

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:

Fabjan, R., 2016. Izračun nosilne konstrukcije enostavnega lesenega objekta v Novem mestu. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Saje, D.): 51 str.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5907/>

Datum arhiviranja: 13-10-2016

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:

Fabjan, R., 2016. Izračun nosilne konstrukcije enostavnega lesenega objekta v Novem mestu. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Saje, D.): 51 pp.

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/5907/>

Archiving Date: 13-10-2016

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:

ROK FABJAN

**IZRAČUN NOSILNE KONSTRUKCIJE ENOSTAVNEGA
LESENEGA OBJEKTA V NOVEM MESTU**

Diplomska naloga št.: 131/OG-MO

**STATIC CALCULATION OF THE LOAD-BEARING
STRUCTURE OF A SIMPLE WOODEN BUILDING IN
NOVO MESTO**

Graduation thesis No.: 131/OG-MO

Mentor:

doc. dr. Drago Saje

Ljubljana, 13. 09. 2016

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVE

Spodaj podpisan študent Rok Fabjan, vpisna številka 26110733, avtor pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Izračun nosilne konstrukcije enostavnega lesenega objekta v Novem mestu.

IZJAVLJAM

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

a)

da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

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

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

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

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

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s 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/Na: Novo mesto

Datum: 30.8.2016

Podpis študenta: _____

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 624.011.1(497.4Novo mesto)(043.2)
Avtor: Rok Fabjan
Mentor: doc. dr. Drago Saje
Naslov: Izračun nosilne konstrukcije enostavnega lesenega objekta v
Novem mestu
Tip dokumenta: Diplomaska naloga - visokošolski strokovni študij
Obseg in oprema: 51 str., 11 pregl., 32 sl., 59 en.
Ključne besede: leseni objekt, streha, leseni nosilec, temelji

Izvleček:

Diplomska naloga prikazuje statični izračun nosilne konstrukcije enostavnega lesenega objekta, ki obsega štirikapno leseno ostrešje, prečne vodoravne nosilce in navpične stebre. Upošteval sem lastnosti materialov, ki bodo vgrajeni v nosilno konstrukcijo objekta. Obtežbe, ki pripadajo objektu so določene po veljavnih evropskih standardih Evrokod 1. Statični račun objekta zajema preverjanje nosilnosti lesenih elementov, glede na mejno stanje nosilnosti in mejno stanje uporabnosti, ter preverjanje nosilnosti armirano-betonskih točkovnih temeljev.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDK: 624.011.1(497.4Novo mesto)(043.2)
Author: Rok Fabjan
Supervisor: Assist. Prof. Drago Saje, Ph. D
Title: Static calculation of load-bearing structure of a simple wooden building
in Novo mesto
Document type: Graduation Thesis, Higher professional studies
Scope and tools: 51 p., 11 tab., 32 fig., 59 eq.
Keywords: wooden building, roof, wooden beam, based

Abstract:

Graduation thesis represents a static calculation of the load-bearing structure of a simple wooden building consisting of wooden roof, transverse horizontal beams and vertical columns. Calculation refers to properties of materials, which will be used in the structure. Loads are specified according to current European standard Eurocode 1. Static calculation of considered object includes checking of wooden elements and of reinforced concrete foundations.

ZAHVALA

Za vodenje in usmerjanje pri izdelavi diplomske naloge se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Dragu Sajetu.

Zahvaljujem se svojim staršem, sestri ter puncu, ki so mi tekom študija stali ob strani, me spodbujali, verjeli vame ter mi pomagali, ko sem jih potreboval.

Kazalo vsebine

IZJAVE	III
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	IV
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	VI
ZAHVALA	VIII
KAZALO PREGLEDNIC	XII
KAZALO SLIK	XIII
1 UVOD	1
2 ZASNOVA OBJEKTA	2
2.1 Streha	4
2.2 Stebri	4
3 MATERIAL	5
3.1 Gradbeni material - Les	5
3.2 Faktor varnosti za material	5
4 RAČUNSKI MODEL	7
5 OBTEŽBA	8
5.1 Lastna teža	8
5.2 Koristna obtežba	8
5.3 Obtežba snega	8
5.4 Obtežba vetra	10
5.4.1 Osnovna hitrost vetra	10
5.4.2 Referenčna višina	10
5.4.3 Kategorija hrapavosti terena	11
5.4.4 Karakteristični maksimalni tlak	12
5.4.5 Jakost turbulence	12
5.4.6 Srednja hitrost vetra	12
5.4.7 Tlak vetra	13
5.4.8 Koeficient tlaka	13
5.4.9 Tlak vetra na stebre	14
5.4.10 Varnostni faktorji za obtežbe	15
6 DOLOČANJE DIMENZIJ NOSILNIH ELEMENTOV	17

6.1	Pravila za dimenzioniranje	17
6.1.1	Kontrole.....	17
6.2	Špirovci	21
6.2.1	Obtežbe.....	22
6.2.2	Kombinacije obtežb.....	24
6.2.3	Obremenitve	25
6.2.4	Dimenzioniranje	29
6.3	Prečka- lega	39
6.3.1	Zasnova	39
6.3.2	Kontrola dimenzij.....	39
6.4	Stebri	45
6.4.1	Zasnova	45
7	PLITVO TEMELJENJE	50
7.1	Zasnova	50
7.2	Obtežba na najbolj obremenjeni temelj.....	50
8	ZAKLJUČEK	52
VIRI	53

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 3-1: Varnostni faktorji lesa.....	6
Preglednica 5-1: Kategorije strehe (SIST EN 1991-1-1:2004, 20 str.)	8
Preglednica 5-2: Koristna obtežba na strehi (SIST EN 1991-1-1:2004, 20 str.).....	8
Preglednica 5-3: Karakteristična vrednost snežne obtežbe sk [kN/m^2] (Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po standardu Evrokod, 1-62 str.).....	9
Preglednica 5-4: Koeficient oblike obtežbe snega (SIST EN 1991-1-3:2004, 15 str.)	9
Preglednica 5-5: Kategorija terena (SIST EN 1991-1-4:2004, 18 str.)	12
Preglednica 5-6: Vrednost $c_{p,net}$ in C_f za enokapne nadstrešnice z naklonom 30° (SIST EN 1991-1-4:2005, 48 str.)	13
Preglednica 5-7: Vrednost $c_{p,net}$ in C_f za dvokapne nadstrešnice z naklonom 30° (SIST EN 1991-1-4:2005, 50 str.)	13
Preglednica 5-8: Pomožni faktorji ψ (SIST EN 1990:2004, 39 str.).....	15
Preglednica 6-1: Les trdnostnega razreda C24: karakteristične in togostne vrednosti SIST EN 338:2003.....	17
Preglednica 6-2: Koeficient tlaka vetra za enokapnico in dvokapnico	24

KAZALO SLIK

Slika 2-1: Tloris nadstreška.....	2
Slika 2-2: Pogled A-A.....	3
Slika 2-3: Pogled B-B.....	3
Slika 4-1: Prostorski model.....	7
Slika 5-1: Koeficient oblike obtežbe.....	10
Slika 5-2: Prikaz referenčne višine h (SIST EN 1991-1-4: 2005, 51 str.).....	11
Slika 5-3: Koeficient sile $C_{f,0}$ (SIST EN 1991-1-4: 2005, 57 str.).....	14
Slika 5-4: Diagram koeficienta končnega učinka $\psi\lambda$ (SIST EN 1991-1-4: 2005, 70 str.).....	15
Slika 6-1: Zasnova strešne konstrukcije v SAP 2000.....	22
Slika 6-2: Upogibni moment $M_{d,y}$	25
Slika 6-3: Prečna sila $V_{d,z}$	25
Slika 6-4: Osna sila $N_{d,x}$	26
Slika 6-5: Upogibni moment $M_{d,y}$	26
Slika 6-6: Upogibni moment $M_{d,z}$	27
Slika 6-7: Prečna sila $V_{d,y}$	27
Slika 6-8: Prečna sila $V_{d,z}$	28
Slika 6-9: Osna sila $N_{d,x}$	28
Slika 6-10: Zasek med špirovcem in prečko.....	29
Slika 6-11: Osna sila $N_{d,x}$	34
Slika 6-12: Povesi na pravokotnem špirovcu.....	35
Slika 6-13: Povesi na diagonalnem špirovcu.....	37
Slika 6-14: Osna sila.....	39
Slika 6-15: Upogibni moment $M_{d,y}$	39
Slika 6-16: Upogibni moment $M_{d,z}$	40
Slika 6-17: Prečna sila $V_{d,z}$	40
Slika 6-18: Prečna sila $V_{d,y}$	40
Slika 6-19: Torzijski moment $M_{d,x}$	40
Slika 6-20: Poves daljše prečke.....	43
Slika 6-21: Upogibni moment $M_{d,z}$	45
Slika 6-22: Upogibni moment $M_{d,y}$	45
Slika 6-24: Prečne sile $V_{d,y}$	46
Slika 6-23: Prečne sile $V_{d,z}$	46

Slika 6-25: Osne sile $N_{d,x}$ 46

1 UVOD

V diplomski nalogi predstavljam dimenzioniranje nosilnih elementov lesenega nadstreška. Nadstrešek se bo nahajal v Pogancih pri Novem mestu, na nadmorski višini 208 m. Kontrolo nosilnosti konstrukcijskih elementov sem izvedel po obeh metodah (MSN) in (MSU), skladno s trenutno veljavnimi evropskimi standardi Evrokodi.

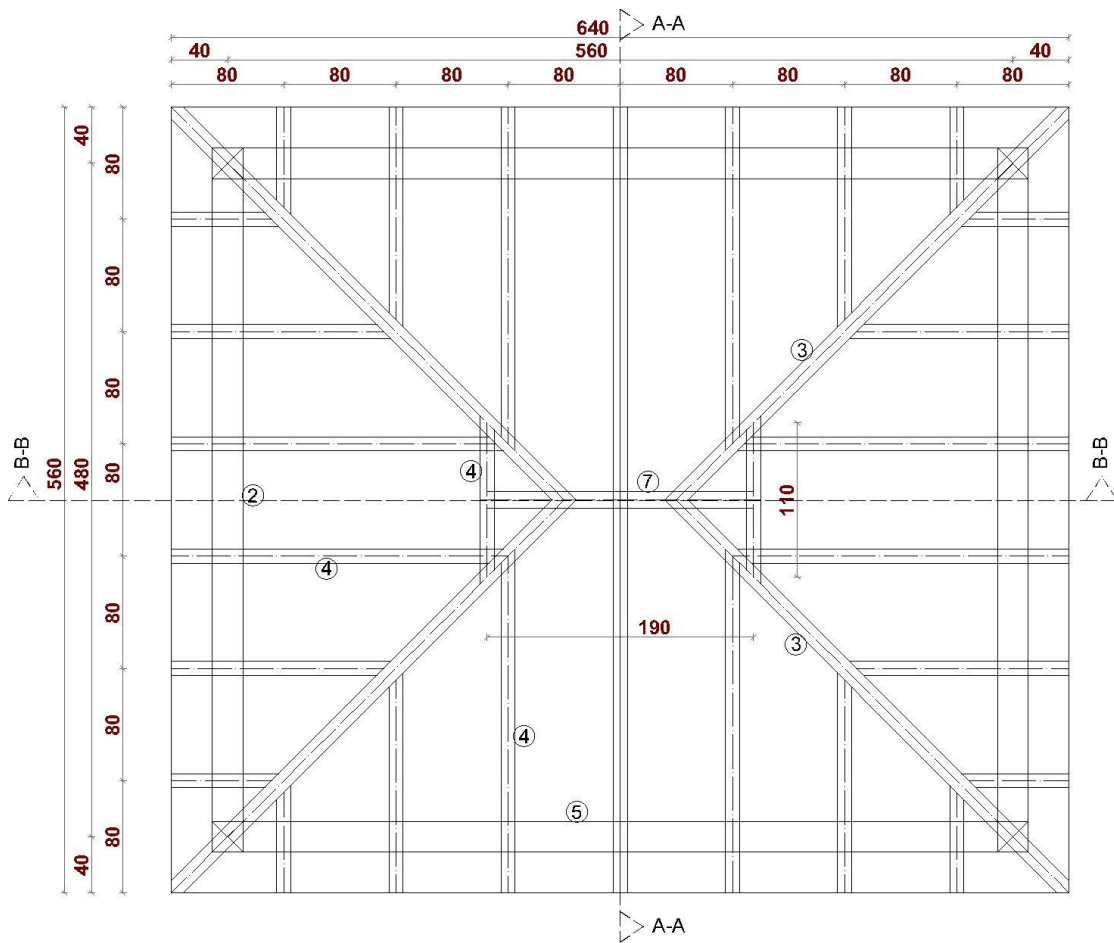
Obtežbe, katere delujejo na objekt, sem določil s pomočjo standarda Evrokod 1.

Notranje statične količine v posameznih elementih sem izračunal s pomočjo računalniškega programa SAP 2000, v katerem sem določil statični model konstrukcije, obtežne kombinacije za MSN in MSU ter dobil kritične notranje statične količine, ki sem jih uporabil za preverjanje dimenzij konstrukcijskih elementov in kontroli premikov le-teh.

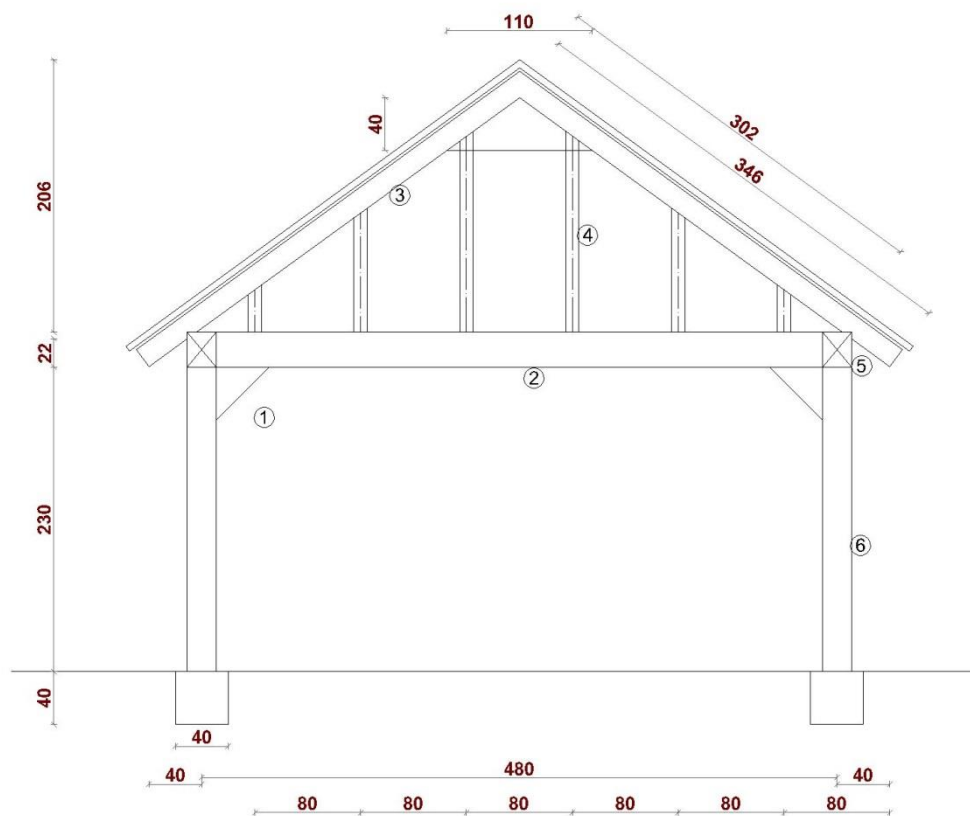
V zadnjem delu diplomske naloge sem dimenzioniral točkovni temelj in preveril nosilnost temeljnih tal.

