

Univerza
v Ljubljani
Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*

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



Operativno gradbeništvo (VS) -
modul Konstruktiva

Kandidat:

Andraž Savarin

Projektiranje lesene strehe

Diplomska naloga št.: 5

Mentor:

doc. dr. Jože Lopatič

Ljubljana, 22. 9. 2011

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Andraž Savarin izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Projektiranje lesene strehe«.

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

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

Ljubljana, 8. 9. 2011

Andraž Savarin

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 721:624.011.1(043.2)
Avtor: Andraž Savarin
Mentor: doc. dr. Jože Lopatič
Naslov: Projektiranje lesene strehe
Obseg in oprema: 75 str., 17 pregl., 51 sl., 49 en.
Ključne besede: lesena streha, lameliran lepljen les, ukrivljen nosilec, statična analiza, kontrole napetosti, lesni vijaki, dimenzioniranje spoja

Izveček

Diplomsko delo je osredotočeno na projektiranje lesene strehe športne dvorane, pri čemer je za glavno nosilno konstrukcijo uporabljen lameliran lepljen les. Ta material je pomemben na področju uporabe lesa v gradbeništvo, saj omogoča izgradnjo objektov z večjimi razponi s poljubno izbiro prečnega prereza nosilca. Predstavljeni so načini lepljenja lamel, mehanske lastnosti, oblike posameznih nosilcev in postopki dimenzioniranja ukrivljenih nosilcev s konstantno višino. Sledi opis konstrukcije dvorane, ki zajema njen prečni prerez, tloris in sestavo strehe. Na podlagi standardov so določeni ter izračunani vsi delujoči vplivi na konstrukcijo, kateri povzročajo notranje sile in pomike. Z uporabo programa SAP2000 je izvedena statična analiza primarnega nosilca in zavarovalne konstrukcije. V nadaljevanju sledi dimenzioniranje teh elementov s kontrolo posameznih napetosti. Na koncu je izvedeno dimenzioniranje spoja strešne lege in jeklene diagonale zavarovalne konstrukcije s primarnim nosilcem s pomočjo jeklenega veznega elementa.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 721:624.011.1(043.2)
Author: Andraž Savarin
Supervisor: Assist. Prof. Jože Lopatič Ph. D.
Title: Design of timber roof
Scope and tools: 75 p., 17 tab., 51 fig., 49 eq.
Keywords: timber roof, glued laminated timber, bent bearer, static analysis, control of tension, wood screws, desing of joints

Abstract

This diploma work is concentrated on design of a sports hall's timber roof, at which a glued laminated timber is used. This material is important in the field of wooden constructions because it enables us to build objects with greater expansions and free choice of bearer cross-section. There is a presentation of lamination gluing manners, their mechanical properties, shapes of individual bearers and processes of dimensioning curved bearers with constant height. Following is a description of hall construction that incorporates it's cross-section, ground plan and composition of the roof. All present influences on construction stability are calculated based on standardization. These influences cause internal forces and displacements. Static analysis of main beam and bracing structure is carried out with SAP2000 program. What follows is dimensioning of these elements with individual tension control. At the end dimensioning of roof joints, steel diagonal of bracing structure and primary bearer bound together with steel bindings is carried out.

ZAHVALA

Za nesebično pomoč in usmerjanje pri nastajanju diplomske naloge, se iskreno zahvaljujem mentorju doc. dr. Jožetu Lopatiču.

Zahvaljujem se staršem in sestri za vso moralno in finančno podporo med študijem. Hvala tudi vsem, ki so mi kakorkoli pomagali pri študiju ali diplomski nalogi.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
2	KONSTRUKCIJE IZ LAMELIRANEGA LEPLJENEGA LESA	2
2.1	Način lepljenja lameliranega lepljenega lesa	3
2.2	Mehanske lastnosti lameliranega lepljenega lesa	3
2.3	Dimenzioniranje lameliranih lepljenih lesenih elementov konstrukcije	5
2.4	Faktorji , ki jih uporabimo pri dimenzioniranju lameliranega lepljenega lesa	10
3	OPIS KONSTRUKCIJE	12
4	VPLIVI NA KONSTRUKCIJO	14
4.1	Stalni vplivi (G)	14
4.1.1	Lastna teža konstrukcije	14
4.2	Spremenljivi vplivi (Q)	15
4.2.1	Koristna obtežba	15
4.2.2	Obtežba snega	16
4.2.3	Obtežba vetra	19
4.2.3.1	Za ukrivljeno streho	22
4.2.3.2	Za steni dvorane	23
4.3	Nezgodni vpliv (A)	26
4.3.1	Potresna obtežba	26
5	STATIČNA ANALIZA PRIMARNEGA NOSILCA IN ZAVAROVALNE KONSTRUKCIJE	31
5.1	Račun primarnega nosilca	31
5.1.1	Zasnova	31
5.1.2	Obtežba primarnega nosilca	33
5.1.3	Postavitev obtežbe na konstrukcijo v programu SAP2000	33
5.1.4	Obremenitev primarnega nosilca	35
5.1.5	Kombinacije vplivov	39
5.2	Zavarovalna konstrukcija	46
5.2.1	Zasnova	46
5.2.2	Obtežba, ki deluje na zavarovalno konstrukcijo	47
5.2.2.1	Izbočna sila	47
5.2.3	Postavitve obtežbe na konstrukcijo v programu SAP2000	48
5.2.4	Razpredelnici obremenitev jeklenih palic in strešnih leg	49
5.2.5	Kombinacije vplivov	50
6	DIMENZIONIRANJE	52
6.1	Primarni nosilec	52
6.1.1	Kontrole napetosti	55

6.1.2	Kontrola pomikov	58
6.2	Zavarovalna konstrukcija	58
6.2.1	Dimenzioniranje jeklenih palic	58
6.2.2	Kontrola pomikov	59
6.3	Strešne lege	59
6.4	Priključek strešnih leg in jeklene diagonale na primarni nosilec	68
7	ZAKLJUČEK	72
VIRI		74

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 2.1: Homogen lepljen les - karakteristične trdnosti in deformacijske lastnosti (N/mm^2) ter gostote (kg/m^3)	4
Preglednica 2.2: Kombiniran lepljen les - karakteristične trdnosti in deformacijske lastnosti (N/mm^2) ter gostote (kg/m^3)	5
Preglednica 2.3: Delna varnostna faktorja γ_M za lastnost in odpornost materiala	10
Preglednica 2.4: Vrednosti modifikacijskega faktorja za LLL	10
Preglednica 2.5: Vrednosti k_{def} za LLL	11
Preglednica 4.1: Kategorije streh.....	15
Preglednica 4.2: Priporočena koristna obtežba strehe kategorije H	15
Preglednica 4.3: Priporočena vrednost koeficientov zunanjega tlaka $c_{pe,10}$ za navpične stene stavb s pravokotnim tlorisom	23
Preglednica 4.4: Sila vetra v odvisnosti od višine	25
Preglednica 4.5: Vrednost parametrov, ki opisujejo priporočen elastični spekter odziva tipa 1	27
Preglednica 5.1: Prikaz koordinat vozlišč (slika 5.2) nosilca pridobljenih s programom	32
Preglednica 5.2: Karakteristične vrednosti obremenitev dobljene s programom SAP2000.....	38
Preglednica 5.3: Ovojnice osnih sil za posamezno kombinacijo v kN	40
Preglednica 5.4: Ovojnice prečnih sil za posamezno kombinacijo v kN	41
Preglednica 5.5: Ovojnice upogibnih momentov za posamezno kombinacijo v kNm	42
Preglednica 5.6: Razpredelnici obremenitev jeklenih palic in strešnih leg	49
Preglednica 5.7: Projektne vrednosti osnih sil za kombinaciji MSN v kN	50

KAZALO SLIK

Slika 2.1: Primer horizontalnega in vertikalnega lepljenja (Porteous, Kermani, 2007)	3
Slika 2.2: Primer homogenega in kombiniranega LLL (Porteous, Kermani, 2007).....	3
Slika 2.3: Tipične oblike nosilcev iz lameliranega lepljenega lesa (SIST EN 1995-1-1).....	6
Slika 2.4: Pomen oznak, ki se nanašajo na temensko območje (SIST EN 1995-1-1)	6
Slika 3.1: Sestava krovne konstrukcije	12
Slika 3.2: Prečni prerez dvorane	13
Slika 3.3: Tloris dvorane.....	13
Slika 4.1: Priporočena vrednost oblikovnega koeficienta obtežbe snega za cilindrične strehe (SIST EN 1991-1-3).....	17
Slika 4.2: Oblikovni koeficienti obtežbe snega za cilindrične strehe (SIST EN 1991-1-3)	17
Slika 4.3: Oblikovni koeficient obtežbe snega za podano streho	18
Slika 4.4: Tlak vetra na ploskve (SIST EN 1991-1-4).....	21
Slika 4.5: Priporočene vrednosti koeficientov zunanjega tlaka $c_{pe,10}$ za ukrivljene strehe nad pravokotnim tlorisom (SIST EN 1991-1-4)	22
Slika 4.6: Primer delovanja obtežbe vetra na streho (SIST EN 1991-1-4).....	22
Slika 4.7: Razdelitev sten na področja	23
Slika 4.8: Projektni pospešek tal a_g	27
Slika 4.9: Dobljeni spekter odziva	28
Slika 5.1: Prečni prerez objekta, osnova za dimenzioniranje	31
Slika 5.2: Prikaz vozlišč.....	32
Slika 5.3: Prikaz postavitve stalne obtežbe	33
Slika 5.4: Prikaz postavitve koristne obtežbe	33
Slika 5.5: Prikaz postavitve obtežbe nenakopičenega snega	34
Slika 5.6: Prikaz postavitve obtežbe nakopičenega snega	34
Slika 5.7: Prikaz postavitve obtežbe vetra	34
Slika 5.8: Prikaz notranjih sil zaradi stalne obtežbe	35
Slika 5.9: Prikaz notranjih sil zaradi koristne obtežbe.....	35
Slika 5.10: Prikaz notranjih sil zaradi obtežbe nenakopičenega snega.....	36
Slika 5.11: Prikaz notranjih sil zaradi obtežbe nakopičenega snega.....	36
Slika 5.12: Prikaz notranjih sil zaradi obtežbe vetra.....	37
Slika 5.13: Prikaz ovojnic notranjih sil.....	43
Slika 5.14: Deformirana konstrukcija in pomiki na vrhu za obtežno kombinacijo $MSU1$	44
Slika 5.15: Deformirana konstrukcija in pomiki na vrhu za obtežno kombinacijo $MSU2$	44
Slika 5.16: Deformirana konstrukcija in pomiki na vrhu za obtežno kombinacijo MSU_{fin}	45
Slika 5.17: Tlorisni pogled zavarovalne konstrukcije.....	46
Slika 5.18: Zavarovalna konstrukcija.....	46
Slika 5.19: Prikaz postavitve izbočne sile.....	48
Slika 5.20: Prikaz postavitve obtežbe vetra	48
Slika 5.21: Prikaz postavitve potresne obtežbe.....	49
Slika 5.22: Deformirana konstrukcija in pomiki na vrhu za obtežno kombinacijo $MSU2$	51
Slika 6.1: Postavitev strešnih leg	59

Slika 6.2: Prikaz delovanja obtežb na strešni legi 2 in 13	61
Slika 6.3: Računski model strešnih leg.....	62
Slika 6.4: Prikaz prečne sile v z smeri in upogibnega momenta okoli y osi zaradi lastne teže	62
Slika 6.5: Prikaz prečne sile v y smeri in upogibnega momenta okoli z osi zaradi lastne teže	63
Slika 6.6: Prikaz prečne sile v z smeri in upogibnega momenta okoli y osi zaradi obtežbe vetra	63
Slika 6.7: Prikaz prečne sile v z smeri in upogibnega momenta okoli y osi zaradi obtežbe snega.....	63
Slika 6.8: Prikaz prečne sile v y smeri in upogibnega momenta okoli z osi zaradi obtežbe snega.....	64
Slika 6.9: Prikaz prečne sile v z smeri in upogibnega momenta okoli y osi zaradi lastne teže	64
Slika 6.10: Prikaz prečne sile in upogibnega momenta zaradi obtežbe vetra.....	64
Slika 6.11: Prikaz prečne sile in upogibnega momenta zaradi obtežbe snega	65
Slika 6.12: Prikaz spoja	68
Slika 6.13: Prikaz delovanja sil na spoj.....	69

1 UVOD

Les je eden izmed najstarejših gradbenih materialov in ima tudi v moderni arhitekturi ter gradbeništvu pomembno vlogo. Lesene konstrukcije lahko definiramo kot vse vrste lesenih konstrukcij iz masivnega in lameliranega lesa ter lesenih proizvodov, pri katerih je spajanje posameznih konstrukcijskih elementov izvedeno z veznimi sredstvi (Leseni lepljeni lamelirani konstrukcijski elementi, 2011).

Lameliran lepljen les lahko zaradi svojih izjemnih tehničnih zmožnosti še dodatno vpliva na vsestransko uporabo lesa, saj ima pri majhni lastni teži izredno visoko trdnost.

V svoji diplomski nalogi bom obravnaval strešno konstrukcijo, pri kateri so glavni nosilni elementi ukrivljeni nosilci iz lameliranega lepljenega lesa.

Otto Hetzer je leta 1906 pripravil patent, ki je pomenil začetek lameliranega lepljenega lesa, zgodnja primera take uporabe sta strešni konstrukciji železniških postaj v švedskih mestih Malmo (1922) in Stockolm (1925), ki sta še vedno v funkciji (Lopatič, 2011).

2 KONSTRUKCIJE IZ LAMELIRANEGA LEPLJENEGA LESA

Lameliran lepljen les (LLL) je sodobno kompozitno gradivo, ki ga dobimo z medsebojnim lepljenjem manjših kosov lesa oziroma lamel v celoto. Lamele so ploskovno zlepljene z lepili za konstrukcijsko uporabo, ki imajo visoko trdnost in trajnost, so odporna proti vodi, povišani vlažnosti, temperaturi ter biološkim dejavnikom. Tako sestavljeno gradivo ima bolj enakomerne in boljše mehanske lastnosti kot navaden les. Vlakna potekajo v smeri dolžine elementa in so v vseh lamelah enako orientirana.

Lepljen lameliran les se uporablja za izdelavo tako imenovanih linijskih elementov, kjer ena dimenzija elementa prevladuje nad ostalima dvema.

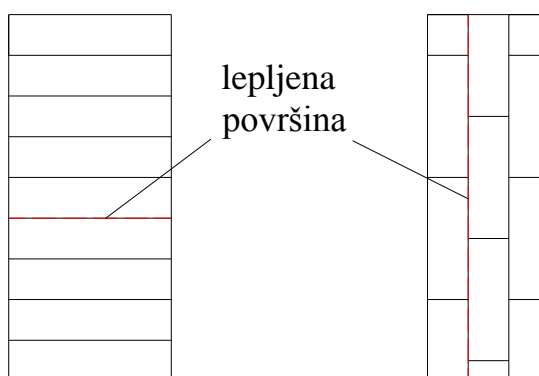
Lepljeni konstrukcijski elementi se lahko uporabljajo kot enostavni ali sestavljeni nosilci, stebri, loki, okvirji, različna vešala, palični nosilci in paneli. Poznamo pa tudi različne netipične izvedbe lesenih lameliranih lepljenih nosilcev, pri katerih lahko lepljen les kombiniramo z masivnim lesom.

Prednosti laminiranega lepljenega lesa so v tem, da je možna izdelava zahtevnejših konstrukcij, ki so lahko različnih velikosti, dolžin in oblik. Izboljšane pa so tudi lastnosti glede trdnosti in togosti, saj lahko kombiniramo kvalitetnejši les in hkrati dosežemo večjo natančnost izdelave z zmanjšanim odstopanjem geometrije. Zaradi tega je možna premostitev velikih razponov, ki segajo tudi do 100 m, kar je zelo pomembno tudi pri strešnih konstrukcijah.

Poleg prednosti ima lameliran les tudi slabosti, ki so predvsem kemične narave. Zaradi tega moramo pred samim postopkom izdelave les zaščititi pred različnimi zunanji vplivi in škodljivimi organizmi. Pri tem uporabljamo razne snovi, ki so lahko zdravju škodljive, med katere sodijo: fungicidi, insekticidi, zaključni premazi proti vlagi in požaru ter sintetična lepila. Ta so izdelana na osnovi fenol - rezorcinskih in melaminskih smol, za njihovo sintezo pa se uporablja formaldehid, ki je kancerogen (Lopatič, 2011).

2.1 Način lepljenja lameliranega lepljenega lesa

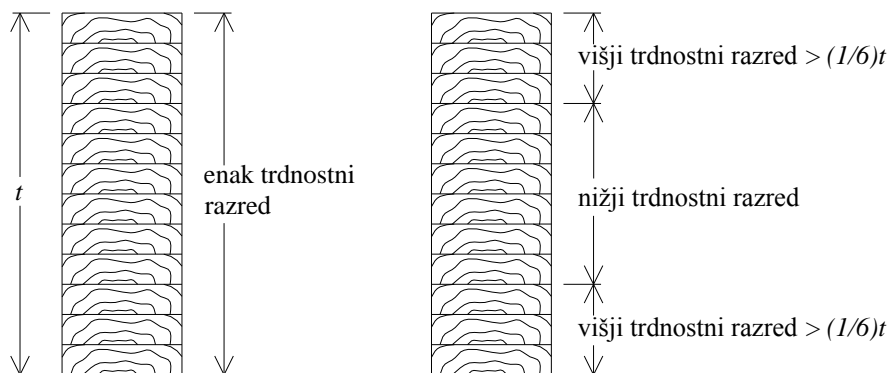
Poznamo horizontalno in vertikalno lameliran lepljen les, ki se razlikuje v načinu lepljenja posameznih lamel. Pri horizontalnem LLL lepimo lamele v ravnini pravokotno na celotno dolžino prečnega prereza, medtem ko imamo pri vertikalno LLL lepljene ploskve le na določenih delih prečnega prereza (Porteous, Kermani, 2007).



Slika 2.1: Primer horizontalnega in vertikalnega lepljenja (Porteous, Kermani, 2007)

2.2 Mehanske lastnosti lameliranega lepljenega lesa

Klasifikacijski sistem trdnostnih razredov temelji na horizontalnem (homogenem in kombiniranem) LLL z vsaj štirimi lamelami. Pri homogenem lesu so vse lamele iz iste vrste lesa oziroma vrstnih kombinacij istega trdnostnega razreda. Kombinirani LLL vsebuje notranje in zunanje lamele različnega trdnostnega razreda, torej različne vrste in kakovosti lesa. Zunanje lamele sodijo v višji trdnostni razred (z boljšo kvaliteto lesa) in morajo biti debele vsaj $1/6$ višine prereza ($\geq t/6$) oziroma dve debelini lamele ($\geq 2d$) (Porteous, Kermani, 2007).



Slika 2.2: Primer homogenega in kombiniranega LLL (Porteous, Kermani, 2007).

EC5 pri LLL predvideva štiri trdnostne razrede: GL 24, GL 28, GL 32 in GL 36. V resnici imamo skupaj osem trdnostnih razredov, saj je za lepljenje elementov dovoljena tudi uporaba lesa dveh različnih kvalitiet. Trdnostni razredi homogeno lepljenega lesa so označeni s črko h (npr. GL 24h), medtem ko kombinacijo dveh vrst lesa označujemo s črko c (npr. GL 24c) (Lopatič, 2011).

V standardu EC5 se pri LLL pojavijo sledeči indeksi:

- G lastnost LLL,
 l lastnost lesa lamele (osnovnega lesa) in
 j lastnost zobčastega spoja za podaljševanje lamel.

Preglednici 2.1 in 2.2 podajata karakteristične vrednosti trdnosti, deformacijskih lastnosti in gostote (povzetih po SIST EN 1194:1999), ki jih lahko uporabimo pri analizi konstrukcij in dimenzioniranju.

Preglednica 2.1: Homogen lepljen les - karakteristične trdnosti in deformacijske lastnosti (N/mm^2) ter gostote (kg/m^3)

Trdnostni razred		Homogen lepljen les			
		GL 24h	GL 28h	GL 32h	GL 36h
Upogibna trdnost	$f_{m,g,k}$	24,0	28,0	32,0	36,0
Natezna trdnost	$f_{t,0,g,k}$	16,5	19,5	22,5	26,0
	$f_{t,90,g,k}$	0,40	0,45	0,50	0,60
Tlačna trdnost	$f_{c,0,g,k}$	24,0	26,5	29,0	31,0
	$f_{c,90,g,k}$	2,7	3,0	3,3	3,6
Strižna trdnost	$f_{v,g,k}$	2,7	3,2	3,8	4,3
Modul elastičnosti	$E_{0,g,mean}$	11600	12600	13700	14700
	$E_{0,g,05}$	9400	10200	11100	11900
	$E_{90,g,mean}$	390	420	460	490
Strižni modul	$G_{f,mean}$	720	780	850	910
Gostota	$\rho_{g,k}$	380	410	430	450

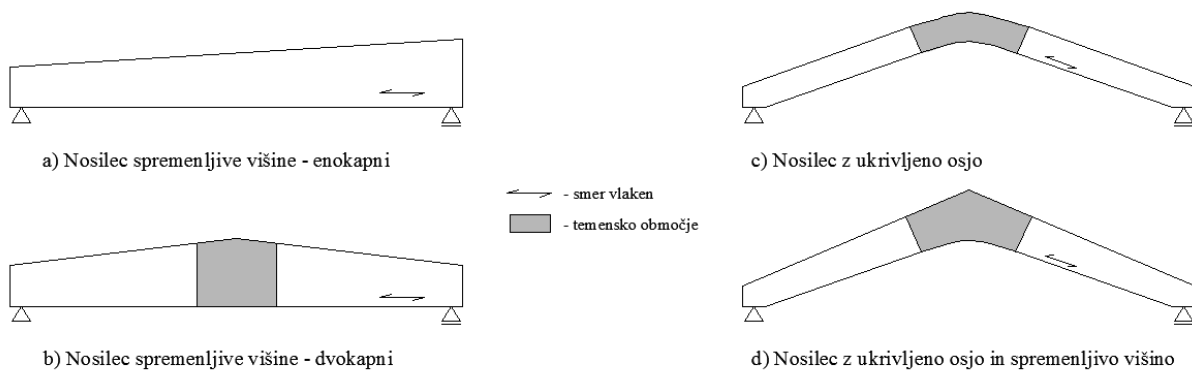
Preglednica 2.2: Kombiniran lepljen les - karakteristične trdnosti in deformacijske lastnosti (N/mm^2) ter gostote (kg/m^3)

Trdnostni razred		Kombiniran lepljen les			
		GL 24c	GL 28c	GL 32c	GL 36c
Upogibna trdnost	$f_{m,g,k}$	24,0	28,0	32,0	36,0
Natezna trdnost	$f_{t,0,g,k}$	14,0	16,5	19,5	22,5
	$f_{t,90,g,k}$	0,35	0,40	0,45	0,50
Tlačna trdnost	$f_{c,0,g,k}$	21,0	24,0	26,5	29,0
	$f_{t,90,g,k}$	2,4	2,7	3,0	3,3
Strižna trdnost	$f_{v,g,k}$	2,2	2,7	3,2	3,8
Modul elastičnosti	$E_{0,g,mean}$	11600	12600	13700	14700
	$E_{0,g,05}$	9400	10200	11100	11900
	$E_{90,g,mean}$	320	390	420	460
Strižni modul	$G_{f,mean}$	590	720	780	850
Gostota	$\rho_{g,k}$	350	380	410	430

2.3 Dimenzioniranje lameliranih lepljenih lesenih elementov konstrukcije

Po standardu EN 386 za lamelirane lepljene lesene elemente, ki so izdelani tako, da izpolnjujejo bistvene zahteve za uporabo in minimalne zahteve za proizvodnjo, lahko kljub temu da so zlepljeni iz večjega števila lamel, pri dimenzioniranju (dokazovanju mejnih stanj nosilnosti) postopamo enako kot pri dimenzioniranju nosilnih elementov iz masivnega lesa. Pozorni pa moramo biti predvsem na izbiro posameznih vrednosti parametrov, ki so odvisni od lastnosti materiala.

