEŽB

Za določitev obtežbe, ki jo prevzame eno povezje, je potrebna pretvorba ploskovne obtežbe na linijsko obtežbo. Ker je raster enakomeren, z 1,02 m pomnožim vse obtežbe.

- naklonski del

lastna teža

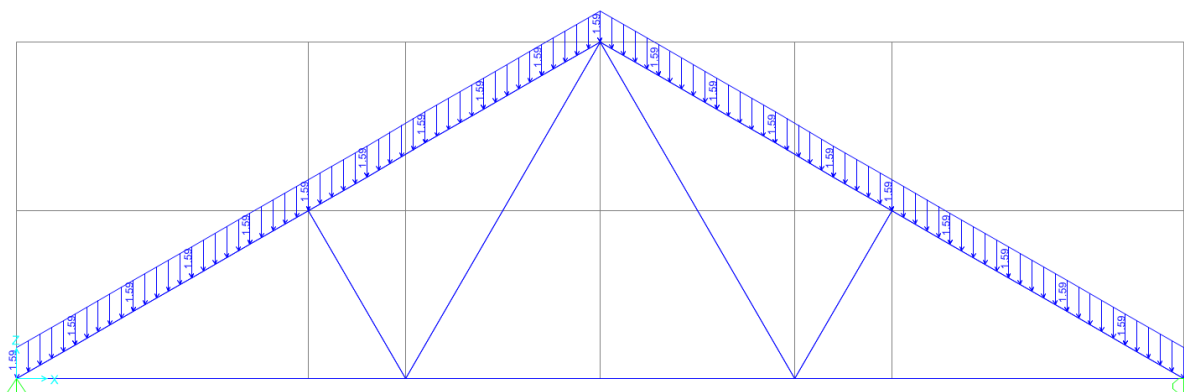
$$g_{lin} = 0,56 \text{ kN/m}$$

koristna obtežba

$$q_{lin} = 0,41 \text{ kN/m}$$

sneg

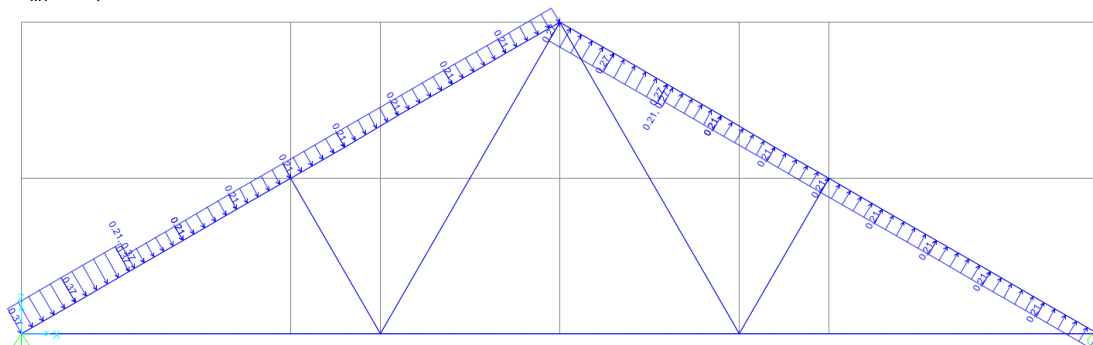
$$s_{lin} = 1,59 \text{ kN/m}$$



Slika 20: Delovanje obtežbe snega

veter

$$W_{lin} = 0,21 \text{ kN/m}$$



Slika 21: Razporeditev obtežbe vetra

- ravni del (brez koristne obtežbe)

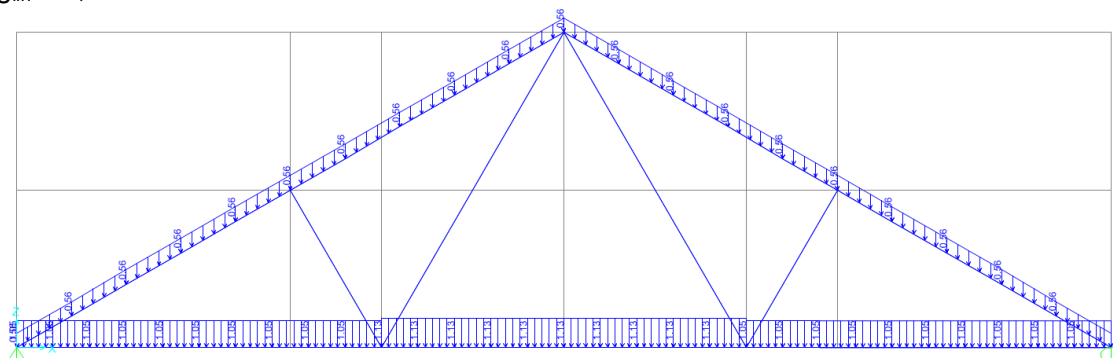
lastna teža

$$g_{lin} = 1,05 \text{ kN/m}$$

- ravni del (s koristno obtežbo)

lastna teža

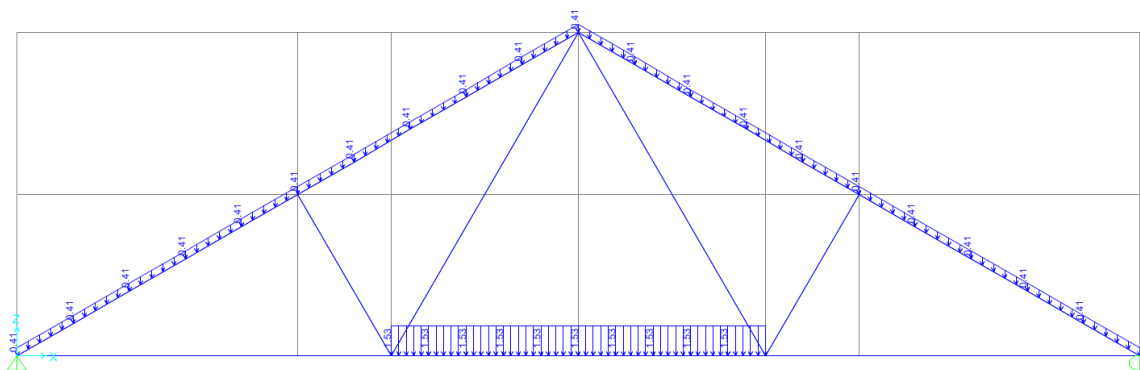
$$g_{lin} = 1,13 \text{ kN/m}$$



Slika 22: Delovanje lastne teže

koristna obtežba

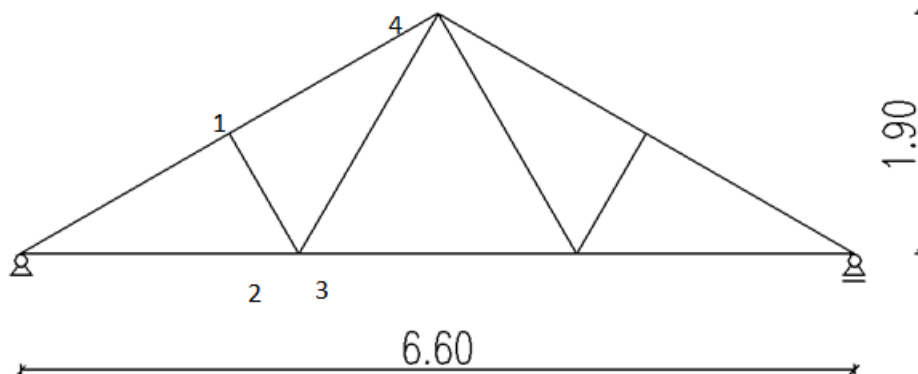
$$q_{lin} = 1,53 \text{ kN/m}$$



Slika 23: Razporeditev koristne obtežbe

## 5.1.2 PREVERJANJE ELEMENTOV

Strešna konstrukcija sestoji iz žebeljanih nosilcev (t.i. žebeljancev). Med izbiranjem primerne zasnove sem naredil več različnih primerov, na koncu pa sem dobil pričakovano najmanjše notranje sile pri povezu v obliki črke W, kjer so potrebni najmanjši prerezi materiala za prenos sile. V nadaljevanju sem obravnaval omenjeni primer zasnove. Merodajna kombinacija je tista, v kateri prevladuje sneg kot prevladujoča obremenitev.



Slika 24: Statični model žebljanca z označenimi spoji

Preveril sem kriterij mejnega stanja uporabnosti (MSU) za celotno konstrukcijo. Začetni pomik sem določil po enačbi za pomike v začetnem času:

$$W_{inst} = \sum W_{inst}(G_{k,j}) + W_{inst}(Q_{k,1}) + \sum_{i>1} W_{inst}(\psi_{0,i}Q_{k,i}). \quad (5.1)$$

Končni pomik je enak:

$$W_{fin} = \sum(1 + k_{def})W_{inst}(G_{k,j}) + \sum_{i>1}(1 + k_{def})W_{inst}(\psi_{2,i}Q_{k,i}). \quad (5.2)$$

Mejne vrednosti pomikov v začetnem stanju in v končnem času:

$$W_{inst} = \frac{l}{300}$$

$$W_{fin} = \frac{l}{250}$$

kjer je

$l$  največja razpetina plošče

$$W_{inst} = \frac{660}{300} = 2,2 \text{ cm} > 0,23 \text{ cm} = W_{dej}$$

$$W_{fin} = \frac{660}{250} = 2,64 \text{ cm} > 0,41 \text{ cm} = 0,23 * (1 + 0,8) = W_{dej}$$

### 5.1.2.1 PREVERJANJE ŠPIROVCA

#### PROJEKTNA OBTEŽBA

Upošteval sem projektno obtežbo za kratkotrajno (S) in srednje dolgo trajajočo obtežbo (M).

$$M: q_d^M = g * 1,35 + q_s * 1,5 = 0,56 * 1,35 + 1,59 * 1,5 = 3,14 \text{ kN/m}$$

$$S: q_d^S = g * 1,35 + q_s * 1,5 + q_w * 0,6 * 1,5 = 0,56 * 1,35 + 1,59 * 1,5 + 0,21 * 0,6 * 1,5 = 3,33 \text{ kN/m}$$

$$\frac{q_d^M}{q_d^S} = \frac{3,14}{3,33} = 0,94 > 0,89 \rightarrow q_d^M \text{ merodajen}$$

