

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Miha VESEL

**ANALIZA OBSTOJEČE LESENE KONSTRUKCIJE Z EVROKOD
SISTEMOM**

DIPLOMSKO DELO
Univerzitetni študij

**ANALYSIS OF EXISTING WOODEN STRUCTURES WITH
EUROCODE SYSTEM**

GRADUATION THESIS
University studies

Ljubljana, 2011

Diplomsko delo je zaključek Univerzitetnega študija lesarstva. Opravljeno je bilo na Katedri za mehanske in obdelovalne tehnologije lesa Oddelka za lesarstvo Biotehniške fakultete Univerze v Ljubljani.

Senat Oddelka za lesarstvo je za mentorja diplomskega dela imenoval prof. dr. Bojana Bučarja in za recenzenta doc. dr. Marjana Mediča.

Mentor: prof. dr. Bojan Bučar

Recenzent: doc. dr. Marjan Medič

Komisija za oceno in zagovor:

Predsednik:

Član:

Član:

Datum zagovora:

Naloga je rezultat lastnega raziskovalnega dela.

Miha Vesel

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA

ŠD	Dn
DK	UDK 694:006.77
KG	lesene konstrukcije/analiza/Evrocod/dimenzioniranje
AV	VESEL, Miha
SA	BUČAR, Bojan (mentor)/MEDIČ, Marjan (recenzent)
KZ	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
ZA	Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo
LI	2011
IN	ANALIZA OBSTOJEČE LESENE KONSTRUKCIJE Z EVROKOD SISTEMOM
TD	Diplomsko delo (univerzitetni študij)
OP	X, 100 str., 12 pregl., 68 sl., 17 vir.
IJ	sl
JI	sl/en
AI	Naredili smo statični in trdnostni izračun lesenega ostrešja, grajenega iz smrekovine. Predstavili smo trdnostne razrede ter osnovne trdnostne lastnosti lesa, pomembne pri projektiraju lesenih konstrukcij. Osnova za izračun je bilo trikotno vešalo na katerega so bili pritrjeni špirovci. Preverili smo dimenzijske posameznih nosilnih konstrukcijskih elementov ob upoštevanju obremenitev, kot jih predvideva EVROKOD standard (lastna teža, koristna obtežba, obtežba snega, obtežba vetra). Notranje napetosti ter deformacije v nosilnih elementih so bile pridobljene z računalniškim programom TOWER 6.0 DEMO ob upoštevanju vplivov na konstrukcijo po EVROKOD metodologiji. Dimenzioniranje je temeljilo na metodi mejnega stanja nosilnosti (MSN), ter na metodi mejnega stanja uporabnosti (MSU). Sama analiza je pokazala, da je konstrukcija konstruirana varno, vendar z vidika porabe materijala zelo potratno. Pri sami analizi smo ugotovili, da potrebujemo les, ki je razvrščen v trdnostne razrede. Zaradi kompleksnosti EVROKOD sistema pa je nujna uporaba sodobnih računskih pripomočkov ter računalniških programov. Treba pa je tudi vsebinsko poznati še vrsto drugih standardov, vezanih na EVROKOD.

KEY WORDS DOCUMENTATION

DN	Dn
DC	UDC 694:006.77
CX	timber structures/analysis/Eurocode/dimensioning
AU	VESEL, Miha
AA	BUČAR, Bojan (supervisor)/MEDIČ, Marjan (reviewer)
PP	SI-1000 Ljubljana, Rožna dolina, c. VIII/34
PB	University of Ljubljana, Biotechnical Faculty, Department of Wood Science and Technology
PY	2011
TI	ANALYSIS OF EXISTING WOODEN STRUCTURES WITH EUROCODE SYSTEM
DT	Graduation Thesis (University studies)
NO	IX, 100 p., 12 tab., 48 fig., 17 ref.
LA	sl
AL	sl/en
AB	<p>Thesis presents the calculation of static and strength of a wooden roof, built of spruce wood. The basic strength properties of wood and strength classes, important for the design of timber structures, are presented. The basis for the calculation is the triangular king post truss with rafters being attached to it. The dimensions of individual structural elements bearing the load, are verified as foreseen by Eurocode standard (dead load, live load, snow load, wind load). Internal voltage and deformations of load-bearing elements are generated by TOWER 6.0 DEMO computer programme, considering impacts on the structure by Eurocode methodology. Dimensioning is based on the method of limit state load (MSN) and the method of the marginal status utility (MSU). Analysis itself shows that the structure is constructed safely, but in terms of consumption of material very wastefully. In the analysis it was found that we needed a timber classified in the strength classes. Because of complexity of Eurocode system it is necessary to use modern computing devices and computer programmes. It is also necessary to know a number of other standards, related to Eurocodes.</p>

KAZALO VSEBINE

str.

KLJUČNA DOKUMENTACIJSKA INFORMACIJA (KDI)	III
KEY WORDS DOCUMENTATION (KWD).....	IV
KAZALO VSEBINE	V
KAZALO PREGLEDNIC	VIII
KAZALO SLIK	IX

1 UVOD	1
1.1 UVODNA OBRAZLOŽITEV	1
1.2 OPREDELITEV PROBLEMA	3
2 PREGLED OBJAV	4
2.1 EVROKOD 5	4
2.2 TRDNOST LEZA	6
2.2.1 Tlačna trdnost lesa	6
2.2.2 Natezna trdnost lesa	8
2.2.3 Upogibna trdnost lesa.....	9
2.2.4 Strižna trdnost lesa.....	11
2.3 TRDNOSTNI RAZREDI KONSTRUKCIJSKEGA LEZA	12
2.3.1 Trdnostni razredi masivnega lesa	12
2.4 RAZREDI UPORABNOSTI	13
2.5 VPLIVI NA KONSTRUKCIJE	14
2.5.1 Lastna teža	14
2.5.2 Koristna obtežba.....	15
2.5.3 Obtežba snega	16
2.5.4 Obtežba vetra.....	18
2.5.4.1 Hitrost in tlak vetra.....	19
2.5.4.2 Srednja hitrost vetra na določeni višini nad tlemi	20
2.5.4.3 Hrapavost terena (faktor hrpavosti).....	20
2.5.4.4 Vetrna turbolenca	22
2.5.4.5 Tlak pri največji hitrosti pri sunkih vetra	23
2.5.4.6 Tlak vetra na ploskve stavb	24
2.5.4.7 Koeficient tlaka za ploskve stavb	24
2.5.4.8 Koeficienti tlaka za dvokapne strehe s pravokotnim tlorisom	26
2.6 DIMENZIONIRANJE.....	28
2.6.1 Metoda mejnega stanja nosilnosti (MSN)	28
2.6.1.1 Nateg vzporedno z vlakni	29
2.6.1.2 Tlak vzporedno z vlakni	29
2.6.1.3 Upogib	30
2.6.1.4 Strig	31

2.6.1.5 Kombinacija upogiba in natega	31
2.6.1.6 Kombinacija upogiba in tlaka	31
2.6.1.7 Kontrola stabilnosti pri tlačno in tlačno-upogibni obremenjenih stebrih	31
2.6.1.8 Kontrola stabilnosti pri upogibno in upogibno tlačno obremenjenih nosilcih 33	
2.6.2 Mejno stanje uporabnosti (MSU).....	34
2.6.2.1 Trenutna deformacija.....	34
2.6.2.2 Končna deformacija.....	34
3 MATERIALI IN METODE	36
3.1 TEHNIČNO POROČILO	36
3.2 LASTNOSTI MATERIALA	39
4 REZULTATI.....	41
4.1 OBTEŽBE	41
4.1.1 Stalna obtežba.....	41
4.1.1.1 Lastna teža	41
4.1.2 Spremenljiva obtežba.....	41
4.1.2.1 Koristna obtežba	41
4.1.2.2 Obtežba snega.....	41
4.1.2.3 Obtežba vetra	44
4.2 STATIČNI IZRAČUN	49
4.2.1 Ostrešje	49
4.2.1.1 Obtežni primeri.....	49
4.2.1.2 Obtežne kombinacije	54
4.3 DIMENZIONIRANJE ŠPIROVCA	60
4.3.1 Mejno stanje nosilnosti.....	61
4.3.2 Mejno stanje uporabnosti	64
4.4 DIMENZIONIRANJE ŠKARNIKA	65
4.4.1 Mejno stanje nosilnosti.....	66
4.5 DIMENZIONIRANJE SLEMENSKE LEGE	69
4.5.1 Mejno stanje nosilnosti.....	70
4.5.2 Mejno stanje uporabnosti	73
4.6 DIMENZIONIRANJE KAPNE LEGE	74
4.6.1 Mejno stanje nosilnosti.....	75
4.6.2 Mejno stanje uporabnosti	79
4.7 DIMENZIONIRANJE POVEZNIK	80
4.7.1 Mejno stanje nosilnosti.....	81
4.7.2 Mejno stanje uporabnosti	84
4.8 DIMENZIONIRANJE SOHE	85
4.8.1 Mejno stanje nosilnosti.....	86
4.9 DIMENZIONIRANJE POŠEVNEGA OPIRAČA	89
4.9.1 Mejno stanje nosilnosti.....	90
4.10 DIMENZIONIRANJE ROKE	93
4.10.1 Mejno stanje nosilnosti.....	94
5 RAZPRAVA IN SKLEPI.....	97

6 POVZETEK.....98

7 VIRI99

ZAHVALA

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Karakteristične trdnosti lesa	39
Preglednica 2: Lastna teža posameznih elementov strehe.....	41
Preglednica 3: Površine področij strehe , $\Theta = 0^\circ$	46
Preglednica 4: Koeficienti zunanjega tlaka na strehi, $\Theta = 0^\circ$	46
Preglednica 5: Površine področij strehe , $\Theta = 90^\circ$	48
Preglednica 6: Koeficienti zunanjega tlaka na strehi, $\Theta = 90^\circ$	48
Preglednica 7: Obtežne kombinacije za mejno stanje nosilnosti (MSN)	54
Preglednica 8: Obtežne kombinacije za mejno stanje uporabnosti (MSU).....	57
Preglednica 9: Dovoljene deformacije špirovca	64
Preglednica 10: Dovoljene deformacije slemenske lege	73
Preglednica 11: Dovoljene deformacije kapne lege	79
Preglednica 12: Dovoljene deformacije poveznika.....	84

KAZALO SLIK

Slika 1: Tlačna obremenitev lesa.....	7
Slika 2: Dejanski σ - ϵ diagram lesa v tlaku vzporedno z vlakni	7
Slika 3: σ - ϵ diagram lesa v tlaku, pravokotno ana vlakna	8
Slika 4: Natezna obremenitev lesa.....	8
Slika 5: Dejanski σ - ϵ diagram les v nategu, vzporedno z vlakni.....	9
Slika 6: Upogibna obremenitev lesa.....	10
Slika 7: Prikaz napetostnega stanja lesenega elementa do upogibnega loma.....	10
Slika 8: Radialni in tangentni upogib	11
Slika 9: Strižna obremenitev lesa	12
Slika 10: Trdnostni razredi masivnega lesa.....	13
Slika 11: Kategorije streh	15
Slika 12: Koristne obtežbe streh kategorije H	15
Slika 13: Oblikovni koeficient obtežbe snega pri dvokapnicah	16
Slika 14: Razpredelnica za določitev oblikovnega koeficiente v odvisnosti od naklona strehe pri dvokapnicah.....	17
Slika 15: Karakteristična obtežba s snegom na tleh na nadmorski višini A	18
Slika 16: Preglednica kategorij in terenskih parametrov	21
Slika 17: Kategorije terena	21
Slika 18: Diagram faktorja izpostavljenosti $ce(z)$ za $co(z) = 1,0$, $kl = 1,0$	24
Slika 19: Priporočeni postopek za določitev koeficiente zunanjega tlaka cpe za površine A med 1 m ² in 10 m ²	25
Slika 20: Razdelitev dvokapnice na področja	26
Slika 21: Koeficienti zunanjega tlaka za dvokapnice po področjih na strehi, za smer vetra $\theta = 0^\circ$	27
Slika 22: Koeficienti zunanjega tlaka za dvokapnice po področjih na strehi, za smer vetra $\theta = 90^\circ$	27
Slika 23: Shematičen prikaz komponent navpičnih upogibkov	35
Slika 24: Tloris strešne konstrukcije	37
Slika 25: Prerez A – A	38
Slika 26: Prerez B – B	38

Slika 27: Vrednosti modifikacijskih faktorjev.....	40
Slika 28: Razdelitev dvokapnic na področja , $\Theta = 0^\circ$	45
Slika 29: Razdelitev dvokapnic na področja , $\Theta = 90^\circ$	47
Slika 30: Obremenitev ostrešja z lastno težo.....	50
Slika 31: Obremenitev ostrešja s koristno obtežbo	50
Slika 32: Obremenitev ostrešja z obtežbo snega (i)	51
Slika 33: Obremenitev ostrešja z obtežbo snega (ii)	51
Slika 34: Obremenitev ostrešja z obtežbo snega (iii)	52
Slika 35: Obremenitev ostrešja z veterno obtežbo (a1).....	52
Slika 36: Obremenitev ostrešja z veterno obtežbo (a2).....	53
Slika 37: Obremenitev ostrešja z veterno obtežbo (b).....	53
Slika 38: Diagram napetostnega stanja momentov v špirovcih.....	55
Slika 39: Diagram napetostnega stanja prečnih sil v špirovcih	55
Slika 40: Diagram napetostnega stanja nateznih sil v špirovcih	56
Slika 41: Diagram napetostnega stanja tlačnih sil v špirovcih	56
Slika 42: Diagram maksimalnih pomikov v špirovcih	58
Slika 43: Maksimalne reakcije v podporah pri obremenitvi ostrešja	58
Slika 44: Pozicija špirovca	60
Slika 45: Karakteristika prereza špirovca 12/14.....	60
Slika 46: Notranje napetosti špirovca.....	61
Slika 47: Pozicija škarnika	65
Slika 48: Karakteristika prereza škarnika 2x5/16.....	65
Slika 49: Notranje napetosti škarnika	66
Slika 50: Pozicija slemenske lege.....	69
Slika 51: Karakteristika prereza slemenske lege 18/24	69
Slika 52: Notranje napetosti slemenske lege	70
Slika 53: Model kapne lege	74
Slika 54: Karakteristika prereza kapne lege 18/24	74
Slika 55: Obremenitve kapne lege.....	75
Slika 56: Notranje napetosti kapne lege	76
Slika 57: Pozicija povezničkega elementa	80
Slika 58: Karakteristika prereza povezničkega elementa 18/24	80

Slika 59: Notranje napetosti poveznika	81
Slika 60: Pozicija sohe.....	85
Slika 61: Karakteristika prereza poveznika 18/18.....	85
Slika 62: Notranje napetosti sohe	86
Slika 63: Pozicija max. obremenjenega poševnega opirača	89
Slika 64: Karakteristika prereza poševnega opirača 18/18.....	89
Slika 65: Notranje napetosti poševnega opirača.....	90
Slika 66: Pozicija max. obremenjene roke	93
Slika 67: Karakteristika prereza roke 18/18	93
Slika 68: Notranje napetosti roke	94

1 UVOD

1.1 UVODNA OBRAZLOŽITEV

Graditelji konstrukcijskih objektov iz lesa so skozi zgodovino koristili empirične metode in načine gradenj. Stari graditelji niso razpolagali z definiranimi postopki oblikovanja, konstruiranja ter preverjanja stabilnosti svojih konstrukcij, temveč so gradili in ustvarjali na podlagi pravil, katera so izoblikovale generacije skozi zgodovino. Vsak izmed njih je izkustveno dimenzioniral elemente na podlagi izkušenj iz preteklosti. Različni naravnii pogoji, različne civilizacije, različna orodja, različnost lesa kot osnovnega gradnika, vse to je ljudem povzročalo različne probleme ter ponudilo paleto rešitev in stereotipov, kateri so se zatem globalno izoblikovali. Taka izkustvena metoda je postopoma vodila graditelje do definiranja ter izoblikovanja postopka gradenj, katere potrditev je stvaritev značilnih lesenih bivakov, mostov, stopnišč, obrambnih zidov, zvonikov, stešnih konstrukcij itd. Vse te rešitve so več ali manj rezultat odraza lokalnih pogojev, klime, razpoložljivosti materiala, psiho-socialnih, ter religioznih pogojev. Potrditev njihovega dela se je kazala v odpornosti zgrajenega objekta na vplive iz okolja, saj so več desetletij kljubovali vsem mogočim vplivom ki so jih pozročali obremenite snega, vetra, potresov, pa tudi vplivov povezanih s staranjem (UV sevanja, padavine, temeratura, vlaga). Tako se je časoma izoblikoval neki fond izkušenj ter znanja, le-ta pa se je prenašal iz generacije v generacijo, pri čemer so se tehnike izdelave ter obdelave samo še dopolnejevale ter izboljševale. (Kujundžić, 1989)

Kako visok nivo kvalitete izdelave lahko dosežemo po iskustveni metodi, nam pričajo kozolci širom po Sloveniji, nekateri kljub svoji starosti tudi preko 100 let še vedno klubujejo vsem naravnim vplivom. Na osnovi izkušenj s starimi konstrukcijami, ki imajo zelo dolgo življensko dobo in tudi precej večje dimenzijske, so z vidika porabe materiala potratne. Kasneje so se razvili principi natančnejšega določevanja karakteristik tako gradbenih elementov kot tudi postopkov dimenzioniranja lesenih konstrukcij. (Wallner, 2010)

Trenutno so v Sloveniji v uporabi sodobni standardi za projektiranje nosilnih konstrukcij – evrokodi. Projektiranju stavb in inženirskih objektov v lesu je namenjen Evrokod 5. Ti standardi so zasnovani na najnovejših spoznanjih in dosežkih na področju lesnih konstrukcij ter uvajajo sodobne metode računa, ki so skupni vsem konstrukcijam iz različnih materialov. Vsebinsko se navezujejo še na vrsto drugih standardov o lastnostih in kvaliteti materialov, zahtevam za uporabo ter preizkušanju. Seveda se pri projektiranju uporabja tudi ostale standarde iz evrokode in sicer osnove projektiranja Evrokod 0, definiranje vplivov na konstrukcije (veter, sneg, lastna teža), ki jih predpisuje Evrokod 1, ter projektiranje potresno odpornih konstrukcij, katere predpisuje Evrokod 8. Za celovitost preračuna pa so tudi potrebni standardi za definicijo trdnostnih lastnosti lesa. Masivni žagan les, ki se uporablja v nosilnih gradbenih konstrukcijah, mora ustrezati zahtevam harmoniziranega standarda SIST EN 14081-1, ta standard dopušča vizualno in strojno razvrščanje. Elementi iz okroglega lesa morajo ustrezati standardu SIST EN 14544. Trdnostni razredi masivnega žaganega lesa so podani v SIST EN 338. Lameliran les pa mora ustrezati zahtevam EN 14080. Vrednosti trdnostnih in togostnih lastnosti za lepljen lamelirani les, ki pripada različnim trdnostnim razredom, pa so podane v SIST EN 1194. Za lesene konstrukcije uporabljam različne »lesene materiale«, ti materiali pa so anizotropni, po strukturi so vlknasti in izpostavljeni spremembam vlage in trajanju obtežb. Razvrščeni so v množico trdnostnih razredov, ki pokrivajo vse vrste lesa, ki lahko nastopajo na evropskem tržišču. Glede na sedanji način preračunavanja lesenih konstrukcij lahko govorimo o izkoriščenosti prereza glede na posamezni predpisan kriterij. (Premrov, 2009)

Uporaba lesa za gradbene konstrukcije se v zadnjih letih povečuje tudi v Sloveniji. Razširjenost lesnih konstrukcij je v svetu zelo različna, v nekaterih državah je gradnja lesenih objektov že tradicionalna (skandinavske države, ZDA, Kanada, Avstralija, Japonska), v drugih obravavajo les kot manjvreden material, objekte pa kot začasne (mediteranske, delno tudi srednjeevropske države). Slovenija je nekje v sredini – vsi poznamo prednosti gradnje v lesu: od minimalne porabe energije in hitrosti gradnje lesenega objekta do prijetnega bivanja v leseni hiši. Kljub temu pa je delež uporabe lesa v gradbeništvu še precej nizek. Zavedati se je sicer treba tudi neugodnih lastnosti lesa (neodpornost proti vplivom vlage, gorljivost), ki pa se jim lahko s pravilnimi

konstrukcijskimi ukrepi izognemo. Les lahko uporabljamо tako za objekte visoke gadnje kot za premostitvene objekte, zahtevane lastnosti lesa kot gradbenega materiala pa so odvisne od namena uporabe. Les se lahko uporablja kot nosilni material za konstrukcije (masivni – žagan les, lepljeni lamelirani les, lameliran slojnat les, ...). Proizvod iz lesa pa ima lahko tudi nenosilno funkcijo (talne, stenske, stropne obloge, stavbno pohištvo...) V prvem primeru je najpomembnejša lastnost njegova trdnost, pri elementih v stiku s stalno vlogo tudi odpornost proti biološkim škodljivcem, pri nosilnih elementih pa so pomembne druge značilnosti: izgled vidne površine, odpornost proti obrabi, trajnost in dimenzijska stabilnost. Obnašanje v primeru požara je pomembno tako za konstrukcijski les kot za obloge, lastnost, ki jo moramo deklarirati, pa je odziv na ogenj. (Srpčič, 2009)

1.2 OPREDELITEV PROBLEMA

Namen diplomske naloge ja statična analiza obstoječega lesenega ostrešja grajenega iz smrekovine.

Cilj diplomske naloge je predstaviti potek računske analize sestavnih konstrukcijskih elementov za obstoječe leseno ostrešje po sistemu Evrokod. Analiza je prikazana od začetka določanja obtežb na objektu, statičnega preračuna in do končnega dimenzioniranja konstrukcijskih elementov ostrešja. Pri postopkih analize so bila upoštevana veljavna priporočila in zahteve, ki veljajo za tovrstne lesene objekte. Če bodo prerezi elementov neustrezni, bomo izvedli optimizacijo le teh.

Z analitičnim preračunom bomo preverili ali analizirana obstoječa konstrukcija ustreza trenutno standardiziranim postopkom statičnega preračuna.

2 PREGLED OBJAV

2.1 EVROKOD 5

Evropski standard za projektiranje gradbenih konstrukcij, ki se ukvarja z lesenimi konstrukcijami je Evrokod 5 oz. SIST EN 1995 kateri vsebuje:

- SIST EN 1995-1-1: 2005, Evrokod 5: Projektiranje lesenih konstrukcij - Del 1-1: Splošna pravila in pravila za stavbe; z nacionanim dodatkom SIST EN 1995-1-1: 2005/A101:2006
- SIST EN 1995-1-2: 2005, Evrokod 5: Projektiranje lesenih konstrukcij - Del 1-2: Splošna pravila – Projektiranje požarnih konstrukcij
- SIST EN 1995-1-1: 2005, Evrokod 5: Projektiranje lesenih konstrukcij – 2. del : Mostovi

Najpomembnejši del (1.1. del) je tudi preveden v slovenski jezik, druga dva standarda pa sta privzeta v angleški verziji s prevedeno naslovno stranjo.

Evrokod 5 so zasnovani na najnovejših spoznanjih in dosežkih na področju lesnih konstrukcij ter uvajajo sodobne metode računa, ki so skupne vsem konstrukcijam iz različnih materialov. Evrokodi se vsebinsko navezujejo še na vrsto drugih standardov. To so standardi o lastnostih in kvaliteti materialov, zahtevah za uporabo , preizkušanju, določitvi karakterističnih vrednosti in podobno. Pomembni so standardi, ki določajo trdnostne razrede masivnega in lepljenega lameliranega lesa. Račun lesnih konstrukcij temelji podobno kot pri drugih vrstah konstrukcij na enotnih principih, torej na metodi mejnih stanj. Konstrukcija oziroma njena komponenta (element, prerez) je primerna za uporabo, dokler ne preseže mejno stanje, preko katerega niso več izpolnjeni kriteriji nosilnosti ali uporabnosti konstrukcijske komponente. V izrazih za posamezne kriterije nastopajo delni faktorji (varnosti), za katere so v Evrokodih navedene priporočene vrednosti, končna odločitev je v pristojnosti ustreznih institucij v posameznih državah. Delni faktorji naj bi bili določeni po verjetnostnih metodah računa konstrukcij glede na

zahtevano zanesljivost konstrukcij, zato govorimo o semi-probabilistični metodi računa konstrukcij. Izraza za kriterije nosilnosti, stabilnosti in uporabnosti elementov, lesnih zvez, veznih sredstev in konstrukcij kot celote, so bolj zapleteni in zahtevnejši, kot v dosedaj uporabljenih predpisih. Evrokod 5 tako implicitno zahteva večjo uporabo sodobnih računalniških pripomočkov pri projektiranju lesnih konstrukcij. (Vratuša, 2009)

V primerjavi z dosedanjimi standardi (JUS, DIN) lahko rečemo, da so izrazi za kriterije nosilnosti, stabilnosti in uporabnosti elementov, spojev, veznih sredstev in konstrukcij kot celote, bolj zapleteni in zahtevnejši. Za lesene konstrukcije uporabljamo različne »lesene materiale«; masivni (žagan) les, lameliran lepljen les, slojnati furnirni les (LVL) ter ploščaste elemente na podlagi lesa. Ti materiali so anizotropni, po strukturi so vlknasti in izpostavljeni spremembam vlage in trajanju obtežb. Razvrščeni so v množice trdnostnih razredov, ki pokrivajo vse vrste lesa, ki lahko nastopa na evropskem tržišču. Poleg tega imamo zaradi anizotropnosti še različne vrednosti trdnosti: v smeri vlaken in pravokotno na vlakna. Projektne trdnosti (upogibna, natezna, tlačna, strižna) so odvisne od trajanja obtežbe in pogojev okolja pri uporabi. Namesto dosedaj poznanega »ω« postopka EC 5 uvaja nov način kontrole tlačno obremenjenih vitkih elementov. Posebnost je tudi v primeru kombinacije tlačne in upogibne obremenitve pri elementih male vitkosti, kjer upoštevamo ugoden vpliv plastifikacije lesa zaradi tlačnih napetosti. Ta množica kriterijev za določitev mejnega stanja nosilnosti in bolj zapleta določitev posameznih parametrov računa gradbenim konstrukcijam precej otežuje in podaljšuje račun lesnih elementov. Po drugi strani tudi težko govorimo o klasičnem dimenzioniranju, saj moramo za izračun zaradi soodvisnosti že v naprej poznati posamezne parametre, tudi dimenzijs. Torej gre pri računu bolj za kontrolo, ali izbrani parametri konstrukcije ustrezajo vsem predpisani kriterijem; v naslednjih korakih (interakcijah) pa gre za iskanje optimalnejših rešitev. Dejstvo je tudi, da je namesto ugotavljanja, ali so projektne napetosti manjše (enake) od projektnih trdnosti, bolje govoriti o izkoriščenosti prereza ($\leq 1,00$) glede na posamezni predpisani kriterij. (Vratuša in Premrov, 2009)

2.2 TRDNOST LEŠA

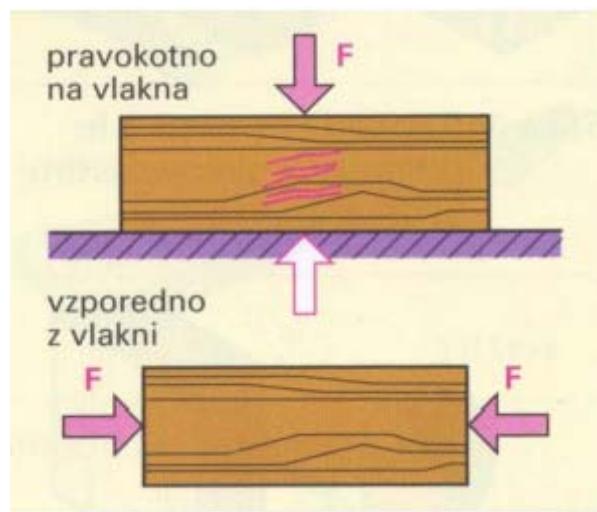
Trdnost lesa imenujemo tisto mejno napetost v lesenem elementu, pri kateri se prične rušiti anatomska struktura lesa. Gre za notranji upor lesa proti silam, ki delujejo od zunaj in v lesu povzročajo napetosti. Najpomembnejši dejavniki, ki neposredno vplivajo na trdnost lesa, so predvsem:

- vrsta lesa (iglavci, listavc, tehnološko predelan – lepljen les)
- anizotropija (trdnost odvisna od smeri vlaken)
- poroznost
- vlažnost lesa
- napake lesa

Trdnost lesa je v prvi vrsti odvisna od vrste lesa, še posebej od širine branike. Ožje kot so branike, večja je trdnost lesa. Ker imajo v splošnem listavci ožje branike kot iglavci, lahko trdimo, da je v povprečju njihova trdnost večja od trdnosti iglavcev (les enake vlažnosti in enake vsebnosti lesa). Anizotropija kot ena bistvenih lastnosti lesa pomembno vpliva na njegovo trdnost. Pri tem je zelo pomembna smer vlaken, še posebej pri natezni, tlačni in strižni obremenitvi. Teoretično gledano bi morali razlikovati trdnost lesa v vzdolžni, prečni in radialni smeri, praktično pa razlikujemo le trdnost lesa v smeri vlaken (vzdolžna smer) in pravokotno na vlakna (ortotropija). Les v smeri vlaken nosi bistveno več ko pa les pravokotno na vlakna. Vpliv ortotropije je najbolj izrazit pri natezni obremenitvi, nekako manj pri tlačni ter najmanj pri upogibni, kjer v praksi uporabljam le trdnost lesa v smeri vlaken. Povečana vsebnost vlage v lesu negativno vpliva na njegovo trdnost, vendar le do točke zasičenosti, do koder je vpliv vlažnosti praktično linearen. Povečanje vlažnosti nad točko zasičenosti ne vpliva na trdnost lesa, saj so že vse pore napolnjene z vodo in »tok s prosto gladino« več ne obstaja.