Ker imamo pri lameliranih lepljenih lesenih elementih svobodno izbiro pri oblikovanju geometrije, se v praksi pogosto ukvarjamo z elementi s spremenljivo višino, ukrivljeno osjo ali pa kombinacijo obojega (slika 2.3). Pri takih elementih dobimo območja, kjer razporeditev vzdolžnih normalnih napetosti σ_0 po prečnem prerezu ni linearna. V smeri pravokotno na vlakna se lahko pojavijo tudi prečne normalne napetosti σ_{90} , ki so pri določenih obremenitvah elementa lahko tudi natezne, kar je lahko zelo problematično, saj ima les v tej smeri majhno natezno trdnost. Ko imamo opravka z nosilci s spremenljivo višino, lahko v bližini nagnjenega roba dobimo razmeroma velike strižne napetosti τ (Lopatič, 2011).

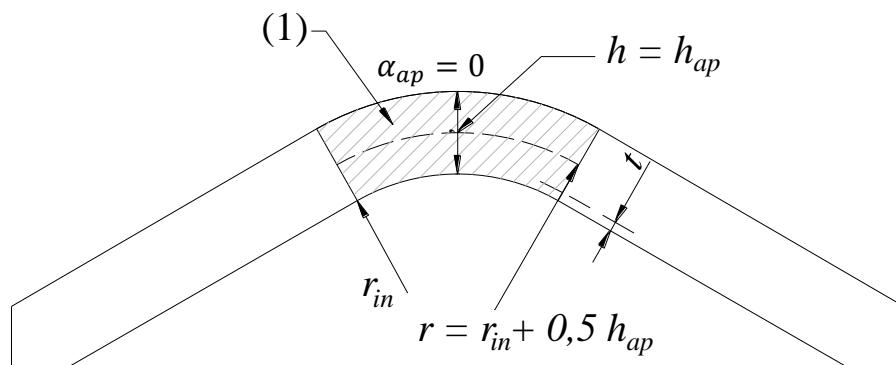


Slika 2.3: Tipične oblike nosilcev iz lameliranega lepljenega lesa (SIST EN 1995-1-1)

Pri dimenzioniranju takih vrst nosilcev se v nalogi omejimo na elemente s pravokotnim prečnim prerezom, ki se v večini uporabljajo za lepljene lamelirane nosilce. Poleg tega pa tudi standard EC5 podaja izraze le za nosilce s takim prečnim prerezom.

Zahteve EC5 za ukrivljene nosilce s konstantno višino

Pri nosilcih teh oblik je predvideno, da so izdelani iz lepljenega lameliranega lesa, kjer je potrebno posebej obravnavati temensko območje, pri katerem je $\alpha_{ap} = 0$, ki je označeno na sliki 2.4. V temenskem območju je potrebno preveriti vzdolžne normalne napetosti in prečne normalne napetosti, ko zaradi geometrije in obtežbe elementov v prečni smeri dobimo natezne napetosti. Za te nosilce veljajo izrazi za enostavno določitev napetosti in kontrolo le-teh.



Legenda: (1) – temensko območje (pri ukrivljenem nosilcu je to celotno ukrivljeno območje)

Slika 2.4: Pomen oznak, ki se nanašajo na temensko območje (SIST EN 1995-1-1)

- **V temenskem območju morajo vzdolžne upogibne napetosti izpolniti naslednji pogoj:**

$$\sigma_{m,d} \leq k_r \cdot f_{m,d}. \quad (2.1)$$

Pri tem je $\sigma_{m,d}$ upogibna napetost v temenske območju:

$$\sigma_{m,d} = k_l \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2}, \quad (2.2)$$

izračunana z izrazi:

$$k_l = k_1 + k_2 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_3 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2 + k_4 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^3, \quad (2.3)$$

kjer so:

$$k_1 = 1 + 1,4 \cdot \tan \alpha_{ap} + 5,4 \cdot \tan^2 \alpha_{ap}, \quad (2.3a)$$

$$k_2 = 0,35 - 8 \cdot \tan \alpha_{ap}, \quad (2.3b)$$

$$k_3 = 0,6 + 8,3 \cdot \tan \alpha_{ap} - 7,8 \cdot \tan^2 \alpha_{ap}, \quad (2.3c)$$

$$k_4 = 6 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} \text{ in} \quad (2.3d)$$

$$r = r_{in} + 0,5 \cdot h_{ap}. \quad (2.4)$$

Za moj primer, kjer je $\alpha_{ap} = 0$ sledi:

$$k_1 = 1, k_2 = 0,35, k_3 = 0,6 \text{ in } k_4 = 0.$$

Tako pridem do naslednjega poenostavljenega izraza:

$$k_l = 1 + 0,35 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + 0,6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2.$$

Kjer so:

$M_{ap,d}$ projektni upogibni moment v temenu,

h_{ap} višina nosilca v temenu (slika 2.4),

b širina nosilca in

r_{in} notranji radij ukrivljenosti področja (slika 2.4).

Pri tem je k_r koeficient s katerim zajamemo vpliv predhodnih napetosti, zaradi krivljenja lamel v postopku oblikovanja nosilca na globalno upogibno trdnost lameliranega elementa in kateri znaša za ravne dvokapne nosilce $k_r = 1,0$. Za ukrivljene nosilce in dvokapne nosilce z ukrivljenim spodnjim robom se k_r določi kot:

$$k_r = \min \begin{cases} 1 & \text{pri } \frac{r_{in}}{t} \geq 240 \\ 0,67 + 0,001 \cdot \frac{r_{in}}{t} & \text{pri } \frac{r_{in}}{t} < 240, \end{cases} \quad (2.5)$$

kjer je:

t debelina lamele.

- **Ko imamo v temenskem območju v prečni smeri natezne napetosti je potrebno izpolniti naslednji pogoj:**

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}. \quad (2.6)$$

Pri tem je $\sigma_{t,90,d}$ največja prečna natezna napetost v temenskem območju:

$$\sigma_{t,90,d} = k_p \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2}, \quad (2.7)$$

ki se izračuna z izrazi:

$$k_p = k_5 + k_6 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) + k_7 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right)^2, \quad (2.8)$$

kjer so:

$$k_5 = 0,2 \cdot \tan \alpha_{ap}, \quad (2.8a)$$

$$k_6 = 0,25 - 1,5 \cdot \tan \alpha_{ap} + 2,6 \cdot \tan^2 \alpha_{ap} \text{ in} \quad (2.8b)$$

$$k_7 = 2,1 \cdot \tan \alpha_{ap} - 4 \cdot \tan^2 \alpha_{ap}. \quad (2.8c)$$

Za moj primer, kjer je $\alpha_{ap} = 0$ sledi:

$$k_5 = 0, k_6 = 0,25 \text{ in } k_7 = 0.$$

Tako dobim poenostavljen končni izraz za prečno natezno napetost v temenskem območju:

$$\sigma_{t,90,d} = 0,25 \cdot \left(\frac{h_{ap}}{r}\right) \cdot \frac{6 \cdot M_{ap,d}}{b \cdot h_{ap}^2}.$$

Kjer so:

- $M_{ap,d}$ projektni upogibni moment v temenu,
 h_{ap} višina nosilca v temenu (glej slika 2.4),
 b širina nosilca in
 $f_{c,90,d}$ projektna natezna trdnost pravokotno na vlakna.

k_{dis} je koeficient, s katerim se upošteva razporeditev napetosti v temenskem območju, določen kot:

$k_{dis} = 1,4 \rightarrow$ pri ukrivljenem nosilcu s konstantno višino.

k_{vol} je koeficient volumna določen kot:

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2}, \quad (2.9)$$

kjer sta:

- $V_0 = 0,001 \text{ m}^3$ referenčni volumen in
 V obremenjeni volumen temenskega območja v m^3 , vendar ne več od $2/3 \cdot V_b$, kjer je V_b volumen celotnega nosilca.

V območju, kjer se pojavi kombinacija strižnih in nateznih napetosti prečno na vlakna, mora biti izpolnjen še dodatni pogoj:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}} \leq 1, \quad (2.10)$$

kjer so:

- τ_d projektna strižna napetost,
 $f_{v,d}$ projektna strižna trdnost in
 $\sigma_{t,90,d}$ projektna natezna napetost pravokotno na vlakna.

Projektno strižno napetost dobimo z naslednjim izrazom:

$$\tau_{v,d} = \frac{3 \cdot V_{ed}}{2 \cdot b \cdot h_{ap}}, \quad (2.11)$$

kjer so:

V_{Ed} projektna prečna sila,

b širina nosilca in

h_{ap} višina nosilca.

2.4 Faktorji , ki jih uporabimo pri dimenzioniranju lameliranega lepljenega lesa

- **Delni varnostni faktor za lastnosti materiala γ_M**

Preglednica 2.3: Delna varnostna faktorja γ_M za lastnost in odpornost materiala

Osnovne kombinacije:	
Lepljeni lamelirani les	1,25
Nezgodne kombinacije:	1,0

- **Modifikacijski faktor k_{mod}**

Je korekcijski faktor za trdnost, ki se uporablja za različne razrede uporabe in trajanja obtežbe. Zajame vpliv vlažnosti in trajnih visokih nivojev napetosti na trdnost lesa. Uporabiti je potrebno vrednosti modifikacijskega faktorja podanega v preglednici 2.4, ki velja za LLL.

Če je obtežna kombinacija sestavljena iz vplivov, ki pripadajo različnim razredom trajanja obtežbe, je treba uporabiti vrednost k_{mod} za vpliv z najkrajšim trajanjem.

Preglednica 2.4: Vrednosti modifikacijskega faktorja za LLL

Material	Standard	Razred uporabe	Razred trajanja obtežbe				
			Stalni vplivi	Dolgotrajni vpliv	Srednje trajni vpliv	Kratkotrajni vpliv	Trenutni vpliv
Lepljeni lamelirani les	EN 1 4080	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

- **Faktor višine prereza k_h**

Za lepljeni lamelirani les s pravokotnim prečnim prerezom znaša referenčna višina pri upogibu ali širina pri nategu 600 mm . Za višine upogibnih ali širine nateznih elementov, ki so manjše od 600 mm , se lahko karakteristične vrednosti $f_{m,k}$ in $f_{t,0,k}$ povečajo s faktorjem k_h , ki je določen z izrazom:

$$k_h = \min \left\{ \begin{array}{l} \left(\frac{600}{h}\right)^{0,1} \\ 1,1 \end{array} \right. . \quad (2.12)$$

- **Deformacijski faktor k_{def}**

Deformacijski faktor k_{def} je koeficient lezenja lesa za končni čas ($t \rightarrow \infty$). Za LLL je potrebno upoštevati vrednosti v preglednici 2.5.

Preglednica 2.5: Vrednosti k_{def} za LLL

Material	Standard	Razred uporabnosti		
		1	2	3
Lepljen lameliran les	EN 14374, EN 14279	0,60	0,80	2,0

- **$k_{c,90}$**

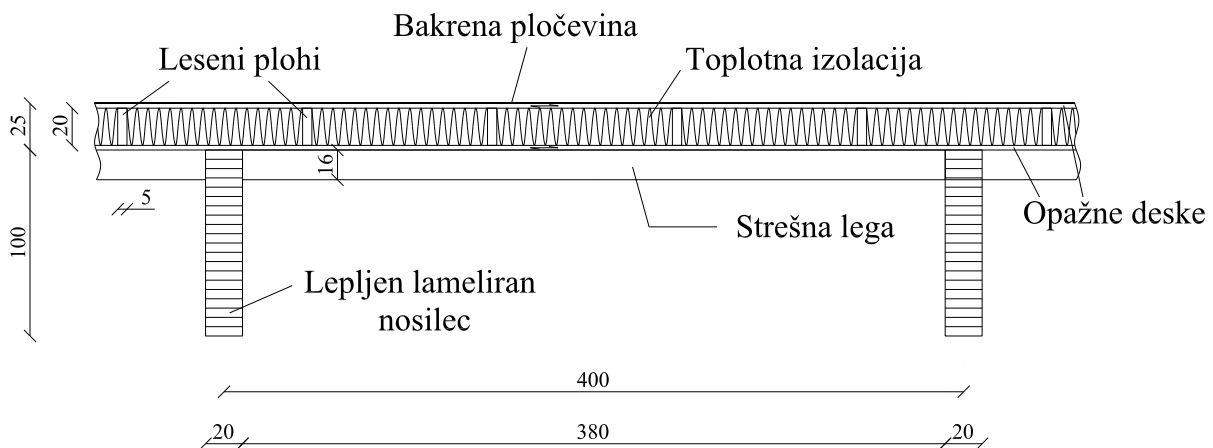
$k_{c,90}$ je faktor s katerim v računu upoštevamo razporeditev obtežbe, možnost cepitve in stopnjo tlačne deformacije, pri tem se vrednost $k_{c,90}$ praviloma prevzame kot 1,0, razen v posebnih primerih, ki so navedeni v EC5.

3 OPIS KONSTRUKCIJE

Športna dvorana prekriva tri košarkarska igrišča dimenzij 28 x 15 metrov, nad vsakim igriščem pa mora biti zagotovljena minimalna višina 6 metrov, kar omogoča nemoteno igranje. Predvidene dimenzije dvorane so 56 x 44 x 12 metrov.

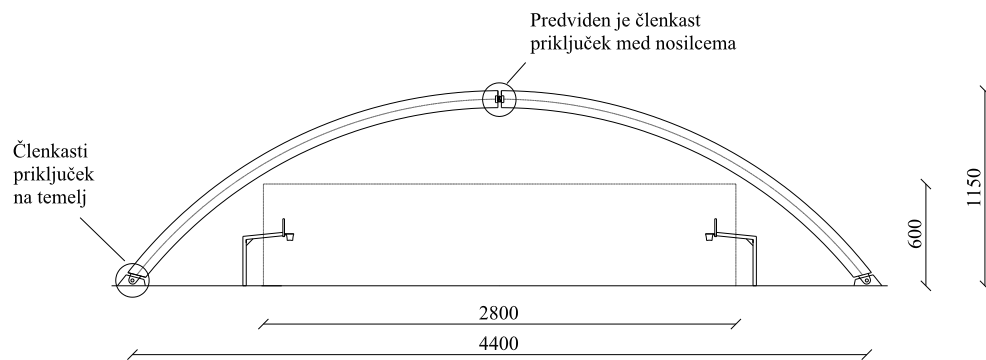
Glavno nosilno konstrukcijo, ki je hkrati tudi strešna konstrukcija dvorane, predstavljajo lamelirani lepljeni nosilci, s katerimi premoščamo krajšo stranico dvorane. Konstrukcija je v eni osi sestavljena iz dveh enakih nosilcev, ki sta med seboj členkasto priključena. Nosilci so na osni razdalji 4 m in imajo konstantno višino 1 m ter širino 20 cm. Nosilci so členkasto priključeni na temelj.

Krovno konstrukcijo predvidoma sestavljajo: bakrena pločevina, toplotna izolacija, opaž, leseni plohi in strešne lege. Strešne lege so pritrjene na primarni nosilec s pomočjo jeklenega veznega elementa in so na medsebojni razdalji 1 m. Navpična obtežba se preko primarnih nosilcev prenaša na temeljna tla (vaja 4: LK II, 2009/2010).

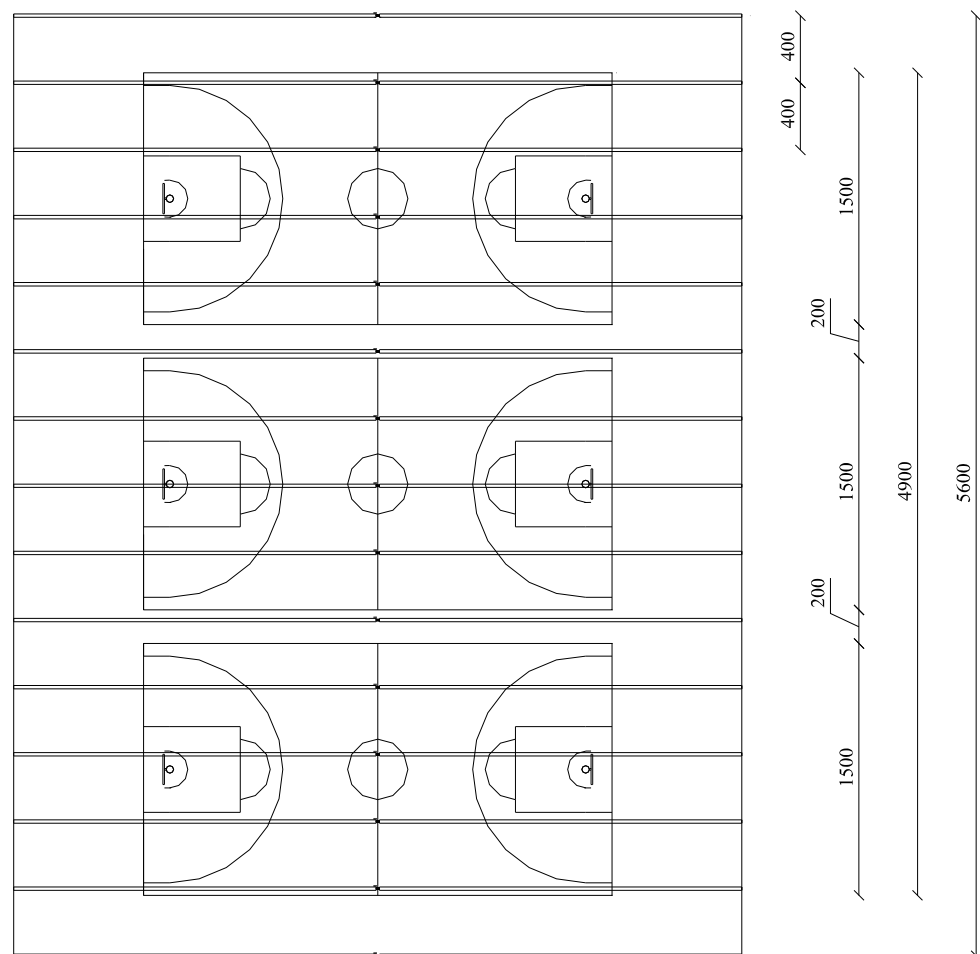


Slika 3.1: Sestava krovne konstrukcije

Zavarovalna konstrukcija je izvedena s pomočjo strešnih leg in jeklenih diagonal, fasadna pa s pomočjo fasadnih stebrov in fasadnih leg.



Slika 3.2: Prečni prerez dvorane



Slika 3.3: Tloris dvorane

Uporabljeni materiali

- Glavna nosilna konstrukcija: lameliran lepljen les GL 32h (preglednica 2.1).
- Ostali leseni konstrukcijski elementi: les C24 (EN 388 – trdnostni razredi lesa).
- Jeklene diagonale ter vezna sredstva: jeklo S 235.

4 VPLIVI NA KONSTRUKCIJO

4.1 Stalni vplivi (G)

Pod stalne vplive spada lastna teža gradbenih objektov, katera je predstavljena z eno karakteristično vrednostjo, ki se izračuna iz nazivnih mer in karakterističnih vrednosti prostorninske teže.

Lastna teža gradbenih objektov vključuje lastno težo konstrukcije in nekonstrukcijskih elementov s pritrjeno opremo ter težo zemljine in balasta.

4.1.1 Lastna teža konstrukcije

Izračun

Vplivna širina $e_n = 4 \text{ m}$,

Vrsta elementa in dimenzije	γ [kN/m^3]	A [m^2]	Izračun	g_i [kN/m]
Toplotna izolacija: 20 cm	0,6	0,2	$0,6 \cdot 0,20 \cdot (4/1) =$	0,48 kN/m
Opažne deske: 2,5 cm	4,2	0,025	$4,2 \cdot 0,025 \cdot (4/1) =$	0,42 kN/m
Opažne deske: 2,5 cm	4,2	0,025	$4,2 \cdot 0,025 \cdot (4/1) =$	0,42 kN/m
Leseni plohi: 20/5 cm ($e_n = 1 \text{ m}$)	4,2	0,01	$4,2 \cdot 0,01 \cdot (4/1) =$	0,168 kN/m
Primarni nosilec: 20/100 cm	4,3	0,2	$4,3 \cdot 0,2 =$	0,86 kN/m
Strešne lege: 16/16 cm ($e_n = 1 \text{ m}$)	4,2	0,0256	$4,2 \cdot 0,0256 \cdot (4/1) =$	0,43 kN/m
Bakrena pločevina: 0,15 cm	89	0,0015	$89 \cdot 0,0015 \cdot (4/1) =$	0,534 kN/m
Inštalacije in drugo	/	/		= 0,583 kN/m

Celotna teža: $g = 3,895 \text{ kN/m}$

kjer so:

- g celotna masa konstrukcije,
- g_i masa posameznega elementa,
- e_n vplivna širina,
- γ prostorninska teža,
- A površina prečnega prereza:

$$A = b \cdot h, \quad (4.1)$$

b širina elementa in

h višina elementa.

4.2 Spremenljivi vplivi (Q)

Pod spremenljive vplive uvrščamo: koristno obtežbo stropov stavb, nosilcev in streh, vplive vetra, obtežbo snega, itd.

4.2.1 Koristna obtežba

Koristna obtežba izvira iz namena uporabe. Strehe so po standardu SIST EN 1991-1-1 glede dostopnosti razdeljene v tri kategorije, kar je razvidno v spodnji preglednici 4.1.

Preglednica 4.1: Kategorije streh

Kategorije obteženih površin	Opis uporabe
H	Strehe, dostopne le za normalno vzdrževanje in popravila
I	Strehe, dostopne za uporabo v skladu s kategorijami A do D
K	Strehe, dostopne za posebne namene, kot je pristajanje s helikopterjem

Streha obravnavanega objekta je dostopna le za normalno vzdrževanje in popravila ter spada v kategorijo obteženih površin H. Najmanjše karakteristične vrednosti Q_k in q_k za strehe kategorije H so dane v SIST EN 1991-1-1 preglednici 6.10. Vrednosti obtežbe so določene glede na vodoravno projekcijo površine strehe.

Za to vrsto strehe se po preglednici 6.10 iz SIST EN 1991-1-1 pod opombo 1, privzame priporočljive vrednosti in sicer:

Preglednica 4.2: Priporočena koristna obtežba strehe kategorije H

Streha	g_k (kN/m^2)	Q_k (kN)
kategorija H	$q_k = 0,4$	$Q_k = 1,0$

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

Obtežba deluje na vplivni širini $e_n = 4 \text{ m}$, kar znaša:

$$q_k = 0,4 \text{ kN/m}^2 \cdot 4 \text{ m} = \mathbf{1,6 \text{ kN/m}}.$$

4.2.2 Obtežba snega

Obtežbo snega določimo na podlagi standarda SIST EN 1991-1-3, objekt se glede na nacionalni dodatek nahaja v coni M1.

- **Karakteristična vrednost obtežbe snega na tleh se določi v skladu z izrazom:**

$$s_k = 0,289 \cdot \left[1 + \left(\frac{A}{452} \right)^2 \right], \quad (4.2)$$

kjer je A nadmorska višina na kateri se nahaja objekt.

$$A = 10 \text{ m}$$

$$s_k = 0,289 \cdot \left[1 + \left(\frac{10}{452} \right)^2 \right] = 0,2891 \text{ kN/m}^2$$

- **Obtežbo snega na strehi dobimo z naslednjim izrazom:**

$$s^{\wedge} = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k, \quad (4.3)$$

kjer so:

$$C_e = 0,8 \quad \text{koeficient izpostavljenosti; preglednica 5.1 v SIST EN 1991-1-3}$$

→ teren izpostavljen vetru,

$$C_t = 1,0 \quad \text{toplotni koeficient; za strehe z majhno toplotno prevodnostjo in}$$

$$\mu_i \quad \text{oblikovni koeficient obtežbe snega.}$$

Veljavna pravila za cilindrične strehe po SIST EN 1991-1-3

Oblikovni koeficienti obtežbe snega za cilindrične strehe brez snegobranov so podani z naslednjima izrazoma:

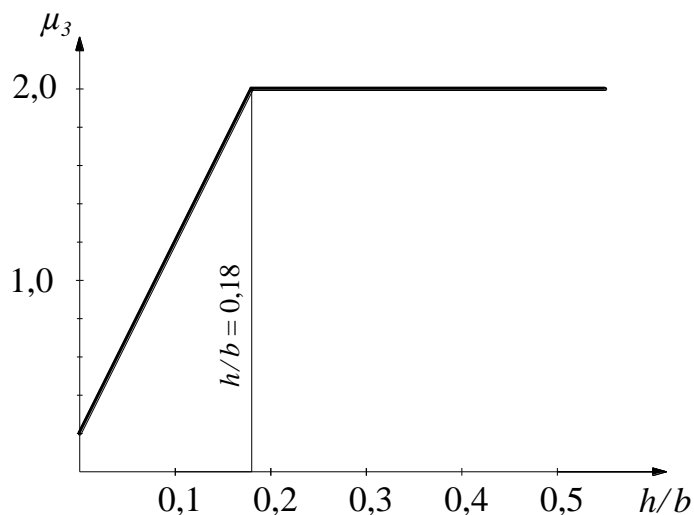
$$\text{za } \beta > 60^\circ \rightarrow \mu_3 = 0, \quad (4.4)$$

$$\text{za } \beta \leq 60^\circ \rightarrow \mu_3 = 0,2 + 10 \cdot h/b. \quad (4.5)$$

$$\beta = 55,2^\circ$$

$$\mu_3 = 0,2 + 10 \cdot \frac{11,5}{44} = 2,8136$$

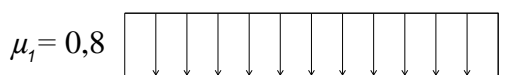
Za μ_3 se določi zgornja vrednost (v nacionalnem dodatku je omejena: $\mu_3 = 2$).