#### MEJNO STANJE NOSILNOSTI (MSN)

Podatki:

$h = 24 \text{ cm}$  višina prereza

$b = 6 \text{ cm}$  širina prereza

$l = 380 \text{ cm}$  največji razpon

- kontrola upogibnih napetosti

$$f = \frac{\sigma_{md}}{f_{md}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \leq 1 \quad (5.3)$$

$$\sigma_{md} = \frac{Md_{max}}{W} \quad (5.4)$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{Ed,prip.}}{A} \quad (5.5)$$

kjer je:

$Md_{max} = 136 \text{ kNcm}$	največji upogibni moment
$N_{Ed,prip.} = 36,24 \text{ kN}$	pripadajoča osna sila (tlak)
$W = 576 \text{ cm}^3$	odpornostni moment prereza ( $W = b \times h^2 / 6$ )
$A = 144 \text{ cm}^2$	ploščina prereza ( $A = h \times b$ )
$f_{m,d} = 1,477 \text{ kN/cm}^2$	projektna nosilnost lesa na upogib
$f_{c,0,d} = 1,292 \text{ kN/cm}^2$	projektna nosilnost lesa na tlak paralelno

$$\sigma_{md} = \frac{136}{576} = 0,24$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{36,24}{144} = 0,25$$

$$f = \frac{0,24}{1,477} + \frac{0,25}{1,292} = 0,36 \leq 1$$

- kontrola strižnih napetosti

$$f = \frac{V_{Ed_{max}} * S}{(I * b)} < f_{v,d} \quad (5.6)$$

kjer je:

$V_{Ed_{max}} = 7,96 \text{ kN}$	največja prečna sila
$S = 432 \text{ cm}^3$	statični moment na težišče dela prereza nad obravnavanim mestom
$(S = b * (h/2) * (h/4))$	
$I = 6912 \text{ cm}^4$	vztrajnostni moment prereza ( $I = b * h^3 / 12$ )
$f_{v,d} = 0,154 \text{ kN/cm}^2$	projektna nosilnost lesa na strig

$$f = \frac{7,96 * 432}{(6912 * 6)} = 0,082 < 0,154 = f_{v,d}$$

MSU

$$W_{inst} = \frac{380}{300} = 1,27 \text{ cm} > 0,16 \text{ cm} = W_{dej}$$

$$W_{fin} = \frac{660}{250} = 1,52 \text{ cm} > 0,29 \text{ cm} = 0,16 * (1 + 0,8) = W_{dej}$$

### 5.1.2.2 PREVERJANJE SPODNJE PASNICE

MSN

Podatki:

$h = 24 \text{ cm}$

$b = 6 \text{ cm}$

$l = 660 \text{ cm}$

- kontrola upogibnih napetosti:

$$f = \frac{\sigma_{md}}{f_{md}} + \frac{\sigma_{c,o,d}}{f_{c,o,d}} \leq 1$$

$$\sigma_{md} = \frac{Md_{max}}{W}$$

$$\sigma_{c,o,d} = \frac{N_{Ed, prip.}}{A}$$



kjer je:

$Md_{max}$	= 149 kNcm	največji upogibni moment
$N_{Ed,prip.}$	= 21,61 kN	pripadajoča osna sila (tlak)
$W$	= 576 cm <sup>3</sup>	odpornostni moment prereza ( $W = b \times h^2 / 6$ )
$A$	= 144 cm <sup>2</sup>	ploščina prereza ( $A = h \times b$ )
$f_{m,d}$	= 1,477 kN/cm <sup>2</sup>	projektna nosilnost lesa na upogib
$f_{c,0,d}$	= 1,292 kN/cm <sup>2</sup>	projektna nosilnost lesa na tlak paralelno

$$\sigma_{md} = \frac{149}{576} = 0,26$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{21,61}{144} = 0,15$$

$$f = \frac{0,24}{1,477} + \frac{0,15}{1,292} = 0,28 \leq 1$$

- kontrola strižnih napetosti

$$f = \frac{V_{ed,max} * S}{(I * b)} < f_{v,d}$$

kjer je:

$V_{ed,max}$	= 6,96 kN
$S$	= 432 cm <sup>3</sup>
$I$	= 6912 cm <sup>4</sup>
$f_{v,d}$	= 0,154 kN/cm <sup>2</sup>

$$f = \frac{6,96 * 432}{(6912 * 6)} = 0,072 < 0,154 = f_{v,d}$$

MSU

$$W_{inst} = \frac{660}{300} = 2,2 \text{ cm} > 0,23 \text{ cm} = W_{dej}$$

$$W_{fin} = \frac{660}{250} = 2,64 \text{ cm} > 0,41 \text{ cm} = 0,23 * (1 + 0,8) = W_{dej}$$

### 5.1.2.3. PREVERJANJE OPORNIKA

Oporniki so obremenjeni s centrično osno silo. V daljših dveh nastopijo natezne sile, v krajših dveh je večji tlak, zato je element izpostavljen uklonu.

Podatki:

$h = 16 \text{ cm}$

$b = 6 \text{ cm}$

- kontrola uklona okoli šibke osi:

$$f = \frac{Nd_{max}}{(h*b)} < f_{c,0,d} * k_c \quad (5.7)$$

kjer je:

$Nd_{max} = 7,66 \text{ kN}$  osna sila v elementu

$f_{c,0,d} = 1,292 \text{ kN/cm}^2$  projektna nosilnost na tlak paralelno na vlakna

$k_c$  uklonski korekcijski faktor (odčitam), odvisen je od relativne vitkosti

$\lambda_{rel}$  relativna vitkost, ki je definirana kot:

$$\lambda_{rel} = \left(\frac{\lambda}{\pi}\right) * \sqrt{\frac{f_{c,0,d}}{E_{0,05}}} \quad (5.8)$$

kjer je:

$\lambda$  vitkost elementa

$$\lambda = \frac{l_u}{i} \quad (5.9)$$

$l_u = 110 \text{ cm}$  uklonska dolžina, ki je v tem primeru enaka dolžini elementa

$A = 96 \text{ cm}^2$  prerez elementa

$I = 288 \text{ cm}^4$  vztrajnostni moment prereza

$i$  vztrajnostni radij, ki je definiran kot:

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{288}{96}} = 1,73 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{110}{1,73} = 63,51$$

$$\lambda_{rel} = \left(\frac{63,51}{\pi}\right) * \sqrt{\frac{2,1}{1100}} = 0,88$$

$$f = \frac{7,66}{96} = 0,079 \text{ kN/cm}^2 < 1,292 * 0,755 = 1,001 \text{ kN/cm}^2$$

### 5.1.3 DIMENZIONIRANJE SPOJA

Vsi spoji so narejeni kot žebljani stiki. Za spajanje so izbrani žebliji 3.8/100 z naslednjimi lastnostmi:

$$F_{v,Rk} = 1216,6 \text{ N}$$

$$F_{v,Rd} = k_{mod} * \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,8 * \frac{1216,6}{1,3} = 749 \text{ N}$$

Potrebno število žebeljev v stiku

$$n_{\check{z},potr} \geq \frac{F}{F_{v,Rd}} = \frac{7,55}{0,749} = 10,1 \approx > 12kom$$

Pogoj žebljanja

- glede na širino opornika:

$$(n_v + 1) * 5d \leq h_{opo} \tag{5.10}$$

$$n_v \leq \frac{h_{opo}}{5d} - 1 = \frac{16}{5 * 0,38} - 1 = 7,42 \approx > 7$$

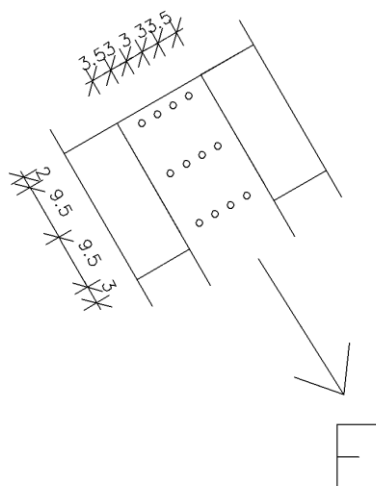
- glede na širino špirovca:

$$n_{dov} \leq \frac{b_z - (5*d + (5+2*\sin \alpha)*d)}{14*d*\sin \alpha} + 1 \tag{5.11}$$

$$n_{dov} \leq \frac{24 - (5 * 0,38 + (5 + 2 * \sin 90^\circ) * 0,38)}{14 * 0,38 * 90^\circ} + 1 = 4,65 \approx > 4$$

Dovoljeno število žebeljev v stiku

$$n_v * n_{dov} = 7 * 4 = 28 > 12$$



Slika 25: Prikaz žebljanega spoja

Preglednica 17: Prikaz rezultatov vseh spojev

številka spoja	sila v spoju (kN)	potrebno število žebeljev	dovoljeno število žebeljev
1	7.55	12	28
2	7.66	12	35
3	15.1	22	35
4	15.29	22	56

## 5.2 DIMENZIONIRANJE PLOŠČE

Najprej sem izračunal notranje statične količine. Ploščo sem obravnaval kot nosilec širine enega metra. Zaradi razporeditve nosilnih sten sem obravnaval štiri različne računske primere. Izbrano debelino plošče je narekoval najbolj neugoden primer.



