

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
za gradbeništvo
in geodezijo



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Dremelj, S., 2016. Analiza obstoječega dvojno vezanega kozolca po Evrokod standardih. Diplomski nalogi. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Lopatič, J.): 82 str.

Datum arhiviranja: 08-04-2016

University
of Ljubljana

Faculty of
Civil and Geodetic
Engineering



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

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

This is original version of final thesis.

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

Dremelj, S., 2016. Analiza obstoječega dvojno vezanega kozolca po Evrokod standardih. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljani, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Lopatič, J.): 82 pp.

Archiving Date: 08-04-2016

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

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

Kandidat:

SLAVKO DREMELJ

**ANALIZA OBSTOJEČEGA DVOJNO VEZANEGA
KOZOLCA PO EVROKOD STANDARDIH**

Diplomska naloga št.: 116/OG-MK

**ANALYSIS OF EXISTING DOUBLE LINKED HAYRACK
TO EUROCOD STANDARDS**

Graduation thesis No.: 116/OG-MK

Mentor:

izr. prof. dr. Jože Lopatič

Ljubljana, 31. 03. 2016

POPRAVKI

Stran z napako

Vrstica z napako

Namesto

Naj bo

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani **SLAVKO DREMELJ** izjavljam, da sem avtor diplomskega dela z naslovom:
»Analiza obstoječega dvojno vezanega kozolca po Evrokod standardih«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, 9. Marec 2016

Podpis:

BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN

IZVLEČEK

UDK: 006.77:624.011.1(497.4)(043.2)
Avtor: Slavko Dremelj
Mentor:izr. prof. dr. Jože Lopatič
Naslov: Analiza obstoječega dvojno vezanega kozolca po Evrokod standardih.
Tip dokumenta: Dipl. nal.-VSŠ
Obseg in oprema: 82 str., 70 pregl., 67 sl., 51 en.
Ključne besede: lesena konstrukcija, dvojno vezani kozolec v dve drevesi, toplar, evrokod, statična analiza, dimenzioniranje.

IZVLEČEK

Opravili smo meritve na terenu, izris načrtov objekta in njegovih delov ter naredili statični izračun lesene konstrukcije. Pri spojih smo za vgrajene elemente ocenili trdnostne razrede. Osnova za statično analizo so bili različni poenostavljeni sklopi delov objekta. Notranje statične količine in pomiki so bili izračunani z računalniškim programom SAP2000. Pri tem smo upoštevali vplive na konstrukcijo po standardih Evrokod. Ob upoštevanju obremenitev smo preverili dimenzije različnih konstrukcijskih elementov. Pri dimenzioniranju smo preverili tako MSN kakor tudi MSU. Analiza je pokazala, da je obstoječa lesena konstrukcija dobro skonstruirana in so izbrane smiselne dimenzije glavnih nosilnih elementov, vendar pa je z vidika izrabe materiala rahlo neizkoriščena, predvsem zaradi izbranih slabših veznih sredstev v stikih.

BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT

UDC: 006.77:624.011.1(497.4)(043.2)
Author: Slavko Dremelj
Supervisor: izr. prof. dr. Jože Lopatič
Title: Analysis of existing double linked hayrack to Eurocode standards
Document type: Graduation Thesis-Higher professional studies
Notes: 82 p., 70 tab., 62 fig., 51 equations.
Key words: timber structures, double linked hayrack, hayrack, eurocode, static analysis, dimensioning.

ABSTRACT

We have taken measurements of the building then we have drawn the construction plans and we have done the static analysis and bearing strength of the wooden structure. We have assessed the strength classes of the used wood because they are important for the structural design of timber structures. For the base of the models in the linear static analysis were simplified combined parts of the structure. Results of the analysis were diagrams of force and deformation diagrams. They were acquired with the computer program SAP2000 with the input loads being assessed using Eurocode standards. With the obtained results we have checked the dimensions of the individual structural elements. Furthermore dimensioning was based on the method of limit state (MSN) and the method of marginal status utility (MSU). The final analysis has shown that the existing structure is well constructed and the dimensions of the structural elements are more than enough. However from the point of material consumption is somewhat wasteful. This is mostly due to some poorly constructed intersections between structural elements.

ZAHVALA

Iskreno se zahvaljujem mentorju izr. prof. dr. Jožetu Lopatiču za ponujeno priložnost in pomoč pri nastanjanju diplomske naloge.

Najlepša hvala doc. dr. Dragu Sajetu in prof. dr. Matjažu Dolšku za strokovno podporo. Hvala tudi lastniku Antonu Kraševcu za dovoljenje in uporabo objekta ter kolektivu muzeja dežele kozolcev Šentrupert za pomoč in prijaznost.

Zahvaljujem se družini za pomoč in podporo med študijem. Iskrena hvala tudi moji Katarini za spodbudne besede med študijem. Matic, Andrej in Marjan hvala tudi vam za pomoč in svetovanje.

KAZALO VSEBINE

IZJAVA O AVTORSTVU	II
BIBLIOGRAFSKO-DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK	III
BIBLIOGRAPHIC-DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT	IV
ZAHVALA.....	V
1 UVOD.....	1
1.1 Opredelitev problema	2
1.2 Cilji naloge.....	2
2 OBRAVNAVANI TOPLAR.....	3
2.1 Zgodovina objekta	3
2.2 Meritve na terenu	4
2.3 Opis konstrukcije	7
2.4 Načrti objekta	8
3 VPLIVI NA KONSTRUKCIJO.....	15
3.1 Stalna obtežba konstrukcije.....	15
3.2 Koristna obtežba konstrukcije.....	15
3.2.1 Streha.....	15
3.2.2 Podesti	15
3.2.3 Med latami.....	16
3.3 Obtežba snega	17
3.4 Obtežba vetra.....	18
3.4.1 Podatki	18
3.4.2 Račun obtežbe vetra	19
3.4.3 Rezultati vplivov vetra.....	28
3.5 Potresna obtežba	30
3.5.1 Podatki in izračun mas.....	30
3.5.2 Razporeditev mas po okvirjih.....	31
3.5.3 Metoda z vzporednimi silami.....	32
4 STATIČNI IZRAČUN KONSTRUKCIJE	35
4.1 Model 1	36
4.1.1 Statična zasnova	36
4.1.2 Razporeditev obtežb.....	36
4.1.3 Kombinacije obtežb	37
4.1.4 Rezultati	37
4.2 Model 2	39
4.2.1 Statična zasnova	39
4.2.2 Razporeditev obtežb.....	39
4.2.3 Kombinacije obtežb	40
4.2.4 Rezultati	41
4.3 Model 3	42
4.3.1 Statična zasnova	42
4.3.2 Razporeditev obtežbe.....	42
4.3.3 Kombinacije obtežb	44
4.3.4 Rezultati	44
4.4 Model 4	45
4.4.1 Statična zasnova	45
4.4.2 Razporeditev obtežbe.....	45

4.4.3	Kombinacije obtežb	47
4.4.4	Rezultati	48
4.5	Modeli 5,6 in 7.....	49
4.5.1	Statična zasnova	49
4.5.2	Razporeditev obtežbe.....	49
4.5.3	Kombinacije obtežb	50
4.5.4	Rezultati	51
4.6	Model 8	52
4.6.1	Razporeditev obtežbe.....	52
4.6.2	Kombinacije obtežb	52
4.6.3	Rezultati	53
5	KONTROLA NOSILNOSTI ELEMENTOV	54
5.1	Osnove dimenzioniranja	54
5.1.1	Mejna stanja nosilnosti	54
5.1.2	Mejna stanja uporabnosti.....	60
5.2	Kontrola nosilnosti špirovca.....	61
5.3	Kontrola nosilnosti vzdolžnih gred in lege.....	62
5.4	Kontrola nosilnosti prečnih gred	67
5.5	Kontrola nosilnosti stebrov	70
5.6	Kontrola nosilnosti nosilcev na podestih, razpor in ročic.....	74
5.7	Kontrola mejnega stanja uporabnosti	78
5.8	Izkoriščenost elementov glede MSN	79
6	ZAKLJUČEK.....	80
VIRI	81

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Podatki o oznakah in dimenzijah konstrukcijskih elementih.	10
Preglednica 2: Ploščine območij sten pri vetru v x smeri.	20
Preglednica 3: Priporočene vrednosti koeficientov za navpične stene stavb vir: preglednica 7.1 SIST EN 1991-1-4: 2005.	20
Preglednica 4: Vrednosti koeficientov zunanjega tlaka za stene pri vetru v x smeri.	20
Preglednica 5: Vrednosti tlaka vetra na zunanje ploskve sten, pri vetru v x smeri.	20
Preglednica 6: Ploščina posameznih razdeljenih območij na strehi, veter v smeri x.	21
Preglednica 7: Vrednosti koeficientov zunanjega tlaka na strehi, veter v smeri x.	22
Preglednica 8: Vrednosti obtežbe vetra (tlak), po območjih.	22
Preglednica 9: Vrednosti obtežbe vetra (srk), po območjih.	22
Preglednica 10: Ploščine območij sten pri vetru, v x smeri.	23
Preglednica 11: Vrednosti koeficienta zunanjega tlaka na stene v smeri y.	24
Preglednica 12: Vrednosti tlaka vetra na zunanje ploskve sten, pri vetru v smeri y.	24
Preglednica 13: Ploščina posameznih razdeljenih območij na strehi, veter v smeri Y.	25
Preglednica 14: Vrednosti koeficientov zunanjega tlaka na strehi, veter v smeri y.	25
Preglednica 15: Vrednosti obtežbe vetra (srk), po območjih.	25
Preglednica 16: Vrednosti koeficientov za posamezna območja pri prazni in na zadnji strani zaprti nadstrešnici.	27
Preglednica 17: Vrednosti obremenitve vetra za posamezna območja pri prazni nadstrešnici.	27
Preglednica 18: Vrednosti koeficientov sile za globalno območje pri $\varphi=0$ in $\varphi=1$	27
Preglednica 19: Razporeditev mas po okvirjih in etažah.	31
Preglednica 20: Obtežne kombinacije s pripadajočimi faktorji za MSN.	37
Preglednica 21: Vrednosti NSK pri K5.	38
Preglednica 22: Obremenitvene kombinacije z razporeditvijo koristne obremenitve snega po omenjenih poljih.	40
Preglednica 23: Maksimalne projektne notranje statične količine v posameznih elementih zgornjega dela ostrešja.	41
Preglednica 24: Velikosti sil, ki se prenašajo z modela 2 na model 3.	43
Preglednica 25: Prikaz obtežnih primerov, kjer dobimo maksimalne NSK.	44
Preglednica 26: Prikaz projektnih vrednosti NSK za posamezne elemente s kombinacijami iz preglednice 25.	44
Preglednica 27: Vrednosti sil posameznih obtežb porazdeljenih po točkah modela 4 (glej Sliko 61), vse vrednosti so v [kN].	46
Preglednica 28: Prikaz obtežnih primerov, kjer dobimo maksimalne NSK.	48
Preglednica 29: Projektne vrednosti NSK za posamezni element.	48
Preglednica 30: Obtežbe lege L1.	50
Preglednica 31: Prikaz obtežnih primerov kjer dobimo maksimalne NSK za posamezne elemente.	51
Preglednica 32: Merodajne projektne vrednosti NSK za posamezni element.	51
Preglednica 33: Projektne vrednosti NSK za elemente modela 8.	53
Preglednica 34: Koeficient c_m , ki zajema lastnosti lesa (Beg & Pogačnik, 2009, str. 5-112).	58
Preglednica 35: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu š1.	61
Preglednica 36: Geometrijske karakteristike polnega prereza špirovca Š1.	61
Preglednica 37: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu GV1.	62
Preglednica 38: Geometrijske karakteristike polnega prereza vzdolžne grede GV1.	62
Preglednica 39: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu GV2.	63
Preglednica 40: Geometrijske karakteristike polnega prereza vzdolžne grede GV2.	63
Preglednica 41: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu L1.	64
Preglednica 42: Geometrijske karakteristike polnega prereza kapne lege L1.	64

Preglednica 43: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu L2.....	65
Preglednica 44: Geometrijske karakteristike polnega prereza vmesne lege L2.....	65
Preglednica 45: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu L3.....	66
Preglednica 46: Geometrijske karakteristike polnega prereza slemenske lege L3.....	66
Preglednica 47: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu GP1.....	67
Preglednica 48: Geometrijske karakteristike polnega prereza prečne grede GP1.....	67
Preglednica 49: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu GP2.....	68
Preglednica 50: Geometrijske karakteristike polnega prereza prečne grede GP2.....	68
Preglednica 51: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu GP3.....	69
Preglednica 52: Geometrijske karakteristike polnega prereza prečne grede GP3.....	69
Preglednica 53: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu S1.....	70
Preglednica 54: Geometrijske karakteristike polnega prereza glavnega stebra S1.....	70
Preglednica 55: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu S2.....	71
Preglednica 56: Geometrijske karakteristike polnega prereza stebra S2.....	71
Preglednica 57: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu S3.....	72
Preglednica 58: Geometrijske karakteristike polnega prereza stebra S3.....	72
Preglednica 59: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu S4.....	73
Preglednica 60: Geometrijske karakteristike polnega prereza stebra S4.....	73
Preglednica 61: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu N1.....	74
Preglednica 62: Geometrijske karakteristike polnega prereza nosilca N1.....	74
Preglednica 63: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu elementu N2.....	75
Preglednica 64: Geometrijske karakteristike polnega prereza nosilca N2.....	75
Preglednica 65: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu elementu RA1.....	75
Preglednica 66: Geometrijske karakteristike polnega prereza razpore RA1.....	76
Preglednica 67: Največje dobljene NSK in njihove pripadajoče kombinacije v elementu RO1.....	76
Preglednica 68: Geometrijske karakteristike polnega prereza ročice RO1.....	77
Preglednica 69: Upogibki posameznih elementov in njihova izkoriščenost glede na MSU.....	78
Preglednica 70: Prikaz procentualne izkoriščenosti prerezov po kriterijih MSN.....	79

KAZALO SLIK

Slika 1: Skica objekta iz leta 1950 (Etnografski muzej, 2015).....	3
Slika 2: Objekt od spredaj. Slika 3: Objekt od zadaj.....	4
Slika 4: Pogled po trupu konstrukcije. Slika 5: Stik stebra in glavne grede.....	4
Slika 6: Pogled trupa od spodaj. Slika 7: Steber (S2) v vzdolžni brani.	5
Slika 8: Naleganje stebra na temeljni kamen. Slika 9: Steber na zgornjem podestu (S3).....	5
Slika 10: Prostorski model skeleta objekta.	5
Slika 11: Prostorski model objekta (pogled v čelo).	6
Slika 12: Prostorski model objekta (pogled od zadaj).	6
Slika 13: Prečni prerez vmesnega okvirja A-A.....	8
Slika 14: Vzdolžni prerez B-B.....	9
Slika 15: Starinsko poimenovanje nosilnih elementov (Štepec, 2011: str 22)	10
Slika 16: Stik 1 - S1/GP1 (levo pogled, desno prečni prerez).	11
Slika 17: Stik 2 – GP2/S1 (levo pogled, desno prečni prerez).	11
Slika 18: Stik 3 – GV1/GP1 (levo pogled, desno prečni prerez).....	11
Slika 19: Stik 4 – S2/GV2 (levo pogled, desno prečni prerez).	12
Slika 20: Stik 5 – GV2/GP2/S2 (levo pogled, desno prečni prerez).	12
Slika 21: Stik 6 – S3/GP2 (levo pogled, desno prečni prerez).	12
Slika 22: Stik 7 – L2/S3 (levo pogled, desno prečni prerez).	13
Slika 23: Stik 8 – GP3/L2 (levo pogled, desno prečni prerez).....	13
Slika 24: Stik 9 – S3/RA3 (levo pogled, desno prečni prerez).....	13
Slika 25: Stik 10 – Š1/L2 (levo pogled, desno prečni prerez).	14
Slika 26: Stik 11 – Š1/L1 (levo pogled, desno prečni prerez).	14
Slika 27: Stik 12 – RA1/GP1 (levo pogled, desno prečni prerez).....	14
Slika 28: Skica lokacije podestov	15
Slika 29: skica predvidene porazdelitve obtežbe pšenice.....	16
Slika 30: Skica porazdelitve sena med late.	16
Slika 31: Skica porazdelitve koristne obtežbe po stebri.....	17
Slika 32: Pogled s severne strani (levo) ter z vzhodne strani (desno).....	18
Slika 33: Tloris strehe objekta, ki prikazuje smer izvora vetra in oznake območij sten.....	19
Slika 34: Razdelitev sten na območja vir: slika 7.5 SIST EN 1991-1-4: 2005.	19
Slika 35: Razdelitev strehe na vplivna območja vir: slika 7.8 SIST EN 1991-1-4: 2005.	21
Slika 36: Streha razdeljena na območja, tloris (levo) in naris strehe na ravnini strešine (desno).	21
Slika 37: Tloris smeri vetra in pozicije območij sten.....	23
Slika 38: Razdelitev sten na območja vir: slika 7.5 SIST EN , 1991-1-4: 2005.	23
Slika 39: Razdelitev strehe na vplivna območja, veter v vzdolžni smeri vir: slika 7.5 v SIST EN 1991-1-4: 2005.....	24
Slika 40: Streha razdeljena na območja, naris strehe na ravnini strešine.	25
Slika 41: Prazna prostostoječa nadstrešnica $\varphi=0$ (levo) in povsem zaprta na zavetrni strani $\varphi=0$ (desno), vir: slika 7.15 v SIST EN 1991-1-4: 2005.....	26
Slika 42: Razdelitev strehe na območja.	26
Slika 43: Smeri in velikost tlakov vetra v smeri x.	28
Slika 44: Smeri in velikost tlakov vetra v smeri y.	29
Slika 45: Tloris lokacij okvirjev in vplivnih širin, prvi nivo (levo) ter drugi nivo (desno).	31
Slika 46: Skica končne porazdelitve potresne obremenitve pri potresu v prečni smeri na objekta.....	33
Slika 47: Skica porazdelitve potresne obtežbe pri potresu v vzdolžni smeri.	34
Slika 48: Razdelitev konstrukcije na modele.	35
Slika 49: Statični model špirovca.....	36
Slika 50: Prikaz razporeditve obtežbe špirovca.	36

Slika 51: Potek projektnih vrednosti upogibnih momentov M_y pri obtežni kombinaciji K_5	37
Slika 52: Potek projektnih prečnih sil V_z pri obtežni kombinaciji K_5	38
Slika 53: Potek projektnih osnih sil N_x pri obtežni kombinaciji K_5	38
Slika 54: Statični model zgornjega dela konstrukcije.....	39
Slika 55: Razporeditev obteženih polj v pomožnih kombinacijah.....	40
Slika 56: Ovojnice ekstremnih projektnih vrednosti momenta M_y	41
Slika 57: Ovojnica ekstremnih projektnih vrednosti prečnih sil V_z	41
Slika 58: Ovojnica ekstremnih projektnih vrednosti osnih sil N_x	41
Slika 59: Statični model spodnje strešne konstrukcije (desno) in 3D model (levo).....	42
Slika 60: Vzдолžni pogled lokacije prenosa sil z modela 2 na model 3.	43
Slika 61: Geometrija glavnega vmesnega okvirja (levo), ter lokacije členkov v elementih (desno).....	45
Slika 62: Model 4, s prikazom mest obtežb.....	46
Slika 63: Prikaz obtežnih kombinacij na glavnem prečnem okvirju.....	47
Slika 64: Statična zasnova modela 6 in modela 7.	49
Slika 65: Statična zasnova modela 5.	49
Slika 66: Prikaz porazdelitve koristne obtežbe pšenice po poljih 1, 2 in 3 v različnih kombinacijah.....	51
Slika 67: Prostorski model za obtežbe v vzdolžni smeri objekta z označenimi mesti delovanja sil.....	52

KAZALO GRAFIKONOV

Grafikon 1: Izkoriščenost prerezov glede na mejno stanje nosilnosti (MSN).....	79
--	----

1 UVOD

Pričaka nas sredi travnika, daleč stran od vaškega vrveža, kjer sam kljubuje močnemu vetru. Opazimo ga ob obisku sorodnikove kmetije, mogočno postavljen ob dvorišču in daje domačim ponos. Lahko se nam skriva ves poraščen z grmovjem in zapuščen ob ruševinah nekdanje domačije. Pogosto ga sploh ne opazimo, saj se je popolnoma zлил z naravo, našo pokrajino in kulturo. Večina nas le hiti mimo, saj smo velikokrat v časovni stiski, ki nam onemogoča, da bi uživali v vsaki sekundi našega življenja. Le redkim posameznikom ga uspe opaziti v vsej tej vsakdanji naglici, čeprav ga lahko najdemo povsod v naši domovini. Skozi celotno zgodovino ga je Slovenec gradil in razvijal na svoji zemlji in postopoma je postal slovenska znamenitost. Govorimo seveda o slovenskem avtohtonem kozolcu ali njegovi zapletenejši obliki imenovani toplar.

Tudi sam sem bil včasih tak, kot večina ljudi, ki se vsak dan pelje mimo različnih kozolcev pa jih nikoli ne opazi. Toplar, o katerem pišem diplomsko nalogo, je blizu mojega doma. Zanj nisem vedel, dokler si nisem začel izbirati teme za diplomsko nalogo. Mimo sem se vozil vsak dan, pa ga vseeno nisem nikoli opazil. Pravijo, da imajo vsake oči svojega »malarja«, kar pomeni, da vsak vidi svet po svoje in si ga predstavlja drugače. Ob prvem pogledu nanj sem vedel, da je ta tisti toplar, ki mu bom namenil svojo pozornost in napisal nalogo o njem. Fascinirala me je vrezana letnica na njem (1890) in ohranjenost njegovih nosilnih elementov za to starost. Če ga primerjamo z današnjimi ostrešji, ki v najboljših primerih zdržijo do 50 let, je to zelo dobro narejen in ohranjen toplar. A kot študent gradbeništva sem imel občutek, da so dimenzije teh elementov malce pretirane, saj imajo starejši objekti skoraj vedno večje dimenzije elementov, kot bi jih resnično potrebovali za take razpone. Odločil sem se preveriti nosilnost elementov objekta po današnjih standardih in dokazati, da so prerezi njegovih elementov prevelikih dimenzij.

1.1 Opredelitev problema

Izbrani leseni objekt varno stoji že več kot 100 let, kar samo po sebi dokazuje, da je dobro zgrajen in da so izbrane prave, če ne prevelike dimenzije elementov. Zanima nas koliko so uporabljeni elementi predimenzionirani ter koliko obtežbe je objekt sposoben prenesti, če se ozremo na sodobne standarde Evrokod.

Predpostavljamo, da je bil za ta objekt izbran kvalitetnejši les (smreka, hrast, kostanj) vendar bomo v nalogi upoštevali neko vmesno vrednost razreda nosilnosti materiala.

1.2 Cilji naloge

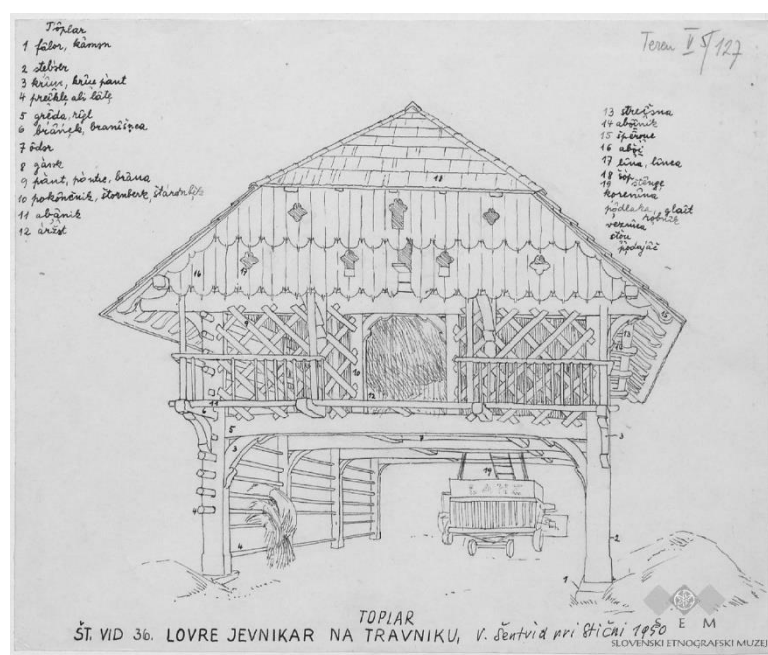
Cilj diplomske naloge je predstaviti potek analize nosilnosti elementov v obstoječem lesenem objektu po pravih standardov Evrokod. V ta namen smo izvedli meritve na terenu in konstrukciji, določili vplive na konstrukcijo, izvedli statični račun in končno dimenzioniranje izbranih elementov.

Z izračuni bomo preverili ali objekt ustreza trenutnim standardom za projektiranje lesenih elementov.