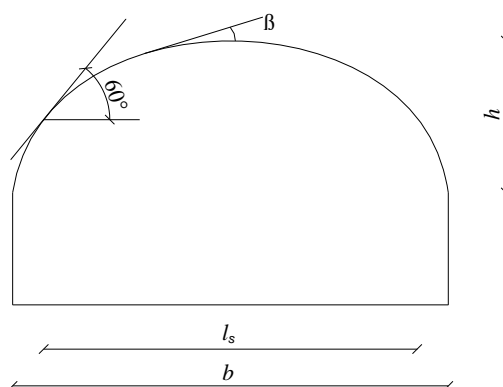
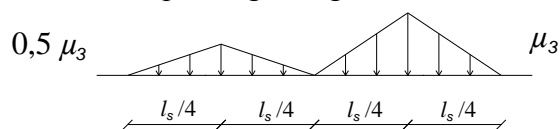
Slika 4.1: Priporočena vrednost oblikovnega koeficienta obtežbe snega za cilindrične strehe (SIST EN 1991-1-3)

Razpored obtežbe nenakopičenega in nakopičenega snega je prikazan na sliki 4.2.

Primer nenakopičenega snega



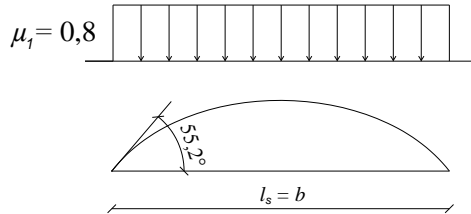
Primer nakopičenega snega



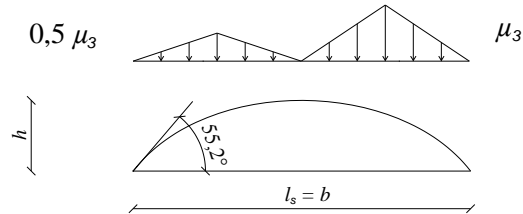
Slika 4.2: Oblikovni koeficienti obtežbe snega za cilindrične strehe (SIST EN 1991-1-3)

Za moj primer, kjer je $\beta \leq 55,2$, veljata naslednja primera:.

Primer nenakopičenega snega



Primer nakopičenega snega



Slika 4.3: Oblikovni koeficient obtežbe snega za podano streho

- **Obtežba snega na strehi**

Nenakopičen sneg (slika 4.3):

$$\mu_1 = 0,8$$

$$s' = 0,2891 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,18505 \text{ kN/m}^2$$

Na vplivni širini $e_n = 4 \text{ m}$:

$$s = s' \cdot e_n = 0,18505 \text{ kN/m}^2 \cdot 4 \text{ m} = \mathbf{0,7402 \text{ kN/m}}$$

Nakopičen sneg (slika 4.3):

$$\text{Za } \mu_3 = 2,0$$

$$s' = 0,2891 \text{ kN/m}^2 \cdot 2,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,46263 \text{ kN/m}^2$$

Na vplivni širini $e_n = 4 \text{ m}$:

$$s_1 = s' \cdot e_n = 0,46263 \text{ kN/m}^2 \cdot 4 \text{ m} = \mathbf{1,851 \text{ kN/m}}$$

Za $0,5 \cdot \mu_3 = 0,5 \cdot 2,0 = 1,0$ (slika 4.3)

$$s' = 0,2891 \text{ kN/m}^2 \cdot 1,0 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,23131 \text{ kN/m}^2$$

Na vplivni širini $e_n = 4 \text{ m}$:

$$s_2 = s' \cdot e_n = 0,23131 \text{ kN/m}^2 \cdot 4 \text{ m} = \mathbf{0,9253 \text{ kN/m}}$$

4.2.3 Obtežba vetra

Obtežbo vetra določimo v skladu s standardom SIST EN 1991-1-4.

- **Osnovna hitrost vetra**

Osnovno hitrost vetra se izračuna z izrazom:

$$v_b = c_{dir} \cdot c_{season} \cdot v_{b,0}, \quad (4.6)$$

kjer so:

$$c_{dir} = 1,0 \quad \text{faktor smeri,}$$

$$c_{season} = 1,0 \quad \text{faktor letnega časa in}$$

$$v_{b,0} = 30 \text{ m/s} \quad \text{temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra; nacionalni dodatek} \rightarrow \text{cona 3.}$$

$$v_b = 1,0 \cdot 1,0 \cdot 30 \text{ m/s} = 30 \text{ m/s}$$

- **Osnovni tlak vetra**

Osnovni tlak vetra se izračuna z izrazom:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2, \quad (4.7)$$

kjer je:

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3 \quad \text{gostota zraka.}$$

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 30^2 = 562,5 \text{ N/m}^2 = 0,5625 \text{ kN/m}^2$$

- **Največji tlak pri sunkih vetra**

Največji tlak pri sunkih vetra q_p izračunamo z izrazom:

$$q_p = c_e \cdot q_b, \quad (4.8)$$

kjer je:

$$c_e \quad \text{faktor izpostavljenosti.}$$

Faktor izpostavljenosti

Računan za kategorijo terena 0, morsko ali obalno področje, izpostavljeno proti odprtemu morju, prevzeto iz SIST EN 1991-1-4 preglednica 4.1 (z_0, z_{min}).

$$c_e = \left[1 + 7 \cdot \frac{k_I k_r}{c_0 c_r} \right] \cdot c_0^2 \cdot c_r^2 \quad (4.9)$$

kjer so:

$k_I = 1,0$ faktor turbulence,

k_r faktor terena

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_0}{z_{0,II}} \right)^{0,07}, \quad (4.10)$$

$z_0 = 0,003 \text{ m}$ hrapavostna dolžina,

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

$$k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{0,003}{0,05} \right)^{0,07} = 0,156,$$

$c_0 = 1,0$ faktor oblike terena, ki upošteva lokalno topografijo,

c_r faktor hrapavosti

$$c_r = \begin{cases} k_r \cdot \ln \left(\frac{z}{z_0} \right), & z_{min} \leq z \leq 200 \text{ m} \\ k_r \cdot \ln \left(\frac{z_{min}}{z_0} \right), & z < z_{min} = 1 \text{ m} \end{cases} \quad (4.11)$$

$z = 11,5 \text{ m}$ referenčna višina za zunanji tlak; $z = h$, če $h \leq b$,

$b = 44 \text{ m}$ širina objekta, pravokotno na veter in

$z_{min} = 1,0$ minimalna višina nad tlemi.

$$c_r = 0,156 \cdot \ln \left(\frac{11,5}{0,003} \right) = 1,2875; \quad \rightarrow \quad 1 \leq 11,5 \leq 200 \text{ m}$$

$$c_e = \left[1 + 7 \cdot \frac{1,0 \cdot 0,156}{1,0 \cdot 1,2875} \right] \cdot 1,0^2 \cdot 1,2875^2 = 3,064$$

Največji tlak pri sunkih vetra q_p (enačba 4.8):

$$q_p = 3,064 \cdot 0,5625 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{1,724 \text{ kN/m}^2}.$$

- **Tlak vetra na ploskve**

Tlak vetra na zunanje ploskve se izračuna po izrazu:

$$w_e = q_p \cdot c_{pe}. \quad (4.12)$$

Tlak vetra na notranje ploskve se izračuna po izrazu:

$$w_i = q_p \cdot c_{pi}, \quad (4.13)$$

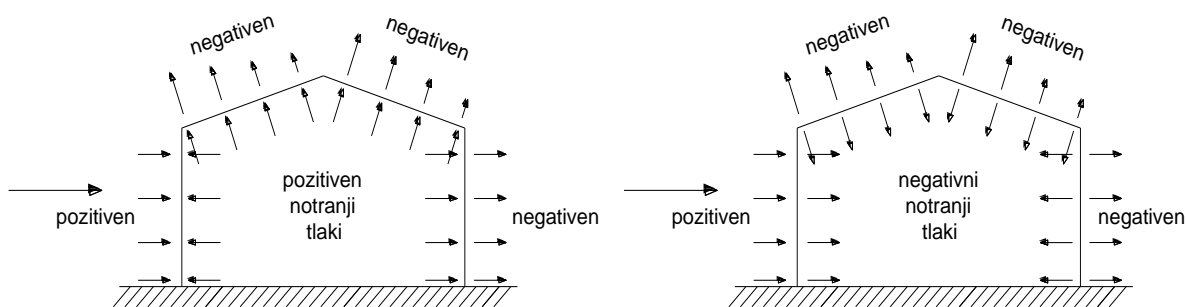
kjer so:

q_p največji tlak vetra pri sunkih vetra,

c_{pe} koeficient zunanjega tlaka in

c_{pi} koeficient notranjega tlaka.

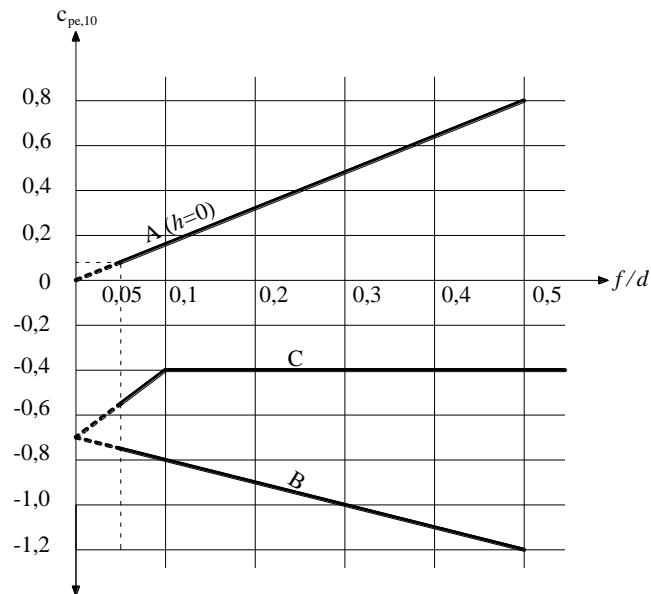
Neto tlak na steno, streho ali element je razlika med tlakoma na nasprotnih ploskvah, pri tem je upoštevan njun predznak. Tlak, ki je usmerjen proti ploskvi, je pozitiven, srk, ki je usmerjen od ploskve, pa je negativen. Slika 4.4 prikazuje primer.



Slika 4.4: Tlak vetra na ploskve (SIST EN 1991-1-4)

4.2.3.1 Za ukrivljeno streho

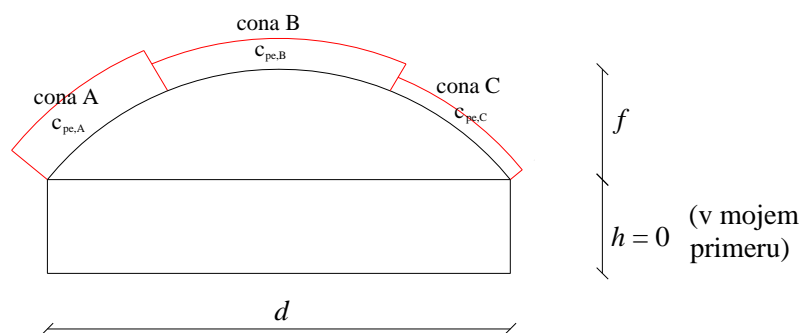
Koeficienti zunanje tlaka $c_{pe,10}$ so podani na sliki 4.5.



Slika 4.5: Priporočene vrednosti koeficientov zunanje tlaka $c_{pe,10}$ za ukrivljene strehe nad pravokotnim tlorisom (SIST EN 1991-1-4)

OPOMBA:

- za $h/d < 0,5$ se $c_{pe,10}$ dobimo z linearno interpolacijo
 $0/44 = 0$ (linearna interpolacija ni potrebna)
- $\frac{f}{d} = 11,5 \text{ m}/44 \text{ m} = 0,2614$



Slika 4.6: Primer delovanja obtežbe vetra na streho (SIST EN 1991-1-4)

Koeficienti zunanje tlaka (slika 4.6) so:

A: $c_{pe,10} = 0,418$ pritisk,

B: $c_{pe,10} = -0,961$ srk in

C: $c_{pe,10} = -0,4$ srk.

Tlak vetra na zunanje ploskve (enačba 4.12):

A: $w_e = 0,418 \cdot 1,724 \text{ kN/m}^2 = 0,7206 \text{ kN/m}^2$,

B: $w_e = -0,961 \cdot 1,724 \text{ kN/m}^2 = -1,657 \text{ kN/m}^2$ in

C: $w_e = -0,4 \cdot 1,724 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = -0,6896 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$.

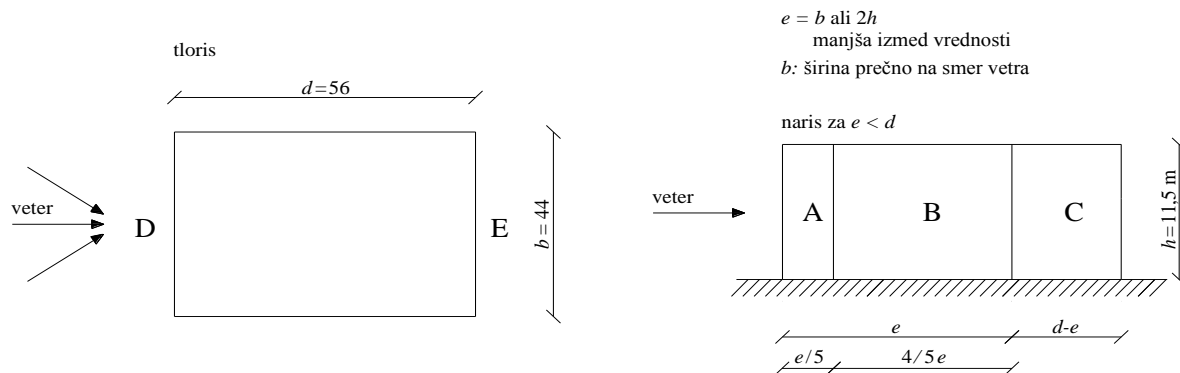
Obtežba, ki deluje na vplivni širini $e_n = 4 \text{ m}$:

A: $w_e = 0,7206 \text{ kN/m}^2 \cdot 4 \text{ m} = 2,882 \text{ kN/m}$,

B: $w_e = -1,657 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 4 \text{ m} = -6,628 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$ in

C: $w_e = -0,6896 \text{ kN/m}^2 \cdot 4 \text{ m} = -2,758 \text{ kN/m}$.

4.2.3.2 Za steni dvorane



Slika 4.7: Razdelitev sten na področja

Preglednica 4.3: Priporočena vrednost koeficientov zunanje tlaka $c_{pe,10}$ za navpične stene stavb s pravokotnim tlorisom

Področje	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	- 1,2	- 1,4	- 0,8	- 1,1	- 0,5		+ 0,8	+ 1,0	- 0,7	
1	- 1,2	- 1,4	- 0,8	- 1,1	- 0,5		+ 0,8	+ 1,0	- 0,5	
$\leq 0,25$	- 1,2	- 1,4	- 0,8	- 1,1	- 0,5		+ 0,7	+ 1,0	- 0,3	

OPOMBA:

$h/d = 11,5 \text{ m}/56 \text{ m} = 0,201 \rightarrow$ za koeficient $c_{pe,10}$ vzamem vrednosti za $h/d = 0,25$.

Koeficienti zunanjega tlaka (preglednica 4.3):

D: $c_{pe,10} = 0,7$ pritisk in

E: $c_{pe,10} = -0,3$ srk.

Tlak vetra na zunanjo ploskev (enačba 4.12):

D: $w_e = 0,7 \cdot 1,724 \text{ kN/m}^2 = 1,206 \text{ kN/m}^2$ in

E: $w_e = -0,3 \cdot 1,724 \text{ kN/m}^2 = -0,5171 \text{ kN/m}^2$.

Notranji tlaki

Ker imamo na stenah dvorane odprtine (okna, vrata, itd.), se pojavijo dodatni tlaki (pritiski), ki delujejo na steno.

Pri izračunu moramo upoštevati, da notranji in zunanji tlaki delujejo sočasno, zaradi tega je potrebno izbrati najneugodnejšo kombinacijo zunanjih in notranjih tlakov glede na kombinacijo možnih odprtin in drugih vrst prepuščanja. Koeficient notranjega tlaka c_{pi} je odvisen od velikosti in razporeditve odprtin po ovoju stavbe.

Evrokod podaja za površine, kjer ni mogoče ali ni smiselno določiti notranjega tlaka za posamezen primer, da se za c_{pi} privzame neugodnejša vrednost med $+0,2$ in $-0,3$.

Koeficienta notranjega tlaka:

$C_{pi} = 0,2$ pritisk in

$C_{pi} = -0,3$ srk.

Tlak vetra na notranje ploskve (enačba 4.13)

Pritisk: $w_i = 0,2 \cdot 1,7235 \text{ kN/m}^2 = 0,3447 \text{ kN/m}^2$

Srk: $w_i = -0,3 \cdot 1,7235 \text{ kN/m}^2 = -0,5171 \text{ kN/m}^2$

Kombinacija zunanjega in notranjega tlaka vetra

- Zunanji veter + notranji pritisk

$$D: w_D = 1,2065 \text{ kN/m}^2 - 0,3447 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{0,862 \text{ kN/m}^2}$$

$$E: w_E = -0,5171 \text{ kN/m}^2 - 0,3447 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{-0,862 \text{ kN/m}^2}$$

- Zunanji veter + notranji srk

$$D: w_D = 1,2065 \text{ kN/m}^2 + 0,5171 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{1,724 \text{ kN/m}^2}$$

$$E: w_E = -0,5171 \text{ kN/m}^2 + 0,5171 \text{ kN/m}^2 = \mathbf{0}$$

Vpliv sile vetra na nosilec na različnih višinah

Obtežba vetra na steni dvorane se spreminja z višino, tako dobim na različnih višinah različno obtežbo vetra.

$$w_h = \frac{w_{max} \cdot h/2}{n}, \quad (4.14)$$

kjer so:

w_{max} največja sila vetra iz kombinacije zunanji veter + notranji veter,

$h/2$ vzamem, ker polovico obtežbe preko fasade prevzame nosilec, polovica pa gre na temelj in

$n = 4$ število povezij na katera odpade sila vetra.

$$w_{max} = 1,7236 \text{ kN/m}^2$$

Preglednica 4.4: Sila vetra v odvisnosti od višine

h (m)	w_h (kN/m)
0	0
1,71	0,37
3,32	0,71
4,86	1,05
6,16	1,33
7,38	1,59
8,45	1,82
9,37	2,02
10,13	2,18
10,72	2,31
11,15	2,40
11,50	2,48

4.3 Nezgodni vpliv (A)

4.3.1 Potresna obtežba

Potresno obtežbo določimo na podlagi standarda SIST EN 1998-1.

Celotna prečna sila F_b (na mestu vpetja konstrukcije) je zaradi potresa za vsako od obeh glavnih smeri, ki se analizirata, določena z izrazom:

$$F_b = S_d(T) \cdot m \cdot \lambda, \quad (4.15)$$

kjer so:

$S_d(T)$ projektni spekter pri nihajnem času T ,

T osnovni nihajni čas konstrukcije za translacijsko gibanje v obravnavani smeri,

m celotna masa stavbe nad temelji ali nad togo kletjo in

λ korekcijski faktor, za moj primer $\lambda = 1,0$.

Projektni spekter za elastično analizo

Sposobnost konstrukcijskega sistema, da prenaša potresne vplive v nelinearnem območju, nam splošno dovoljuje, da se pri projektiranju uporabljajo sile, ki so manjše od tistih, ki ustrezajo linearno - elastičnemu odzivu.

Za vodoravni komponenti potresnega vpliva je projektni spekter določen z naslednjimi izrazi:

$$0 \leq T \leq T_B: S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \left[\frac{2}{3} + \frac{T}{T_B} \cdot \left(\frac{2,5}{q} - \frac{2}{3} \right) \right], \quad (4.16)$$

$$T_B \leq T \leq T_C: S_d(T) = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q}, \quad (4.17)$$

$$T_C \leq T \leq T_D: S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C}{T} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}, \quad (4.18)$$

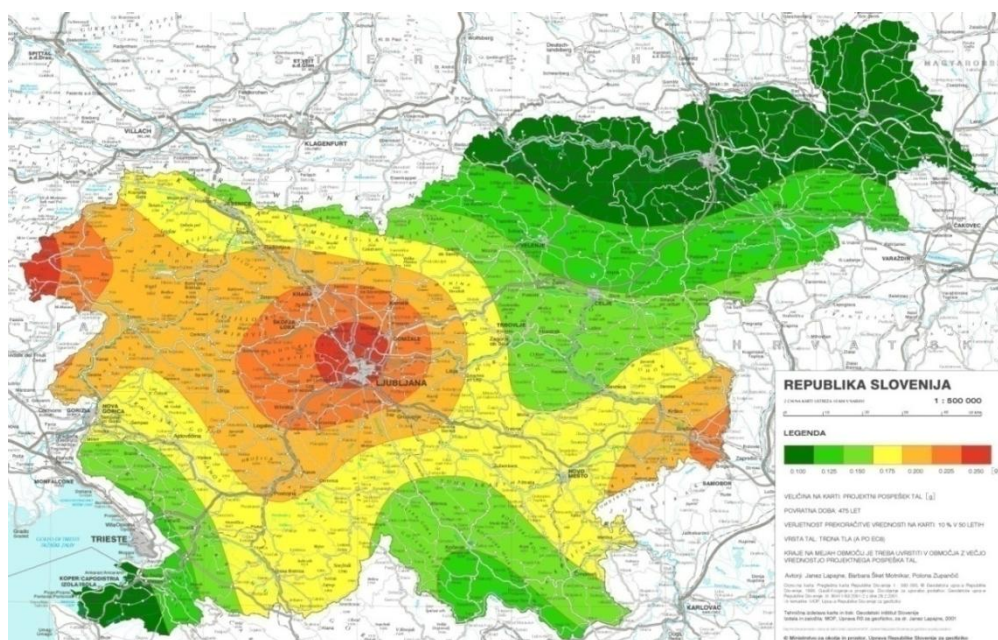
$$T_D \leq T: S_d(T) \begin{cases} = a_g \cdot S \cdot \frac{2,5}{q} \cdot \left[\frac{T_C T_D}{T^2} \right] \\ \geq \beta \cdot a_g \end{cases}, \quad (4.19)$$

kjer so:

- a_g projektni pospešek za tla,
- T_B spodnja meja nihajnega časa na območju spektra, kjer ima spektralni pospešek konstantno vrednost,
- T_C zgornja meja nihajnega časa na območju spektra, kjer ima spektralni pospešek konstantno vrednost,
- T_D vrednost nihajnega časa, pri kateri se začne območje konstante vrednosti spektralnega pomika,
- S faktor tal,
- q faktor obnašanja in
- β faktor, ki določa spodnjo mejo pri vodoravnem projektnem spektru, določen v nacionalnem dodatku. Priporočena vrednost znaša $\beta = 0,2$.