Slika 26: CLT plošča (VIR <http://weberthompson.com/blog/wp-content/uploads/2013/06/CLT-Cross-laminated-timber.jpg>)

Pri izračunu plošče sem naredil naslednje kontrole:

- kontrolo upogiba:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_d}{W_{ef}} < \frac{k_{mod} * f_{m,k}}{\gamma_m} = f_{m,d} \quad (5.12)$$

kjer je:

$k_{mod} = 0,8$  modifikacijski faktor  
 $\gamma_m = 1,3$  varnostni faktor za material  
 $f_{m,k} = 24 \text{ kN/cm}^2$  projektna nosilnost na upogib  
 $W_{ef}$  efektivni odpornostni moment

$$W_{ef} = \frac{I_{ef}}{z} \quad (5.13)$$

$z$  težišče prereza

$I_{ef}$  odpornostni moment

$$I_{ef} = \sum n_i * I_i \quad (5.14)$$

- kontrola striga

$$\tau_{v,d} = \frac{Q_d * S_f}{I_{ef} * b_{CLT}} < \frac{k_{mod} * f_{v,k}}{\gamma_m} = f_{v,d} \quad (5.15)$$

kjer je:

$f_{v,k}$  = 2,5 kN/cm<sup>2</sup> projektna nosilnost na strig

$I_{ef}$  odpornostni moment

$b_{CLT}$  = 100 cm računska širina

$S_f$  statični moment

$$S_{ef} = \gamma_i * A_i * z \quad (5.16)$$

$\gamma_i$  faktor gama

$$\gamma_i = \left( 1 + \left( \frac{E_i * A_i * \pi^2}{L_s^2} * \left( \frac{t_i}{G_m * b_{clt}} \right) \right) \right)^{-1} \quad (5.17)$$

$E_i$  elastični modul

$A_i$  prerez elementa

$L_s$  merodajni razpon

$G_m$  strižni modul

$t_i$  debelina sloja

- kontrola povesa

trenutni poves

$$W_{inst} = W_{g,inst} + W_{q,inst} < \frac{L_i}{300} = W_{inst.dop} \quad (5.18)$$

kjer je:

$W_{g,inst}$  pomik zaradi lastne teže

$$W_{g,inst} = \frac{5 * g_i * L_i^4}{384 * E_i * I_{ef}} \quad (5.19)$$

$W_{q,inst}$  pomik zaradi koristne obtežbe

$$W_{q,inst} = \frac{5 * q_i * L_i^4}{384 * E_i * I_{ef}} \quad (5.20)$$

končni povos

$$W_{fin} = W_{g,fin} + W_{q,fin} < \frac{L_i}{300} = W_{fin.dop} \quad (5.21)$$

kjer je:

$W_{g,fin}$  pomik zaradi lastne teže

$$W_{g,fin} = W_{g,inst} * (1 + k_{def}) \quad (5.22)$$

$W_{q,fin}$  pomik zaradi koristne obtežbe

$$W_{q,fin} = W_{q,inst} * (1 + \psi_{2,1} * k_{def}) \quad (5.23)$$

$k_{def} = 0,6$  koeficient lezenja pri trajni obtežbi

$\psi_{2,1} = 0$  modifikacijski faktor pri spremenljivih obtežbah

PRIMER IZRAČUNA

Podatki:

debeline posamezne plasti

$t_{1.3s} = 40$  mm

$t_{2.3s} = 40$  mm

$t_{1.3s} = 40$  mm

$d_{CTL3s} = 120$  mm

E... elastični modul (0-90 usmerjenost vlaken)

G... strižni modul (0-90 usmerjenost vlaken)

$E_0 = 11000$  N/mm<sup>2</sup>       $E_{90} = 370$  N/mm<sup>2</sup>

$G_0 = 690$  N/mm<sup>2</sup>       $G_{90} = 50$  N/mm<sup>2</sup>

Izračun elastičnega modula po plasteh je enak seštevku:

$$E_{0.3s.x} = 2 * t_1 * \left( \frac{E_0}{d_{CTL}} \right)$$

$$E_{0.3s.x} = t_2 * \left( \frac{E_{90}}{d_{CTL}} \right)$$

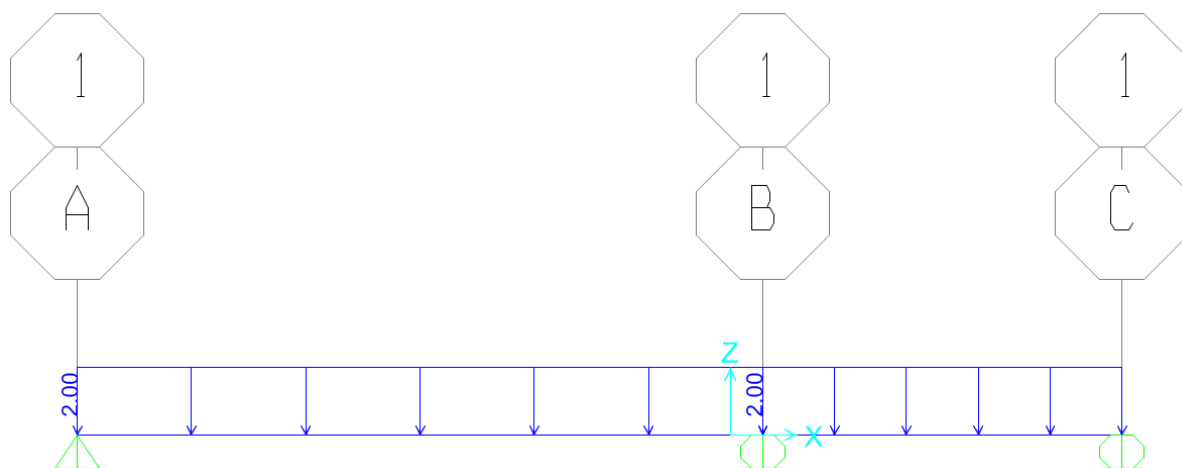
Povsem enako je pri strižnem modulu.

$E_{0.3s.x} = 7333$  N/mm<sup>2</sup>     $E_{90.3s.x} = 123$  N/mm<sup>2</sup>     $E_x = 7457$  N/mm<sup>2</sup>

$G_{0.3s.x} = 460$  N/mm<sup>2</sup>     $G_{90.3s.x} = 17$  N/mm<sup>2</sup>     $G_x = 477$  N/mm<sup>2</sup>

$E_{90.3s.y} = 247$  N/mm<sup>2</sup>     $E_{0.3s.y} = 3667$  N/mm<sup>2</sup>     $E_y = 3913$  N/mm<sup>2</sup>

$G_{90.3s.y} = 33$  N/mm<sup>2</sup>     $G_{0.3s.y} = 230$  N/mm<sup>2</sup>     $G_y = 263$  N/mm<sup>2</sup>



Slika 27: Statični model stropa 1 z dodano koristno obtežbo

računske vrednosti NSK:

$$M_d = 8,83 \text{ kNm}$$

$$Q_d = 13,39 \text{ kN}$$

$$L_s = 420 \text{ cm}$$

$$E_v = 11000 \text{ N/mm}^2$$

$$G_m = 690 \text{ N/mm}^2$$

razmerje elastičnih modulov

$$n_0 = \frac{E_0}{E_v} = 1$$

$$n_{90} = \frac{E_{90}}{E_v} = 0,034$$

efektivna površina prereza

$$n_v = 2 \quad \text{število vzdolžnih plasti}$$

$$n_p = 1 \quad \text{število prečnih plasti}$$

$$b_{CLT} = 100 \text{ cm}$$

$$A_1 = t_1 * b_{CLT} * n_0 = 4 * 100 * 1 = 400 \text{ cm}^2$$

$$A_2 = t_2 * b_{CLT} * n_{90} = 4 * 100 * 0.034 = 13,45 \text{ cm}^2$$

$$A_{ef} = A_1 * n_v + A_2 * n_p = 400 * 2 + 13.45 * 1 = 813,45 \text{ cm}^2$$

faktor gama

$$\gamma_1 = \left( 1 + \left( \frac{E_v * A_1 * \pi^2}{L_s^2} * \left( \frac{t_1}{G_m * b_{clt}} \right) \right) \right)^{-1} = 0,986$$

vztrajnostni moment

$$I_{ef} = n_v * \left( \frac{t_1^3 * b_{CLT}}{12} \right) * n_0 + n_p * \left( \frac{t_2^3 * b_{CLT}}{12} \right) * n_{g0} + n_v * (A_1 * t_1^2) * \gamma_1 = 13704,5 \text{ cm}^4$$

odpornostni in statični moment

$$z = \frac{t_1 + t_2 + t_3}{2} = \frac{12}{2} = 6 \text{ cm}$$

$$W_{ef} = \frac{13704,5}{6} = 2284,1 \text{ cm}^3$$

$$S_{ef} = 0,986 * 400 * 6 = 2366,2 \text{ cm}^3$$

- kontrola upogiba

$$\sigma_{m,d} = \frac{8,83}{2284,1} = 0,378 \text{ kN/cm}^2 < \frac{0,8 * 24}{1,3} = 1,477 \text{ kN/cm}^2 = f_{m,d}$$

$$\eta_\sigma = \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} = \frac{0,378}{1,477} = 26,18\% \quad \text{izkoriščenost prereza}$$