2 OBRAVNAVANI TOPLAR

2.1 Zgodovina objekta

Izbrani objekt (dvojni vezani kozolec v dve drevesi), se nahaja v kraju Šentvid pri Stični. Zgrajen je bil leta 1890 za naročnika Antona Čebularja, lastnika usnjarskega obrata. Začetnici A.Č ter letnica sta vdolbeni na osrednjem riglu. Mojster odgovoren za njegov nastanek je bil lokalni tesar iz Petrušnje vasi. Objekt stoji na parceli skupaj z velikim skladiščem (za tiste čase) in starejšo večjo hišo. Med drugo svetovno vojno je lastništvo obrata, parcele in kozolca večkrat menjalo, po koncu vojne pa je pristalo v rokah lokalne kmetijske zadruga. Toplar so leta 1950 skicirali potujoči etnologi, ki so imeli nalogo zapisovati in slikati običaje, orodja, objekte itd. specifične za Dolenjsko .



Slika 1: Skica objekta iz leta 1950 (Etnografski muzej, 2015)

Objekt so v času delovanja zadruga uporabljali za skladiščenje poljskih pridelkov in sena ter kot nadstrešek za nove kmetijske stroje. Po zaprtju zadruga v osemdesetih letih prejšnjega stoletja objekt in parcela samevata. Toplar je v devetdesetih letih prejšnjega stoletja kupil lokalni kmet. Ta ga namerava v prihodnosti prestaviti na drugo lokacijo oddaljeno kakšen kilometer od sedanje.

2.2 Meritve na terenu

Zaradi pomankanja načrtov objekta, smo morali izvesti meritve na terenu. Izvajale so se s pomočjo merilnega traku. Popisali smo tudi dimenzije posameznih nosilnih elementov in na grobo izrisali stike med njimi. Potrebno je bilo tudi vizualno preveriti vrsto uporabljenega lesa, ki smo ga klasificirali kot smreko, hrast in kostanj. Vmes smo s fotoaparatom tudi poslikali objekt in njegove stike. Vsem elementom smo sproti predpisali logične oznake podane v nadaljevanju.

- **Slike objekta**



Slika 2: Objekt od spredaj.



Slika 3: Objekt od zadaj.



Slika 4: Pogled po trupu konstrukcije.



Slika 5: Stik stebra in glavne grede.



Slika 6: Pogled trupa od spodaj.



Slika 7: Steber (S2) v vzdolžni brani.

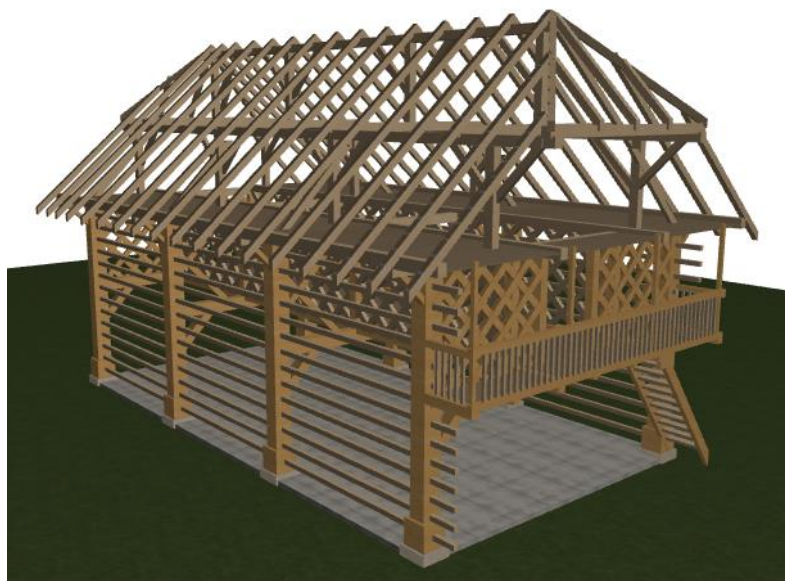


Slika 8: Naleganje stebra na temeljni kamen.



Slika 9: Steber na zgornjem podestu (S3).

Dobljene podatke smo v nadaljevanju uporabili za izris načrtov v programu AutoCAD. Izdelali smo tudi grobi 3D model za lažjo predstavbo v programih Sketch Up in Archicad.



Slika 10: Prostorski model skeleta objekta.



Slika 11: Prostorski model objekta (pogled v čelo).



Slika 12: Prostorski model objekta (pogled od zadaj).

2.3 Opis konstrukcije

Toplar ima tri okvirje. Grobe dimenzije toplarja so:

- širina 7 m,
- dolžina 14 m,
- višina 8.8 m,
- naklon strehe pa znaša 40 ° .

Toplar se nahaja na ravnem travniku okoli 100 m stran od lokalnega potoka. V bližini se nahaja izkop za novogradnjo, kjer je razvidna sestava tal, ki nam pove, da se pod enim metrom humusa, nahaja nosilna kamnina.

Objekt je v celoti iz lesa. Za glavne stebre je uporabljen kostanjev les spremenljivega prereza po višini z vdolbenimi luknjami za rante. Zunanji diagonalni elementi, glavne grede ter vzdolžne grede so iz hrastovine. Ostali elementi (špirovci, lege, manjši stebri, ročice in razpore) so iz smrekovega lesa. Streha je pokrita z opečnimi strešniki in ima dva manjša čopa. Kozolec tudi vsebuje odre na dveh nivojih, enega v spodnjem trupu, naslednja dva pa tik pod strešno konstrukcijo in sicer na vsaki strani po enega. Te odre so uporabljali za sušenje ter shranjevanje pridelkov.

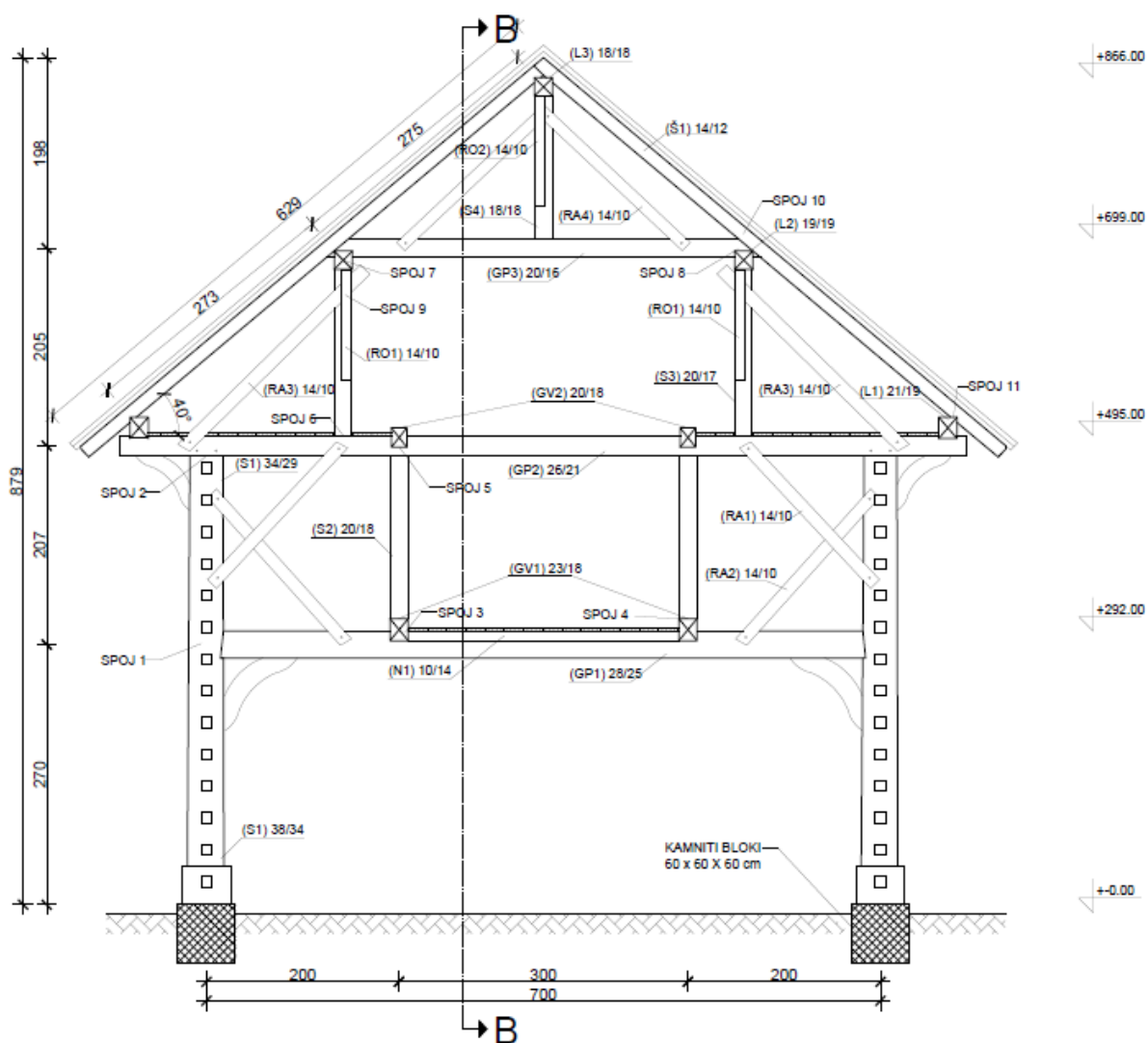
Na obodih v vzdolžni smeri objekta skozi luknje v glavnih stebrih potekajo late med katere se je včasih vstavljalo seno za sušenje ali za spravilo med zimo. Objekt vsebuje tudi dva para vzdolžnih in prečnih bran. Slednje se nahajajo na začetnem in končnem prečnem okvirju in so sestavljene iz hrastovih tramov. Vzdolžne brane so locirane ob robovih spodnjega odra. Na čelu kozolca (ganku) se nahaja balkon za vstop v trup objekta.

Prenos obtežbe poteka okvirno tako, da se vsa vertikalna obtežba, ki deluje na konstrukcijo, prenaša iz strehe naprej preko vmesnih stebrov in ročic na lege in nato na osem glavnih stebrov, ti pa obtežbo prenašajo preko masivnih kamnitih blokov na temeljna tla. Horizontalno obtežba vetra v prečni smeri se prenaša z lat, napolnjenih s senom, na vse štiri prečne okvirje in nato na glavne stebre. Veter, ki deluje vzporedno z vzdolžno smerjo, se prenaša na vzdolžne brane in nato preko gred na stebre.

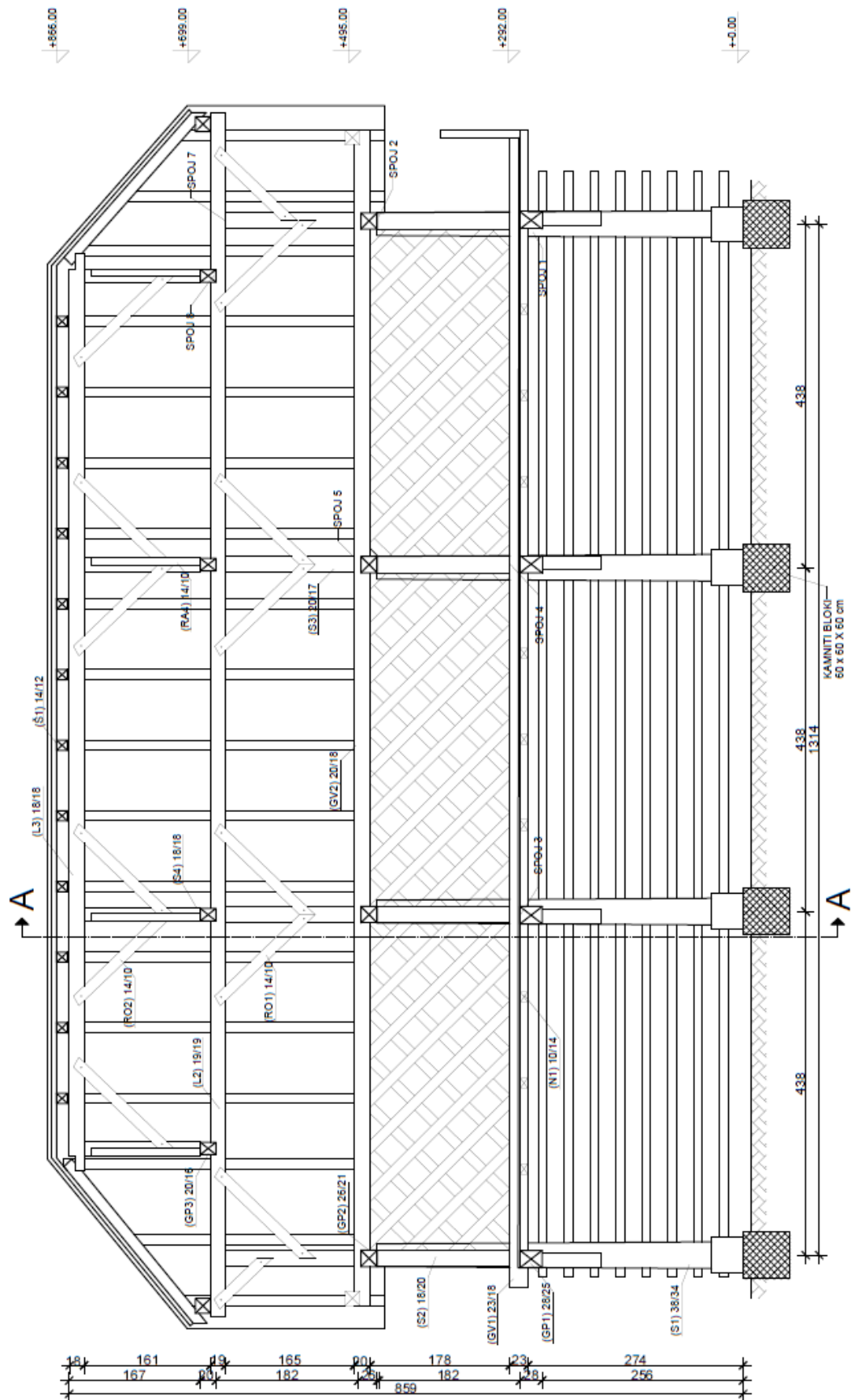
2.4 Načrti objekta

Na podlagi podatkov meritev na terenu smo izrisali načrte objekta. Elemente smo poimenovali po njihovi osnovni funkciji in oštevilčili od spodaj navzgor. Uporabili smo naslednji način označevanja elementov:

- S – stebri,
- GP – prečne grede,
- GV – vzdolžne grede,
- L – lege,
- RA – razpore,
- RO – ročice,
- D – diagonale vzdolžnih in prečnih bran,
- Š – špirovci
- N – nosilci pod odri.

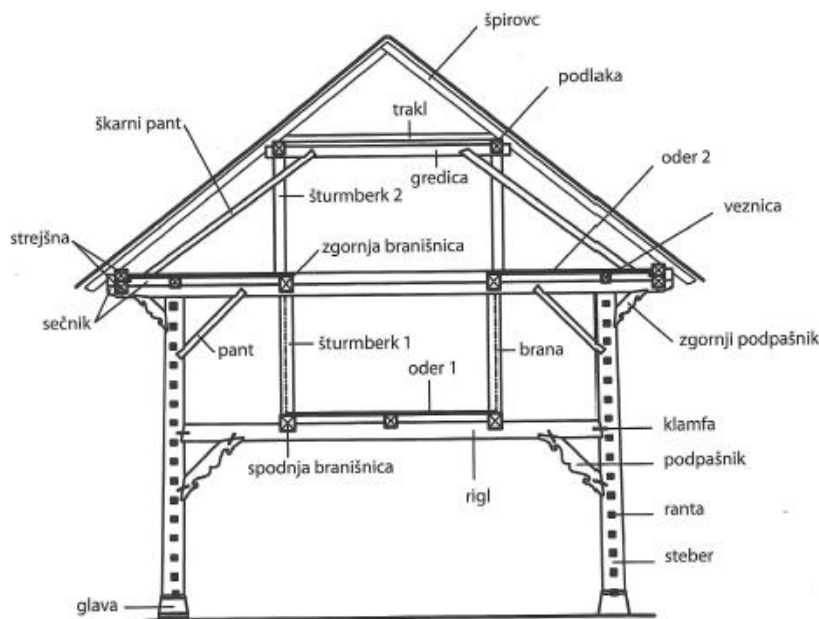


Slika 13: Prečni prerez vmesnega okvirja A-A.



Slika 14: Vzдолžni prež B-B.

Strokovni izrazi starih mojstrov za imena posameznih elementov so prikazani na naslednjih skicah.

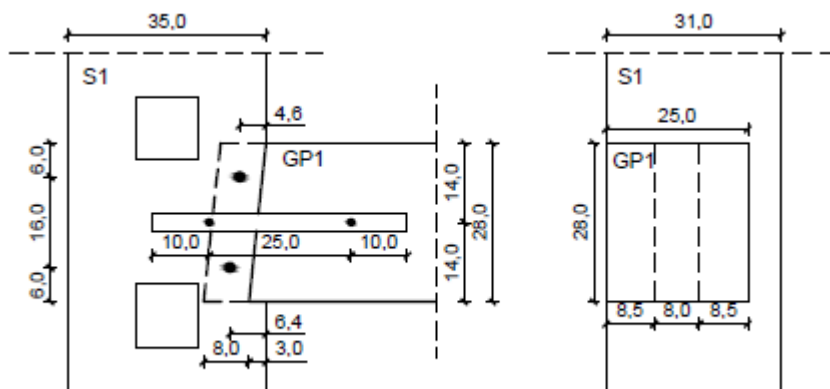


Slika 15: Starinsko poimenovanje nosilnih elementov (Štepec, 2011: str 22)

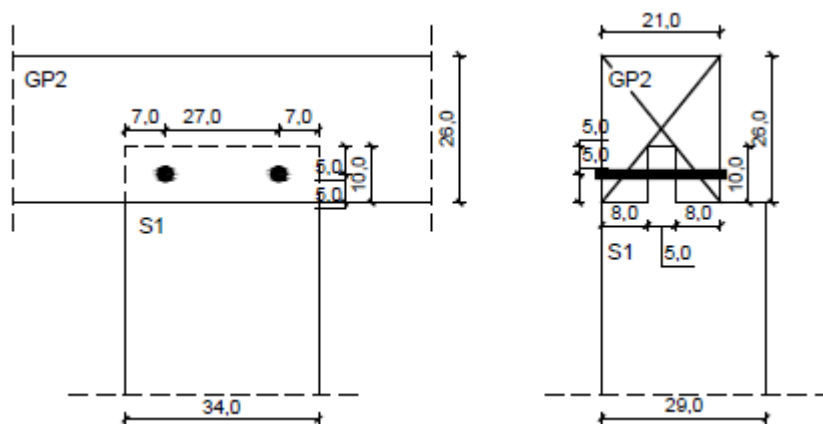
Preglednica 1: Podatki o oznakah in dimenzijah konstrukcijskih elementih.

Oznaka	Opis	Dimenzije (cm)	Vrsta lesa	Upoštevani trdnostni razred
S1	Steber	S(38/34),Z(34/29)	Kostanj	D40
S2	Šturemberk 1	20/18	Hrast	D40
S3	Šturemberk 2	20/17	Smreka	C30
S4	Zgornji steber v slemenu	18/18	Smreka	C30
GP1	Rigl	28/25	Hrast	D40
GP2	Sečnik	26/21	Smreka	C30
GP3	Trakl	20/16	Smreka	C30
GV1	Spodnja branišnica	23/19	Hrast	D40
GV2	Zgornja branišnica	20/18	Smreka	C30
L1	Kapna lega (strejšna)	21/19	Smreka	C30
L2	Vmesna lega (podlaka)	19/19	Smreka	C30
L3	Slemenska lega	19/19	Smreka	C30
D1	Diagonale v prečnih branah	14/10	Smreka	C30
D2	Diagonale v vzdolžnih branah	14/10	Smreka	C30
P1	Panti (podpašnik)	20/15	Smreka	C30
RA1	Razpora med (S1/GP2)	14/10	Hrast	D40
RA2	Razpora med (S1/GP1)	14/10	Hrast	D40
RA3	Razpora (škrlatni pant)	14/10	Smreka	C30
RO1	Ročica med (S4/GP3)	14/10	Smreka	C30
RO2	Ročica med (S3/L2)	14/10	Smreka	C30
RA4	Razpora med (S4/L3)	14/10	Smreka	C30
N1	Nosilci v spodnjem trupu	14/12	Smreka	C30
N2	Nosilci v zgornjem trupu	12/12	Borovec	C30
Š1	Špirovec	14/12	Smreka	C30

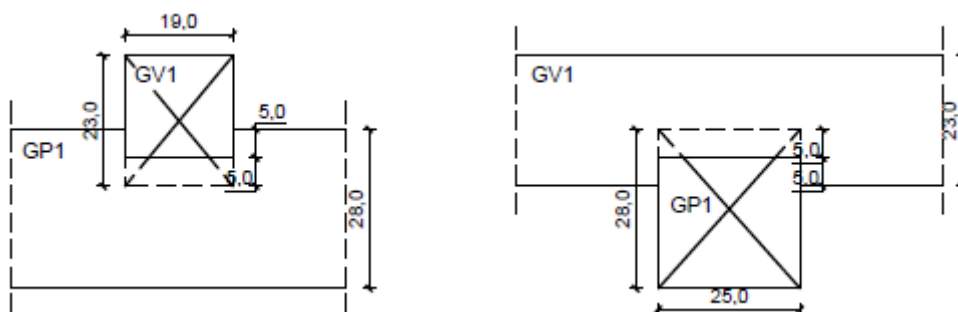
V nadaljevanju so podani detajli izvedenih stikov.



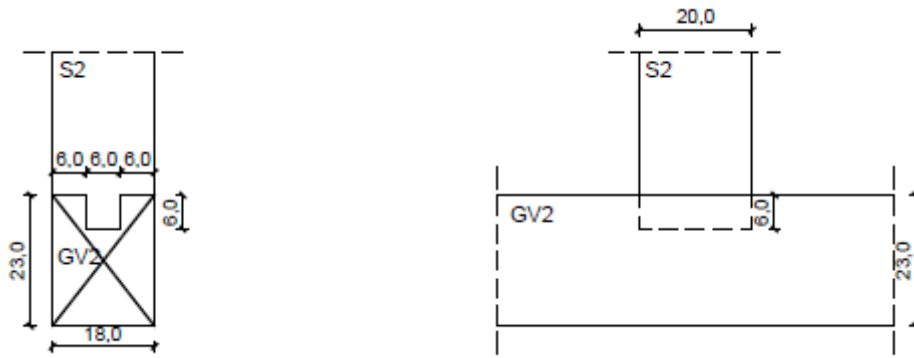
Slika 16: Stik 1 - S1/GP1 (levo pogled, desno prečni prerez).



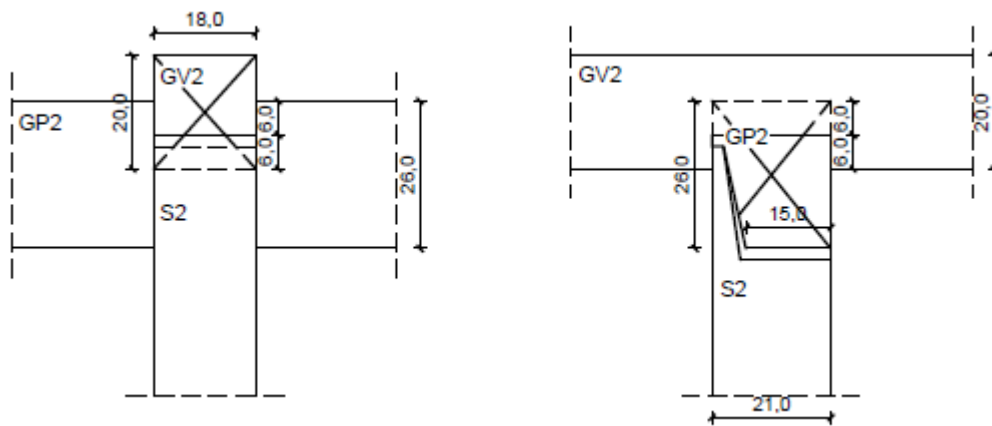
Slika 17: Stik 2 – GP2/S1 (levo pogled, desno prečni prerez).



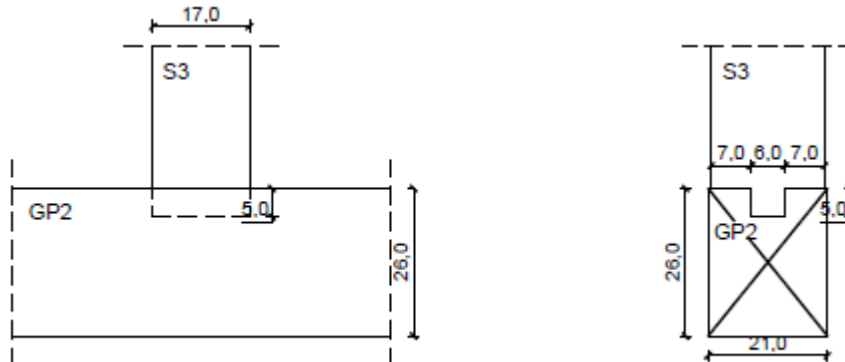
Slika 18: Stik 3 – GV1/GP1 (levo pogled, desno prečni prerez).