Preglednica 4.5: Vrednost parametrov, ki opisujejo priporočen elastični spekter odziva tipa 1

Tip tal	S	T_B (s)	T_C (s)	T_D (s)
A	1,0	0,15	0,4	2,0
B	1,2	0,15	0,5	2,0
C	1,15	0,20	0,6	2,0
D	1,35	0,20	0,8	2,0
E	1,4	0,15	0,5	2,0



Slika 4.8: Projektni pospešek tal a_g

(vir: http://www.arso.gov.si/potrosi/podatki/projektني_pospesek_tal.jpg)

Izračun

Objekt se nahaja v Kopru, kjer znaša projektni pospešek tal $a_g = 0,100 \cdot g$ (slika 4.8). Izbrana tla so tipa B, kar pomeni da imamo opravka z zelo gostim peskom, prodom ali togo glino debeline vsaj nekaj deset metrov, pri katerih mehanske značilnosti z globino postopoma naraščajo. Faktor obnašanja $q = 2$, kar je značilno za konstrukcije s srednjo sposobnostjo sipanja energije (DCM).

Projektni spekter za elastično analizo

TIP TAL B (preglednica 4.5):

$$S = 1,2,$$

$$T_B = 0,15s,$$

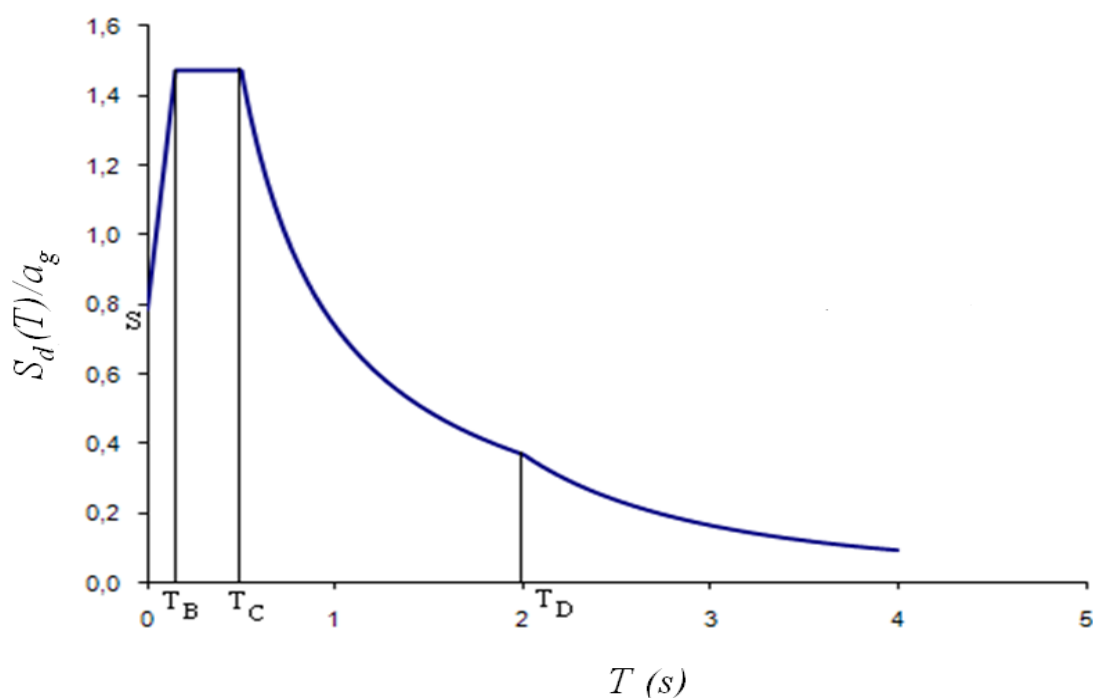
$$T_C = 0,5s,$$

$$T_D = 2,0s,$$

$$q = 2 \text{ in}$$

$$a_g = 0,100 \cdot g \text{ (gravitacijski pospešek, } g = 9,81 \text{ m/s}^2\text{)}.$$

Po enačbah 4.16 do 4.19 sem dobil naslednji spekter odziva:



Slika 4.9: Dobljeni spekter odziva

Za vodoravni komponenti, ko privzamemo najneugodnejše razmere, te pa so, ko se nihajni čas giblje med T_B in T_C potresnega vpliva, je v EC8 projektni spekter $S_d(T)$ določen z izrazom:

$$S_d(T_1) = ag \cdot S \cdot 2,5/q = 0,10 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2 \cdot 1,2 \cdot 2,5/2 = 1,472 \text{ m/s}^2.$$

Masa konstrukcije

Celotno maso sestavljata stalna obtežba strešne in fasadne konstrukcije. Masa strešne konstrukcije se porazdeli na štiri povezja, medtem ko maso fasade v celoti prevzame prvo oz. zadnje povezje.

- Masa strešne konstrukcije

Vrsta elementa in dimenzije	γ [kN/m^3]	A [m^2]	Izračun	g_i [kN/m^2]
Toplotna izolacija: 20 cm	0,6	0,2	$0,6 \cdot 0,20/1 =$	0,12 kN/m^2
Opažne deske: 2,5 cm	4,2	0,025	$4,2 \cdot 0,025/1 =$	0,105 kN/m^2
Opažne deske: 2,5 cm	4,2	0,025	$4,2 \cdot 0,025/1 =$	0,105 kN/m^2
Leseni plohi: 20/5 cm	4,2	0,01	$4,2 \cdot 0,01/1 =$	0,042 kN/m^2
Primarni nosilec: 20/100 cm	4,3	0,2	$4,3 \cdot 0,2/4 =$	0,215 kN/m^2
Strešne lege: 16/16 cm	4,2	0,0256	$4,2 \cdot 0,0256/1 =$	0,108 kN/m^2
Bakrena pločevina: 1,5 mm	89	0,0015	$89 \cdot 0,0015/1 =$	0,134 kN/m^2
Inštalacije in drugo	/	/	=	0,146 kN/m^2

Celotna teža : $g_s = 0,975 \text{ kN/m}^2$

$$m_s = \frac{L \cdot D \cdot g_s}{g} = \frac{51,62 \text{ m} \cdot 56 \text{ m} \cdot 0,975 \text{ kN/m}^2}{9,81 \text{ m/s}^2} = 287,3 \text{ t} \quad (4.20)$$

Masa katero prevzame eno povezje:

$$m_{s1} = m_s/n = 287,3 / 4 = 71,83 \text{ t}$$

- Masa fasade

$g_f = 0,5 \text{ kN/m}^2 \rightarrow$ ocenjena vrednost teže fasadne konstrukcije

$$m_f = \frac{A_{eff} \cdot g_f}{2 \cdot g} = \frac{355,1 \text{ m}^2 \cdot 0,5 \text{ kN/m}^2}{2 \cdot 9,81 \text{ m/s}^2} = 9,05 \text{ t} \quad (4.21)$$

Maso fasade prevzame eno povezje:

$$m_{f1} = \frac{m_f}{1} = 9,05/1 = \mathbf{9,05 \text{ t}},$$

kjer so:

g_s stalna obtežba strešne konstrukcije na enoto ploskve,

g_f stalna obtežba fasadne konstrukcije na enoto ploskve,

$A_{eff}/2$ površina fasadne stene, ki vpliva na potresno obtežbo (odčitana iz programa),

$n = 4$ število povezij.

Celotna potresna sila na podlagi mase in spektra odziva:

$$F_i = S_d(T) \cdot m \cdot \lambda \text{ in}$$

$$F_b = \sum \frac{F_i}{n_v} = \frac{F_{bf} + F_{bs}}{n_v}, \quad (4.22)$$

kjer so

n_v število vozlišč,

F_{bs} celotna potresna sila zaradi mase strehe in

F_{bf} celotna potresna sila zaradi mase fasade.

$$F_{bs} = 1,472 \cdot 71,83 \cdot 1 = 105,7 \text{ kN}$$

$$F_{bf} = 1,472 \cdot 9,05 \cdot 1 = 13,32 \text{ kN}$$

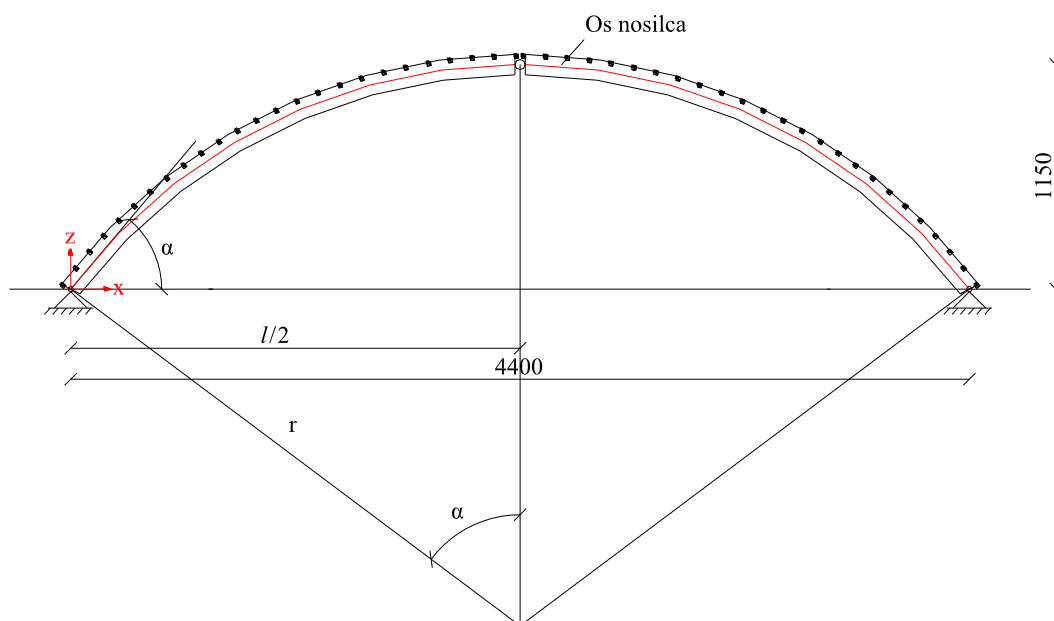
Celotna potresna sila, ki odpade na eno vozlišče povezja:

$$F_b = \frac{105,7 \text{ kN} + 13,32 \text{ kN}}{25} = \mathbf{4,761 \text{ kN}}.$$

5 STATIČNA ANALIZA PRIMARNEGA NOSILCA IN ZAVAROVALNE KONSTRUKCIJE

5.1 Račun primarnega nosilca

5.1.1 Zasnova



Slika 5.1: Prečni prerez objekta, osnova za dimenzioniranje

Zasnovani nosilci imajo obliko krožnice, kjer se radij skozi celoten prerez ne spreminja ($r = \text{konstanten}$), tako imam opravka z nosilci s konstantno višino.

Radij osi nosilca:

$$r = l / (2 \cdot \sin \alpha), \quad (5.1)$$

kjer so:

$\alpha = 55,2^\circ$ kot med zveznico podpor in tangento na os nosilca v podpori (slika 5.1),

$l = 44 \text{ m}$ širina dvorane in

$r = \text{konstanten}$ radij ukrivljenosti osi nosilca.

$$r = \frac{44 \text{ m}}{(2 \cdot \sin 55,2)} = \mathbf{26,79 \text{ m}}$$

Ločna dolžina nosilca:

$$L = r \cdot \varphi(\text{rad}), \quad (5.2)$$

kjer sta:

 L dolžina nosilca in

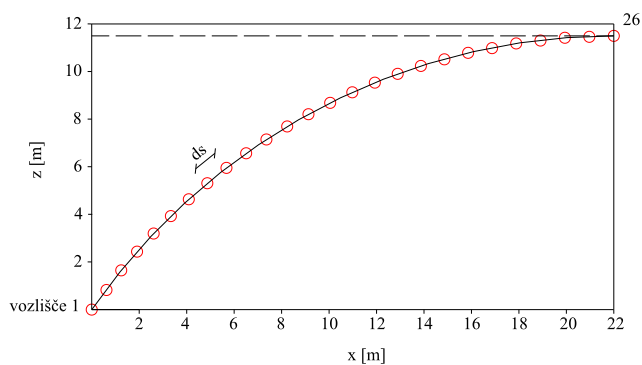
$$\varphi = 2 \cdot \alpha.$$

$$\varphi = \frac{2 \cdot \alpha \cdot \pi}{180} = \frac{2 \cdot 55,2 \cdot \pi}{180} = 1,927 \quad (5.3)$$

$$L = 26,79 \cdot 1,927 = \mathbf{51,62 \text{ m}}$$

Preglednica 5.1: Prikaz koordinat vozlišč (slika 5.2) nosilca pridobljenih s programom

Vozlišče (i)	Koordinate vozlišč		s [m]	ds [m]
	x_i	z_i		
1	0	0	0	0
2	1,03	0,84	1,03	1,032
3	2,06	1,65	2,06	1,032
4	3,09	2,44	3,10	1,032
5	4,11	3,20	4,13	1,032
6	5,13	3,93	5,16	1,032
7	6,14	4,63	6,19	1,032
8	7,14	5,31	7,23	1,032
9	8,13	5,95	8,26	1,032
10	9,11	6,57	9,29	1,032
11	10,07	7,15	10,32	1,032
12	11,02	7,69	11,36	1,032
13	11,95	8,21	12,39	1,032
14	12,87	8,69	13,42	1,032
15	13,76	9,13	14,45	1,032
16	14,64	9,54	15,49	1,032
17	15,49	9,90	16,52	1,032
18	16,32	10,24	17,55	1,032
19	17,13	10,53	18,58	1,032
20	17,91	10,79	19,62	1,032
21	18,66	11,00	20,65	1,032
22	19,39	11,18	21,68	1,032
23	20,09	11,32	22,71	1,032
24	20,76	11,42	23,74	1,032
25	21,39	11,48	24,78	1,032
26	22	11,5	25,81	1,032



Slika 5.2: Prikaz vozlišč

 s ločna dolžina osi nosilca ds dolžina med dvema vozliščima

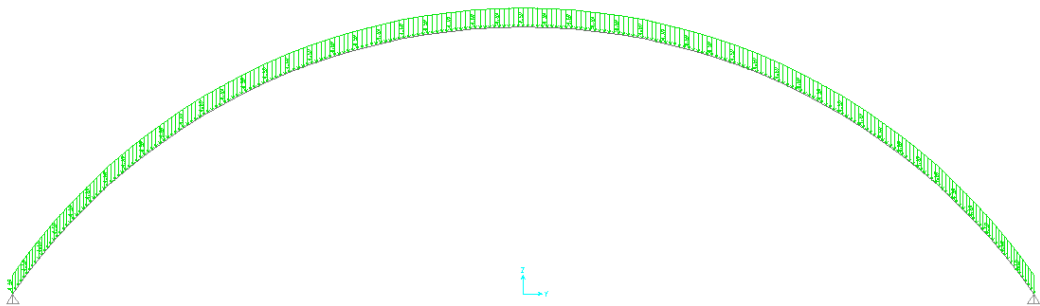
5.1.2 Obtežba primarnega nosilca

Na primarni nosilec delujejo naslednje obtežbe:

- lastna teža in preostala stalna obtežba,
- koristna obtežba,
- obtežba snega in
- obtežba vetra.

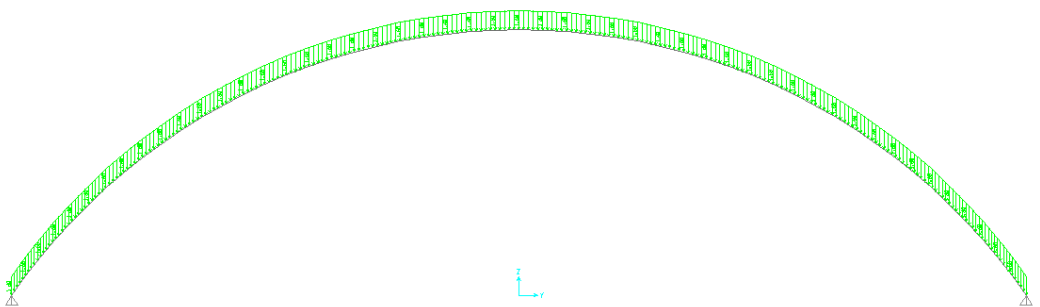
5.1.3 Postavitev obtežbe na konstrukcijo v programu SAP2000

- Stalna obtežba ($g = 3,895 \text{ kN/m}$):



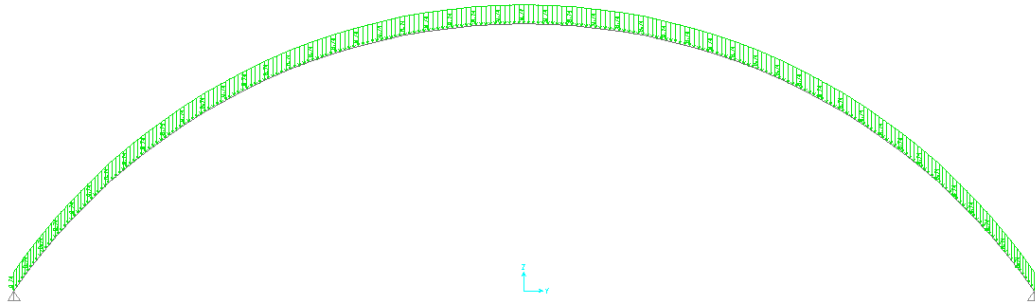
Slika 5.3: Prikaz postavitve stalne obtežbe

- Koristna obtežba ($q = 1,6 \text{ kN/m}$):



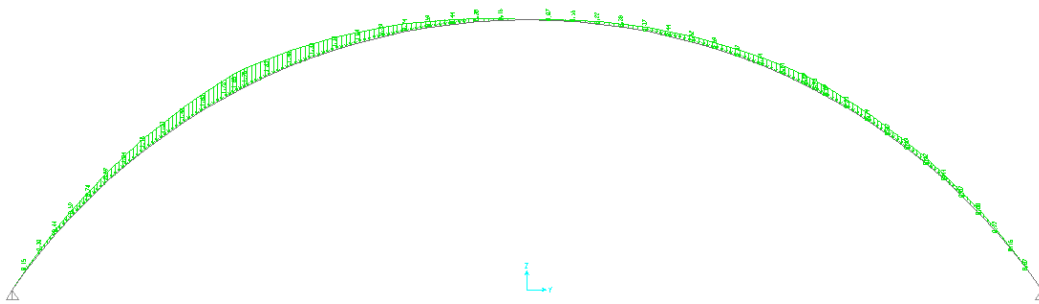
Slika 5.4: Prikaz postavitve koristne obtežbe

- Obtežba nenakopičenega snega ($s = 0,7402 \text{ kN/m}$):



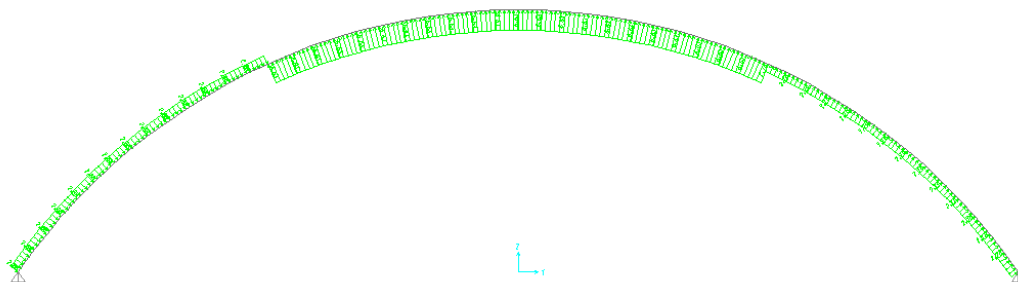
Slika 5.5: Prikaz postavitve obtežbe nenakopičenega snega

- Obtežba nakopičenega snega ($s_1 = 1,851 \text{ kN/m}$, $s_2 = 0,9253 \text{ kN/m}$):



Slika 5.6: Prikaz postavitve obtežbe nakopičenega snega

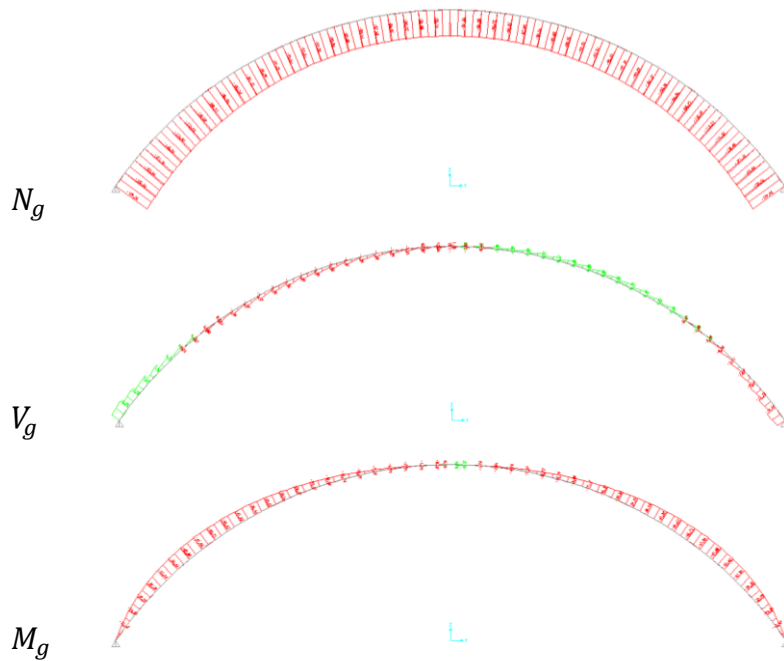
- Obtežba vetra ($w_{e,A} = 2,882 \text{ kN/m}$, $w_{e,B} = -6,628 \text{ kN/m}$, $w_{e,C} = -2,758 \text{ kN/m}$):



Slika 5.7: Prikaz postavitve obtežbe vetra

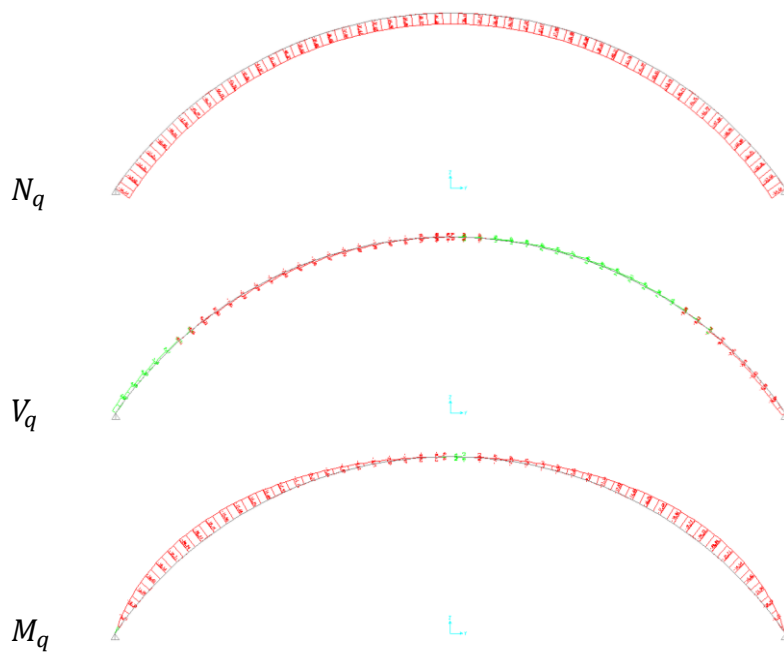
5.1.4 Obremenitev primarnega nosilca

- Notranje sile zaradi stalne obtežbe:



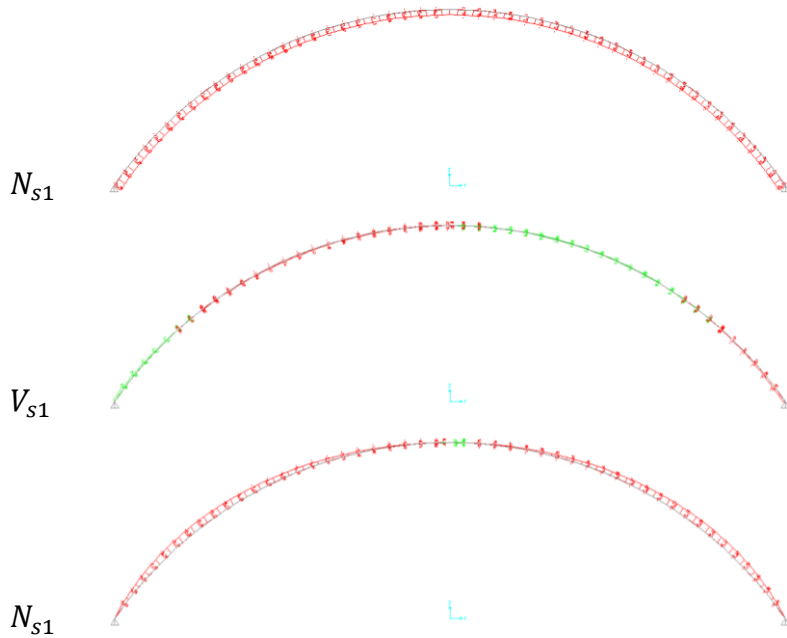
Slika 5.8: Prikaz notranjih sil zaradi stalne obtežbe