2 ZASNOVA OBJEKTA

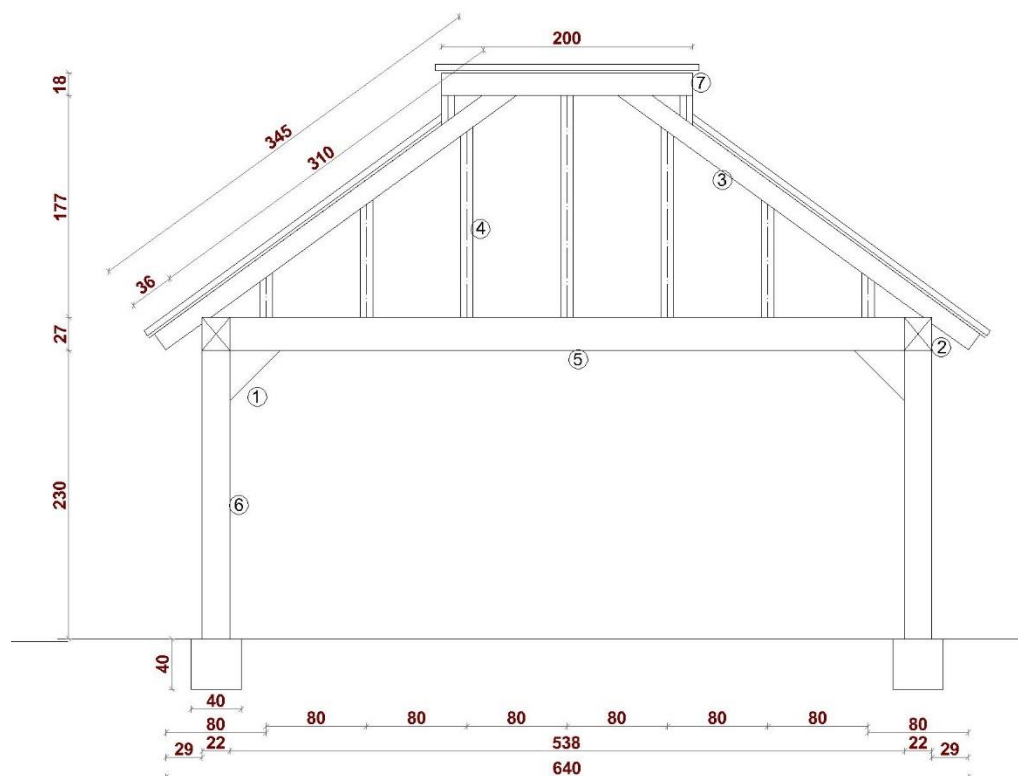
Objekt je nadstrešek, katerega tloris je v obliki pravokotnika. Celoten nadstrešek je sestavljen iz lesenih elementov: ostrešje, prečke, ki so hkrati lege, stebri. Temelji pa so armirano betonski.



Slika 2-1: Tloris nadstreška



Slika 2-2: Pogled A-A



Slika 2-3: Pogled B-B

2.1 Streha

Nosilni elementi strešne konstrukcije morajo opravljati osnovno funkcijo prevzema oziroma prenašanja obtežbe zunanjih vplivov, ki so stalna obtežba (lastna teža nosilne konstrukcije in preostala teža), obtežba snega, obtežba vetra ter koristna obtežba pri pohodnih strehah ali vsaj nadomestna obtežba za vzdrževanje in popravila.

Strešna konstrukcija je štirikapnica, z naklonom 36° , zgrajena iz lesenih elementov. Špirovce podpira slemenska lega in štiri kapne lege. Špirovci so med seboj oddaljeni 0,80 m, kar lahko tudi vidimo na sliki 2-1. V slemenu se stikata med seboj nasproti ležeča špirovca.

Slemenska lega je vzporedna daljši stranici tlorisa. Kapne lege ležijo na nosilnih stebrih.

2.2 Stebri

Objekt leži na štirih stebrih, visokih 230cm, s kvadratno obliko prečnega prereza, katerega stranica je dolga 22 cm. Razdalja med stebri vzdolž daljše stranice je 560 cm, razdalja med stebri vzdolž krajše stranice je 480 cm. Stebri ležijo na točkovnih temeljih kockaste oblike, z dimenzijami 50x50x50 cm.

3 MATERIAL

3.1 Gradbeni material - Les

Les je organska snov, proizvod živih organizmov. Izpostavljen je parazitom in škodljivcem, zato ga je potrebno ustrezno zaščititi. V primeru izpostavljenosti vremenskim vplivom, vlagi in zraku – sčasoma postane neobstoje. Pridobivanje lesa je nezahtevno in tudi obdelava ni zahtevna. Njegove lastnosti so v različnih smereh glede na vlakna različne. Pri lesu imamo najugodnejše lastnosti vzporedno z vlakni, najslabše lastnosti, pa se pri lesu pojavijo pravokotno na vlakna. Visoka vlažnost in visoka temperatura okolice neugodno vplivata na mehanske lastnosti lesa. Trdota lesa se razlikuje od vrste do vrste lesa, velik vpliv pa ima tudi vlažnost, poroznost ter napake, ki se pojavijo med rastjo. Zaradi omenjenih lastnosti je les drugačen napram ostalim gradbenim materialom.

Evrokod 5 razvršča masivni les iglavcev in masivni les listavcev v različne trdnostne razrede.

Projektno vrednost trdnosti lesa določamo:

$$F_d = k_{mod} \cdot f_k / \gamma_m \quad (1)$$

pri čemer so:

- f_k karakteristična vrednost,
- γ_m varnosti faktor za material ($\gamma_M = 1,30$),
- k_{mod} faktor modifikacije.

3.2 Faktor varnosti za material

Karakteristično vrednost prilagodimo s tem, da zajamemo faktor varnosti za material.

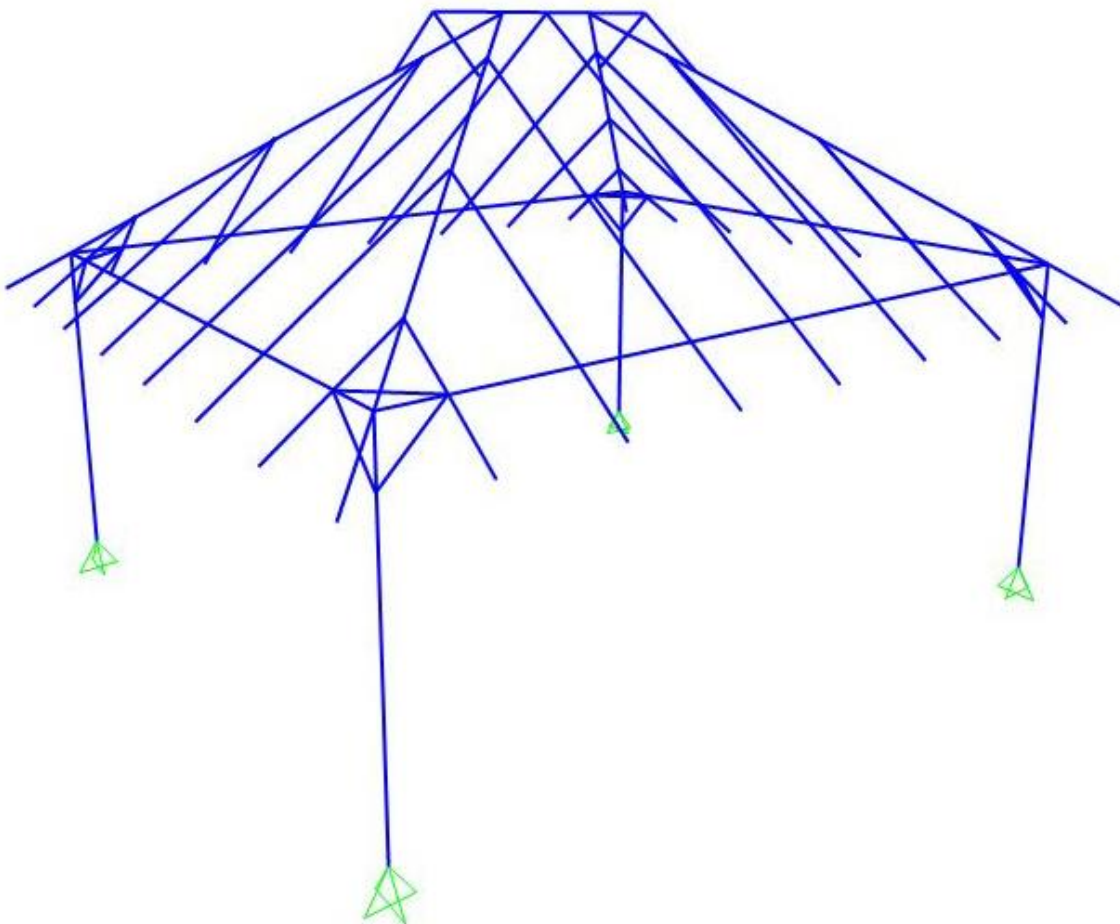
Preglednica 3-1: Varnostni faktorji lesa

<i>Projektna situacija</i>	<i>MSN</i>	<i>MSU</i>
	<i>Les</i> – γ_m	<i>Les</i> – γ_m
<i>Osnovna</i>	1,3	1
<i>Nezgodna</i>	1	–

4 RAČUNSKI MODEL

Obravnavano konstrukcijo sem zmodeliral v programu SAP 2000, zato sem se odločil za prostorski računski model nosilnih elementov. S tem sem upošteval tudi projektne sile, ki jih z 2D modelom ne bi zajel.

Pri modeliranju sem naletel na nekaj manjših težav. V računalniškem programu SAP 2000 sem moral elemente stikovati v težiščnicah. Tako sem si poenostavil modeliranje, zaradi te poenostavitve pa nisem upošteval zasekov. Posledično sem moral spremeniti tudi nekaj dimenzij (nekaj centimetrov), da so se elementi stikovali.



Slika 4-1: Prostorski model

5 OBTEŽBA

5.1 Lastna teža

V stalni, nepomični vpliv je zajeta lastna teža objekta. Izračuna se kot produkt prostornine elementa in karakteristične vrednosti prostorninske teže. Stalni nepomični vpliv zajema: samo težo konstrukcije ter nekonstrukcijske elemente. Predpostavimo, da se prostorninska teža in geometrija gradbenega materiala, ki je vgrajen v konstrukcijo, ne spremeni.

5.2 Koristna obtežba

Koristno obtežbo obravnavamo kot navidezni statični vpliv. Koristne obtežbe so posledica uporabe objekta. Ker obravnavani objekt služi le za nadstrešek, je edina koristna obtežba, ki se pojavi, obtežba strehe iz kategorije H.

Preglednica 5-1: Kategorije strehe (SIST EN 1991-1-1:2004, 20 str.)

KATEGORIJA	OPIS UPORABE
H	Za normalno vzdrževanje in popravila
I	Za uporabo v skladu s kategorijami A do D
J	Za posebne namene

Preglednica 5-2: Koristna obtežba na strehi (SIST EN 1991-1-1:2004, 20 str.)

KATEGORIJA POVRŠINE	q_k [kN/m^2]
H	0,0 – 1,0

5.3 Obtežba snega

Pri projektiranju moramo upoštevati, da se na strehi lahko pojavi več možnih različnih kombinacij porazdelitve snega. Le-ta pa je odvisna od verjetnosti snežnih padavin, vetra ter nihanja temperature. Na porazdelitev snega vpliva oblika, hrapavost strehe, toplotne lastnosti, bližina oziroma stikanje s sosednjimi stavbami ter teren v bližini objekta.

Obtežbo snega izračunamo z naslednjo enačbo:

$$s_{(\mu i)} = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad ,$$

(2)

kjer so: μ_i oblikovni koeficient obtežbe snega,
 C_e koeficient izpostavljenosti,
 C_t toplotni koeficient,
 s_k karakteristična obtežba snega na tleh.

V Sloveniji določimo karakteristično vrednost obtežbe snega z znano nadmorsko višino in območjem v katerega sodi objekt.

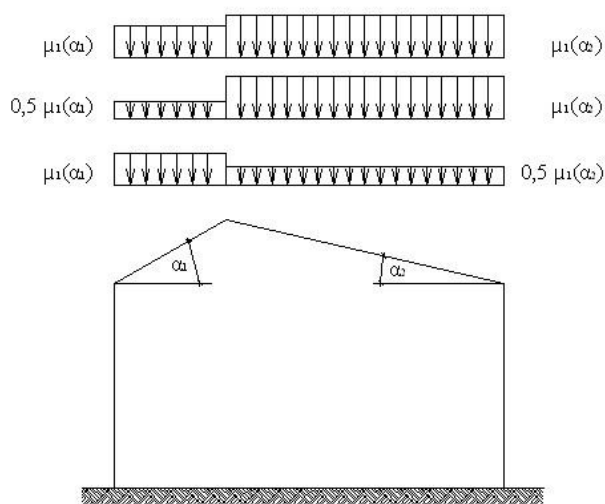
Preglednica 5-3: Karakteristična vrednost snežne obtežbe s_k [kN/m^2] (Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po standardu Evrokod, 1-62 str.)

Nadmorska višina (m)	Cone				
	A1	A2	A3	A4	M1
0	–	–	–	–	0,29
100	1,20	1,32	–	–	0,30
200	1,20	1,39	–	–	0,35
300	1,20	1,51	2,26	–	0,42

Koeficient oblike obtežbe se spreminja glede na obliko ter naklon.

Preglednica 5-4: Koeficient oblike obtežbe snega (SIST EN 1991-1-3:2004, 15 str.)

Naklon strehe	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha > 60^\circ$
μ_1	0,80	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,00
μ_2	$0,8 + 0,8(\alpha/30)$	1,60	–



Slika 5-1: Koeficient oblike obtežbe

5.4 Obtežba vetra

Vplivi vetra se spreminjajo glede na letni čas. Vplivi vetra se pojavijo kot tlak oziroma srk.