- kontrola striga

$$\tau_{v,d} = \frac{13,39 * 2366,2}{13704,5 * 100} = 0,02 \text{ kN/cm}^2 < \frac{0,8 * 2,5}{1,3} = 0,154 \text{ kN/cm}^2 = f_{v,d}$$

$$\eta_\tau = \frac{0,02}{0,154} = 15,03\%$$

- kontrola povesa

trenutni poves

$$W_{g,inst} = \frac{5 * 1,8 * 420^4}{384 * 1100 * 13704,5} = 0,484 \text{ cm}$$

$$W_{q,inst} = \frac{5 * 2,0 * 420^4}{384 * 1100 * 13704,5} = 0,538 \text{ cm}$$

$$W_{inst} = 0,484 + 0,538 = 1,021 \text{ cm} < \frac{420}{300} = 1,40 \text{ cm} = W_{inst.dop}$$

končni poves

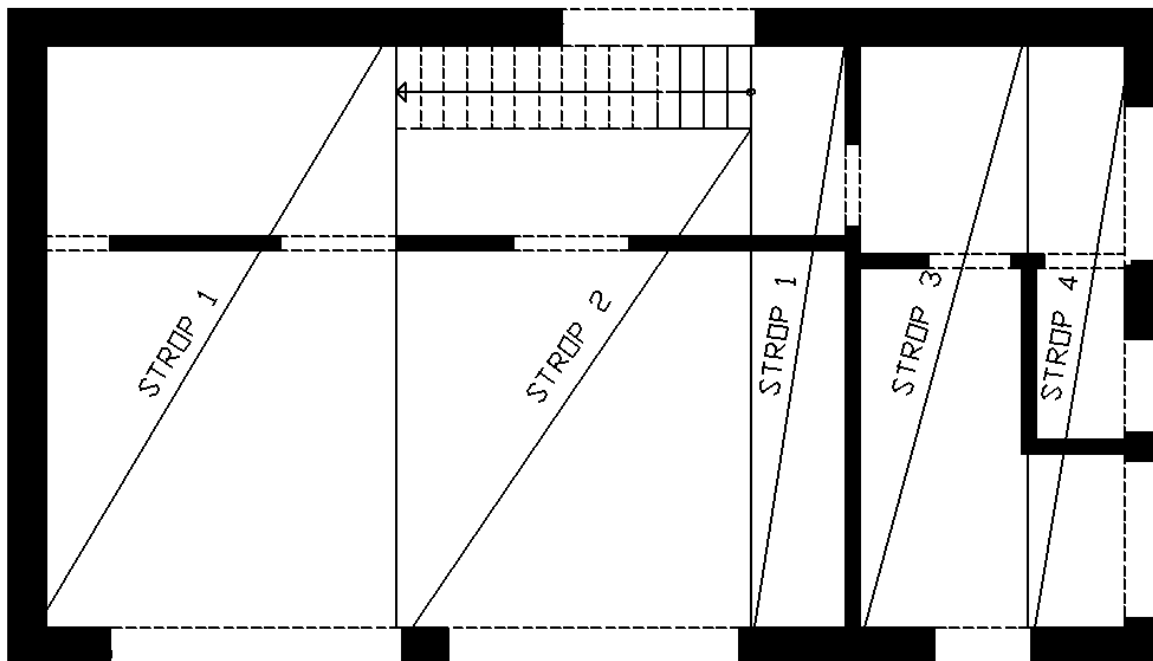
$$W_{g,fin} = 0,484 * (1 + 0,6) = 0,774 \text{ cm}$$

$$W_{q,fin} = 0,538 * (1 + 0 * 0,6) = 0,538 \text{ cm}$$



$$W_{fin} = 0,774 + 0,538 = 1,312 \text{ cm} < \frac{420}{200} = 2,10 \text{ cm} = W_{fin.dop}$$

$$\eta_f = \max\left(\frac{1,021}{1,4}; \frac{1,312}{2,1}\right) = 72,95\%$$



Slika 28: Razdelitev stropa na različne pozicije glede na razpon in podpore

Preglednica 18: Prikaz rezultatov vseh različnih statičnih modelov plošč

oznaka stropa	računske vrednosti NSK			kontrola upogiba		kontrola striga		kontrola povosov		
	M <sub>d</sub> (kNm)	Q <sub>d</sub> (kN)	L <sub>s</sub> (cm)	σ <sub>m,d</sub> (kN/cm <sup>2</sup> )	η <sub>σ</sub> (%)	T <sub>v,d</sub> (kN/cm <sup>2</sup> )	η <sub>τ</sub> (%)	W <sub>inst</sub> (cm)	W <sub>fin</sub> (cm)	η <sub>f</sub> (%)
1	8.83	13.39	420	0.387	26.18	0.02	15.03	1.021	1.312	72.95
2	9.99	12.21	420	0.437	29.61	0.02	13.7	1.021	1.312	72.95
3	8.11	12.78	400	0.356	24.07	0.02	14.34	0.841	1.08	63.1
4	2.86	7.64	240	0.129	8.7	0.01	8.55	0.112	0.144	13.97

### 5.3 DIMENZIONIRANJE PREKLAD

Preklada prenaša obtežbo na pokončnike v steni, na katerih sloni. Obravnavana je kot upogibni nosilec. Obravnaval sem tri različne preklade. Preverjam:

MSN

- kontrola upogibne napetosti:

$$f = \frac{Md_{max}}{W} < f_{m,d} \quad (5.24)$$

kjer je:

$Md_{max}$  največji upogibni moment

$W$  odpornostni moment prereza ( $W = b \times h^2 / 6$ )

$f_{m,d} = 1,477 \text{ kN/cm}^2$  projektna nosilnost lesa na upogib

- kontrola strižnih napetosti:

$$f = \frac{V_{ed_{max}} * S}{(I * b)} < f_{v,d} \quad (5.25)$$

kjer je:

$V_{Ed_{max}}$  največja prečna sila

$S$  statični moment na težišče dela prereza nad obravnavanim mestom

( $S = b \times (h / 2) * (h / 4)$ )

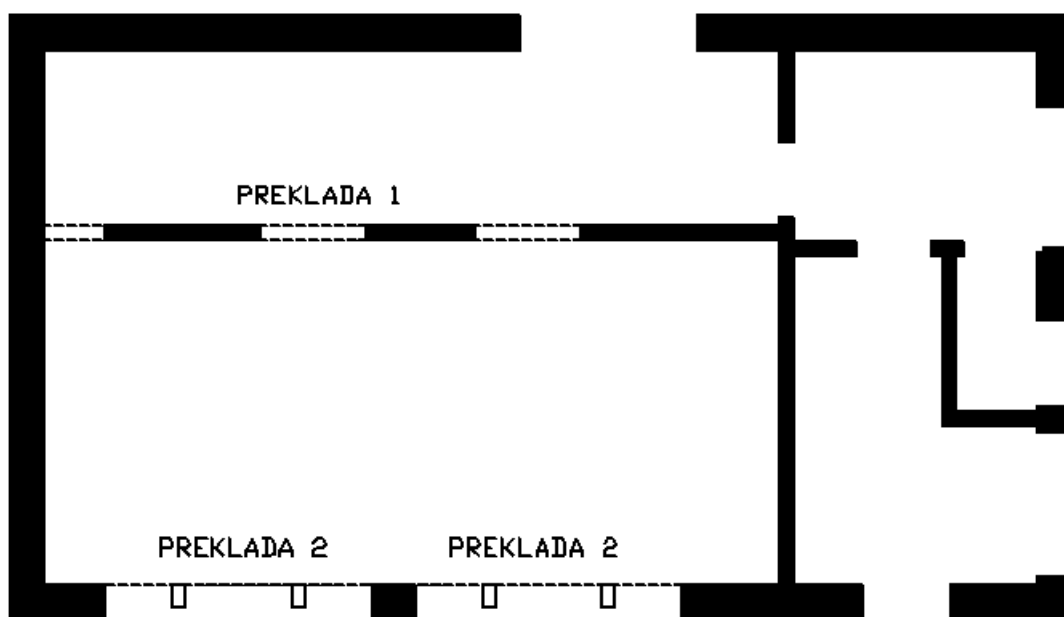
$I$  vztrajnostni moment prereza ( $I = b \times h^3 / 12$ )

$f_{v,d} = 0,154 \text{ kN/cm}^2$  projektna nosilnost lesa na strig

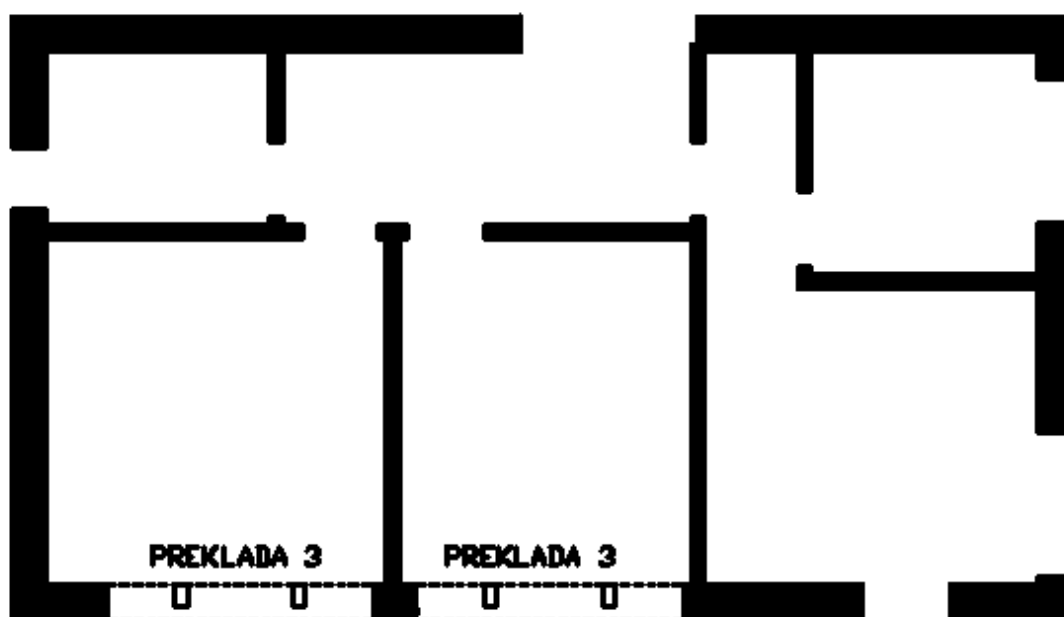
MSU

$$W_{inst} = \frac{l}{300} > W_{dej}$$

$$W_{fin} = \frac{l}{250} > W_{dej}$$



Slika 29: Prikaz pozicij preklad v prtljučju

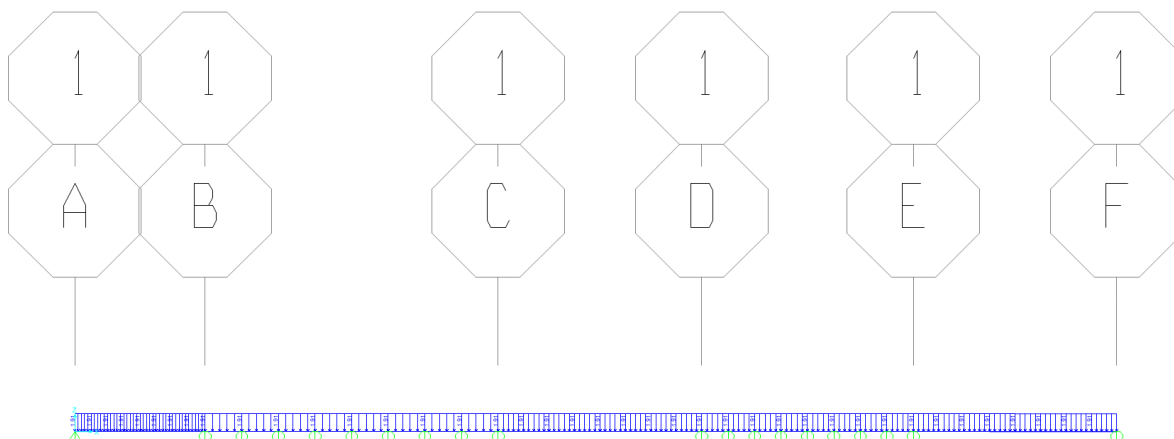


Slika 30: Prikaz pozicij preklad v nadstropju

### 5.3.1 PREKLADA 1

Gre za preklado, ki poteka neprekinjeno preko treh polj. Nanjo deluje obtežba stropne konstrukcije in lastna teža stene, ki se nadaljuje v nadstropje. V območju, kjer je preklada podprta s steno, sem v računskem modelu postavil podpore drugo ob drugi.