- Notranje sile zaradi koristne obtežbe:



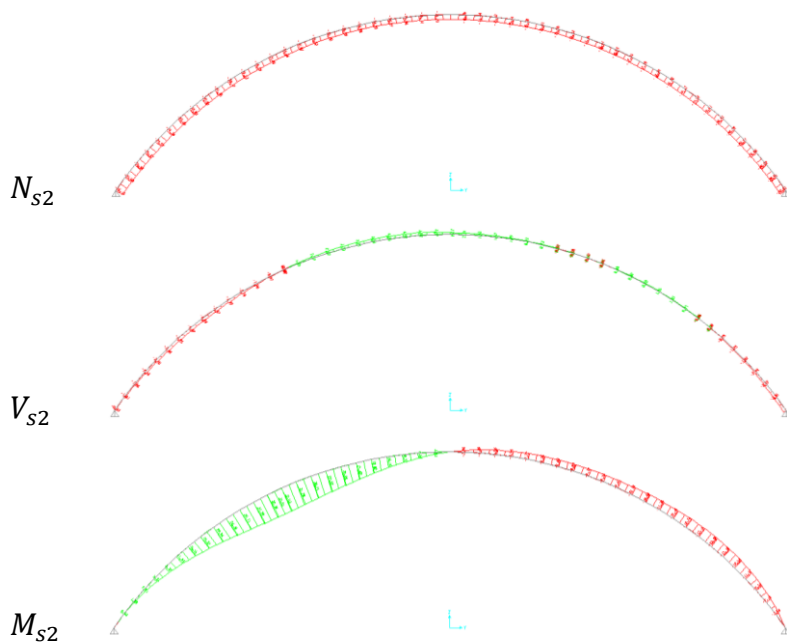
Slika 5.9: Prikaz notranjih sil zaradi koristne obtežbe

- Notranje sile zaradi obtežbe nenakopičenega snega:



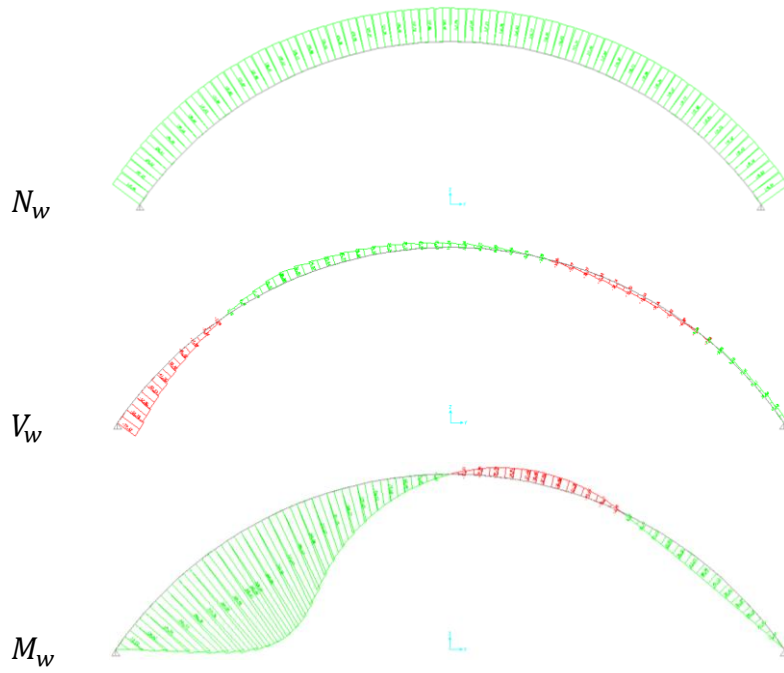
Slika 5.10: Prikaz notranjih sil zaradi obtežbe nenakopičenega snega

- Notranje sile zaradi obtežbe nakopičenega snega:



Slika 5.11: Prikaz notranjih sil zaradi obtežbe nakopičenega snega

- Notranje sile zaradi obtežbe vetra



Slika 5.12: Prikaz notranjih sil zaradi obtežbe vetra

5.1.5 Kombinacije vplivov

Mejno stanje nosilnosti

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,i} \cdot G_{k,i} + \gamma_{Q,i} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (5.4)$$

Izbira vrednosti delnih faktorjev je odvisna od njihovega delovanja, v smislu če vpliv deluje ugodno ali neugodno na podano kombinacijo.

- Stalni vpliv (lastna teža)

če neugodno vpliva je $\gamma_{G,i} = 1,35$,

če ugodno vpliva $\gamma_{G,i} = 1,0$.

- Spremenljiv vpliv (vzdrževanje, sneg, veter):

če neugodno vpliva je $\gamma_{Q,i} = 1,5$,

če ugodno vpliva $\gamma_{Q,i} = 0$.

Kombinacijski faktorji so naslednji:

- koristna obtežba: $\Psi_{0,i} = 0,0$,

- sneg: $\Psi_{0,i} = 0,5$ in

- veter: $\Psi_{0,i} = 0,6$.

Ker so možne kombinacije, ko en vpliv deluje ugodno in drugi neugodno, so v oklepajih podane še druge vrednosti delnih faktorjev $\gamma_{G,i}$ in $\gamma_{Q,i}$, ki jih med seboj kombiniramo, odvisno od delovanja vpliva.

$$MSN1 = 1,35 (1,0) \cdot G + 1,5 (0) \cdot Q_q \quad \rightarrow \quad k_{mod} = 0,9$$

$$MSN2 = 1,35 (1,0) \cdot G + 1,5 (0) \cdot Q_q + 1,5 (0) \cdot 0,6 \cdot Q_w \quad \rightarrow \quad k_{mod} = 0,9$$

$$MSN3 = 1,35 (1,0) \cdot G + 1,5 (0) \cdot Q_w \quad \rightarrow \quad k_{mod} = 0,9$$

$$MSN4 = 1,35 (1,0) \cdot G + 1,5 (0) \cdot Q_{s1} + 1,5 (0) \cdot 0,6 \cdot Q_w \quad \rightarrow \quad k_{mod} = 0,9$$

$$MSN5 = 1,35 (1,0) \cdot G + 1,5 (0) \cdot Q_{s2} + 1,5 (0) \cdot 0,6 \cdot Q_{w1} \quad \rightarrow \quad k_{mod} = 0,9$$

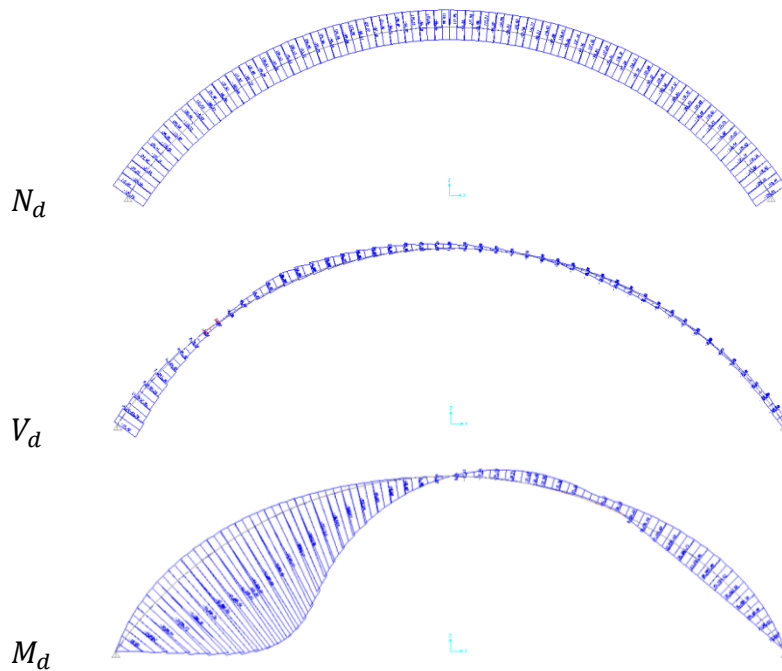
$$MSN6 = 1,35 (1,0) \cdot G + 1,5 (0) \cdot Q_w + 1,5 (0) \cdot 0,5 \cdot Q_{s2} \quad \rightarrow \quad k_{mod} = 0,9$$

Ovojnice prečnih sil

Preglednica 5.4: Ovojnice prečnih sil za posamezno kombinacijo v kN

Vozišče	MSN1		MSN2		MSN3		MSN4		MSN5		MSN6		Ovojnica prečnih sil	
	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min	max	min
1	23,70	11,95	23,70	-53,23	16,13	-96,68	19,63	-53,23	16,13	-53,30	16,13	-96,71	23,70	-96,7
2	18,60	9,37	18,60	-48,93	12,65	-87,80	15,40	-48,93	12,65	-50,44	12,65	-88,56	18,60	-88,6
3	13,92	7,02	13,92	-44,33	9,47	-78,56	11,53	-44,33	9,47	-47,12	9,47	-79,96	13,92	-80,0
4	9,68	4,88	9,68	-39,43	6,58	-68,98	8,01	-39,43	6,58	-43,33	6,58	-70,92	9,68	-70,9
5	5,87	2,96	5,87	-34,26	4,00	-59,07	4,86	-34,26	4,00	-39,06	4,00	-61,47	5,87	-61,5
6	2,49	1,25	2,49	-28,82	1,69	-48,87	2,06	-28,82	1,69	-34,31	1,69	-51,61	2,49	-51,6
7	-0,26	-0,51	-0,26	-23,39	-0,26	-38,48	-0,26	-23,30	-0,26	-29,16	-0,26	-41,45	-0,26	-41,4
8	-1,57	-3,12	-1,57	-18,77	-1,57	-28,21	-1,57	-18,23	-1,57	-23,91	-1,57	-31,28	-1,57	-31,3
9	-2,68	-5,31	-2,68	-13,73	-2,68	-17,65	-2,68	-12,82	-2,68	-18,10	-2,68	-20,68	-2,68	-20,7
10	-3,63	-7,20	-3,63	-8,35	-3,63	-6,82	-3,63	-7,12	-3,63	-11,78	-3,63	-9,68	-3,63	-11,8
11	-4,38	-8,68	1,71	-8,68	5,77	-5,91	1,71	-7,19	1,71	-11,00	5,77	-8,45	5,77	-11,0
12	-4,97	-9,87	8,36	-9,87	17,24	-6,71	8,36	-8,17	8,36	-10,87	17,24	-8,79	17,24	-10,9
13	-5,42	-10,76	15,14	-10,76	28,86	-7,32	15,14	-8,91	15,14	-10,26	28,86	-8,79	28,86	-10,8
14	-5,70	-11,31	22,04	-11,31	40,53	-7,70	22,04	-9,37	22,04	-9,15	40,53	-8,42	40,53	-11,3
15	-5,86	-11,63	29,03	-11,63	52,29	-7,91	29,03	-9,63	29,03	-7,94	52,29	-7,93	52,29	-11,6
16	-5,89	-11,69	27,27	-11,69	49,38	-7,95	27,27	-9,68	28,52	-7,95	50,01	-7,95	50,01	-11,7
17	-5,80	-11,50	25,58	-11,50	46,50	-7,83	25,58	-9,53	27,96	-7,83	47,69	-7,83	47,69	-11,5
18	-5,60	-11,12	23,96	-11,12	43,66	-7,56	23,96	-9,21	27,30	-7,56	45,34	-7,56	45,34	-11,1
19	-5,31	-10,53	22,38	-10,53	40,85	-7,17	22,38	-8,72	26,51	-7,17	42,91	-7,17	42,91	-10,5
20	-4,94	-9,79	20,86	-9,79	38,06	-6,66	20,86	-8,11	25,57	-6,66	40,41	-6,66	40,41	-9,8
21	-4,50	-8,92	19,37	-8,92	35,28	-6,07	19,37	-7,39	24,45	-6,07	37,82	-6,07	37,82	-8,9
22	-4,00	-7,93	17,91	-7,93	32,52	-5,39	17,91	-6,56	23,14	-5,39	35,13	-5,39	35,13	-7,9
23	-3,45	-6,84	16,47	-6,84	29,75	-4,65	16,47	-5,66	21,63	-4,65	32,33	-4,65	32,33	-6,8
24	-2,87	-5,69	15,04	-5,69	26,97	-3,87	15,04	-4,71	19,90	-3,87	29,40	-3,87	29,40	-5,7
25	-2,26	-4,48	13,60	-4,48	24,18	-3,05	13,60	-3,71	17,93	-3,05	26,34	-3,05	26,34	-4,5
26	-1,65	-3,27	12,16	-3,27	21,37	-2,22	12,16	-2,71	15,72	-2,22	23,14	-2,22	23,14	-3,3
27	-1,03	-2,05	10,70	-2,05	18,52	-1,40	10,70	-1,70	13,42	-1,40	19,88	-1,40	19,88	-2,1
28	-0,44	-0,88	9,21	-0,88	15,64	-0,60	9,21	-0,73	11,21	-0,60	16,64	-0,60	16,64	-0,9
29	0,24	0,12	7,80	0,12	12,76	0,12	7,76	0,12	9,11	0,12	13,45	0,12	13,45	0,1
30	1,29	0,65	6,74	0,65	9,96	0,65	6,52	0,65	7,21	0,65	10,41	0,65	10,41	0,6
31	2,21	1,12	5,57	1,12	7,10	1,12	5,19	1,12	5,34	1,12	7,34	1,12	7,34	1,1
32	3,02	1,52	4,27	1,52	4,14	1,52	3,75	1,52	3,49	1,52	4,23	1,52	4,27	1,5
33	3,69	1,86	3,69	1,00	2,51	0,43	3,05	1,00	2,51	0,98	2,51	0,42	3,69	0,4
34	4,16	2,10	4,16	-0,86	2,83	-2,83	3,45	-0,86	2,83	-0,98	2,83	-2,89	4,16	-2,9
35	4,45	2,24	4,45	-2,80	3,03	-6,16	3,68	-2,80	3,03	-2,95	3,03	-6,24	4,45	-6,2
36	4,50	2,27	4,50	-4,85	3,06	-9,59	3,72	-4,85	3,06	-4,94	3,06	-9,63	4,50	-9,6
37	4,31	2,17	4,31	-7,00	2,93	-13,11	3,57	-7,00	2,96	-7,00	2,95	-13,11	4,31	-13,1
38	3,89	1,96	3,89	-5,67	2,65	-10,77	3,22	-5,67	2,87	-5,67	2,76	-10,77	3,89	-10,8
39	3,14	1,58	3,14	-4,48	2,14	-8,52	2,60	-4,48	2,57	-4,48	2,35	-8,52	3,14	-8,5
40	2,11	1,06	2,11	-3,42	1,43	-6,41	1,75	-3,42	1,96	-3,42	1,70	-6,41	2,11	-6,4
41	0,79	0,40	0,79	-2,52	0,54	-4,47	0,66	-2,52	1,01	-2,52	0,77	-4,47	1,01	-4,5
42	-0,47	-0,93	-0,47	-2,24	-0,47	-2,82	-0,47	-2,08	-0,21	-1,95	-0,34	-2,82	-0,21	-2,8
43	-1,48	-2,94	-1,22	-2,94	-1,04	-2,00	-1,22	-2,44	-1,22	-2,09	-1,04	-2,04	-1,04	-2,9
44	-2,70	-5,36	-0,84	-5,36	0,40	-3,65	-0,84	-4,44	-0,84	-4,21	0,40	-3,93	0,40	-5,4
45	-4,11	-8,15	-0,65	-8,15	1,65	-5,55	-0,65	-6,75	-0,65	-6,72	1,65	-6,13	1,65	-8,2
46	-5,71	-11,33	-0,67	-11,33	2,69	-7,71	-0,67	-9,39	-0,67	-9,60	2,69	-8,66	2,69	-11,3
47	-7,52	-14,92	-0,90	-14,92	3,52	-10,15	-0,90	-12,36	-0,90	-12,87	3,52	-11,51	3,52	-14,9
48	-9,54	-12,88	-9,54	-16,54	4,13	-12,88	-1,34	-15,68	-1,34	-16,54	4,13	-14,71	4,13	-16,5
49	-11,79	-23,38	-2,02	-23,38	4,50	-15,91	-2,02	-19,37	-2,02	-20,59	4,50	-18,25	4,50	-23,4
50	-14,24	-28,25	-2,92	-28,25	4,63	-19,22	-2,92	-23,40	-2,92	-25,00	4,63	-22,11	4,63	-28,3
51	-11,95	-23,70	-3,19	-23,70	2,65	-16,13	-3,19	-19,63	-3,19	-21,87	2,65	-19,00	2,65	-23,7

- **Ovojnica obremenitev**



Slika 5.13: Prikaz ovojnic notranjih sil

Mejno stanje uporabnosti

Pomike kontroliramo v začetnem in končnem času.

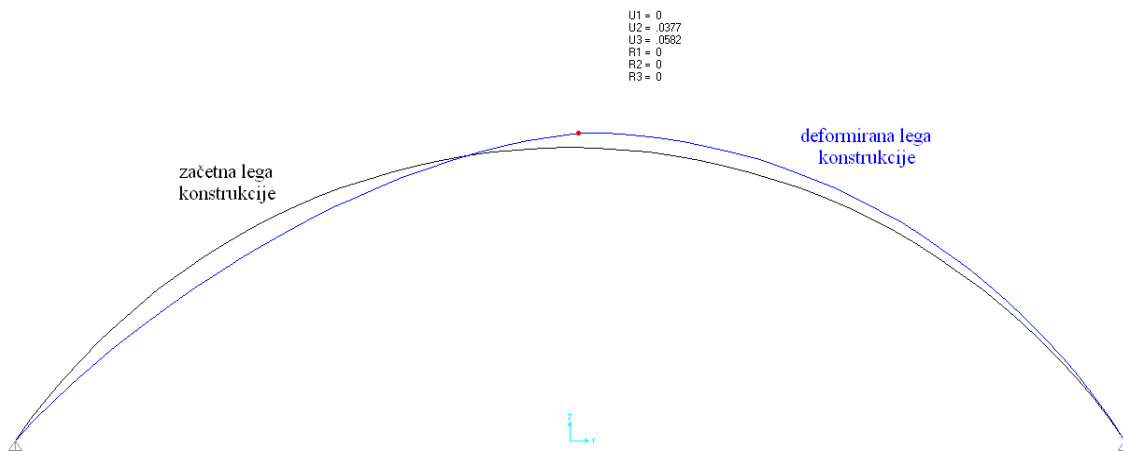
- **Karakteristična kombinacija vplivov za kontrolo pomikov v začetnem času**

$$\sum_{j \geq 1} G_{k,i} + Q_{k,1} + \sum_{j \geq 1} \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i} \quad (5.5)$$

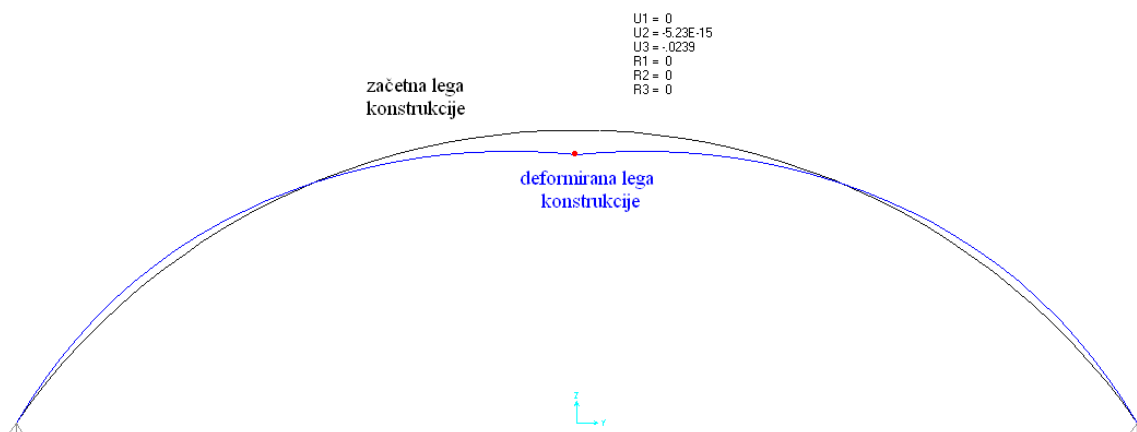
$$MSU1 = 1,0 \cdot G + 1,0 \cdot Q_w$$

$$MSU2 = 1,0 \cdot G + 1,0 \cdot Q_{s1}$$

Pomiki konstrukcije



Slika 5.14: Deformirana konstrukcija in pomiki na vrhu za obtežno kombinacijo *MSU1*



Slika 5.15: Deformirana konstrukcija in pomiki na vrhu za obtežno kombinacijo *MSU2*

Kontrola pomikov v končnem času

Za izračun pomikov v končnem času potrebujemo podatek o lezenju lesa. V EC5 je slednje zajeto z deformacijskim faktorjem k_{def} , ki predstavlja končno lezenje in upošteva vrsto ter vlažnost lesa. Trajanje spremenljivih obtežb je zajeto z faktorjem Ψ_2 .

Končne pomike se lahko določi z naslednjim poenostavljenim izrazom:

$$w_{fin} = w_{fin,G} + w_{fin,Q,1} + \sum w_{fin,Q,i}, \quad (5.6)$$

kjer so:

$$w_{fin,G} = w_{inst,G} \cdot (1 + k_{def})$$

končni pomik zaradi stalnih vplivov G,

$$w_{fin,Q,1} = w_{inst,Q,1} \cdot (1 + \Psi_{2,1} \cdot k_{def})$$

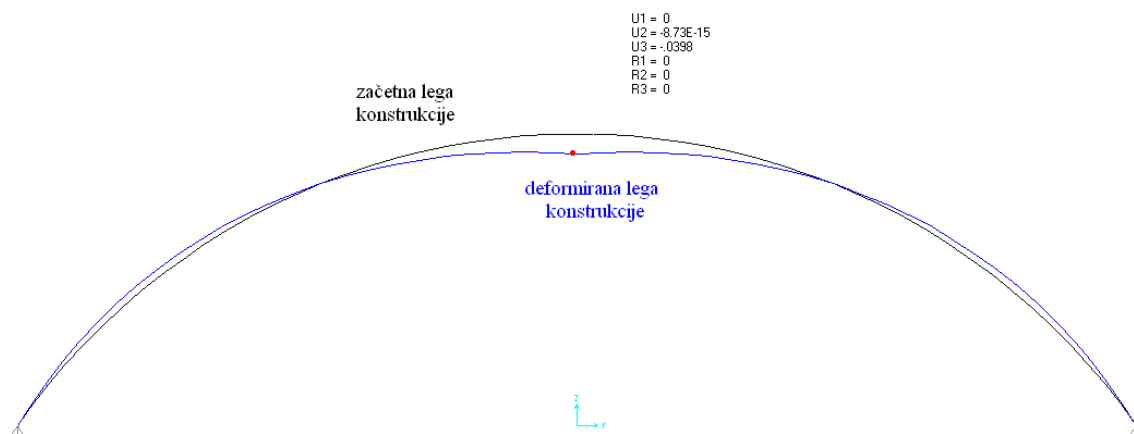
končni pomik zaradi prevladujočega
spremenljivega vpliva Q_1 in

$$w_{fin,Q,i} = \sum w_{inst,Q,i} \cdot (\Psi_{0,i} + \Psi_{2,i} \cdot k_{def})$$

končni pomik zaradi spremljajočih spremenljivih
vplivov $Q_i (i > 1)$.