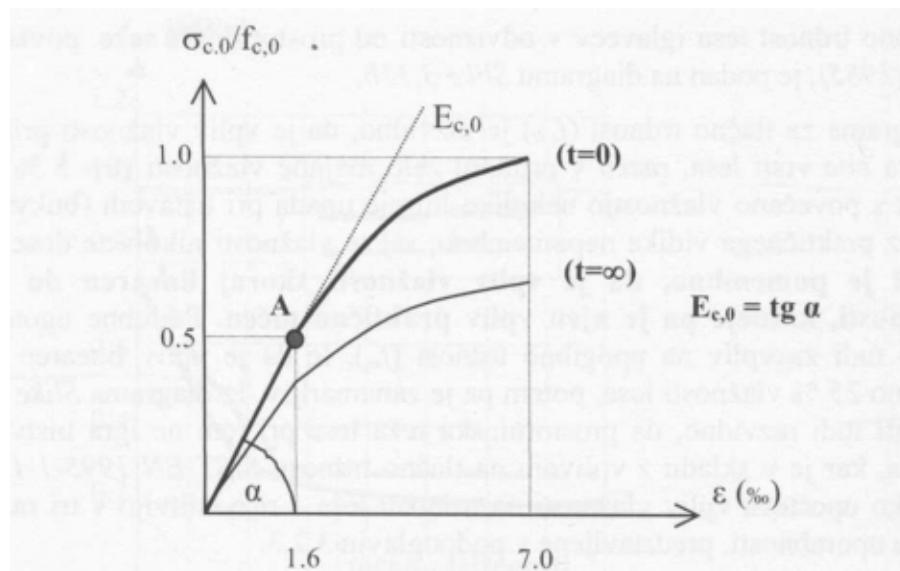
2.2.1 Tlačna trdnost lesa

Tlačna trdnost lesa je vrednost tlačne napetosti, ki povzroči lom elementa. Razlikujemo tlačno trdnost tzporedno z vlakni ($f_{c,0}$) in tlačno trdnost pravokotno na vlakna ($f_{c,90}$).

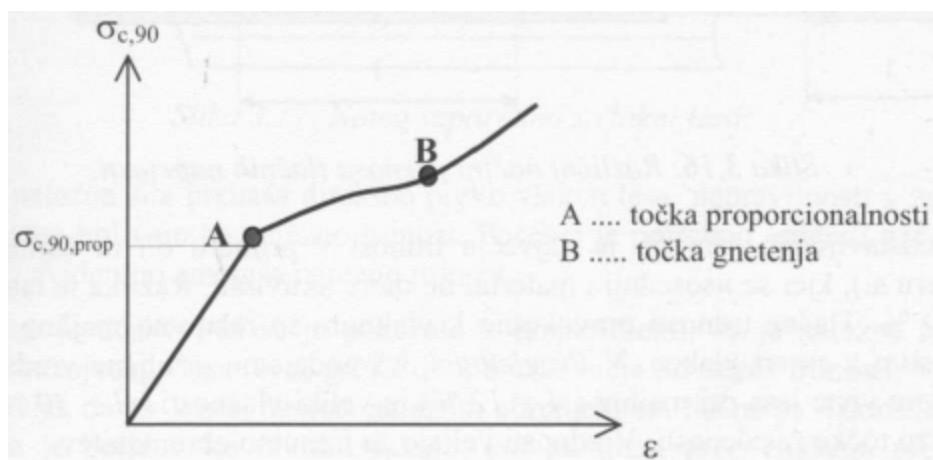


Slika 1: Tlačna obremenitev lesa (Lesarski priročnik, 2008: 46)

Pri tlačnih napetostih, ki so vzporedne z vlakni, σ - ϵ diagram za bor kaže, da se les obnaša elastično do približno 50% tlačne trdnosti (točka A), potem pa se s povečevanjem obremenitve material obnaša vse bolj plastično. Zlomi se pri specifični deformaciji približno $\epsilon = 7\%$. Tlačna trdnost lesa pri dolgotrjni obtežbi je bistveno manjša kot pri trenutni obtežbi (55-65 %), je pa precej višja pri dinamičnih tlačnih obremenitvah in sicer okoli 90 % tlačne trdnosti pri trenutni obtežbi. V Evrocod 5 se trajanje obtežbe upošteva koeficientom k_{mod} .

Slika 2: Dejanski σ - ϵ diagram lesa v tlaku vzporedno z vlakni (Premrov, 2008: 58)

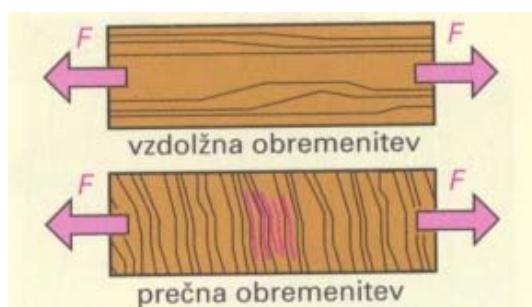
Tlačna trdnost pravokotno na vlakna je 3-10 krat manjša od tlačne trdnosti vzporedno z vlakni. Napetosti pravokotno na vlakna povzročajo sile v radialni ali pa v tangentni smeri, trdnost je nekoliko višja v radialni smeri, vendar ju v inženirski praksi ne ločujemo. Glede na σ - ε diagram se do točke proporcionalnosti A les obnaša elastično, nato se ob povečevanju obremenitev vse bolj stiska in deformira, čemur pravimo gnetenje lesa. Zbitemu lesu se trdnost poveča in se nad točko gnetenja B nekaj časa zopet obnaša elastični.



Slika 3: σ - ε diagram lesa v tlaku, pravokotno ana vlakna (Premrov, 2008: 59)

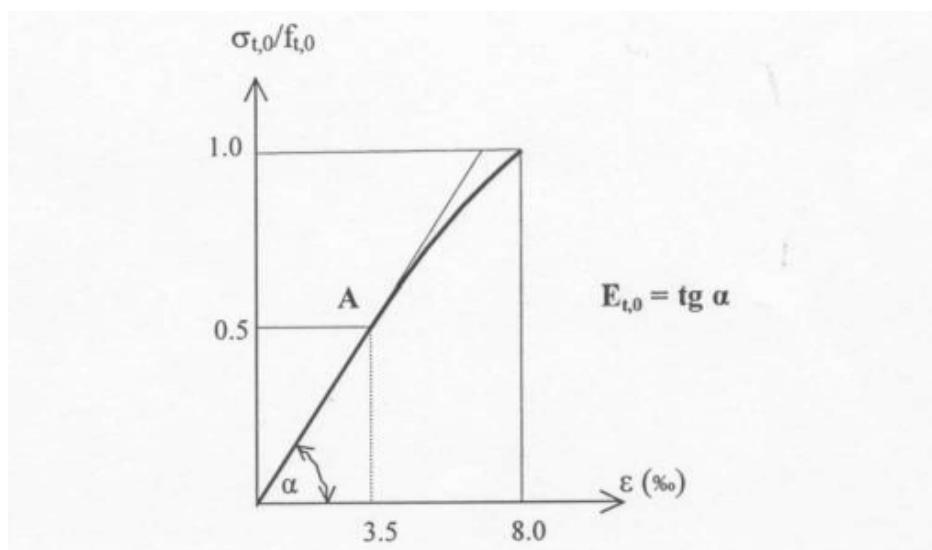
2.2.2 Natezna trdnost lesa

Natezna trdnost lesa je odpor lesa proti maksimalni sili, ki razteza les vzporedno z lesnimi vlakni ($f_{t,0}$) ali pravokotno nanje ($f_{t,90}$); natezna trdnost pravokotno na vlakna je 30- do 50-krat manjša od natezne trdnosti vzporedno z vlakni.



Slika 4: Natezna obremenitev lesa (Lesarski priročnik, 2008: 4)

V nategu je les neduktilen glede na visoko duktilnost v tlaku. Natezni lom nastopi pri približno enaki specifični deformaciji kot pri tlaku. Računsko je les v natezni coni elastičen do 90 % oziroma 95 % natezne trdnosti, sicer krivulja v σ - ϵ diagramu odstopa od proporcionalne premice že približno 50 % natezne trdnosti, vendar gre za zelo majhne nepovratne deformancije. Ker je obnašanje lesa v nategu precej neduktilno, je njena vrednost nasproti statični natezni trdnosti precej nizka (le približno 40 % - 60 %). (Premrov, 2008)

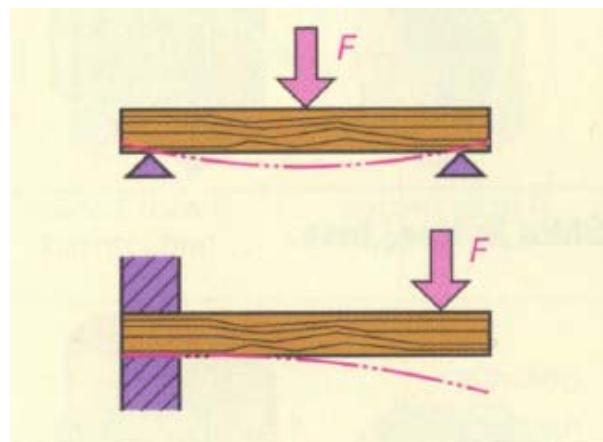


Slika 5: Dejanski σ - ϵ diagram les v nategu, vzporedno z vlakni (Premrov, 2008: 46)

Posebno pozornost je potrebno nameniti grčam. Zaradi izkrivljenosti vlaken okoli grče, se natezna nosilnost bistveno zmanjša in natezna porušitev nastopi že pri nizki obremenitvi, medtem ko grče bistveno manj vplivajo na tlačno nosilnost.

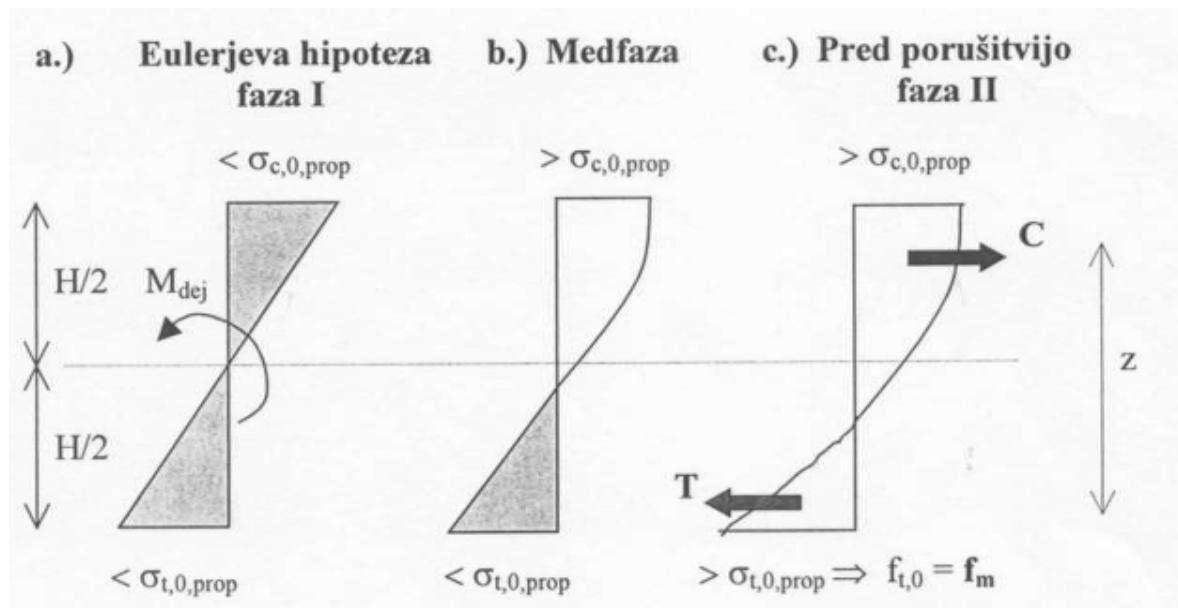
2.2.3 Upogibna trdnost lesa

Upogibna trdnost lesa (f_m) je napetost, pri kateri nastopi porušitev v natezni ali tlačni coni materiala.



Slika 6: Upogibna obremenitev lesa (Lesarski priročnik, 2008: 46)

Prikažemo jo lahko s fazo I, medfazo in fazo II:



Slika 7: Prikaz napetostnega stanja lesenega elementa do upogibnega loma (Premrov, 2008: 66)

Faza I:

- velja linearna razporeditev napetosti po prečnem prerezu
- modul elastičnosti je enak za tlak in nateg
- predpostavimo elastično obnašanje materialov (Hookov zakon) in upoštevamo Bernoulli-Eulerjevo predpostavko o ravnih prerezih

- zaradi predpostavk velja samo do točke proporcionalnosti

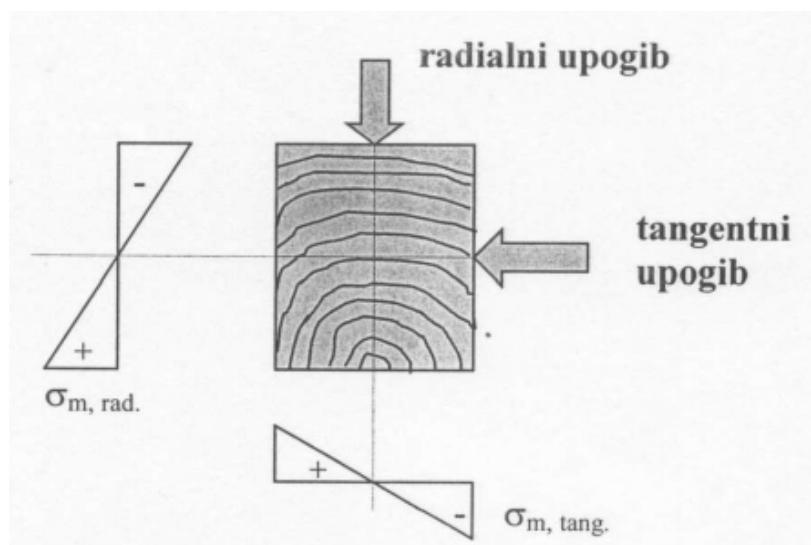
Medfaza:

- v nategu je potek še vedno linearen
- v tlaku je obnašanje lesa nelinearno
- modula elastičnosti v nategu in tlaku se razlikujeta

Faza II:

- plastifikacija tudi v natezni coni
- nevtralna os je v natezni coni
- do porušitve pride, ko robne napetosti dosežejo tlačno ali natezno napetost

Razlikujemo radialni in tangentni upogib. Zaradi večje zbitosti lesa je upogibni trdnost v radialni smeri večja kot v tangentni smeri.



Slika 8: Radialni in tangentni upogib (Premrov, 2008: 67)

2.2.4 Strižna trdnost lesa

Strižna trdnost lesa (f_v) je odpor lesa proti strigu lesnih plasti s silo, ki deluje pravokotno na vlakna lesa ali pa vzporedno z njimi. Strižna trdnost vzporedno z vlakni je 3- do 4-krat

manjša kot pravokotno na vlakna, zato za dimenzioniranje upoštevamo strižno vrednost vzporedno z vlakni.



Slika 9: Strižna obremenitev lesa (Lesarski priročnik, 2008: 47)

2.3 TRDNOSTNI RAZREDI KONSTRUKCIJSKEGA LESA

V konstrukcijah je lahko les obremenjen upogibno, tlačno oziroma natezno (vzporedno ali pravokotno na vlakna) ter strižno. Ker pa so leseni elementi pogosto obremenjeni na upogib, predvsem pa zato, ker je lastnost razmeroma lahko določiti, je kot karakteristična izbrana upogibna trdnost lesa. Za uvrstitev v določeni trdnostni razred pa sta pomembna še gostota in deformabilnost (modul elastičnosti).

2.3.1 Trdnostni razredi masivnega lesa

V SIST EN 338:2004 (»Konstrukcijski les – trdnostni razredi«) so definirani trdnostni razredi masivnega lesa, le teh je osemnajst. Le ta je označen s črkama C (Coniferous = iglavci) oz. D (Deciduous = listavci) in številko, ki pomeni upogibno trdnost v MPa. (npr. C24 pomeni les iglavcev z upogibno trdnostjo 24 MPa).

TRDNOSTNI RAZREDI - karakteristične in projektne vrednosti																	EN 338:2003, EN 1995-1-1:2005							
	Trdnost [N/cm ²]	Iglavci in topolovina													Listavci									
		C14	C16	C18	C20	C22	C24	C27	C30	C35	C40	C45	C50	D30	D35	D40	D50	D60	D70					
Upogib	$f_{m,k}$	1400	1600	1800	2000	2200	2400	2700	3000	3500	4000	4500	5000	3000	3500	4000	5000	6000	7000					
	$f_{m,d}$	P 646	738	831	923	1015	1108	1246	1385	1615	1846	2077	2308	1385	1615	1846	2308	2769	3231					
	$f_{t,0,k}$	L 754	862	969	1077	1185	1292	1454	1615	1885	2154	2423	2692	1615	1885	2154	2692	3231	3769					
	$f_{t,0,d}$	M 862	985	1108	1231	1354	1477	1662	1846	2154	2462	2769	3077	1846	2154	2462	3077	3692	4308					
Nateg. paralelno	$f_{t,0,k}$	S 969	1108	1246	1385	1523	1662	1889	2077	2423	2769	3115	3462	2077	2423	2769	3462	4154	4846					
	$f_{t,0,d}$	P 800	1000	1100	1200	1300	1400	1600	1800	2100	2400	2700	3000	1800	2100	2400	3000	3600	4200					
	$f_{t,90,k}$	P 369	462	508	554	600	646	738	831	969	1108	1246	1385	831	969	1108	1385	1662	1938					
	$f_{t,90,d}$	L 431	538	592	646	700	754	862	969	1131	1292	1454	1615	969	1131	1292	1615	1938	2262					
Nateg. pravokotno	$f_{t,90,k}$	M 492	615	677	738	800	862	985	1108	1292	1477	1662	1846	1108	1292	1477	1846	2215	2585					
	$f_{t,90,d}$	S 554	692	762	831	900	969	1108	1246	1454	1662	1869	2077	1246	1454	1662	2077	2492	2908					
	$f_{c,0,k}$	P 40	50	50	50	50	50	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	60	
	$f_{c,0,d}$	L 18	23	23	23	23	23	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	
Tlak. paralelno	$f_{c,90,k}$	L 22	27	27	27	27	27	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	32	
	$f_{c,90,d}$	M 25	31	31	31	31	31	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	37	
	$f_{c,0,k}$	S 28	35	35	35	35	35	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	42	
	$f_{c,0,d}$	P 1600	1700	1800	1900	2000	2100	2200	2300	2500	2600	2700	2900	2300	2500	2600	2900	3200	3400					
Tlak. pravokotno	$f_{c,90,k}$	L 738	785	831	877	923	969	1015	1062	1154	1200	1246	1385	1062	1154	1200	1385	1477	1569					
	$f_{c,90,d}$	M 862	915	969	1023	1077	1131	1185	1238	1346	1400	1454	1562	1238	1346	1400	1562	1723	1831					
	$f_{c,0,k}$	S 985	1046	1108	1169	1231	1292	1354	1415	1538	1600	1662	1785	1415	1538	1600	1785	1969	2092					
	$f_{c,0,d}$	P 1108	1177	1246	1315	1385	1454	1523	1592	1731	1800	1869	2008	1592	1731	1800	1869	2008	2154					
Strig	$f_{v,k}$	P 200	220	220	230	240	250	260	270	280	290	310	320	800	840	880	970	1050	1350					
	$f_{v,d}$	L 92	102	102	106	111	115	120	125	129	134	143	148	369	388	406	448	485	623					
	$f_{v,k}$	M 108	118	118	124	129	135	140	145	151	156	167	172	431	452	474	522	565	727					
	$f_{v,d}$	S 123	135	135	142	148	154	160	166	172	178	191	197	492	517	542	597	646	831					
Gostota [kg/m ³]	ρ_k	P 170	180	200	220	240	250	280	300	340	380	380	380	300	340	380	460	530	600					
	ρ_{mean}	L 78	83	92	102	111	115	129	138	157	175	175	175	138	157	175	212	245	277					
	$\rho_{povprečna}$	M 92	97	108	118	129	135	151	162	183	205	205	205	162	183	205	248	285	323					
	ρ_{Gmean}	S 105	111	123	135	148	154	172	185	209	234	234	234	185	209	234	283	326	369					
Deformabilnost-modul [kN/cm ²]		P 118	125	138	152	166	173	194	208	235	263	263	263	208	235	263	318	367	415					
Modul el., paralelno		$E_{0,mean}$	700	800	900	950	1000	1100	1150	1200	1300	1400	1500	1600	1000	1000	1100	1400	1700	2000				
Modul el., paralelno		$E_{0,05}$	470	540	600	640	670	740	770	800	870	940	1000	1070	800	870	940	1180	1430	1680				
Modul el., pravokotno		$E_{90,mean}$	23	27	30	32	33	37	38	40	43	47	50	53	64	69	75	93	113	133				
Strižni modul		G_{mean}	44	50	56	59	63	69	72	75	81	88	94	100	60	65	70	88	106	125				

Slika 10: Trdnostni razredi masivnega lesa (Premrov, 2009: 5-112)

2.4 RAZREDI UPORABNOSTI

Vlažnost lesa predstavlja količnik med težo prisotne vode v lesu in težo suhega lesa.

Vlažnost lesa neugodno vpliva na mehanske lastnosti lesa ter je odvisna predvsem od relativne vlažnosti okolice in temperaturice okolice. Po EC 5 razvrstimo les glede vlažnosti v tri razrede uporabnosti.

1. RAZRED UPORABNOSTI, za katerega je značilno: vsebnost vlage v materialih, ki ustreza temperaturi 20 °C in relativni vlažnosti okoliškega zraka, ki presega 65 % samo nekaj tednov v letu. Povprečna vsebnost vlage pri večini mehkih vrst ne presega 12 %. To je zelo suh les, katerega vlažnost dosežemo samo s tehničnim sušenjem.
2. RAZRED UPORABNOSTI za katerega je značilno: vsebnost vlage v materialih, ki ustreza temperaturi 20°C in relativni vlažnosti okoliškega zraka, ki preseže 85%

samo nekaj tednov v letu. Povprečna vsebnost vlage pri večini mehkih vrst ne presega 20%. Takemu lesu pravimo da je "normalno vlažen" tovrstno vlažnost lahko dosežemo z naravnim sušenjem.

3. RAZRED UPORABNOSTI za katerega so značilni podnebni pogoji, ki vodijo do višje vebnosti vlage kot v drugem razredu uporabnosti. To je zelo vlažen les, ki ga ne smemo uporabljati za lepljene lamelirane konstrukcije, kakor tudi ne za pomembnejše konstrukcijske elemente.

2.5 VPLIVI NA KONSTRUKCIJE

Vplivi, ki jih je treba upoštevati pri projektiranju se lahko pridobijo iz ustreznih delov standarda SIST EN 1991:

- SIST EN 1991-1-1 Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb
- SIST EN 1991-1-3 Obtežba snega
- SIST EN 1991-1-4 Obtežba vetra
- SIST EN 1991-1-5 Toplotni vplivi
- SIST EN 1991-1-6 Vplivi med gradnjo
- SIST EN 1991-1-7 Nezgodni vplivi

V vseh standardih, ki obravnavajo splošne vplive, so zbrani številni podatki, od katerih so le nekateri predpisani, več pa jih je le priporočljivih.

2.5.1 Lastna teža

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

Nekonstrukcijski elementi so:

- kritina
- obloge in opaži
- nekonstrukcijske predelne stene in podlage
- stopniščne ograje, varnostne pregrade, parapeti in robniki

- obloge sten
- obešeni stropi
- topotna izolacija
- pritrjene naprave in napeljave (električne, strojne inštalacije)

Lastna teža gradbenih objektov oz. elementov je stalni nepomični vpliv. Če se teža spreminja s časom, se upoštevata spodnja in zgornja karakteristična vrednost teže. V primerih, kjer se elementi objekta lahko premikajo (npr. premične predelne stene), se njihova lastna teža upošteva kot dodatna koristna obtežba. Obtežbo zaradi različnih nekonstrukcijskih delov, ki služijo kot balast, je treba upoštevati kot stalni vpliv. V projektu je treba upoštevati tudi možno prerazporeditev balasta.

2.5.2 Koristna obtežba

Koristne obtežbe izvirajo iz namena uporabe. Strehe so razdeljene na tri kategorije odvisno od uporabe.

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

Slika 11: Kategorije streh (SIST EN 1991-1-1:2004, 2004 : 20)

Najmanjše karakteristične vrednosti Q_k in q_k za strehe kategorije H so dane v preglednici 4. Vrednosti obtežb so določene glede na vodoravno projekcijo površine strehe.