Obtežbe:



Slika 31: Statični model preklade 1 z dodano obtežbo stene

$$g_{\text{stene h.z}} = 1,91 \text{ kN/m}$$

 $R_1 = 23,32 \text{ kN/m}$  reakcija stropne konstrukcije v levih dveh poljih preklade

 $R_2 = 18,66 \text{ kN/m}$  reakcija stropne konstrukcije v desnem polju preklade

dimenzije preklade:

$$h = 26 \text{ cm}$$

$$b = 10 \text{ cm}$$

računske vrednosti NSK:

$$M_{d,\max} = 315 \text{ kNcm}$$

$$V_{ed,\max} = 16,47 \text{ kN}$$

MSN

- kontrola upogibne napetosti:

$$f = \frac{315}{1126,7} = 0,279 \text{ kN/cm}^2 < 1,477 \text{ kN/cm}^2 = f_{m,d}$$

- kontrola strižnih napetosti:

$$f = \frac{16,47 * 845}{14646,7 * 10} = 0,095 \text{ kN/cm}^2 < 0,154 \text{ kN/cm}^2 = f_{v,d}$$

MSU

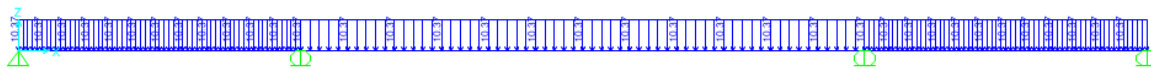
$$W_{inst} = \frac{125}{300} = 0,42 \text{ cm} > 0,08 \text{ cm} = W_{dej}$$

$$W_{fin} = \frac{125}{250} = 0,5 \text{ cm} > 0,14 \text{ cm} = 0,08 * (1 + 0,8) = W_{dej}$$

### 5.3.2 PREKLADA 2

Preklada poteka nad stekleno steno, ki je dvakrat podprta. Nanjo deluje obtežba stropne konstrukcije in lastna teža stene iz stekla, ki se nadaljuje v mansardo.

Obtežbe:



Slika 32: Statični model preklade 2 z dodano obtežbo stropne konstrukcije

$$g_{\text{stenasteklo h.z}} = 1,53 \text{ kN/m}$$

$$R = 10,37 \text{ kN/m} \quad \text{reakcija stropne konstrukcije}$$

Dimenzije preklade

podatki:

$$h = 26 \text{ cm}$$

$$b = 10 \text{ cm}$$

računske vrednosti NSK:

$$M_{d,\max} = 205 \text{ kNcm}$$

$$V_{ed,\max} = 10,26 \text{ kN}$$

MSN

- kontrola upogibne napetosti

$$f = \frac{205}{1126,7} = 0,181 \text{ kN/cm}^2 < 1,477 \text{ kN/cm}^2 = f_{m,d}$$

- kontrola strižnih napetosti

$$f = \frac{10,26 * 845}{14646,7 * 10} = 0,059 \text{ kN/cm}^2 < 0,154 \text{ kN/cm}^2 = f_{v,d}$$

MSU

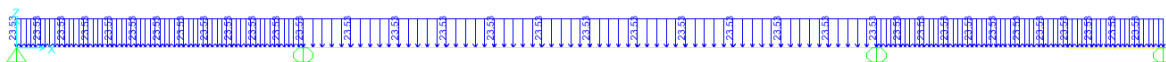
$$W_{inst} = \frac{160}{300} = 0,53 \text{ cm} > 0,07 \text{ cm} = W_{dej}$$

$$W_{fin} = \frac{160}{250} = 0,64 \text{ cm} > 0,13 \text{ cm} = 0,07 * (1 + 0,8) = W_{dej}$$

### 5.3.3 PREKLADA 3

Preklada poteka nad stekleno steno, ki je dvakrat podprta. Nanjo deluje obtežba strešne konstrukcije.

Obtežbe:



Slika 33: Statični model preklade 3 z dodano obtežbo strešne konstrukcije

$R_s = 23,52 \text{ kN/m}$  reakcija strešne konstrukcije

Dimenzije preklade

podatki:

$h = 26 \text{ cm}$

$b = 10 \text{ cm}$

računske vrednosti NSK:

$M_{d,max} = 379 \text{ kNcm}$

$V_{ed,max} = 18,95 \text{ kN}$

MSN

- kontrola upogibne napetosti

$$f = \frac{379}{1126,7} = 0,336 \text{ kN/cm}^2 < 1,477 \text{ kN/cm}^2 = f_{m,d}$$

- kontrola strižnih napetosti

$$f = \frac{18,95 * 845}{14646,7 * 10} = 0,109 \text{ kN/cm}^2 < 0,154 \text{ kN/cm}^2 = f_{v,d}$$

MSU

$$W_{inst} = \frac{160}{300} = 0,53 \text{ cm} > 0,15 \text{ cm} = W_{dej}$$

$$W_{fin} = \frac{160}{250} = 0,64 \text{ cm} > 0,27 \text{ cm} = 0,15 * (1 + 0,8) = W_{dej}$$

## 5.4 KONTROLA UKLONA POKONČNIKA

Uklon preverim pri panelu, ki je najbolj obremenjen v vertikalni smeri.

Projektna tlačna napetost znaša:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{v,max}}{A} \quad (5.26)$$

kjer je:

$F_{v,max}$  največja vertikalna sila  
 $A$  prerez pokončnika

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{23,82}{8 * 10} = 0,30 \text{ kN/cm}^2$$

Projektna tlačna trdnost:

$$f_{c,0,d} = k_{mod} * \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_M} \quad (5.27)$$

kjer je:

$k_{mod}$  modifikacijski faktor, ker gre za trenutne obtežbe, lahko vzamem 1,1  
 $\gamma_M$  varnostni faktor  
 $f_{c,0,k}$  karakteristična vrednost trdnosti lesa

$$f_{c,0,d} = 1,1 * \frac{2,1}{1,3} = 1,77 \text{ kN/cm}^2$$

Preveritev uklona:

Podrobneje je predstavljeno v poglavju 6.1.2.3

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,z} * f_{c,0,d} \quad (5.28)$$

$$I = \frac{h * b^3}{12} = \frac{10 * 8^3}{12} = 427 \text{ cm}^4$$

$$i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{427}{80}} = 2,31 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{l_u}{i} = \frac{280}{2,31} = 121,21$$

$$\lambda_{rel} = \left(\frac{\lambda}{\pi}\right) * \sqrt{\frac{f_{c,0,d}}{E_{0,05}}} = \left(\frac{121,21}{\pi}\right) * \sqrt{\frac{2,1}{1100}} = 1,69$$

$$k_c = 0,307$$

$$\sigma_{c,90,d} = 0,30 \text{ kN/cm}^2 \leq 0,54 \text{ kN/cm}^2 = 0,307 * 1,77 = k_{c,z} * f_{c,0,d}$$

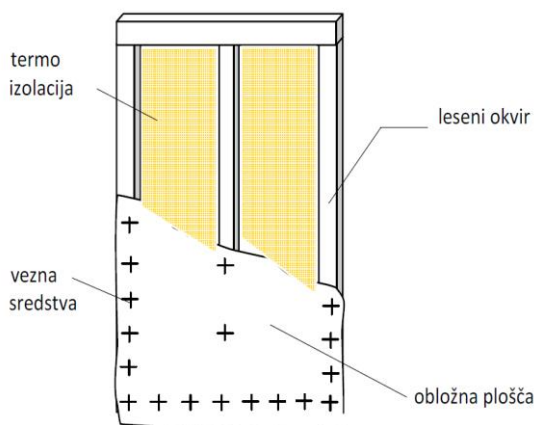


## 6 ANALIZA KONSTRUKCIJE V HORIZONTALNI SMERI

### 6.1 NOSILNOST STENSKIH PANELOV V HORIZONTALNI SMERI

#### 6.1.1 ZUNANJI STENSKI PANELI

Montažni stenski elementi tipske širine 125 cm in višine 290 cm so sestavljeni iz treh stebričkov in dveh gred. Posamezni nosilni elementi panela so dimenzij 8 cm x 16 cm. Nosilni sistem je obložen iz zunanje strani z MVP in na notranji strani z OSB gradbeno ploščo. Plošče so pritrjene na nosilni okvir z jeklenimi sponkami, ki so enakomerno razporejene po obodu panela. Na srednjem pokončniku so na dvakratni razdalji.