Preverjal bom končne pomike, zaradi stalne obtežbe in obtežbe nenakopičenega snega, saj je ta pomik največji.

$$\begin{aligned} MSU_{fin} &= 1,0 \cdot G \cdot (1 + k_{def}) + 1,0 \cdot Q_{s1} \cdot (1 + \Psi_{2,1} \cdot k_{def}) \\ &= 1,0 \cdot G \cdot (1 + 0,8) + 1,0 \cdot Q_{s1} \cdot (1 + 0 \cdot 0,8) = 1,8 \cdot G + 1,0 \cdot Q_{s1} \end{aligned}$$

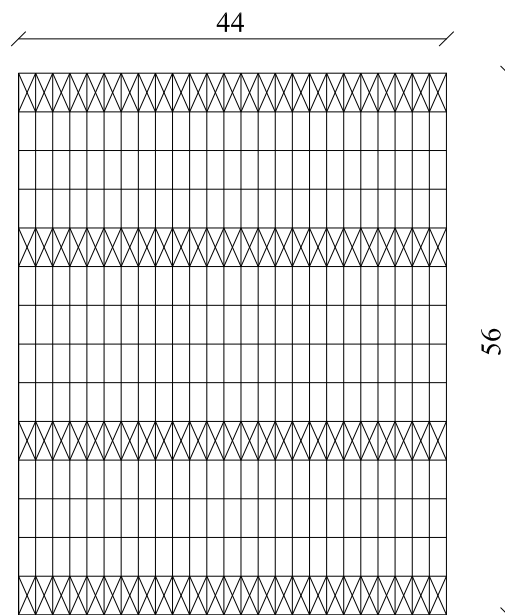


Slika 5.16: Deformirana konstrukcija in pomiki na vrhu za obtežno kombinacijo MSU_{fin}

5.2 Zavarovalna konstrukcija

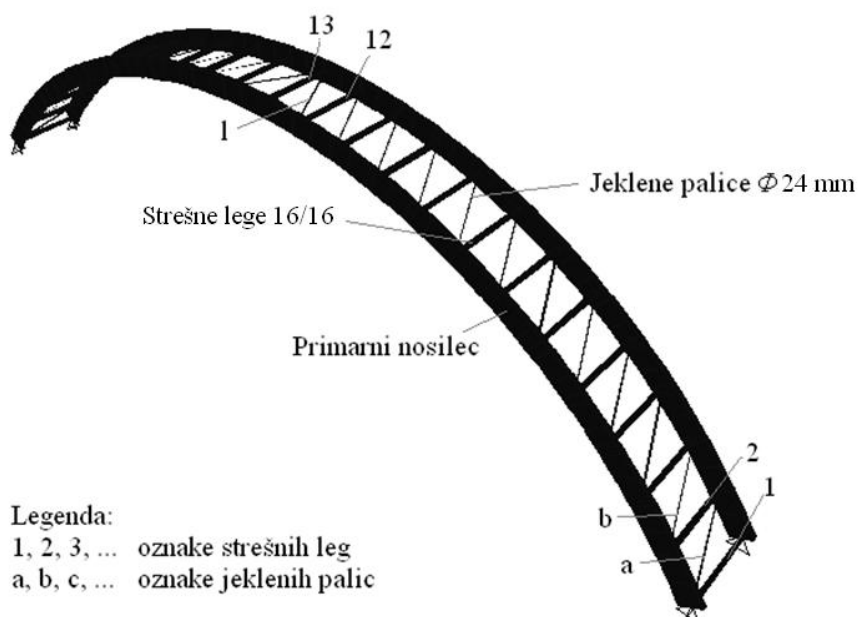
5.2.1 Zasnova

Zavarovalna konstrukcija služi za prevzem obtežb, ki delujejo v horizontalni smeri. Skupaj imamo štiri sklope povezij, ki so sestavljeni iz strešnih leg 16/16 (dolžine 3,8 m) in jeklenih palic $\Phi 24$ (dolžine 4,37 m). Primer prikazuje slika 5.15.



Slika 5.17: Tlorisni pogled zavarovalne konstrukcije

Računski model



Slika 5.18: Zavarovalna konstrukcija

Pri računskem modelu zavarovalne konstrukcije je upoštevamo le natezno palico, saj se tlačena ukloni in ne pripomore k nosilnosti, zato jo izpustimo. V primeru da obtežba deluje z druge strani, se tudi palici zamenjata. Predpostavimo tudi, da pri prevzemu horizontalnih sil sodeluje vsaka druga strešna lega, ki so na medsebojni razdalji 2,064 m.

5.2.2 Obtežba, ki deluje na zavarovalno konstrukcijo

Na zavarovalno konstrukcijo deluje obtežba, zaradi:

- izbočnih sil,
- vetra in
- potresa.

5.2.2.1 Izbočna sila

Po standardu EC 1995-1-1 določimo nadomestno zvezno obtežbo q_d , ki je posledica izbočnih sil v tlačeni palici in deluje na zavarovalno konstrukcijo, po naslednjem izrazu:

$$q_d = k_l \cdot \frac{n \cdot N_d}{k_{f,3} \cdot l}, \quad (5.7)$$

kjer so:

$$k_l = \min \left\{ \sqrt{\frac{15}{l(m)}} = \min \left\{ \sqrt{\frac{15}{51,62}} = 0,539, \right. \right. \quad (5.8)$$

$N_d = 256,46 \text{ kN}$ povprečna osna sila v nosilcu,

$l = 51,62 \text{ m}$ dolžina zavarovalne konstrukcije po loku,

$k_{f,3} = 30$ modifikacijski faktor in

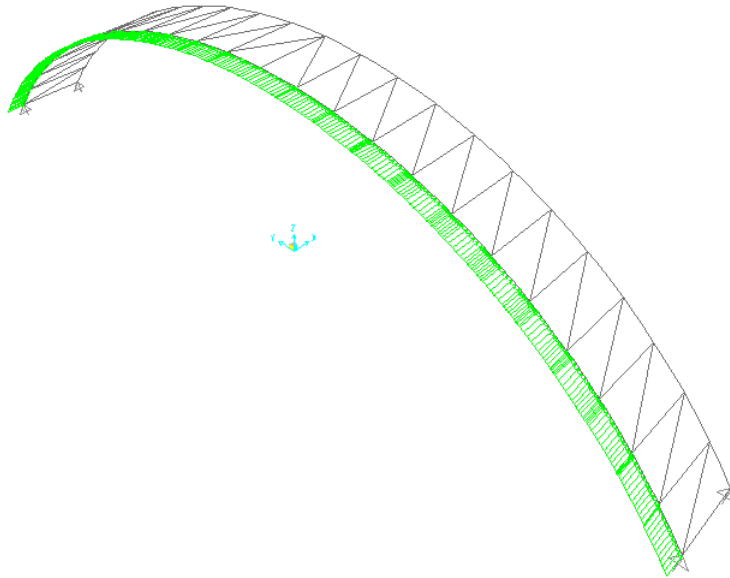
n število paličnih nosilcev, ki jih zajamemo z eno zavarovalno konstrukcijo.

$$n = \frac{15}{4} = 3,75 \rightarrow \text{sem na varni strani če vzamem } 4$$

$$q_d = 0,539 \cdot \frac{4 \cdot 256,46 \text{ kN}}{30 \cdot 51,62 \text{ m}} = 0,357 \text{ kN/m}$$

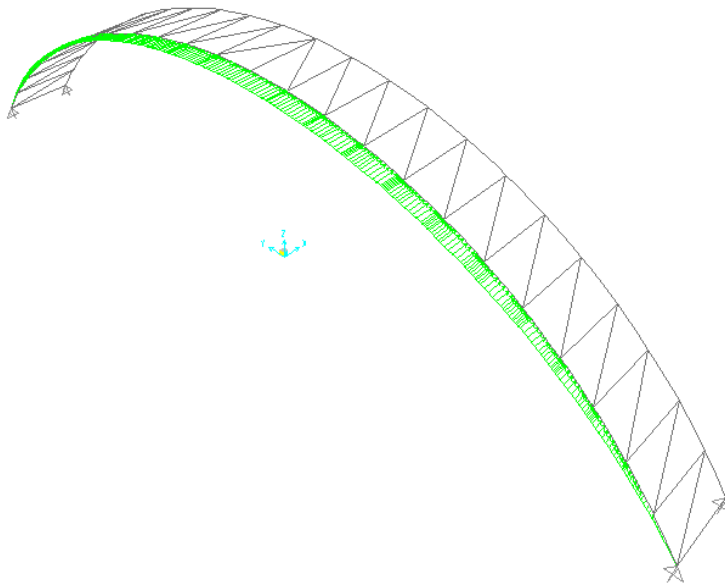
5.2.3 Postavitve obtežbe na konstrukcijo v programu SAP2000

- Izbočna sila ($q_d = 0,357 \text{ kN/m}$):



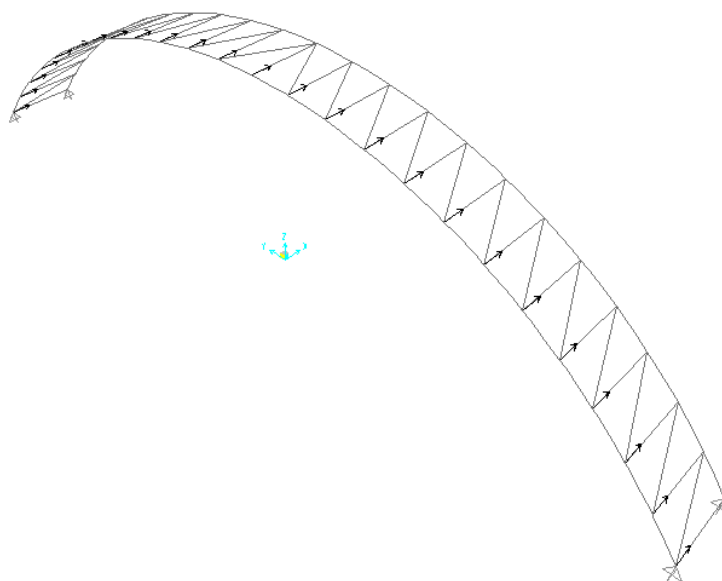
Slika 5.19: Prikaz postavitve izbočne sile

- Veter (preglednica 4.4):



Slika 5.20: Prikaz postavitve obtežbe vetra

- Potres ($F_b = 4,761 \text{ kN}$):



Slika 5.21: Prikaz postavitve potresne obtežbe

5.2.4 Razporednici obremenitev jeklenih palic in strešnih leg

Preglednica 5.6: Razporednici obremenitev jeklenih palic in strešnih leg

Jeklene palice:

Oznaka	Izbočne sile (q_d)	Veter (Q_w)	Potres (F_b)
	N_{ed} [kN]	N_{ed} [kN]	N_{ed} [kN]
a	10,36	49,12	63,88
b	9,008	46,03	56,22
c	8,461	45,86	52,81
d	7,260	41,52	45,30
e	6,533	39,01	40,56
f	5,599	34,78	34,68
g	4,714	30,25	29,05
h	3,835	25,28	23,45
i	2,969	20,00	17,89
j	2,111	14,44	12,49
k	1,278	8,840	6,28
l	0,362	2,520	2,703

Strešne lege:

Oznaka	Izbočne Sile (q_d)	Veter (Q_w)	Potres (F_b)
	N_{ed} [kN]	N_{ed} [kN]	N_{ed} [kN]
1	0	0	0
2	-8,762	-41,43	-54,05
3	-8,184	-41,69	-51,03
4	-7,273	-39,44	-45,36
5	-6,485	-37,06	-40,43
6	-5,725	-34,20	-35,50
7	-4,927	-30,60	-30,45
8	-4,149	-26,63	-25,49
9	-3,38	-22,29	-20,59
10	-2,622	-17,66	-15,74
11	-1,873	-12,81	-10,64
12	-1,105	-7,636	-6,35
13	-0,712	-4,945	-4,761

5.2.5 Kombinacije vplivov

Mejno stanje nosilnosti

Merodajna je naslednja kombinacija:

$$\sum_{j \geq 1} \gamma_{G,i} \cdot G_{k,i} + \gamma_{Q,1} \cdot Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \cdot \psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

1. Med seboj kombiniramo osni sili, ki ju povzroča obtežba vetra in izbočna sila, z naslednjo kombinacijo:

$$MSN1: 1,35 \cdot q_d + 1,5 \cdot Q_w.$$

2. Osa sila zaradi potresne sile velja kot nezgodni vpliv, za katerega velja naslednja kombinacija:

$$MSN2: 1,0 \cdot q_d + 1,0 \cdot F_b.$$

Preglednica 5.7: Projektne vrednosti osnih sil za kombinaciji MSN v kN

Jeklene palice:

Palica	Kombinaciji	
	MSN1	MSN2
a	87,67	74,2
b	81,21	65,22
c	80,21	61,27
d	72,08	52,56
e	67,33	47,10
f	59,73	40,28
g	51,73	33,76
h	43,10	27,28
i	34,00	20,86
j	24,51	14,60
k	14,99	7,55
l	4,27	3,065

Strešne lege:

Str. lega	Kombinaciji	
	MSN1	MSN2
1	0	0
2	-73,97	-62,82
3	-73,58	-59,22
4	-68,98	-52,64
5	-64,34	-46,91
6	-59,02	-41,22
7	-52,55	-35,38
8	-45,54	-29,64
9	-37,99	-23,97
10	-30,03	-18,37
11	-21,74	-12,51
12	-12,95	-7,455
13	-8,379	-5,473

Mejno stanje uporabnosti

Upoštevamo samo pomike v začetnem času z izrazom:

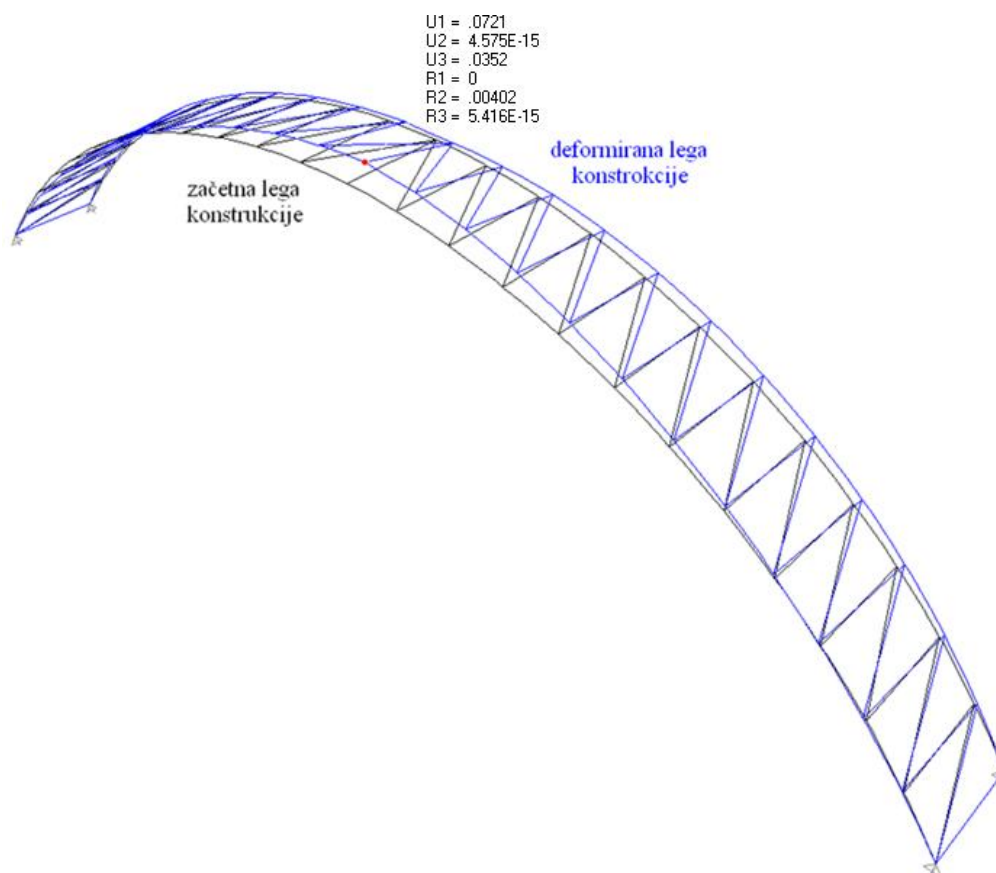
$$\sum_{j \geq 1} G_{k,i} \cdot Q_{k,1} + \sum_{j \geq 1} \Psi_{0,i} \cdot Q_{k,i}$$

$$MSU1: 1,0 \cdot q_d + 1,0 \cdot Q_w$$

$$MSU2: 1,0 \cdot q_d + 1,0 \cdot F_b$$

Lastna in stalna obtežba mi v tem primeru zmanjšujeta pomike, tako da smo na varni strani če ju ne upoštevamo.

- Pomiki konstrukcije



Slika 5.22: Deformirana konstrukcija in pomiki na vrhu za obtežno kombinacijo MSU2

6 DIMENZIONIRANJE

6.1 Primarni nosilec

Podatki

Les: GL 32h

$$\alpha = 55,2^\circ$$

$$r = 26,79 \text{ m}$$

$$r_{in} = 26,29 \text{ m}$$

$$h_{ap} = 1 \text{ m}$$

$$t = 0,025 \text{ m}$$

$$l = 44 \text{ m}$$

$$b = 0,2 \text{ m}$$

$$A = b \cdot h_{ap} = 0,2 \cdot 1 = 0,2 \text{ m}^2$$

$$W_y = \frac{b \cdot h_{ap}^2}{6} = \frac{0,2 \cdot 1^2}{6} = 0,03333 \text{ m}^3$$

Lastnosti lesa GL 32h (preglednica 2.1)

$$f_{m,g,k} = 32 \text{ N/mm}^2 \quad \rightarrow \quad \text{upogibna trdnost}$$

$$f_{v,g,k} = 3,8 \text{ N/mm}^2 \quad \rightarrow \quad \text{strižna trdnost}$$

$$f_{c,90,g,k} = 3,3 \text{ N/mm}^2 \quad \rightarrow \quad \text{tlačna trdnost}$$

$$f_{c,0,g,k} = 29 \text{ N/mm}^2 \quad \rightarrow \quad \text{tlačna trdnost}$$

$$f_{t,90,g,k} = 0,5 \text{ N/mm}^2 \quad \rightarrow \quad \text{natezna trdnost}$$

Modifikacijski faktorji

$$\gamma_M = 1,25 \text{ (preglednica 2.3)}$$

$$k_{mod} = 0,9 \text{ (preglednica 2.4)}$$

$$k_h = 1 \quad \rightarrow \quad h_{ap} > 600 \text{ mm (enačba 2.13)}$$

$$k_{def} \quad \rightarrow \quad \text{preglednica 2.5 odvisno od razreda uporabnosti}$$

$$k_{c,90} = 1$$

Enačba 2.3:

$$k_l = 1 + 0,35 \cdot \left(\frac{1}{26,79}\right) + 0,6 \cdot \left(\frac{1}{26,79}\right)^2 = 1,0139$$

$$k_1 = 1$$

$$k_2 = 0,35$$

$$k_3 = 0,6$$

$$k_4 = 0$$

Enačba 2.5:

$$k_r = 1 \rightarrow \text{ker je } \frac{26,79 \text{ m}}{0,025 \text{ m}} = 1071,6 \geq 240$$

Enačba 2.8:

$$k_p = 0,25 \cdot \left(\frac{1}{26,79}\right) = 0,00916$$

$$k_5 = 0$$

$$k_6 = 0,25$$

$$k_7 = 0$$

$k_{dis} = 1,4$ → ukrivljen nosilec s konstantno višino

Enačba 2.9:

$$k_{vol} = \left(\frac{V_0}{V}\right)^{0,2} = \left(\frac{0,001}{3,5}\right)^{0,2} = 0,310$$

$$V_0 = 0,001 \text{ m}^3$$

$$V_b = \frac{\beta \cdot \pi \cdot b}{180} \cdot (h_{ap}^2 + 2 \cdot r_{in} \cdot h_{ap}) = \frac{55,2 \cdot \pi \cdot 0,2}{180} \cdot (1 + 2 \cdot 26,79 \cdot 1) = 10,52 \text{ m}^3$$

V_b je tem primeru enak volumnu celotnega nosilca, ker pa je nosilec sestavljen iz dveh delov, je volumen enega dela enak $V_b = V_b/2$. Pozorni pa moramo biti na pogoj:

$$V \leq 2/3 \cdot V_b = 2/3 \cdot V_b/2.$$

Tako dobimo:

$$V = \frac{2 \cdot 10,52 \text{ m}^3}{3 \cdot 2} = 3,5 \text{ m}^3.$$

Projektne vrednosti upogibnih momentov, prečnih in osnih sil

Ekstremni osni sili (N_{Ed}) iz preglednice 5.3 + pripadajoče vrednosti.

	$[M1_{max}]$	$[M1_{min}]$
N_{Ed} [kN]	96,95	-256,5
V_{Ed} [kN]	40,53	21,18
M_{Ed} [kNm]	442,3	0

Ekstremni prečni sili (V_{Ed}) iz preglednice 5.4 + pripadajoče vrednosti.

	$[M2_{max}]$	$[M2_{min}]$
N_{Ed} [kN]	96,68	-30,58
V_{Ed} [kN]	52,29	-96,71
M_{Ed} [kNm]	396,30	0

Ekstremna upogibna momenta (M_{Ed}) iz preglednice 5.5 + pripadajoče vrednosti,

	$[M3_{max}]$	$[M3_{min}]$
N_{Ed} [kN]	79,12	-219,6
V_{Ed} [kN]	3,22	-3,11
M_{Ed} [kNm]	527,7	-95,02

kjer so:

N_{Ed} projektna vrednost osnih sil,

V_{Ed} projektna vrednost prečnih sil in

M_{Ed} projektna vrednost upogibnega momenta.