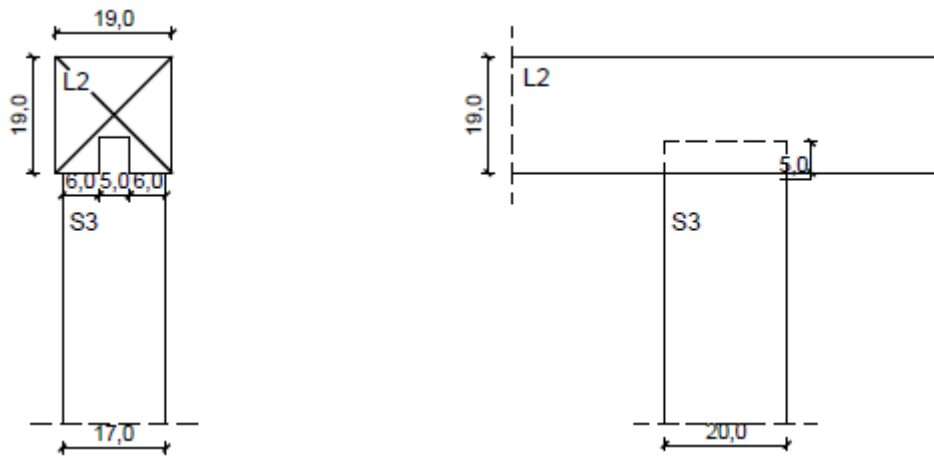
Slika 19: Stik 4 – S2/GV2 (levo pogled, desno prečni prerez).



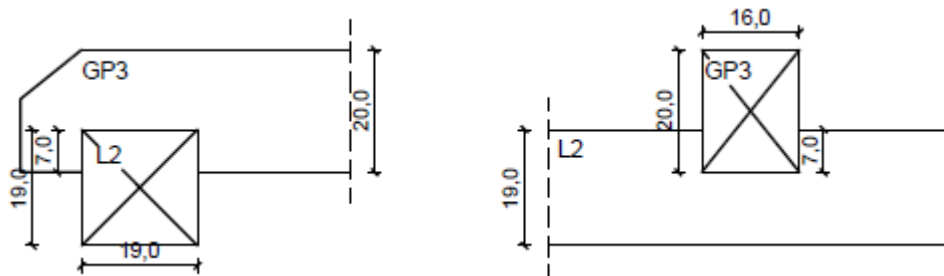
Slika 20: Stik 5 – GV2/GP2/S2 (levo pogled, desno prečni prerez).



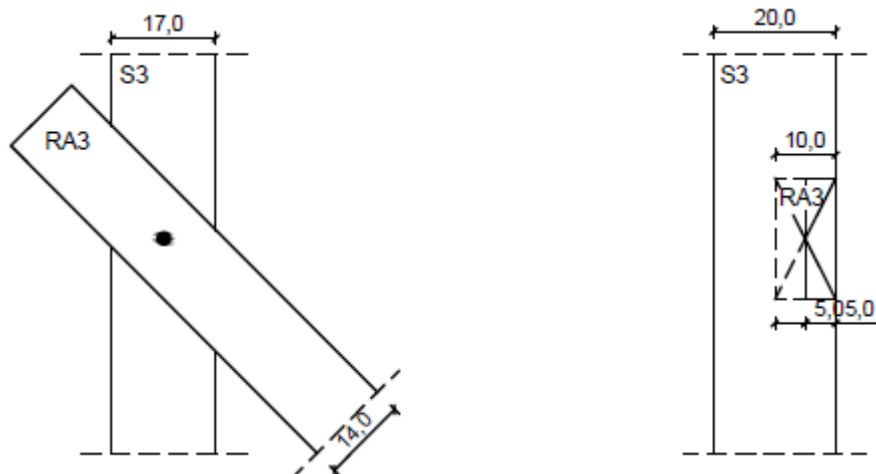
Slika 21: Stik 6 – S3/GP2 (levo pogled, desno prečni prerez).



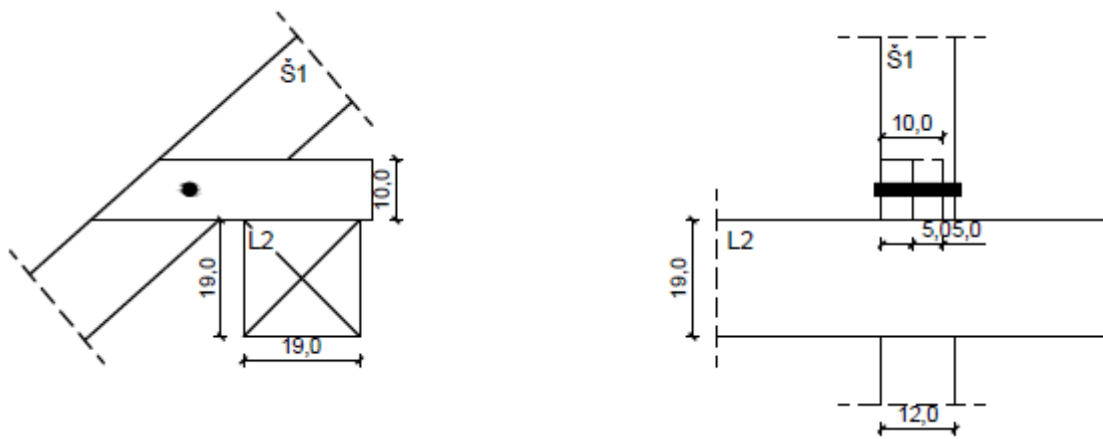
Slika 22: Stik 7 – L2/S3 (levo pogled, desno prečni prerez).



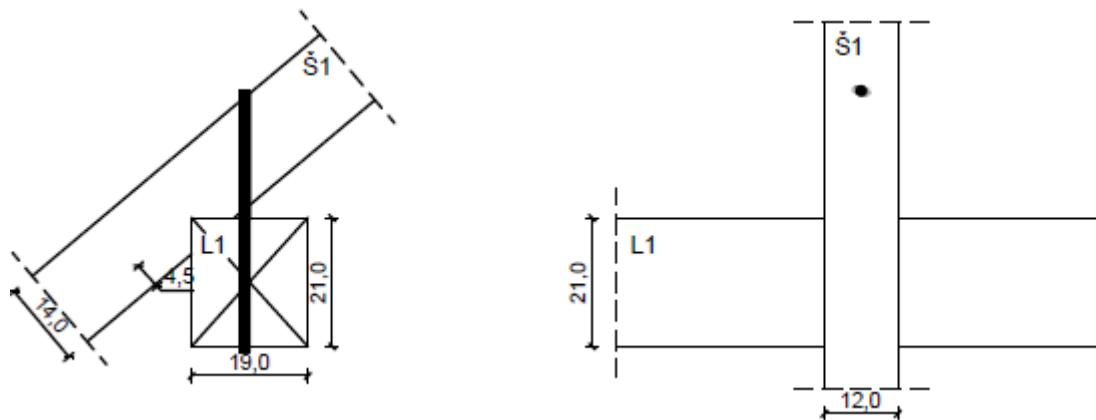
Slika 23: Stik 8 – GP3/L2 (levo pogled, desno prečni prerez).



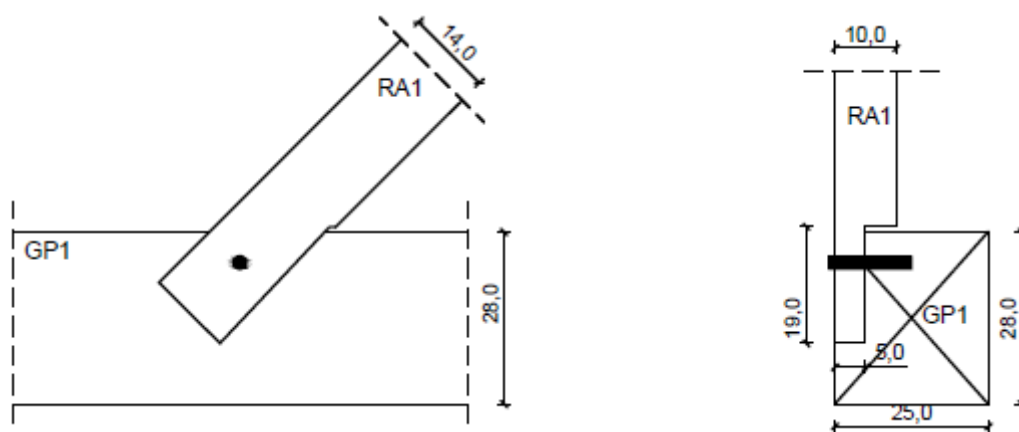
Slika 24: Stik 9 – S3/RA3 (levo pogled, desno prečni prerez).



Slika 25: Stik 10 – Š1/L2 (levo pogled, desno prečni prerez).



Slika 26: Stik 11 – Š1/L1 (levo pogled, desno prečni prerez).



Slika 27: Stik 12 – RA1/GP1 (levo pogled, desno prečni prerez).

3 VPLIVI NA KONSTRUKCIJO

3.1 Stalna obtežba konstrukcije

Pri lastni teži objekta bomo upoštevali naslednje obtežbe:

- Kritine: 0,45 kN/m²,
- Letve: 0,02 kN/m² (tlorisno),
- Špirovci: 0,12 kN/m² (tlorisno),
- Odra plohov 3 cm : 0,14 kN/m²,
- Oboja desk 2,5 cm: 0,12 kN/m²,
- Nosilci pod odri: 0,05 kN/m².

3.2 Koristna obtežba konstrukcije

3.2.1 Streha

Streha objekta najbolj ustreza kategoriji H. Koristno obtežbo na račun vzdrževanja določim iz preglednice 6.10 (EN SIST, 1991-1-1:2004).

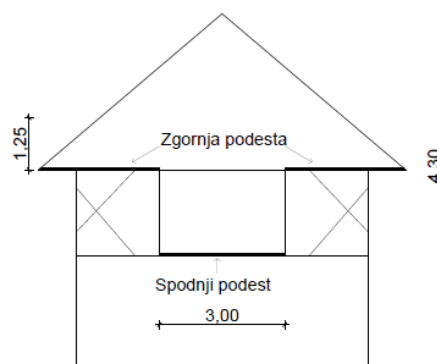
- $q_k = 0,4 \text{ kN/m}^2$

3.2.2 Podesti

Za naš objekt prevzamemo, da je specifično skladišče in bomo dobili obremenitve z logičnimi porazdelitvami različnih skladiščenih materialov.

Pri koristni obtežbi podestov smo izbirali med večimi primeri različnih obtežb in na koncu izbrali tisto, ki povzroča največje obremenitve. Podatke o prostorninskih težah različnih materialov smo prevzeli iz preglednice A.8 (EN SIST, 1991-1-1:2004).

1. Primer: Seno na vseh podestih in sicer na zgornjih navpično do strehe in na spodnjem do najvišje ležeče grede. Za najbolj točno vrednost prostorninske teže sena privzamemo suho nasuto slamo, ki ima 0,7 kN/m³.



Slika 28: Skica lokacije podestov

Na spodnjem podestu:

$$q_k = 0,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times 4,3 \text{ m}$$

$$qk = 3,01 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Na zgornjih podestih:

$$qk = 0,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times 1,25 \text{ m}$$

$$qk = 0,86 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

2. Primer: Na vseh podestih predvidimo vreče napolnjene s pšenico. Za zgornja podesta predpostavimo, da so vreče postavljene leže v eni plasti in so tako visoke 0,25 m. Pri spodnjem pa ravno tako leže, ampak v dveh plasteh in dosežejo višino 0,5 m. Prostorninska teža pšenice v vrečah znaša 7,5 kN/m³ in dimenzije polne preproste 30 kg vreče za žito so (75/25/40cm).

Na spodnjem podestu:

$$qk = 7,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times 0,5 \text{ m}$$

$$qk = 3,75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Na zgornjih podestih:

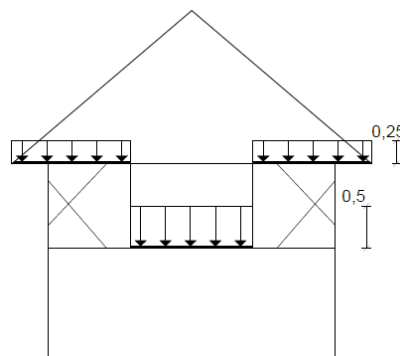
$$qk = 7,5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times 0,25 \text{ m}$$

$$qk = 1,88 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

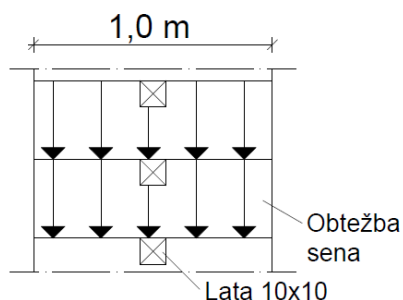
Večjo obtežbo predstavlja drugi primer zato upoštevamo tega.

3.2.3 Med latami

Za obtežbo med latami predvidimo porazdelitev obtežbe prikazano na spodnji sliki. Seno povsem zapolni prostor okoli lat. Ta obtežba simulira objekt ob vzdolžnih straneh napolnjen s senom. Za najbolj točno vrednost teže sena privzamemo povprečje med krmo zeleno nakopičeno, ki ima prostorninsko težo 4 kN/m³ in suho nasuto slamo, ki ima prostorninsko težo 0,7 kN/m³. Ta vmesna vrednost simulira bolj vlažno seno in zaradi ročnega vstavljanja med late rahlo nakopičeno.



Slika 29: skica predvidene porazdelitve obtežbe pšenice.

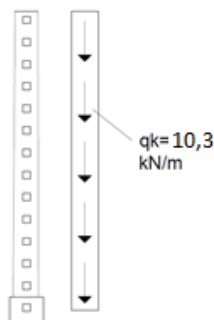


Slika 30: Skica porazdelitve sena med late.

$$\gamma_{(seno)} = \frac{4 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} + 0,7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}}{2} = 2,35 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}$$

$$qk = \gamma_{(seno)} \times \text{vpl. šir}$$

$$qk = 2,35 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} \times 4,38 \text{ m} \times 1 \text{ m} = 10,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$



Slika 31: Skica porazdelitve koristne obtežbe po steburu.

3.3 Obtežba snega

Objekt se nahaja v kraju Šentvid pri Stični na nadmorski višini 334 m in po nacionalnem dodatku (SIST EN , 1991-1-3:2004/A101:2008) spada v območje A2. Karakteristično vrednost obtežbe snega na tleh smo določili z izrazom:

$$s_k = 1,293 \left[1 + \left(\frac{A}{728} \right)^2 \right], \quad (1)$$

$$s_k = 1,57 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Obtežba snega na strehi za trajna projektna stanja se določi z izrazom:

$$s = \mu \times C_e \times C_t \times s_k, \quad (2)$$

Kjer je:

- | | |
|---------------|--|
| A | Nadmorska višina, |
| μ | oblikovni koeficient; izračunam z formulo (3), |
| $C_e = 1,0$ | koeficient izpostavljenosti; vir: preglednica 5.1 v SIST EN 1991-1-1-3:2004, |
| $C_t = 1,0$ | toplotni koeficient vir: SIST EN 1991-1-1-3:2004 in |
| $\alpha = 40$ | naklon strehe. |

$$\mu = 0,8(60 - \alpha) / 30, \quad (3)$$

$$\mu = \frac{0,8(60 - 40)}{30}$$

$$\mu = 0,53$$

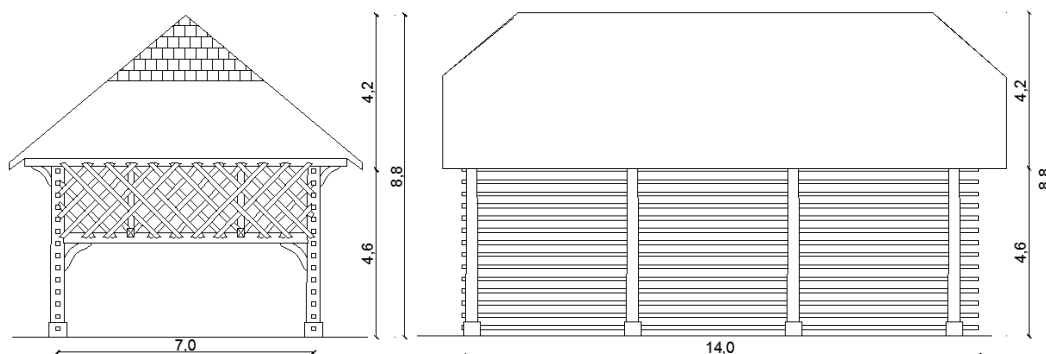
$$s = 0,53 \times 1 \times 1 \times 1,57 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$s = 0,83 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

3.4 Obtežba vetra

3.4.1 Podatki

Obtežba vetra se določi v skladu s pripadajočim standardom SIST EN 1991-1-4: 2005.



Slika 32: Pogled s severne strani (levo) ter z vzhodne strani (desno)

Objekt se nahaja v vetrni coni 1 pod 800 metri nadmorske višine in je na območju kategorije terena II vir: SIST EN 1991-1-4: 2005/A101:2008. Zato privzamemo priporočljivo vrednost osnovne hitrosti vetra $v_{b,0} = 20$ m/s, ki ji pripada osnovni tlak vetra $q_b = 250$ Pa.

Tlak pri največjih hitrostih ob sunkih vetra $q_p(z)$ na višini z izračunamo po enačbi vir: enačba 4.8 v SIST EN 1991-1-4:

$$q_p(z) = c_e(z) \times q_b, \quad (4)$$

Kjer je:

$c_e(z) = 2,25$ faktor izpostavljenosti za teren II kategorije vir: slika 4.2 SIST EN 1991-1-4: 2005 in

$z = 8,8$ m višina nad tlemi.

$$q_p(z) = 2,25 \times 0,25 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

$$q_p(z) = 0,563 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

3.4.2 Račun obtežbe vetra

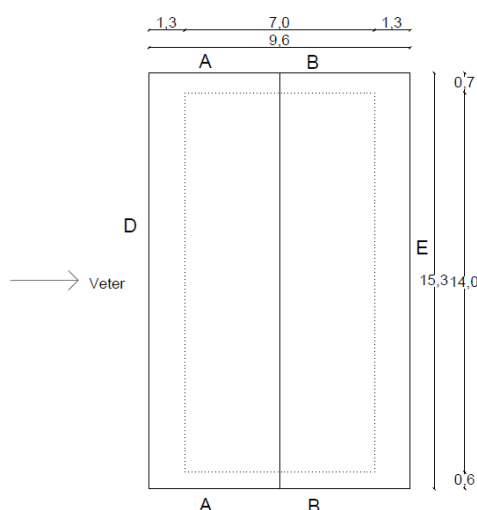
Veter bomo predpostavili z dveh smeri in sicer veter, ki bo pihal pravokotno na vzdolžno stran (vzhodna stran) objekta, bo predstavljal veter v smeri x. Drugi, ki pa bo deloval pravokotno na prečno stran (severno stran), bo predstavljal veter v smeri y.

Naš objekt nima sten, ki so stalno zaprte in veter v enem primeru lahko deluje na njih, v drugem pa piha skozi njih, zato bomo najprej predpostavili, da so stene napolnjene in na koncu, da so prazne ter konstrukcijo računali kot nadstrešnico. Zaradi majhne velikosti čopov, smo te pri izračunu obtežbe vetra zanemarili in predpostavili, da gre za običajno dvokapnico.

3.4.2.1 Veter v smeri x

- Vpliv vetra na stene:

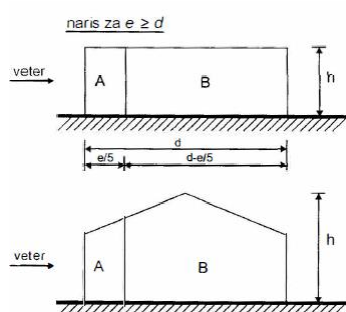
Obremenitve vetra na stene se določi s točko 7.2.2 Navpične stene stavb s pravokotnim tlorisom v standardu SIST EN 1991-1-4: 2005.



Slika 33: Tloris strehe objekta, ki prikazuje smer izvora vetra in oznake območij sten.

Podatki:

$$d = 7 \text{ m}, h = 8,8 \text{ m}, e = 14 \text{ m}, h/d = 1,26$$



Slika 34: Razdelitev sten na območja vir: slika 7.5 SIST EN 1991-1-4: 2005.

Preglednica 2: Ploščine območij sten pri vetru v x smeri.

Območje	Ploščina
A	7,5 m ²
B	12,9 m ²
D	64,3 m ²
E	64,3 m ²

Iz preglednice 7.1 v standardu SIST EN 1991-1-4 prepišemo vrednosti koeficientov zunanje tlaka.

Preglednica 3: Priporočene vrednosti koeficientov za navpične stene stavb vir: preglednica 7.1 SIST EN 1991-1-4: 2005.

Področje	A		B		C		D		E	
	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}
h/d										
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	
≤ 0,25	-1,2	-1,4	-0,8	-1,1	-0,5		+0,8	+1,0	-0,3	

Preglednica 4: Vrednosti koeficientov zunanje tlaka za stene pri vetru v x smeri.

Območje	Koeficient	Vrednost
A:	C _{pe} = C _{pe,10}	-1,2
B:	C _{pe} = C _{pe,10}	-0,8
D:	C _{pe} = C _{pe,10}	0,8
E:	C _{pe} = C _{pe,10}	-0,513

Tlak vetra na zunanje ploskve w_e izračunam po enačbi 5.1 v SIST EN 1991-1-4: 2005:

$$w_e = q_p(z_e) \times c_e, \quad (5)$$

Preglednica 5: Vrednosti tlaka vetra na zunanje ploskve sten, pri vetru v x smeri.

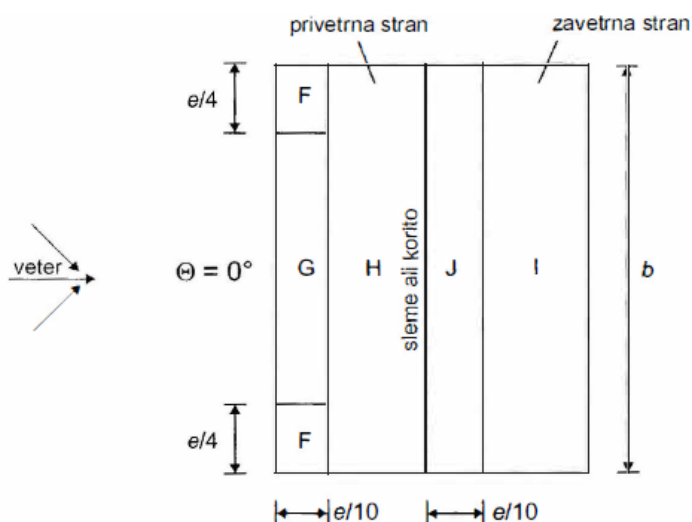
Območje	Oznaka	Vrednost
A:	w_e	-0,68 kN/m ²
B:	w_e	-0,45 kN/m ²
D:	w_e	0,45 kN/m ²
E:	w_e	-0,29 kN/m ²

- Vpliv vetra na streho

Obremenitve vetra na streho se določi s členom 7.2.5 Dvokapnice in koritaste strehe v SIST EN 1991-1-4: 2005.

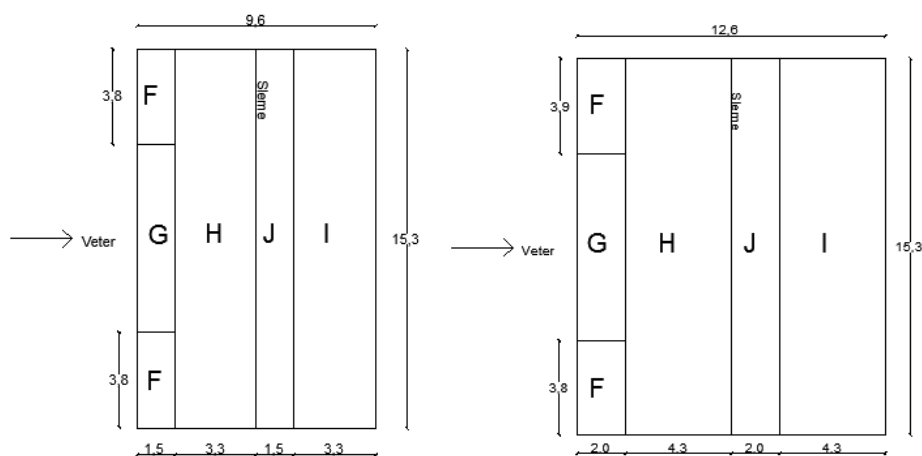
$$e = \min(b, 2h)$$

$$e = 15,3 \text{ m}$$



Slika 35: Razdelitev strehe na vplivna območja vir: slika 7.8 SIST EN 1991-1-4: 2005.

Streho razdelim na območja:



Slika 36: Streha razdeljena na območja, tloris (levo) in naris strehe na ravnini strešine (desno).

Preglednica 6: Ploščina posameznih razdeljenih območij na strehi, veter v smeri x.