Slika 34: Tipska sestava stenskega elementa (Kozem Šilih, E. Doktorska disertacija, Slika 2.10)

#### Izračun bočne nosilnosti veznega sredstva

Projektna bočna trdnost plošče OSB:

$$f_{h,1,k} = 65 * d^{-0,7} * t^{0,1} \quad (6.1)$$

$$f_{h,1,k} = 65 * 1,53^{-0,7} * 15^{0,1} = 63,28 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{h,1,d} = k_{mod} * \frac{f_{h,1,k}}{\gamma_m} = 0,9 * \frac{63,28}{1,2} = 47,46 \frac{N}{mm^2}$$

Projektna bočna trdnost lesenega pokončnika:

$$f_{h,2,k} = 0,082 * \rho * d^{-0,3} \quad (6.2)$$

$$f_{h,2,k} = 0,082 * 390 * 1,53^{-0,3} = 28,15 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{h,2,d} = k_{mod} * \frac{f_{h,2,k}}{\gamma_m} = 0,9 * \frac{28,15}{1,25} = 21,11 \frac{N}{mm^2}$$

Projektna upogibna trdnost sponke KG750:

$$M_{y,Rd} = \frac{240 * d^{2,6}}{1,1} \quad (6.3)$$

$$M_{y,Rd} = \frac{240 * 1,53^{2,6}}{1,1} = 659,20 \text{ Nmm}$$

Projektna nosilnost sponke KG750 v enostržnem spoju:

Za določitev nosilnosti sponke je potrebno izračunati šest enačb in merodajna je najmanjša izračunana sila. V mojem primeru je merodajna zadnja enačba, ki preverja upogib veznega sredstva v obeh sestavih.

$$\beta = \frac{f_{h,1,d}}{f_{h,2,d}} = 0,44$$

$$F_{v,Rd} = 2 * \left( 1,15 * \sqrt{\frac{2 * \beta}{1 + \beta}} * \sqrt{2 * M_{y,Rd} * f_{h,1,d} * d} + \frac{F_{ax}}{4} \right) \quad (6.4)$$

$$F_{v,Rd} = 592,4 \text{ N}$$

Računska nosilnost ene vrste sponk v steni - METODA A:

Pri vseh izračunih upoštevamo enak  $c_i$

$$c_i = \min \left( 1; \frac{b}{\frac{h}{2}} \right) = 0,86$$

$$F_{v,Ed} = \sum \frac{F_{v,Rd} * b_{OSB} * c_i}{s_{ef}} \quad (6.5)$$

$$F_{v,Ed} = 1 * \frac{558,4 * 125 * 0,86}{7,5} = 8,47 \text{ kN}$$

### 6.1.2 NOTRANJI STENSKI PANELI

Notranji stenski paneli se od zunanjih panelov razlikujejo le po dimenzijah elementov. V opisanem primeru so elementi dimenzije 8 cm x 10 cm. Nosilni sistem je obložen iz obeh strani s ploščami MVP. Plošče so pritrjene na okvir z jeklenimi sponkami, ki so enakomerno razporejene po konstrukciji.

Izračun bočne nosilnosti veznega sredstva

Projektna bočna trdnost plošče OSB:

$$f_{h,1,k} = 7 * d^{-0,7} * t^{0,9}$$

$$f_{h,1,k} = 7 * 1,3^{-0,7} * 15^{0,9} = 59,47 \frac{N}{mm^2}$$
$$f_{h,1,d} = k_{mod} * \frac{f_{h,1,k}}{\gamma_m} = 0,9 * \frac{59,47}{1,2} = 44,60 \frac{N}{mm^2}$$

Projektna bočna trdnost lesenega pokončnika:

$$f_{h,2,k} = 0,082 * \rho * d^{-0,3}$$
$$f_{h,2,k} = 0,082 * 390 * 1,53^{-0,3} = 28,15 \frac{N}{mm^2}$$
$$f_{h,2,d} = k_{mod} * \frac{f_{h,2,k}}{\gamma_m} = 0,9 * \frac{28,15}{1,25} = 21,11 \frac{N}{mm^2}$$

Projektna upogibna trdnost sponke KG750:

$$M_{y,Rd} = \frac{240 * d^{2,6}}{1,1}$$
$$M_{y,Rd} = \frac{240 * 1,53^{2,6}}{1,1} = 659,20 \text{ Nmm}$$

Projektna nosilnost sponke KG750 v enostrižnem spoju:

Za določitev nosilnosti sponke je potrebno izračunati šest enačb in merodajna je najmanjša izračunana sila. V mojem primeru je merodajna zadnja enačba, ki preverja upogib veznega sredstva v obeh sestavih.

$$\beta = \frac{f_{h,1,d}}{f_{h,2,d}} = 0,47$$
$$F_{v,Rd} = 2 * \left( 1,15 * \sqrt{\frac{2 * \beta}{1 + \beta}} * \sqrt{2 * M_{y,Rd} * f_{h,1,d} * d} + \frac{F_{ax}}{4} \right)$$
$$F_{v,Rd} = 638,55 \text{ N}$$

Računska nosilnost ene vrste sponk v steni - METODA A:

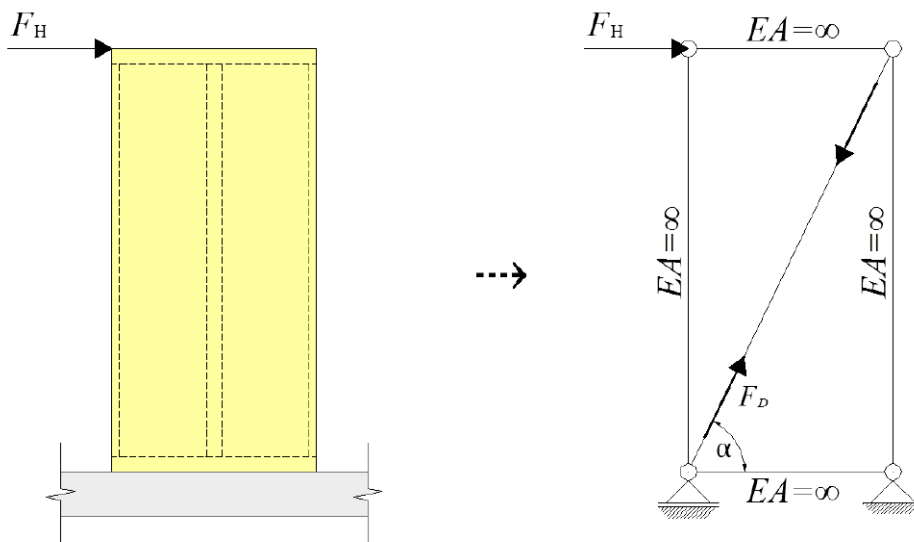
$$c_i = \min \left( 1; \frac{b}{\frac{h}{2}} \right) = 0,86$$
$$F_{v,Ed} = \sum \frac{F_{v,Rd} * b_{OSB} * c_i}{S_{ef}}$$

Pri notranji steni upoštevamo dve preklonni ravnini.

$$F_{v,Ed} = 2 * \frac{638,55 * 125 * 0,86}{7,5} = 18,35 \text{ kN}$$

## 6.2 MODEL PANELA Z NADOMESTNO DIAGONALO

V seizmičnem modelu je togost panelov podana kot togost lesenega okvirja z jekleno diagonalo okroglega preseka.



Slika 35: Model z nadomestno diagonalo (Korez, M. Diplomaska naloga, Slika 3.11)

Izračun togosti notranjega in zunanjega panela je enak. Prikazal sem izračun togosti zunanje stene.

$$A_{pot} = \frac{n_p * k_u * L_D}{E_s * \cos(\alpha)^2} = \frac{1 * 2186,1 * 3,16}{210 * 10^6 * \cos(66,7)^2} = 2,1 \text{ cm}^2$$

$n_p = 1$  število obravnavanih sten

$$L_D = \sqrt{h^2 + b^2} = \sqrt{2,9^2 + 1,25^2} = 3,16 \text{ m} \quad \text{dolžina diagonale}$$

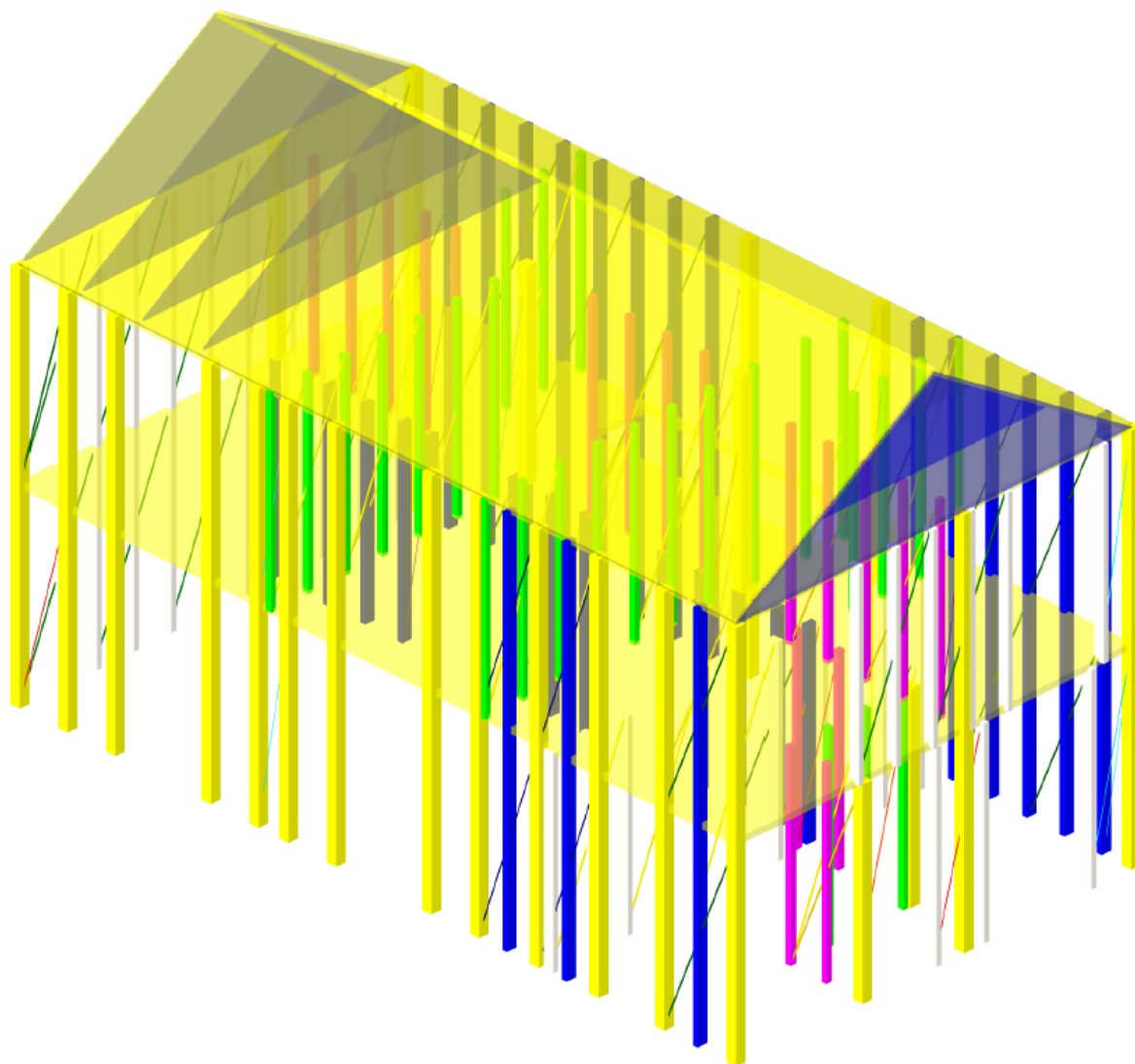
$$E_s = 210 * 10^6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \quad \text{elastični modul jekla}$$