6.1.1 Kontrole napetosti

- **Upogibna napetost**

Upogibna napetost v temenskem območju (enačba 2.2):

$$M1_{max}: \sigma_{m,d} = 1,0139 \cdot \frac{6 \cdot 442,3 \text{ kNm}}{0,2 \text{ m} \cdot 1,0^2 \text{ m}^2} = 13453 \text{ kN/m}^2 = 13,453 \text{ N/mm}^2$$

$$M3_{max}: \sigma_{m,d} = 1,0139 \cdot \frac{6 \cdot 527,7 \text{ kNm}}{0,2 \text{ m} \cdot 1,0^2 \text{ m}^2} = 16051 \text{ kN/m}^2 = 16,051 \text{ N/mm}^2$$

Napetosti v prečnem prerezu zaradi osne sile izračunamo z izrazom:

$$\sigma_N = \frac{N_{Ed}}{A},$$

kjer so:

σ_N napetost zaradi osne sile,

N_{Ed} projektna osna sila in

A površina prečnega prereza.

$$M1_{max}: \sigma_N = \frac{96,95 \text{ kN}}{0,2 \text{ m}^2} = 485 \text{ kN/m}^2 = 0,485 \text{ kN/mm}^2$$

$$M3_{max}: \sigma_N = \frac{79,12 \text{ kN}}{0,2 \text{ m}^2} = 396 \text{ kN/m}^2 = 0,396 \text{ kN/mm}^2$$

Projektna upogibna trdnost:

$$f_{m,d} = \frac{f_{m,g,k} \cdot k_{mod} \cdot k_h}{\gamma_m} = \frac{32 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,9 \cdot 1}{1,25} = 23,04 \text{ N/mm}^2.$$

Interakcija upogibne napetosti in napetosti zaradi osne sile

$$\sigma_{m,d} + \sigma_N \leq k_r \cdot f_{m,d} \quad \rightarrow \quad k_r = 1$$

$$M1_{max}: 13,453 \text{ N/mm}^2 + 0,485 \text{ kN/mm}^2 = 13,938 \text{ N/mm}^2 \leq 23,04 \text{ N/mm}^2$$

$$M3_{max}: 16,051 \text{ N/mm}^2 + 0,396 \text{ kN/mm}^2 = 16,447 \text{ N/mm}^2 \leq 23,04 \text{ N/mm}^2$$

- **Natezna napetost pravokotno na vlakna**

Natezna napetost v temenskem območju (enačba 2.7):

$$M3_{max}: \sigma_{t,90,d} = 0,00933 \cdot \frac{6 \cdot 527,7 \text{ kNm}}{0,2 \text{ m} \cdot 1,0^2 \text{ m}^2} = 148 \text{ kN/m}^2 = 0,148 \text{ N/mm}^2$$

Projektna natezna trdnost pravokotno na vlakna:

$$f_{t,90,d} = \frac{f_{t,90,k} \cdot k_{mod} \cdot k_h}{\gamma_m} = \frac{0,5 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,9 \cdot 1}{1,25} = 0,36 \text{ N/mm}^2$$

V temenskem območju mora veljati pogoj (enačba 2.6):

$$\sigma_{t,90,d} \leq k_{vol} \cdot k_{dis} \cdot f_{t,90,k}$$

$$M3_{max}: \mathbf{0,148 \text{ N/mm}^2} \leq 0,310 \cdot 1,4 \cdot 0,36 \text{ N/mm}^2 = \mathbf{0,156 \text{ N/mm}^2}$$

- **Strižna napetost**

Strižna napetost ob podporah (enačba 2.11):

$$M2_{min}: \tau_{v,d} = \frac{3 \cdot 96,71}{2 \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ m}} = 725,3 \text{ kN/m}^2 = 0,7253 \text{ N/mm}^2$$

Projektna strižna napetost:

$$f_{v,d} = \frac{f_{v,g,k} \cdot k_{mod} \cdot k_h}{\gamma_m} = \frac{3,8 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,9 \cdot 1}{1,25} = 2,736 \text{ N/mm}^2$$

V temenskem območju mora veljati pogoj (enačba 2.10):

$$\tau_{v,d} \leq f_{v,d}$$

$$M2_{min}: \mathbf{0,7253 \text{ N/mm}^2} \leq \mathbf{2,736 \text{ N/mm}^2}$$

- **Kombinacija strižnih in nateznih napetosti v smeri pravokotno na vlakna**

Strižne napetosti

$$M1_{max}: \tau_{v,d} = \frac{3 \cdot 40,53}{2 \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ m}} = 304 \text{ kN/m}^2 = 0,304 \text{ N/mm}^2$$

$$M2_{max}: \tau_{v,d} = \frac{3 \cdot 52,29}{2 \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ m}} = 392 \text{ kN/m}^2 = 0,392 \text{ N/mm}^2$$

$$M3_{max}: \tau_{v,d} = \frac{3 \cdot 3,22}{2 \cdot 0,2 \text{ m} \cdot 1,0 \text{ m}} = 24,2 \text{ kN/m}^2 = 0,0242 \text{ N/mm}^2$$

Natezne napetosti v smeri pravokotno na vlakna

$$M1_{max}: \sigma_{t,90,d} = 0,00933 \cdot \frac{6 \cdot 442,3 \text{ kNm}}{0,2 \text{ m} \cdot 1,0^2 \text{ m}^2} = 124 \text{ kN/m}^2 = 0,124 \text{ N/mm}^2$$

$$M2_{max}: \sigma_{t,90,d} = 0,00933 \cdot \frac{6 \cdot 396,3 \text{ kNm}}{0,2 \text{ m} \cdot 1,0^2 \text{ m}^2} = 111 \text{ kN/m}^2 = 0,111 \text{ N/mm}^2$$

$$M3_{max}: \sigma_{t,90,d} = 0,00933 \cdot \frac{6 \cdot 527,7 \text{ kNm}}{0,2 \text{ m} \cdot 1,0^2 \text{ m}^2} = 148 \text{ kN/m}^2 = 0,148 \text{ N/mm}^2$$

V območju, ker se pojavijo strižne in natezne napetosti, moramo izpolniti pogoj (enačba 2.10):

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} + \frac{\sigma_{t,90,d}}{k_{dis} \cdot k_{vol} \cdot f_{t,90,d}} \leq 1.$$

$$M1_{max} :: \frac{0,304 \text{ N/mm}^2}{2,736 \text{ N/mm}^2} + \frac{0,124 \text{ N/mm}^2}{0,156 \text{ N/mm}^2} = \mathbf{0,906} \leq \mathbf{1}$$

$$M2_{max} :: \frac{0,392 \text{ N/mm}^2}{2,736 \text{ N/mm}^2} + \frac{0,111 \text{ N/mm}^2}{0,156 \text{ N/mm}^2} = \mathbf{0,855} \leq \mathbf{1}$$

$$M3_{max} :: \frac{0,0242 \text{ N/mm}^2}{2,736 \text{ N/mm}^2} + \frac{0,148 \text{ N/mm}^2}{0,156 \text{ N/mm}^2} = \mathbf{0,958} \leq \mathbf{1}$$

6.1.2 Kontrola pomikov

- **Začetni čas**

Za stavbe je omejitev pomikov na vrhu konstrukcije sledeča:

– ob upoštevanju kombinacije *MSN1* (slika 5.14)

$$u_{dej} = 0,0582 \text{ m} < u_{max} = \frac{L}{500} = 44 \frac{\text{m}}{500} = 0,088 \text{ m},$$

– ob upoštevanju kombinacije *MSN2* (slika 5.15)

$$u_{dej} = 0,0239 \text{ m} < u_{max} = \frac{L}{500} = 44 \frac{\text{m}}{500} = 0,088 \text{ m}.$$

- **Končni čas**

$$u_{fin} = 0,0398 \quad \rightarrow \text{slika 5.16}$$

$$u_{fin} = 0,0398 < u_{dop} = L/300 = 44 \text{ m}/300 = 0,147 \text{ m}$$

6.2 Zavarovalna konstrukcija

6.2.1 Dimenzioniranje jeklenih palic

Predpostavimo začetno dimenzijo jeklene palice $\Phi 24$, katero je potrebno preveriti ali je sposobna prevzeti največjo natezno silo iz kombinacije MSN (preglednica 5.7), ki nastopi v palici z oznako a (slika 5.18).

Podatki

$$N_{ed} = 87,67 \text{ kN}$$

Jeklo: S 235

$$f_y = 23,5 \text{ kN/cm}^2$$

$$\Phi = 24 \text{ mm}$$

$$A = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 2,4^2 \text{ cm}^2}{4} = 4,524 \text{ cm}^2$$

$$\gamma_{M0} = 1,0$$

Natezne napetosti v jeklenih palicah morajo izpolniti naslednji pogoj:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0.$$

$$N_{t,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{4,524 \text{ cm}^2 \cdot 23,5 \text{ kN/cm}^2}{1,0} = 106,31 \text{ kN}$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0 \rightarrow \frac{87,67 \text{ kN}}{106,31 \text{ kN}} = 0,825 \leq 1,0$$

Pogoj je izpolnjen, torej palica prenese projektno vrednost natezne osne sile.

6.2.2 Kontrola pomikov

Za stavbe je omejitev horizontalnih pomikov zavarovalne konstrukcije sledeča:

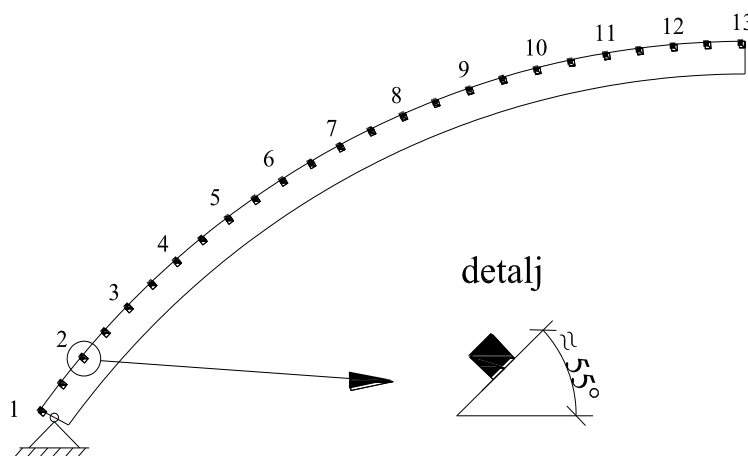
$$u_{dej} < u_{max} = L/500 = 51,62 \text{ m}/500 = 0,1032 \text{ m}.$$

Dejanski začetni pomik je 0,0721 m (slika 5.22), kar pomeni da je pogoj izpolnjen in je s tem zavarovalna konstrukcija dovolj toga.

6.3 Strešne lege

Zasnova

Za strešne lege uporabimo grede 16/16 cm, ki so v prečni smeri na razdalji približno 1 m in imajo dolžino 3,8 m. Strešne lege so tudi sestavni del povezja (tu so lege tlačno obremenjene), tako moramo pri dimenzioniranju poleg upogibnega momenta preveriti tlačno silo dobljeno iz kombinacije MSN (preglednica 5.7). Strešne lege so vzdolž nosilca razporejene kot prikazuje spodnja slika 6.1, preverjal bom legi z oznako 2 in 13.



OPOMBA: Označene so le strešne lege uporabljene pri horizontalnem povezju.

Slika 6.1: Postavitev strešnih leg

Podatki

$$L = l_u = 3,8 \text{ m} = 380 \text{ cm}$$

$$b = h = 16 \text{ cm}$$

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

$$\gamma = 4,2 \text{ kN/m}^3$$

$$A = b \cdot h = 16 \text{ cm} \cdot 16 \text{ cm} = 256 \text{ cm}^2$$

$$W_y = W_z = W = \frac{b \cdot h^2}{6} = \frac{16 \text{ cm} \cdot 16 \text{ cm}^2}{6} = 682,67 \text{ cm}^3$$

$$I_z = I_y = I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{16 \text{ cm} \cdot 16 \text{ cm}^3}{12} = 5461,33 \text{ cm}^4$$

Les C24 (EN 338)

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

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

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

Obtežba

V prečni smeri delujejo na strešno lego:

- lastna teža,
- obtežba vetra in
- obtežba snega.

- **Lastna teža**

Upoštevamo lastno težo strešne lege in težo konstrukcijskih sklopov.

Vplivna širina $e_n = 1 \text{ m}$.

Vrsta elementa in dimenzije	γ [kN/m^3]	A [m^2]	Izračun	g_i [kN/m]
Toplotna izolacija: 20 cm	0,6	0,2	$0,6 \cdot 0,20 =$	0,12 kN/m
Opažne deske: 2,5 cm	4,2	0,025	$4,2 \cdot 0,025 =$	0,105 kN/m
Opažne deske: 2,5 cm	4,2	0,025	$4,2 \cdot 0,025 =$	0,105 kN/m
Leseni plohi: 20/5 cm ($e = 1 \text{ m}$)	4,2	0,01	$4,2 \cdot 0,01 \cdot (1/1) =$	0,042 kN/m
Strešne lege: 16/16 cm ($e = 1 \text{ m}$)	4,2	0,0256	$4,2 \cdot 0,0256 \cdot (1/1) =$	0,108 kN/m
Bakrena pločevina: 1,5 mm	89	0,0015	$89 \cdot 0,0015 =$	0,134 kN/m

Celotna teža: $g = 0,614 \text{ kN/m}$

- **Obtežba vetra**

Obtežba vetra, ki deluje na konstrukcijo, je izračunana v poglavju 4.2.3.1 in sicer pri tem vzamemo vrednost obtežbe vetra v področju A, ki deluje na lego 2 in B, ki deluje na lego 13.

A: $w = 0,418 \cdot 1,724 \text{ kN/m}^2 = 0,7206 \text{ kN/m}^2$

Na vplivni širini $e_n = 1\text{m}$:

A: $w = 0,418 \cdot 1,724 \text{ kN/m}^2 \cdot 1 \text{ m} = \mathbf{0,7206 \text{ kN/m}}$

B: $w = -0,961 \cdot 1,724 \text{ kN/m}^2 = -1,657 \text{ kN/m}^2$

Na vplivni širini $e_n = 1\text{m}$:

B: $w = -0,961 \cdot 1,724 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \cdot 1 \text{ m} = \mathbf{-1,657 \text{ kN/m}}$

- **Obtežba snega**

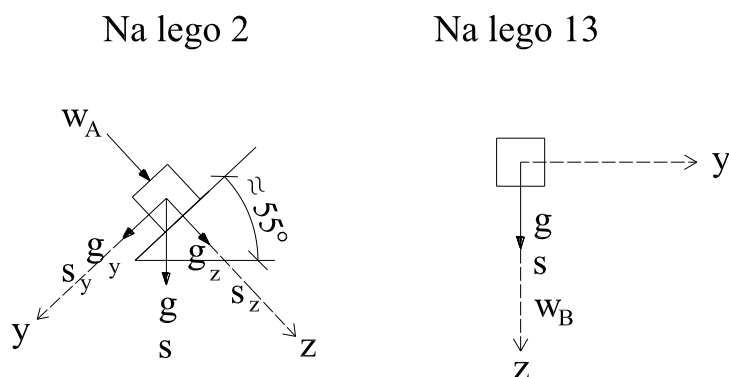
Upoštevamo le obtežbo nenakopičenega snega, ker je za obravnavani legi najbolj neugodna.

$s' = 0,2891 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,8 \cdot 1,0 \cdot 0,8 = 0,18505 \text{ kN/m}^2$

Na vplivni širini $e_n = 1\text{m}$:

$s = s' \cdot e_n = 0,18505 \text{ kN/m}^2 \cdot 1 \text{ m} = \mathbf{0,18505 \text{ kN/m}}$

Delovanje obtežb



Slika 6.2: Prikaz delovanja obtežb na strešni legi 2 in 13

Vrednosti obtežb:

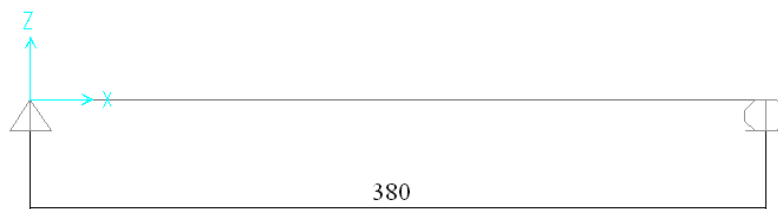
$$g_z = \cos \alpha \cdot g = \cos 55 \cdot 0,614 = 0,352 \text{ k/Nm}$$

$$g_y = \sin \alpha \cdot g = \sin 55 \cdot 0,614 = 0,503 \text{ k/Nm}$$

$$s_z \approx \cos \alpha \cdot s = \cos 55 \cdot 0,18505 = 0,106 \text{ k/Nm}$$

$$s_y \approx \sin \alpha \cdot s = \sin 55 \cdot 0,18505 = 0,152 \text{ k/Nm}$$

Obremenitev strešne lege



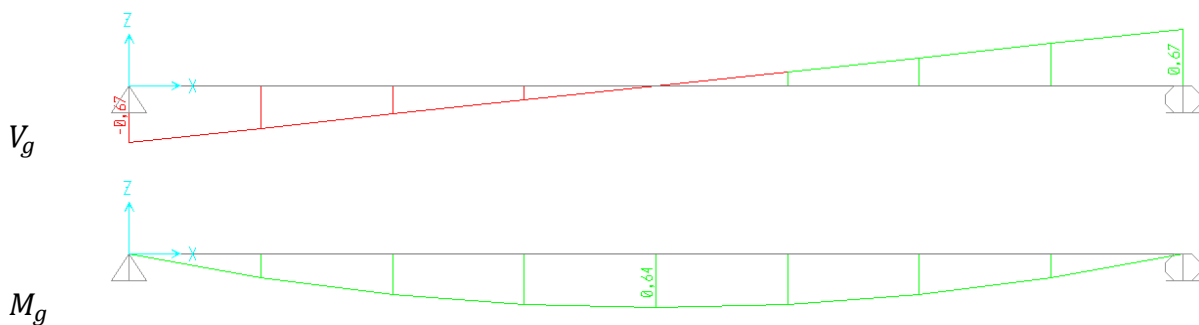
Slika 6.3: Računski model strešnih leg

- **Lega 2**

V tej legi imamo opravka z dvoosnim upogibom, saj zaradi nagnjenosti strešne lege obtežba deluje v dveh smereh.

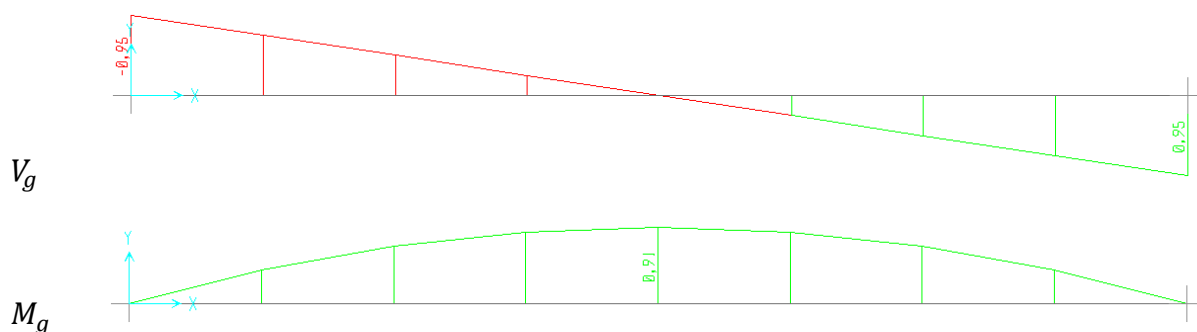
- Lastna teža

Ravnina xz:



Slika 6.4: Prikaz prečne sile v z smeri in upogibnega momenta okoli y osi zaradi lastne teže

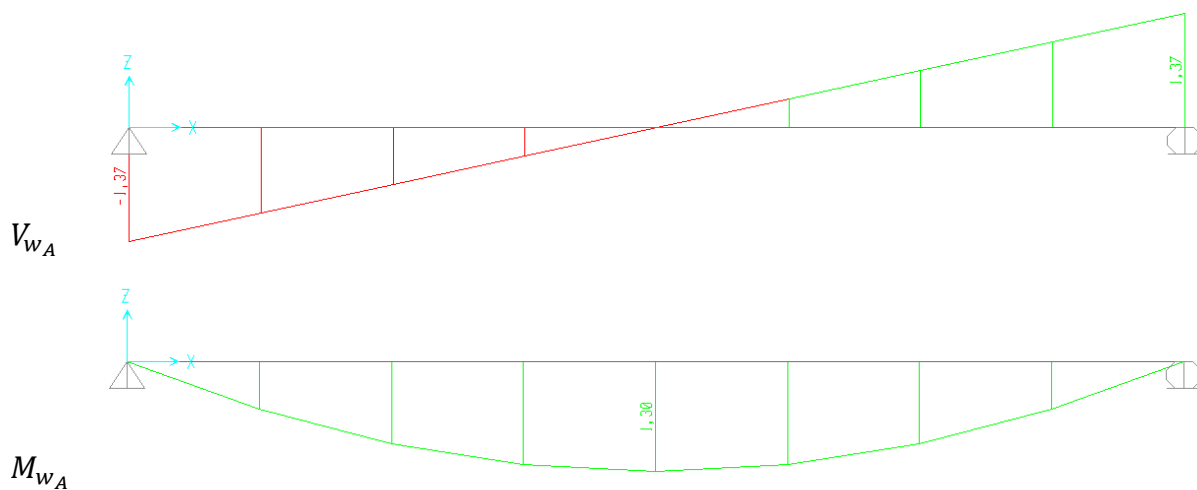
Ravnina xy:



Slika 6.5: Prikaz prečne sile v y smeri in upogibnega momenta okoli z osi zaradi lastne teže

– Obtežba vetra

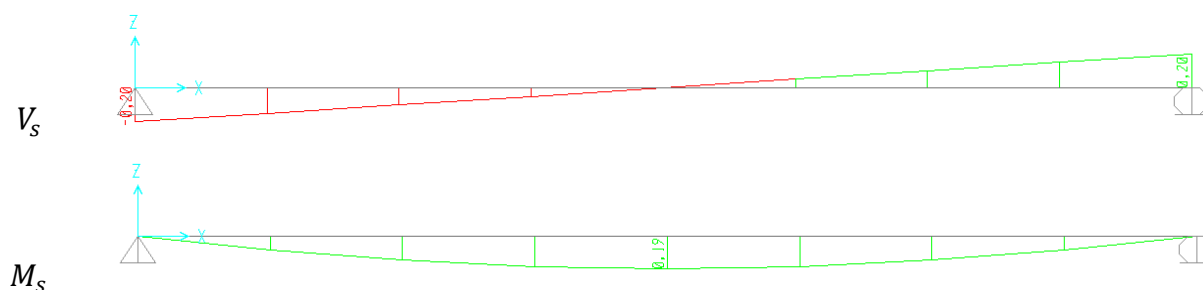
Ravnina xz:



Slika 6.6: Prikaz prečne sile v z smeri in upogibnega momenta okoli y osi zaradi obtežbe vetra

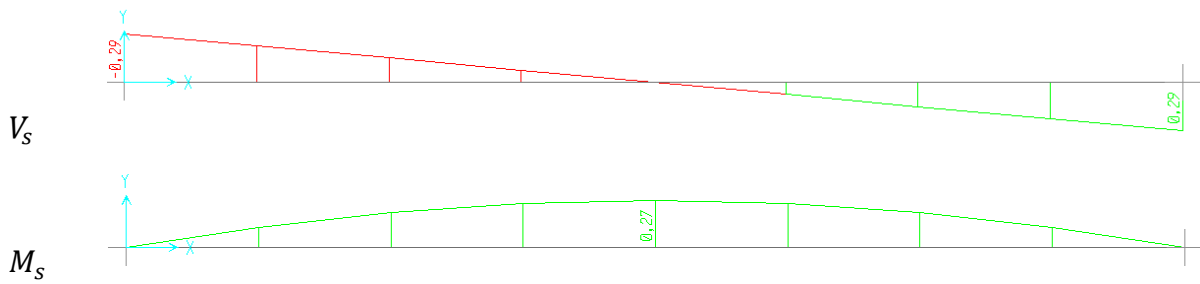
– Obtežba snega

Ravnina xz:



Slika 6.7: Prikaz prečne sile v z smeri in upogibnega momenta okoli y osi zaradi obtežbe snega

Ravnina xy:

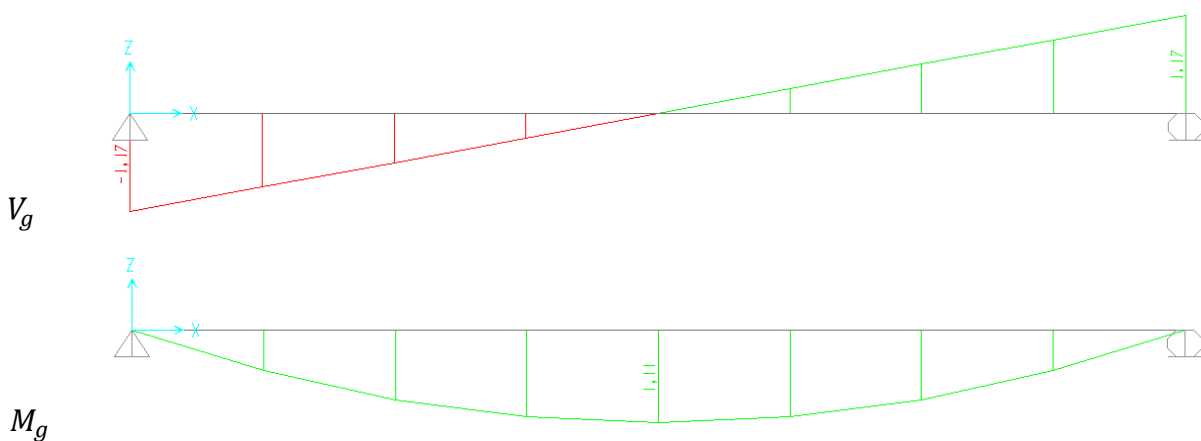


Slika 6.8: Prikaz prečne sile v y smeri in upogibnega momenta okoli z osi zaradi obtežbe snega

- **Leg 13**

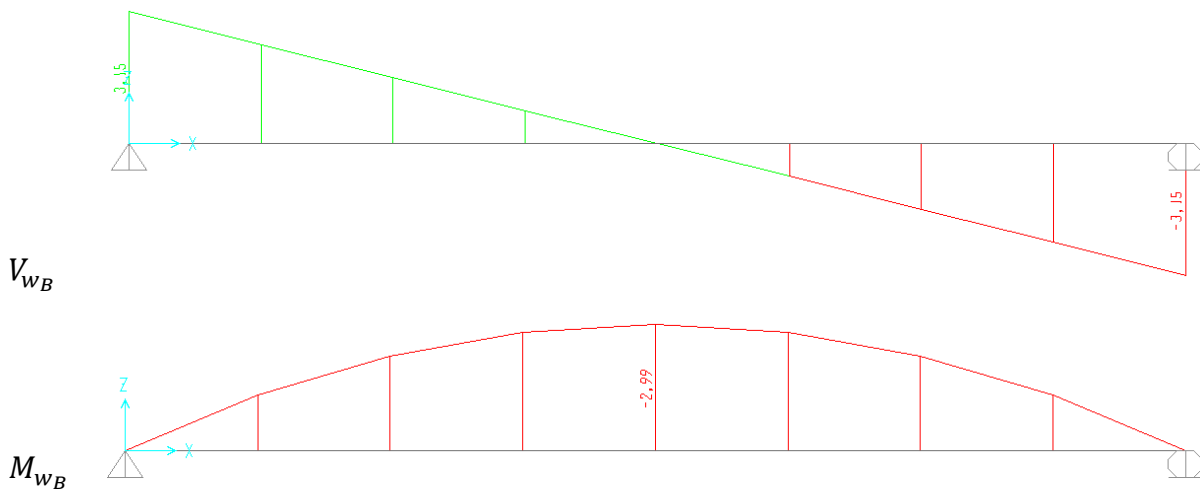
Na lego 13 vsa obtežba deluje v smeri z.