5.4.1 Osnovna hitrost vetra

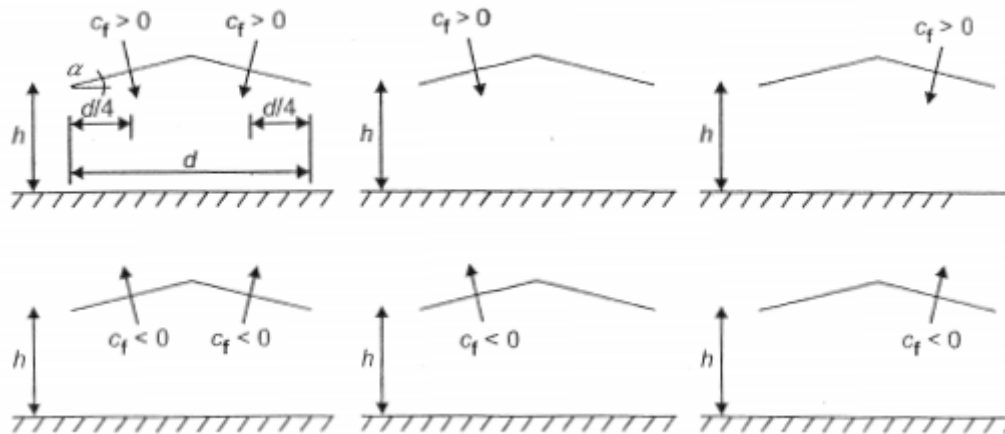
$$V_b = C_{dir} \cdot C_{season} \cdot V_{b,0}, \quad (3)$$

kjer so: C_{dir} smerni faktor,
 C_{season} faktor letnega časa,
 $V_{b,0}$ osnovna hitrost vetra.

Osnovna hitrost vetra je določena kot 10 - minutna povprečna hitrost, neodvisna od same smeri pihanja ali letnega časa. Osnovna hitrost vetra je odvisna od nadmorske višine in od cone. Slovenijo pokrivajo tri cone.

5.4.2 Referenčna višina

Referenčna višina je višina roba strehe. Prikazano na sliki 5–2.



Slika 5-2: Prikaz referenčne višine h (SIST EN 1991-1-4: 2005, 51 str.)

5.4.3 Kategorija hrapavosti terena

$$C_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) \quad \text{za } z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad (4)$$

$$C_r(z) = C_r(z_{min}) \quad \text{za } z \leq z_{min}$$

z_0 dolžina hrapavosti

k_r koeficient terena odvisen od dolžine hrapavosti z_0

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,I}}\right)^{0,07} \quad (5)$$

$z_{0,I}$ (preglednice 5-5)

z_{min} minimalna višina (preglednica 5-5)

Preglednica 5-5: Kategorija terena (SIST EN 1991-1-4:2004, 18 str.)

Kategorija terena		z_0	z_{min}
0	Morsko ali obalno področje, izpostavljeno proti odprtemu morju	0,003	1
I	Jezersko ali ravninsko področje z zanemarljivim rastlinjem in brez ovir	0,01	1
II	Področje z nizkim rastlinjem (trava) in posameznimi ovirami (drevesi, stavbami) na razdalji najmanj 20 višin ovir	0,05	2
III	Področje z običajnim rastlinjem ali stavbami ali s posameznimi ovirami na razdalji največ 20 višin ovir (vasi, podeželsko okolje, stalni gozd)	0,3	5
IV	Področje, kjer je najmanj 15 % površine pokrite s stavbami s povprečno višino več kot 15 m	1,0	10

5.4.4 Karakteristični maksimalni tlak

Največji tlak določimo ob najmočnejših sunkih vetra na željeni višini.

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_m^2(z) \quad (6)$$

ρ gostota zraka

5.4.5 Jakost turbulence

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{V_m(z)} = \frac{k_l}{C_0(z) \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} \quad \text{za } z_{min} \leq z \leq z_{max}$$

(7)

$$I_v(z) = I_v(z_{min}) \quad \text{za } z \leq z_{min}$$

σ_v odstopanje turbulence $\sigma_v = k_r \cdot V_b \cdot k_l$

k_l faktor turbulence (1,00)

$C_0(z)$ koeficient topografije. Na ravnini je, $C_0(z) = 1,00$

z_0 (preglednica 5-5)

5.4.6 Srednja hitrost vetra

$$V_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot V_b \quad (8)$$

$V_m(z)$	hitrost vetra na višini z nad terenom
$c_r(z)$	faktor hrapavosti
$c_0(z)$	faktor hribovitosti (1,00)
V_b	osnovna hitrost vetra

5.4.7 Tlak vetra

5.4.7.1 Zunanji tlak vetra

$$w_e = q_p \cdot (z_e) \cdot c_{pe} \quad (9)$$

q_p	največji pritisk vetra pri sunkih
z_e	referenčna višina
c_{pe}	koeficient tlakov (zunaj)

5.4.8 Koeficient tlaka

Preglednica 5-6: Vrednost $c_{p,net}$ in c_f za enokapne nadstrešnice z naklonom 30° (SIST EN 1991-1-4:2005, 48 str.)

Nagib α	Zapolnjenost	Koeficient celotne sile c_f	Področje A	Področje B	Področje C
30	Maksimum vsi φ	1,2	2,2	3,2	2,4
	Minimum $\varphi=0$	-1,8	-3,0	-3,8	-3,6
	Maksimum $\varphi=1$	-1,4	-1,5	-2,2	-2,7

Koeficient tlaka je odvisen od zapolnjenosti prostora pod nadstrešnico. $\varphi=1$, prostor pod nadstreškom je v celoti zapolnjen na zavetrni strani, $\varphi=0$ predstavlja prazen prostor pod nadstrešnico.

Preglednica 5-7: Vrednost $c_{p,net}$ in c_f za dvokapne nadstrešnice z naklonom 30° (SIST EN 1991-1-4:2005, 50 str.)

Nagib α	Zapolnjenost	Koeficient celotne sile c_f	Področje A	Področje B	Področje C	Področje D
30	Maksimum vsi φ	0,9	1,3	1,9	1,6	0,7
	Minimum $\varphi=0$	-1,0	-1,4	-1,9	-1,4	-2,0
	Maksimum $\varphi=1$	-1,3	-1,4	-1,8	-1,4	-2,0

5.4.9 Tlak vetra na stebre

$$F_w = c_s c_d \cdot \sum_{\text{elementi}} c_f \cdot q_p \cdot A_{ref} \quad (10)$$

$c_s c_d$	strukturni faktor (za objekte <15m, $c_s c_d = 1$)
c_f	koeficient sile
q_p	največji tlak
A_{ref}	pravokotna površina, na katero deluje sila

5.4.9.1 Koeficient sile za odseke z ostrimi robovi

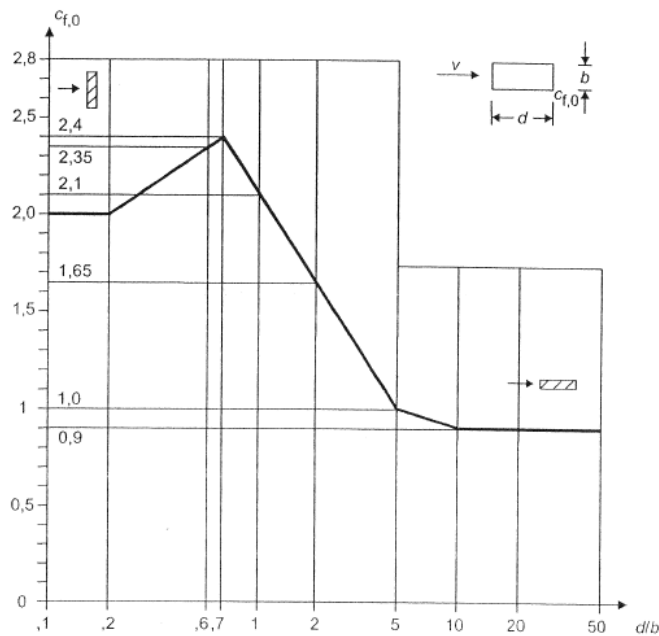
Koeficient sile c_f za konstrukcijske elemente s prečnim prerezom pravokotne oblike pri vetru v prečni smeri se določi po izrazu:

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda \quad (11)$$

$c_{f,0}$ koeficient sile pravokotnega prereza z ostrimi robovi pri katerih vitkosti ne upoštevamo

ψ_r faktor redukcije za prereze kvadratne oblike z zaobljenimi robovi

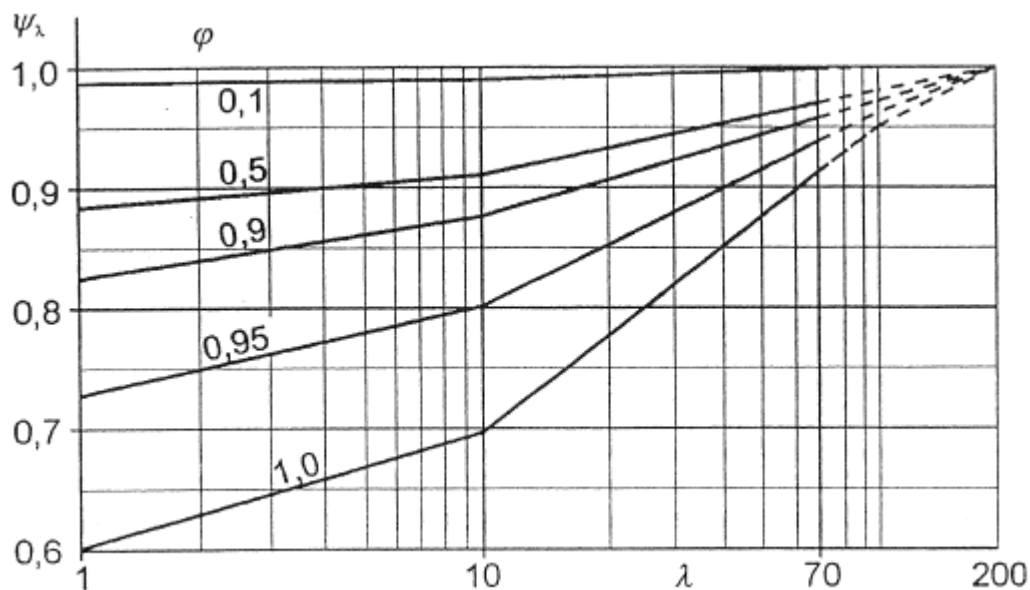
ψ_λ faktor vitkosti



Slika 5-3: Koeficient sile $c_{f,0}$ (SIST EN 1991-1-4: 2005, 57 str.)

5.4.9.2 Koeficient končnega učinka

Koeficient odčitamo iz diagrama, poznati moramo tudi efektivno vitkost in razmerje površin.



Slika 5-4: Diagram koeficienta končnega učinka ψ_λ (SIST EN 1991-1-4: 2005, 70 str.)

Efektivna vitkost

Za elemente, nižje od 15 m po SIST EN 1991-1-4:2005 (preglednica 7.16, str. 69): $\lambda = 70$

5.4.10 Varnostni faktorji za obtežbe

Varnostni faktorji so različni za različne vrste in kombinacije zunanjih obtežb. Varnostni faktorji se spreminjajo glede na neugodno oziroma ugodno delovanje stalne obtežbe.

Projektno vrednost F_d določimo s pomočjo izraza:

$$F_d = \gamma_f \cdot F_{rep} \quad (12)$$

γ_f varnostni faktor (delni)

F_{rep} predstavitvena vrednost vpliva

Preglednica 5-8: Pomožni faktorji ψ (SIST EN 1990:2004, 39 str.)

Vrsta vpliva	ψ_0	ψ_1	ψ_2
Obtežba s snegom	0,6	0,2	0,0
Obtežba z vetrom	0,6	0,2	0,0

Projektna situacija	Mejno stanje nosilnosti - MSN		Mejno stanje uporabnosti - MSU	
	γ_G	γ_Q	γ_G	γ_Q
Osnovna: ugoden vpliv	1,0	0	1,0	0
neugoden vpliv	1,35	1,5	1,0	1,0
Nezgodna	1,0	1,0	-	-

Mejno stanje nosilnosti je stanje, ki se nanaša na varnost ljudi in varnost konstrukcije. Prekoračitev mejnih stanj nosilnosti pomeni delno ali popolno porušitev konstrukcije, kasnejšo odstranitev ali obnovo konstrukcije. Projektno vrednost, ki jo povzročijo zunanji vplivi, določimo z ustrežno kombinacijo obtežb.

Osnovne obtežbene kombinacije:

$$\Sigma \gamma_{G,j} \cdot G_{k,j} + \gamma_{Q,j} \cdot Q_{k,1} + \Sigma_{i>1} \gamma_{G,j} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,j} \quad (13)$$

Nezgodne obtežbene kombinacije:

$$\Sigma G_{k,j} + A_k + \psi_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,j} \quad (14)$$

Mejno stanje uporabnosti pa se nanaša na obnašanje konstrukcije, izgled gradbenega objekta in samo udobje ljudi v njem.

Upoštevamo tri kombinacije vplivov:

Karakteristična vplivna kombinacija: $\Sigma G_{k,j} + Q_{k,1} + \Sigma_{i>1} \psi_{0,i} \cdot Q_{k,j} \quad (15)$

Pogosta vplivna kombinacija: $\Sigma G_{k,j} + \gamma_{1,1} \cdot Q_{k,1} + \Sigma_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,j} \quad (16)$

Navidezno stalna vplivna kombinacija: $\Sigma G_{k,j} + \Sigma_{i>1} \psi_{2,i} \cdot Q_{k,j} \quad (17)$

6 DOLOČANJE DIMENZIJ NOSILNIH ELEMENTOV

6.1 Pravila za dimenzioniranje

Nadstrešnica bo bila zgrajena iz gradbenega lesa, trdnostnega razreda C24.