Območje	Ploščina
F	7,68 m ²
G	15,25 m ²
H,I	65,8 m ²
J	30,7 m ²

Iz preglednice 7.4a v SIST EN 1991-1-4: 2005 prepíšemo vrednosti koeficientov zunanje tlaka.

Preglednica 7: Vrednosti koeficientov zunanje tlaka na strehi, veter v smeri x.

Območje	Koeficient	Vrednosti tlakov	Vrednosti srkov
F	$C_{pe} = C_{pe,10}$	0,7	-0,17
G	$C_{pe} = C_{pe,10}$	0,7	-0,17
H	$C_{pe} = C_{pe,10}$	0,53	-0,07
I	$C_{pe} = C_{pe,10}$	0	-0,27
J	$C_{pe} = C_{pe,10}$	0	-0,37

Tlak vetra na zunanje ploskve w_e izračunam po enačbi (5).

Preglednica 8: Vrednosti obtežbe vetra (tlak), po območjih.

Območje	Oznaka	Vrednost
F	w_e	0,39 kN/m ²
G	w_e	0,39 kN/m ²
H	w_e	0,30 kN/m ²
I	w_e	0
J	w_e	0

$$w_{e,povp} = 0,31 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}, \quad \text{Povprečni tlak vetra na prvo strešino.}$$

Preglednica 9: Vrednosti obtežbe vetra (srk), po območjih.

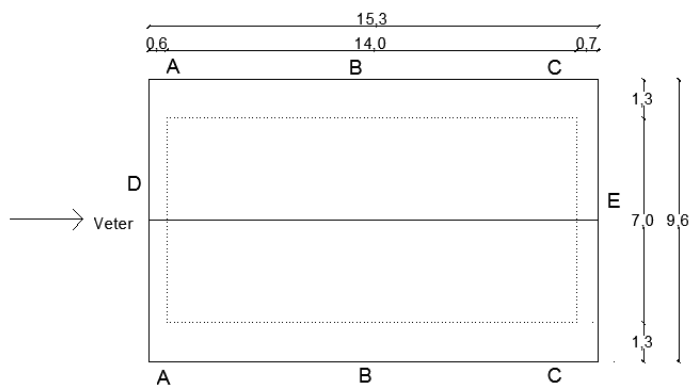
Območje	Oznaka	Vrednost
F	w_e	-0,10 kN/m ²
G	w_e	-0,10 kN/m ²
H	w_e	-0,04 kN/m ²
I	w_e	-0,15 kN/m ²
J	w_e	-0,21 kN/m ²

$$w_{e,povp} = 0,17 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}, \quad \text{Povprečni srk vetra na drugo strešino.}$$

3.4.2.2 Veter v smeri-y

- Vpliv vetra na stene:

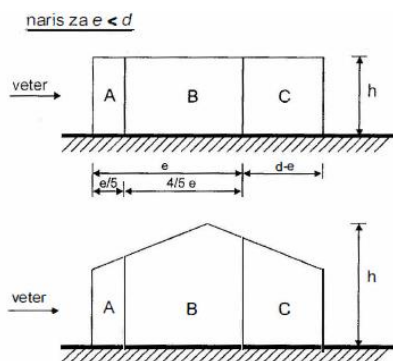
Obremenitve vetra na stene se določi s členom 7.2.2 Navpične stene stavb s pravokotnim tlorisom v standardu SIST EN , 1991-1-4: 2005.



Slika 37: Tloris smeri vetra in pozicije območij sten

Podatki:

$$d = 14 \text{ m}, e = 7 \text{ m}, h/d = 0,63$$



Slika 38: Razdelitev sten na območja vir: slika 7.5 SIST EN , 1991-1-4: 2005.

Preglednica 10: Ploščine območij sten pri vetru, v x smeri.

Območje	Ploščina
A	6,4 m ²
B	25,6 m ²
C	32,3 m ²
D,E	34,5 m ²

Iz preglednice 7.1 SIST EN , 1991-1-4: 2005 prepišem vrednosti koeficientov zunanje tlaka.

Preglednica 11: Vrednosti koeficienta zunanje tlaka na stene v smeri y

Območje	Koeficient	Vrednost
A	$C_{pe} = C_{pe,10}$	-1,2
B	$C_{pe} = C_{pe,10}$	-0,8
C	$C_{pe} = C_{pe,10}$	-0,5
D	$C_{pe} = C_{pe,10}$	0,75
E	$C_{pe} = C_{pe,10}$	-0,40

Tlak vetra na zunanje ploskve w_e izračunam po enačbi (5)

Preglednica 12: Vrednosti tlaka vetra na zunanje ploskve sten, pri vetru v smeri y.

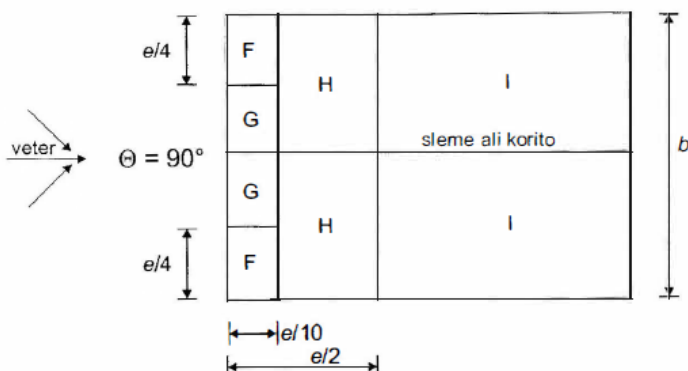
Območje	Oznaka	Vrednost
A	w_e	-0,68 kN/m ²
B	w_e	-0,45 kN/m ²
C	w_e	-0,28 kN/m ²
D	w_e	0,42 kN/m ²
E	w_e	-0,23 kN/m ²

- Vpliv vetra na streho

Obremenitve vetra na streho se določi po točki 7.2.5 Dvokapnice in koritaste strehe v standardu SIST EN , 1991-1-4: 2005.

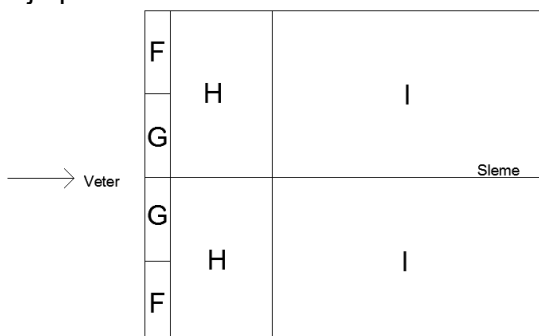
$$e = \min(b, 2h)$$

$$e = 9,6 \text{ m}$$



Slika 39: Razdelitev strehe na vplivna območja, veter v vzdolžni smeri vir: slika 7.5 v SIST EN 1991-1-4: 2005.

Streho razdelimo na območja prikazano:



Slika 40: Streha razdeljena na območja, naris strehe na ravnini strešine.

Preglednica 13: Ploščina posameznih razdeljenih območij na strehi, veter v smeri Y.

Območje	Vrednost
F	3 m ²
G	3 m ²
H	24,5 m ²
I	66,3 m ²

Iz preglednice 7.4b SIST EN 1991-1-4: 2005 prepisemo vrednosti koeficientov zunanjega tlaka.

Preglednica 14: Vrednosti koeficientov zunanjega tlaka na strehi, veter v smeri y.

Območje	Koeficient	Vrednost
F	$C_{pe} = C_{pe,10}$	-1,1
G	$C_{pe} = C_{pe,10}$	-1,4
H	$C_{pe} = C_{pe,10}$	-0,87
I	$C_{pe} = C_{pe,10}$	-0,5

Tlak vetra na zunanje ploskve w_e izračunam po enačbi (5)

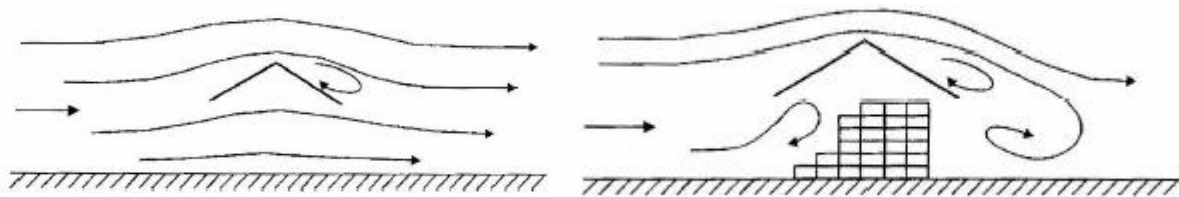
Preglednica 15: Vrednosti obtežbe vetra (s_{rk}), po območjih.

Območje	Oznaka	Vrednost
F	w_e	-0,62 kN/m ²
G	w_e	-0,79 kN/m ²
H	w_e	-0,49 kN/m ²
I	w_e	-0,28 kN/m ²

3.4.2.4 Račun konstrukcije, kot nadstrešnica

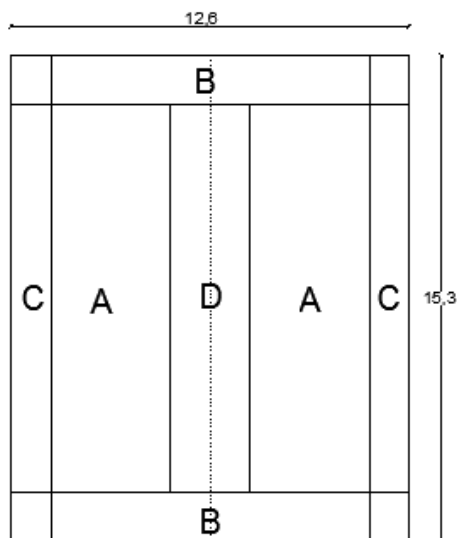
Tu predpostavimo dve možnosti: Prvo, da objekt nima nobene zapolnitve sten, s čimer bi ovirala veter pri tem velja ($\varphi=0$). In drugo, da je na zavetrnem kapu povsem zaprta z uskladiščenim materialom pri čemer velja ($\varphi=1$). V obeh primerih veter lahko direktno pritiska na ostrešje z notranje strani in ob enem srka na zunanji strani. Na koncu bomo upoštevali tisto, ki bo vsebovala večji vpliv.

Za izračun obremenitve vetra uporabimo poglavje 7.3 Nadstrešnice v SIST EN 1991-1-4: 2005.



Slika 41: Prazna prostostoječa nadstrešnica $\varphi=0$ (levo) in povsem zaprta na zavetrni strani $\varphi=0$ (desno), vir: slika 7.15 v SIST EN 1991-1-4: 2005.

Nato streho razdelimo na območja in izpišemo vrednosti $c_{pe,net}$ (lokalno) in c_f (globalno) prikazano v preglednici 7.7 Vrednosti $c_{pe,net}$ in c_f za dvokapne nadstrešnice v SIST EN 1991-1-4: 2005.



Slika 42: Razdelitev strehe na območja.

- **Lokalno:**

Preglednica 16: Vrednosti koeficientov za posamezna območja pri prazni in na zadnji strani zaprti nadstrešnici.

Območje	$\varphi=0$		$\varphi=1$	
	max $C_{pe,net}$	min $C_{pe,net}$	max $C_{pe,net}$	min $C_{pe,net}$
A	1,3	-1,4	1,3	-1,4
B	1,9	-1,9	1,9	-1,8
C	1,6	-1,4	1,6	-1,4
D	0,7	-2,0	0,7	-2,0

Za naprej upoštevamo koeficiente pri spodaj prazni nadstrešnici, ker so rahlo večji. Tlak vetra na zunanje ploskve w_e izračunam po enačbi (6).

$$w_e = q_p(z_e) \times C_{pe,net} \quad (6)$$

Preglednica 17: Vrednosti obremenitve vetra za posamezna območja pri prazni nadstrešnici.

Območje	w_e (navzdol)	w_e (navzgor)
A	0,73 kN/m ²	-0,79 kN/m ²
B	1,07 kN/m ²	-1,07 kN/m ²
C	0,90 kN/m ²	-0,79 kN/m ²
D	0,39 kN/m ²	-1,13 kN/m ²

- **Globalno:**

Preglednica 18: Vrednosti koeficientov sile za globalno območje pri $\varphi=0$ in $\varphi=1$.

	$\varphi=0$	$\varphi=1$
(navzdol) C_f	0,9	0,9
(navzgor) C_f	-1,0	-1,3

Vrednosti pri $\varphi=1$ so večje, zato upoštevamo njih. Tlak vetra na celotno ploskev ene strešine F_w izračunam po enačbi (7), vir: enačba 5.3 v SIST EN 1991-1-4: 2005.

$$F_w = c_s \times c_d \times c_f \times q_p(z_e) \times A_{ref} \quad (7)$$

Kjer so:

- $c_s \times c_d = 1$ konstrukcijska faktorja,
- c_f koeficient sile za konstrukcijo,
- $q_p(z_e)$ največji tlak pri sunkih vetra in

A_{ref} referenčna površina je v tem primeru ploščina ene strešine.

$$F_w = 1 \times 0,9 \times 0,563 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 96,4 \text{ m}^2$$

$$F_w = 48,80 \text{ kN} \quad \text{ali} \quad w = 0,51 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Skupna sila in tlak, ki potiska strešino navzdol.}$$

$$F_w = 1 \times (-1,3) \times 0,563 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 96,4 \text{ m}^2$$

$$F_w = -70,49 \text{ kN} \quad \text{ali} \quad w = -0,73 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \quad \text{Skupna sila in srk, ki vleče strešino navzgor.}$$

3.4.3 Rezultati vplivov vetra

Tu bomo prikazali katere vrednosti vplivov bomo upoštevali za nadaljnjo statično analizo.

- **Globalno:**

V smeri x je za streho merodajni seštevek vplivov:

Prva strešina tlak:

$$w = 0,51 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Druga strešina srk:

$$w = -0,73 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

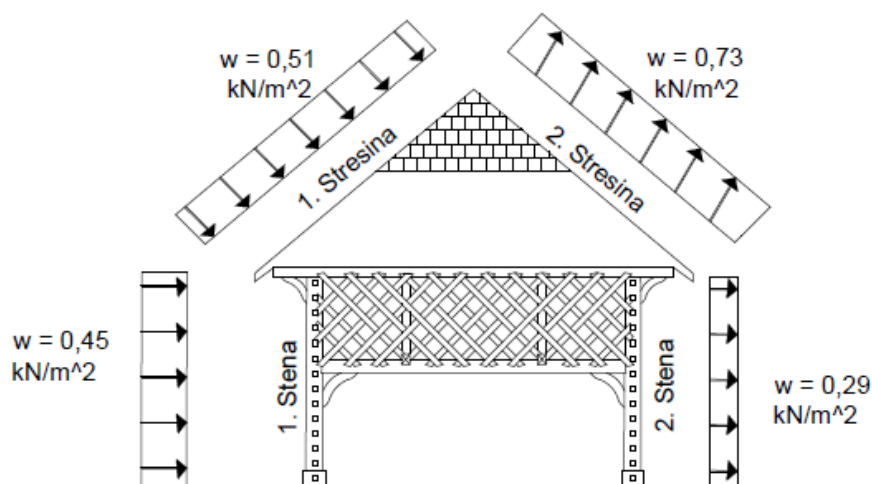
V smeri x je za steno merodajni seštevek vplivov:

Prva stena (tlak):

$$w = 0,45 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Druga stena (srk):

$$w = 0,29 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



Slika 43: Smeri in velikost tlakov vetra v smeri x.

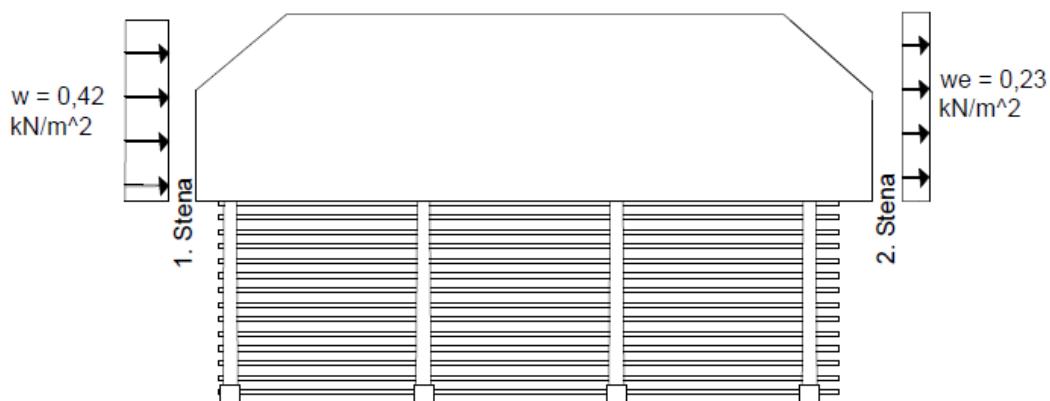
V smeri y za steno sta merodajni vrednosti:

Prva stena (tlak):

$$w = 0,42 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$

Druga stena (srk):

$$w = 0,23 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}$$



Slika 44: Smeri in velikost tlakov vetra v smeri y.

- **Lokalno:**

Lokalno bomo upoštevali le obtežbo pri nadstrešnici za streho v območju B:

(to bomo uporabili pri statičnem preračunu špirovca)

$$w = 1,07 \text{ kN/m}^2$$

3.5 Potresna obtežba

Za določitev potresnega vpliva se bomo ozirali na standard SIST EN 1998-1. Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij.

3.5.1 Podatki in izračun mas

- Projektni pospešek tal: $a_g = 0,175$
- Tip tal A (skala): $(S = 1,0), (T_B = 0,15), (T_C = 0,4), (T_D = 2)$
- Faktor obnašanja: $q = 1,5$

Mase smo skoncentrirali na dveh nivojih. Vso maso nad gredo GP2 porazdelimo enakomerno na višini zgornjih podestov. Ostalo maso pod GP2 porazdelimo na višini spodnjega podesta v trupu.

Maso izračunamo z izrazom:

$$M_i = M_{i,G} + \varphi \times \psi_{2,i} \times M_{i,Q} \quad (8)$$

Kjer so:

- $M_{i,G}$ prispevek lastne in stalne obtežbe,
 $M_{i,Q}$ prispevek koristne obtežbe k izračunu mase,
 $\varphi = 0,5$ faktor zasedenosti etaž,
 $\psi_2 = 0,8$ kombinacijski faktor, Kategorija E skladišča,
 M_1 masa na nivoju spodnjega podesta po celotnem tlorisu in
 M_2 masa na nivoju zgornjih podestov po celotnem tlorisu.

Spodnji del:

$$M_{1,G} = \frac{V_{smreke,sp} \times \gamma_{C30} + V_{hrasta} \times \gamma_{D40}}{g} = \frac{13,83 \text{ m}^3 \times 4,513 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3} + 11,05 \text{ m}^3 \times 6,87 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}}{9,81}$$

$$M_{1,G} = 14,1 \text{ t}$$

$$M_{1,Q} = \frac{(Pl_{podesta,sp}) \times q_{pšenice}}{g} = \frac{(13,1 \text{ m} \times 2,8 \text{ m}) \times 3,75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{9,81} = 14 \text{ t}$$

Zgornji del:

$$M_{2,G} = ((q_{kritina} + q_{remelni}) \times A_{strehe} + V_{smreke,zg} \times \gamma_{C30}) / g$$

$$M_{2,G} = \frac{(0,45 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0,02 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}) \times 192,8 \text{ m}^2 + 12,1 \text{ m}^3 \times 4,513 \frac{\text{kN}}{\text{m}^3}}{9,81} = 14,8 \text{ t}$$

$$M_{2,Q} = \frac{(Pl_{podesta,zg} \times 2) \times q_{pšenice}}{g} = \frac{(14,6 \text{ m} \times 2,5 \text{ m} \times 2) \times 1,88 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}}{9,81} = 14 \text{ t}$$

$$M_1 = 14,1 \text{ t} + 0,5 \times 0,8 \times 14 \text{ t}$$

$$M_1 = 19,68 \text{ t}$$

$$M_2 = 14,8 \text{ t} + 0,5 \times 0,8 \times 14 \text{ t}$$

$$M_2 = 20,39 \text{ t}$$

$$M = M_1 + M_2 = 40,07 \text{ t}$$

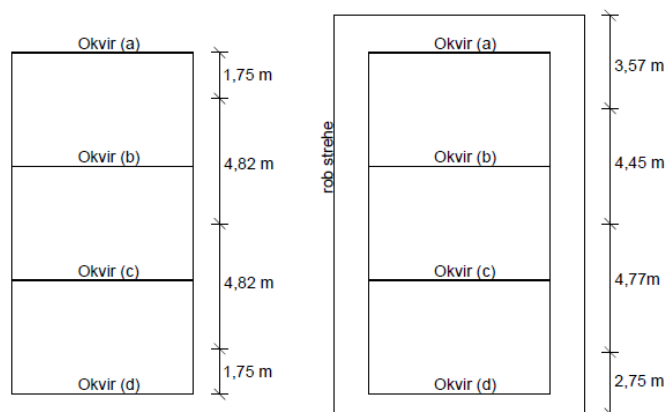
3.5.2 Razporeditev mas po okvirjih

Dobljene mase smo razporedili enakomerno po nivojih in nato izračunali njihov vpliv na glavne okvirje z upoštevanjem vplivnih širin.

Okvirje smo označili od čela toplarja z oznakami: (a., b., c., d.).

Preglednica 19: Razporeditev mas po okvirjih in etažah.

Nivo (etaža)	Oznaka okvirja	Masa (t/m)	Vplivna širina (m)	Mase na okvir in po etažah (t)
2	a	1,31	3,57	4,68
1		1,5	1,75	2,63
2	b	1,31	4,45	5,84
1		1,5	4,82	7,24
2	c	1,31	4,77	6,26
1		1,5	4,82	7,24
2	d	1,31	2,75	3,61
1		1,5	1,75	2,63
				Σ 40,07



Slika 45: Tloris lokacij okvirjev in vplivnih širin, prvi nivo (levo) ter drugi nivo (desno).

Merodajna okvirja sta a in c.

$$M_{2,a} = 4,68 \text{ t}, M_{1,a} = 2,63 \text{ t}$$

$$M_{2,c} = 6,26 \text{ t}, M_{1,c} = 7,24 \text{ t}$$

3.5.3 Metoda z vzporednimi silami

- **Potres deluje v prečni smeri**

Predpostavimo pomožno potresno silo velikosti $F = 100 \text{ kN}$ in jo porazdelimo glede na velikost mas v posamezni etaži.

$$F_{i,j,z} = F \times \frac{M_{i,j}}{\sum M_{i,j}} \quad (9)$$

Izračunane sile vstavimo v 3D model v SAP2000 in dobimo pomike konstrukcije na obeh etažah.

Končni okvir:

$$F_{2,a,z} = 64,05 \text{ kN} \quad u_{2,a} = 0,0274 \text{ m}$$

$$F_{1,a,z} = 35,95 \text{ kN} \quad u_{1,a} = 0,0268 \text{ m}$$

Začetni okvir:

$$F_{2,c,z} = 46,35 \text{ kN} \quad u_{2,c} = 0,0308 \text{ m}$$

$$F_{1,c,z} = 53,64 \text{ kN} \quad u_{1,c} = 0,025 \text{ m}$$

Za izračun nihajnega časa uporabimo enačbo:

$$T = 2\pi \times \frac{\sum M_{i,j} \times u_{i,j}^2}{\sum F_{i,j} \times u_{i,j}} \quad (10)$$

Končni okvir: $T = 0,2802 \text{ s}$

Vmesni okvir: $T = 0,3862 \text{ s}$

Za končni nihajni čas prevzamemo povprečno vrednost obeh: $T = 0,33 \text{ s}$

Vrednosti v projektnem spektru za elastično analizo:

$$s_d = a \times g \times S \times \frac{2,5}{q} \quad (11)$$

$$s_d = 0,175 \times 9,81 \times 1,0 \times \frac{2,5}{1,5}$$

$$s_d = 2,86$$

Celotna potresna sila se izračuna z izrazom:

$$F_b = M \times s_d \times \lambda \quad (12)$$

$$F_b = 40,07 \times 2,86 \times 1,0$$

$$F_b = 114,6 \text{ kN}$$

Razdelitev končnih potresnih sil po okvirjih in etažah:

$$F_{i,j} = F_b \times \frac{M_{i,j}}{M} \quad (13)$$

Končni okvir:

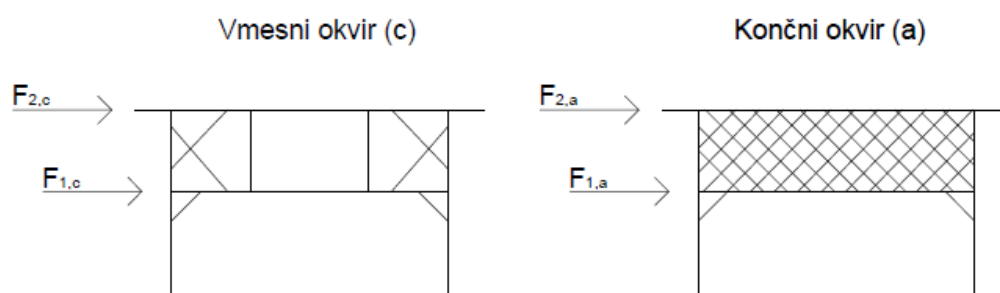
Vmesni okvir:

$$F_{2,a} = 13,40 \text{ kN}$$

$$F_{2,c} = 17,91 \text{ kN}$$

$$F_{1,a} = 7,52 \text{ kN}$$

$$F_{1,c} = 20,72 \text{ kN}$$



Slika 46: Skica končne porazdelitve potresne obremenitve pri potresu v prečni smeri na objekta.

Kjer so:

- $F_{i,j,z}$ začasna porazdeljena sila v i-ti etaži in j-tem okvirju,
- $u_{i,j}$ dobljeni pomiki iz programa SAP2000 zaradi sil $F_{i,j,z}$, ki delujejo na 3D model v i-ti etaži in j-tem okvirju,
- T nihajni čas celotne konstrukcije,
- S_d vrednosti v projektnem spektru pospeškov za elastično analizo,
- F_b celotna potresna sila, ki deluje v prečni smeri na objekt in
- $F_{i,j}$ končna porazdeljena sila v i-ti etaži in j-tem okvirju.

- **Potres deluje v vzdolžni smeri**

Predpostavimo pomožno potresno silo velikosti $F = 100\text{kN}$ porazdelimo glede na velikost mas v posamezni etaži.

$$F_{i,z} = F \times \frac{M_i}{\sum M_i} \quad (14)$$

Izračunane sile vstavimo v 3D model v SAP2000 in dobimo pomike konstrukcije na obeh etažah.

$$F_{2,z} = 50,9 \text{ kN}$$

$$u_2 = 0,0439 \text{ m}$$

$$F_{1,z} = 49,1 \text{ kN}$$

$$u_1 = 0,0436 \text{ m}$$

Nihajni čas dobimo s pomočjo enačbe (10)

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{20,39 \times 0,0439^2 + 19,68 \times 0,0436^2}{50,9 \times 0,0439 + 49,1 \times 0,0436}}$$

$$T = 0,83 \text{ s}$$

Vrednosti v projektnem spektru za elastično analizo:

$$s_d = a_g \times S \times \frac{2,5}{q} \times \frac{T_c}{T} \quad (15)$$

$$s_d = 1,72 \times 1,0 \times \frac{2,5}{1,5} \times \frac{0,4}{0,83}$$

$$s_d = 1,38$$

Celotna potresna sila se izračuna s pomočjo enačbe (14).

$$F_b = 40,13 \times 1,38 \times 1,0$$

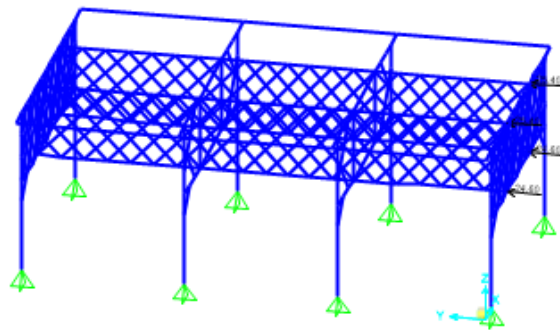
$$F_b = 55,1 \text{ kN}$$

Za razdelitev končnih potresnih sil po etažah uporabimo formulo (15).

$$\underline{F_2 = 28 \text{ kN}} \quad F_2/2 = 14 \text{ kN}$$

$$\underline{F_1 = 27,1 \text{ kN}} \quad F_1/2 = 13,5 \text{ kN}$$

Dobljene sile prepolovimo in predvidimo, da delujejo v spodnjih in zgornjih točkah vzdolžnih bran.

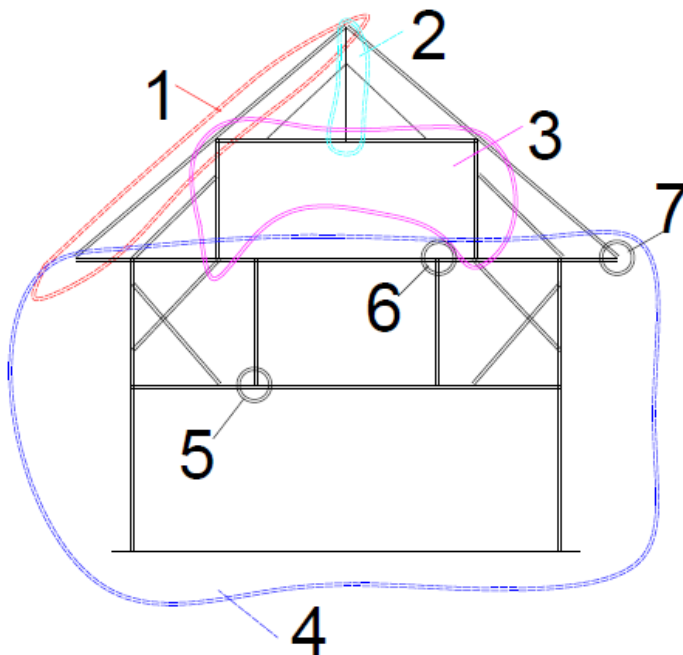


Slika 47: Skica porazdelitve potresne obtežbe pri potresu v vzdolžni smeri.

4 STATIČNI IZRAČUN KONSTRUKCIJE

Za račun notranjih statičnih količin smo uporabili program SAP2000, ki temelji na metodi končnih elementov.

Zapleto konstrukcijo smo pred analizo razdelili na sedem bolj enostavnih podkonstrukcij (glej Slika 48) in jim predpostavili statične modele. Zaradi vzdolžne obtežbe s potresom in vetrom, smo morali napraviti še zadnji osmi model. Vsak model smo obravnavali ločeno od drugega.



Slika 48: Razdelitev konstrukcije na modele.

Ločeno obravnavani modeli:

Model 1 - Špirovec (Š1).

Model 2 - Slemenske lege ter pripadajoči stebri in ročice.

Model 3 - Trapezno vešalo strehe.

Model 4 - Osrednji prečni okvir.

Model 5 - Vzdolžna greda na nivoju spodnjega podesta (GV1),

Model 6 - Vzdolžna greda na nivoju zgornjega podesta (GV2),

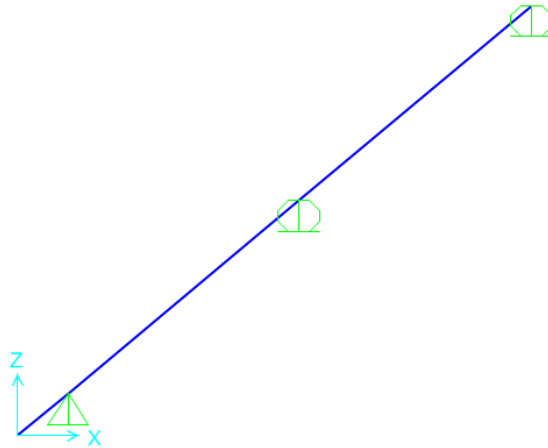
Model 7 – Kapna lega (L1).

Model 8 - Celoten objekt pod zgornjim podestom.

4.1 Model 1

4.1.1 Statična zasnova

Za zasnovo špirovca smo izbrali poševen kontinuiran nosilec preko dveh polj s previsom na eni strani.



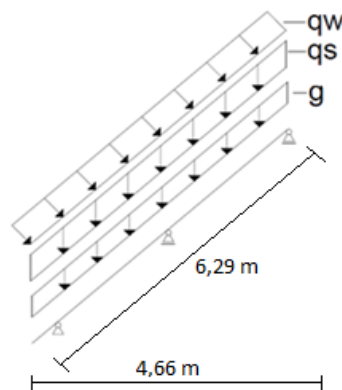
Slika 49: Statični model špirovca.

4.1.2 Razporeditev obtežb

Po načrtih so špirovci postavljeni na medsebojni razdalji 0,9 m. Torej je vplivna širina obtežbe enaka 0,9 m.

Na modelu upoštevam naslednje vplive:

- sneg: $q_s = 0,83 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times \frac{4,66 \text{ m}}{6,29 \text{ m}} \times 0,9 \text{ m} = 0,56 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- veter: $q_w = 0,51 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 0,9 \text{ m} = 0,46 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$
- lastna teža: $g = 0,47 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 0,9 \text{ m} = 0,42 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$



Slika 50: Prikaz razporeditve obtežbe špirovca.

4.1.3 Kombinacije obtežb

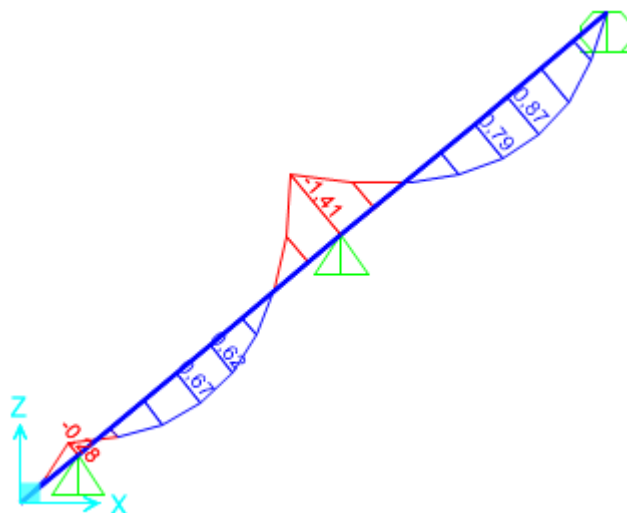
Preglednica 20: Obtežne kombinacije s pripadajočimi faktorji za MSN.

Kombinacije	g	q_s	q_w
$K1$	1,35		
$K2$	1,35		1,5
$K3$	1,35	1,5	
$K4$	1,35	1,5	1,5x(0,6)
$K5$	1,35	1,5x(0,7)	1,5

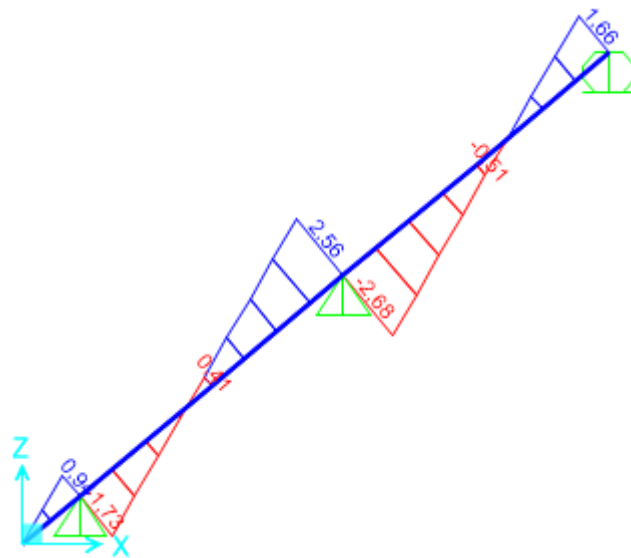
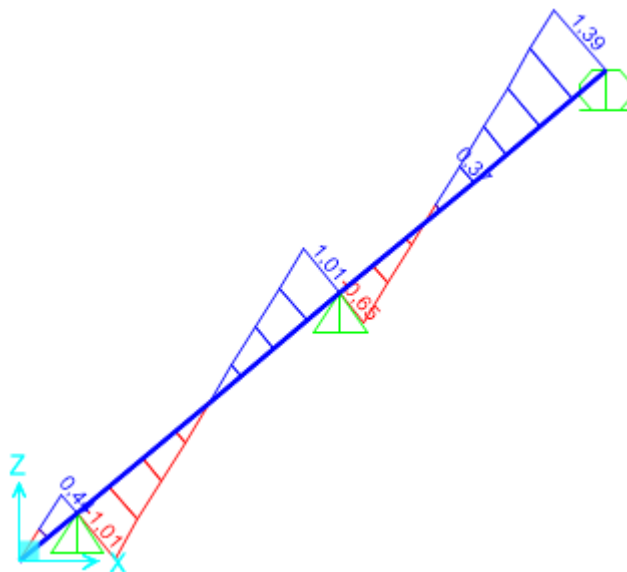
4.1.4 Rezultati

Glede na statično analizo različnih kombinacij dobimo v špirovcu spodaj navedene notranje statične količine.

Vse ekstremne vrednosti notranjih statičnih količin se pojavijo pri $K5$ in so:



Slika 51: Potek projektne vrednosti upogibnih momentov M_y pri obtežni kombinaciji $K5$.

Slika 52: Potek projektnih prečnih sil V_z pri obtežni kombinaciji K5.Slika 53: Potek projektnih osnih sil N_x pri obtežni kombinaciji K5.

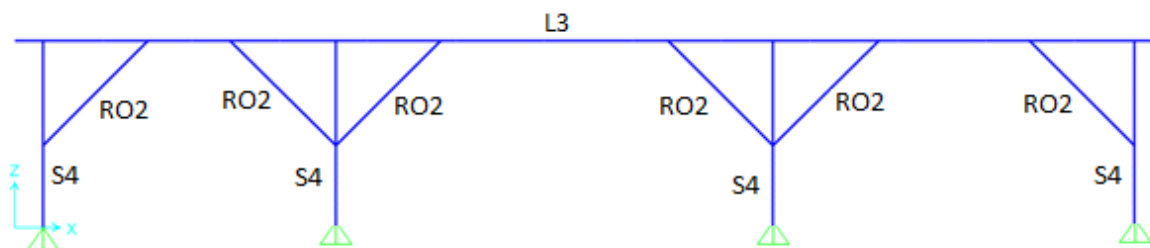
Preglednica 21: Vrednosti NSK pri K5.

$ M_{d,min} $	1,41 kNm
$V_{d,max}$	2,68 kN
$N_{d,max}$	1,39 kN

4.2 Model 2

4.2.1 Statična zasnova

Za računsko analizo notranjih statičnih količin zgornjega dela ostrešja (slemenska lega L3, stebri S4 in ročice RO2), uporabimo ravninski model. Zgornja lega je neprekinjeni nosilec dolžine 11,7 m. Stebri in ročice so členkasto priključeni nanj.



Slika 54: Statični model zgornjega dela konstrukcije.

4.2.2 Razporeditev obtežb

Tu smo predpostavili sile s špirovcev, ki smo jih dobili tako, da smo v model 1 vstavili le osnovne obremenitve brez varnostnih faktorjev. Nato smo iz modela 1 razbrali reakcije zgornje podpore za posamezno vrsto obtežbe in jih uporabili v modelu 2.

Obremenitev s čopa smo dobili tako, da smo predpostavili obremenitve na trikoten tloris. Nato smo 1/3 dobljene posamezne vrednosti uporabili na levem in desnem robu lege L3.

Na modelu upoštevamo naslednje vplive :

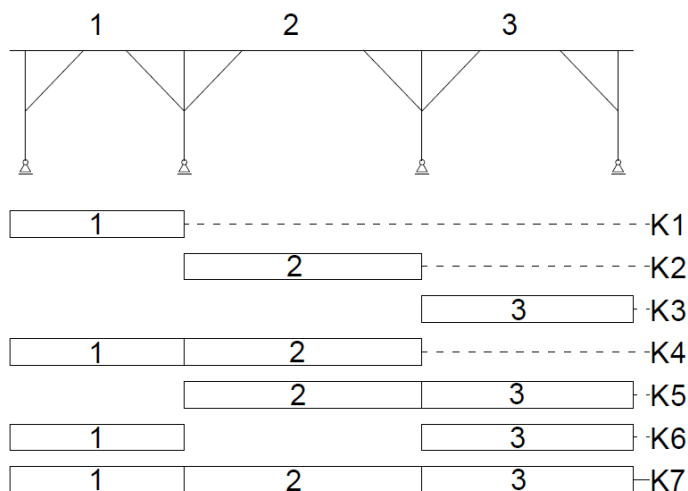
Sile s špirovcev:

- sneg: $F_{Q_s} = 0,6 \text{ kN} \times 2(\text{št strešin}) = 1,2 \text{ kN}$
- veter: $F_{Q_w} = 0,64 \text{ kN}$
- lastna teža: $F_G = 0,45 \text{ kN} \times 2(\text{št strešin}) + 0,22 \text{ kN} (\text{tež špiravca}) = 1,12 \text{ kN}$

Sile s čopa:

- sneg: $F_{\check{c}op,Q_s} = 0,83 \text{ kN}$,
- lastna teža: $F_{\check{c}op,G} = 0,79 \text{ kN}$,
- veter: $F_{\check{c}op,Q_w(h)} = 0,57 \text{ kN}$,
- veter: $F_{\check{c}op,Q_w(v)} = 0,57 \text{ kN}$.

4.2.3 Kombinacije obtežb



Slika 55: Razporeditev obteženih polj v pomožnih kombinacijah.

Model smo obremenili po poljih z dvema kombinacijama obtežb (Ka in Kb):

$$Ka: Q_d + G_d = 1,35G + 1,5Q_s + 1,5 \times 0,6Q_w$$

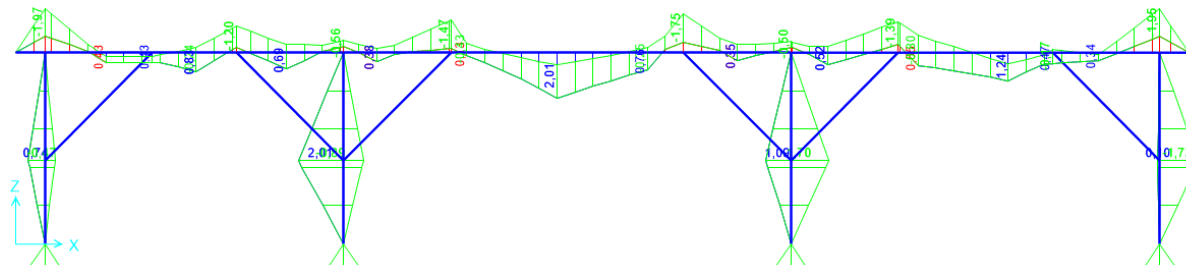
$$Kb: Q_d + G_d = 1,35G + 1,5 \times 0,7Q_s + 1,5Q_w$$

Preglednica 22: Obremenitvene kombinacije z razporeditvijo koristne obremenitve snega po omenjenih poljih.

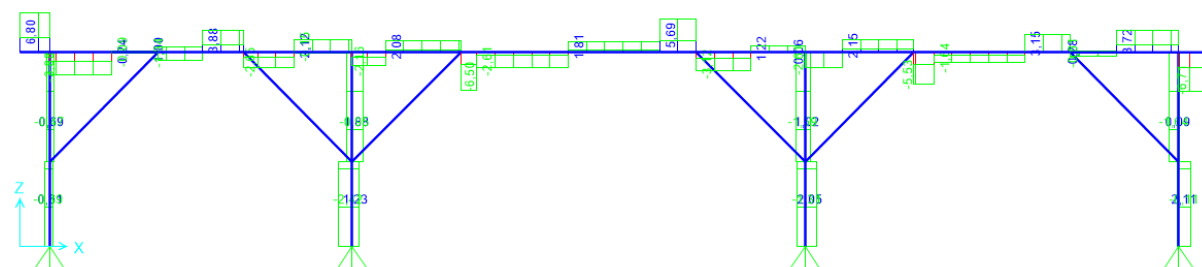
Kombinacija	Obteženi primer	Obremenjena polja
$Ka-1$	Ka	1
$Ka-2$	Ka	2
$Ka-3$	Ka	3
$Ka-4$	Ka	1,2
$Ka-5$	Ka	2,3
$Ka-6$	Ka	1,3
$Ka-7$	Ka	1,2,3
$Kb-1$	Kb	1
$Kb-2$	Kb	2
$Kb-3$	Kb	3
$Kb-4$	Kb	1,2
$Kb-5$	Kb	2,3
$Kb-6$	Kb	1,3
$Kb-7$	Kb	1,2,3

4.2.4 Rezultati

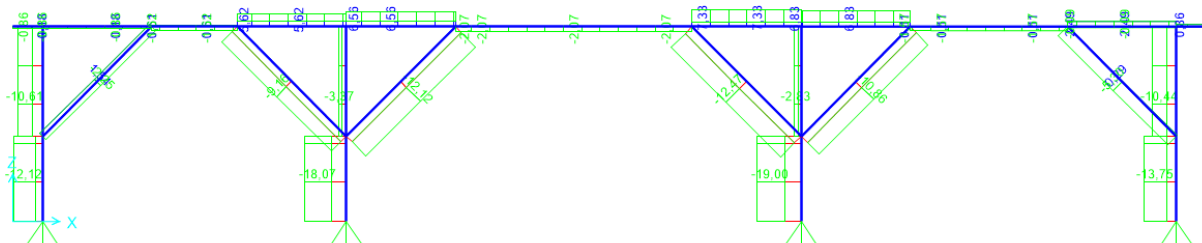
Glede na statično analizo različnih kombinacij vplivov podanih v preglednici 22 dobimo v modelu 2 spodaj podane notranje statične količine.



Slika 56: Ovojnice ekstremnih projektnih vrednosti momenta M_y .



Slika 57: Ovojnica ekstremnih projektnih vrednosti prečnih sil V_z .



Slika 58: Ovojnica ekstremnih projektnih vrednosti osnih sil N_x .

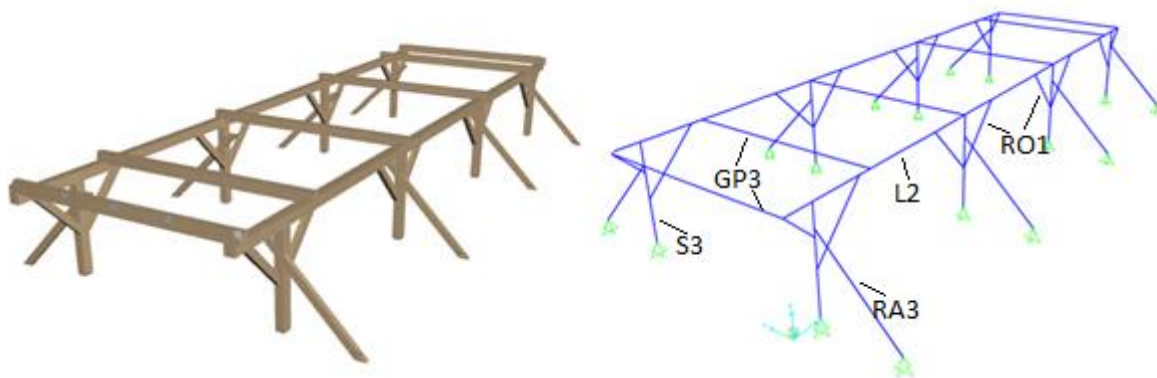
Preglednica 23: Maksimalne projektne notranje statične količine v posameznih elementih zgornjega dela ostrešja.

Element	$ M_y $	$ V_z $	N_x (tlak)	N_x (nateg)
L3	2,01 kNm	6,8 kN	2,07 kN	7,33 kN
RO2			12,47 kN	1,5 kN
S4	2,01 kNm	2,4 kN	19 kN	

4.3 Model 3

4.3.1 Statična zasnova

Model 3 je zasnovan na osnovi prostorskega okvirja. Legi (L2) potekata neprekinjeno po celotni dolžini. Stebri (S3) so členkasto priključeni v zgornjo lego ter prenašajo obtežbo na vrtljivo nepomično podporo spodaj. Grede (GP3) in ročice (RO1) so členkasto priključene v lego. Razpore (RA3) v ravnini y-z so na vrhu členkasto pritrjene na steber (S3), spodaj pa so vrtljivo nepomično podprte.



Slika 59: Statični model spodnje strešne konstrukcije (desno) in 3D model (levo).

4.3.2 Razporeditev obtežbe

Na ta model se obremenitve prenašajo večinoma s treh smeri. Obremenitve z modela 2 se prenašajo, kot sile v sredini gred. Tu smo podobno kot pri prejšnjem poglavju, v model 2 vnesli vsako posamezno obtežbo po celotnem modelu brez varnostnih faktorjev in dobili reakcije podpor. Dobljene sile smo nanegli v sredino gred (GP3), razen na prvo in zadnjo gredo, ker tam deluje obtežba s čopa.

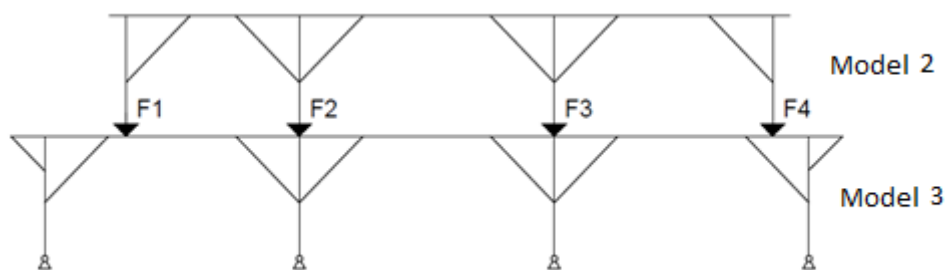
Nato smo predpostavili sile s špirovcev, ki smo jih dobili tako, da smo v model 1 vstavili le osnovne obremenitve brez varnostnih faktorjev, potem pa z rezultatov razbrali reakcije srednje podpore za posamezno vrsto obtežbe.

Obtežbo s čopa smo dobili tako, da smo predpostavili obremenitve na trikoten tloris in nato 2/3 dobljene vrednosti uporabili za ta model in jo razporedili z linijsko obtežbo po prvi in zadnji gredi.

Sile s špirovcev so porazdeljene po obeh legah (L2) na medsebojni razdalji 0,9 m.

Preglednica 24: Velikosti sil, ki se prenašajo z modela 2 na model 3.

Lokacija / Obtežba	F_1	F_2	F_3	F_4
G	3,17 kN	5,01 kN	5,43 kN	3,66 kN
Q_s	3,38 kN	5,36 kN	5,82 kN	3,90 kN
Q_w	1,82 kN	3,31 kN	2,94 kN	2,43 kN



Slika 60: Vzdolžni pogled lokacije prenosa sil z modela 2 na model 3.

Vplivi na vmesno lego s špirovcev:

- sneg: $Q_s = 1,85$ kN,
- veter: $Q_{w(V)} = 1,98$ kN (vertikalno) in $Q_{w(H)} = 1,37$ kN (horizontalno),
- lastna teža: $G = 1,39$ kN + $0,25$ kN (teža špirovca) = $1,64$ kN.

Vplivi na prvo in zadnjo prečno gredno (GP3) s čopov.

- sneg: $Q_{s, \text{čop}} = 0,40$ kN/m,
- lastna teža: $G_{, \text{čop}} = 0,38$ kN/m,
- veter: $Q_{w(H), \text{čop}} = 0,27$ kN/m,
- veter: $Q_{w(V), \text{čop}} = 0,27$ kN/m.

4.3.3 Kombinacije obtežb

Za kombinacije vplivov smo uporabili podoben primer razporeditve po poljih kot pri modelu 2 (glej Slika 55). Uporabili smo podobne merodajne obtežne primere kot v točki (4.2.3).

$$Ka: G_d + Q_d = 1,35G + 1,5qQ_s + 1,5 \times 0,6Q_w$$

$$Kb: G_d + Q_d = 1,35G + 1,5 \times 0,7Q_s + 1,5Q_w$$

4.3.4 Rezultati

S statično analizo različnih kombinacij dobimo v modelu 3 spodaj navedene notranje statične količine.

Preglednica 25: Prikaz obtežnih primerov, kjer dobimo maksimalne NSK.

Obtežba Element	$M_{y(max)}$	$V_{z(max)}$	$N_x (tlak),(max)$	$N_x(nateg),(max)$
GP3	<i>Ka-7</i>	<i>Ka-7</i>	<i>Kb-5</i>	
L2	<i>Kb-6</i>	<i>Kb-6</i>		<i>Kb-5</i>
S3	<i>Kb-6</i>	<i>Kb-6</i>	<i>Kb-4</i>	
RA3			<i>Kb-6</i>	<i>Kb-4</i>
RO1			<i>Kb-4</i>	

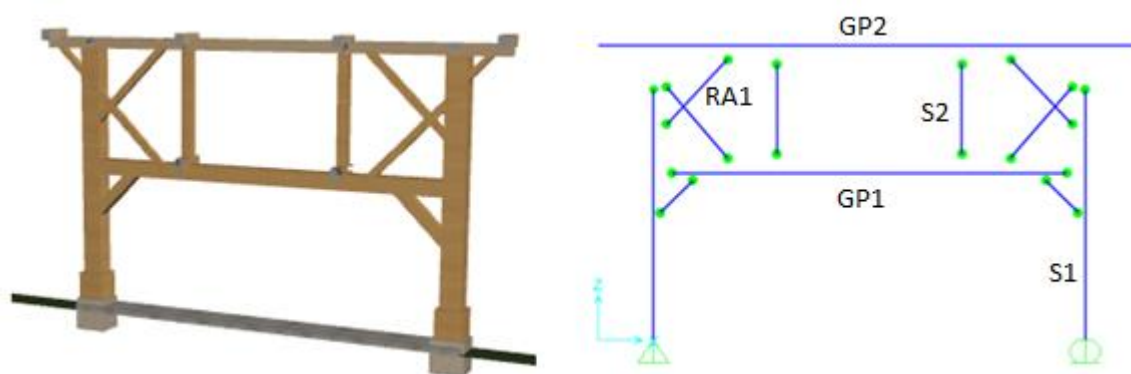
Preglednica 26: Prikaz projektnih vrednosti NSK za posamezne elemente s kombinacijami iz preglednice 25.

Obtežba Element	$M_{y(max)}$	$V_{z(max)}$	$N_x (tlak),(max)$	$N_x(nateg),(max)$
GP3	17,48 kNm	8,48 kN	- 5,54 kN	
L2	3,97 kNm	14,31 kN		9,97 kN
S3	-5,93 kNm	9,02kN	-48,76 kN	
RA3			-10,08 kN	8,35 kN
RO1			-23,87 kN	

4.4 Model 4

4.4.1 Statična zasnova

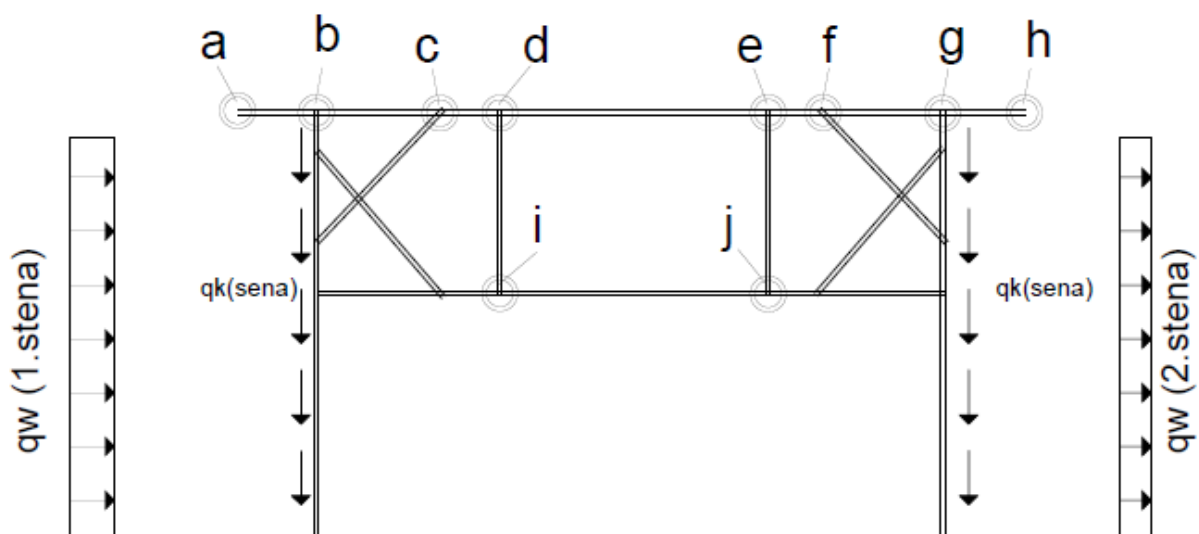
Za model smo izbrali delno ravninski okvir na eni vrtljivi pomični in eni vrtljivi nepomični podpori. Prečna greda GP1 je členkasto vpeta v stebra S1, greda GP2 pa je neprekinjena po svoji celotni dolžini. Ostali elementi RA1, RA2, P1 in P2 so členkasto priključeni na svojih koncih. Za razpore RA2 smo predvideli, da ne prenašata natega, ker spojem ni mogoče predvideti koliko obremenitve lahko preneseta. Za razpore RA1 smo po hitrem računu predvideli, da lahko nosi 72 kN tlaka preden se izkloni iz svoje lege. Panta P1 in P2 prenašata vsak okoli 180 kN tlaka.



Slika 61: Geometrija glavnega vmesnega okvirja (levo), ter lokacije členkov v elementih (desno).

4.4.2 Razporeditev obtežbe

Vplivno območje obtežbe, ki se prenese na osrednji okvir znaša $L = 4,82$ m. V to območje pride šest špirovcev, ki prenašajo svojo silo na levi in desni rob grede GP2. Na gredo GP2 delujejo še koristna obtežba snega, vetra in stalna obtežba strehe na mestu, kjer se stika model 3 z modelom 4. Vertikalno na glavne stebre deluje koristna obtežba sena, horizontalno pa obtežba vetra porazdeljena po stebri.



Slika 62: Model 4, s prikazom mest obtežb.

Preglednica 27: Vrednosti sil posameznih obtežb porazdeljenih po točkah modela 4 (glej Slika 62), vse vrednosti so v [kN].

Točka	a		b		c		d	e
Obtežba	F_V	F_H	F_V	F_H	F_V	F_H	F_V	F_V
$G_{ostrešja}$	-4,56		-0,31	-0,3	-10,71	0,05		
$G_{podestov}$	-1,14						-1,14	-1,14
$\Sigma G_{ost}, G_{pod}$	-5,7		-0,31	-0,3	-10,71	0,05	-1,14	-1,14
Q_s	-6,06		-0,35	-0,33	-11,93	0,06		
$Q_{k,pšenica}$	-11,33						-11,33	-11,33
$Q_{w,1}$	-5,76	1,56	5,21	5,04	-13,24	-0,94		
$Q_{w,2}$	-7,2	2,76	4,29	4,15	-16,08	-0,78		
$Q_{w,3}$			5,74	5,55	-5,75	-1,03		
Točka	f		g		h		i	j
Obtežba	F_V	F_H	F_V	F_H	F_V	F_H	F_V	F_V
$G_{ostrešja}$	-10,71	-0,05	-0,31	0,3	-4,56			
$G_{podestov}$					-1,14		-1,3	-1,3
$\Sigma G_{ost}, G_{pod}$	-10,71	-0,05	-0,31	0,3	-5,7		-1,3	-1,3
Q_s	-11,93	-0,06	-0,35	0,33	-6,06			
$Q_{k,pšenica}$					-11,33		-25,4	-25,4
$Q_{w,1}$	9,02	-0,96	-5,31	5,14	2,34	1,32		
$Q_{w,2}$	2,54	-7,9	-4,39	4,25				
$Q_{w,3}$	12,51	-1,08	-5,98	5,78	5,16	4,32		

Sile s podestov:

$$Q_{k,pšen,zg} = \frac{q_k \times Pl_{vpl,obm}}{2} = \frac{1,88 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 4,82 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}}{2} = 11,33 \text{ kN}$$

$$G_{zg} = \frac{(g_{odra} + g_{nosilcev}) \times Pl_{vpl,obm}}{2} = \frac{(0,14 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 0,05 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}) \times 4,82 \text{ m} \times 2,5 \text{ m}}{2}$$

$$G_{zg} = 1,14 \text{ kN}$$

$$Q_{k,pšen,sp} = \frac{q_k \times Pl_{vpl,obm}}{2} = \frac{3,75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 4,82 \text{ m} \times 2,81 \text{ m}}{2} = 25,4 \text{ kN}$$

$$G_{sp} = \frac{(g_{odra} + g_{nosilcev}) \times Pl_{vpl,obm}}{2} = \frac{(0,14 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 0,05 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}) \times 4,82 \text{ m} \times 2,81 \text{ m}}{2}$$

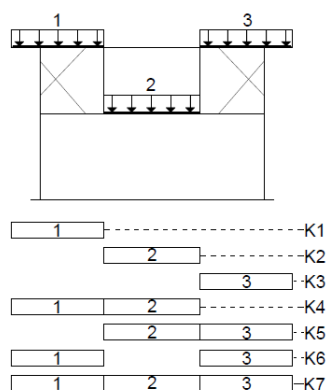
$$G_{sp} = 1,3 \text{ kN}$$

Vpliv na late:

$$Q_{k,late} = 10,3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

4.4.3 Kombinacije obtežb

Za obtežne kombinacije bomo podobno kot prej predpostavili izmenično postavitev. Obtežba na skici (Slika 63) ponazarja le koristno obtežbo na podestih. Ostale obtežbe bodo stalne pri vseh kombinacijah.



Slika 63: Prikaz obtežnih kombinacij na glavnem prečnem okvirju.

Model smo obtežili po treh poljih z večjim številom vrednosti obtežb po poljih:

$$K_a: G_d + Q_d = 1,35G + 1,5Q_{k,pšenice} + 1,5 \times 0,6 Q_s$$

$$K_b: G_d + Q_d = 1,35G + 1,5 \times 0,6Q_{k,pšenice} + 1,5 Q_s$$

$$K_c: G_d + Q_d = 1,35G + 1,5Q_{w,1} + 1,5 \times 0,6 Q_{k,late} + 1,5 \times 0,6Q_{k,pšenice}$$

$$K_d: G_d + Q_d = 1,0G + 1,5Q_{w,1} + 1,5 \times 0,6 Q_{k,late}$$

$$K_e: G_d + Q_d = 1,0G + 1,5Q_{w,2}$$

$$K_f: G_d + Q_d = 1,0G + 1,5Q_{w,3}$$

Potresna kombinacija:

$$K_P: G_d + Q_d + A_d = 1,0G + 0,8Q_k + 1,0A_{(x-smer)}$$

4.4.4 Rezultati

Glede na računsko analizo različnih obtežnih kombinacij dobimo v glavnem prečnem okvirju spodaj navedene rezultate notranjih statičnih količin.

Preglednica 28: Prikaz obtežnih primerov, kjer dobimo maksimalne NSK.

Element \ NSK	$M_{y(max)}$	$V_{z(max)}$	$N_x (tlak),(max)$	$N_x(nateg),(max)$
S1	<i>NKp</i>	<i>NKc-7</i>	<i>NKc-7</i>	
S2			<i>NKc-2</i>	<i>NKc-6</i>
GP1	<i>NKb-7</i>	<i>NKb-7</i>		<i>NKb-7</i>
GP2	<i>NKc-7</i>	<i>NKc-7</i>	<i>NKc-7</i>	
RA1			<i>NKa-7</i>	
P1			<i>NKc-7</i>	

Preglednica 29: Projektne vrednosti NSK za posamezni element.

Element \ NSK	$M_{y(max)}$	$V_{z(max)}$	$N_x (tlak),(max)$	$N_x(nateg),(max)$
S1	105,8 kNm	64,04 kN	-130,16 kN	
S2			-9,4 kN	28,23 kN
GP1	42,73 kNm	57,6 kN		150,2 kN
GP2	-27,13 kNm	41,64 kN	-57,77 kN	
RA1			-70 kN	
P1			-110,6 kN	

4.5 Modeli 5,6 in 7

V tem poglavju bomo analizirali modele dveh vzdolžnih gred in ene lege. To so spodnja greda v trupu (GV1), zgornja greda v trupu (GV2) in kapna lega (L1).

4.5.1 Statična zasnova

Za statične modele gred in lege smo predpostavili kontinuirne nosilce preko več polj. Vzdolžno imajo podpore vsi trije modeli na istem mestu, edina razlika je v tem, da se vzdolžna greda (GV1) konča na zadnji podpori ostali dve pa imata naprej previsa dolžine 1,08 m.



Slika 64: Statična zasnova modela 6 in modela 7.



Slika 65: Statična zasnova modela 5.

4.5.2 Razporeditev obtežbe

Na modele delujejo obtežbe kot so lastna teža, koristna obtežba ter vpliv vetra. Obtežbe ne delujejo na vse tri modele enako ampak so sile različne.

Lega GV1 – Model 5

Na lego GV1 deluje koristna obtežba pšenice ter stalna obtežba podesta. Upošteva se s silami na razdaljah 1,09 m. Vplivna dolžina v vzdolžni smeri, preko katere dobimo sile Q_k in G , znaša 1,21 m. Širina podesta pa je 2,81 m.

Posamezne obtežbe znašajo:

$$Q_{k_{pšenice}} = \frac{q_k \times Pl_{vpl,obm}}{2} = \frac{3,75 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 2,81 \text{ m} \times 1,21 \text{ m}}{2} = 6,38 \text{ kN}$$

$$G_{podesta} = \frac{(g_{odra} + g_{nosilcev}) \times Pl_{vpl,obm}}{2} = \frac{(0,14 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0,05 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}) \times 2,81 \text{ m} \times 1,21 \text{ m}}{2}$$

$$G_{podesta} = 0,33 \text{ kN}$$

Legra GV2 – Model 6

Na lego GV2 delujejo obtežbe s podesta. Prisotne so sile stalne obtežbe in koristne obtežbe s podesta, porazdeljene na medsebojnih razdaljah 1,09 m. Vplivna površina v vzdolžni smeri, preko katere dobimo sile Q_k in G , znaša 1,21 m.

Posamezne obremenitve so:

$$Q_{k,pšenice} = \frac{q_k \times Pl_{vpl,obm}}{2} = \frac{1,88 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 2,5 \text{ m} \times 1,21 \text{ m}}{2} = 2,8 \text{ kN}$$

$$G_{podesta} = \frac{(g_{odra} + g_{nosilcev}) \times Pl_{vpl,obm}}{2} = \frac{(0,14 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} + 0,05 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2}) \times 2,5 \text{ m} \times 1,21 \text{ m}}{2}$$

$$G_{podesta} = 0,29 \text{ kN}$$

Legra L1 – Model 7

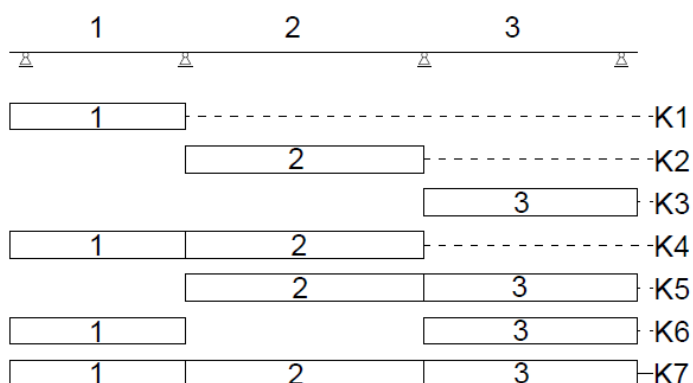
Na lego L1 delujejo obtežbe s špirovcev (stalna obtežba ostrešja ter obtežba snega in vetra) na vsakih 0,9 m. Podobno kot v prejšnjem modelu so prisotne še sile stalne obtežbe in koristne obremenitve s podesta, ki so porazdeljene na medsebojni razdalji 1,09 m.

Preglednica 30: Obtežbe lege L1.

Obtežba	F_V	F_H
$G_{ostrešja}$	-0,76 kN	
$G_{podestov}$	-0,29 kN	
Q_s	-1,01 kN	
$Q_{k,pšenica}$	-2,8 kN	
$Q_{w,3}$	0,86 kN	0,72 kN

4.5.3 Kombinacije obtežb

Podobno kot v prejšnjih modelih smo tu za lego (L1) predvideli porazdelitev koristne obtežbe pšenice v šahovnici po treh poljih. Obtežbe, ki so stalno prisotne po vseh poljih so stalna obtežba, obtežba snega in vpliv vetra. Obtežba, ki se prestavlja, pa je le koristna obtežba pšenice. Pri modelih za vzdolžne grede (GV1, GV2) pa sta prisotni le stalna obtežba, ki je stalna po vseh poljih, in koristna obtežba pšenice, ki se prestavlja po poljih.



Slika 66: Prikaz porazdelitve koristne obtežbe pšenice po poljih 1, 2 in 3 v različnih kombinacijah.

Pri modelih 5 in 6 smo obremenili nosilce po treh poljih z eno kombinacijo obtežb:

$$K_{(GV1,GV2),a}: G_d + Q_d = 1,35G + 1,5Q_k$$

Pri modelu 7 (kapna lega L1) smo obremenili model po treh poljih s tremi kombinacijami obtežb:

$$K_{(L1),a}: G_d + Q_d = 1,35G + 1,5Q_k + 1,5 \times 0,6Q_s$$

$$K_{(L1),b}: G_d + Q_d = 1,35G + 1,5 \times 0,6Q_k + 1,5Q_s$$

$$K_{(L1),c}: G_d + Q_d = 1,35G + 1,5Q_{w,3}$$

4.5.4 Rezultati

Glede na statično analizo različnih kombinacij obtežnih primerov dobimo v vzdolžnih gredah in legi spodaj navedene notranje statične količine.

Preglednica 31: Prikaz obtežnih primerov kjer dobimo maksimalne NSK za posamezne elemente.

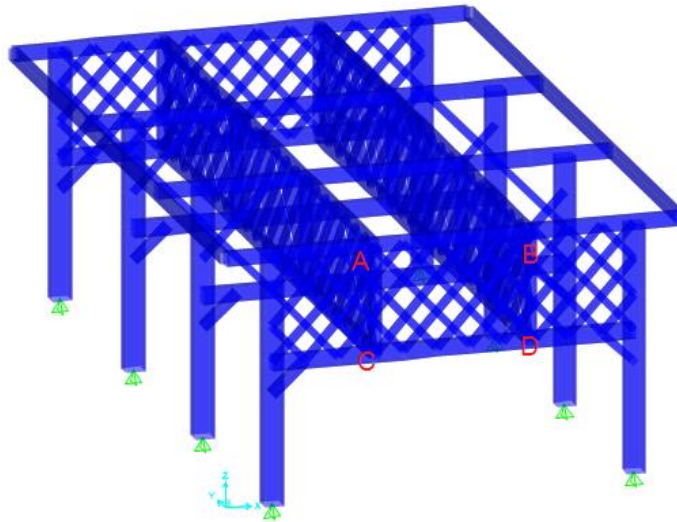
Obtežba Element	$M_{y(max)}$	$V_{z(max)}$	$N_x (tlak),(max)$	$M_z(max)$
GV1	K5	K5		
GV2	K5	K5		
L1	Ka-5	Ka-5		Kc

Preglednica 32: Merodajne projektne vrednosti NSK za posamezni element.

Obtežba Element	$M_{y(max)}$	$V_{z(max)}$	$N_x (tlak),(max)$	$M_z(max)$
GV1	-19,06 kNm	19,38 kN		
GV2	-7,39 kNm	7,85 kN		
L1	-10,93 kNm	13,26 kN		1,66 kNm

4.6 Model 8

Uporabili bomo prostorski model celotne konstrukcije pod gredo GP2. Glavna naloga modela je prenašanje obtežbe vetra in potresne obtežbe v prečni smeri na objekt in njegove elemente. Uporabimo ga za račun notranjih statičnih količin v teh elementih.



Slika 67: Prostorski model za obtežbe v vzdolžni smeri objekta z označenimi mesti delovanja sil.

4.6.1 Razporeditev obtežbe

Glavni dve obtežbi sta veter in potres. Obtežba vetra se prenaša v točki A in B. Potresne delujejo na vse štiri točke (A, B, C in D) (glej Slika 67). Težišče sil vetra bomo predvideli v omenjenih točkah na nivoju zgornjih podestov.

Sile vetra:

$$Q_W = \frac{q_w \times A}{2}$$

$$Q_W = \frac{0,65 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} \times 14,5 \text{ m}^2}{2}$$

$$Q_W = 4,71 \text{ kN} \quad (\text{deluje v točkah A in B})$$

Potresne sile:

$$F_{2,P(y\text{-smer})} = 14 \text{ kN} \quad (\text{deluje v točkah A in B})$$

$$F_{1,P(y\text{-smer})} = 13,5 \text{ kN} \quad (\text{deluje v točkah C in D})$$

4.6.2 Kombinacije obtežb

Za kombinacije bomo upoštevali ločeno obtežbo vetra pomnoženo z varnostnim faktorjem in potresno obtežbo brez varnostnih faktorjev.

$$K_W: Q_d = 1,5Q_W$$

$$K_P: A_d = 1,0F_p$$

4.6.3 Rezultati

Merodajen je potresni vpliv.

Preglednica 33: Projektne vrednosti NSK za elemente modela 8.

Obtežba Element	$M_{x(max)}$	$V_{z(max)}$	$N_x (tlak),(max)$
GP1	15,16 kNm	11,84 kN	
GP2	6,29 kNm	5,09 kN	
S1	14,53 kNm	6,92 kN	
D2			-6,5 kN

5 KONTROLA NOSILNOSTI ELEMENTOV

5.1 Osnove dimenzioniranja

Za projektiranje nosilnosti elementov smo upoštevali pravila standarda SIST EN 1995-1-1:2005 projektiranje lesenih konstrukcij in vrednosti karakterističnih trdnosti s standarda SIST EN 338:2004.

5.1.1 Mejna stanja nosilnosti

- **CENTRIČNI NATEG V SMERI VLAKEN**

Centrični nateg v smeri vlaken nastane takrat, ko je element obremenjen z natezno osno silo, ki deluje v težišču prereza v smeri vlaken lesa. Za napetosti v prečnem prerezu velja predpostavka, da se napetosti konstantno porazdelijo po prerezu.

Splošno mora biti izpolnjen pogoj:

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d} \cdot \quad (16)$$

Projektna napetost:

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_d}{A_{neto}} \cdot \quad (17)$$

Projektna natezna trdnost:

$$f_{t,0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{t,0,k}}{\gamma_M} \cdot \quad (18)$$

Kjer so:

$\sigma_{t,0,d}$	projektna natezna napetost v smeri vlaken,
$f_{t,0,d}$	projektna natezna trdnost,
$f_{t,0,k}$	karakteristična natezna trdnost,
N_d	projektna natezna sila,
A_{neto}	prerez brez oslabitev,
k_{mod}	modifikacijski faktor, ki zajame vpliv trajanje obtežbe ter vlažnosti lesa in
$\gamma_M = 1,3$	materialni varnostni faktor za masivni les.

- **NATEG V SMERI PRAVOKOTNO NA VLAKNA**

Nateg v smeri pravokotno na vlakna nastane takrat, ko je element obremenjen z natezno osno silo pod pravim kotom na vlakna in hoče ločiti branike eno od druge.

Splošno mora biti izpolnjen pogoj:

$$\sigma_{t,90,d} \leq f_{t,90,d}. \quad (19)$$

Projektna napetost:

$$\sigma_{t,90,d} = \frac{N_d}{A_{neto}}. \quad (20)$$

Projektna natezna trdnost:

$$f_{t,90,d} = k_{mod} \times \frac{f_{t,90,k}}{\gamma_m}. \quad (21)$$

Kjer so:

$\sigma_{t,90,d}$	projektna natezna napetost v smeri pravokotno na vlakna,
$f_{t,90,d}$	projektna natezna trdnost v smeri pravokotno na vlakna,
$f_{t,90,k}$	karakteristična natezna trdnost v smeri pravokotno na vlakna,
N_d	projektna natezna sila,
A_{neto}	prerez brez oslabitev,
k_{mod}	modifikacijski faktor, ki zajame vpliv trajanje obtežbe ter vlažnosti lesa in
$\gamma_m = 1,3$	materialni varnostni faktor za masivni les.

• CENTRIČNI TLAK V SMERI VLAKEN

Centrični tlak v smeri vlaken lesa nastane takrat, ko je element obremenjen s tlačno osno silo, ki deluje v težišču prereza v smeri vlaken lesa.

a) Brez upoštevanja uklona

Dimenzioniranje brez uklona se lahko izvede takrat, ko sta v vseh palicah izpolnjena pogoja relativne vitkosti: $\lambda_{rel,y} \leq 0,3$ in $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$.

Splošno mora biti izpolnjen pogoj:

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}. \quad (22)$$

Projektna tlačna napetost:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_{netto}} = \frac{N_d}{A}. \quad (23)$$

Projektna tlačna trdnost:

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m}. \quad (24)$$

b) Z upoštevanjem uklona

Ko sta presežena pogoja relativne vitkosti: $\lambda_{rel,y} \geq 0,3$ in/ali $\lambda_{rel,z} \geq 0,3$, je potrebno pri izračunu upoštevati uklon.

Splošno morata biti izpolnjena pogoja:

$$1) \sigma_{c,0,d} \leq k_{c,y} \times f_{c,0,d}, \quad (25)$$

$$2) \sigma_{c,0,d} \leq k_{c,z} \times f_{c,0,d}. \quad (26)$$

Projektna napetost:

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_d}{A_{netto}} = \frac{N_d}{A}. \quad (27)$$

Projektna natezna trdnost:

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \times \frac{f_{c,0,k}}{\gamma_m}, \quad (28)$$

Uklonska korekcijskega faktorja $k_{c,y}$ in $k_{c,z}$ sta določena z izrazoma:

$$k_{c,y} = \frac{1}{k_y + \sqrt{k_y^2 - \lambda_{rel,y}^2}}, \quad (29)$$

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

$$k_y = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,y} - 0,3) + \lambda_{rel,y}^2); \quad k_z = 0,5(1 + \beta_c(\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2).$$

Pri tem pa je pomožni faktor $\beta_c = 0,2$ za masivni les.

Račun relativne vitkosti:

$$\lambda_{rel,y} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,y}}}, \quad (30)$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{c,crit,z}}}.$$

Eulerjeva kritična sila in Eulerjeva kritična napetost:

$$N_{crit} = \frac{\pi^2 \times E_{0,05} \times I}{L_{ef}^2}, \quad \sigma_{crit} = \frac{N_{crit}}{A}.$$

• TLAK PRAVOKOTNO NA VLAKNA

Pritisk pravokotno na vlakna lesa nastane v prerezih takrat, ko obremenilna sila deluje pod pravim kotom glede na vlakna lesa.

Splošno mora biti izpolnjen pogoj:

$$\sigma_{c,90,d} = \frac{F_{c,90,d}}{A_{ef}} \leq k_{c,90} \times f_{c,90} \quad (31)$$

Kjer so:

$k_{c,90}$ faktor s katerim zajamemo vpliv razporeditve obtežbe, možnost cepitve in stopnjo tlačne deformacije,

A_{ef} efektivna kontaktna površina z upoštevanjem dejanske kontaktne dolžine v smeri vlaken, povečane na vsaki strani za največ 30 mm,

$\sigma_{c,90,d}$ projektna tlačna napetost na kontaktni površini pravokotno na vlakna,

$F_{c,90,d}$ projektna tlačna sila,

$f_{c,90,d}$ projektna tlačna trdnost na kontaktni površini pravokotno na vlakna.

• TLAK POD POLJUBNIM KOTOM NA SMER VLAKEN

Tlak pod poljubnim kotom se večinoma pojavlja pri tlačnih priključkih lesenih elementov pod kotom v stičnih ploskvah.

Splošno mora biti izpolnjen pogoj:

$$\sigma_{c,\alpha,d} \leq f_{c,\alpha,d} = \frac{f_{c,0,d}}{\frac{f_{c,0,d}}{k_{c,90} \times f_{c,90,d}} \times \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} \quad (32)$$

Kjer so:

$\sigma_{c,\alpha,d}$ projektna tlačna napetost pod poljubnim kotom glede na smer vlaken,

$f_{c,\alpha,d}$ projektna tlačna trdnost pod poljubnim kotom glede na smer vlaken,

$f_{c,0,d}$ projektna tlačna trdnost v smeri vlaken,

$f_{c,90,d}$ projektna tlačna trdnost v smeri pravokotno na vlakna in

α kot v stopinjah med smerjo vlaken in smerjo napetosti.

• UPOGIB

a) Ni nevarnosti bočne zvrnitve ($\lambda_{rel,m} \leq 0,75$).

Splošno morata biti izpolnjena pogoja:

$$1) \quad k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (33)$$

$$2) \quad \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1. \quad (34)$$

Projektne napetosti:

$$|\sigma_{m,y,d}| = \frac{M_{y,d}}{I_y} \times z, \quad \sigma_{m,z,d} = \frac{-M_{z,d}}{I_z} \times y. \quad (35)$$

Projektne upogibne trdnosti:

$$f_{m,y,d} = k_{\text{mod}} \times \frac{f_{m,k}}{\gamma_m}, \quad f_{m,z,d} = k_{\text{mod}} \times \frac{f_{m,k}}{\gamma_m}. \quad (36)$$

Za redukcijski koeficient k_m se privzame vrednost 0,7 pri pravokotnih prečnih prerezih.

b) Je nevarnost bočne zvrnitve ($\lambda_{rel,m} \geq 0,75$)

Splošno mora biti izpolnjen pogoj:

$$\sigma_{m,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \leq k_{\text{crit}} \times f_{m,d}, \quad (37)$$

$$k_{\text{crit}} = \left\{ \begin{array}{ll} 1 & \text{za } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \times \lambda_{rel,m} & \text{za } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}} & \text{za } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{array} \right\}, \quad (38)$$

$$\lambda_{rel,m} \approx \sqrt{\frac{L_{eff}}{h}} \times \frac{h}{b} \times \frac{1}{c_m}. \quad (39)$$

Preglednica 34: Koeficient c_m , ki zajema lastnosti lesa (Beg & Pogačnik, 2009, str. 5-112).

Trdnostni razredi	C30	D40
c_m	14,47	13,59

Kjer so:

- $M_{y,d}$ projektna vrednost upogibnega momenta,
- W_y odpornostni moment prereza okoli osi y,
- k_{crit} koeficient, ki upošteva zmanjšanje upogibne nosilnosti zaradi bočne zvrnitve,
- $f_{m,d}$ projektna upogibna trdnost,
- $\sigma_{m,d}$ projektna upogibna napetost,
- $\lambda_{rel,m}$ relativna vitkost pri upogibu,
- L_{eff} učinkovita dolžina elementa,
- $\lambda_{rel,m}$ relativna vitkost pri upogibu,
- c_m koeficient, ki upošteva lastnosti lesa.

• UPOGIB Z NATEZNO OSNO SILO

Splošno morata biti izpolnjena pogoja:

$$1) \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (40)$$

$$2) \frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1. \quad (41)$$

Za koeficient k_m se za pravokotne prereze uporabi vrednost 0,7.

• UPOGIB S TLAČNO OSNO SILO

a) Kombinacija dvoosnega upogiba in tlačne osne sile brez upoštevanja uklona ($\lambda_{rel,y} \leq 0,3$ in $\lambda_{rel,z} \leq 0,3$).

Splošno morata biti izpolnjena pogoja:

$$1) \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (42)$$

$$2) \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1. \quad (43)$$

b) Kombinacija tlačne in upogibne obremenitve stebrov ($\lambda_{rel} > 0,3$; ni nevarnosti bočne zvrnitve).

Splošno morata biti izpolnjena pogoja:

$$1) \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1, \quad (44)$$

$$2) \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y} \times f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1. \quad (45)$$

c) Kombinacija upogibno tlačne obremenitve nosilcev ($\lambda_{rel,z} > 0,3$; $\lambda_{rel,m} > 0,75$).

Splošno mora biti izpolnjen pogoj:

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \times f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} \leq 1. \quad (46)$$

• STRIG ZARADI PREČNE SILE

Splošno mora biti izpolnjen pogoj $\tau_d \leq f_{v,d}$, za pravokotne prereze pa lahko napišemo:

$$\tau_d = \frac{3}{2} \times \frac{V_d}{b \times h} \leq f_{v,d} \quad (47)$$

Kjer so:

T_d	projektna strižna napetost,
V_d	projektna prečna sila,
$f_{v,d}$	projektna strižna trdnost,
b	širina elementa in
h	višina elementa.

5.1.2 Mejna stanja uporabnosti

Med projektiranjem konstrukcije po evropskih standardih je potrebno poleg kriterijev, ki zagotavljajo varnost pred poružitvijo, upoštevati tudi pogoje med časom normalne uporabe. To pomeni, da v času svoje življenjske dobe obravnavan konstrukcijski element zadrži tudi svoj uporabnostni vidik in izgled. Pri tem mora biti zadoščeno dvema uporabnostnima kriterijema:

- deformacije ali povesi, ki se pojavijo pri običajni uporabi, ne smejo presegati predpisanih vrednostih,
- vibracije, ki bi lahko povzročile nelagodnost bivanja ali oteževale obratovanje konstrukcije, morajo biti omejene.

- **Pogoj za začetne pomike je naslednji:**

$$W_{inst} \leq \frac{L}{300}. \quad (48)$$

- **Pogoj za končne pomike z upoštevanjem deformacij zaradi lezenja ($W_{fin} = W_{inst} + W_{creep}$)**

$$W_{fin} \leq \frac{L}{150}. \quad (49)$$

Pri tem so končni pomiki določeni z izrazom :

$$W_{fin} = W_{fin,G} + W_{fin,Q1} + \sum_i W_{fin,Qi} = W_{inst,G} \times (1 + k_{def}) + W_{inst,Q1} \times (1 + \psi_{2,1} \times k_{def}) + \sum_i W_{inst,Qi} \times (\psi_{0,i} + \psi_{2,i} \times k_{def}) \quad (50)$$

Prejšnji izraz smo predpostavili tako, da smo bili absolutno na varni strani. Iz modelov smo razbrali pomike za seštevek stalne obtežbe, koristne obtežbe snega in koristne obtežbe pšenice. Prav tako smo za vse faktorje ψ v nadaljevanju privzeli vrednost 1.

Z upoštevanjem naslednjih vrednosti:

$$K_{def} = 0,8$$

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

$$\psi_{0,i} = 1,0$$

Dobimo poenostavljen izraz za oceno končnih pomikov, ki je zelo na varni strani:

$$w_{fin} = 1,8 \times w_{inst,G+Qi} \quad (51)$$

5.2 Kontrola nosilnosti špirovca

Preglednica 35: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu š1.

Kombinacija: K5		Kombinacija: K4	
k_{mod}	0,9	k_{mod}	0,9
$ M_{d,min} $	1,41 kNm	$ M_{d,prip} $	1,19 kNm
$V_{d,max}$	2,68 kN	$V_{d,prip}$	2,31 kN
$N_{d,prip}$	1,01 kN	$ N_{d,min} $	1,94 kN

Vse največje obremenitve v elementu se pojavijo na spoju špirovca in vmesne lege, kjer je prerez najbolj oslabljen (glej stik: Slika 25).

Preglednica 36: Geometrijske karakteristike polnega prereza špirovca Š1.

Element Oznaka	Š1	Enote
h	14	cm
b	12	cm
h/b	1,17	
A	168	cm ²
W_y	392	cm ³
I_y	2744	cm ⁴
W_z	336	cm ³
I_z	2016	cm ⁴

Kontrola na upogib z natezno osno silo:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{N_d}{A_0} + \frac{M_{y,d}}{W_{y(i)}} = \frac{1,01 \text{ kN}}{106 \text{ cm}^2} + \frac{141 \text{ kNcm}}{229 \text{ cm}^3} = 0,30 \leq 1$$

$$1,246 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} + 2,077 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Kontrola na upogib s tlačno osno silo:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 = \frac{M_{y,d}}{W_{y(i)}} + \left(\frac{N_d}{A_0} \right)^2 = \frac{118 \text{ kNcm}}{229 \text{ cm}^3} + \left(\frac{1,94 \text{ kN}}{106 \text{ cm}^2} \right)^2 = 0,25 \leq 1$$

Kontrola na strig:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{3 \times V_d}{2 \times b_{ef} \times h} = \frac{3 \times 2,67 \text{ kN}}{2 \times 7 \text{ cm} \times 14 \text{ cm}} = 0,20 \leq 1$$

5.3 Kontrola nosilnosti vzdolžnih gred in lege

- **VZDOLŽNA GREDA (GV1)**

Upoštevamo trdnostni razred D40.

Preglednica 37: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu GV1.

Kombinacija: K5	
k_{mod}	0,8
$ M_{d,min} $	19,06 kNm
$V_{d,max}$	19,38 kN
$N_{d,prp}$	

Preglednica 38: Geometrijske karakteristike polnega prereza vzdolžne grede GV1.

Element Oznaka	GV1	Enote
h	23	cm
b	19	cm
h/b	1,21	
A	437	cm ²
W_y	1675	cm ³
I_y	19264	cm ⁴
W_z	1384	cm ³
I_z	13146	cm ⁴

Največje obremenitve se pojavijo v prerezu na stiku GP1/GV1, kjer je $h = 18 \text{ cm}$ in $W_{y,prp} = 1026 \text{ cm}^3$. Ni nevarnosti uklona ($\lambda_{rel} \leq 0,3$)

Kontrola na upogib:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{M_{y,d}}{W_{y(i)}} = \frac{1906 \text{ kNcm}}{1026 \text{ cm}^3} = 1,857 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{1906 \text{ kNcm}}{2,462 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,75 \leq 1$$

Kontrola na strig:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{3 \times V_d}{2 \times b \times h} = \frac{3 \times 19,38 \text{ kN}}{2 \times 19 \text{ cm} \times 18 \text{ cm}} = 0,36 \leq 1$$

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{3 \times 19,38 \text{ kN}}{0,234 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,36 \leq 1$$

• **VZDOLŽNA GREDA (GV2)**

Upoštevamo trdnostni razred C30.

Preglednica 39: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu GV2.

Kombinacija: K5	
k_{mod}	0,8
$ M_{d,min} $	7,39 kNm
$V_{d,max}$	7,85 kN
$N_{d,prip}$	

Preglednica 40: Geometrijske karakteristike polnega prereza vzdolžne grede GV2.

Element Oznaka	GV2	Enote
h	20	cm
b	18	cm
h/b	1,11	
A	360	cm ²
W_y	1200	cm ³
I_y	12000	cm ⁴
W_z	1080	cm ³
I_z	9720	cm ⁴

Največje obremenitve se pojavijo v oslabiljenem prerezu v območju stikov (glej Slika 20), kjer je $W_{y,prip}=588 \text{ cm}^3$. Ni nevarnosti uklona ($\lambda_{rel} \leq 0,3$)

Kontrola na upogib:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{M_{y,d}}{W_{y(i)}} = \frac{739 \text{ kNcm}}{588 \text{ cm}^3} = 1,257 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{739 \text{ kNcm}}{1,846 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,68 \leq 1$$

Kontrola na strig:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{3 \times V_d}{2 \times b \times h} = \frac{3 \times 7,85 \text{ kN}}{2 \times 18 \text{ cm} \times 14 \text{ cm}} = 0,25 \leq 1$$

$$0,185 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

- **KAPNA LEGA (L1)**

Upoštevamo trdnostni razred C30.

Preglednica 41: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu L1.

Kombinacija: <i>Ka-5</i>	
k_{mod}	0,8
$ M_{d,min} $	10,93 kNm
$V_{d,max}$	13,26 kN
$N_{d,rip}$	

Preglednica 42: Geometrijske karakteristike polnega prereza kapne lege L1.

Element Oznaka	L1	Enote
h	21	cm
b	19	cm
h/b	1,11	
A	399	cm ²
W_y	1397	cm ³
I_y	14663	cm ⁴
W_z	1264	cm ³
I_z	12003	cm ⁴

Največje obremenitve pojavijo v oslabiljenem prerezu v območju stikov, kjer je $h = 16 \text{ cm}$ in $W_{y,rip} = 915 \text{ cm}^3$. Ni nevarnosti uklona ($\lambda_{rel} \leq 0,3$)

Kontrola na upogib:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{M_{y,d}}{W_{y(i)}} = \frac{1093 \text{ kNcm}}{915 \text{ cm}^3} = 0,65 \leq 1$$

$$1,846 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Kontrola na strig:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{3 \times V_d}{2 \times b \times h} = \frac{3 \times 13,26 \text{ kN}}{2 \times 19 \text{ cm} \times 16 \text{ cm}} = 0,35 \leq 1$$

$$0,185 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

• **VMESNA LEGA (L2)**

Upoštevamo trdnostni razred C30.

Preglednica 43: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu L2.

Kombinacija: Kb-6		Kombinacija: Ka-6		Kombinacija: Kb-5	
k_{mod}	0,9	k_{mod}	0,9	k_{mod}	0,9
$M_{y,d,max}$	3,97 kNm	$ M_{y,d,prjp} $	1,17 kNm	$ M_{y,d,prjp} $	3,32 kNm
$V_{d,prjp}$	3,07 kN	$V_{d,max}$	14,13 kN	$V_{d,prjp}$	5,36 kN
$ N_{d,min} $	7,85 kN	$ N_{d,prjp} $	6,59 kN	$N_{d,max}$	9,97 kN
$ M_{x,d,prjp} $	1,81 kNm	$ M_{x,d,prjp} $		$ M_{x,d,prjp} $	

Preglednica 44: Geometrijske karakteristike polnega prereza vmesne lege L2.

Element Oznaka	L2	Enote
h	19	cm
b	19	cm
h/b	1	
A	361	cm ²
W_y	1143	cm ³
I_y	10860	cm ⁴
W_z	1143	cm ³
I_z	10860	cm ⁴

Največje obremenitve se pojavijo na sredini nosilca, kjer je poln prerez elementa. Ni nevarnosti uklona ($\lambda_{rel} \leq 0,3$).

Kontrola na upogib z natezno osno silo:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{N_d}{A_0} + \frac{M_{y,d}}{W_{y(i)}} = \frac{9,97 \text{ kN}}{361 \text{ cm}^2} + \frac{335 \text{ kNcm}}{1143 \text{ cm}^3} = 0,17 \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{9,97 \text{ kN}}{1,246 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} + \frac{335 \text{ kNcm}}{2,077 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,17 \leq 1$$

Kontrola na dvoosni upogib s tlačno osno silo:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \times \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} + \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 = \frac{M_{y,d}}{W_{y(i)}} + 0,7 \times \frac{M_{z,d}}{W_{z(i)}} + \left(\frac{N_d}{A_0} \right)^2 =$$

$$= \frac{397 \text{ kNcm}}{2,077 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} + 0,7 \times \frac{181 \text{ kNcm}}{2,077 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} + \left(\frac{7,85 \text{ kN}}{1,592 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} \right)^2 = 0,22 \leq 1$$

Kontrola na strig:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{3 \times V_d}{2 \times b \times h} = \frac{3 \times 14,13 \text{ kN}}{2 \times 19 \text{ cm} \times 19 \text{ cm}} = 0,28 \leq 1$$

$$0,208 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

- **SLEMENSKA LEGA (L3)**

Upoštevamo trdnostni razred C30.

Preglednica 45: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu L3.

Kombinacija: Ka-2		Kombinacija: Ka-7		Kombinacija: Ka-5	
k_{mod}	0,9	k_{mod}	0,9	k_{mod}	0,9
$ M_{d,min} $	2,01 kNm	$ M_{d,prp} $	1,97 kNm	$M_{d,prp}$	1,75 kNm
$V_{d,prp}$	2,43 kN	$V_{d,max}$	6,8 kN	$V_{d,prp}$	3,12 kN
$ N_{d,min} $	1,94 kN	$ N_{d,prp} $	0,5 kN	$N_{d,max}$	7,33 kN

Preglednica 46: Geometrijske karakteristike polnega prereza slemenske lege L3.

Element Oznaka	L3	Enote
h	17	cm
b	17	cm
h/b	1	
A	289	cm ²
W_y	819	cm ³
I_y	6960	cm ⁴
W_z	819	cm ³
I_z	6960	cm ⁴

Največje obremenitve se pojavijo na sredini nosilca, kjer je poln prerez elementa. Ni nevarnosti uklona ($\lambda_{rel} \leq 0,3$).

Kontrola na upogib z natezno osno silo:

$$\frac{\sigma_{t,0,d} + \sigma_{m,y,d}}{f_{t,0,d} + f_{m,y,d}} = \frac{N_d}{A_0} + \frac{M_{y,d}}{W_{y(i)}} = \frac{7,33 \text{ kN}}{289 \text{ cm}^2} + \frac{175 \text{ kNcm}}{819 \text{ cm}^3} = 0,12 \leq 1$$

$$1,246 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} + 2,077 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Kontrola na upogib s tlačno osno silo:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 = \frac{M_{y,d}}{W_{y(i)}} + \left(\frac{N_d}{A_0} \right)^2 = \frac{201 \text{ kNcm}}{819 \text{ cm}^3} + \left(\frac{1,94 \text{ kN}}{289 \text{ cm}^2} \right)^2 = 0,12 \leq 1$$

$$2,077 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} + \left(1,592 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \right)^2$$

Kontrola na strig:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{3 \times V_d}{2 \times b \times h} = \frac{3 \times 6,19 \text{ kN}}{2 \times 17 \text{ cm} \times 17 \text{ cm}} = 0,15 \leq 1$$

$$0,208 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

5.4 Kontrola nosilnosti prečnih gred

• PREČNA GREDA (GP1)

Upoštevamo trdnostni razred D40.

Preglednica 47: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu GP1.

Kombinacija: Kc-7		Kombinacija: Kc-7	
k_{mod}	0,9	k_{mod}	0,9
$ M_{d,min} $	42,73 kNm	$M_{d,prp}$	41,53 kNm
$V_{d,max}$	57,6 kN	$V_{d,prp}$	19,80 kN
$N_{d,max}$	150,2 kN	$N_{d,prp}$	72,52 kN

Preglednica 48: Geometrijske karakteristike polnega prereza prečne grede GP1.

Element Oznaka	GP1	Enote
h	28	cm
b	25	cm
h/b	1,12	
A	700	cm ²
W_y	3267	cm ³
I_y	45733	cm ⁴
W_z	2917	cm ³
I_z	36458	cm ⁴

Največje obremenitve se pojavijo, kjer je poln prerez elementa nad P1. Naslednji kontrolni primer je, kjer je najmanjši prerez v stiku GP1/S2, tam znaša $W_{y,i} = 2204 \text{ cm}^3$.

Kontrola na upogib z natezno osno silo:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{N_d}{A_0} + \frac{M_{y,d}}{W_{y(i)}} = \frac{150,2 \text{ kN}}{700 \text{ cm}^2} + \frac{4273 \text{ kNcm}}{3267 \text{ cm}^3} = 0,60 \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{N_d}{A_0} + \frac{M_{y,d}}{W_{y(i)}} = \frac{72,52 \text{ kN}}{576 \text{ cm}^2} + \frac{4153 \text{ kNcm}}{2204 \text{ cm}^3} = 0,76 \leq 1$$

Kontrola na strig:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{3 \times V_d}{2 \times b \times h} = \frac{3 \times 57,6 \text{ kN}}{2 \times 25 \text{ cm} \times 28 \text{ cm}} = 0,47 \leq 1$$

• PREČNA GREDA (GP2)

Upoštevamo trdnostni razred C30.

Preglednica 49: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu GP2.