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{h}{b} = \tan^{-1} \frac{2,9}{1,25} = 66,7^\circ$$

$$\phi = 2 * \sqrt{\frac{A_{pot}}{\pi}} = 2 * \sqrt{\frac{2,1}{\pi}} = 1,65 \text{ cm} \quad \text{premer jeklene diagonale}$$

### 6.3 SEIZMIČNI MODEL

Seizmični model je narejen v programu Tower 6. Stene so narejene iz panelov, katerih horizontalna togost je enaka osni togosti jeklene diagonale. Kjer so v stenah okna in vrata, sem predpostavil, da paneli ne prevzamejo nobene sile, zato sem jih upošteval kot odprtino. Stropno ploščo sem modeliral kot togo diafragmo, strešne elemente kot trikotnike v velikosti žebljanca, širine 4 cm. Sile vsled vetra in potresa se koncentrirajo v posamezni etaži.



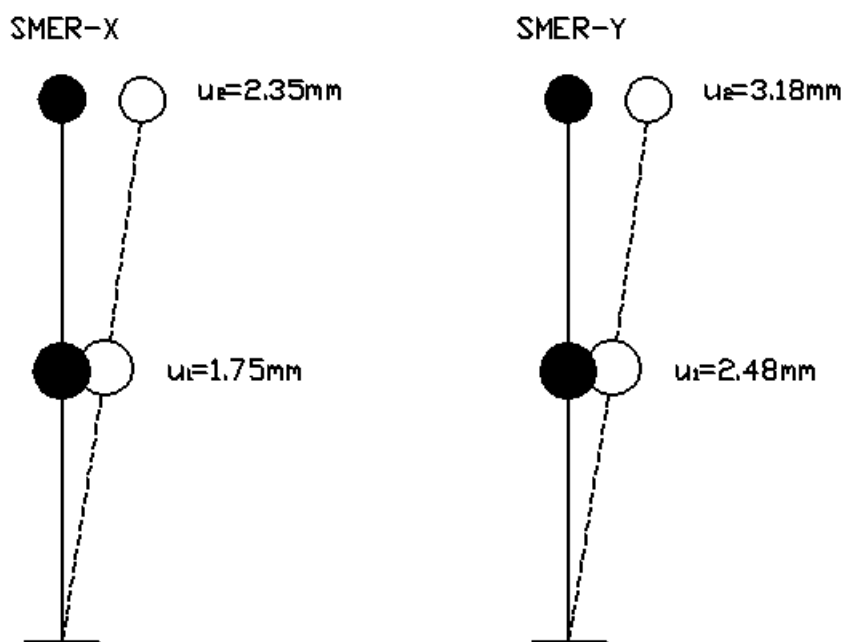
Slika 36: Seizmični model konstrukcije

Iz analize seizmičnega modela dobimo pomike posamezne etaže, nihajne čase, nihajne oblike in sile, ki se pojavijo v posameznih panelih v konstrukciji.

## Preglednica 19: Nihajni časi konstrukcije

No	T [s]
1	0.2134
2	0.1977
3	0.1528
4	0.0824
5	0.0699

Rezultati pomikov konstrukcije:



Slika 37: Etažni pomiki konstrukcije

Preverjanje pomikov celotne konstrukcije:

$$u = \frac{H}{500} = \frac{6,00 \text{ m}}{500} = 12 \text{ mm}$$

$$3,9 \text{ mm} < 12 \text{ mm}$$

Preverjanje pomikov etaže:

$$u = \frac{h}{300} = \frac{3,00 \text{ m}}{300} = 10 \text{ mm}$$

$$2,48 \text{ mm} < 10 \text{ mm}$$

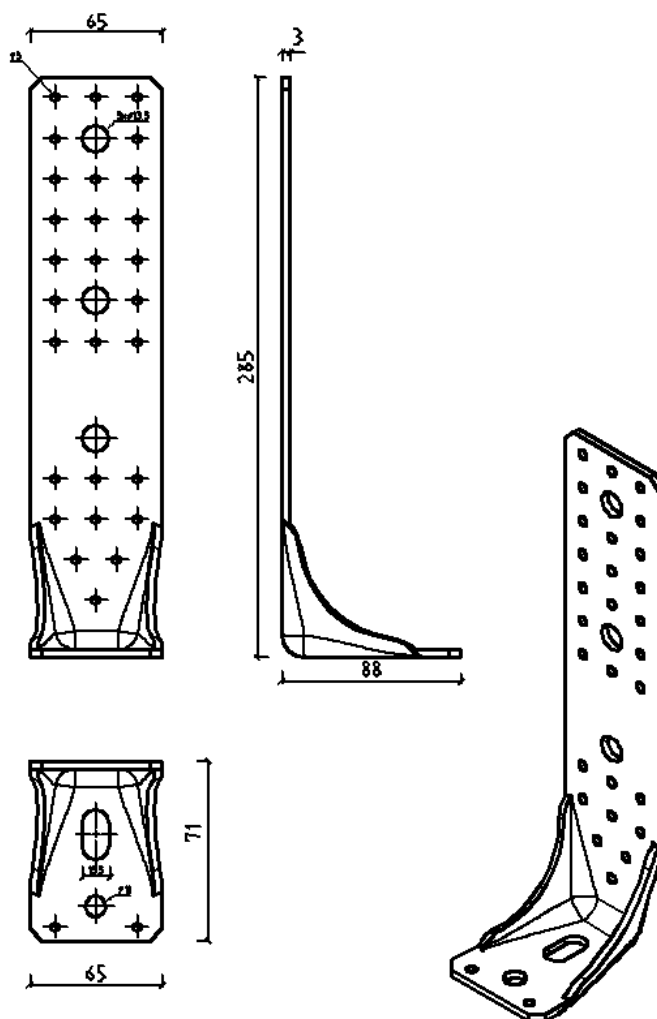
## 6.4 SIDRANJE V PRITLIČJU

Stenski elementi v pritličju so v armiranobetonsko ploščo sidrani s kotniki podjetja Rothoblaas, od katerega so privzete tudi dimenzije in nosilnosti kotnikov. Vrsta kotnikov je določena na podlagi dimenzioniranja konstrukcije na merodajno horizontalno obtežbo – veter ali potres. V pritličju je potrebno dodati dve vrsti sider, sidra za prevzemanje horizontalnih sil in sidra za prevzemanje vertikalnih - izvlečnih sil.

### 6.4.1 VERTIKALNO SIDRANJE

Za sidranje v vertikalni smeri so potrebna sidra za prevzemanje izvlečnih sil. Za merodajni panel sem izbral najbolj obremenjenega. Za celotno pritličje sem uporabil enaka sidra. Preveriti je potrebno odpornost kotnika in sistema, s katerim je kotnik pritrjen v beton. Na podlagi teh kontrol je potrebno določiti število žičnikov za pritrditev na steno in dimenzionirati vijak za pritrditev v stropno oziroma AB ploščo.

WKR285



Slika 38: WKR285 sidra (Rothoblaas)

Odpornost kotnika:

$$f_{y,k} = 340 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{340}{1,1} = 309 \frac{N}{mm^2}$$

$$A_{net} = (65 - 2 * 5 - 13,5) * 3 = 124,5 \text{ mm}^2$$

$$R_{y,d} = A_{net} * f_{y,d} = 124,5 * 309 = 38481,8 \text{ N} = 38,48 \text{ kN}$$

Odpornost navojne palice M12\*190 mm + smola za sidranje:

$$R_{nd} = \frac{R_y}{\gamma_M} = \frac{43,95}{1,8} = 24,42 \text{ kN}$$

Odpornost žičnika LBA 4.0\*60:

$$R_{1d} = \frac{R_y}{\gamma_M} = \frac{1,49}{1,3} = 1,15 \text{ kN}$$

$$R_{22d} = 22 * 1,15 = 25,21 \text{ kN}$$

Odpornost sistema WKR285:

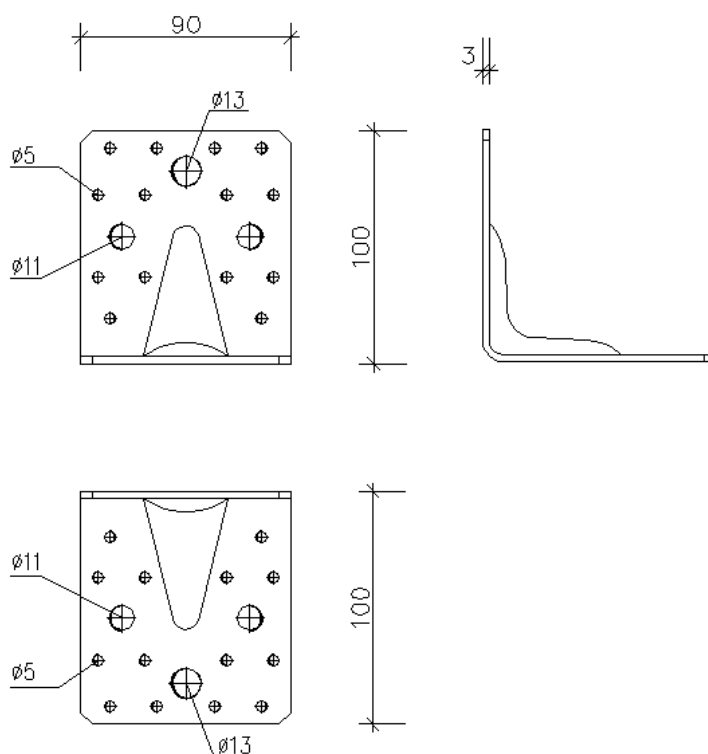
$$R_d = 24,42 \text{ kN}$$



## 6.4.2 HORIZONTALNO SIDRANJE

Pri horizontalnih sidrih sem izbral dve različno veliki sidri istega tipa zaradi velikih odstopanj med širinami panelov. Dimenzioniral sem po enakem postopku.

### WBR 100



Slika 39: WBR100 sidra (Rothoblaas)

Odpornost kotnika:

$$f_{y,k} = 340 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{340}{1,1} = 309 \frac{N}{mm^2}$$

$$A_{net} = (65 - 2 * 11) * 3 = 204 mm^2$$

$$R_{yd} = A_{net} * f_{y,d} = 204 * 309 = 63064,5 N = 63,05 kN$$

Odpornost navojne palice M12\*80 mm + smola za sidranje:

$$R_{nd} = \frac{R_y}{\gamma_M} = \frac{43,4}{1,8} = 24,11 \text{ kN}$$

Odpornost lesnega vijaka 10\*100 mm:

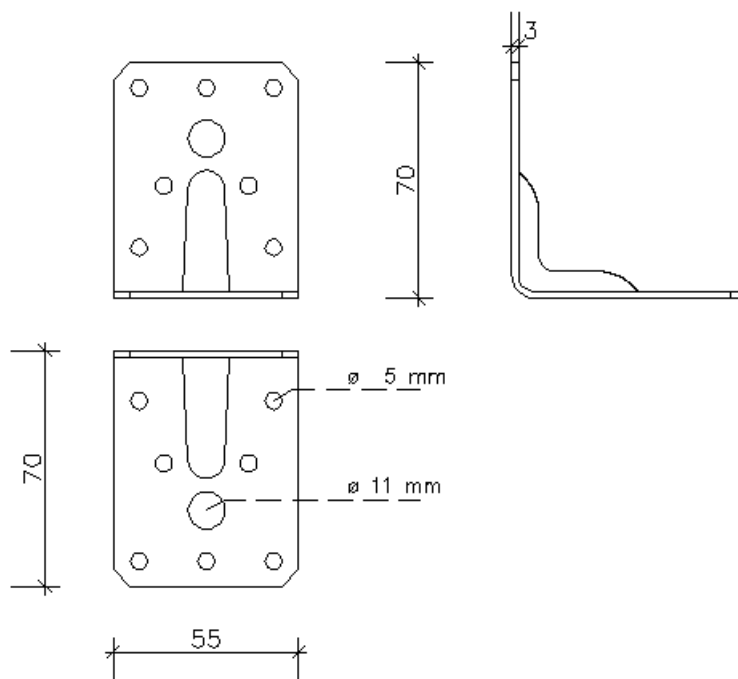
$$R_{1d} = 4 \text{ kN}$$

$$R_{3d} = 3 * 4 = 12 \text{ kN}$$

Odpornost sistema WBR100:

$$R_d = 12 \text{ kN}$$

### WBR 70



Slika 40: WBR70 sidra (Rothoblaas)

Odpornost kotnika:

$$f_{y,k} = 340 \frac{N}{mm^2}$$

$$f_{y,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_M} = \frac{340}{1,1} = 309 \frac{N}{mm^2}$$

$$A_{net} = (55 - 3 * 5) * 3 = 120 \text{ mm}^2$$

$$R_{yd} = A_{net} * f_{y,d} = 120 * 309 = 37090,9N = 37,09 \text{ kN}$$

Odpornost navojne palice M10\*80 mm + smola za sidranje:

$$R_{nd} = \frac{R_y}{\gamma_M} = \frac{32,7}{1,8} = 18,17 \text{ kN}$$

Odpornost žičnika LBA 4,0\*60:

$$R_{1d} = \frac{R_y}{\gamma_M} = \frac{1,49}{1,3} = 1,15 \text{ kN}$$

$$R_{3d} = 3 * 1,15 = 3,45 \text{ kN}$$

Odpornost sistema WKR285:

$$R_d = 3,45 \text{ kN}$$

## 6.5 PRIKAZ REZULTATOV

V preglednici 20 so prikazani rezultati najbolj obremenjenih stenskih panelov glede na širino panela.

Preglednica 20: Prikaz rezultatov najbolj obremenjenih panelov glede na širino

	b(cm)	d <sub>fik</sub> (cm)	N <sub>d</sub> (kN)	kontrola nosilnosti			sidranje		
				F <sub>h</sub> (kN)	F <sub>v,ed</sub> (kN)	η <sub>h</sub>	F <sub>v</sub> (kN)	izvlečna sidra	strižna sidra
zunajna stena	50	0.79	1.00	0.17	1.28	13.3%	0.99	WKR285 3.0mm	WBR 70
	60	0.96	1.02	0.21	1.84	11.2%	1.00	WKR285 3.0mm	WBR 70
	70	1.13	3.65	0.86	2.51	34.2%	3.55	WKR285 3.0mm	WBR 70
	80	1.30	5.73	1.52	3.28	46.4%	5.52	WKR285 3.0mm	WBR 70
	100	1.65	8.35	2.72	5.13	53.0%	7.90	WKR285 3.0mm	WBR 100
	125	2.10	14.65	5.79	8.02	72.3%	13.46	WKR285 3.0mm	WBR 100
notranja stena	50	0.94	0.87	0.15	5.42	2.7%	0.86	WKR285 3.0mm	WBR 70
	60	1.13	0.40	0.08	6.70	1.2%	0.39	WKR285 3.0mm	WBR 70
	70	1.33	2.28	0.54	8.08	6.6%	2.22	WKR285 3.0mm	WBR 70
	80	1.53	6.72	1.78	9.54	18.7%	6.48	WKR285 3.0mm	WBR 70
	110	2.12	20.98	7.45	14.44	51.6%	19.61	WKR285 3.0mm	WBR 100
	125	2.40	25.94	10.26	17.17	59.7%	23.82	WKR285 3.0mm	WBR 100

## 7. ZAKLJUČEK

V okviru diplomskega dela sem projektiral leseno montažno enodružinsko hišo v skladu z veljavnimi standardi (Evrokodi). Določil sem obtežbe na konstrukcijske elemente in s pomočjo programa SAP 2000 izračunal notranje statične količine v posameznih elementih. V vertikalni smeri prevladuje obtežba snega, v horizontalni smeri je prevladujoča potresna obtežba.

Strešno konstrukcijo sem preveril glede na obremenitev z vertikalno obtežbo. Obtežba s strehe se enakomerno porazdeli na stene, sestavljene iz stenskih panelov. Nad steklenimi površinami so lepljeni nosilci, ki prenašajo obtežbo panelov in strešne plošče na spodnje panele. V horizontalni smeri sem preverjal nosilnost panelov na potresno obtežbo. Za pridobitev sil sem naredil seizmični model in v programu Tower 6 izračunal potresne sile na posamezne elemente. Na koncu sem določil še potrebna sidra za sidranje konstrukcije v betonsko ploščo.

Les je eden najlažjih gradbenih materialov, ki se trenutno uporablja za gradnjo. Njegova majhna lastna teža pomeni veliko prednost pri potresni obtežbi, ki se pojavlja pri potresu. Glede na to, da je Slovenija v potresnem območju, bi morala ta gradnja vse bolj pridobivati na veljavi.

**VIRI**

- SIST EN 1991-1-1:2004. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije - 1-1. del: Splošni vplivi - Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb.
- SIST EN 1991-1-4:2005. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije - 1-4. del: Splošni vplivi -Vplivi vetra.
- SIST EN 1991-1-4:2005/oA101. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije - 1-4. del: Splošni vplivi - Vplivi vetra - Nacionalni dodatek.
- SIST EN 1991-1-3:2004. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije - 1-3. del: Splošni vplivi - Obtežba snega.
- SIST EN 1991-1-3:2004 /A101. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije - 1-3. del: Splošni vplivi - Obtežba snega - Nacionalni dodatek.
- SIST EN 1995-1-1:2005. Evrokod 5: Projektiranje lesenih konstrukcij - 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe.
- SIST EN 1995-1-1:2005/A101. Evrokod 5: Projektiranje lesenih konstrukcij - 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe - Nacionalni dodatek.
- SIST EN 1998-1:2005. Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij-1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe.
- SIST EN 1998-1:2005/A101:2006. Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij - 1. del:Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe.
- SIST EN 1998-1:2005/A101:2006. Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij-1. del:Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe - Nacionalni dodatek
- Kitek Kuzman, M. 2010. Les v sodobni slovenski arhitekturi. Ljubljana, Univerza v Ljubljani. Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo; Fakulteta za arhitekturo: 30-31 str.
- Lesena gradnja. 2015. <http://www.cbd.si/lesena-gradnja> Pridobljeno (27.4.2016)
- Kozem Šilih, E. 2012. Eksperimentalna in numerična analiza lesenih okvirnih stenskih elementov z odprtini. Doktorska disertacija. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo (samozaložba E. Kozem Šilih) : 7-18 str.
- Korez, M. 2013. Statična in dinamična analiza montažne lesene hiše s povečanim deležem stekla. Diplomaska naloga. Maribor, Univerza v Mariboru, Fakulteta za gradbeništvo, prometno inženirstvo in arhitekturo (samozaložba M. Korez) : 7-12 ; 21-38 str.
- Domadenik, Ž. 2015. Dimenzioniranje značilnih lameneranih lepljenih lesenih nosilcev. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba Ž. Domadenik) : 1