Preglednica 6-1: Les trdnostnega razreda C24: karakteristične in togostne vrednosti SIST EN 338:2003

	oznake	N/cm^2
		C24
upogib	$f_{m,k}$	2400
nateg (paralelno)	$f_{f,0,k}$	1400
nateg (pravokotno)	$f_{t,90,k}$	50
tlak (paralelno)	$f_{c,0,k}$	2100
tlak (pravokotno)	$f_{c,90,k}$	250
strig	$f_{v,k}$	250
		kN/cm^2
modul elastičnosti (paralelno)	$E_{0,mean}$	1100
modul elastičnosti (paralelno)	$E_{0,05}$	740
modul elastičnosti (paralelno)	$E_{90,mean}$	37
strižni modul	G_{mean}	69
		kg/m^3
gostota	ρ_k	420

6.1.1 Kontrole

Centrični nateg – (smer vlaken)

Naslednji pogoj mora biti izpolnjen:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \quad (18)$$

$\sigma_{t,0,d}$ natezna projektna napetost

$f_{t,0,d}$ natezna projektna trdnost

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A_{neto}} \quad f_{t,0,d} = k_{mod} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_m} \quad (19)$$

Centrični tlak – (uklon ne upoštevamo)

Naslednji pogoj mora biti izpolnjen:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad (20)$$

$\sigma_{c,0,d}$ tlačna projektna napetost

$f_{c,0,d}$ tlačna projektna trdnost

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_{neto}} \quad f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} \quad (21)$$

Centrični tlak – (uklon upoštevamo)

Naslednja pogoja morata biti izpolnjena:

$$1. \quad \sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} f_{c,0,d} \quad \text{in} \quad 2. \quad \sigma_{c,0,d} \leq k_{c,z} f_{c,0,d} \quad (22)$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_{neto}} \quad f_{c,0,d} = k_{mod} \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} \quad (23)$$

Relativna vitkost pri upogibu:

$$\lambda_{rel} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{crit}}} \quad (24)$$

Uklonska korekcijska faktorja $k_{c,y}$ in $k_{c,z}$:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} \quad (25)$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} \quad (26)$$

$$k_y = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,5)) + \lambda_{rel,y}^2 \quad k_z = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,5)) + \lambda_{rel,z}^2 \quad (27)$$

$$\beta_c = 0,2 \quad (\text{masivni les})$$

$$\beta_c = 0,1 \quad (\text{lepljen les})$$

Upogib

$$\sigma_{m,y,d}(z) = \frac{M_{y,d}}{I_y} z \quad \text{in} \quad \sigma_{m,z,d}(y) = -\frac{M_{z,d}}{I_z} y \quad (28)$$

Problem stabilnosti – bočna zvrnitev ($\lambda_{rel,m} > 0,75$)

S pomočjo naslednjega izraza določimo relativno vitkost pri upogibu:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad (29)$$

$\sigma_{m,crit}$ predstavlja kritično upogibno napetost, dobljeno s pomočjo teorije o stabilnosti

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot E_{0,05} \cdot b^2}{L_{ef} \cdot h} \quad (30)$$

V primeru elementov iz lesa iglavcev, prečni prerez je pravokotnik.

Bočna zvrnitev elementa je verjetnejša v primeru, da je prečni prerez višji ter ožji.

Upogib z natezno osno silo

Kombinacija dvoosnega upogiba ter natezna osna sila, izpolnjena morata biti naslednja pogoja:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{in} \quad \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (31)$$

Projektne napetosti:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A_{neto}}, \quad \sigma_{m,y,d}(z) = \frac{M_{y,d}}{I_y} z \quad \text{in} \quad \sigma_{m,z,d}(y) = -\frac{M_{z,d}}{I_z} y \quad (32)$$

Projektne trdnosti:

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_m}, \quad f_{m,y,d} = k_{mod} \frac{f_{m,y,k}}{\gamma_m} \quad \text{in} \quad f_{m,z,d} = k_{mod} \frac{f_{m,z,k}}{\gamma_m} \quad (33)$$

Koeficient k_m : $k_m = 0,7$ prečni prerez oblike pravokotnika

$k_m = 1,0$ ostale oblike prereza

Upogib s tlačno osno silo, kjer ne upoštevamo uklona ($\lambda_{rel,m} \leq 0,30$)

Pri dvoosnem upogibu moramo zadostiti naslednjima pogojema:

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \text{in} \quad \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad (34)$$

Projektna upogibna napetost:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A_{neto}}, \quad \sigma_{m,y,d}(z) = \frac{M_{y,d}}{I_y} z \quad \text{ter} \quad \sigma_{m,z,d}(y) = \frac{M_{z,d}}{I_z} y \quad (35)$$

Projektna upogibna trdnost:

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_m}, \quad f_{m,y,d} = k_{mod} \frac{f_{m,y,k}}{\gamma_m} \quad \text{ter} \quad f_{m,z,d} = k_{mod} \frac{f_{m,z,k}}{\gamma_m}$$

(36)

Strig

Veljati mora naslednji pogoj:

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad (37)$$

τ_d projektna strižna napetost

$f_{v,d}$ projektna strižna trdnost, kjer je

$$f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{v,k}}{\gamma_m}$$

Strižne sile, posledica prečne sile:

$$\tau_d = \frac{V_d}{A^*}$$

(38)

$$A^* = \frac{2 \cdot b \cdot h}{3} \quad (39)$$

Torzija

Veljati mora naslednji pogoj:

$$\tau_{tor,d} \leq k_{shape} \cdot f_{v,d} \quad (40)$$

$\tau_{tor,d}$ projektna torzijska napetost

k_{shape} oblikovni koeficient

$f_{v,d}$ projektna strižna trdnost, kjer je

$k_{shape} = \min(1 + 0,15 \cdot \frac{h}{b}; 2,0)$ h je večja dimenzija, b je manjša

$$f_{v,d} = k_{mod} \frac{f_{v,k}}{\gamma_m}$$

Strižna napetost zaradi torzijskega momenta:

$$\tau_{tor,d} = \frac{T_d}{W_t} \quad (41)$$

$W_t = \frac{\pi}{16} \cdot b^2 \cdot h$ za preze pravokotne oblike (včrtana elipsa)

Kontrole pomikov

Veljati mora naslednji kriterij:

$$w_{inst} \leq w_{inst,lim}$$

Kontrola trenutnih pomikov zaradi spremenljive obtežbe:

$$w_{inst} \leq \frac{l}{300} \text{ za nosilec oziroma } w_{inst} \leq \frac{l}{150} \text{ za konzolo}$$

Kontrola končnih pomikov:

$$w_{net,fin} \leq \frac{l}{250} \text{ za nosilec oziroma } w_{net,fin} \leq \frac{l}{125} \text{ za konzolo}$$

Neto končni pomiki, nastopijo po končanem lezenju:

$$w_{fin} = \sum w_{fin,G} + \sum w_{fin,Q,1} + \sum w_{fin,Q,i} \quad (42)$$

Kjer so:

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) \quad \text{stalni vpliv} \quad (43)$$

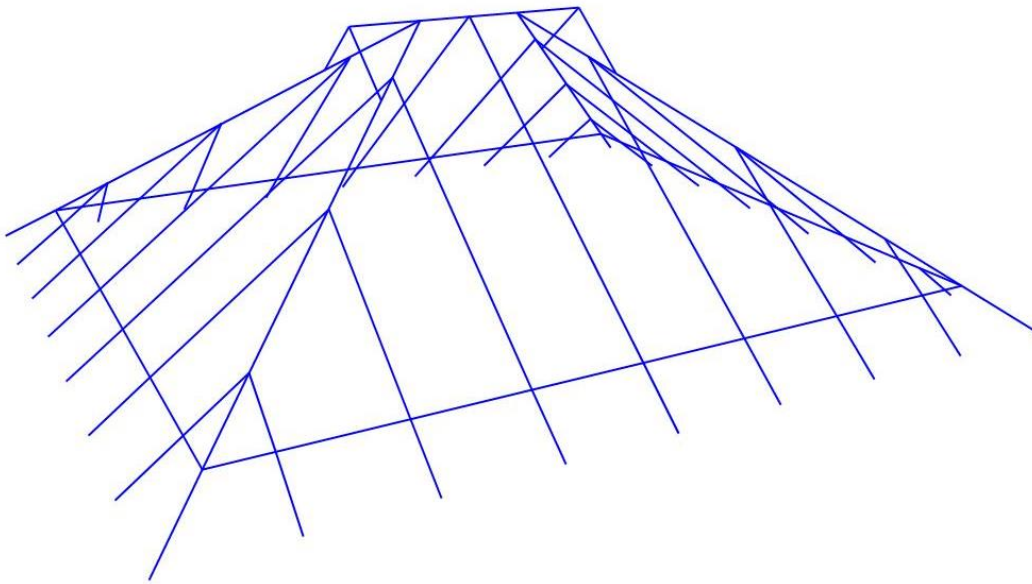
$$w_{fin,Q,1} = w_{inst,Q,1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) \quad \text{spremenljivi vpliv (prevladujoči)} \quad (44)$$

$$w_{fin,Q,i} = w_{inst,Q,i} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) \quad \text{spremenljivi vplivi (spremljajoči)} \quad (45)$$

k_{def} je koeficient lezenja, posledica trajanja obtežbe, materialnih lastnosti in uporabnostnega razreda

6.2 Špirovci

Špirovci nalegajo pravokotno na lege, razen štirih, ki predstavljajo grebenske špirovce ali nosilce. Razdalja med pravokotnimi špirovci je 0,80 m. Imajo različne dolžine, od 2,80 m do 0,80 m. Grebenski špirovci so dolgi 4,64 m in so podprti iz obeh strani na dolžini 1,13 m. Špirovci imajo 36° naklon.



Slika 6-1: Zasnova strešne konstrukcije v SAP 2000

6.2.1 Obtežbe

6.2.1.1 Lastna in stalna obtežba

TONDAH Bobrovec strešna kritina: $57,8 \text{ kg/m}^2$	$0,578 \cdot 0,8 = 0,46 \text{ kN/m}$
Letvice (4/6 cm)	$5 \cdot 0,4 \cdot 0,06 \cdot 4,6 \cdot 0,8 = 0,04 \text{ kN/m}$
Ladijski pod: $9,2 \text{ kg/m}^2$	$0,092 \cdot 0,8 = 0,08 \text{ kN/m}$
Špirovec (10/16)	<u>$0,1 \cdot 0,16 \cdot 4,6 = 0,08 \text{ kN/m}$</u>
	$g = 0,66 \text{ kN/m}$

6.2.1.2 Koristna obtežba

Koristna obtežba se pojavi zaradi možnih popravil in vzdrževanja. Izbral sem kategorijo H (preglednica 4-2). Naklon strehe je 36° .

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

6.2.1.3 Obtežba snega

Objekt leži v coni A2, na nadmorski višini 200 m. V preglednici 5-3 je podana karakteristična obtežba snega:

$$s_k = 1,39 \text{ kN/m}^2$$

V preglednici 5-3 je podan oblikovni koeficient μ . Koeficienta izpostavljenosti je 1,00 za običajni teren.

$$s_{(\mu 1)} = \mu_1 \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k = 0,64 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,39 = 0,89 \text{ kN/m}^2$$

6.2.1.4 Obtežba vetra

Objekt leži na območju cone 1, v kateri je osnovna referenčna hitrost vetra enaka:

$$v_{b,0} = 20 \text{ m/s}$$

$$v_b = c_{DIR} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 20,0 = 20,00 \text{ m/s}$$

Referenčna višina:

$$Z_e = h = 4,57 \text{ m}$$

Kategorija hrapavosti območja:

$$C_r(z) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_0}\right) = 0,22 \cdot \ln\left(\frac{5}{0,3}\right) = 0,62$$

$$\text{Kategorijo III: } 4,57 \text{ m} \leq 5 \text{ m}$$

Karakteristični končni tlak vetra:

$$q_p(z) = [1 + 7I_v(z)] \cdot \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot V_m^2(z) = 0,33 \text{ kN/m}^2$$

Intenziteta turbulence I_v :

$$I_v(z) = \frac{\sigma_v}{V_m(z)} = \frac{k_l}{c_0(z) \ln\left(\frac{z}{z_0}\right)} = \frac{4,31}{12,38} = 0,35$$

Standardna deviacija σ_v

$$\sigma_v = k_r \cdot V_b \cdot k_i = 0,22 \cdot 20 \cdot 1 = 4,4 \text{ m/s}$$

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,I}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,3}{0,5}\right)^{0,07} = 0,22$$

$k_i = 1,00$ turbolenčni faktor (priporočena vrednost je 1,00)

Povprečna hitrost vetra V_m :

$$V_m(z) = c_r(z) \cdot c_0(z) \cdot V_b = 0,62 \cdot 1,00 \cdot 20,00 = 12,38 \text{ m/s}$$

Tlak vetra na območjih po strehi:

Preglednica 6-2: Koeficient tlaka vetra za enokapnico in dvokapnico

Enokapnica			Dvokapnica		
Področje	Koeficient sile c_f	w_e [kN/m]	Področje	Koeficient sile c_f	w_e [kN/m]
A	2,2	0,58	A	1,0	0,26
	-3,0	-0,79		-1,4	-0,37
B	3,2	0,84	C	1,6	0,42
	-3,8	-1,00		-1,4	-0,37
C	2,4	0,63	D	0,7	0,18
	-2,7	-0,71		-2,0	-0,53

Sila na stebre:

$$F_w = c_s c_d \cdot \sum_{\text{elementi}} c_f \cdot q_p \cdot A_{ref} = 1 \cdot 1,91 \cdot 0,33 \cdot 2,3 \cdot 0,22 = 0,32 \text{ kN}$$

$$c_f = c_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda = 1 \cdot 2 \cdot 0,91 = 1,91$$

$$b/h=1,0 \text{ sledi } c_{f,0} = 2,1$$

efektivna vitkost, element manjši od 15 m, $\lambda = 1$ sledi $\psi_\lambda = 0,91$

6.2.2 Kombinacije obtežb

Kombinacije sem kreiral v programu SAP 2000. Naredil sem dve obtežbeni kombinaciji.

Prva kombinacija je MSN-M, pri kateri sem upošteval:

$$1,35 \cdot \textit{lastna teža} + 1,5 \textit{ teža snega}$$

Druga kombinacija je MSN-S, pri kateri sem upošteval:

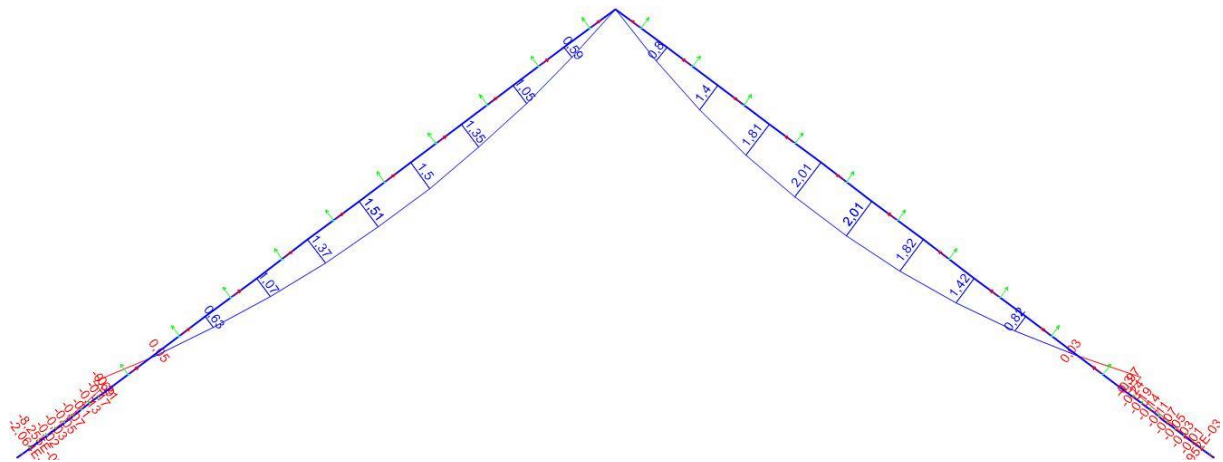
$$1,35 \cdot \textit{lastna teža} + 1,35 \cdot \textit{koristna obtežba} + 1,5 \cdot \textit{sneg} + 0,9 \cdot \textit{veter}$$

Mejno stanje uporabnosti (MSU):

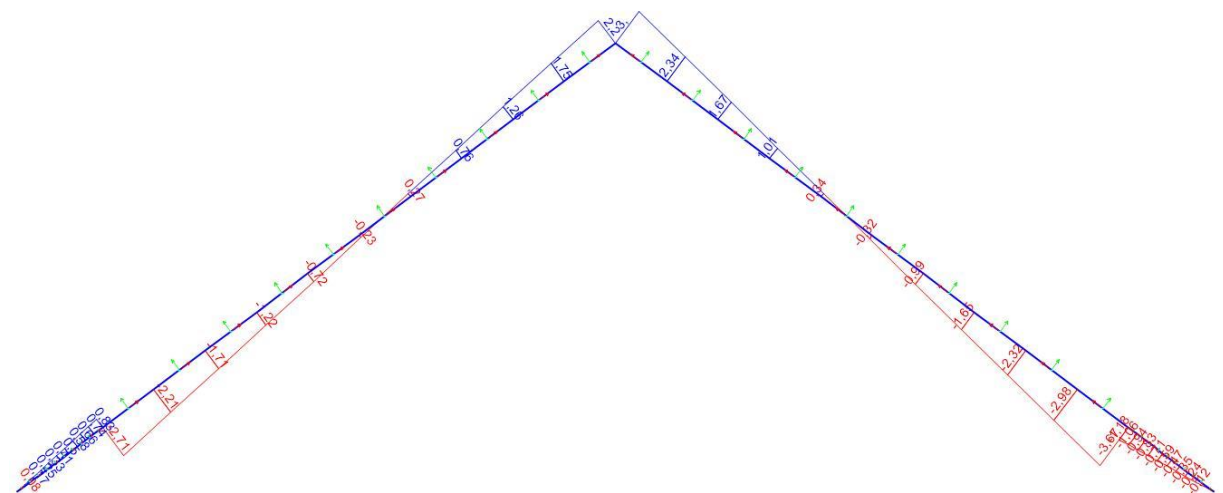
$$1,00 \cdot \textit{lastna teža} + 1,00 \cdot \textit{koristna obtežba} + 1,00 \cdot \textit{sneg} + 0,60 \cdot \textit{veter}$$

6.2.3 Obremenitve

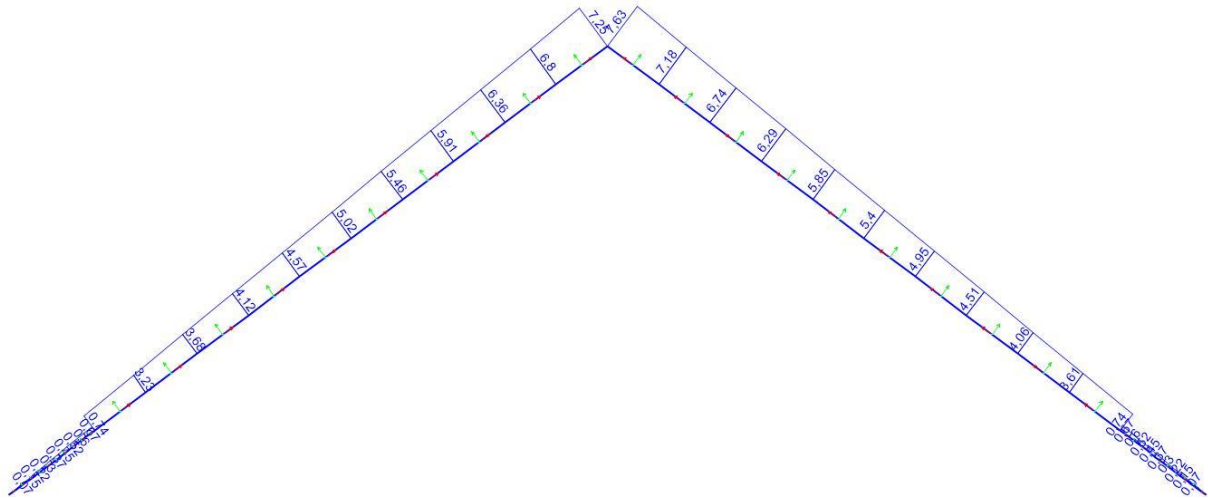
Obračunavani pravokotni špirovec je dolg 4,0m.



Slika 6-2: Upogibni moment $M_{d,y}$



Slika 6-3: Prečna sila $V_{d,z}$



Slika 6-4: Osna sila $N_{d,x}$

V polju:

$$M_{d,max} = 2,0 \text{ kNm}$$

$$N_{d,prir} = 7,63 \text{ kN} \quad \text{tlak}$$

$$V_{d,max} = 3,7 \text{ kN}$$

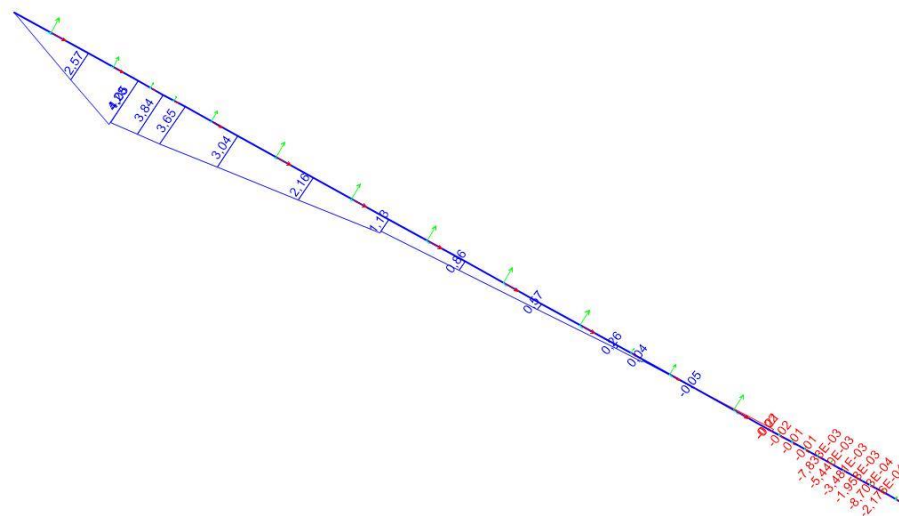
Nad podporo:

$$M_{d,max} = 0,96 \text{ kNm}$$

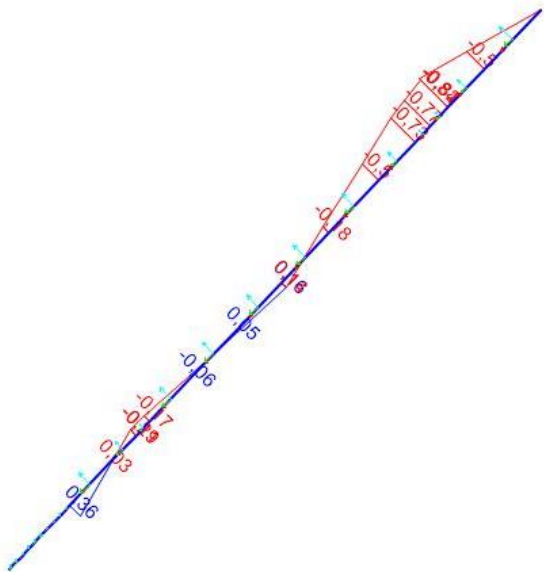
$$N_{d,prir} = 3,16 \text{ kN} \quad \text{tlak}$$

$$V_{d,max} = 3,7 \text{ kN}$$

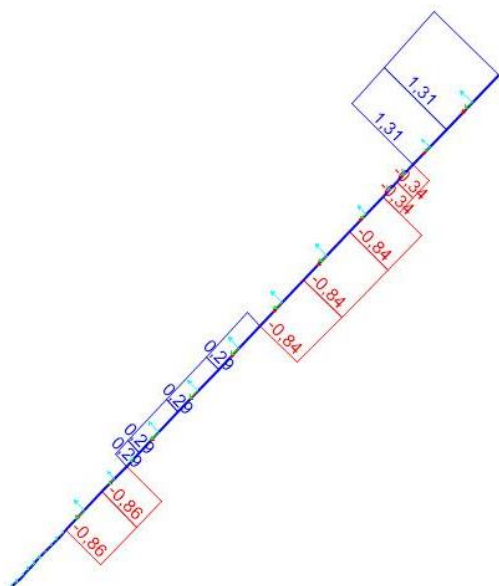
Grebenski špirovec dolžine 4,64 m, ki je podprt s pravokotnimi špirovci na 1,13 m.



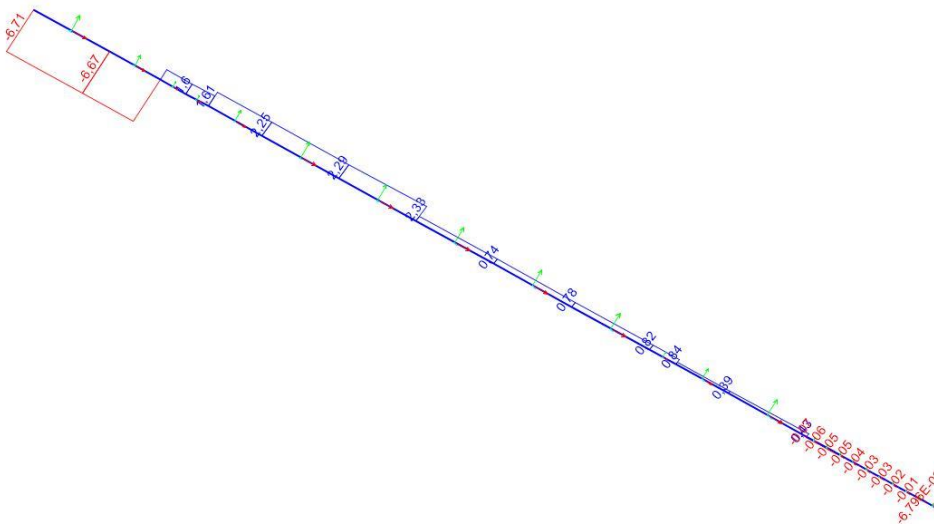
Slika 6-5: Upogibni moment $M_{d,y}$



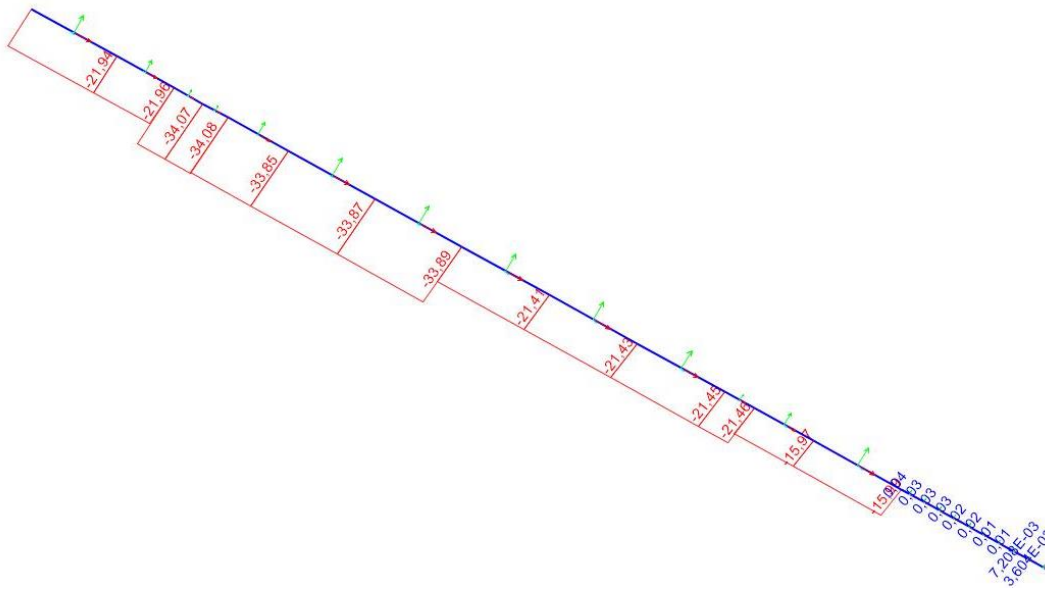
Slika 6-6: Upogibni moment $M_{d,z}$



Slika 6-7: Prečna sila $V_{d,y}$



Slika 6-8: Prečna sila $V_{d,z}$



Slika 6-9: Osnova sila $N_{d,x}$

V polju:

$$M_{y,d,max} = 4,29 \text{ kNm}$$

tlak

$$M_{z,d,max} = 0,92 \text{ kNm}$$

$$N_{d,prip} = 34,16 \text{ kN}$$

$$V_{z,d,max} = 6,74 \text{ kN}$$

$$V_{y,d,max} = 1,16 \text{ kN}$$

Nad podporo:

$$M_{y,d,max} = 0,2 \text{ kNm}$$

$$N_{d,prip} = 15,49 \text{ kN tlak}$$

$$M_{z,d,max} = 0,36 \text{ kNm}$$

$$V_{z,d,max} = 0,43 \text{ kN}$$

$$V_{y,d,max} = 0,86 \text{ kN}$$

6.2.4 Dimenzioniranje

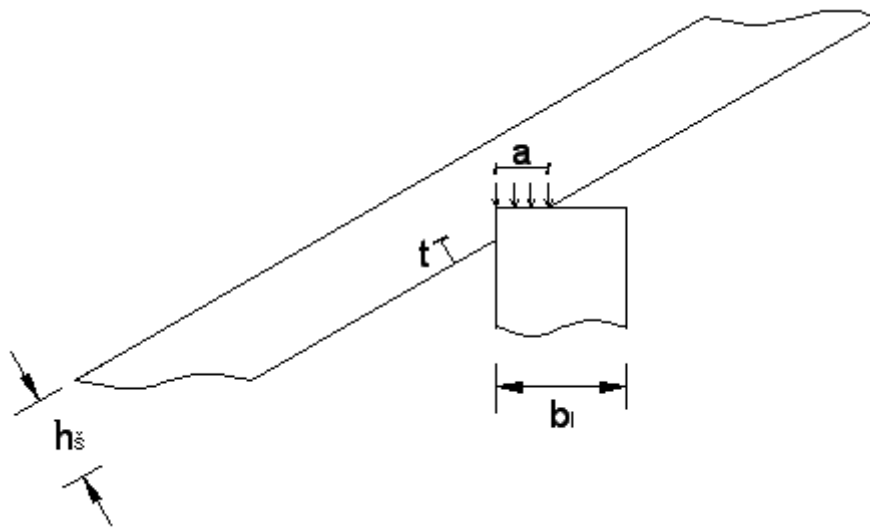
Napetosti, ki se pojavijo v prerezu, sem preveril glede največje obremenitve. Nad podporami, kjer je špirovec oslabljen, sem upošteval zmanjšan prerez. Špirovec ima pravokotni prečni prerez, dimenzij 10/16 cm, in je dolg 4,0 m. Grebenski špirovec s prečnim prerezom pravokotne oblike, dimenzij 12/18 cm, in dolžine 4,64 m.

Preverba kontaktnih napetosti ter zaseka na stiku prečke (kapna lega) – špirovca:

$$b_{\text{š}} = 10 \text{ cm}$$

$$F_{c,90,d} = 6,53 \text{ kN}$$

$$f_{c,90,d} = 0,367 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{preglednica 6-1}$$



Slika 6-10: Zasek med špirovcem in prečko

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \rightarrow \frac{F_{c,90,d}}{a \cdot b_{\text{š}}} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \rightarrow a \geq \frac{F_{c,90,d}}{b_{\text{š}} \cdot k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = 1,78 \text{ cm}$$

$$F_{c,90,d} = 6,53 \text{ kN}$$

$$f_{c,90,d} = 0,367 \text{ kN/cm}^2$$

$$b_{\text{š}} = 10 \text{ cm}$$

Izberem $a = 3 \text{ cm}$.

$$t \leq \frac{h}{4}, \text{ če je } 0^\circ < \gamma \leq 50^\circ$$

$$\gamma = 36,86^\circ$$

$$t = \sin \gamma \cdot a = 2 \text{ cm} \leq \frac{h_s}{4} = \frac{16}{4} = 4 \text{ cm}$$

Pravokotni špirovec:

Upogib v kombinaciji s tlačno osno silo:

- relativna vitkost

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = \sqrt{\frac{2,1}{0,97}} = 1,47$$

$$f_{c,0,k} = 2,1 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{preglednica 6-1}$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 0,97 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_{0,05} = 740 \text{ kN/cm}^2$$

$$\lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = 86,60$$

$$l_{0,y} = 400 \text{ cm}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 4,62 \text{ cm}$$

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{10 \cdot 16^3}{12} = 3413,33 \text{ cm}^4$$

$$A = b \cdot h = 10 \cdot 16 = 160 \text{ cm}^2$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = \sqrt{\frac{2,1}{67,72}} = 0,031 < 0,3 \quad \text{uklona ne upoštevamo}$$

$$f_{c,0,k} = 2,1 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{preglednica 6-1}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 67,72 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_{0,05} = 740 \text{ kN/cm}^2$$

$$\lambda_z = \frac{l_{0,z}}{i_z} = 10,38$$

$$l_{0,z} = 30 \text{ cm} \quad \text{špirovec je podprt z ladijskim podom ter letvami}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 2,89 \text{ cm}$$

$$I_z = \frac{h \cdot b^3}{12} = \frac{16 \cdot 10^3}{12} = 1333,33 \text{ cm}^4$$

$$A = b \cdot h = 10 \cdot 16 = 160 \text{ cm}^2$$

Relativna vitkost je okoli y večja od 0,30, upoštevamo uklon.

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,d}}{f_{m,d}} \leq 1 \rightarrow \frac{0,436}{1,662} = 0,288 \leq 1$$

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{d,max}}{W} = 0,468 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_{d,max} = 2,0 \text{ kNm}$$

$$W = \frac{b \cdot h^2}{6} = 426,67 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{d,max}}{A} = 0,047 \text{ kN/cm}^2$$

$$A = 160 \text{ cm}^2$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} = 1,454 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 2,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 0,43$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2) = 1,67$$

$$\beta_c = 0,2$$

Strig:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \rightarrow 0,202 \leq 1$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{z,max}}{A} = 0,035 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} = 0,173 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{mod} = 0,90$$

$$f_{v,k} = 0,25 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{preglednica 5-1}$$

$$\gamma_m = 1,30$$

Grebenski špirovec:

Upogib s tlačno silo:

-relativna vitkost

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = \sqrt{\frac{2,1}{15,45}} = 0,37 < 0,3$$

$$f_{c,0,k} = 2,1 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{iz preglednice 5-1}$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 15,45 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_{0,05} = 740 \text{ kN/cm}^2$$

$$\lambda_y = \frac{l_{0,y}}{i_y} = 21,73$$

$$l_{0,y} = 113 \text{ cm}$$

$$i_y = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 5,2 \text{ cm}$$

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{12 \cdot 18^3}{12} = 5832 \text{ cm}^4$$

$$A = b \cdot h = 12 \cdot 18 = 216 \text{ cm}^2$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}} = \sqrt{\frac{2,1}{6,84}} = 0,55 < 0,3$$

$$f_{c,0,k} = 2,1 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{preglednica 5-1}$$

$$\sigma_{c,crit,z} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_z^2} = 6,84 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_{0,05} = 740 \text{ kN/cm}^2$$

$$\lambda_z = \frac{l_{0,z}}{i_z} = 32,65$$

$$l_{0,z} = 113 \text{ cm}$$

$$i_z = \sqrt{\frac{I_z}{A}} = 3,46 \text{ cm}$$

$$I_z = \frac{h \cdot b^3}{12} = \frac{18 \cdot 12^3}{12} = 2592 \text{ cm}^4$$

$$A = b \cdot h = 12 \cdot 18 = 216 \text{ cm}^2$$

Relativna vitkost okoli y, z osi je večja od 0,30, upoštevamo uklon.

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \rightarrow 0,655 \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \rightarrow 0,609 \leq 1$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d,max}}{W_y} = 0,662 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d,max}}{W_z} = 0,363 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_{y,d,max} = 4,29 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d,max} = 0,92 \text{ kNm}$$

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = 648 \text{ cm}^3$$

$$W_z = \frac{h \cdot b^2}{6} = 432 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{d,max}}{A} = 0,158 \text{ kN/cm}^2$$

$$A = 216 \text{ cm}^2$$

$$f_{m,d} = f_{m,y,d} = f_{m,z,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} = 1,662 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{m,k} = 2,4 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} = 1,454 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 2,1 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{preglednica 5-1}$$

$$k_c = \min(k_{c,y}; k_{c,z}) = 0,97$$

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 1,04$$

$$k_y = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2) = 0,55$$

$$\beta_c = 0,2$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_z + \sqrt{k_z^2 - \lambda_{rel,z}^2}} = 0,97$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,5) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,66$$

Strig:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \rightarrow 0,27 \leq 1$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{z,max}}{A} = 0,047 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} = 0,173 \text{ kN/cm}^2$$

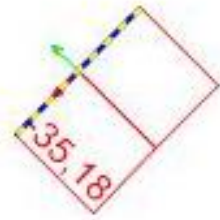
$$k_{mod} = 0,90$$

$$f_{v,k} = 0,25 \text{ kN/cm}^2$$

$$\gamma_m = 1,30$$

Ročica med stebrom in lego:

Vse sile, ki se pojavijo v ročici, so tlačne, zato kontrole za nateg nisem izvedel.



Slika 6-11: Osnova sila $N_{d,x}$

Kontrola napetosti:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{d,max}}{A} = 0,155 \text{ kN/cm}^2$$

$$A = 226,3 \text{ cm}^2$$

$$A = B \cdot D \cdot \sin\alpha = 16 \cdot 20 \cdot \sin 45 = 226,30 \text{ cm}^2$$

$$N_{d,max} = 35,18 \text{ kN}$$

$$f_{m,d} = f_{m,y,d} = f_{m,z,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} = 1,662 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{m,k} = 2,4 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} = 1,454 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 2,1 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{preglednica 5-1}$$

Strig:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \rightarrow 0,77 \leq 1$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{z,max}}{A_{zasek}} = 0,133 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_{z,max} = \sin\alpha \cdot N_{x,ed} = 24,86 \text{ kN}$$

$$A_{zasek} = B_{zasek} \cdot D \cdot \sin\alpha = 14 \cdot 20 = 280 \text{ cm}^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} = 0,173 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{mod} = 0,90$$

$$f_{v,k} = 0,25 \text{ kN/cm}^2$$

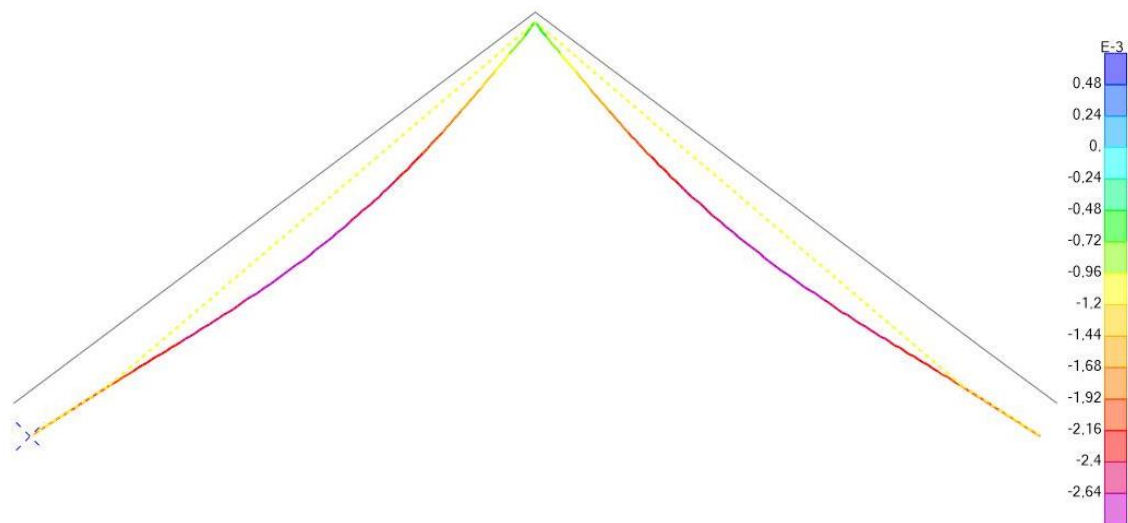
$$\gamma_m = 1,30$$

Kontrola pomikov:

Kontrolo pomika sem preveril na najdaljšem razponu špirovca. Začetne pomike sem dobil v programu SAP 2000. Upoštevamo varnostne faktorje po MSU.

Pravokotni špirovec:

Pravokotni špirovec je dolžine 4,00 m. 0,50 m dolžine predstavlja napušč, ki ga pri izračunu pomikov med lego in slemenom ne upoštevamo. Dolžina med lego in slemenom znaša 3,50 m.



Slika 6-12: Povesi na pravokotnem špirovcu

Povesi, posledica stalne obtežbe- w_g :

$$w_{g,inst} = 0,036 \text{ cm}$$

$$w_{g,fin} = w_{g,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 0,036 \cdot (1 + 0,80) = 0,065 \text{ cm}$$

$$k_{def} = 0,80$$

Povesi, posledica koristne obtežbe- w_q :

$$w_{q,inst} = 0,293 \text{ cm}$$

$$w_{q,fin} = w_{q,inst} \cdot (1 + k_{def} \cdot \psi_{2,1}) = 0,293 \cdot (1 + 0,80 \cdot 0,30) = 0,363 \text{ cm}$$

$$k_{def} = 0,80$$

$$\psi_{2,1} = 0,30$$

Povesi, posledica obtežbe snega- w_s :

$$w_{q,s,inst} = 0,207 \text{ cm}$$

$$w_{q,s,fin} = w_{q,s,inst} \cdot (1 + k_{def} \cdot \psi_{2,s}) = 0,207 \cdot (1 + 0,80 \cdot 0,00) = 0,207 \text{ cm}$$

$$k_{def} = 0,80$$

$$\psi_{2,s} = 0,00$$

Povesi, posledica obtežbe vetra- w_w :

$$w_{q,w,inst} = 0,083 \text{ cm}$$

$$w_{q,w,fin} = w_{q,w,inst} \cdot (1 + k_{def} \cdot \psi_{2,w}) = 0,083 \cdot (1 + 0,80 \cdot 0,00) = 0,083 \text{ cm}$$

$$k_{def} = 0,80$$

$$\psi_{2,w} = 0,00$$

$$W_{inst} \leq \frac{a}{300} \rightarrow 0,62 \text{ cm} \leq \frac{350}{300} = 1,17 \text{ cm}$$

$$W_{inst} = w_{g,inst} + w_{q,inst} + w_{q,s,inst} + w_{q,w,inst} = 0,036 + 0,293 + 0,207 + 0,083 \\ = 0,62 \text{ cm}$$

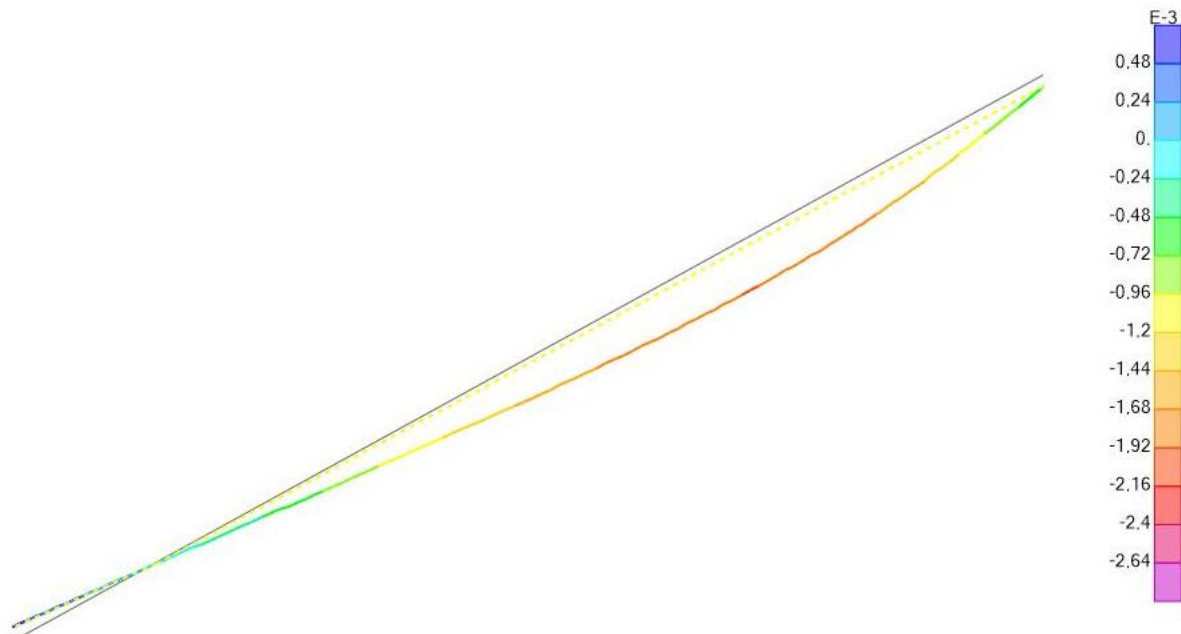
$$a = 350 \text{ cm}$$

$$W_{fin} \leq \frac{a}{250} \rightarrow 0,72 \text{ cm} \leq \frac{350}{250} = 1,4 \text{ cm}$$

$$W_{fin} = w_{g,fin} + w_{q,fin} + w_{q,s,fin} + w_{q,w,fin} = 0,065 + 0,363 + 0,207 + 0,083 = 0,72 \text{ cm}$$

Grebenski špirovec:

Grebenski špirovec je dolg 4,64 m. 0,64 m dolžine predstavlja napušč. Dolžina med lego in slemenom znaša 4,00 m.



Slika 6-13: Povesi na diagonalnem špirovcu

Povesi, posledica stalne obtežbe- w_g :

$$w_{g,inst} = 0,03 \text{ cm}$$

$$w_{g,fin} = w_{g,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 0,03 \cdot (1 + 0,80) = 0,054 \text{ cm}$$

$$k_{def} = 0,80$$

Povesi, posledica koristne obtežbe- w_q :

$$w_{q,inst} = 0,207 \text{ cm}$$

$$w_{q,fin} = w_{q,inst} \cdot (1 + k_{def} \cdot \psi_{2,1}) = 0,207 \cdot (1 + 0,80 \cdot 0,30) = 0,257 \text{ cm}$$

$$k_{def} = 0,80$$

$$\psi_{2,1} = 0,30$$

Povesi, posledica obtežbe snega- w_s :

$$w_{q,s,inst} = 0,118 \text{ cm}$$

$$w_{q,s,fin} = w_{q,s,inst} \cdot (1 + k_{def} \cdot \psi_{2,s}) = 0,118 \cdot (1 + 0,80 \cdot 0,00) = 0,118 \text{ cm}$$

$$k_{def} = 0,80$$

$$\psi_{2,s} = 0,00$$

Povesi, posledica obtežbe vetra- w_w :

$$w_{q,w,inst} = 0,0246 \text{ cm}$$

$$w_{q,w,fin} = w_{q,w,inst} \cdot (1 + k_{def} \cdot \psi_{2,w}) = 0,0246 \cdot (1 + 0,80 \cdot 0,00) = 0,0246 \text{ cm}$$

$$k_{def} = 0,80 \quad \text{koeficient lezenja}$$

$$\psi_{2,w} = 0,00$$

$$W_{inst} \leq \frac{a}{300} \rightarrow 0,38 \text{ cm} \leq \frac{400}{300} = 1,33 \text{ cm}$$

$$W_{inst} = w_{g,inst} + w_{q,inst} + w_{q,s,inst} + w_{q,w,inst} = 0,03 + 0,207 + 0,118 + 0,0246 \\ = 0,38 \text{ cm}$$

$$a = 400 \text{ cm}$$

$$W_{fin} \leq \frac{a}{250} \rightarrow 0,45 \text{ cm} \leq \frac{400}{250} = 1,6 \text{ cm}$$

$$W_{fin} = w_{g,fin} + w_{q,fin} + w_{q,s,fin} + w_{q,w,fin} = 0,054 + 0,257 + 0,118 + 0,0246 = 0,45 \text{ cm}$$

6.3 Prečka- lega

6.3.1 Zasnova

Za kontrolo prečke sem izbral najdaljšo, dolgo 5,60 m. Obtežbi sem pripisal lastno težo ter reakcije, ki pridejo na prečko preko špirovcev. Notranje statične količine sem dobil preko računalniškega programa SAP 2000. Lega oziroma prečka je dolžine 5,60 m, visoka je 27cm in široka 22 cm.

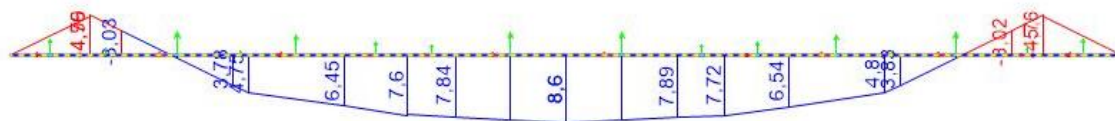
6.3.2 Kontrola dimenzij

Obremenitve:

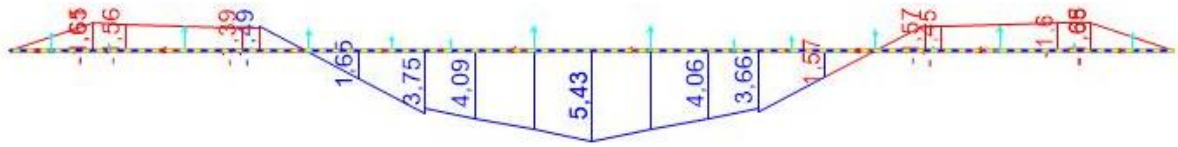
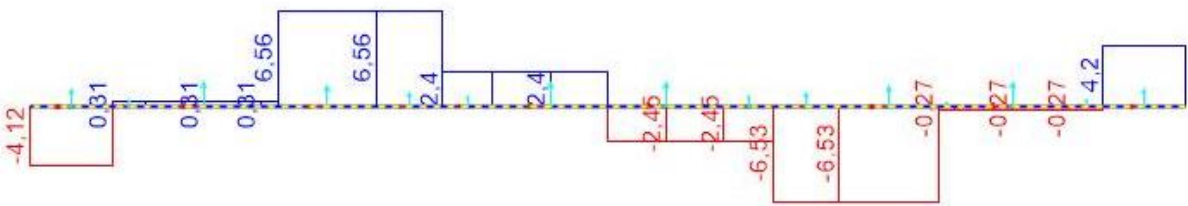
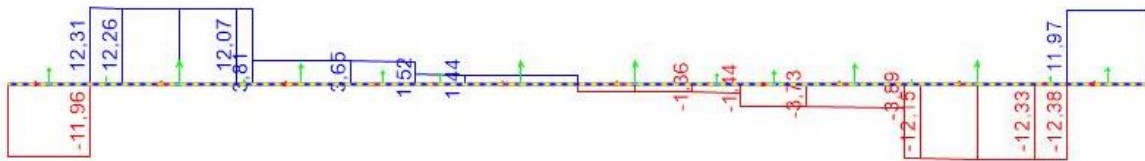
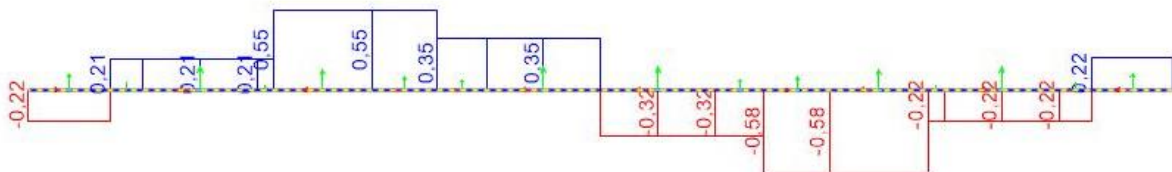
$$\begin{aligned} M_{d,y,max} &= 8,60 \text{ kNm} & N_{d,max} &= 37,39 \text{ kNm} & (\text{nateg}) \\ M_{d,z,max} &= 5,40 \text{ kNm} & V_{d,y,max} &= 6,58 \text{ kN} \\ M_{d,x,max} &= 0,58 \text{ kNm} & V_{d,z,max} &= 12,38 \text{ kN} \end{aligned}$$



Slika 6-14: Osna sila



Slika 6-15: Upogibni moment $M_{d,y}$

Slika 6-16: Upogibni moment $M_{d,z}$ Slika 6-17: Prečna sila $V_{d,z}$,Slika 6-18: Prečna sila $V_{d,y}$,Slika 6-19: Torzijski moment $M_{d,x}$

Izvedel sem naslednje kontrole: strig, kombinacija natega in upogiba, torzija.

Strig:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \rightarrow 0,179 \leq 1$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{z,max}}{v} = 0,031 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_{z,max} = 12,38 \text{ kN}$$

$$A = 594 \text{ cm}^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} = 0,173 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{mod} = 0,90$$

$$f_{v,k} = 0,25 \text{ kN/cm}^2$$

$$\gamma_m = 1,30$$

Kombinacija upogiba in natega:

$$\frac{\sigma_{t0,d}}{f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \rightarrow 0,3 \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \rightarrow 0,292 \leq 1$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d,max}}{W_y} = 0,321 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d,max}}{W_z} = 0,255 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_{y,d,max} = 8,6 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d,max} = 5,4 \text{ kNm}$$

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = 2673 \text{ cm}^3$$

$$W_z = \frac{h \cdot b^2}{6} = 2178 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{d,max}}{A} = 0,0708 \text{ kN/cm}^2$$

$$N_{d,max} = 37,39 \text{ kN}$$

$$A = b \cdot h_{neto} = 22 \cdot 24 = 528 \text{ cm}^2 \quad h_{neto} \text{ višina lege se zmanjša zaradi zaseka}$$

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{t,k}}{\gamma_m} = 0,969 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{t,0,k} = 1,4 \text{ kN/cm}^2 \quad \text{preglednica 6-1}$$

Torzija:

$$\frac{\tau_{tor,d}}{k_{shape} \cdot f_{v,d}} \leq 1 \rightarrow 0,11 \leq 1$$

$$\tau_{tor,d} = \frac{T_d}{W_t} = 0,023 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_d = M_x = 0,58 \text{ kNm}$$

$$W_t = \frac{\pi}{16} b^2 h = 2564,6 \text{ cm}^3$$

$$k_{shape} = \min\left(1 + 015 \cdot \frac{h}{b}; 2,0\right) = \min(1,18; 2,0) = 1,18$$

h je večja dimenzija, b pa manjša

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} = 0,173 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{mod} = 0,90$$

$$f_{v,k} = 0,25 \text{ kN/cm}^2$$

$$\gamma_m = 1,30$$

Kombinacija striga in torzije:

$$\frac{\tau_d(V_d)}{f_{v,d}} + \frac{\tau_{tor,d}}{k_{shape} \cdot f_{v,d}} \leq 1 \rightarrow 0,179 + 0,11 = 0,289 \leq 1$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \rightarrow 0,179 \leq 1$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{z,max}}{v} = 0,031 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_{z,max} = 12,38 \text{ kN}$$

$$A = 594 \text{ cm}^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} = 0,173 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{mod} = 0,90$$

$$f_{v,k} = 0,25 \text{ kN/cm}^2$$

$$\gamma_m = 1,30$$

$$\frac{\tau_{tor,d}}{k_{shape} \cdot f_{v,d}} \leq 1 \rightarrow 0,11 \leq 1$$

$$\tau_{tor,d} = \frac{T_d}{W_t} = 0,023 \text{ kN/cm}^2$$

$$T_d = M_x = 0,58 \text{ kNm}$$

$$W_t = \frac{\pi}{16} b^2 h = 2564,6 \text{ cm}^3$$

$$k_{shape} = \min\left(1 + 015 \cdot \frac{h}{b}; 2,0\right) = \min(1,18; 2,0) = 1,18$$

h je večja dimenzija, b pa manjša

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} = 0,173 \text{ kN/cm}^2$$

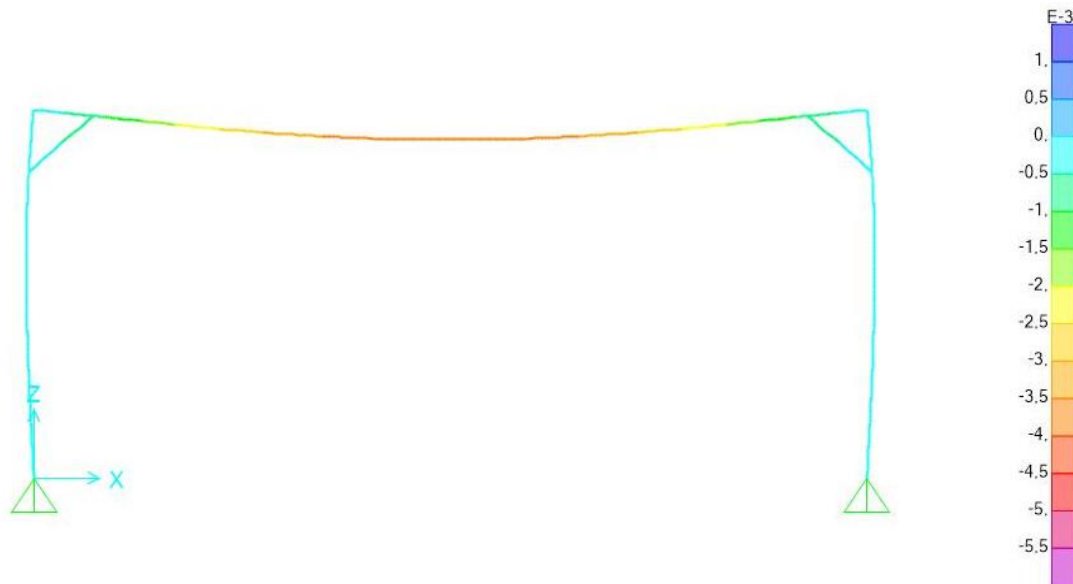
$$k_{mod} = 0,90$$

$$f_{v,k} = 0,25 \text{ kN/cm}^2$$

$$\gamma_m = 1,30$$

Kontrola povesa:

Kontrola povesa na največjem razponu prečke. Trenutne povese sem dobil preko računalniškega programa. Upoštevamo varnostne faktorje po MSU.



Slika 6-20: Poves daljše prečke

Poves, posledica stalne obtežbe- w_g :

$$w_{g,inst} = 0,039 \text{ cm}$$

$$w_{g,fin} = w_{g,inst} \cdot (1 + k_{def}) = 0,03 \cdot (1 + 0,80) = 0,0702 \text{ cm}$$

$$k_{def} = 0,80$$

Poves, posledica koristne obtežbe- w_q :

$$w_{q,inst} = 0,231 \text{ cm}$$

$$w_{q,fin} = w_{q,inst} \cdot (1 + k_{def} \cdot \psi_{2,1}) = 0,231 \cdot (1 + 0,80 \cdot 0,30) = 0,286 \text{ cm}$$

$$k_{def} = 0,80$$

$$\psi_{2,1} = 0,30$$

Poves, posledica obtežbe snega- w_s :

$$w_{q,s,inst} = 0,168 \text{ cm}$$

$$w_{q,s,fin} = w_{q,s,inst} \cdot (1 + k_{def} \cdot \psi_{2,s}) = 0,168 \cdot (1 + 0,80 \cdot 0,00) = 0,168 \text{ cm}$$

$$k_{def} = 0,80$$

$$\psi_{2,s} = 0,00$$

Poves, posledica obtežbe vetra- w_w :

$$w_{q,w,inst} = 0,0839 \text{ cm}$$

$$w_{q,w,fin} = w_{q,w,inst} \cdot (1 + k_{def} \cdot \psi_{2,w}) = 0,0839 \cdot (1 + 0,80 \cdot 0,00) = 0,0839 \text{ cm}$$

$$k_{def} = 0,80$$

$$\psi_{2,w} = 0,00$$

$$W_{inst} \leq \frac{a}{300} \rightarrow 0,522 \text{ cm} \leq \frac{560}{300} = 1,86 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} W_{inst} &= w_{g,inst} + w_{q,inst} + w_{q,s,inst} + w_{q,w,inst} = 0,039 + 0,231 + 0,168 + 0,084 \\ &= 0,522 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$a = 560 \text{ cm}$$

$$W_{fin} \leq \frac{a}{250} \rightarrow 0,61 \text{ cm} \leq \frac{560}{250} = 2,24 \text{ cm}$$

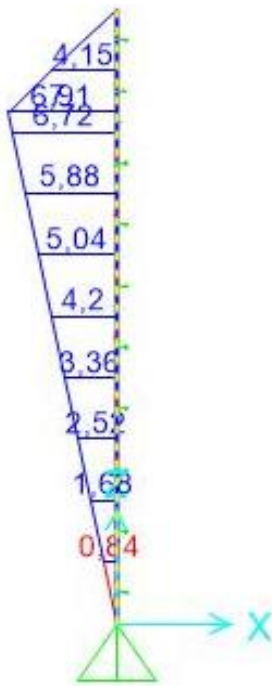
$$w_{fin} = w_{g,fin} + w_{q,fin} + w_{q,s,fin} + w_{q,w,fin} = 0,0702 + 0,286 + 0,168 + 0,084 = 0,61 \text{ cm}$$

6.4 Stebri

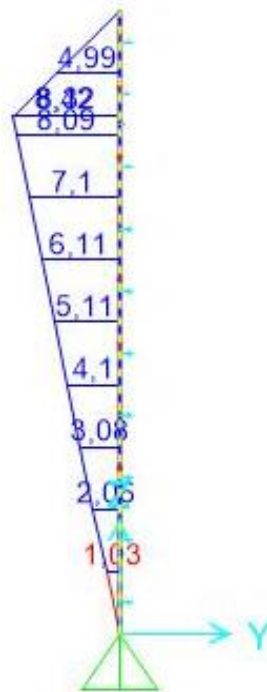
6.4.1 Zasnova

Konstrukcija je podprta s štirimi stebri, ki so visoki 2,30 m. Prečni prerez je kvadratne oblike, z dolžino stranice 22 cm. Za kontrolo dimenzij sem izbral najbolj obremenjen steber.

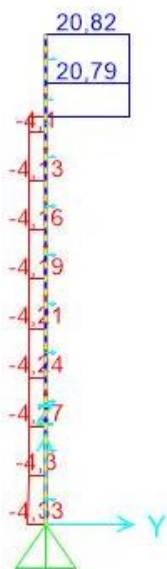
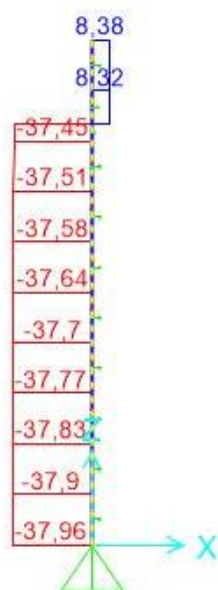
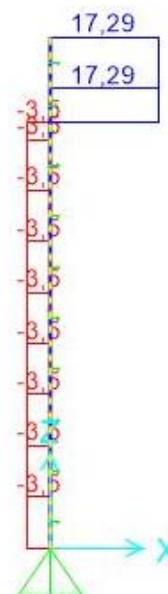
6.4.1.1 Obremenitve



Slika 6-22: Upogibni moment $M_{d,y}$



Slika 6-21: Upogibni moment $M_{d,z}$

Slika 6-25: Prečne sile
 $V_{d,y}$ Slika 6-24: Osne sile
 $N_{d,x}$ Slika 6-23: Prečne
sile $V_{d,z}$

Obremenitve:

$$M_{d,y,max} = 6,99 \text{ kNm}$$

$$N_{d,max} = 37,96 \text{ kN} \quad (\text{tlak})$$

$$M_{d,z,max} = 8,42 \text{ kNm}$$

$$V_{d,y,max} = 20,82 \text{ kN}$$

$$V_{d,z,max} = 17,29 \text{ kN}$$

Izvedel sem naslednje kontrole: kombinacija upogiba in tlaka, strig.

Upogib s tlačno silo:

-relativna vitkosti

$$\lambda_{rel,y} = \lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}} = \sqrt{\frac{2,1}{5,56}} = 0,61 < 0,3$$

$$f_{c,0,k} = 2,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,crit,y} = \frac{\pi^2 \cdot E_{0,05}}{\lambda_y^2} = 5,56 \text{ kN/cm}^2$$

$$E_{0,05} = 740 \text{ kN/cm}^2$$

$$\lambda_y = \lambda_z = \frac{l_{0,y}}{i_y} = 36,22$$

$$l_{0,y} = 230 \text{ cm}$$

$$i_y = i_z = \sqrt{\frac{I_y}{A}} = 6,35 \text{ cm}$$

$$I_y = I_z = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{22 \cdot 22^3}{12} = 19521,33 \text{ cm}^4$$
$$A = b \cdot h = 12 \cdot 18 = 484 \text{ cm}^2$$

Relativna vitkost okoli y, z prekorači vrednost 0,30, posledično upoštevamo uklon.

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \cdot f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \rightarrow 0,472 \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \rightarrow 0,427 \leq 1$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d,max}}{W_y} = 0,39 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{z,d,max}}{W_z} = 0,47 \text{ kN/cm}^2$$

$$M_{y,d,max} = 6,99 \text{ kNm}$$

$$M_{z,d,max} = 8,42 \text{ kNm}$$

$$W_y = W_z = \frac{b \cdot h^2}{6} = 1774,7 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{d,max}}{A} = 0,078 \text{ kN/cm}^2$$

$$A = 484 \text{ cm}^2$$

$$f_{m,d} = f_{m,y,d} = f_{m,z,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,k}}{\gamma_m} = 1,662 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{m,k} = 2,4 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} = 1,454 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 2,1 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_c = 0,70$$

$$k_{c,y} = k_{c,z} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}} = 1,04$$

$$k_y = k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,y} - 0,5) + \lambda_{rel,y}^2) = 0,70$$

$$\beta_c = 0,2$$

Strig:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \rightarrow 0,39 \leq 1$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{d,max}}{A} = 0,067 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_{d,max} = 21,8 \text{ kN}$$

$$A = 484 \text{ cm}^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} = 0,173 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{mod} = 0,90$$

$$f_{v,k} = 0,25 \text{ kN/cm}^2$$

$$\gamma_m = 1,30$$

Kontrola zaseka in kontaktnih napetosti na stiku prečke ter stebra-ročica:

$$B_{roč} = 16 \text{ cm}$$

$$B_{zasek} = 14 \text{ cm}$$

$$F_{c,90,d} = 29,11 \text{ kN}$$

$$f_{c,90,d} = 0,367 \text{ kN/cm}^2$$

$$\sigma_{c,90,d} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \rightarrow \frac{F_{c,90,d}}{a \cdot b_{zasek}} \leq k_{c,90} \cdot f_{c,90,d} \rightarrow a \geq \frac{F_{c,90,d}}{b_{\xi} \cdot k_{c,90} \cdot f_{c,90,d}} = 5,66 \text{ cm}$$

Izberem $a = 7 \text{ cm}$.

$$t \leq \frac{h}{4}, \text{ če je } 0^\circ < \gamma \leq 50^\circ$$

$$\gamma = 45^\circ$$

$$t = \sin \gamma \cdot a = 5 \text{ cm} \leq \frac{h_{\xi}}{4} = \frac{22}{4} = 5,5 \text{ cm}$$

Kontrola tlaka v sami ročici:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{d,max}}{A} = \frac{41,17}{480} = 0,086 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 1,454 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = f_{c,0,d}$$

$$A = b \cdot h = 30 \cdot 14 = 420 \text{ cm}^2$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m} = 1,454 \text{ kN/cm}^2$$

$$f_{c,0,k} = 2,1 \text{ kN/cm}^2$$

Kontrola striga v zaseku:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} \leq 1 \rightarrow 0,60 \leq 1$$

$$\tau_d = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{d,max}}{A} = 0,104 \text{ kN/cm}^2$$

$$V_{d,max} = 29,11 \text{ kN}$$

$$A = b \cdot h = 30 \cdot 14 = 420 \text{ cm}^2$$

$$f_{v,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{v,k}}{\gamma_m} = 0,173 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{mod} = 0,90$$

$$f_{v,k} = 0,25 \text{ kN/cm}^2$$

$$\gamma_m = 1,30$$

7 PLITVO TEMELJENJE

7.1 Zasnova

Točkovni temelj je armirano-betonski, trdnostnega razreda C25/30. Steber je členkasto povezan s temeljem. V temelj je bil vgrajen vijak, na katerega je bil "nasajen" steber.

Geometrija:

$D = 0,50 \text{ m}$ višina temelja

$B = 0,50 \text{ m}$ širina temelja

$L = 0,50 \text{ m}$ globina temelja

Lastnosti tal:

$\gamma_{zem} = 20,5 \text{ kN/m}^3$ specifična teža zemljine

$\rho' = 28,5^\circ$ strižni kot

$c' = 10 \text{ kPa}$ kohezija

7.2 Obtežba na najbolj obremenjeni temelj

Obtežbo na najbolj obremenjeni temelj sem dobil preko računalniškega programa SAP 2000.

Lastna teža temelja:

$$G_{temelja} = a^3 \cdot \gamma_{beton} = 0,50^3 \cdot 25 = 3,12 \text{ kN}$$

Vertikalna obtežba na temelju:

$$V_d = V_{temelj} + V_d^* = 38,75 + 4,22 = 42,18 \text{ kN}$$

$$V_{temelj} = 1,35 \cdot G_{temelja} = 4,22 \text{ kN}$$

$$V^* = 38,75 \text{ kN} \quad \text{obtežba, ki se pojavi pri najbolj obremenjenem stebru}$$

Horizontalna obtežba na temelju:

$$H_d = \sqrt{H_{dB}^2 + H_{dL}^2} = 5,55 \text{ kN}$$

$$H_{dB} = 3,50 \text{ kN}$$

$$H_{dL} = 4,32 \text{ kN}$$

Drenirani pogoji:

$$\frac{R}{A'} = c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot i_c + q' \cdot N_q \cdot s_q \cdot i_q + 0,5\gamma' \cdot B' \cdot N_\gamma \cdot s_\gamma \cdot i_\gamma \quad \text{R- odpornost tal} \quad (46)$$

$$\frac{R}{A'} = 495,22 \text{ kPa} \quad R_k = \frac{R}{A'} \cdot A' = 123 \text{ kN}$$

$$R_d = \frac{R_k}{1,4} = 88,43 \text{ kN} \geq 42,18 \text{ kN} \quad \text{POGOJ JE IZPOLNJEN}$$

$$N_q = e^{\pi \tan \varphi'} \tan^2 \left(45^\circ + \frac{\varphi'}{2} \right) = 15,54 \quad \text{faktorji nosilnosti} \quad (47)$$

$$N_c = (N_q - 1) / \tan \varphi' = 26,80 \quad (48)$$

$$N_\gamma = 2(N_q - 1) \tan \varphi' = 15,8 \quad (49)$$

$$s_q = 1 + \left(\frac{B'}{L'} \right) \sin \varphi' = 1,47 \quad \text{faktorji oblike} \quad (50)$$

$$s_c = \frac{s_q N_q - 1}{N_q - 1} = 1,50 \quad (51)$$

$$s_\gamma = 1 - 0,3 \left(\frac{B'}{L'} \right) = 0,70 \quad (52)$$

$$i_q = \left(1 - \frac{H}{V + A' \cdot c' / \tan \varphi'} \right)^m = 0,77 \quad \text{faktorji naklona obtežbe} \quad (53)$$

$$i_c = i_q - \frac{1 - i_q}{N_c \tan \varphi'} = 0,75 \quad (54)$$

$$i_\gamma = \left(1 - \frac{H}{V + A' \cdot c' / \tan \varphi'} \right)^{m+1} = 0,67 \quad (55)$$

$$m_B = \frac{2+B'/L'}{1+B'/L'} = 2 \quad m_L = \frac{2+L'/B'}{1+L'/B'} = 2 \quad (56)$$

$$m = m_L \cos^2 \theta + m_B \sin^2 \theta = 2 \quad (57)$$

$$b_q = (1 - \alpha \tan \rho')^2 = 1 \quad \text{faktorji zaradi naklona temeljne plošče} \quad (58)$$

$$b_c = b_q - \frac{1-b_q}{N_c \tan \rho'} = 1$$

(59)

$$b_y = b_q = 1$$

$$e_B = \frac{M_{dB}}{V_d} = 0 \text{ m}$$

$$B' = B - 2e_B = 0,50 \text{ m}$$

$$e_L = \frac{M_{dL}}{V_d} = 0 \text{ m}$$

$$L' = L - 2e_L = 0,50 \text{ m}$$

$$A' = B'L' = 0,25 \text{ m}^2$$

8 ZAKLJUČEK

V svoji diplomski nalogi sem izvedel statično analizo nosilne konstrukcije lesenega nadstreška, tlorisnih dimenzij 5,60 m x 6,40 m. Objekt sem preverjal po veljavnih evropskih standardih Evrokod.

Vplivi na konstrukcijske elemente, ki so bili zajeti v analizi so: stalna obtežba konstrukcijskih in nekonstrukcijskih elementov, koristna obtežba, obtežba snega ter obtežba vetra. Potresno obtežbo in temperaturne spremembe v izračunu nisem upošteval. Velikost posameznih obtežb sem določil v skladu s standardom Evrokod 1.

Kontrole lesenih elementov so bile izveden v skladu s standardom Evrokod 5. Kontrolo lesene elementov sem preverjal na kritičnih območjih. Izračune sem izvedel s pomočjo računalniškega programa SAP 2000, iz katerega sem dobil ustrezne notranje statične količine in začetne pomike.

Med izdelavo diplomske naloge sem izkusil, kako poteka projektiranje enostavnega objekta. Svoje znanje, ki sem ga pridobil tekom študija sem uporabil na dejanskem primeru. Naletel sem tudi na nekaj manjših inženirskih problemov, ki sem jih z mentorjevo pomočjo rešil.

V času pisanja diplomske naloge je bil objekt tudi zgrajen in služi svojemu namenu.

VIRI

Standardi:

SIST EN 1990 - Eurocod - Osnove projektiranja konstrukcij.

SIST EN 1991-1-1 – Eurocod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-1. del Splošni vplivi – Prostorske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb.

SIST EN 1991-1-3 – Eurocod 1 – Vplivi na konstrukcije – 1-3. del: Splošni vplivi – Obtežba snega.

SIST EN 1991-1-4 – Eurocod 1 – Vplivi na konstrukcije – 1-4. del: Splošni vplivi – Vplivi vetra.

SIST EN 1995-1-1 – Evrokod 5: Projektiranje lesenih konstrukcij – 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe.

SIST EN 1997-1-1 – Evrokod 7: Geotehnično projektiranje –1. del: Splošna pravila.