Kombinacija: $Ka-1$		Kombinacija: $Kc-5$		Kombinacija: Kp	
k_{mod}	0,8	k_{mod}	0,9	k_{mod}	0,9
$ M_{d,min} $	27,13 kNm	$ M_{d,prip} $	25,31 kNm	$ M_{d,prip} $	15,09 kNm
$V_{d,prip}$	30,14 kN	$V_{d,max}$	41,64 kN	$V_{d,prip}$	5,2 kN
$N_{d,prip}$		$ N_{d,prip} $	52,62 kN	$ N_{d,min} $	57,77 kN

Preglednica 50: Geometrijske karakteristike polnega prereza prečne grede GP2.

Element Oznaka	GP2	Enote
h	26	cm
b	21	cm
h/b	1,24	
A	546	cm ²
W_y	2366	cm ³
I_y	30758	cm ⁴
W_z	1911	cm ³
I_z	20066	cm ⁴
L_{ef}	300	cm

Kontrola na upogib:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{2713 \text{ kNcm}}{2366 \text{ cm}^3} = 0,62 \leq 1$$

$$f_{m,y,d} = 1,846 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Kontrola na upogib s tlačno osno silo:

$$N_{crit,z} = \frac{\pi^2 \times E_{0,05}}{L_{ef}^2} = \frac{\pi^2 \times 800 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 20066 \text{ cm}^4}{300^2 \text{ cm}^2} = 1760 \text{ kN}$$

$$\sigma_{crit,z} = \frac{N_{crit}}{A} = \frac{1760 \text{ kN}}{546 \text{ cm}^2} = 3,22 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{crit,z}}} = \sqrt{\frac{2,3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{3,22 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}} = 0,84 \rightarrow k_z = 0,91 \rightarrow k_{c,z} = 0,80$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} = \frac{M_{y,d}}{W_{y(l)}} + \frac{N_d}{A_0} = \frac{2531 \text{ kNcm}}{2032 \text{ cm}^3} + \frac{52,62 \text{ kN}}{506 \text{ cm}^2} = 2,077 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} + \frac{0,80 \times 1,592 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{0,80 \times 1,592 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,68 \leq 1$$

Kontrola na strig:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{\frac{3 \times V_d}{2 \times b \times h}}{f_{v,d}} = \frac{\frac{3 \times 41,64 \text{ kN}}{2 \times 21 \text{ cm} \times 26 \text{ cm}}}{0,208 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,55 \leq 1$$

• PREČNA GREDA (GP3)

Upoštevamo trdnostni razred C30.

Preglednica 51: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu GP3.

Kombinacija: <i>Ka-7</i>		Kombinacija: <i>Kb-5</i>	
Razred tr.	$k_{mod} = 0,9$	Razred tr.	$k_{mod} = 0,9$
$M_{d,max}$	17,48 kNm	$M_{d,prp}$	16,59 kNm
$V_{d,max}$	8,48 kN	$V_{d,prp}$	7,98 kN
$ N_{d,prp} $	3,55 kN	$ N_{d,min} $	5,54 kN

Preglednica 52: Geometrijske karakteristike polnega prereza prečne grede GP3.

Element Oznaka	GP3	Enote
h	20	cm
b	16	cm
h/b	1,25	
A	320	cm ²
W_y	1067	cm ³
I_y	10667	cm ⁴
W_z	853	cm ³
I_z	6827	cm ⁴
L_{ef}	200	cm

Kontrola na upogib z tlačno osno silo:

$$N_{crit,z} = \frac{\pi^2 \times E_{0,05}}{L_{ef}^2} = \frac{\pi^2 \times 800 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 6827 \text{ cm}^4}{200^2 \text{ cm}^2} = 1348 \text{ kN}$$

$$\sigma_{crit,z} = \frac{N_{crit}}{A} = \frac{1348 \text{ kN}}{320 \text{ cm}^2} = 4,21 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{crit,z}}} = \sqrt{\frac{2,3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{4,21 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}} = 0,74 \rightarrow k_z = 0,82 \rightarrow k_{c,z} = 0,86$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} = \frac{\frac{M_{y,d}}{W_{y(i)}}}{f_{m,d}} + \frac{\frac{N_d}{A_0}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} = \frac{\frac{1748 \text{ kNcm}}{1067 \text{ cm}^3}}{2,077 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} + \frac{\frac{3,55 \text{ kN}}{320 \text{ cm}^2}}{0,86 \times 1,592 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,80 \leq 1$$

Kontrola na strig:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{3 \times V_d}{2 \times b \times h} = \frac{3 \times 8,48 \text{ kN}}{2 \times 20 \text{ cm} \times 16 \text{ cm}} = 0,19 \leq 1$$

$$0,208 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

5.5 Kontrola nosilnosti stebrov

- GLAVNI STEBER (S1)**

Upoštevamo trdnostni razred D40.

Preglednica 53: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu S1.

Kombinacija: $K\phi$		Kombinacija: $Kc-7$		Kombinacija: $Kc-7$	
k_{mod}	0,9	k_{mod}	0,9	k_{mod}	0,9
$ M_{d,min} $	105,8 kNm	$ M_{d,prp} $	64,04 kNm	$M_{d,prp}$	
$V_{d,prp}$	62,33 kN	$V_{d,max}$	67,2 kN	$V_{d,prp}$	
$ N_{d,prp} $	37,47 kN	$ N_{d,prp} $	84,13 kN	$ N_{d,min} $	130,2 kN

Preglednica 54: Geometrijske karakteristike polnega prereza glavnega stebra S1.

Element Oznaka	S1 (0 m) polni	S1 (2,7 m) oslabljen	Enote
h	38	36	cm
b	34	32	cm
h/b	1,12	1,13	
a	1292	768	cm ²
W_y	8183	5587	cm ³
I_y	155471	124416	cm ⁴
W_z	7321	6144	cm ³
I_z	124463	98304	cm ⁴
L_{ef}	460	460	cm

Kontrola na upogib s tlačno osno silo:

$$N_{crit,z} = \frac{\pi^2 \times E_{0,05}}{L_{ef}^2} = \frac{\pi^2 \times 940 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 98304 \text{ cm}^4}{460^2 \text{ cm}^2} = 4310 \text{ kN}$$

$$\sigma_{crit,z} = \frac{N_{crit}}{A} = \frac{4310 \text{ kN}}{768 \text{ cm}^2} = 5,61 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{crit,z}}} = \sqrt{\frac{2,6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{5,61 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}} = 0,68 \rightarrow k_z = 0,77 \rightarrow k_{c,z} = 0,89$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} = \frac{M_{y,d}}{W_{y(i)}} + \frac{N_d}{A_0} = \frac{10580 \text{ kNm}}{5587 \text{ cm}^3} + \frac{37,47 \text{ kN}}{768 \text{ cm}^2} = 2,769 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} + \frac{0,89 \times 1,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{0,89 \times 1,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,71 \leq 1$$

Kontrola na tlak vzporedno z vlakni:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} = \frac{\frac{130,2 \text{ kN}}{1292 \text{ cm}^2}}{0,89 \times 1,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,07 \leq 1$$

Kontrola na strig:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{\frac{3 \times V_d}{2 \times b \times h}}{f_{v,d}} = \frac{\frac{3 \times 67,2 \text{ kN}}{2 \times 22 \text{ cm} \times 36 \text{ cm}}}{0,263 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,48 \leq 1$$

• **STEBER (S2)**

Upošteavamo trdnostni razred D40.

Preglednica 55: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu S2.

Kombinacija: Kc-2		Kombinacija: Kc-6	
k_{mod}	0,9	k_{mod}	0,9
$M_{d,max}$		$M_{d,prip}$	
$V_{d,prip}$		$V_{d,max}$	
$N_{d,max}$	28,23 kN	$ N_{d,min} $	9,6 kN

Preglednica 56: Geometrijske karakteristike polnega prereza stebra S2.

Element Oznaka	S2	Enote
h	20	cm
b	18	cm
h/b	1,11	
A	360	cm ²
W_y	1200	cm ³
I_y	12000	cm ⁴
W_z	1080	cm ³
I_z	9720	cm ⁴

Kontrola na tlak vzporedno z vlakni:

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} = \frac{\frac{9,62 \text{ kN}}{360 \text{ cm}^2}}{1,8 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,01 \leq 1$$

Kontrola na nateg vzporedno z vlakni:

$$\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{N_d}{A_0}}{f_{t,0,d}} = \frac{\frac{28,23 \text{ kN}}{360 \text{ cm}^2}}{1,662 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,05 \leq 1$$

- **STEBER (S3)**

Upoštevamo trdnostni razred C30.

Preglednica 57: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu S3.

Kombinacija: Kb-6		Kombinacija: Kb-4	
k_{mod}	0,9	k_{mod}	0,9
$ M_{d,min} $	5,93 kNm	$ M_{d,prp} $	1,02 kNm
$V_{d,max}$	9,02 kN	$V_{d,prp}$	1,2 kN
$ N_{d,prp} $	36,27 kN	$ N_{d,min} $	48,76 kN

Preglednica 58: Geometrijske karakteristike polnega prereza stebra S3.

Element Oznaka	S3	Enote
h	20	cm
b	17	cm
h/b	1,18	
A	340	cm ²
W_y	1133	cm ³
I_y	11333	cm ⁴
W_z	963	cm ³
I_z	8188	cm ⁴
L_{ef}	180	cm

Kontrola na upogib s tlačno osno silo:

$$N_{crit,z} = \frac{\pi^2 \times E_{0,05}}{L_{ef}^2} = \frac{\pi^2 \times 800 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 8188 \text{ cm}^4}{180_{\text{cm}^2}^2} = 1995 \text{ kN}$$

$$\sigma_{crit,z} = \frac{N_{crit}}{A} = \frac{1995 \text{ kN}}{340 \text{ cm}^2} = 5,87 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{crit,z}}} = \sqrt{\frac{2,3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{5,87 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}} = 0,63 \rightarrow k_z = 0,73 \rightarrow k_{c,z} = 0,91$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} = \frac{\frac{M_{y,d}}{W_{y(i)}}}{f_{m,d}} + \frac{\frac{N_d}{A_0}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} = \frac{\frac{593 \text{ kNm}}{1133 \text{ cm}^3}}{2,077 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} + \frac{\frac{36,27 \text{ kN}}{340 \text{ cm}^2}}{0,91 \times 1,592 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,33 \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} = \frac{\frac{M_{y,d}}{W_{y(i)}}}{f_{m,d}} + \frac{\frac{N_d}{A_0}}{k_{c,z} \times f_{c,0,d}} = \frac{\frac{109 \text{ kNm}}{1133 \text{ cm}^3}}{2,077 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} + \frac{\frac{48,76 \text{ kN}}{340 \text{ cm}^2}}{0,91 \times 1,592 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}} = 0,14 \leq 1$$

Kontrola na strig:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{3 \times V_d}{2 \times b \times h} = \frac{3 \times 9,02 \text{ kN}}{2 \times 20 \text{ cm} \times 17 \text{ cm}} = 0,19 \leq 1$$

$$0,208 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

• **STEBER (S4)**

Upoštevamo trdnostni razred C30.

Preglednica 59: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu S4.

Kombinacija: Ka-2		Kombinacija: Ka-5	
k_{mod}	0,8	k_{mod}	0,8
$M_{d,max}$	2,01 kNm	$M_{d,prip}$	0,53 kNm
$V_{d,max}$	2,42 kN	$V_{d,prip}$	0,64 kN
$ N_{d,prip} $	14,12 kN	$ N_{d,min} $	19,00 kN

Preglednica 60: Geometrijske karakteristike polnega prereza stebra S4.

Element Oznaka	S4	Enote
h	18	cm
b	18	cm
h/b	1,0	
A	324	cm ²
W_y	972	cm ³
I_y	8748	cm ⁴
W_z	972	cm ³
I_z	8748	cm ⁴

Kontrola na upogib z tlačno osno silo:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 = \frac{M_{y,d}}{W_{y(i)}} + \left(\frac{N_d}{A_0}\right)^2 = \frac{201\text{kNcm}}{872\text{ cm}^3} + \left(\frac{14,12\text{kN}}{324\text{cm}^2}\right)^2 = 0,11 \leq 1$$

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}}\right)^2 = \frac{M_{y,d}}{W_{y(i)}} + \left(\frac{N_d}{A_0}\right)^2 = \frac{53\text{ kNcm}}{872\text{ cm}^3} + \left(\frac{19\text{kN}}{324\text{cm}^2}\right)^2 = 0,03 \leq 1$$

Kontrola na strig:

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{3 \times V_d}{2 \times b \times h} = \frac{3 \times 2,42\text{ kN}}{2 \times 18\text{ cm} \times 18\text{ cm}} = 0,05 \leq 1$$

5.6 Kontrola nosilnosti nosilcev na podestih, razpor in ročic

• NOSILEC (N1)

Upoštevamo trdnostni razred C30.

Preglednica 61: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu N1.

Kombinacija: <i>Ka-1</i>	
k_{mod}	0,8
$M_{d,max}$	3,82 kNm
$V_{d,max}$	8,93 kN
$N_{d,prp}$	

Preglednica 62: Geometrijske karakteristike polnega prereza nosilca N1.

Element Oznaka	N1	Enote
h	12	cm
b	14	cm
h/b	0,86	
A	168	cm ²
W_y	336	cm ³
I_y	2016	cm ⁴
W_z	392	cm ³
I_z	2744	cm ⁴

Kontrola na upogib:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,d}} = \frac{M_{y,d}}{W_{y(i)}} = \frac{382 \text{ kNcm}}{336 \text{ cm}^3} = 1,137 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 1,846 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,62 \leq 1$$

Kontrola na strig:

Element ima na robovih, kjer je priključen na vzdolžno gredo, oslabitve prereza za polovico višine.

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{3 \times V_d}{2 \times b \times h} = \frac{3 \times 8,93 \text{ kN}}{2 \times 14 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}} = 0,86 \leq 1$$

• **NOSILEC (N2)**

Upoštevamo trdnostni razred C30.

Preglednica 63: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu elementu N2.

Kombinacija: <i>Ka-1</i>	
k_{mod}	0,8
$M_{d,max}$	2,57 kNm
$V_{d,max}$	4,11 kN
$N_{d,prp}$	

Preglednica 64: Geometrijske karakteristike polnega prereza nosilca N2.

Element Oznaka	N2	Enote
h	12	cm
b	12	cm
h/b	1	
A	144	cm ²
W_y	288	cm ³
I_y	1728	cm ⁴
W_z	288	cm ³
I_z	1728	cm ⁴

Kontrola na upogib:

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} = \frac{M_{y,d}}{W_{y(i)}} = \frac{257 \text{ kNcm}}{288 \text{ cm}^3} = 0,48 \leq 1$$

$$1,846 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Kontrola na strig:

Element ima na robovih, kjer je priključen na vzdolžno gredo, oslabitve prereza za polovico višine.

$$\frac{\tau_d}{f_{v,d}} = \frac{3 \times V_d}{2 \times b \times h} = \frac{3 \times 4,11 \text{ kN}}{2 \times 12 \text{ cm} \times 6 \text{ cm}} = 0,46 \leq 1$$

$$0,185 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

• **RAZPORA (RA1)**

Upoštevamo trdnostni razred D40.

Preglednica 65: Merodajne ekstremne projektne vrednosti NSK v elementu elementu RA1.

Kombinacija: <i>Ka-7</i>	
k_{mod}	0,8
$M_{d,max}$	
$V_{d,max}$	
$ N_{d,min} $	70 kN

Preglednica 66: Geometrijske karakteristike polnega prereza razpore RA1.

Element Oznaka	RA1	Enote
h	14	cm
b	10	cm
h/b	1,4	
A	140	cm ²
W_y	327	cm ³
I_y	2287	cm ⁴
W_z	233	cm ³
I_z	1167	cm ⁴
L_{ef}	90	cm

Kontrola na tlak vzporedno z vlakni:

$$N_{crit,z} = \frac{\pi^2 \times E_{0,05}}{L_{ef}^2} = \frac{\pi^2 \times 940 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 1167 \text{ cm}^4}{90^2_{\text{cm}^2}} = 1336 \text{ kN}$$

$$\sigma_{crit,z} = \frac{N_{crit}}{A} = \frac{1336 \text{ kN}}{140 \text{ cm}^2} = 9,54 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{crit,z}}} = \sqrt{\frac{2,6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{9,54 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}} = 0,52 \rightarrow k_z = 0,66 \rightarrow k_{c,z} = 0,94$$

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d} \times k_c} = \frac{\frac{N_d}{A_0}}{f_{c,0,d} \times 0,94} = \frac{\frac{70 \text{ kN}}{140 \text{ cm}^2}}{1,6 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 0,94} = 0,33 \leq 1$$

- **ROČICA (RO1)**

Upoštevamo trdnostni razred C30.

Preglednica 67: Največje dobljene NSK in njihove pripadajoče kombinacije v elementu RO1.

Kombinacija: Kb-4	
Razred tr.	$k_{mod} = 0,9$
$M_{d,max}$	
$V_{d,max}$	
$ N_{d,min} $	23,87 kN

Preglednica 68: Geometrijske karakteristike polnega prereza ročice RO1.

Element Oznaka	RO1	Enote
h	14	cm
b	10	cm
h/b	1,4	
a	140	cm ²
W_y	327	cm ³
I_y	2287	cm ⁴
W_z	233	cm ³
I_z	1167	cm ⁴
L_{ef}	150	cm

Kontrola na tlak vzporedno z vlakni:

$$N_{crit,z} = \frac{\pi^2 \times E_{0,05}}{L_{ef}^2} = \frac{\pi^2 \times 800 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 1167 \text{ cm}^4}{150^2_{\text{cm}^2}} = 409 \text{ kN}$$

$$\sigma_{crit,z} = \frac{N_{crit}}{A} = \frac{409 \text{ kN}}{140 \text{ cm}^2} = 2,92 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\lambda_{rel,z} = \sqrt{\frac{f_{c,0,k}}{\sigma_{crit,z}}} = \sqrt{\frac{2,3 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}{2,92 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}}} = 0,89 \rightarrow k_z = 0,95 \rightarrow k_{c,z} = 0,77$$

$$\lambda_{rel} = 0,86 \rightarrow \frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d} \times k_c} = \frac{\frac{N_d}{A_0}}{f_{c,0,d} \times 0,77} = \frac{\frac{23,87 \text{ kN}}{140 \text{ cm}^2}}{1,592 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 0,77} = 0,14 \leq 1$$

5.7 Kontrola mejnega stanja uporabnosti

Povesi konstrukcijskih delov smo dobili s pomočjo modelov, ki vključujejo materialne karakteristike in prereze elementov, v programu SAP2000. Za obremenitve smo upoštevali polno silo stalno obtežbo, koristno obtežbo snega in koristno obtežbo pšenice.

Preglednica 69: Povesi posameznih elementov in njihova ustreznost glede na MSU.

Element	l (cm)	$w_{inst,G+Q}$ (cm)	$l/300$ (cm)	w_{fin} (cm)	$l/150$ (cm)	Ustreznost za MSU
GV1	438	0,7	1,46	1,26	2,92	DA
GV2	438	0,25	1,46	0,45	2,92	DA
L1	438	0,37	1,46	0,67	2,92	DA
L2	438	0,13	1,46	0,23	2,92	DA
L3	438	0,07	1,46	0,13	2,92	DA
GP1	700	0,65	2,33	1,17	4,67	DA
GP2	700	0,86	2,33	1,55	4,67	DA
GP3	400	1,27	1,33	2,29	2,67	DA
Š1	273	0,09	0,91	0,16	1,82	DA
N1	280	1,42	0,93	2,56	1,87	NE
N2	250	0,54	0,83	0,94	1,67	DA

Element N1 ne izpolnil naš poenostavljen izraz, zato smo ga pregledali z bolj točnim izrazom, enačba (50). V tem primeru smo privzeli vrednost $\psi_2 = 0,3$.

$$w_{fin} = w_{inst,G} \times (1 + k_{def}) + w_{inst,Q} \times (1 + \psi_{2,i} \times k_{def})$$

$$w_{fin} = 0,05 \text{ cm} \times (1 + 0,8) + 1,37 \text{ cm} \times (1 + 0,3 \times 0,8) = 1,79 \text{ cm}$$

$$w_{fin} \leq \frac{l}{300}$$

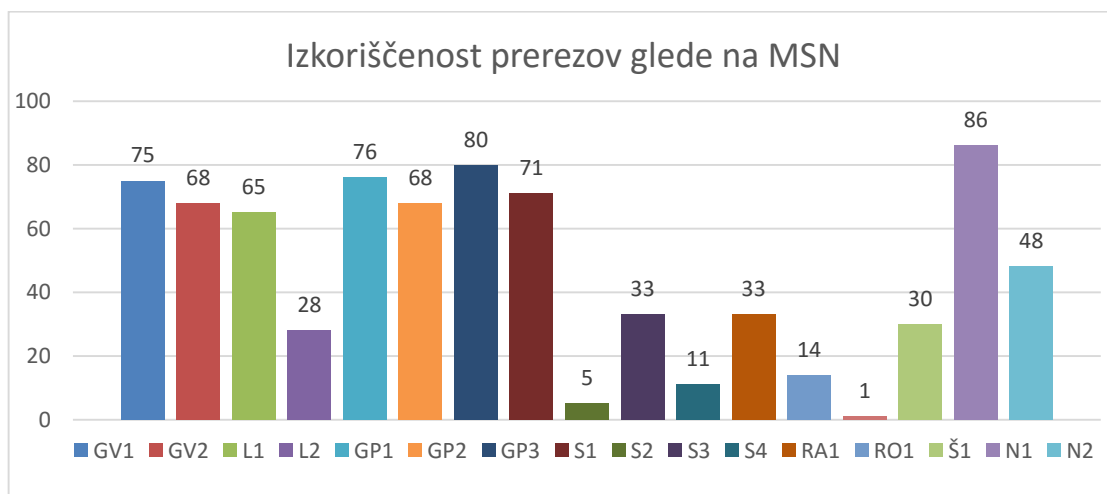
$$1,79 \text{ cm} \leq 1,87 \text{ cm}$$

Element je po bolj točnem preračunu izpolnil pogoje MSU.

5.8 Izkoriščenost elementov glede MSN

Preglednica 70: Prikaz procentualne izkoriščenosti prereзов po kriterijih MSN.

Element	Izkoriščenost glede MSN
GV1	75 %
GV2	68 %
L1	65 %
L2	28 %
L3	15 %
GP1	76 %
GP2	68 %
GP3	80 %
S1	71 %
S2	5 %
S3	33 %
S4	11 %
RA1	33 %
RO1	14 %
Š1	30 %
N1	86 %
N2	48 %



Grafikon 1: Izkoriščenost prereзов glede na mejno stanje nosilnosti (MSN).

6 ZAKLJUČEK

V diplomski nalogi smo na koncu ugotovili, da so glavni konstrukcijski elementi v MSN procentualno razmeroma dobro izkoriščeni, kar se v grobem ne ujema z mojimi pričakovanji o pretiranih dimenzijah elementov uporabljenih v obstoječih lesenih dvojno vezanih kozolcih.

Med potekom pisanja naloge so se nam pojavljali večji problemi pri oceni nosilnosti nekaterih stikov. V večini glavnih stikov so uporabljeni leseni čepi in stari kovani žebli. Za taka vezna sredstva v standardih ni podatkov. Najbolj se to opazi v stiku razpore RA1 in prečne grede GP1, kjer praktično ne moremo upoštevati nikakršne nosilnosti. Objekt je z vidika izrabe materiala neizkoriščen, kar dokazujejo veliki zaseki, ki precej zmanjšajo nosilnost elementov. Ostali problemi so se pojavljali pri potresni obtežbi in vetru v prečni smeri na objekt. Ker objekt nima zadostne povezanosti med glavnimi okvirji, se večina obremenitve prenese na osrednja okvirja. Zaradi tega se v notranjih stebrih pojavijo veliki momenti in prečne sile, kar potem opravičuje velike dimenzije teh elementov.

Nosilnosti nismo mogli povsem točno izračunati, saj bi za podrobnejšo analizo potrebovali dejanske trdnostne razrede uporabljenega lesa.

VIRI

Beg, D. (ur.), Pogačnik, A.(ur.). 2009. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po evrokod standardih. Ljubljana: Inženirska zbornica Slovenije:1077 str.

EN SIST 1991-1-1:2004. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije — 1-1. del: Splošni vplivi — Prostorninska teža, lastna teža, koristna obtežba stavb.

Etnografski muzej. 2015. Slovenski etnografski muzej. [Elektronski]
<http://www.etno-muzej.si/sl/digitalne-zbirke/sentvid-pri-sticni/r0000005127>
(Pridobljeno 5.9.2015.)

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

SIST EN 1991-1-3:2004/A101:2008. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije — 1-3. del: Splošni vplivi — Obtežba snega — Nacionalni dodatek.

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

SIST EN 1991-1-4: 2005/A101:2008. Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije — 1-4. del: Splošni vplivi — Obtežba vetra — Nacionalni dodatek.

SIST EN 1998-1:2005/A101. Evrokod 8: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij — 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe — Nacionalni dodatek.

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

SIST EN 338:2004. Konstrukcijski les — Trdnostni razredi.

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

Štepec, D. 2011. Kozolec na prepihu časa. Ljubljana, Zavod za varstvo kulturne dediščine Slovenije: 132 str.