Streha	q_k [kN/m ²]	Q_k [kN]
kategorija H	q_k	Q_k
OPOMBA 1: Za kategorijo H se lahko za q_k izberejo vrednosti med 0,0 in 1,0 kN/m ² , za Q_k pa med 0,9 in 1,5 kN. Kjer je dan razpon vrednosti, je lahko v nacionalnem dodatku določena ena vrednost. Priporočeni vrednosti sta: $q_k = 0,4 \text{ kN/m}^2$ in $Q_k = 1,0 \text{ kN}$.		
OPOMBA 2: q_k se lahko spreminja glede na naklon strehe, kar je določeno v nacionalnem dodatku.		
OPOMBA 3: q_k deluje na površini A, ki je določena v nacionalnem dodatku. Priporočena površina je 10 m ² , mogoče pa jo je določiti v razponu od 0 do celotne površine strehe.		
OPOMBA 4: Glej tudi 3.3.2(1).		

Slika 12: Koristne obtežbe streh kategorije H (SIST EN 1991-1-1:2004, 2004: 20)

2.5.3 Obtežba snega

Obtežbo s snegom določa slovenski standard SIST EN 1991-1-3:2004. Pri projektiranju je potrebno upoštevati, da je na strehi mogočih več porazdelitev snega. Na porazdelitev snega vplivajo lastnosti strehe in drugi dejavniki, kot so:

- oblika strehe
- topotne lastnosti strehe
- hrapavost površine strehe
- količina topote, generirane pod streho
- sosednje stavbe
- teren v okolici stanovbe
- krajevne podnebne razmere, zlasti prevetrenost, temperaturne spremembe in verjetnost padavin (tako dežja kot snega)

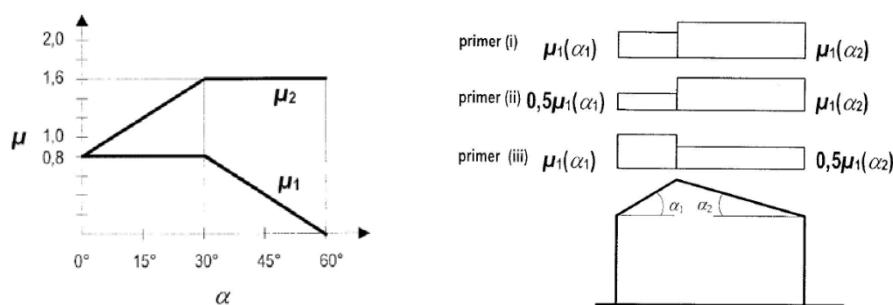
Obtežbo snega na strehi za trajna ter začasna projektna stanja določimo po spodnji enačbi:

$$s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k \quad \dots (1)$$

Kjer velja, da je:

s ... obtežba snega

μ_i ... oblikovni koeficient obtežbe snega



Slika 13: Oblikovni koeficient obtežbe snega pri dvokapnicah (SIST EN 1991-1-3:2004, 2004: 15)

Nagib strehe α	$0^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$	$30^\circ < \alpha < 60^\circ$	$\alpha \geq 60^\circ$
μ_1	0,8	$0,8(60 - \alpha)/30$	0,0
μ_2	$0,8 + 0,8 \alpha / 30$	1,6	--

Slika 14: Razpredelnica za določitev oblikovnega koeficiente v odvisnosti od naklona strehe pri dvokapnicah (SIST EN 1991-1-3:2004, 2004: 15)

Vrednosti iz zgoraj navedene razpredelnice veljajo v primeru, da sneg lahko zdrsne s strehe. Če so na strehi snegobrani ali druge ovire ali če se nagib strehe zmanjša zaradi parapetov, oblikovni koeficient ne sme biti manjši od 0,8.

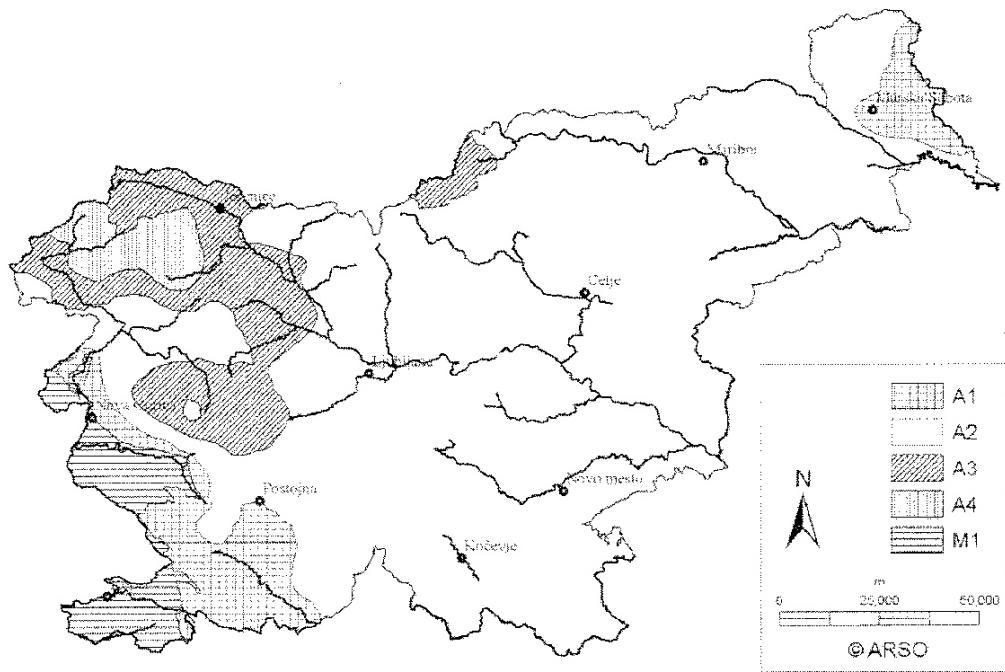
C_e ... koeficient izpostavljenosti: običajno = 1,0

v krajih z močnim vetrom $C_e \geq 1,0$

C_t ... temperaturni koeficient: normalno izolirana streha $C_t = 1,0$

povečana toplotna prevodnost $C_t \leq 1,0$

s_k ... karakteristična obtežba s snegom



$$A1 \quad s_k = 0,651 \left[1 + \left(\frac{A}{728} \right)^2 \right]$$

$$A2 \quad s_k = 1,293 \left[1 + \left(\frac{A}{728} \right)^2 \right]$$

$$A3 \quad s_k = 1,935 \left[1 + \left(\frac{A}{728} \right)^2 \right]$$

$$A4 \quad s_k = 2,577 \left[1 + \left(\frac{A}{728} \right)^2 \right]$$

$$M1 \quad s_k = 0,289 \left[1 + \left(\frac{A}{452} \right)^2 \right]$$

Slika15: Karakteristična obtežba s snegom na tleh na nadmorski višini A (SIST EN 1991-1-3:2004/A101:2008, 2008: 4)

2.5.4 Obtežba vetra

Narava vetra je tako, da se njegovi vplivi spreminjajo s časom. Zato za veter velja, da je turbolenten pojav. Veter deluje na zunanje ploskve neposredno kot tlak. Če je ovoj stavbe npr. proposten, deluje veter tudi na notranje ploskve. Tlak zaradi vetra deluje pravokotno na ploskve. Vplive vetra poenostavljen predstavimo s skupino tlakov ali sil, kateri učinki so enakovredni skrajnim učinkom turbolentnega vetra. Vplive vetra upoštevamo kot

nepomični vpliv. To pomeni, da je vnaprej določeno, na katerih mestih konstrukcije deluje in kako so ti vplivi veliki. Vplivi vetra, ki jih izračunamo v skladu z evrokodi, so karakteristične vrednosti. Tako kot za vse vremenske vplive tudi za karakteristične vrednosti vplivov vetra velja, da temeljijo na verjetnosti 0,02, da njihov spremenljivi del ne bo presežen v referenčnem obdobju enega leta. To je enakovredno srednji povratni dobi 50 let. Ta verjetnost velja tudi za vse koeficiente ali modele na podlagi osnovnih vrednosti. Odziv konstrukcije na vplive vetra je odvisen od velikosti, oblike in dinamičnih lastnosti konstrukcije. V računu po evrokodu je zajet dinamični odziv zaradi turbulence v smeri vetra v resonanci z osnovno nihajno obliko s konstantnim predznakom. Odziv običajnih konstrukcij izračunamo iz tlaka q_p pri največji hitrosti pri sunkih vetra na določeni višini, koeficientov sile in tlaka ter konstrukcijskega faktorja. Tlak q_p je odvisen od veterne klime, hrapavosti in hribovitosti terena ter referenčne višine, nanj pa lahko vplivajo tudi sosednji objekti. Tlak q_p je enak tlaku pri srednji hitrosti, povečanem za delež kratkotrajnih spememb tlaka. Pri bolj podajnih konstrukcijah, kot so kabli, jambori, dimniki in nekatere vrste mostov, je treba določiti aerolastičen odziv. Pri tem upoštevamo soodvisnost vplivov vetra in premikov konstrukcije (Vratuša in Premrov, 2009).

2.5.4.1 Hitrost in tlak vetra

Hitrost in tlak vetra sta določena z dvema komponentama: srednjo in nestalno. Srednjo hitrost vetra v_m določim iz osovne hitrosti vetra v_b , ki je odvisna od vetrne klime in spememb vetra po višini (na to vpliva hrapavost in hribovitost terena, lahko pa tudi sosednji objekti).

$$v_b = c_{\text{dir}} \cdot c_{\text{season}} \cdot v_{b,0} \quad \dots(2)$$

Kjer velja, da je:

- v_b ... osnovna hitrost vetra
- c_{dir} ... smerni faktor, $c_{\text{dir}} = 1$
- c_{season} ... faktor letnega časa, $c_{\text{season}} = 1$
- $v_{b,0}$... temeljna vrednost osnovne hitrosti vetra

Vpliv nadmorske višine je v Sloveniji upoštevan v temeljni vrednosti osnovne hitrosti vetra

$v_{b,0}$.

2.5.4.2 Srednja hitrost vetra na določeni višini nad tlemi

Na srednjo hitrost vetra $v_m(z)$ na višini z nad tlemi vplivajo hrapavost $c_r(z)$ in hribovitost terena $c_o(z)$ ter veliki in občutno višji sosednji objekti.

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b \quad \dots (3)$$

Kjer velja, da je:

- $v_m(z)$... srednja hitrost vetra
- $c_r(z)$... faktor hrapavost terena
- $c_o(z)$... faktor hribovitost terena
- v_b ... osnovna hitrost vetra

2.5.4.3 Hrapavost terena (faktor hrpavosti)

Faktor hrapavosti $c_r(z)$ upošteva spremenljivost srednje hitrosti vetra na kraju konstrukcije zaradi višine nad tlemi in hrapavosti tal na privetni strani konstrukcije v smeri vetra.

$$c_r(z) = k_r \cdot \ln(z/z_0) \quad za \quad z_{min} \leq z \leq z_{max} \quad \dots (4)$$

$$c_r(z) = c_r(z_{min}) \quad za \quad z \leq z_{mi} \quad \dots (5)$$

Kjer velja, da je:

- $c_{r(z)}$... hrapavostna dolžina,
- k_r ... faktor terena, ki je odvisen od hrapavostne dolžine z_0 .

$$k_r = 0,19 \cdot (z_0/z_{0,II})^{0,07} \quad \dots (6)$$

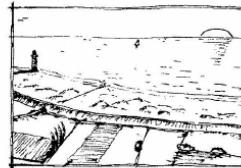
Kjer velja, da je:

- $z_{0,II} \dots 0,05$ (II. Kategorija terena, slika 8)
- $z_{\min} \dots$ minimalna višina, določena po sliki 8
- $z_{\max} \dots 200$ m

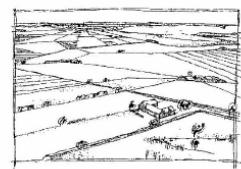
Kategorija terena	z_0 m	z_{\min} m
0 Morsko ali obalno področje, izpostavljeno proti odprtemu morju	0,003	1
I Jezersko ali ravninsko področje z zanemarljivim rastlinjem in brez ovir	0,01	1
II Področje z nizkim rastlinjem (trava) in posameznimi ovirami (drevesi, stavbami) na razdalji najmanj 20 višin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

Slika 16: Preglednica kategorij in terenskih parametrov (SIST EN 1991- 1-4: 2005, 2005: 18)

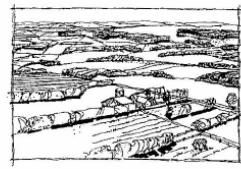
Kategorija terena 0
Morje, obalne površine, odprte proti morju.



Kategorija terena I
Jezera ali površine z zanemarljivim rastlinjem in brez ovir.



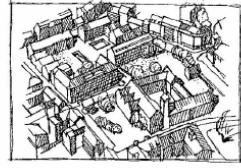
Kategorija terena II
Področje z nizkim rastlinjem (trava) in posameznimi ovirami (drevesi, stavbami) na razdalji najmanj 20 višin ovir.



Kategorija terena III
Področja z običajnim rastlinjem ali stavbami ali s posameznimi ovirami na razdalji največ 20 višin ovir (vasi, podeželsko okolje, stalni gozd).



Kategorija terena IV
Področje, kjer je najmanj 15 % površine pokrite s stavbami s povprečno višino več kot 15 m.



Slika 17: Kategorije terena (SIST EN 1991- 1-4: 2005, 2005: 79)

2.5.4.4 Vetrna turbolanca

Veterno turbolenco na višini z nad tlemi merimo z njeno intenziteto $I_v(z)$, ki jo izrazimo kot količnik med standardno deviacijo turbulence in srednjo hitrostjo vetra. Standardno deviacijo turbulence σ_v določimo po enačbi:

$$\sigma_v = k_r \cdot v_b \cdot k_l \quad \dots(7)$$

Kjer velja, da je:

- σ_v ... standardna deviacija turbulence
- k_r ... faktor terena
- v_b ... osnovna hitrost vetra
- k_l ... turbulenčni faktor, katerega priporočena vrednost je 1

Intenziteto turbulence $I_v(z)$ izračunamo po enačbi:

$$I_v(z) = \sigma_v / v_m(z) = k_l / (c_o(z) \cdot \ln(z/z_0)) \quad \text{za } z_{\min} \leq z \leq z_{\max} \quad \dots(8)$$

$$I_v(z) = I_v(z_{\min}) \quad \text{za } z \leq z_{\min} \quad \dots(9)$$

Kjer velja, da je:

- $I_v(z)$... intenziteta turbolence
- σ_v ... standardna deviacija turbulence
- $c_o(z)$... faktor hribovitost terena
- $v_m(z)$... srednja hitrost vetra
- k_l ... turbulenčni faktor, katerega priporočena vrednost je 1
- z_o in z_{\min} ... faktorja odvisna od terena

2.5.4.5 Tlak pri največji hitrosti pri sunkih vetra

Tlak pri največji hitrosti pri sunkih vetra $q_p(z)$ na višini z izračunamo z upoštevanjem srednje hitrosti in kratkotrajne spremembe hitrosti vetra po sledeči enačbi:

$$q_p(z) = [1 + 7 \cdot I_v(z)] \cdot 0,5 \cdot \rho \cdot v_m^2(z) = c_e(z) \cdot q_b \quad \dots(10)$$

Kjer velja, da je:

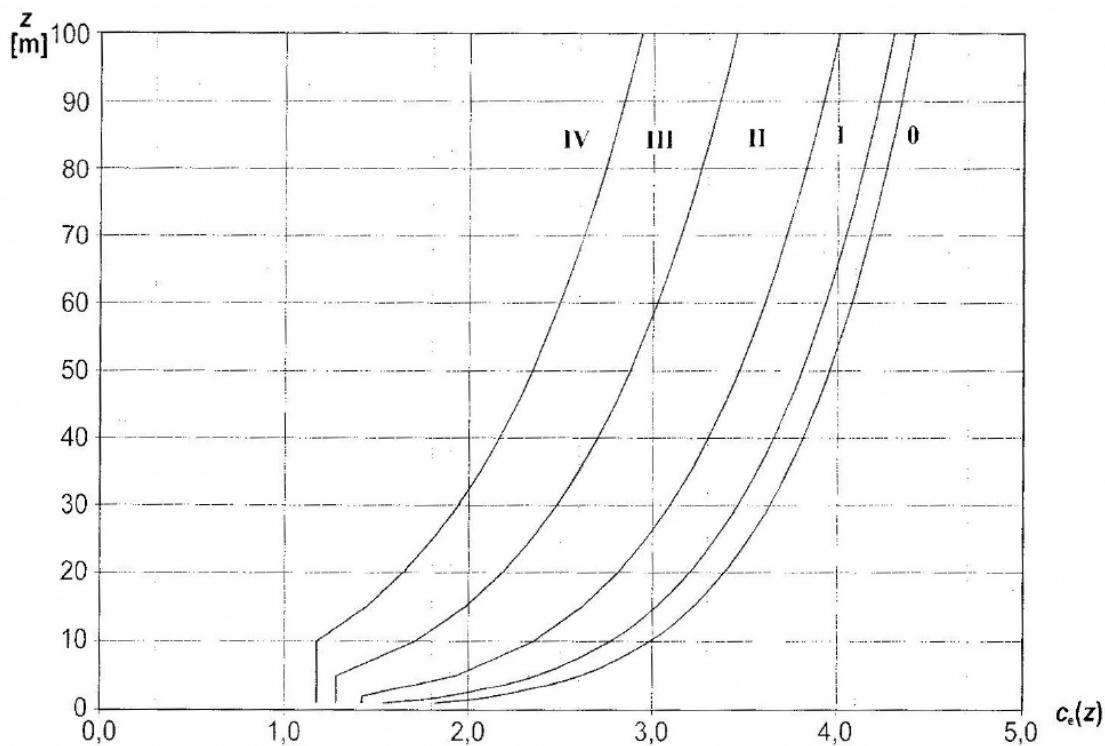
- $q_p(z)$... tlak pri največji hitrosti pri sunkih vetra
- $I_v(z)$... intenziteta turbolence
- ρ ... gostota zraka, ki je odvisna od višine, temperature in zračnega tlaka, pričakovanega med neurjem na obravnavanem območju (priporočena vrednost je $1,25 \text{ kg/m}^3$)
- $v_m(z)$... srednja hitrost vetra
- $c_e(z)$... faktor izpostavljenosti po enačbi (11)

$$c_e(z) = q_p(z) / q_b \quad \dots(11)$$

Kjer velja, da je q_b osnovni tlak vetra po spodnji enačbi (12)

$$q_b = 0,5 \cdot \rho \cdot v_b^2 \quad \dots(12)$$

Za ravninski teren, kjer je $c_o(z) = 1,0$ je faktor izpostavljenosti $c_e(z)$ prikazan na sliki 18 kot funkcija višine nad terenom in kategorije terena.

Slika18: Diagram faktorja izpostavljenosti $c_e(z)$ za $co(z) = 1,0$, $kl = 1,0$ (SIST EN 1991- 1-4: 2005, 2005: 20)

2.5.4.6 Tlak vetra na ploskve stavb

Tlak vetra w_e na zunanje ploskve stavb izračunamo po enačbi:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \quad \dots(13)$$

Kjer velja, da je:

- $q_p(z_e)$... tlak pri največji hitrosti pri sunkih vetra na referenčni višini za zunanji tlak z_e
- c_{pe} ... koeficient zunanjega tlaka, izračunan po enačbi (14)

2.5.4.7 Koeficient tlaka za ploskve stavb

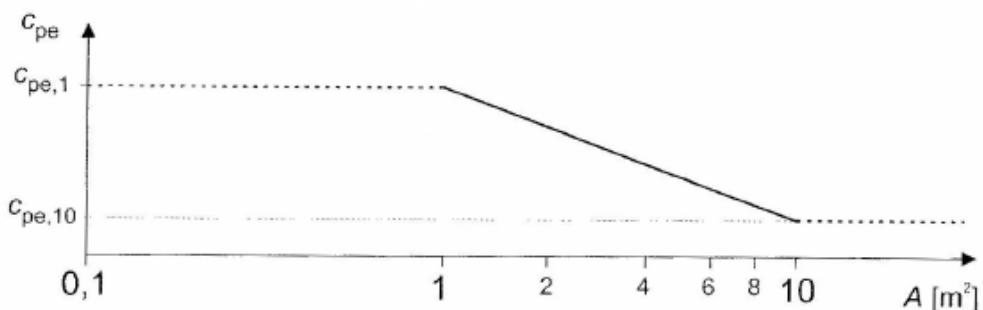
Koeficient zunanjega tlaka c_{pe} za stavbe in dele stavb so odvisni od velikosti obtežene površine A . Koeficienti zunanjega tlaka so dani za obtežene površine A , velike 1 m^2 in 10

m^2 . Za površine manjše od 1 m^2 , veljajo $c_{\text{pe},1}$. Za površine večje od 10 m^2 veljajo $c_{\text{pe},10}$. Vmesne površine pa interpoliramo po enačbi (14).

$$c_{\text{pe}} = c_{\text{pe},1} - (c_{\text{pe},1} - c_{\text{pe},10}) \cdot \log_{10} A \quad \dots(14)$$

Kjer velja, da je:

- c_{pe} ... koeficient zunanjega tlaka
- $c_{\text{pe},1}$... koeficient zunanjega tlaka za površine oz. elemente s površino 1 m^2 ali manj
- $c_{\text{pe},10}$... koeficient zunanjega tlaka za površine večje od 10 m^2
- A ... vplivna površina oz. površina elementa



Slika kaže naslednje:

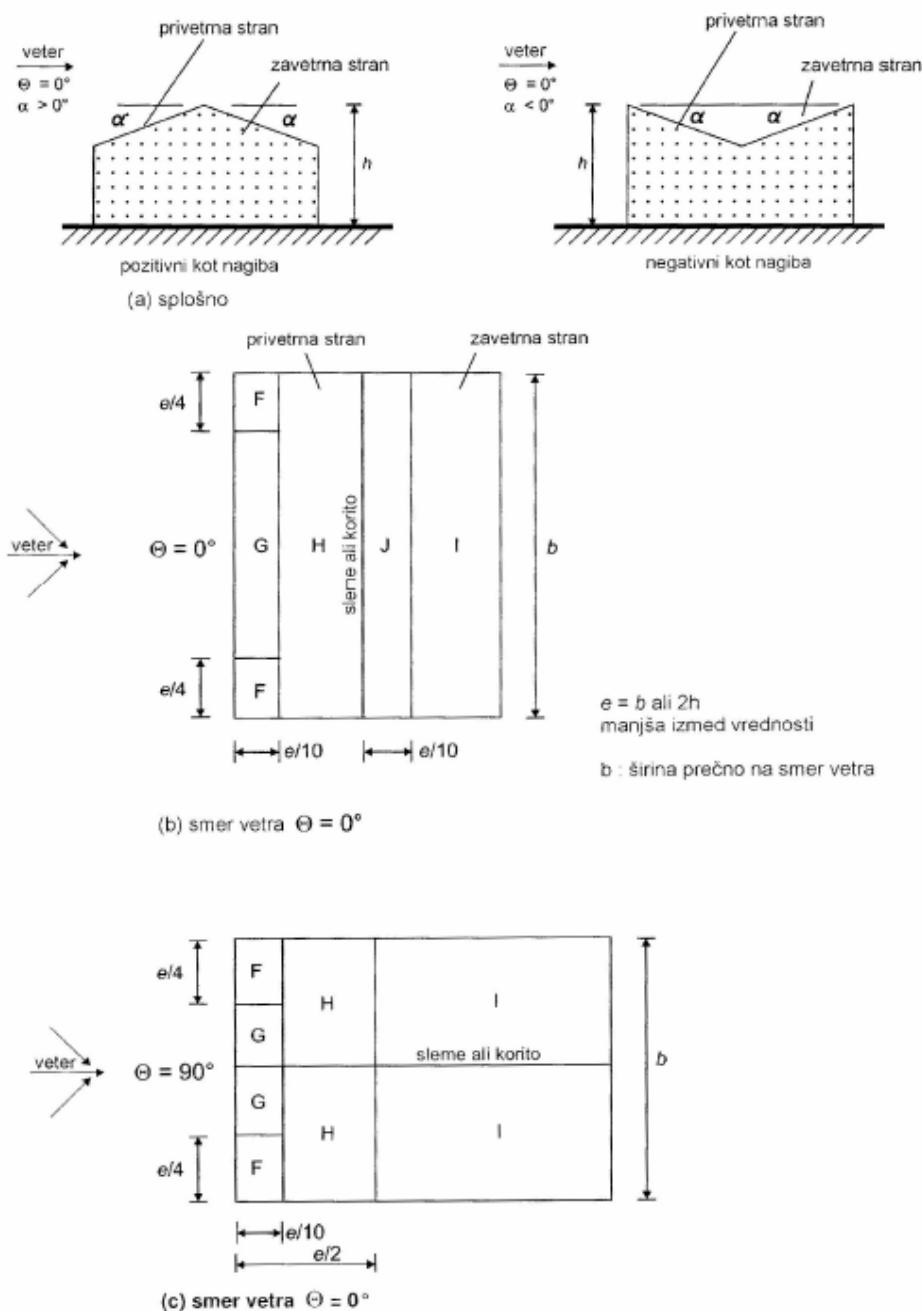
za $1 \text{ m}^2 < A < 10 \text{ m}^2$

$$c_{\text{pe}} = c_{\text{pe},1} - (c_{\text{pe},1} - c_{\text{pe},10}) \log_{10} A$$

Slika 19: Priporočeni postopek za določitev koeficiente zunanjega tlaka c_{pe} za površine A med 1 m^2 in 10 m^2 (SIST EN 1991- 1-4: 2005, 2005: 27)

2.5.4.8 Koeficienti tlaka za dvokapne strehe s pravokotnim tlorisom

Strehe vključno s previsi razdelimo na področja po sliki (20), koeficienti zunanjega tlaka pa so podani v preglednici na sliki (13 in 14).



Slika 20: Razdelitev dvokapnice na področja (SIST EN 1991- 1-4: 2005, 2005: 36)

Nagib α	Področja za smer vetra $\theta = 0^\circ$									
	F		G		H		I		J	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-0,6		-0,6		-0,8		-0,7		-1,0	-1,5
-30°	-1,1	-2,0	-0,8	-1,5	-0,8		-0,6		-0,8	-1,4
-15°	-2,5	-2,8	-1,3	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5		-0,7	-1,2
-5°	-2,3	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	+0,2		+0,2	
							-0,6		-0,6	
5°	-1,7	-2,5	-1,2	-2,0	-0,6	-1,2			+0,2	
	+0,0		+0,0		+0,0		-0,6		-0,6	
15°	-0,9	-2,0	-0,8	-1,5	-0,3		-0,4		-1,0	-1,5
	+0,2		+0,2		+0,2		+0,0		+0,0	+0,0
30°	-0,5	-1,5	-0,5	-1,5	-0,2		-0,4		-0,5	
	+0,7		+0,7		+0,4		+0,0		+0,0	
45°	-0,0		-0,0		-0,0		-0,2		-0,3	
	+0,7		+0,7		+0,6		+0,0		+0,0	
60°	+0,7		+0,7		+0,7		-0,2		-0,3	
75°	+0,8		+0,8		+0,8		-0,2		-0,3	

Slika 21: Koeficienti zunanjega tlaka za dvokapnice po področjih na strehi, za smer vetra $\theta = 0^\circ$ (SIST EN 1991- 1-4: 2005, 2005: 37)

Nagib α	Področja za smer vetra $\theta = 90^\circ$							
	F		G		H		I	
	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
-45°	-1,4	-2,0	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-30°	-1,5	-2,1	-1,2	-2,0	-1,0	-1,3	-0,9	-1,2
-15°	-1,9	-2,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,2	-0,8	-1,2
-5°	-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	-1,2
5°	-1,6	-2,2	-1,3	-2,0	-0,7	-1,2	-0,6	
15°	-1,3	-2,0	-1,3	-2,0	-0,6	-1,2	-0,5	
30°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,8	-1,2	-0,5	
45°	-1,1	-1,5	-1,4	-2,0	-0,9	-1,2	-0,5	
60°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	
75°	-1,1	-1,5	-1,2	-2,0	-0,8	-1,0	-0,5	

Slika 22: Koeficienti zunanjega tlaka za dvokapnice po področjih na strehi, za smer vetra $\theta = 90^\circ$ (SIST EN 1991- 1-4: 2005, 2005: 38)

2.6 DIMENZIONIRANJE

Splošno:

$$S_d \leq R_d \quad \dots(15)$$

Kjer velja, da je S_d projektna vrednost notranjih sil, izračunana na osnovi projektnih vrednosti zunanjih vplivov, R_d pa je projektna vrednost pripadajoče nosilnosti.

Postopek dimenzioniranja se lahko izvede na nivoju prereza, elementa in konstrukcije. Postopek izbiranja elementov konstrukcije, s katerim se dokazuje, da je računska obtežba S_d izražena kot M , N , V ali napetost, manjša ali enaka od računske odpornosti elementa ali konstrukcije R_d , se imenuje dimenzioniranje.

Pri dimenzioniraju ne obstaja absolutna varnost. Z uvedbo parcialnih koeficientov varnosti pri dimenzioniraju dosežemo:

- izenačevanje varnosti za različne kombinacije konstrukcij in materialov
- izognitev težavam pri prehodu iz enega materiala na drugega
- zahtevana stopnja varnosti za različna mejna stanja

Za preračun oziroma določitev potrebnih dimenzijs se po evrokodu uporabljam dva koncepta:

- metoda mejnega stanja nosilnosti (MSN); (odpornost na M , N , V)
- metoda mejnega stanja uporabnosti (MSU); (vibracije, deformacije)

2.6.1 Metoda mejnega stanja nosilnosti (MSN)

Določitev potrebnih dimenzijs prereza po (MSN) predstavlja danes v lesnih konstrukcijah v bistvu edini koncept dimenzioniranja glede na napetostne pogoje. Zato po tej metodi izvedemo kontrolu napetosti v elementih, katera zagotavlja varnost proti porušitvi.

2.6.1.1 Nateg vzporedno z vlakni

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

kjer je :

- $\sigma_{t,0,d}$ - projektna natezna napetost v smeri vlaken
- $f_{t,0,d}$ - projektna natezna trdnost v smeri vlaken

$$\sigma_{t,0,d} = \frac{N_{d,max}}{A} \quad \dots (17)$$

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

kjer je :

- $k_{mod} = 0,9$ - modifikacijski faktor za trajanje obtežbe in vlažnost, po
 - SIST EN 1995-1-1:2005 (tabela 3.1)
- $\gamma_m = 1,3$ -delni faktor za lastnosti materiala, po
 - SIST EN 1995-1-1:2005 (tabela 2.3)

2.6.1.2 Tlak vzporedno z vlakni

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d} \quad \dots (19)$$

kjer je :

- $\sigma_{c,0,d}$ - projektna tlačna napetost v smeri vlaken
- $f_{c,0,d}$ - projektna tlačna trdnost v smeri vlaken

$$\sigma_{c,0,d} = \frac{N_{d,max}}{A} \quad \dots(20)$$

$$f_{c,0,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{c,e,h}}{r_m} \quad \dots(21)$$

2.6.1.3 Upogib

$$\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \dots(22)$$

$$k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} < 1 \quad \dots(23)$$

kjer je :

- $\sigma_{m,y,d}$, $\sigma_{m,z,d}$ - projektni upogibni napetost glede na glavne osi,
- $k_m = 0,7$ -faktor, ki upošteva prerazporeditev upogibnih napetosti v prečnemprerezu, za pravokotne prerez, masivni les; po SIST EN 1995-1-1:2005 (pogl. 6.1.6.2).

$$f_{m,d} = k_{mod} \cdot \frac{f_{m,h}}{r_m} \quad \dots(24)$$

$$\sigma_{m,y,d} = \frac{M_{y,d}}{W_y} \quad \dots(25)$$

Kjer je W_y odpornostni moment okoli osi y

2.6.1.4 Strig

$$\tau_d \leq f_{v,d} \quad \dots(26)$$

kjer je :

- τ_d - projektna strižna napetost
- $f_{v,d}$ - projektna strižna trdnost

2.6.1.5 Kombinacija upogiba in natega

$$\frac{\sigma_{t,od}}{f_{t,od}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \dots(27)$$

$$\frac{\sigma_{t,od}}{f_{t,od}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \dots(28)$$

2.6.1.6 Kombinacija upogiba in tlaka

$$\left(\frac{\sigma_{v,d}}{f_{v,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \dots(29)$$

$$\left(\frac{\sigma_{v,d}}{f_{v,d}} \right)^2 + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \dots(30)$$

2.6.1.7 Kontrola stabilnosti pri tlačno in tlačno-upogibni obremenjenih stebrih

$$\frac{\sigma_{v,y,d}}{k_{gy} \cdot f_{v,y,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \dots(31)$$

$$\frac{\sigma_{v,y,d}}{k_{gy} \cdot f_{v,y,d}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1 \quad \dots(32)$$

kjer je :

- $k_{oy/z}$ - uklonski koeficient
- $f_{v,d}$ - projektna strižna trdnost

$$k_{oy/z} = \frac{1}{k_{p/z} + \sqrt{k_{p/z}^2 - \lambda_{rel,y/z}^2}} \quad \dots(33)$$

$$k_{y/z} = 0,5 \cdot (1 + \beta_a \cdot (\lambda_{rel,y/z} - 0,5) + \lambda_{rel,y/z}^2) \quad \dots(34)$$

$$\lambda_{rel,y/z} = \frac{\lambda_{p/z}}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{v,d}}{E_{0,08}}} \quad \dots(35)$$

$$\lambda_{y/z} = \frac{l_u}{t_{p/z}} \quad \dots(36)$$

$$t_{y/z} = \sqrt{\frac{l_{p/z}}{A}} \quad \dots(37)$$

kjer je :

- $\lambda_{rel,y/z}$ - relativna vitkost glede na upogib okoli osi y oziroma z osi
- $\lambda_{y/z}$ - vitkost glede na upogib okoli y oziroma z osi
- $\lambda_{y/z}$ - faktor za določitev uklonskega koeficiente
- $\beta_a = 0,2$ - faktor za elemente znotraj omejitev ravnosti, za masiven les
- l_u - uklonska dolžina elementa
- $t_{y/z}$ - vztrajnostni polmer prereza

2.6.1.8 Kontrola stabilnosti pri upogibno in upogibno tlačno obremenjenih nosilcih

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{v,d}}{k_{c,z} \cdot f_{c,v,d}} \leq 1 \quad \dots(38)$$

kjer je :

- $k_{c,z}$ - faktor podan z (31)
- k_{crit} - koeficient bočne napetosti

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{za } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \cdot \lambda_{rel,m} & \text{za } 0,75 \leq \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}} & \text{za } 1,4 \leq \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{u,k}}{\sigma_{m,crit}}} \quad \dots(39)$$

kjer je :

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{n \cdot l_{eff}} \cdot E_{0,05}, \quad \dots(40)$$

- $\sigma_{m,crit}$ - kritična upogibna napetost

kjer je l_{eff} efektivna dolžina nosilca po, SIST EN 1995-1-1:2005, tabela 6.1

2.6.2 Mejno stanje uporabnosti (MSU)

Pri projektiranju lesenih konstrukcij po sodobnih standardih je potrebno razen napetostnim kriterijem, zadovoljiti tudi eksploatacijskim pogojem. To pomeni, da v času svoje eksploatacijske dobe obravnavan konstrukcijski element zadrži tudi svoj uporabnostni vidik in izgled. To pa pomeni da mora konstrukcija zagotoviti dvem uporabnostnim kriterijem:

- deformacije ali upogibi, ki vplivajo na uporabnost in izgled konstrukcijskega elementa, ne smejo presegati neke predpisane vrednosti,
- vibracije, ki bi lahko povzročile nelagodnost bivanja ali oteževale obratovanje konstrukcije, morajo biti v zato posebej predpisanih mejah.

2.6.2.1 Trenutna deformacija

$$u_{inst} \leq \frac{L}{300} \quad \dots(41)$$

kjer je u_{inst} trenutna deformacija

2.6.2.2 Končna deformacija

$$u_{fin} \leq \frac{L}{150} \quad \dots(42)$$

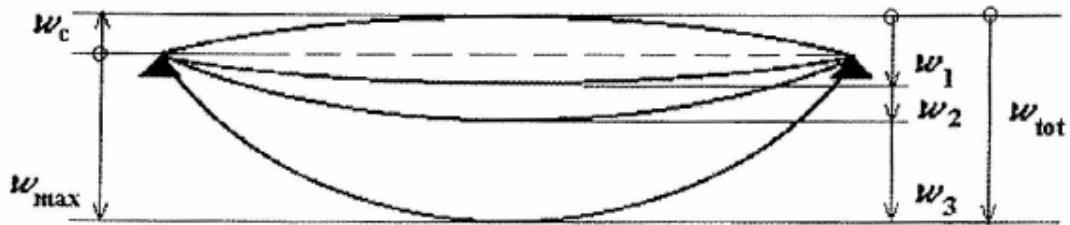
kjer je u_{fin} končna deformacija

$$u_{fin} = u_{inst,G} + u_{inst,Q_1} + u_{fin,Q_1} \quad \dots(43)$$

$$\begin{aligned} u_{fin} &= u_{inst,G} \cdot (1 + k_{def}) + u_{inst,Q_1} \cdot (1 + \psi_{2,1} \cdot k_{def}) \\ &+ u_{inst,Q_1} \cdot (1 + \psi_{2,t} \cdot k_{def}) \end{aligned}$$

kjer je :

- $u_{fm,G}$, u_{fm,Q_1} , u_{fm,Q_2} - trenutne deformacije za posamezni vpliv
- ψ_2 – faktor za navidezno stalno vrednost spremenljivega vpliva
- $k_{def} = 0,8$ deformacijski faktor po SIST EN 1995-1-1:2005 (tabela 3.2)



Slika 23: Shematičen prikaz komponent navpičnih upogibkov (SIST EN 1990:2004, 2004: 43)

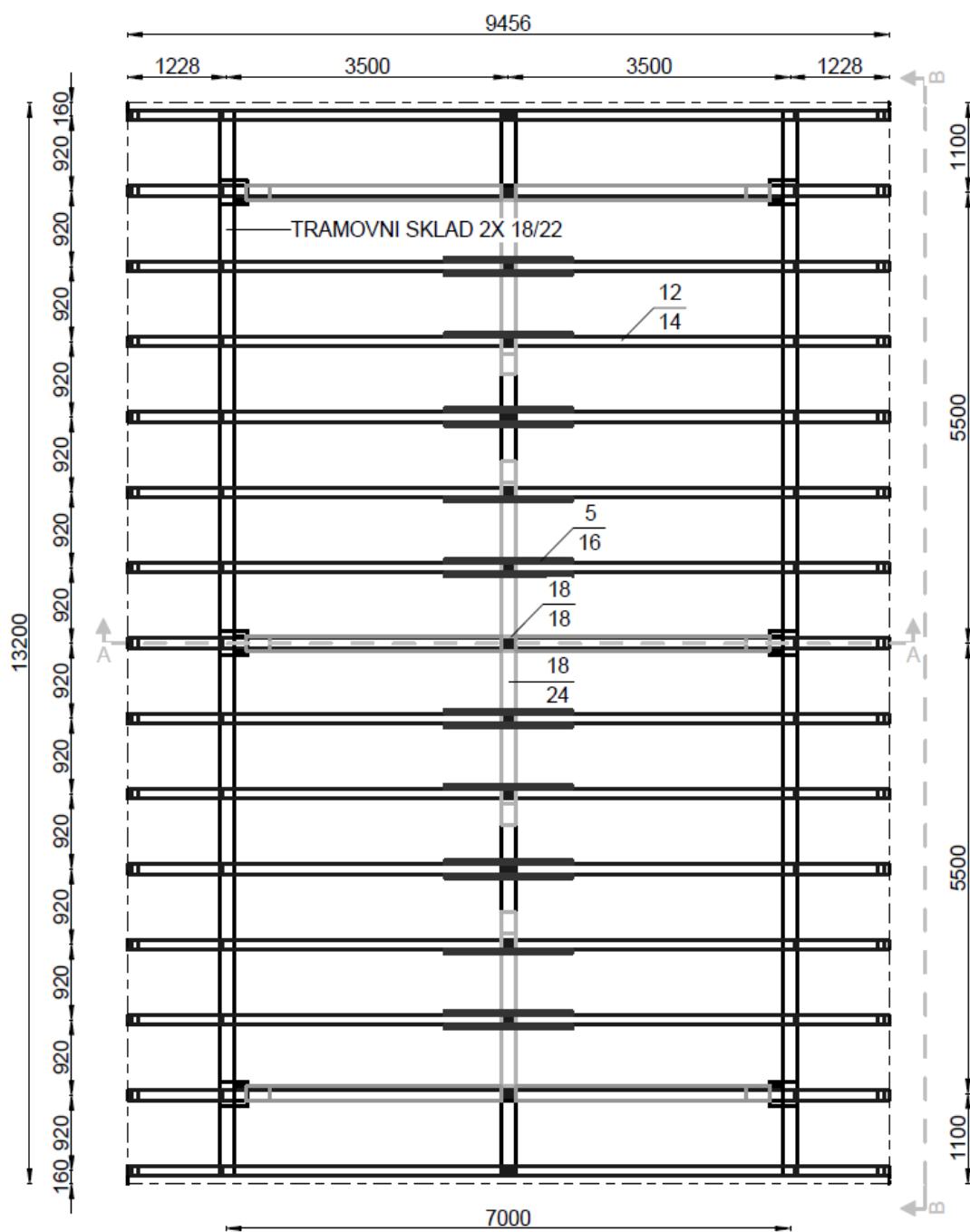
3 MATERIALI IN METODE

Za izvedbo diplome in statičnega izračuna je bilo najprej potrebno definirati obstoječo konstrukcijo. Potrebno je bilo narediti izris modela z vsemi elementi lesene konstrukcije, se pravi preseki nosilnih elementov in dolžine le teh. Ostrešje je dvokapnica z naklonom strehe 38° . Samo modeliranje oz. izris 3D modela je bil izведен z programom MegaCAD. Na spodnjih slikah je razviden model z obstoječimi merami ter prerezi. Glede na to, da je konstrukcija zgrajena iz masivnega lesa v času veljavni JUS standardov, smo glede na primerjavo klasifikacij lesa med JUS in EC5 ugotovili, da se je za graditev ostrešij večinoma uporabljal les II. kakovostnega razreda, kar je ekvivalent trdnostnemu razredu masivnega lesa C24 po EC5. Izhajajoč iz tega spoznanja se je opravilo tudi dimenzioniranje same konstrukcije. Sledil je izris statičnega modela z programom Tower 6 - 3 D Model Builder 6.0 DEMO, vnos vplivov na konstrukcijo oz. obtežnih primerov ter vnos obtežnih kombinacij. Po analiz s programom smo dobili grafe obremenitev, reakcij, notranjih statičnih količin ter deformacije konstrukcijskih elementov. Kontrola napetosti in deformacij pa je bila izvadena računsko po SIST EN 1995-1-1:2005, ki vsebuje pravila za projektiranje lesenih konstrukcij.

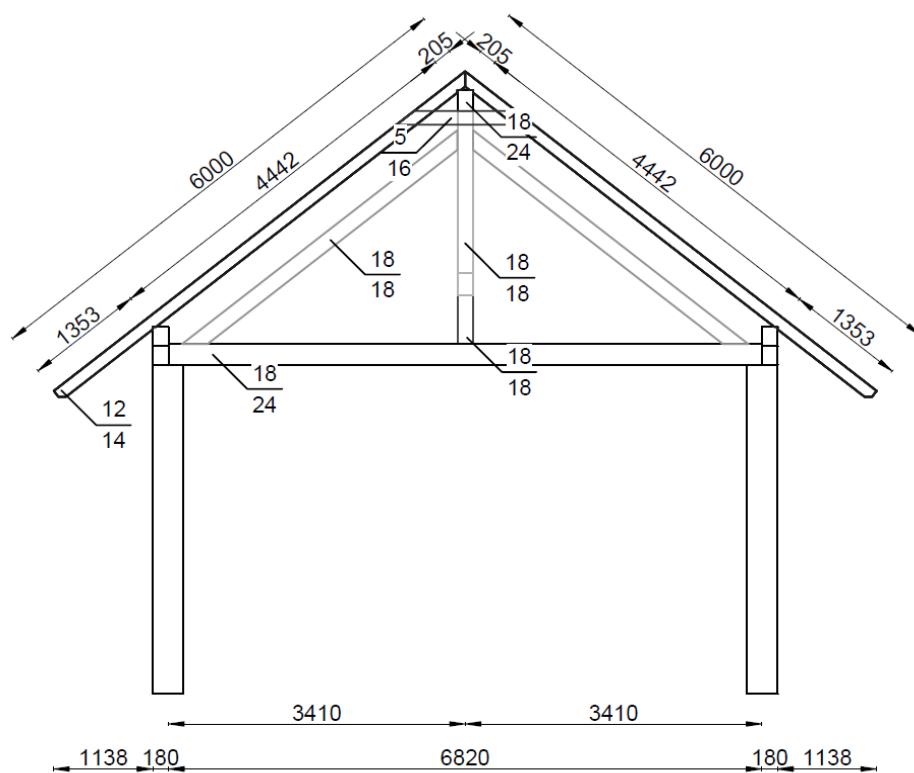
3.1 TEHNIČNO POROČILO

Ostrešje je v celoti leseno iz smrekovega lesa trdnostnega razreda C24, elementi so med seboj povezani s klasičnimi tesarskimi lesnimi zvezmi in spojnimi sredstvi. Ostrešje je izvedeno kot dvokapnica z trikotnim vešalom. Kapne lege so izvedene kot tramovni sklad, slemenska lega je oprta na trikotno vešalo katero je v vznožju sidrani v AB stebri. Ostrešje je zavetrovano s sidranjem kapnih leg v AB stebre z vbetoniranimi sidri, ter izvedbo klešč pod slemensko lego ter namestitvijo ročic (rok) na sohe (pokončne stebre trikotnega vešala).

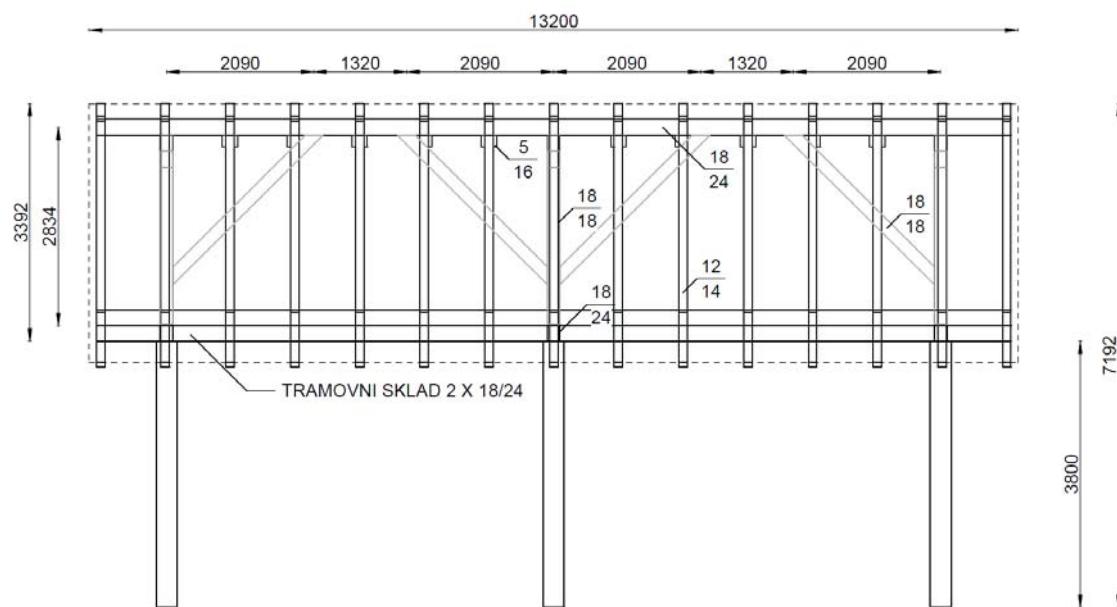
Kritina na celotnem objektu je enotna, to je betonski strešnik temno rjave barve. Samonosilna lesena fasadna konstrukcija med AB stebri je lesena, njen namen je zaščita skladiščenih izdelkov lesa, ter strojev pred zunanjimi vplivi.



Slika 24: Tloris strešne konstrukcije



Slika 25: Prerez A – A



Slika 26: Prerez B - B

3.2 LASTNOSTI MATERIALA

Elementi so iz lesa iglavcev C24 (II kategorija).

Preglednica 1: Karakteristične trdnosti lesa (Premrov, 2008: 94)

Karakteristične trdnosti lesa		
MPa [N/mm²]	C24	
upogib	$f_{m,k}$	24
nateg vzporedno	$f_{t,0,k}$	14
nateg pravokotno	$f_{t,90,k}$	0,5
tlak vporedno	$f_{c,0,k}$	21
tlak pravokotno	$f_{c,90,k}$	2,5
strig	$f_{v,k}$	2,5

Togosti		
MPa [N/mm²]		
povprečni	modul	
elastičnosti	$E_{0,mean}$	11 000
vzporedno		
5 % modul elastičnosti	$E_{0,05}$	7400
vzporedno		
povprečni	modul	
elastičnosti	$E_{90,mean}$	370
pravokotno		
povprečeni strižni modul	G_{mean}	690

Gostote		
[kg/m³]		
karakteristična gostota	ρ_k	350
povprečna gostota	ρ_{mean}	420

Računske trdnosti za material les C24

$$k_{\text{mod}} = 0,9$$

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

$$\gamma_m = 1,3$$

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

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

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

Razred uporabnosti = S2

Našo konstrukcijo razvrstimo v drugi razred uporabnosti. Za drugi razred uporabnosti je značilno, da povprečna vsebnost vlage pri večini mehkih lesovih ne presega 20 %.

Modifikacijski faktor

k_{mod} ... modifikacijski faktor za trajanje obtežbe in vlažnost lesa

Vrednost faktorja izberemo po SIST EN 1995-1-1:2005 v preglednici 3.1

Material	Standard	Razred uporabnosti	Razred trajanja obtežbe				
			Stalni vpliv	Dolgotrajni vpliv	Srednje trajni vpliv	Kratkotrajni vpliv	Trenutni vpliv
Masivni les	EN 14081-1	1	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		2	0,60	0,70	0,80	0,90	1,10
		3	0,50	0,55	0,65	0,70	0,90

Slika 27: Vrednosti modifikacijskih faktorjev (SIST EN 1995-1-1:2005, 2005: 29)

Opomba: Če je obtežna kombinacija sestavljena iz vplivov, ki pripadajo različnim razredom trajanja obtežbe, je potrebno uporabiti k_{mod} za vpliv z najmanjšim trajanjem.

γ_m ... parcialni faktor za material; za žagan les po SIST EN 1995-1-1:2005 znaša $\gamma_m = 1,3$

4 REZULTATI

4.1 OBTEŽBE

4.1.1 Stalna obtežba

4.1.1.1 Lastna teža

Ostrešje

Preglednica 2: Lastna teža posameznih elementov strehe

1. betonski strešnik	0,450 kN/m ²
2. letve (kritina) 3 x 5 cm	0,015 kN/m ²
3. letve (zračenje) 5 x 5 cm	0,013 kN/m ²
4. paropropustna folija	0,013 kN/m ²
5. lesena oplata 2,0 cm	0,084 kN/m ²
Skupaj :	0,575 kN/m ²
6. Špirovci 12 x 14 cm lastna teža nosilnega elementa na m'	0,07 kn/m'

4.1.2 Spremenljiva obtežba

4.1.2.1 Koristna obtežba

Po SIST EN 1991-1-1:2004, je za strehe kategorije H (strehe, dostopne le za normalno vzdrževanje in popravila): $q = 0,40 \text{ kN/m}^2$

4.1.2.2 Obtežba snega

Po SIST EN 1991-1-3:2004:

Obtežba snega na strehi (s) za trajna/začasna projektna stanja:

$$S = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot S_k$$

Oblikovni koeficient za dvokapnico, $\alpha_1 = \alpha_2 = 38^\circ$

$$\mu_I = \frac{0,8 \cdot (60 - \alpha_1)}{80}$$

$$\mu_I(\alpha_1) = \mu_I(\alpha_2) = \frac{0,8 \cdot (60 - 38)}{80} = 0,59 \text{ kN/m}^2$$

Koeficient izpostavljenosti:

- $C_e = 1,0$ (običajna izpostavljenost)

Toplotni koeficient:

- $C_t = 1,0$ (običajna prevodnost)

Karakteristična obtežba snega na tleh

Po SIST EN 1991-1-3:2004 (2008) – Nacionalni dodatek

Naša lokacija se nahaja v coni A2 na nadmorski višini 560 m.

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

$$S_k = 1,293 \cdot \left[1 + \left(\frac{560}{728} \right)^2 \right]$$

$$S_k = 2,06 \text{ kN/m}^2$$

- Obtežni primer (i)



$$\mu_I(\alpha_1)$$

$$s = 0,59 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,06$$

$$s = 1,22 \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_I(\alpha_2)$$

$$s = 0,59 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,06$$

$$s = 1,22 \text{ kN/m}^2$$

- Obtežni primer (ii)



$$\mu_I(\alpha_1)$$

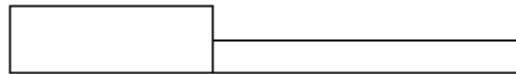
$$s = 0,5 \cdot 0,59 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,06 \quad s = 0,59 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,06$$

$$s = \mathbf{0,61} \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_I(\alpha_2)$$

$$s = \mathbf{1,22} \text{ kN/m}^2$$

- Obtežni primer (iii)



$$\mu_I(\alpha_1)$$

$$s = 0,59 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,06 \quad s = 0,5 \cdot 0,59 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 2,06$$

$$s = \mathbf{1,22} \text{ kN/m}^2$$

$$\mu_I(\alpha_2)$$

$$s = \mathbf{0,61} \text{ kN/m}^2$$

4.1.2.3 Obtežba vetra

Po SIST EN 1991-1-4:2005 (2007) - Nacionalni dodatek se objekt nahaja v vetrni coni 1, ki predpisuje projektno hitrost vetra $v_{b,0} = 20 \text{ m/s}$ za nadmorsko višino pod 800 m. Kategorija terena je III.

Hitrost vetra: cona 1 $v_{b,0} = 20 \text{ m/s}$

Kategorija terena III

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

Smerni faktor $c_{dir} = 1,0$

Faktor letnega časa $c_{season} = 1,0$

Hrapavostna dolžina $z_0 = 0,3$

Izračun posameznih količin:

- $q_b(z) = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{b,0}^2 = \frac{1}{2} \cdot 1,25 \cdot 20^2 = 250 \text{ Pa}$

$$q_b(z) = 0,25 \text{ kN/m}^2$$

- $C_e(z_e) = C_r^2(z_e) \cdot C_t^2(z_e) \cdot \left[1 + \frac{7 \cdot k_r}{C_r(z_e) \cdot C_t(z_e)} \right]$

$$C_e(z_e) = 0,684^2 \cdot 1,0^2 \cdot \left[1 + \frac{7 \cdot 0,215}{0,684 \cdot 1,0} \right]$$

$$C_e(z_e) = 1,5$$

- $C_r (Z_e) = k_r \cdot \ln\left(\frac{z}{z_{0,H}}\right) = 0,215 \ln\left(\frac{7,19}{0,8}\right)$

$$C_r (Z_e) = 0,684$$

- $k_r = 0,19 \cdot \left(\frac{z_e}{z_{0,H}}\right)^{0,07} = 0,19 \cdot \left(\frac{0,8}{0,06}\right)^{0,07}$

$$k_r = 0,215$$

- $q_p(z_e) = 1,5 \cdot 0,25 = 0,375 \text{ kN/m}^2$

Sila vetra na streho

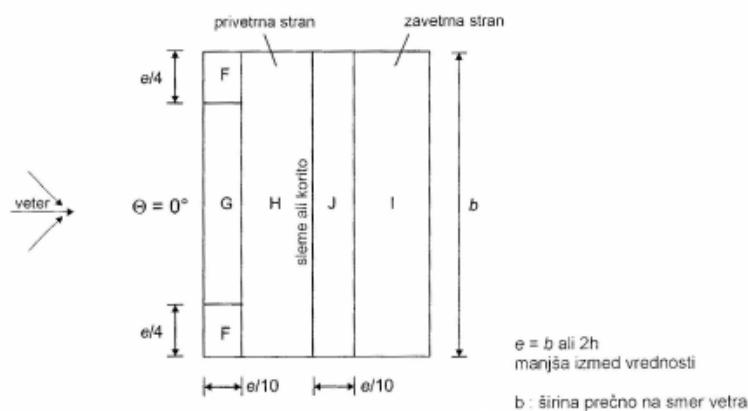
a) Vetter pravokotno na sleme

$$b = 13,2 \text{ m}$$

$$h = 7,19 \text{ m}, 2h = 14,38 \text{ m}$$

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

$$e = 13,2 \text{ m}$$



Slika 28: Razdelitev dvokapnic na področja, $\Theta = 0^\circ$ (SIST EN 1991-1-4:2005, 2005: 36)

$$w_e = c_{pe,10} \cdot 0,375 \text{ kN/m}^2$$

Preglednica 3: Površine področij strehe , $\Theta = 0^\circ$

F	4.36	m^2
G	8.71	m^2
H	45.28	m^2
J	17.42	m^2
I	45.28	m^2

Preglednica 4: Koeficienti zunanjega tlaka na strehi, $\Theta = 0^\circ$

F	$c_{pe} =$	-0.9	0.7
G	$c_{pe} =$	-0.6	0.7
H	$c_{pe} =$	-0.2	0.4
I	$c_{pe} =$	-0.4	0.0
J	$c_{pe} =$	-0.5	0.0

Zunanji tlaki na strehi -
SRKI

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe} \quad q_p(z_e) = 0.375 \quad kN/m^2$$

w_e		
F	-0.32	kN/m ²
G	-0.21	kN/m ²
H	-0.08	kN/m ²
I	-0.15	kN/m ²
J	-0.19	kN/m ²

Zunanji tlaki na strehi - TLAKI

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe}$$

$$q_p(z_e) \quad 0.375 \quad \text{kN/m}^2$$

w_e

F **0.26** kN/m²

G **0.26** kN/m²

H **0.15** kN/m²

I **0.00** kN/m²

J **0.00** kN/m²

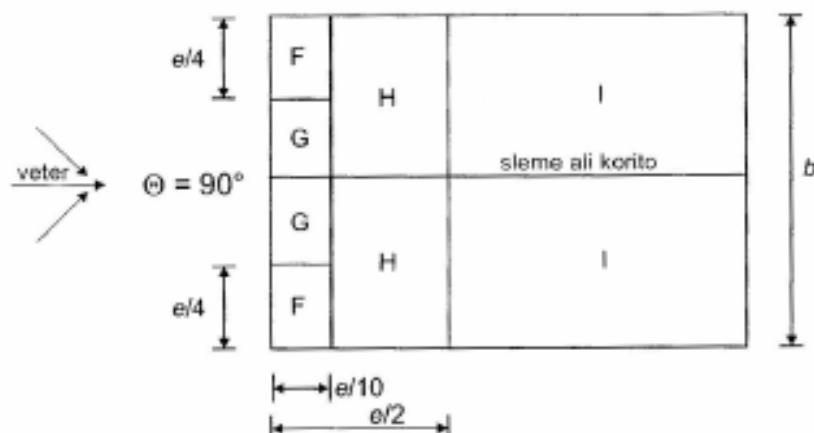
b) Veter pravokotno na sleme

$$b = 9,5 \text{ m}$$

$$h = 7,19 \text{ m}, 2h = 14,38 \text{ m}$$

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

$$e = 9,5 \text{ m}$$



Slika 29: Razdelitev dvokapnic na področja , $\Theta = 90^\circ$ (SIST EN 1991-1-4:2005, 2005: 36)

$$w_e = c_{pe,10} \cdot 0,375 \text{ kN/m}^2$$

Preglednica 5: Površine področij strehe , $\Theta = 90^\circ$

F	2.26	m²
G	2.26	m²
H	18.05	m²
I	40.14	m²

Preglednica 6: Koeficienti zunanjega tlaka na strehi, $\Theta = 90^\circ$

F	$c_{pe} =$	-1.4
G	$c_{pe} =$	-1.8
H	$c_{pe} =$	-0.7
I	$c_{pe} =$	-0.5

Zunanji tlaki na strehi – SRKI

$$w_e = q_p(z_e) * c_{pe} = 0.375 \text{ kN/m}^2$$

	w_e	
F	-0.51	kN/m ²
G	-0.67	kN/m ²
H	-0.28	kN/m ²
I	-0.19	kN/m ²

4.2 STATIČNI IZRAČUN

Za statični izračun sem uporabil program Tower – 3D Model Builder 6.0 Demo, ki deluje na principu analize končnih elementov. Ko izrišemo model, definiramo posameznim nosilcem preseke oz. palicam preseke. Iz knjižice materialov se izbere material katerega program potem upošteva pri izračunu. Materialom je definirana gostota, modul elastičnosti... Sledi definicija podpor ter sprostitev vplivov v členkih. Zatem sem vnesel vrednosti prej preračunanih zunanjih vplivov (veter, sneg) lastna teža pa se upošteva avtomatično. Sledil je vnos obtežnih kombinacij. Opravil se je preračun modela. Iz diagramov napetosti sem razbral maksimalne statične količine (natezne, tačne, upgibne, strižne sile) katere se pojavijo v posameznih elementih. Iz programa sem odčital tudi največje deformacije, ki so bile potrebne za izračun mejnega stanja uporabnosti (MSU) glavnih nosilnih elementov.

4.2.1 Ostrešje

4.2.1.1 Obtežni primeri

Iz analize obtežb dobimo za ostrešje osem obtežnih primerov:

OP 1g (lastna teža)
OP 2k (koristna obtežba)
OP 3S1 (obtežba snega)
OP 4S2 (obtežba snega)
OP 5S3 (obtežba snega)
OP 6W1 (veter na streho a1)
OP 7W2 (veter na streho a2)
OP 8W3(veter na streho b)

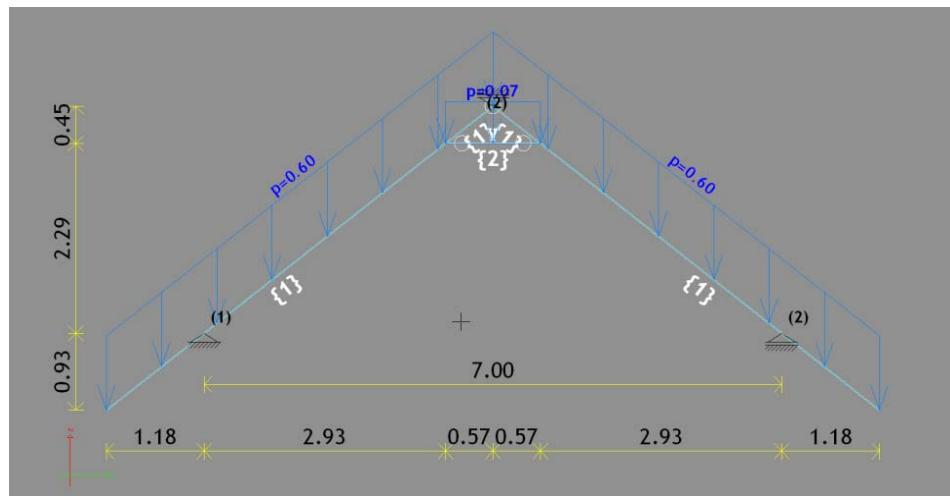
Razmak med špirovci je: $e = 0,92 \text{ m}$

OP 1g (lastna teža)

$$g = l.t. \text{ špirovca} + l.t. \text{ strehe} \cdot e$$

$$= 0,07 \text{ kN/m'} + 0,575 \text{ kN/m}^2 \cdot 0,92 \text{ m}$$

$$= 0,6 \text{ kN/m}$$



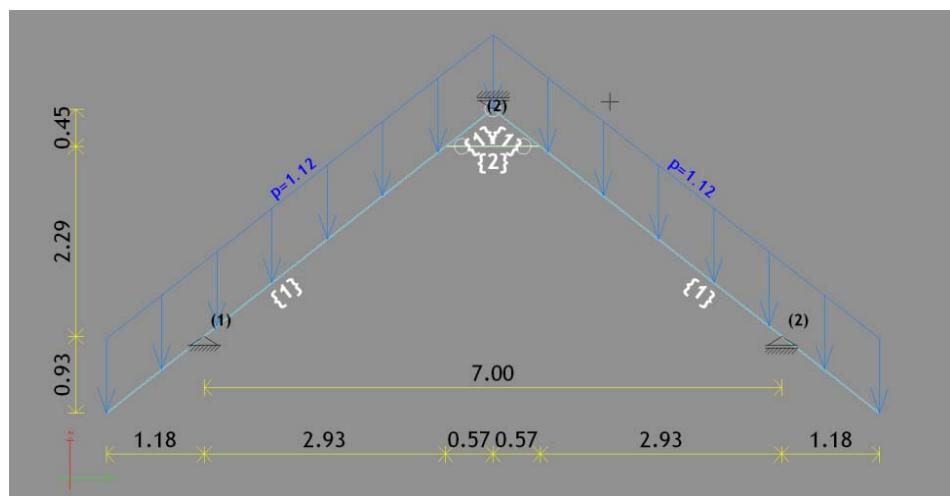
Slika 30: Obremenitev ostrešja z lastno težo

OP 2k (koristna obtežba)

$$g = \text{koristna obtežba strehe} \cdot e$$

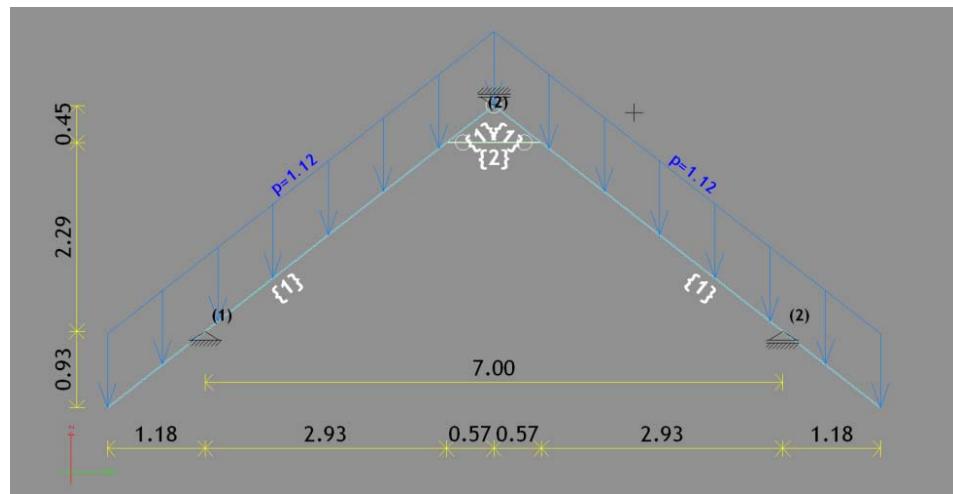
$$= 0,4 \text{kN/m}^2 \cdot 0,92 \text{ m}$$

$$= 0,37 \text{ kN/m}$$



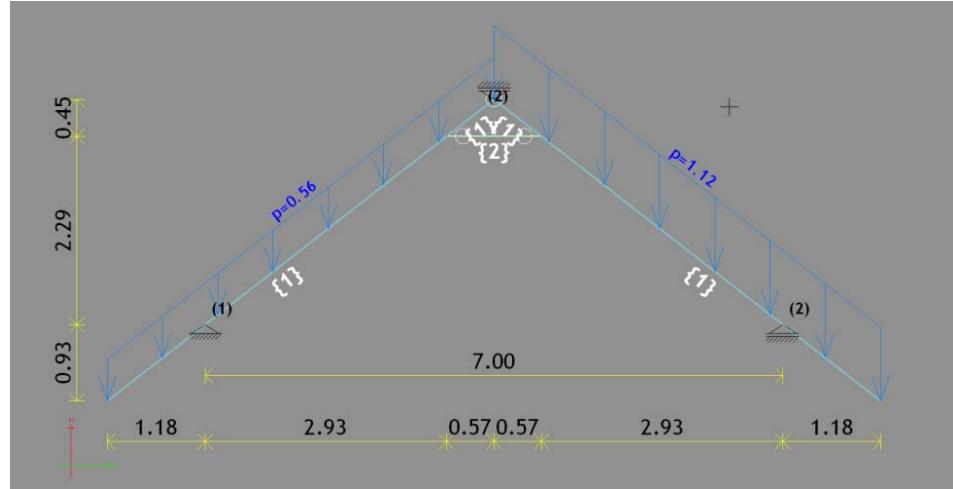
Slika 31: Obremenitev ostrešja s koristno obtežbo

OP 3S1 (obtežba snega)



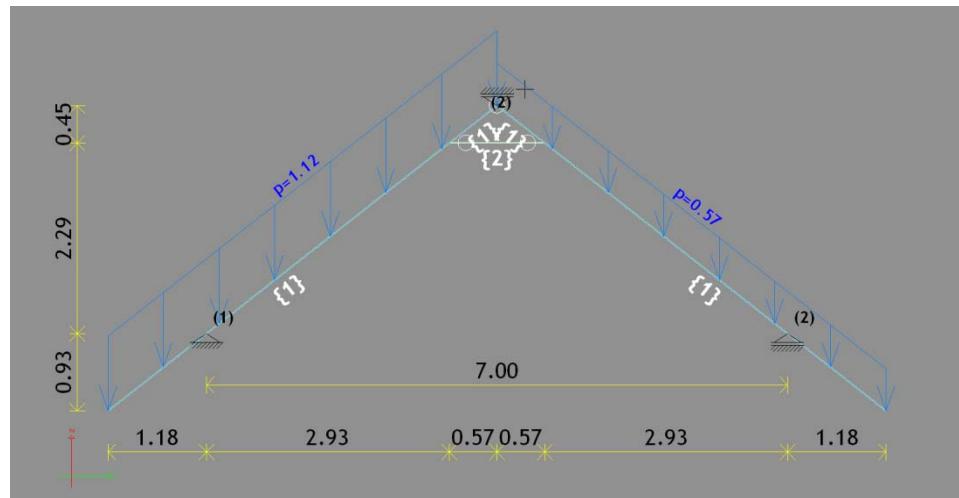
Slika 32: Obremenitev ostrešja z obtežbo snega (i)

OP 4S2 (obtežba snega)



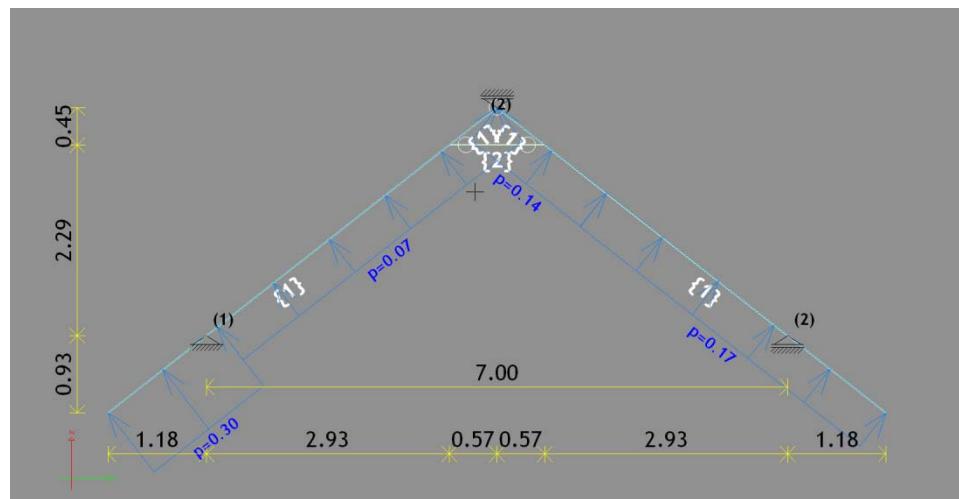
Slika 33: Obremenitev ostrešja z obtežbo snega (ii)

OP 5S3 (obtežba snega)



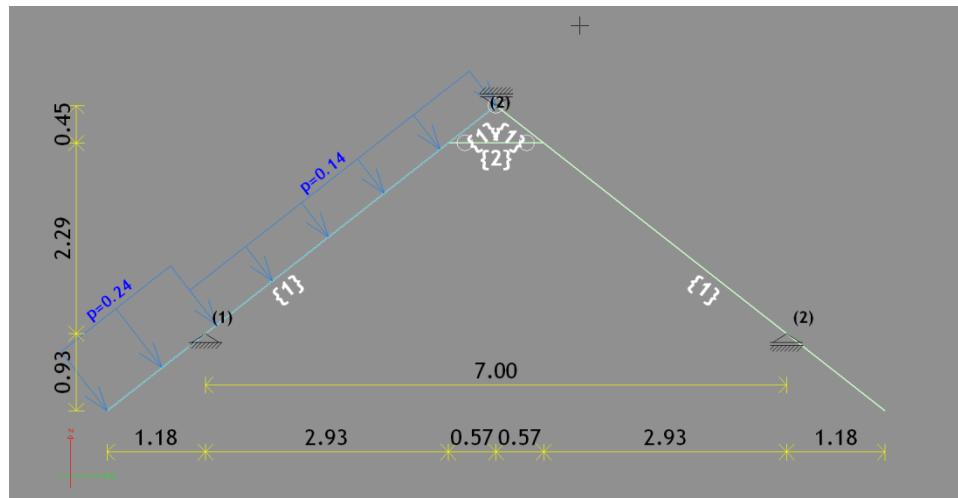
Slika 34: Obremenitev ostrešja z obtežbo snega (iii)

OP 6W1 (veter na streho a1)



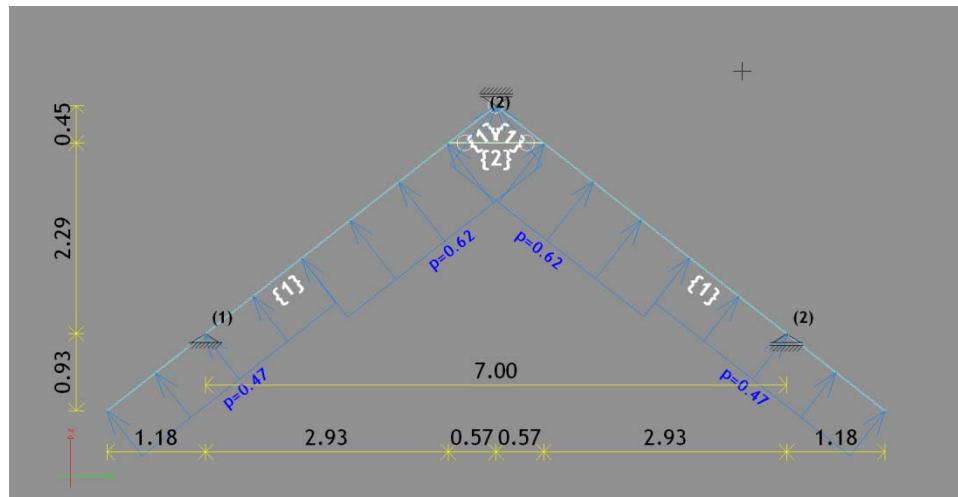
Slika 35: Obremenitev ostrešja z veterno obtežbo (a1)

OP 7W2 (veter na streho a2)



Slika 36: Obremenitev ostrešja z veterno obtežbo (a2)

OP 8W3 (veter na streho b)



Slika 37: Obremenitev ostrešja z veterno obtežbo (b)

4.2.1.2 Obtežne kombinacije

Preglednica 7: Obtežne kombinacije za mejno stanje nosilnosti (MSN)

OK1	-	1.35	·g	+	1.50	·S1
OK2	-	1.35	·g	+	1.50	·S2
OK3	-	1.35	·g	+	1.50	·S3
OK4	-	1.35	·g	+	1.50	·W1
OK5	-	1.35	·g	+	1.50	·W2
OK6	-	1.35	·g	+	1.50	·W3
OK7	-	1.35	·g	+	1.50	·S1
				+	0.00	· 0.60 ·W1 + 1.50 ·0,00 ·k
OK8	-	1.35	·g	+	1.50	·S1
				+	1.50	· 0.60 ·W2 + 1.50 ·0,00 ·k
OK9	-	1.35	·g	+	1.50	·S1
				+	0.00	· 0.60 ·W3 + 1.50 ·0,00 ·k
OK10	-	1.35	·g	+	1.50	·S2
				+	0.00	· 0.60 ·W1 + 1.50 ·0,00 ·k
OK11	-	1.35	·g	+	1.50	·S2
				+	1.50	· 0.60 ·W2 + 1.50 ·0,00 ·k
OK12	-	1.35	·g	+	1.50	·S2
				+	0.00	· 0.60 ·W3 + 1.50 ·0,00 ·k
OK13	-	1.35	·g	+	1.50	·S3
				+	0.00	· 0.60 ·W1 + 1.50 ·0,00 ·k
OK14	-	1.35	·g	+	1.50	·S3
				+	1.50	· 0.60 ·W2 + 1.50 ·0,00 ·k
OK15	-	1.35	·g	+	1.50	·S3
				+	0.00	· 0.60 ·W3 + 1.50 ·0,00 ·k
OK16	-	1.35	·g	+	1.50	·W2
				+	1.50	· 0.50 ·S1 + 1.50 ·0,00 ·k
OK17	-	1.35	·g	+	1.50	·W2
				+	1.50	· 0.50 ·S2 + 1.50 ·0,00 ·k
OK18	-	1.35	·g	+	1.50	·W2
				+	1.50	· 0.50 ·S3 + 1.50 ·0,00 ·k

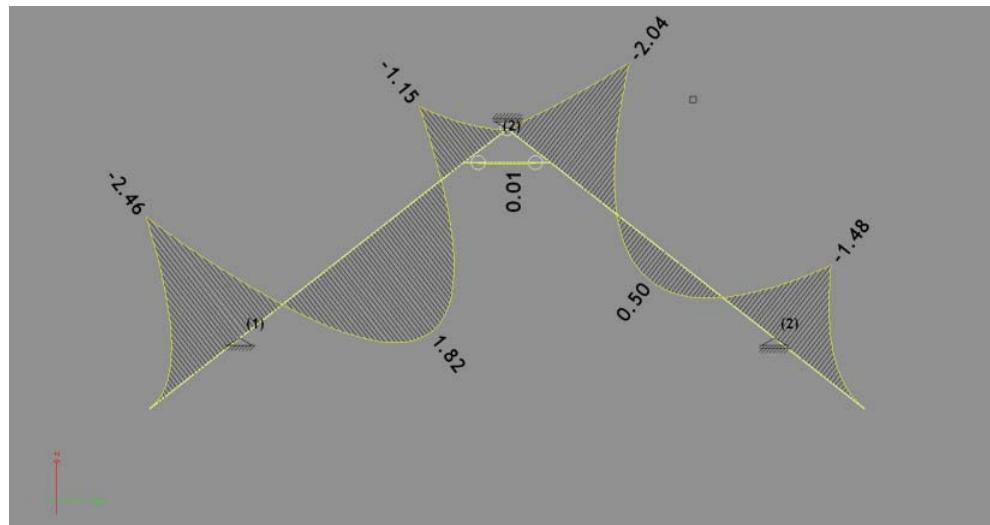
Glede na statično analizo obtežnih primerov in kombinacij dobimo v špirovcih spodaj navedene naslednje maksimalne NSK.

Upogib: Max pri OK 14

$$M_{d,max} = - 2,46 \text{ kNm}$$

$$N_{d,prip} = - 2,87 \text{ kN}$$

$$V_{d,prip} = - 4,24 \text{ kN}$$



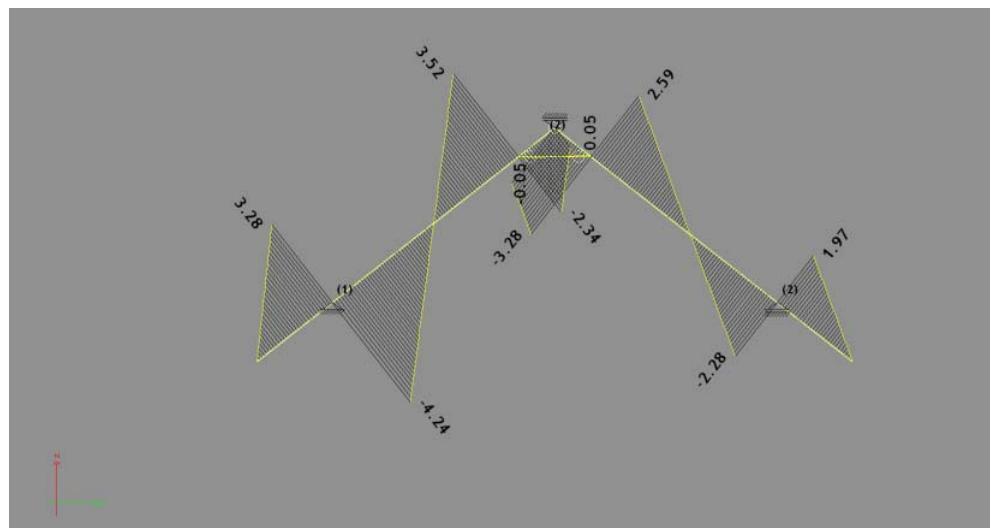
Slika 38: Diagram napetostnega stanja momentov v špirovcih

Strig: Max pri OK 14

$$V_{d,max} = -4,24 \text{ kN}$$

$$M_{d,prip} = -2,46 \text{ kNm}$$

$$N_{d,prip} = -2,87 \text{ kN}$$



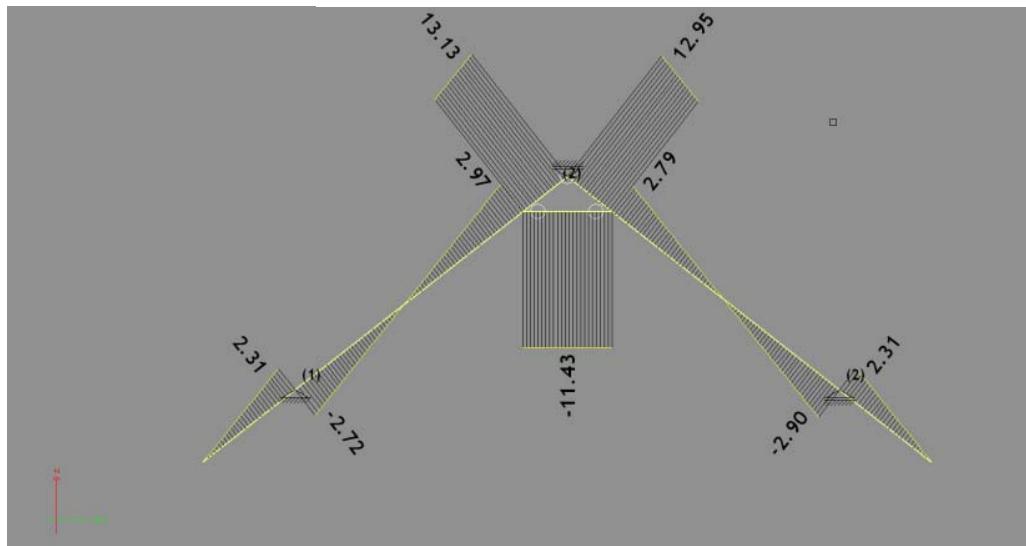
Slika 39: Diagram napetostnega stanja prečnih sil v špirovcih

Nateg : Max pri OK 8

$$N_{d,max} = 13,13 \text{ kN}$$

$$M_{d,prip} = 0 \text{ kNm}$$

$$V_{d,prip} = -1,77 \text{ kN}$$



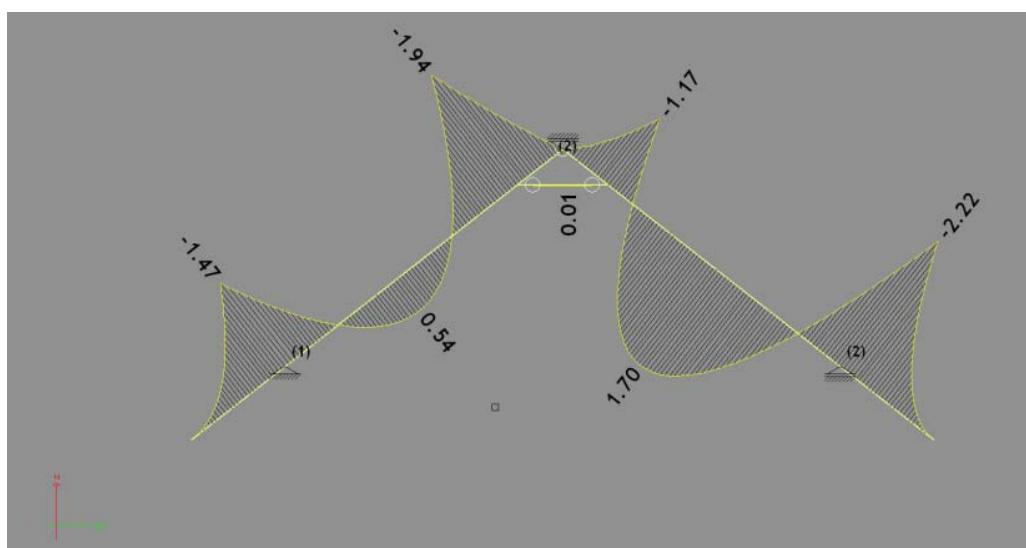
Slika 40: Diagram napetostnega stanja nateznih sil v špirovcih

Tlak : Max pri OK 14

$$N_{d,max} = -3,07 \text{ kN}$$

$$M_{d,prip} = -2,22 \text{ kNm}$$

$$V_{d,prip} = -3,93 \text{ kN}$$



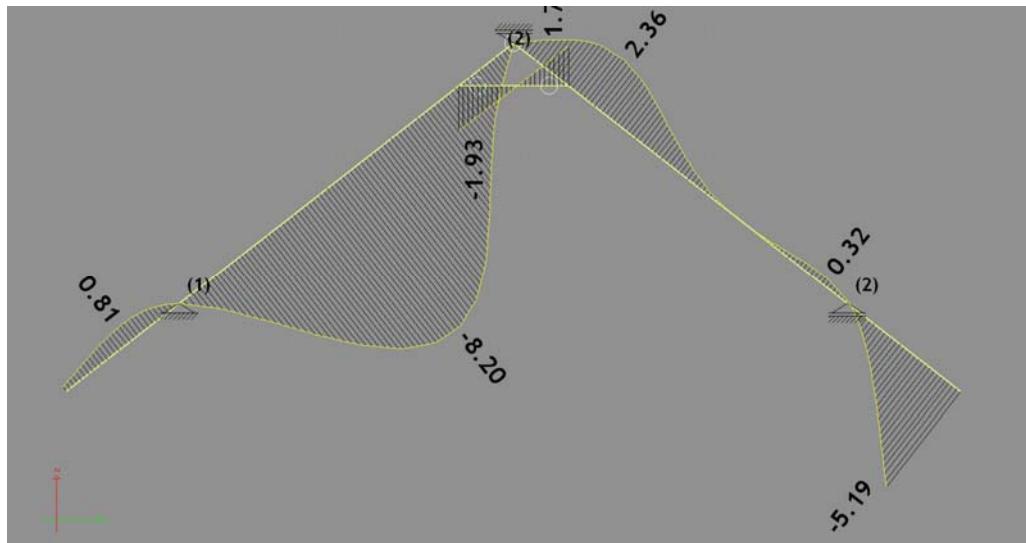
Slika 41: Diagram napetostnega stanja tlačnih sil v špirovcih

Preglednica 8: Obtežne kombinacije za mejno stanje uporabnosti (MSU)

OK19	-	1.00	·g	+	S1
OK20	-	1.00	·g	+	S2
OK21	-	1.00	·g	+	S3
OK22	-	1.00	·g	+	W1
OK23	-	1.00	·g	+	W2
OK24	-	1.00	·g	+	W3
OK25	-	1.00	·g	+	S1
				+	0.60 ·W1
				+	0.00 ·k
OK26	-	1.00	·g	+	S1
				+	0.60 ·W2
				+	0.00 ·k
OK27	-	1.00	·g	+	S1
				+	0.60 ·W3
				+	0.00 ·k
OK28	-	1.00	·g	+	S2
				+	0.60 ·W1
				+	0.00 ·k
OK29	-	1.00	·g	+	S2
				+	0.60 ·W2
				+	0.00 ·k
OK30	-	1.00	·g	+	S2
				+	0.60 ·W3
				+	0.00 ·k
OK31	-	1.00	·g	+	S3
				+	0.60 ·W1
				+	0.00 ·k
OK32	-	1.00	·g	+	S3
				+	0.60 ·W2
				+	0.00 ·k
OK33	-	1.00	·g	+	S3
				+	0.50 ·W3
				+	0.00 ·k
OK34	-	1.00	·g	+	W1
				+	0.50 ·S1
				+	0.00 ·k
OK35	-	1.00	·g	+	W1
				+	0.50 ·S2
				+	0.00 ·k
OK36	-	1.00	·g	+	W1
				+	0.50 ·S3
				+	0.00 ·k
OK37	-	1.00	·g	+	W2
				+	0.50 ·S1
				+	0.00 ·k
OK38	-	1.00	·g	+	W2
				+	0.50 ·S2
				+	0.00 ·k
OK39	-	1.00	·g	+	W2
				+	0.50 ·S3
				+	0.00 ·k
OK40	-	1.00	·g	+	W3
				+	0.50 ·S1
				+	0.00 ·k
OK41	-	1.00	·g	+	W3
				+	0.50 ·S2
				+	0.00 ·k
OK42	-	1.00	·g	+	W3
				+	0.50 ·S3
				+	0.00 ·k

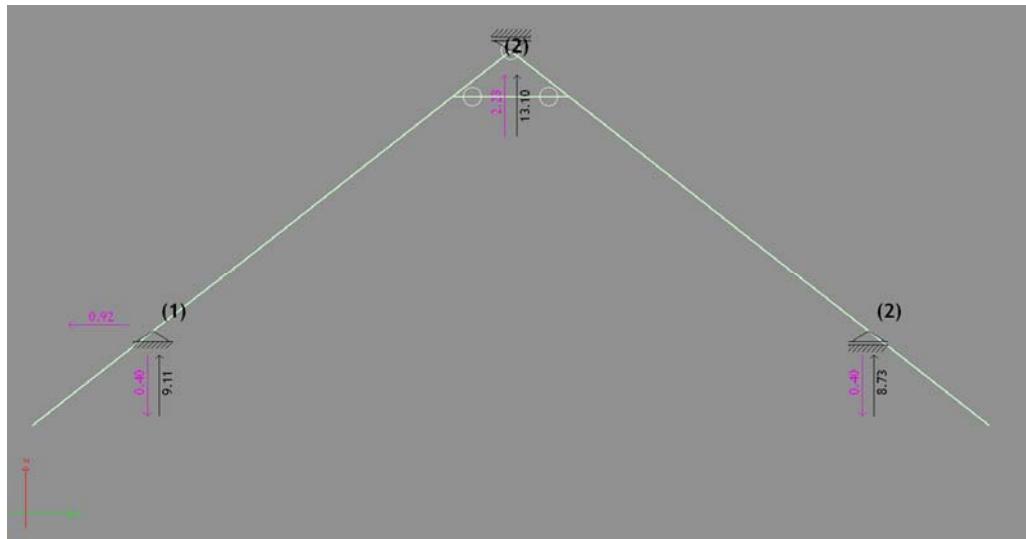
Maksimalni pomik špirovca pri MSU je pri OK 3:

$$u_{max} = 8,20 \text{ mm}$$



Slika 42: Diagram maksimalnih pomikov v špirovcih

Lege predstavljajo špirovcem podpore in zato so na razdaljah e (razmiki med špirovci) obremenjeni s silami, ki so enake reakcijam v podporah špirovcev. Na eno lego deluje 15 reakcij špirovcev, ki so porazdeljeni po dolžini lege 13 m.



Slika 43: Maksimalne reakcije v podporah pri obremenitvi ostrešja

Reakcije v podporah :

$$Ra = 13,10 \text{ kN (OK 8)}$$

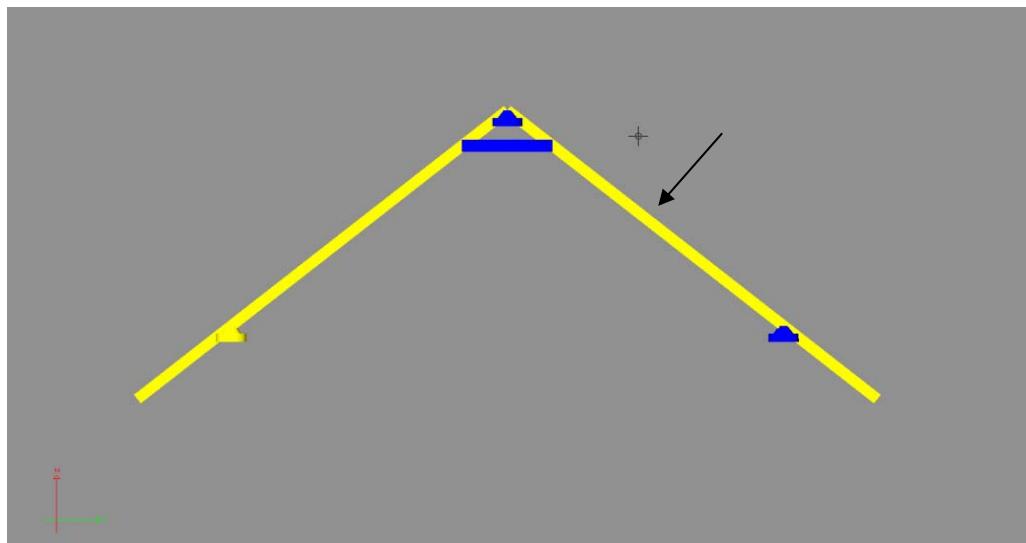
$$Rb = 9,11 \text{ kN (OK 14)}$$

$$Rc = 8,73 \text{ kN (OK 10)}$$

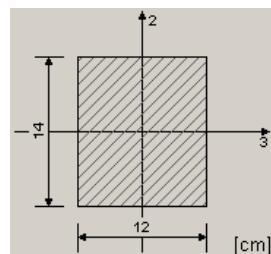
Reakcija iz podpore Ra se prenaša na slemesko lego. Se pravi kot točkovna obremenitev velikostnega ranga 13,10 kN na razdalji $e = 0,92$. Na lego dolžine 13 m deluje 15 reakcij podpore Ra.

Reakcija iz podpore Rb se prenaša na kapno lego, kar pomeni točkovna obremenitev velikostnega ranga 9,11 kN na razdalji $e = 0,92$. Na lego dolžine 13 m deluje 15 reakcij podpore Rb.

4.3 DIMENZIONIRANJE ŠPIROVCA



Slika 44: Pozicija špirovca



Slika 45: Karakteristika prereza špirovca 12/14

$$A = b \cdot h = 168 \text{ cm}^2$$

$$h/b = 1,17$$

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = 392 \text{ cm}^3$$

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = 2744 \text{ cm}^4$$

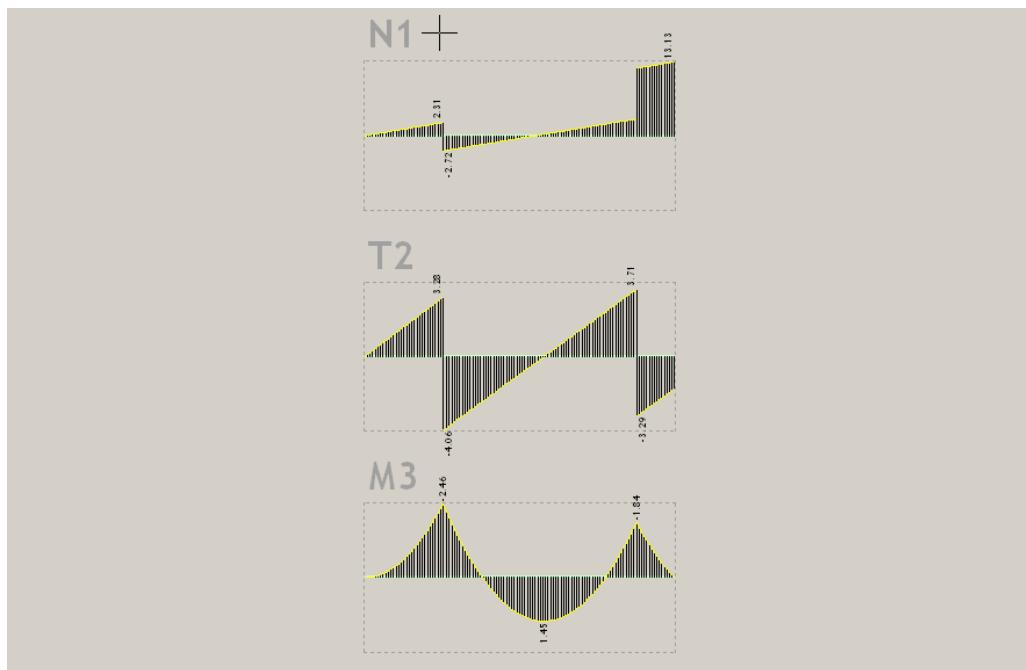
$$W_z = \frac{h \cdot b^2}{6} = 336 \text{ cm}^3$$

$$I_z = \frac{h \cdot b^3}{12} = 2016 \text{ cm}^4$$

4.3.1 Mejno stanje nosilnosti

Maksimalne notranje statične količine:

- $N_{sd} = 13,13 \text{ kN}$ (nateg)
- $N_{sd} = -3,07 \text{ kN}$ (tlak)
- $V_{sd} = 4,24 \text{ kN}$
- $M_{y,sd} = 2,46 \text{ kNm}$
- $M_{z,sd} = 0 \text{ kNm}$



Slika 46: Notranje napetosti špirovca

KONTROLA NATEZNE NAPETOSTI VZPOREDNO Z VLAKNI

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$0,078 \leq 0,969\dots$ pogoju je zadoščeno

KONTROLA TLAČNE NAPETOSTI VZPOREDNO Z VLAKNI

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

$0,018 \leq 1,454 \dots$ pogoju je zadoščeno

KONTROLA UPOGIBNE NAPETOSTI

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

$0,378 \leq 1 \dots$ pogoju je zadoščeno

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

$0,264 \leq 1 \dots$ pogoju je zadoščeno

KONTROLA STRIŽNE NAPETOSTI

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

$0,038 \leq 0,173 \dots$ pogoju je zadoščeno

KONTROLA NAPETOSTI PRI KOMBINACIJI UPOGIBA IN NATEGA

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

$0,458 \leq 1 \dots$ pogoju je zadoščeno

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

$0,345 \leq 1 \dots$ pogoju je zadoščeno

KONTROLA NAPETOSTI PRI KOMBINACIJI UPOGIBA IN TLAKA

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

$0,378 \leq 1$... pogoju je zadoščeno

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

$0,265 \leq 1$... pogoju je zadoščeno

KONTROLA UPOGIBNO ALI UPOGIBNO-TLAČNO OBREMENJENIH NOSILCEV

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{cz} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$0,208 \leq 1$... pogoju je zadoščeno

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^3}{h \cdot t_{eff}} \cdot E_{0,05} = 13,371 \text{ kN/cm}^2$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = 0,424 \rightarrow k_{crit} = 1$$

$$t_z = \sqrt{\frac{l_z}{A}} = 3,464 \text{ cm}$$

$$\lambda_z = \frac{l_z}{t_z} = 128,172$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,05}}} = 2,174$$

$$k_\pi = 0,5 \cdot (1 + \beta_\pi \cdot (\lambda_{rel,\pi} - 0,3) + \lambda_{rel,\pi}^2) = 3,052$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_{p/z} \cdot \sqrt{k_{p/z}^2 - \lambda_{rel,p/z}^2}} = 0,193$$

4.3.2 Mejno stanje uporabnosti

Največji upogib špirovca se pojavi v OK 3 in sicer v velikostnem rangu 0,82 cm. Uklonska dolžina špirovca je 444 cm.

$$W_{fin} = W_{inst} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def})$$

$$W_{fin} = 0,82 \text{ cm}$$

Dejanski upogib špirvca ne presega dovoljenega.

$$W_{inst} = 0,82 \text{ cm}$$

$$\Psi_2 = 0$$

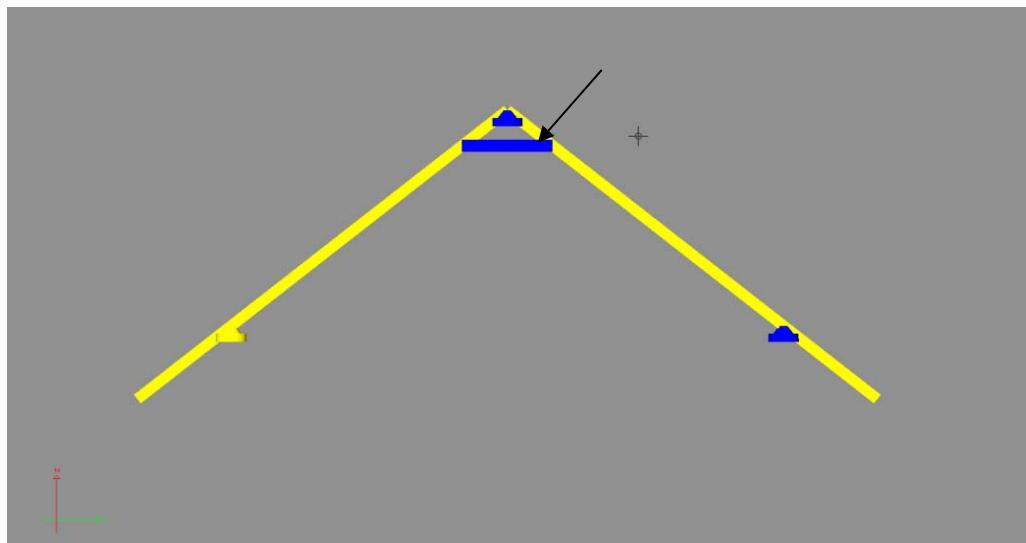
$$k_{def} = 0,8$$

Preglednica 9: Dovoljene deformacije špirovca

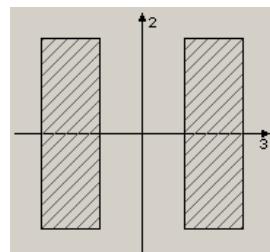
W_{inst}	$W_{net,fin}$	W_{fin}
1,48 cm	1,78 cm	2,96 cm

Glede na mejno stanje uporabnosti, dejanske vrednosti ne presegajo dovoljenih.

4.4 DIMENZIONIRANJE ŠKARNIKA



Slika 47: Pozicija škarnika



Slika 48: Karakteristika prereza škarnika 2x5/16

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

$$h/b = 1,60$$

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

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

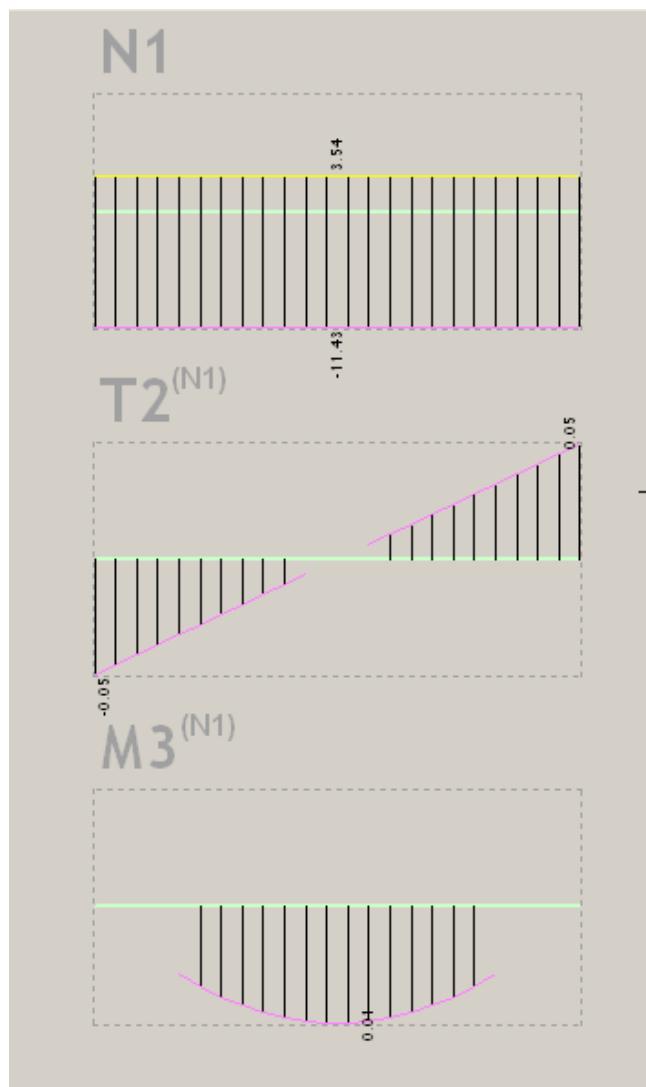
$$W_z = \frac{h \cdot b^2}{6} = 266,67 \text{ cm}^3$$

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

4.4.1 Mejno stanje nosilnosti

Maksimalne notranje statične količine

- $N_{sd} = 3,54 \text{ kN}$ (nateg)
- $N_{sd} = -11,43 \text{ kN}$ (tlak)
- $V_{sd} = 0,05 \text{ kN}$
- $M_{y,sd} = 0,01 \text{ kNm}$
- $M_{z,sd} = 0 \text{ kNm}$



Slika 49: Notranje napetosti škarnika

KONTROLA NATEZNE NAPETOSTI VZPOREDNO Z VLAKNI

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$0,022 \leq 0,969 \dots$ pogoju je zadoščeno

KONTROLA TLAČNE NAPETOSTI VZPOREDNO Z VLAKNI

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

$0,071 \leq 1,454 \dots$ pogoju je zadoščeno

KONTROLA UPOGIBNE NAPETOSTI

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

$0,001 \leq 1 \dots$ pogoju je zadoščeno

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

$0,001 \leq 1 \dots$ pogoju je zadoščeno

KONTROLA STRIŽNE NAPETOSTI

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

$0,000 \leq 0,173 \dots$ pogoju je zadoščeno

KONTROLA NAPETOSTI PRI KOMBINACIJI UPOGIBA IN NATEGA

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

$0,024 \leq 1 \dots$ pogoju je zadoščeno

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

$0,024 \leq 1 \dots$ pogoju je zadoščeno

KONTROLA NAPETOSTI PRI KOMBINACIJI UPOGIBA IN TLAKA

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

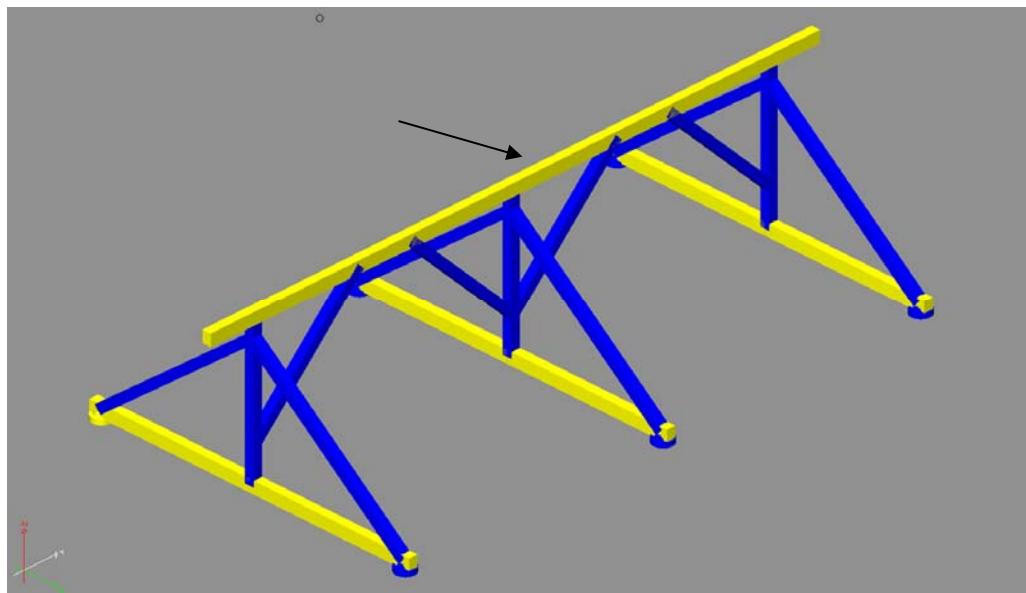
$0,012 \leq 1 \dots$ pogoju je zadoščeno

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

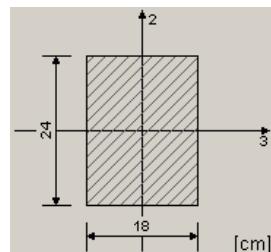
$0,012 \leq 1 \dots$ pogoju je zadoščeno

Glede na MSN dejanske vrednosti ne presegajo dovoljenih. MSU ne izvedemo, kajti že pri MSN-ju so dejanske vrednosti dosti manjše od dopustnih. Bistvo škarnikov je prenos tlačnih sil, ki se pojavijo pri obremenitvi konstrukcije.

4.5 DIMENZIONIRANJE SLEMENSKE LEGE



Slika 50: Pozicija slemenske lege



Slika 51: Karakteristika prereza slemenske lege 18/24

$$A = b \cdot h = 432 \text{ cm}^2$$

$$h/b = 1,33$$

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = 1728 \text{ cm}^3$$

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = 20736 \text{ cm}^4$$

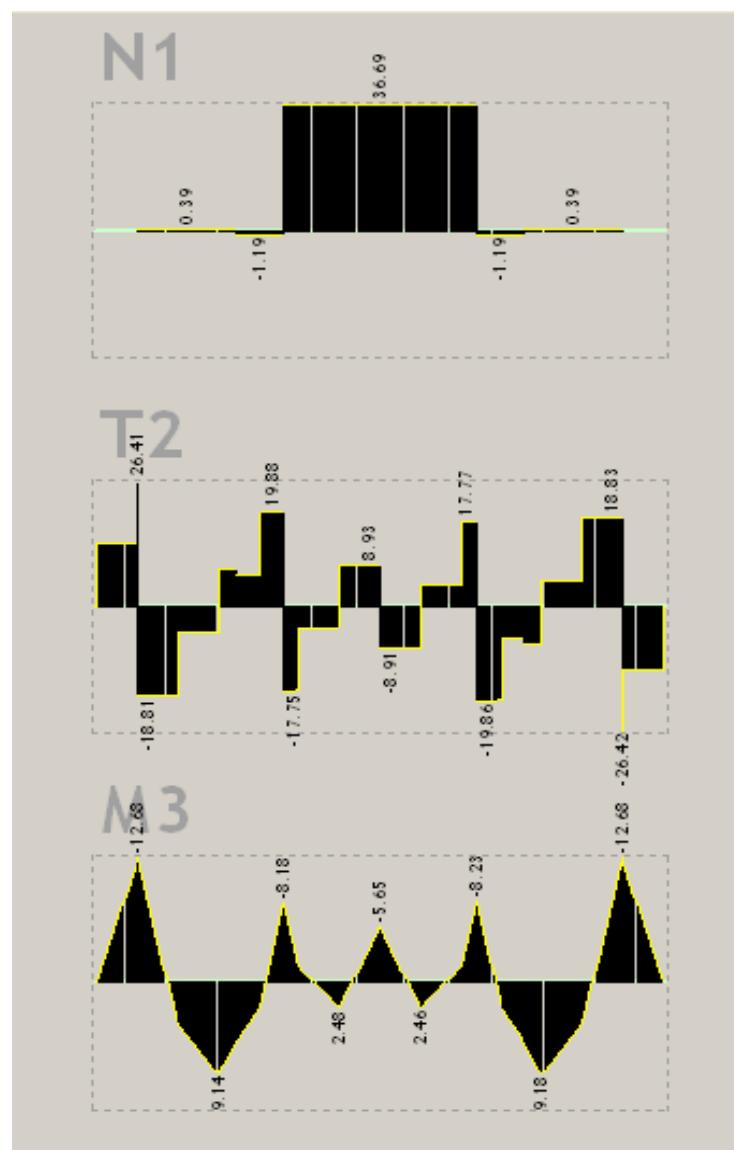
$$W_z = \frac{h \cdot b^2}{6} = 1296 \text{ cm}^3$$

$$I_z = \frac{h \cdot b^3}{12} = 11664 \text{ cm}^4$$

4.5.1 Mejno stanje nosilnosti

Maksimalne notranje statične količine:

- $N_{sd} = 36,69 \text{ kN}$ (nateg)
- $N_{sd} = -1,19 \text{ kN}$ (tlak)
- $V_{sd} = 26,42 \text{ kN}$
- $M_{y,sd} = 12,68 \text{ kNm}$
- $M_{z,sd} = 0 \text{ kNm}$



Slika 52: Notranje napetosti slemenske lege

KONTROLA NATEZNE NAPETOSTI VZPOREDNO Z VLAKNI

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$0,085 \leq 0,969 \dots$ pogoju je zadoščeno

KONTROLA TLAČNE NAPETOSTI VZPOREDNO Z VLAKNI

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

$0,003 \leq 1,454 \dots$ pogoju je zadoščeno

KONTROLA UPOGIBNE NAPETOSTI

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

$0,442 \leq 1 \dots$ pogoju je zadoščeno

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

$0,309 \leq 1 \dots$ pogoju je zadoščeno

KONTROLA STRIŽNE NAPETOSTI

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

$0,092 \leq 0,173 \dots$ pogoju je zadoščeno

KONTROLA NAPETOSTI PRI KOMBINACIJI UPOGIBA IN NATEGA

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

$0,529 \leq 1$... pogoju je zadoščeno

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

$0,397 \leq 1$... pogoju je zadoščeno

KONTROLA NAPETOSTI PRI KOMBINACIJI UPOGIBA IN TLAKA

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

$0,442 \leq 1$... pogoju je zadoščeno

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

$0,309 \leq 1$... pogoju je zadoščeno

KONTROLA UPOGIBNO ALI UPOGIBNO-TLAČNO OBREMENJENIH NOSILCEV

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{crit} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$0,202 \leq 1$... pogoju je zadoščeno

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^3}{h \cdot t_{eff}} \cdot E_{0,05} = 14,168 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = 0,412 \rightarrow k_{crit} = 1$$

$$t_2 = \sqrt{\frac{b}{A}} = 5,196 \text{ cm}$$

$$\lambda_z = \frac{l_z}{t_z} = 105,848$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,08}}} = 1,796$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 2,262$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_{p/z} + \sqrt{k_{p/z}^2 - \lambda_{rel,p/z}^2}} = 0,275$$

4.5.2 Mejno stanje uporabnosti

Največji upogib slemenske lege se pojavi v velikostnem rangu 0,60 cm, pri uklonski dolžini 550 cm.

$$W_{fin} = W_{inst} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def})$$

$$W_{fin} = 0,60 \text{ cm}$$

Dejanski upogib slemenske lege ne presega dovoljenega.

$$W_{inst} = 0,60 \text{ cm}$$

$$\Psi_2 = 0$$

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

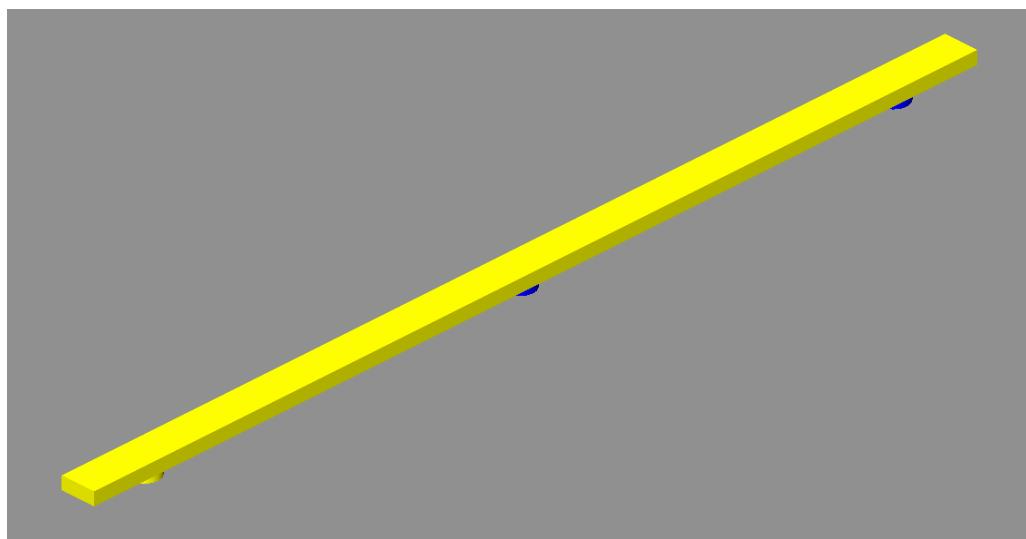
Preglednica 10: Dovoljene deformacije slemenske lege

W_{inst}	$W_{net,fin}$	W_{fin}
1,83 cm	2,20 cm	3,67 cm

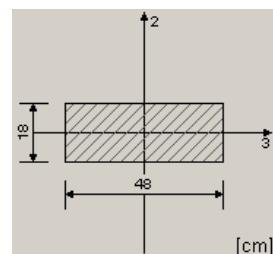
Glede na mejno stanje uporabnosti, dejanske vrednosti ne presegajo dovoljenih.

4.6 DIMENZIONIRANJE KAPNE LEGE

Zaradi problemov z modeliranjem tramovnega sklada 2 x 18 x 24 cm, sem kapno lego modeliral tako, da bi bila njegova višina 18 cm, širina pa 2 x 24 cm (48 cm). Predpostavili sem, da je ta kapna lega iz enega kosa. Se pravi da ne gre za tramovni sklad. Tako sem dosegel varno stran pri samem dimenzioniranju konstrukcije.



Slika 53: Model kapne lege



Slika 54: Karakteristika prereza slemenske lege 18/24

$$A = b \cdot h = 864 \text{ cm}^2$$

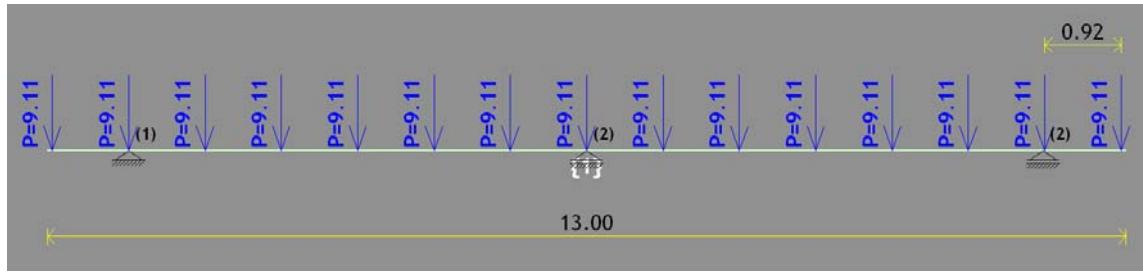
$$h/b = 0,38$$

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = 2592 \text{ cm}^3$$

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = 23328 \text{ cm}^4$$

$$W_z = \frac{b \cdot h^2}{6} = 6912 \text{ cm}^3$$

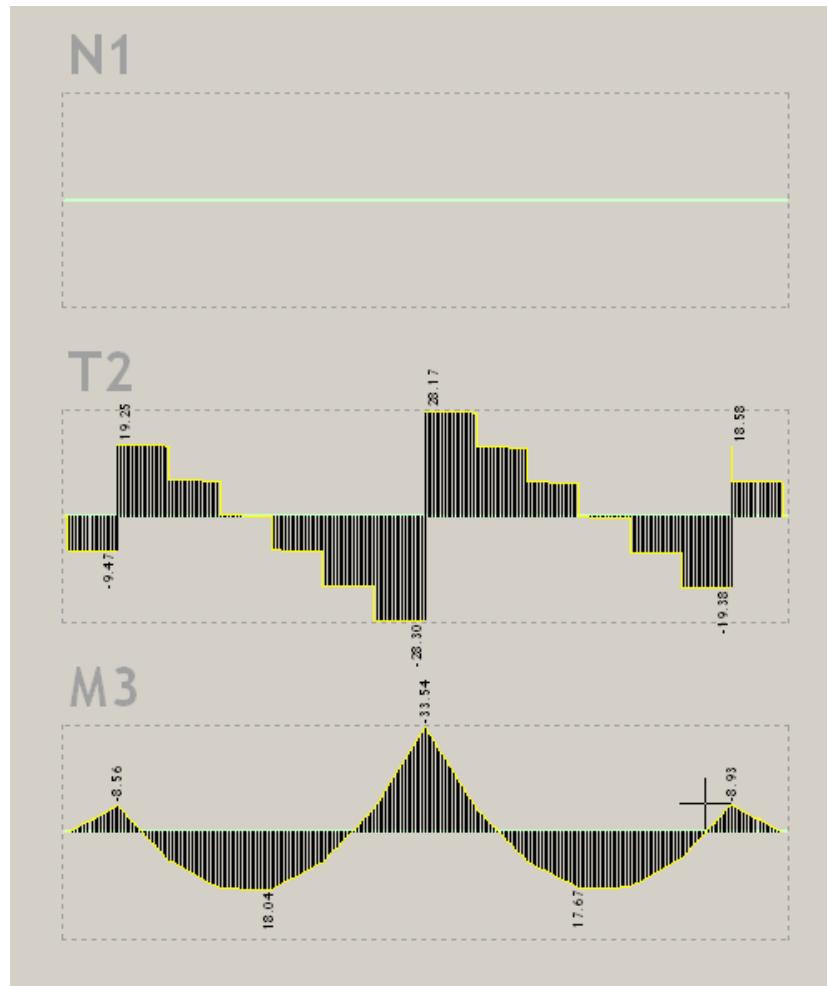
$$I_z = \frac{b \cdot h^3}{12} = 165888 \text{ cm}^4$$

Slika 55: Obremenitve kapne lege (točkovna obremenitev-reakcija podpore R_b)

4.6.1 Mejno stanje nosilnosti

Maksimalne notranje statične količine

- $N_{sd} = 0 \text{ kN}$ (nateg),
- $N_{sd} = 0 \text{ kN}$ (tlak),
- $V_{sd} = 28,30 \text{ kN}$,
- $M_{y,sd} = 33,54 \text{ kNm}$,
- $M_{z,sd} = 0 \text{ kNm}$.



Slika 56: Notranje napetosti kapne lege

KONTROLA NATEZNE NAPETOSTI VZPOREDNO Z VLAKNI

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$0,000 \leq 0,969\dots$ pogoju je zadoščeno

KONTROLA TLAČNE NAPETOSTI VZPOREDNO Z VLAKNI

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

$0,000 \leq 1,454\dots$ pogoju je zadoščeno

KONTROLA UPOGIBNE NAPETOSTI

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

0,779 ≤ 1 ... pogoju je zadoščeno

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

0,545 ≤ 1 ... pogoju je zadoščeno

KONTROLA STRIŽNE NAPETOSTI

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

0,049 ≤ 0,173 ... pogoju je zadoščeno

KONTROLA NAPETOSTI PRI KONBINACIJI UPOGIBA IN NATEGA

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

0,779 ≤ 1 ... pogoju je zadoščeno

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

0,545 ≤ 1 ... pogoju je zadoščeno

KONTROLA NAPETOSTI PRI KONBINACIJI UPOGIBA IN TLAKA

$$\left(\frac{\sigma_{t,0,d}}{f_{t,0,a}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,a}} + k_m \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,a}} \leq 1$$

$0,779 \leq 1$... pogoju je zadoščeno

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

$0,545 \leq 1$... pogoju je zadoščeno

KONTROLA UPOGIBNO ALI UPOGIBNO-TLAČNO OBREMENJENIH NOSILCEV

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{crit} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$0,607 \leq 1$... pogoju je zadoščeno

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^2}{h \cdot l_{eff}} \cdot E_{0,0G} = 134,330 \text{ kN/cm}^2$$

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = 0,134 \rightarrow k_{crit} = 1$$

$$l_z = \sqrt{\frac{l_u}{4}} = 13,856 \text{ cm}$$

$$\lambda_\sigma = \frac{l_u}{l_z} = 39,693$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,0G}}} = 0,673$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_\sigma \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 0,764$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_{p/z} + \sqrt{k_{p/z}^2 - \lambda_{rel,p/z}^2}} = 0,889$$

4.6.2 Mejno stanje uporabnosti

Največji upogib kapne lege se pojavi v velikostnem rangu 1,784 cm, pri uklonski dolžini 550 cm.

$$W_{fin} = W_{inst} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def})$$

$$W_{fin} = 1,784 \text{ cm}$$

Dejanski upogib kapne lege ne presega dovoljenega

$$W_{inst} = 1,784 \text{ cm}$$

$$\Psi_2 = 0$$

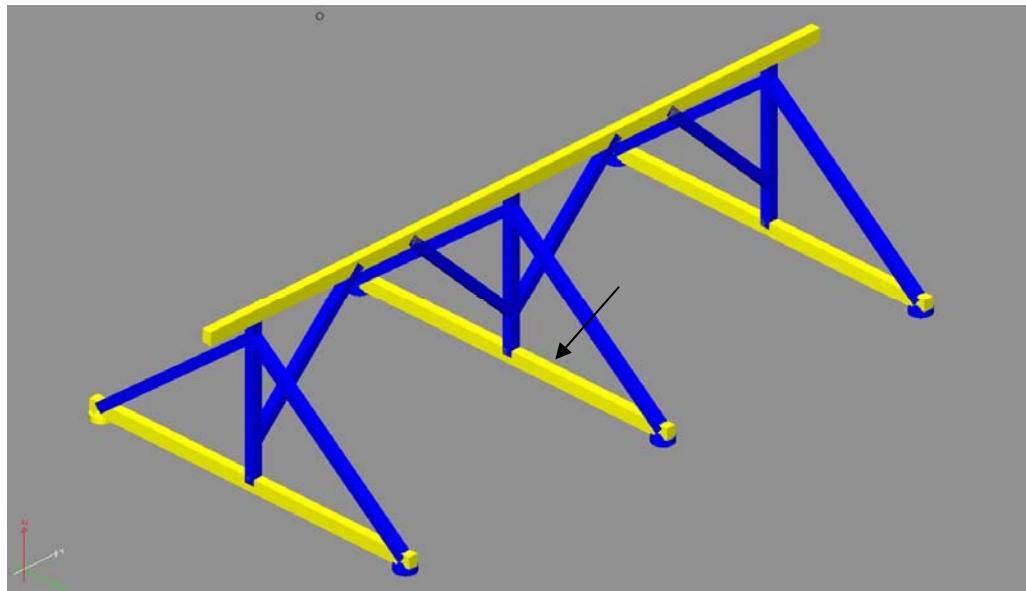
$$k_{def} = 0,8$$

Preglednica 11: Dovoljene deformacije kapne lege

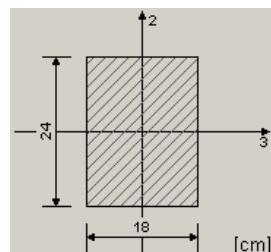
W_{inst}	$W_{net,fin}$	W_{fin}
1,83 cm	2,20 cm	3,67 cm

Glede na mejno stanje uporabnosti, dejanske vrednosti ne presegajo dovoljenih.

4.7 DIMENZIONIRANJE POVEZNIK



Slika 57: Pozicija poveznik



Slika 58: Karakteristika prereza poveznika 18/24

$$A = b \cdot h = 432 \text{ cm}^2$$

$$h/b = 1,33$$

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = 1728 \text{ cm}^3$$

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = 20736 \text{ cm}^4$$

$$W_z = \frac{h \cdot b^2}{6} = 1296 \text{ cm}^3$$

$$I_z = \frac{h \cdot b^3}{12} = 11664 \text{ cm}^4$$

4.7.1 Mejno stanje nosilnosti

Maksimalne notranje statične količine

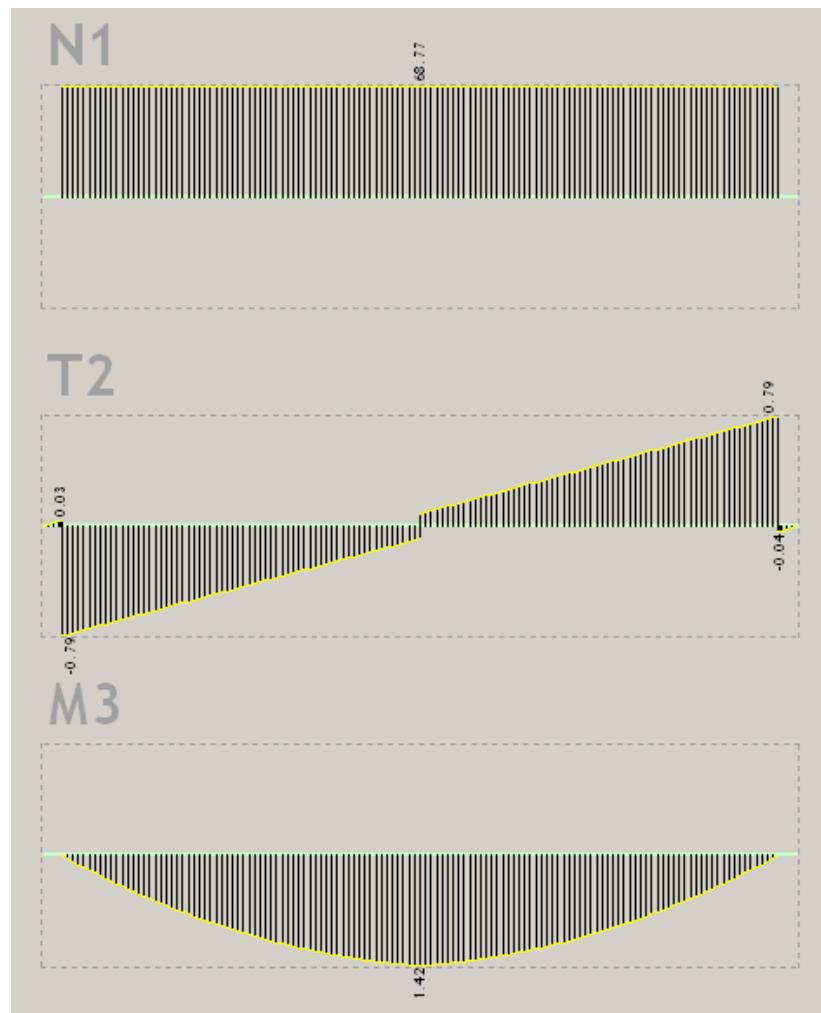
$$N_{sd} = 68,77 \text{ kN (nateg)}$$

$$N_{sd} = 0 \text{ kN (tlak)}$$

$$V_{sd} = 0,79 \text{ kN}$$

$$M_{y,sd} = 1,42 \text{ kNm}$$

$$M_{z,sd} = 0 \text{ kNm}$$



Slika 59: Notranje napetosti poveznika

KONTROLA NATEZNE NAPETOSTI VZPOREDNO Z VLAKNI

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$0,159 \leq 0,969 \dots$ pogoju je zadoščeno

KONTROLA TLAČNE NAPETOSTI VZPOREDNO Z VLAKNI

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

$0,000 \leq 1,454 \dots$ pogoju je zadoščeno

KONTROLA UPOGIBNE NAPETOSTI

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

$0,049 \leq 1 \dots$ pogoju je zadoščeno

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

$0,035 \leq 1 \dots$ pogoju je zadoščeno

KONTROLA STRIŽNE NAPETOSTI

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

$0,003 \leq 0,173 \dots$ pogoju je zadoščeno

KONTROLA NAPETOSTI PRI KOMBINACIJI UPOGIBA IN NATEGA

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

$0,214 \leq 1 \dots$ pogoju je zadoščeno

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

$0,199 \leq 1 \dots$ pogoju je zadoščeno

KONTROLA NAPETOSTI PRI KOMBINACIJI UPOGIBA IN TLAKA

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

$0,049 \leq 1 \dots$ pogoju je zadoščeno

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

$0,035 \leq 1 \dots$ pogoju je zadoščeno

KONTROLA UPOGIBNO ALI UPOGIBNO-TLAČNO OBREMENJENIH NOSILCEV

$$\left(\frac{\sigma_{m,d}}{k_{crit} \cdot f_{m,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{c,d}}{k_{crit} \cdot f_{c,0,d}} \leq 1$$

$0,002 \leq 1 \dots$ pogoju je zadoščeno

$$\sigma_{m,crit} = \frac{0,78 \cdot b^3}{h \cdot I_{eff}} \cdot E_{0,05} = 11,951 \text{ kN/cm}^2$$

$$k_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} = 0,447 \rightarrow k_{crit} = 1$$

$$l_z = \sqrt{\frac{b}{A}} = 5,196 \text{ cm}$$

$$\lambda_z = \frac{l_w}{l_z} = 124,708$$

$$\lambda_{rel,z} = \frac{\lambda_z}{\pi} \cdot \sqrt{\frac{f_{m,k}}{E_{0,08}}} = 2,116$$

$$k_z = 0,5 \cdot (1 + \beta_c \cdot (\lambda_{rel,z} - 0,3) + \lambda_{rel,z}^2) = 2,292$$

$$k_{c,z} = \frac{1}{k_{p/z} + \sqrt{k_{p/z}^2 - \lambda_{rel,p/z}^2}} = 0,203$$

4.7.2 Mejno stanje uporabnosti

Največji upogib poveznika se pojavi v velikostnem rangu 0,29 cm, pri uklonski dolžini 642 cm.

$$W_{fin} = W_{inst} \cdot (1 + \Psi_2 \cdot k_{def})$$

$$W_{fin} = 0,29 \text{ cm}$$

Dejanski upogib poveznika ne presega dovoljenega

$$W_{inst} = 0,29 \text{ cm}$$

$$\Psi_2 = 0$$

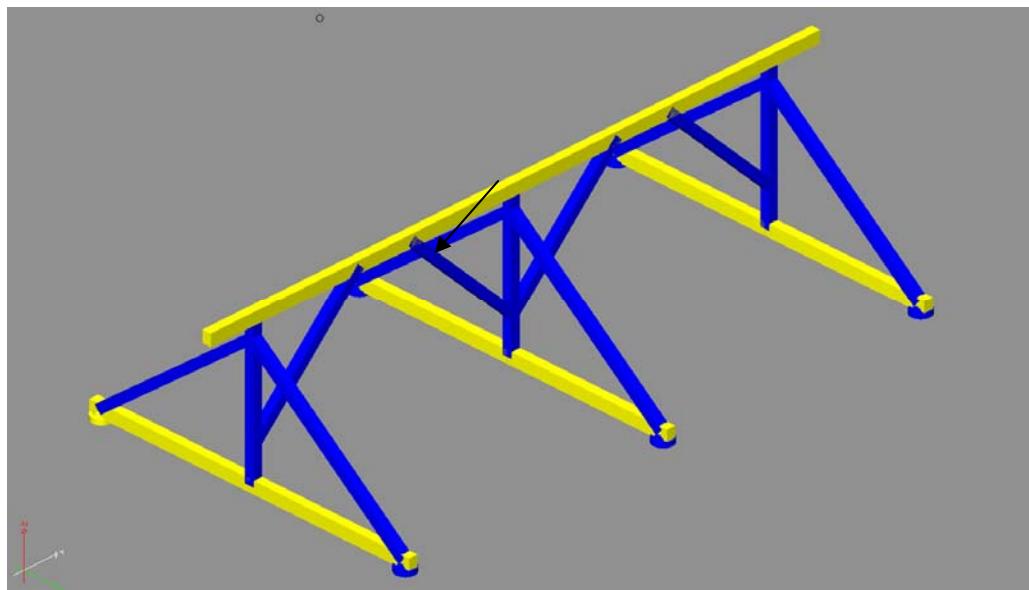
$$k_{def} = 0,8$$

Preglednica 12: Dovoljene deformacije poveznika

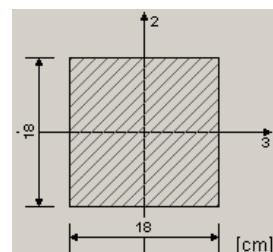
W_{inst}	$W_{net,fin}$	W_{fin}
2,16 cm	2,59 cm	4,32 cm

Glede na MSN in MSU, dejanske vrednosti ne presegajo dovoljenih.

4.8 DIMENZIONIRANJE SOHE



Slika 60: Pozicija sohe



Slika 61: Karakteristika prereza poveznika 18/18

$$A = b \cdot h = 324 \text{ cm}^2$$

$$h/b = 1,00$$

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = 972 \text{ cm}^3$$

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = 8748 \text{ cm}^4$$

$$W_z = \frac{h \cdot b^2}{6} = 972 \text{ cm}^3$$

$$I_z = \frac{h \cdot b^3}{12} = 8748 \text{ cm}^4$$

4.8.1 Mejno stanje nosilnosti

Maksimalne notranje statične količine

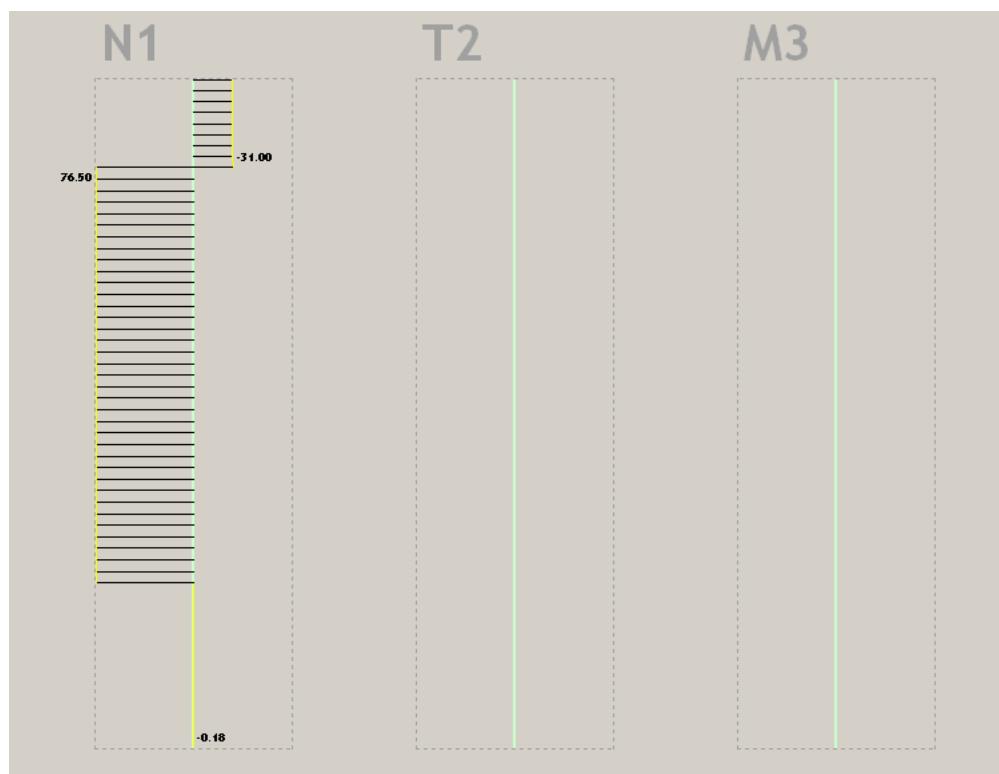
$$N_{sd} = 76,50 \text{ kN (nateg)}$$

$$N_{sd} = -31,00 \text{ kN (tlak)}$$

$$V_{sd} = 0,79 \text{ kN}$$

$$M_{y,sd} = 0 \text{ kNm}$$

$$M_{z,sd} = 0 \text{ kNm}$$



Slika 62: Notranje napetosti sohe

KONTROLA NATEZNE NAPETOSTI VZPOREDNO Z VLAKNI

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$$0,236 \leq 0,969 \dots \text{pogoju je zadoščeno}$$

KONTROLA TLAČNE NAPETOSTI VZPOREDNO Z VLAKNI

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

0,096 ≤ 1,454... pogoju je zadoščeno

KONTROLA UPOGIBNE NAPETOSTI

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

0,000 ≤ 1... pogoju je zadoščeno

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

0,000 ≤ 1... pogoju je zadoščeno

KONTROLA STRIŽNE NAPETOSTI

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

0,000 ≤ 0,173... pogoju je zadoščeno

KONTROLA NAPETOSTI PRI KOMBINACIJI UPOGIBA IN NATEGA

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

0,244 ≤ 1... pogoju je zadoščeno

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

0,244 ≤ 1... pogoju je zadoščeno

KONTROLA NAPETOSTI PRI KOMBINACIJI UPOGIBA IN TLAKA

$$\left(\frac{\sigma_{\sigma,0,d}}{f_{\sigma,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + km \cdot \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

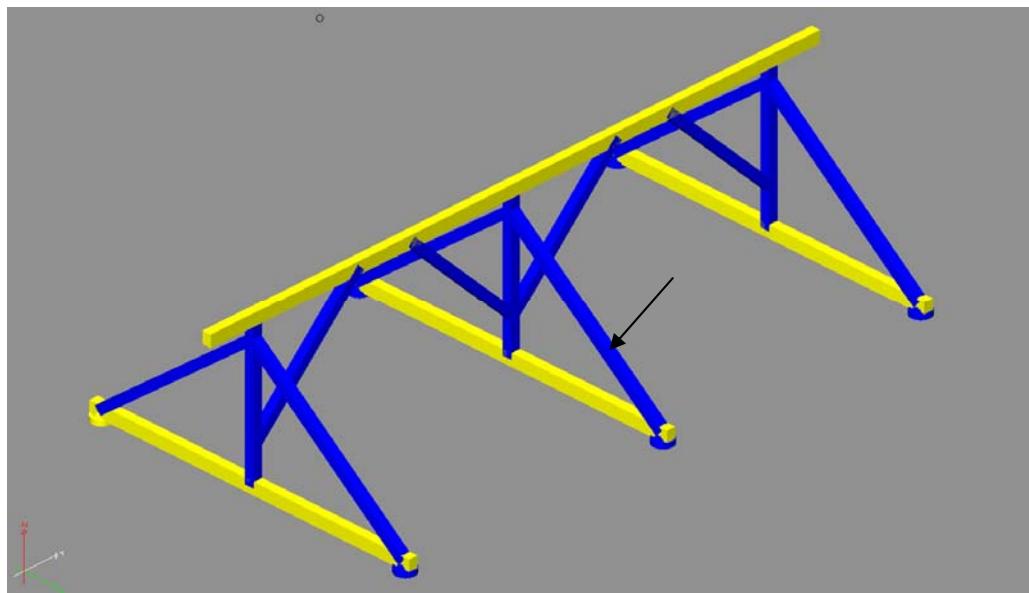
$0,019 \leq 1$... pogoju je zadoščeno

$$\left(\frac{\sigma_{\sigma,0,d}}{f_{\sigma,0,d}} \right)^2 + km \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} \leq 1$$

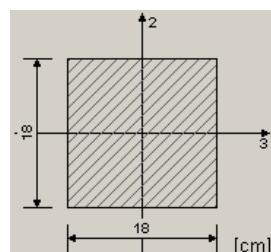
$0,019 \leq 1$... pogoju je zadoščeno

Glede na MSN dejanske vrednosti ne presegajo dovoljenih. MSU ne izvedemo, kajti že pri MSN-ju so dejanske vrednosti dosti manjše od dopustnih. Bistvo sohe je prenos tlačnih ter nateznih sil katere se pojavijo pri obremenitvi konstrukcije.

4.9 DIMENZIONIRANJE POŠEVNEGA OPIRAČA



Slika 63: Pozicija max. obremenjenega poševnega opirača



Slika 64: Karakteristika prereza poševnega opirača 18/18

$$A = b \cdot h = 324 \text{ cm}^2$$

$$h/b = 1,00$$

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = 972 \text{ cm}^3$$

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = 8748 \text{ cm}^4$$

$$W_z = \frac{h \cdot b^2}{6} = 972 \text{ cm}^3$$

$$I_z = \frac{h \cdot b^3}{12} = 8748 \text{ cm}^4$$

4.9.1 Mejno stanje nosilnosti

Maksimalne notranje statične količine

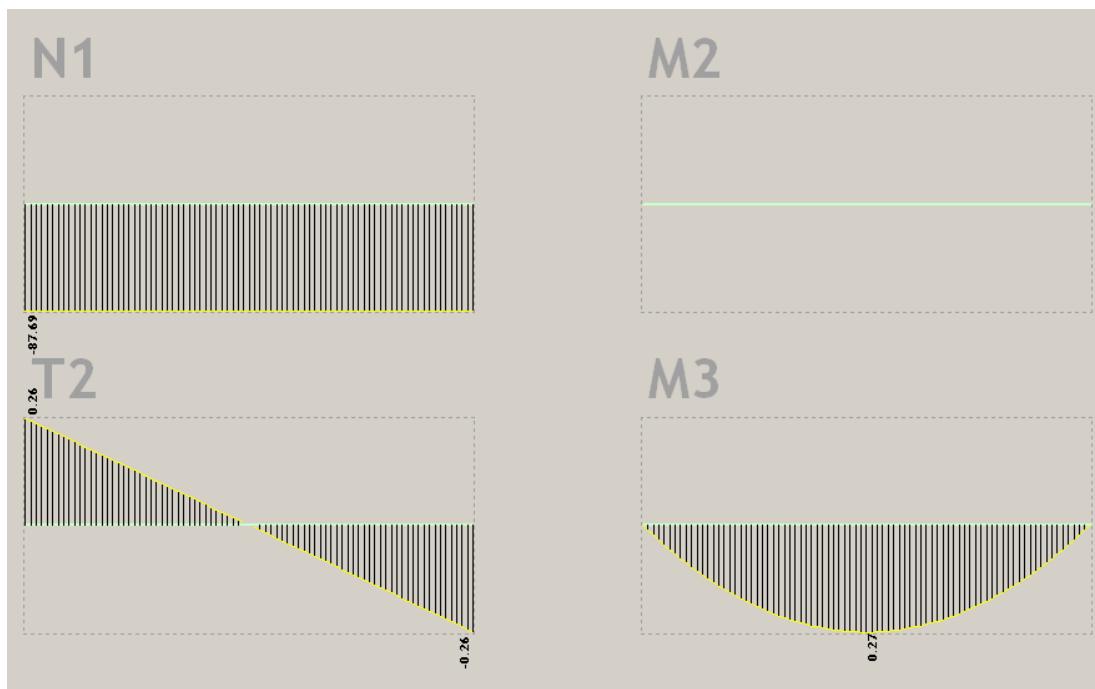
$$N_{sd} = 0 \text{ kN (nateg)}$$

$$N_{sd} = -87,69 \text{ kN (tlak)}$$

$$V_{sd} = 0,26 \text{ kN}$$

$$M_{y,sd} = 0,27 \text{ kNm}$$

$$M_{z,sd} = 0 \text{ kNm}$$



Slika 65: Notranje napetosti poševnega opirača

KONTROLA NATEZNE NAPETOSTI VZPOREDNO Z VLAKNI

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$$0,000 \leq 0,969 \dots \text{pogoju je zadoščeno}$$

KONTROLA TLAČNE NAPETOSTI VZPOREDNO Z VLAKNI

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

$$0,271 \leq 1,454 \dots \text{pogoju je zadoščeno}$$

KONTROLA UPOGIBNE NAPETOSTI

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

0,017 ≤ 1...pogoju je zadoščeno

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

0,012 ≤ 1...pogoju je zadoščeno

KONTROLA STRIŽNE NAPETOSTI

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

0,001 ≤ 0,173...pogoju je zadoščeno

KONTROLA NAPETOSTI PRI KONBINACIJI UPOGIBA IN NATEGA

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

0,017 ≤ 1...pogoju je zadoščeno

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

0,012 ≤ 1...pogoju je zadoščeno

KONTROLA NAPETOSTI PRI KONBINACIJI UPOGIBA IN TLAKA

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

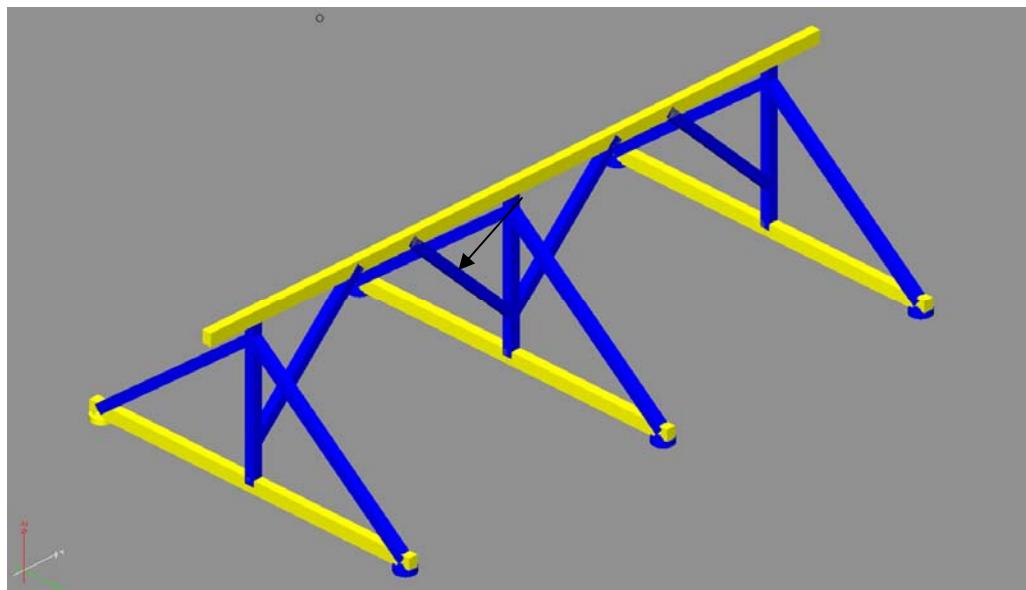
0,172 ≤ 1...pogoju je zadoščeno

$$\left(\frac{\sigma_{c,ud}}{f_{c,ud}} \right)^2 + km \cdot \frac{\sigma_{m,yd}}{f_{m,yd}} + \frac{\sigma_{m,zd}}{f_{m,zd}} \leq 1$$

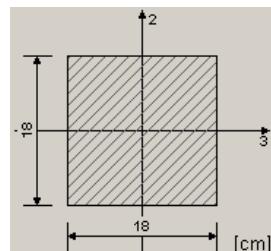
$0,167 \leq 1$... pogoju je zadoščeno

Glede na MSN dejanske vrednosti ne presegajo dovoljenih. MSU ne izvedemo, kajti že pri MSN-ju so dejanske vrednosti dosti manjše od dopustnih. Bistvo poševnih opiračev je prenos tlačnih sil, ki se pojavijo pri obremenitvi konstrukcije.

4.10 DIMENZIONIRANJE ROKE



Slika 66: Pozicija max. obremenjene roke



Slika 67: Karakteristika prereza roke 18/18

$$A = b \cdot h = 324 \text{ cm}^2$$

$$h/b = 1,00$$

$$W_y = \frac{b \cdot h^2}{6} = 972 \text{ cm}^3$$

$$I_y = \frac{b \cdot h^3}{12} = 8748 \text{ cm}^4$$

$$W_z = \frac{h \cdot b^2}{6} = 972 \text{ cm}^3$$

$$I_z = \frac{h \cdot b^3}{12} = 8748 \text{ cm}^4$$

4.10.1 Mejno stanje nosilnosti

Maksimalne notranje statične količine

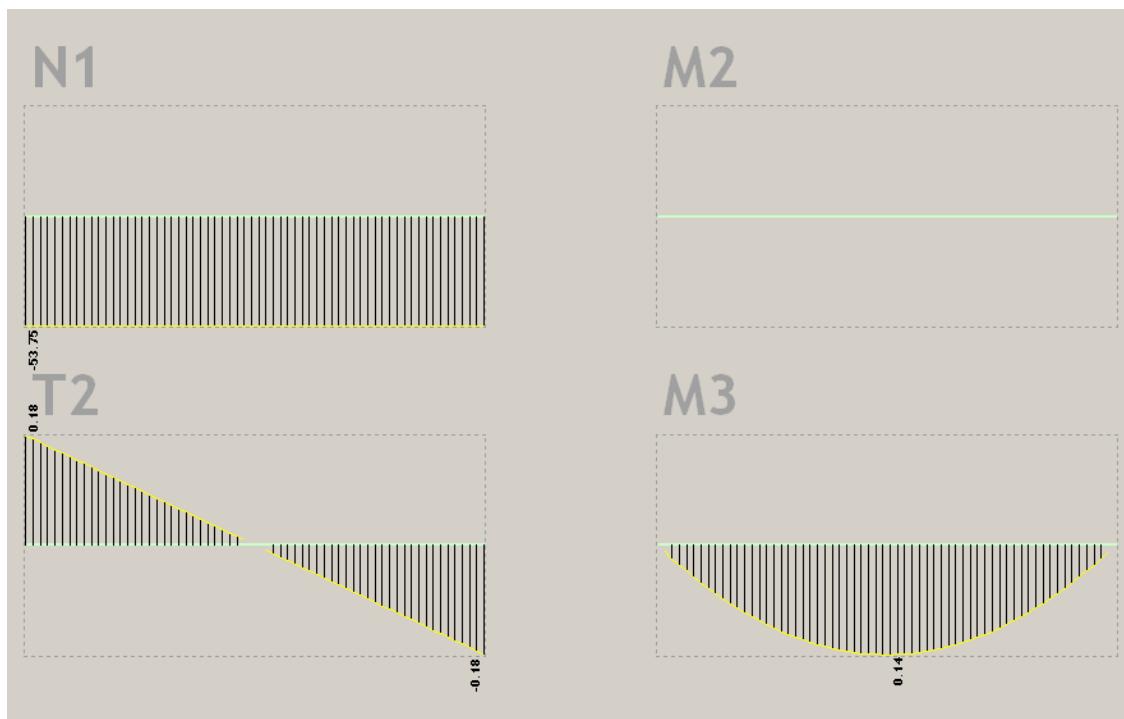
$$N_{sd} = 0 \text{ kN (nateg)}$$

$$N_{sd} = -53,75 \text{ kN (tlak)}$$

$$V_{sd} = 0,18 \text{ kN}$$

$$M_{y,sd} = 0,14 \text{ kNm}$$

$$M_{z,sd} = 0 \text{ kNm}$$



Slika 68: Notranje napetosti roke

KONTROLA NATEZNE NAPETOSTI VZPOREDNO Z VLAKNI

$$\sigma_{t,0,d} \leq f_{t,0,d}$$

$$0,000 \leq 0,969 \dots \text{pogoju je zadoščeno}$$

KONTROLA TLAČNE NAPETOSTI VZPOREDNO Z VLAKNI

$$\sigma_{c,0,d} \leq f_{c,0,d}$$

0,166 ≤ 1,454... pogoju je zadoščeno

KONTROLA UPOGIBNE NAPETOSTI

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

0,009 ≤ 1... pogoju je zadoščeno

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

0,006 ≤ 1... pogoju je zadoščeno

KONTROLA STRIŽNE NAPETOSTI

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

0,001 ≤ 0,173... pogoju je zadoščeno

KONTROLA NAPETOSTI PRI KOMBINACIJI UPOGIBA IN NATEGA

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

0,009 ≤ 1... pogoju je zadoščeno

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

0,006 ≤ 1... pogoju je zadoščeno

KONTROLA NAPETOSTI PRI KOMBINACIJI UPOGIBA IN TLAKA

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + km \cdot \frac{\sigma_{m,a,d}}{f_{m,a,d}} \leq 1$$

$0,067 \leq 1$... pogoju je zadoščeno

$$\left(\frac{\sigma_{c,0,d}}{f_{c,0,d}} \right)^2 + km \cdot \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,a,d}}{f_{m,a,d}} \leq 1$$

$0,064 \leq 1$

Glede na MSN dejanske vrednosti ne presegajo dovoljenih. MSU ne izvedemo, kajti že pri MSN-ju so dejanske vrednosti dosti manjše od dopustnih. Bistvo rok je prenos tlačnih sil, ki se pojavijo pri obremenitvi konstrukcije.

5 RAZPRAVA IN SKLEPI

Na podlagi analize lesene konstrukcije s pomočjo evrokod sistema lahko strnemo naslednje ugotovitve:

- Račun lesene konstrukcije po evrokod sistemu temelji na metodi mejnih stanj. Konstrukcija oziroma njena komponenta (element, prerez) se smatra primeren za uporabo, dokler ne preseže mejno stanje, preko katerega niso več izpolnjeni kriteriji nosilnosti ali uporabnosti konstrukcijske komponente.
- Sam preračun analizirane konstrukcije kaže da je konstrukcija varno konstruirana, ter da z vidika kriterijev nosilnosti ter uporabnosti po evrokod sistemu ustreza nosilnostnim ter uporabnostnim kriterijem. Še več, z vidika porabe materiala pa je potratna. Tako da bi lahko razmislili o optimizaciji same konstrukcije v manjšanju presekov elementov, ter s tem majši porabi materjala. Oziroma v smislu drugačne zasnove konstrukcije z namenom manjše porabe materjala.
- Glede na to, da se pri lesenih konstrukcijah uporablja masiven žagan les, lameliran les, LVL, ter razne lesene plošče – torej materiali, ki so anizotropni, vlknasti po strukturi in izpostavljeni spremembam vlage in trajanju obtežb, je potrebno pricizno definirati karakteristične vrednosti posameznih lastnosti materiala. Oziroma je potrebno uporabljati les kateri je razvrščen v trdnostne razrede. Kajti le tako je možno optimalno konstruirati sam prerez določenega elementa.
- Zaradi zapletenosti samega računa je nujna uporaba sodobnih računskih pripomočkov oz. računalniških programov zaradi kompleksnosti Evrokod sistema.

Evrokodi se vsebinsko navezujejo še na vrsto drugih standardov. To so standardi o lastnosti in kvaliteti materialov, zahtevah za uporabo, preizkušanju, določitvi karakterističnih vrednosti. Posebej pomembni so standardi ki določajo trdnostne razrede masivnega in lepljenega lameliranega lesa.

6 POVZETEK

Poenotenje evropskih standardov (evrokodov) namreč tudi od strokovnjakov za lesene konstrukcije v Sloveniji zahteva njihovo poznavanje in uporabo. S »Pravilnikom o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov«, Uradni list RS 101/2005 z dne 11.11.2005, ki se uporablja za projektiranje, gradnjo in vzdrževanje novih objektov, rekonstrukcijo obstoječih ter nadomestne gradnje, je namreč določeno, da je zahteva glede mehanske odpornosti in stabilnosti objektov mogoče izpolniti le s projektiranjem in gradnjo v skladu z načeli in pravili evrokodov.

V nalogi smo hoteli ugotoviti ali obstoječa lesena konstrukcija zgrajena po izkustvu »tesarskih mojstrov« ustreza veljavni zakonodaji oz. veljavnim evrokod standardom. V ta namen smo obstoječo konstrukcijo premerili, izmerili smo preseke ter dolžine konstrukcijskih elementov. Predvidili smo da je obstoječa konstrukcija grajena iz žaganega lesa II. kakovostnega razreda po JUS klasifikaciji, kar ustreza trdnostnemu razredu C24 po EC5. Računska analiza objekta obsega določitev obtežb, statično analizo ter dimenzioniranje konstrukcijskih elementov. Določitev obtežb zajema določitev lastne teže elementov, koristno obtežbo, obtežbo snega in obtežbo vetra ter kombinacijo naštetih vplivov, po standardih Evrokod. Za statično analizo je bil uporabljen program Tower 3D Model Builder 6.0 DEMO (Radimpex) iz katerega so vzete tudi slike obremenitev, reakcij, notranjih statičnih količin ter deformacije konstrukcijskih elementov. Izvedli smo kontrolo napetosti in deformacij po SIST EN 1995-1-1: 2005, ki vsebuje pravila za projektiranje lesenih konstrukcij.

Ugotovili smo da je obstoječa konstrukcija grajena varno, ter da ustrza evrokod standardom. Vendar pa je z vidika porabe materiala potratna. Zaradi kompleksnosti evrokod sistema je nujno potrebna tudi uporaba sodobnih računskih pripomočkov ter računalniških programov. Ugotovljeno je bilo tudi da za analizo potrebujemo les oz. lesne elemente katerim so določeni trdnostni razredi lesa.

7 VIRI

Becker K., Blass J. H. 2006. Ingenieurholzbau nach DIN 1052 Einführung mit Beispielen. Berlin, Ernst & Sohn: 486 str.

Eckhard M., Ehrmann W., Hammerl D., Nestle H., Nutsch T., Nutsch W., Schulz P., Willgerodt F., 2008. Lesarski priročnik. Ljubljana, DZS: 615 str.

Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo Univerza v Ljubljani. Trdnostni razredi karakteristične in projektne vrednosti.

http://www.fgg.unilj.si/kmlk/Drago/LK_I/LK_I_2009_10/Trdnostni_razredi_2008.pdf
(4. apr. 2011)

Gojković M. 1989. Drvene konstrukcije. Beograd, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu: 524 str.

Gornik Bučar D. 2009. Razvrščanje konstrukcijskega lesa. V: Gradnja z lesom. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 114-118

Kujundžić V. 1989. Savremene drvene konstrukcije. Beograd, Gradevinska knjiga: 301 str.

Premrov M., Dobrila P. 2008. Lesene konstrukcije. Maribor, Fakulteta za gradbeništvo: 347 str.

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

SIST EN 1991-1-1: 2004/A101. Vplivi na konstrukcije – 1-1. del: Splošni vplivi – Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb - Nacionalni dodatek, 2005

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

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

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

SIST EN 1991-1-4: 2005/A101. Vplivi na konstrukcije – 1-4. del: Splošni vplivi – Vplivi vetra - Nacionalni dodatek, 2007

SIST EN 338 Konstrukcijski les – Trdnostni razredi, 2004

Srpčič J. 2009. Les za gradbene konstrukcije: 6 str.

http://www.lesena-gradnja.si/html/img/pool/Les_za_gradbene_konstrukcije.pdf
(4. apr. 2011)

Vratuša S. 2009. Evropski standardi za projektiranje lesenih konstrukcij. V: Gradnja z lesom. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Biotehniška fakulteta, Oddelek za lesarstvo: 164-168

Vratuša S., Premrov M. 2009. Evrokod 5: Projektiranje lesenih konstrukcij. V: Priročnik za projektiranje lesenih konstrukcij po Evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije: 5.1-5.117

Waller E., 2010. Karakteristične vrednosti dvojnih vezanih kozolcev 12 str.

http://www.lesena-gradnja.si/html/img/pool/Kozolci_Wallner.pdf (4.apr.2011)

ZAHVALA

Pri izdelavi diplomske naloge bi se zahvalil prof. dr. Bojan Bučarju in doc. dr. Marjanu Mediču, ki sta me vodila in mi pomagala pri pisanju diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi vsem domačim, ki so mi vedno stala ob strani tako z moralno kot tudi s finančno podporo. Zahvaljujem se tudi vsem sošolcem, profesorjem in asistentom, ki so zaslužni, da nam na predavanjih in vajah nikoli ni bilo dolgčas. Zahvalil bi se tudi punci Tari za pomoč in moralno podporo.

HVALA

UNIVERZA V LJUBLJANI
BIOTEHNIŠKA FAKULTETA
ODDELEK ZA LESARSTVO

Miha Vesel

**ANALIZA OBSTOJEČE LESEN KONSTRUKCIJE Z
EVROKOD SISTEMOM**

DIPLOMSKO DELO

Univerzitetni študij

Ljubljana, 2011