- Lastna teža



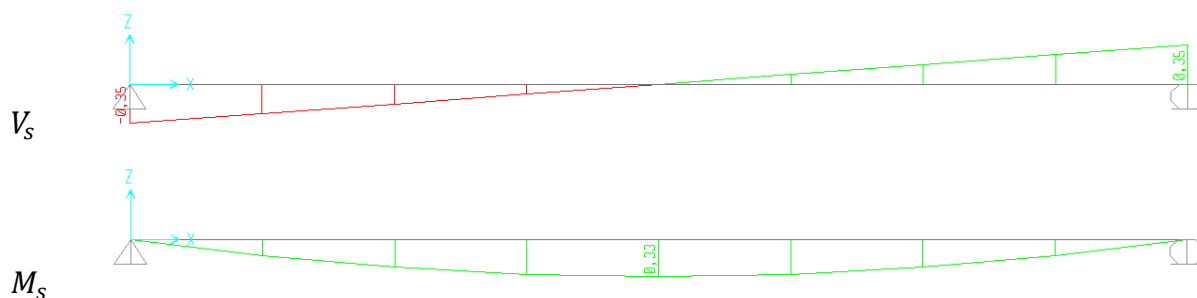
Slika 6.9: Prikaz prečne sile v z smeri in upogibnega momenta okoli y osi zaradi lastne teže

- Obtežba vetra



Slika 6.10: Prikaz prečne sile in upogibnega momenta zaradi obtežbe vetra

- Obtežba snega



Slika 6.11: Prikaz prečne sile in upogibnega momenta zaradi obtežbe snega

Kombinacije vplivov

Na podlagi enačbe 5.4 dobimo naslednje kombinacije, katere nam podajo maksimalne vrednosti prečnih sil in upogibnih momentov.

- Za lego 2.

$$MSN1: 1,35 \cdot G_g + 1,5 \cdot Q_{wA} + 0,5 \cdot 1,5 \cdot Q_s$$

$$\text{prečna sila } V_{Ed,z}: \rightarrow 1,35 \cdot 0,67 + 1,5 \cdot 1,37 + 0,5 \cdot 1,5 \cdot 0,2 = 3,11 \text{ kN}$$

$$\text{upogibni moment } V_{Ed,y}: \rightarrow 1,35 \cdot 0,96 + 0,5 \cdot 1,5 \cdot 0,29 = 1,514 \text{ kN}$$

$$M_{Ed,y}: \rightarrow 1,35 \cdot 0,64 + 1,5 \cdot 1,3 + 0,5 \cdot 1,5 \cdot 0,19 = 2,957 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z}: \rightarrow 1,35 \cdot 0,91 + 0,5 \cdot 1,5 \cdot 0,27 = 1,431 \text{ kNm}$$

$$MSN2: 1,35 \cdot G_g + 1,5 \cdot Q_s$$

$$\text{prečna sila } V_{Ed,z}: \rightarrow 1,35 \cdot 0,67 + 1,5 \cdot 0,2 = 1,21 \text{ kN}$$

$$V_{Ed,y}: \rightarrow 1,35 \cdot 0,96 + 1,5 \cdot 0,29 = 1,73 \text{ kN}$$

$$\text{upogibni moment } M_{Ed,y}: \rightarrow 1,35 \cdot 0,64 + 1,5 \cdot 0,19 = 1,15 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed,z}: \rightarrow 1,35 \cdot 0,91 + 1,5 \cdot 0,27 = 1,634 \text{ kNm}$$

- Za lego 13.

$$MSN3: 1,35 \cdot G_g + 1,5 \cdot Q_s$$

$$\text{prečna sila } V_{Ed}: \rightarrow 1,35 \cdot 1,17 + 1,5 \cdot 0,35 = 2,11 \text{ kN}$$

$$\text{upogibni moment } M_{Ed}: \rightarrow 1,35 \cdot 1,11 + 1,5 \cdot 0,33 = 1,99 \text{ kNm}$$

$$MSN4: 1,0 \cdot G_g + 1,5 \cdot Q_{wB}$$

$$\text{prečna sila} \quad V_{Ed}: \rightarrow 1,0 \cdot 1,17 + 1,5 \cdot (-3,15) = -3,555 \text{ kN}$$

$$\text{upogibni moment} \quad M_{Ed}: \rightarrow 1,0 \cdot 1,11 + 1,5 \cdot (-2,99) = -3,375 \text{ kNm}$$

Upogibna obremenitev strešne lege

- **Lega 2**

Projektna upogibna napetost v obeh smereh.

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed,y}}{W} = \frac{295,7 \text{ kNcm}}{682,67 \text{ cm}^3} = 0,433 \text{ kN/cm}^2 = 4,33 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{Ed,z}}{W} = \frac{143,1 \text{ kNcm}}{682,67 \text{ cm}^3} = 0,210 \text{ kN/cm}^2 = 2,10 \text{ N/mm}^2$$

- **Lega 13**

$$\sigma_{m,z,d} = \frac{M_{Ed}}{W} = \frac{337,5 \text{ kNcm}}{682,67 \text{ cm}^3} = 0,494 \text{ kN/cm}^2 = 4,94 \text{ N/mm}^2$$

Tlačna obremenitev strešne lege

V standardu EN 1995-1-1:2005 so podane naslednje omejitve:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A} \leq \begin{cases} f_{c,0,d} & \text{v primeru, da je } \lambda_{rel} \leq 0,3 \\ k_c \cdot f_{c,0,d} & \text{v primeru, da je } \lambda_{rel} > 0,3. \end{cases}$$

Pri tem je λ_{rel} relativna vitkost elementa, k_c ($k_{c,y}$, $k_{c,z}$) pa uklonski koeficient, ki je odvisen od λ_{rel} . Relativna vitkost λ_{rel} je odvisna od vitkosti elementa λ in od trdnostnega razreda izbranega lesa ter jo izračunamo po naslednjem izrazu:

$$\lambda_{rel,z} = \lambda_{rel,y} = \lambda_{rel} = \frac{\lambda}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{E_{0,005}}} = \frac{82,27}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{2,1 \text{ kN/cm}^2}{740 \text{ kN/cm}^2}} = 1,395,$$

$$\lambda_z = \lambda_y = \lambda = \frac{l_u}{i} = \frac{380 \text{ cm}}{4,619 \text{ cm}} = 82,27,$$

$$i_z = i_y = i = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{5461,33 \text{ cm}^4}{256 \text{ cm}^2}} = 4,619 \text{ cm},$$

kjer so:

λ_z vitkost elementa okoli osi z (indeks z pomeni, da se element ukloni okoli osi z oziroma se pomakne v smeri osi y),

λ_y vitkost elementa okoli osi y (indeks y pomeni, da se element ukloni okoli osi y oziroma se pomakne v smeri osi z) in

k_c je koeficient določen z naslednjimi izrazi:

$$k_{c,z} = k_{c,y} = \frac{1}{k + \sqrt{k^2 - \lambda_{rel}^2}} = \frac{1}{1,583 + \sqrt{1,583^2 - 1,395^2}} = 0,429$$

$$k_z = k_y = k = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel} - 0,3) + \lambda_{rel}) = \\ = 0,5 \cdot (1 + 0,2 \cdot (1,395 - 0,3) + 1,395) = 1,583$$

$$\beta_c = \begin{cases} 0,2 & \text{za masivni les} \\ 0,1 & \text{za lepljen lameliran les} \end{cases} \rightarrow \beta_c = 0,2.$$

- **Lega 2**

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{73,97 \text{ kN}}{256 \text{ cm}^2} = 0,289 \text{ kN/cm}^2 = 2,89 \text{ N/mm}^2$$

- **Lega 13**

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{8,38 \text{ kN}}{256 \text{ cm}^2} = 0,033 \text{ kN/cm}^2 = 0,33 \text{ N/mm}^2$$

Kombinacija upogiba in tlaka

Izpolniti moramo naslednji pogoj:

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

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

Projektne vrednosti tlačne in upogibne trdnosti sta:

$$f_{m,d} = 1,477 \text{ kN/cm}^2 = 14,77 \text{ N/mm}^2 \text{ in}$$

$$f_{c,0,d} = 1,292 \text{ kN/cm}^2 = 12,92 \text{ N/mm}^2.$$

$$\lambda_{rel} > 0,3 \quad \rightarrow \quad k_c \cdot f_{c,0,d} = 0,429 \cdot 1,292 = 0,554 \text{ kN/cm}^2 = 5,54 \text{ N/mm}^2$$

- **Lega 2**

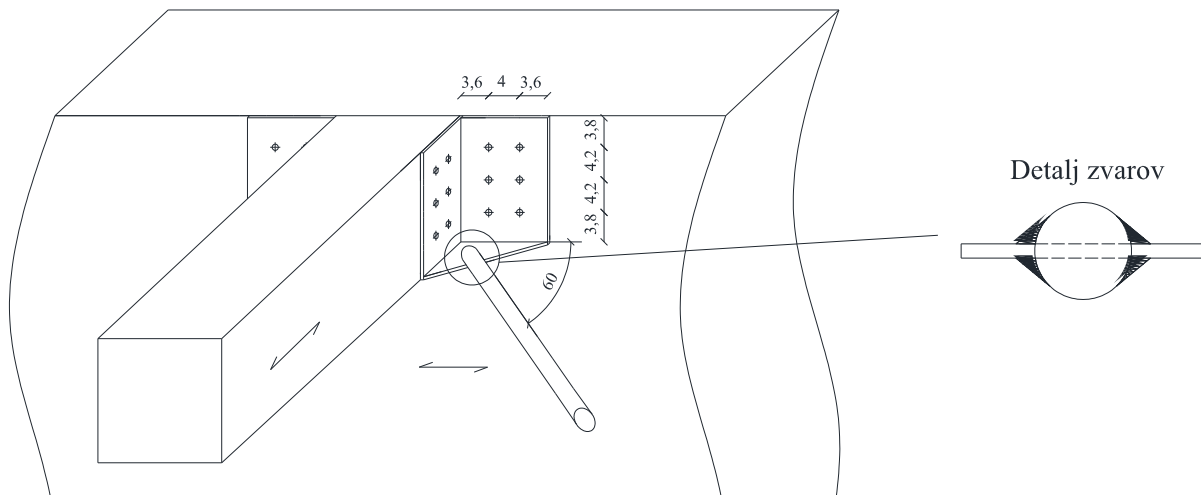
$$\frac{2,89 \text{ N/mm}^2}{5,54 \text{ N/mm}^2} + \frac{4,33 \text{ N/mm}^2}{14,77 \text{ N/mm}^2} + 0,7 \cdot \frac{2,10 \text{ N/mm}^2}{14,77 \text{ kN/mm}^2} = \mathbf{0,914} \leq \mathbf{1}$$

$$\frac{2,89 \text{ N/mm}^2}{5,54 \text{ N/mm}^2} + \frac{2,10 \text{ N/mm}^2}{14,77 \text{ N/mm}^2} + 0,7 \cdot \frac{4,33 \text{ N/mm}^2}{14,77 \text{ N/mm}^2} = \mathbf{0,868} \leq \mathbf{1}$$

- **Lega 13**

$$\frac{0,33 \text{ N/mm}^2}{5,54 \text{ N/mm}^2} + \frac{4,94 \text{ N/mm}^2}{14,77 \text{ N/mm}^2} = \mathbf{0,394} \leq \mathbf{1}$$

6.4 Priključek strešnih leg in jeklene diagonale na primarni nosilec



Slika 6.12: Prikaz spoja

Spoj izvedemo s pomočjo jeklenega veznega elementa, ki ima privarjeno tudi diagonalo.

Obremenitev

Spoj je obremenjen s silo, ki jo povzroča projekcija sile v jekleni diagonali, v prečni smeri. Sila v jekleni diagonali je enaka $87,67 \text{ kN}$ in deluje glede na primarni nosilec pod kotom $\alpha = 60^\circ$, ki se razdeli na vzdolžno in prečno komponento. Zaradi ravnotežja sil v spoju, se vzdolžna natezna sila izniči s tlačno silo v strešni legi. Tako ostane obremenitev v prečni smeri:

$$F_{Ed,p} = \cos 60 \cdot 87,67 \text{ kN} = 43,84 \text{ kN}.$$

Poleg sile v jekleni diagonali, delujeta na spoj še sili, ki nastopita v strešni legi:

$$V_{Ed,z} = 3,11 \text{ kN in}$$

$$V_{Ed,y} = 2,96 \text{ kN}.$$

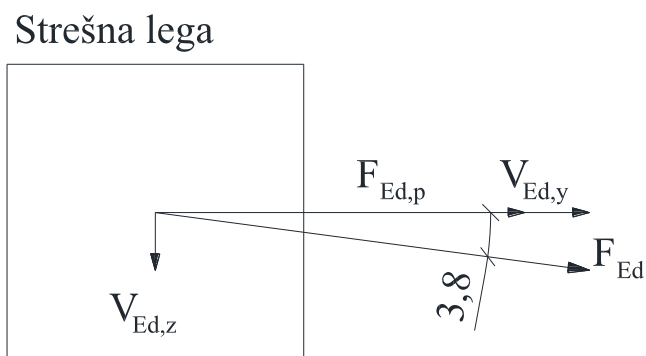
Skupna sila, ki deluje na vijake:

$$F_{Ed,y} = F_{Ed,p} + V_{Ed,z} = 43,84 \text{ kN} + 2,96 \text{ kN} = 46,8 \text{ kN in}$$

$$F_{Ed,z} = V_{Ed,z} = 3,11 \text{ kN}$$

Rezultanta tih dveh sil deluje pod kotom $\alpha = 3,8^\circ$ (slika 6.13) in znaša:

$$F_{Ed} = \frac{F_{Ed,y}}{\cos \alpha} = \frac{46,8 \text{ kN}}{\cos 3,8^\circ} = 46,9 \text{ kN}$$



Slika 6.13: Prikaz delovanja sil na spoj

Samovrezni lesni vijaki $\phi 8$ 100/60 (DIN 571)

$d = 8 \text{ mm}$ premer vijaka

$d_{\min} = 0,7 \cdot 8 \text{ mm} = 5,6 \text{ mm}$ premer jedra v navoju

$d_{\text{ef}} = d = 8 \text{ mm}$

$l_s = 100 \text{ mm}$ dolžina vijaka

$l_1 = 100 - 4 = 96 \text{ mm}$ dolžina vijaka v lesu

$$s_g = 60 \text{ mm}$$

dolžina navoja

$$f_{u,k} = 300 \text{ N/mm}^2$$

karakteristična natezna trdnost

Nosilec les GL32h

$$\rho_k = 430 \text{ kg/m}^3$$

karakteristična gostota lesa

$$\alpha = 0^\circ$$

kot med smerjo sile in smerjo lesenih vlaken

$$t = 200 \text{ mm}$$

širina nosilca

Jeklena pločevina

Jeklo S235

$$t_p = 100 \text{ mm}$$

debelina pločevine

Izvlačna odpornost lesnega vijaka

Učinkovito število lesnih vijakov v spoju:

$$n_{ef} = n^{0,9} = (3 \cdot 4)^{0,9} = 9,36$$

Karakteristična izvlečna trdnost pravokotno na vlakna

$$f_{ax,k} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot \rho_k^{1,5} = 3,6 \cdot 10^{-3} \cdot 430^{1,5} = 32,1 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristična izvlečna trdnost pod kotom α

$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2 \alpha + 1,5 \cdot \cos^2 \alpha} = \frac{32,1 \text{ N/mm}^2}{\sin^2 90^\circ + 1,5 \cdot \cos^2 90^\circ} = 32,1 \text{ N/mm}^2$$

Izvlačna odpornost lesnih vijakov

$$\begin{aligned} F_{ax,\alpha,Rk} &= n_{ef} \cdot (\pi \cdot d \cdot s_g)^{0,8} \cdot f_{ax,\alpha,k} \\ &= 9,36 \cdot (\pi \cdot 8 \cdot 60)^{0,8} \cdot 32,1 \text{ N/mm}^2 = 104832 \text{ N} \end{aligned}$$

Izvlačna odpornost lesnega vijaka

$$\frac{F_{ax,\alpha,Rk}}{\text{št. vijakov}} = \frac{104832 \text{ N}}{12} = 8736 \text{ N}$$

Kontrola bočne nosilnosti zveze:

Karakteristična vtisna trdnost lesa (primarni nosilec GL32h) v smeri vlaken:

$$f_{h,0,k} = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot d_{ef}) \cdot \rho_k = 0,082 \cdot (1 - 0,01 \cdot 8 \text{ mm}) \cdot \frac{430 \text{ kg}}{\text{m}^3} = 32,44 \text{ N/mm}^2$$

$$k_{90} = 1,35 + 0,015 \cdot d_{ef} = 1,35 + 0,015 \cdot 8 = 1,47 \text{ (mehek les)}$$

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \cdot \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = \frac{32,44 \text{ N/mm}^2}{1,47 \cdot \sin^2 3,8^\circ + \cos^2 3,8^\circ} = 32,37 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristična vrednost momenta plastifikacije:

$$M_{y,Rk} = 0,3 \cdot f_{u,k} \cdot d^{2,6} = 0,3 \cdot 300 \text{ N/mm}^2 \cdot 8^{2,6} \text{ mm} = 20057,5 \text{ Nmm}$$

$$\text{Lahko vzamemo } d, \text{ ker je: } l_1 > s_g + 4 \cdot d \quad \rightarrow \quad 96 > 60 + 4 \cdot 8 = 92.$$

Enostržni priključek PLOČEVINA – LES:

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 \cdot f_{h,k} \cdot l_1 \cdot d_{ef} = 0,4 \cdot 32,37 \text{ N/mm}^2 \cdot 96 \text{ mm} \cdot 8 \text{ mm} = 9944,8 \text{ N} \\ 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot M_{y,Rk} \cdot f_{h,k} \cdot d + \frac{F_{ax,Rk}^2}{4}} = \\ = 1,15 \cdot \sqrt{2 \cdot 20057,5 \text{ Nmm} \cdot 32,37 \text{ N/mm}^2 \cdot 8 \text{ mm} + \frac{8736}{4}} = 5890,6 \text{ N} \end{array} \right.$$

$$F_{v,Rk} = 5890,6 \text{ N}$$

Projektna bočna nosilnost enega lesnega vijaka:

$$F_{v,Rd,1} = k_{mod} \cdot \frac{F_{v,Rk}}{\gamma_M} = 0,9 \cdot \frac{5890,6 \text{ N}}{1,3} = 4078 \text{ N} = 4,078 \text{ kN}$$

Efektivno število lesnih vijakov v vrsti:

$$m = 4 \text{ (število vrst)}$$

$$n = 3 \text{ (število vijakov v vrsti)}$$

Projektna bočna nosilnost zveze:

$$F_{v,Rd} = m \cdot n \cdot F_{v,Rd,1} = 4 \cdot 3 \cdot 4,078 \text{ kN} = 48,94 \text{ kN} > F_{Ed} = 46,9 \text{ kN}$$

Potrebno je napraviti tudi kontrolo jeklenega elementa, kar nismo izvedeli saj predpostavimo, da izbran priključek prenese dano obremenitev.

7 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi sem obravnaval analizo in dimenzioniranje lesene strehe športne dvorane, katere glavno nosilno in strešno konstrukcijo predstavljajo ukrivljeni nosilci iz lameliranega lepljenega lesa. Prikazal sem le nekatere bistvene dele tega projekta, kot so: določitev vplivov na konstrukcijo, statično analizo primarnega nosilca in zavarovalne konstrukcije ter njuno dimenzioniranje.

Pri določevanju zunanjih vplivov na konstrukcijo sem prišel do pričakovanega rezultata, da mi bo največjo obtežbo povzročal veter. Dvorana se namreč nahaja v Kopru, ki po nacionalnem dodatku standardov SIST EN 1991-1-4 in SIST EN 1991-1-3, spada po prvem standardu v cono 3, za katero je značilna večja projektna hitrost vetra, po drugem pa v cono M1, ki pomeni območje z najnižjo karakteristično obtežbo snega na tleh.

Nato sem izvedel statično analizo primarnega nosilca, kjer sem dobil vrednosti notranjih sil in z njihovo pomočjo sestavil merodajne obtežne kombinacije, ter tako dobil ekstremne vrednosti le-teh. Na osnovi teh vrednosti je sledilo dimenzioniranje nosilca, kjer sem naletel na prvo težavo, saj pogoj natezних napetosti pravokotno na vlakna zaradi upogibnega momenta ni bil izpolnjen. Problem sem rešil z izbiro lesa višjega trdnostnega razreda. Mislil sem, da bo problematična tudi kontrola pri kombinaciji natezних in strižnih napetosti, vendar se mi pri ekstremni vrednosti upogibnega momenta, ki povzroča natezno obremenitev, pojavi skoraj minimalna strižna sila.

Sledilo je dimenzioniranje zavarovalne konstrukcije, ki je sestavljena iz strešnih leg in jeklenih palic. Za statično analizo sem uporabil prostorski model, kjer sem obtežbo nanašal v horizontalni smeri. Pričakovano mi je največje natezne sile v palici in tlačne v legi povzročala kombinacija izbočnih sil in obtežbe vetra.

Pri dimenzioniranju jeklenih palic in strešnih leg nisem imel večjih težav. Predpostavil sem, da so palice lahko le natezno obremenjene, saj se tlačena jeklena palica ukloni in s tem ne pripomore k prevzemu horizontalnih sil. Pri strešnih legah sem poleg tlačne sile upošteval še dvojni upogib, ki nastopi zaradi nagnjenosti lege glede na primarni nosilec in tako dobim komponenti sile ki delujeta v z in y smeri.

Pri celotnem delu me je najbolj presenetilo projektiranje spojev, saj se mi ti zdijo najzahtevnejši del pri projektiranju lesenih konstrukcij. V svoji diplomski nalogi sem dimenzioniral le en spoj, kjer sem preverjal bočno nosilnost lesnih vijakov in predpostavil, da pločevina prenese podano obremenitev.

VIRI

Leseni lepljeni lamelirani konstrukcijski elementi (pregledni znanstveni članek). 2011.
<http://www.dlib.si//StreamFile.aspx?URN=URN:NBN:SI:doc-SSRC785Z&id=a7d42154-f428-48cf-bd03-f217e8a8b672&type=PDF> (pridobljeno 30. 6. 2011).

Lopatič, J. 2011. Lesene konstrukcije, študijsko gradivo OG_B. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: od str. 1 do 13.

Lopatič, J. 2011. Lesene konstrukcije II, študijsko gradivo UNI. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 112 str.

Potresna nevarnost Slovenije – projektni pospešek tal
http://www.arso.gov.si/potresi/podatki/projektni_pospesek_tal.jpg (pridobljeno 24. 8. 2011)

Porteous J., Kermani A. 2007. Structural timber design to Eurocode 5. Oxford, Blackwell Publishing Ltd: od str. 205 do 247.

Večnamenska športna dvorana, 2009/2010. Študijsko gradivo lesene konstrukcije II, 4.vaja, Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 13 str.

Standardi:

SIST EN 1991-1-1. 2004. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-1.del: Splošni vplivi – Gostota, lastna teža, koristne obtežbe stavb.

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

SIST EN 1991-1-4. 2005. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-4.del: Splošni vplivi – Obtežbe vetra.

SIST EN 1993-1-1. 2005. Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij – 1-1.del: Splošna pravila in pravila za stavbe.

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

SIST EN 1998-1-1. 2005. Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – 1.del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe.