

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



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

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

To je izvirna različica zaključnega dela.

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

Lavrenčič, M., 2014. Vpliv delno togih spojev na globalno stabilnost okvirjev. Diplomaska naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo. (mentor Korelc, J., somentor Može, P.): 39 str.

Datum arhiviranja: 09-10-2014

University
of Ljubljana

Faculty of
*Civil and Geodetic
Engineering*



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

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

This is original version of final thesis.

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

Lavrenčič, M., 2014. Vpliv delno togih spojev na globalno stabilnost okvirjev. B.Sc. Thesis. Ljubljana, University of Ljubljana, Faculty of civil and geodetic engineering. (supervisor Korelc, J., co-supervisor Može, P.): 39 pp.

Archiving Date: 09-10-2014

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta za
*gradbeništvo in
geodezijo*



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

**UNIVERZITETNI
ŠTUDIJSKI PROGRAM
PRVE STOPNJE
GRADBENIŠTVO**

Kandidat:

Diplomska naloga št.: 129/B-GR

Graduation thesis No.: 129/B-GR

Mentor:

Predsednik komisije:

izr. prof. dr. Janko Logar

Somentor:

Ljubljana, 16. 09. 2014

STRAN ZA POPRAVKE

Stran z napako	Vrstica z napako	Namesto	Naj bo
----------------	------------------	---------	--------

IZJAVA O AVTORSTVU

Podpisani Marko Lavrenčič izjavljam, da sem avtor diplomske naloge z naslovom »Vpliv delno togih spojev na globalno stabilnost okvirjev«.

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

Izjavljam, da dovoljujem objavo elektronske različice v digitalnem repozitoriju.

Ljubljana, september 2014

Marko Lavrenčič

BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK

UDK: 624.014.2(497.4)(043.2)
Avtor: Marko Lavrenčič
Mentor: prof. dr. Jože Korelc
Somentor: viš. pred. dr. Primož Može
Naslov: Vpliv delno togih spojev na globalno stabilnost okvirjev
Tip dokumenta: diplomska naloga - univerzitetni študij
Obseg in oprema: 39 str., 12 pregl., 34 sl., 1 pril.
Ključne besede: delno togi spoji, delno nosilni spoji, stabilnost okvirjev, duktilnost, plastični členek, plastična nosilnost spojev, togostni koeficienti

Izvleček:

V diplomski nalogi ugotavljam kako delno togi spoji vplivajo na obnašanje jeklenih okvirjev. Celotna diplomska naloga je obravnavana na primeru okvirja, ki je del izmišljenega večetažnega objekta. Najprej so dimenzionirani nosilci in stebri, nato pa je, v prvem delu računa spojev, z uporabo komponentne metode, izračunana momentna nosilnost obravnavanih spojev. Ti so zasnovani kot vijačeni spoji prečka steber s podaljšano čelno pločevino. V drugem delu je prav tako po komponentni metodi izračunana začetna togost spojev $S_{j,ini}$. S pomočjo nosilnosti ter togosti je nato definiran graf moment-zasuk, ki določa obnašanje vozlišča. V programu SCIA Engineer 2013 je nato opravljena geometrijsko nelinearna numerična analiza, kjer so spoji modelirani kot nelinearne vzmeti. Kot rezultate opazujem faktor kritične obtežbe α_{cr} , horizontalni pomik zgornje etaže konstrukcije ter zasuke spojev. Pri osnovni zasnovi spoja nato spreminjam debelino čelne pločevine in opazujem kako se s tem spreminjajo prej navedene količine.

BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION

UDC: 624.014.2(497.4)(043.2)
Author: Marko Lavrenčič
Supervisor: Prof. Jože Korelc, Ph. D.
Co-advisor: Sen. Lect. Primož Može, Ph. D.
Title: Influence of semi-rigid connections on global stability of frames
Document type: Graduation Thesis – University studies
Notes: 39 p., 12 tab., 34 fig., 1 ann.
Key words: semi-rigid connections, partial strength connections, frame stability, ductility, plastic hinge, plastic connection resistance, stiffness coefficient

Abstract:

Influence of semi-rigid connections on behaviour of steel frames is analyzed in this thesis. The entire thesis is based on a steel frame, part of a fictitious multi-storey building. Firstly the beams and columns are designed, which is followed by the first chapter concerning the connections, in which the moment capacity of the connections is calculated using the component method. The joints are designed as bolted extended end plate connections. In the following part the initial rotational stiffness of the connection $S_{j,ini}$ is calculated, also using the component method. Using moment capacity and stiffness, the moment-rotation diagram, which defines the behaviour of the connection, is defined. A geometrically nonlinear numerical analysis is then performed in SCIA Engineer 2013, where joints are modelled as nonlinear springs. From the results, the critical load coefficient α_{cr} , horizontal displacement of the upper storey and the rotation of joints are considered. Furthermore the thickness of the end plate is then altered and the effect on the results listed before is considered.

ZAHVALA

Za nasvete, napotke ter strokovno pomoč pri izdelavi diplomske naloge se zahvaljujem mentorju prof. dr. Jožetu Korelcu in predvsem somentorju viš. pred. Primožu Možetu. Zahvala gre tudi moji družini, ki me je med študijem vedno spodbujala in podpirala. Prav tako hvala vsem prijateljem sošolcem in sošolkam, s katerimi smo v zadnjih treh letih preživeli veliko lepih trenutkov.

KAZALO VSEBINE

STRAN ZA POPRAVKE.....	I
IZJAVA O AVTORSTVU.....	II
BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK.....	III
BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION	IV
ZAHVALA.....	V
KAZALO PREGLEDNIC.....	VIII
KAZALO SLIK.....	IX
1 Uvod	1
2 Delitev spojev	2
2.1 Nosilnost.....	2
2.2 Togost	3
3 Obravnavana konstrukcija.....	4
3.1 Material	4
3.2 Vplivi na konstrukcijo	4
3.3 Obtežne kombinacije.....	5
3.4 Račun po teoriji drugega reda	5
3.5 Kontrola nosilnosti prečke.....	6
3.6 Kontrola nosilnosti stebra	7
4 Spoji	10
4.1 Zasnova spojev	10
4.2 Material	11
4.3 Nosilnost spoja	11
4.3.1 Odpornost natezne cone	13
4.3.2 Kontrola tlačene cone.....	18
4.3.3 Strižni panel	20
4.3.4 Račun momentne kapacitete spoja	21
4.3.5 Kontrola vertikalnega striga	22
4.3.6 Račun ojačitev.....	22
4.3.7 Kontrola zvarov.....	25
4.4 Rotacijska togost spoja	26
4.4.1 Natezna cona	26

4.4.2	Strižna cona	28
4.4.3	Tlačna cona.....	29
4.5	Rotacijska kapaciteta.....	29
4.6	Razvrstitev vozlišča.....	30
4.6.1	Nosilnost.....	30
4.6.2	Togost.....	30
5	Numerična analiza okvirja	31
5.1	Globalna analiza	31
5.2	Modeliranje vozlišč.....	32
5.3	Rezultati analize	32
6	Zaključek.....	38
Viri		39

KAZALO PREGLEDNIC

Preglednica 1: Komponente v spoju.....	11
Preglednica 2: Nosilnost nadomestnih T-elementov spoja konfiguracije 1	18
Preglednica 3: Nosilnost nadomestnih T-elementov spoja konfiguracije 2	24
Preglednica 4: Nosilnost obravnavanih spojev.....	30
Preglednica 5: Togost obravnavanih spojev.....	30
Preglednica 6: Pomik ter α_{cr} konstrukcije – vozlišča konfiguracije 1	33
Preglednica 7: Dvostransko vozlišče konfiguracije 1	33
Preglednica 8: Enostransko vozlišče konfiguracije 1	33
Preglednica 9: Pomik ter α_{cr} konstrukcije z ojačanimi vozlišči – konfiguracija 2, 3	34
Preglednica 10: Dvostransko vozlišče konfiguracije 2.....	34
Preglednica 11: Enostransko vozlišče konfiguracije 3.....	34
Preglednica 12: Rezultati za konstrukcijo s členkastimi podporami	37

KAZALO SLIK

Slika 1: Polno nosilna vozlišča (SIST EN 1993-1-8, 2005: str 55)	2
Slika 2: Delitev spojev glede na nosilnost	2
Slika 3: Delitev spojev glede na togost (Beg, 2011: str 22)	3
Slika 4: Geometrija obravnavanega okvirja.....	4
Slika 5: Vpliv globalnih nepopolnosti (SIST EN 1993-1-1, 2005: str 33)	5
Slika 6: Potek osnih sil v okvirju	6
Slika 7: Potek upogibnih momentov v okvirju.....	7
Slika 8: Geometrija spoja.....	10
Slika 9: Različne konfiguracije spoja	11
Slika 10: Komponente v spoju (The Steel Construction Institute, 2013:str 6)	12
Slika 11: Algoritem računanja nosilnosti	13
Slika 12: Definicije razdalj v spoju	15
Slika 13: Definicije nadomestnega T-elementa za vrsto vijakov nad pasnico prečke	15
Slika 14: Upogibna nosilnost čelne pločevine	16
Slika 15: Upogibna nosilnost pasnice stebra.....	17
Slika 16: Raznos tlačne sile (The Steel Construction Institute, 2013:str 20).....	19
Slika 17: Delovanje momentov v nasprotni smeri (The Steel Construction Institute, 2013:str 22).....	20
Slika 18: Delovanje momentov v isti smeri (The Steel Construction Institute, 2013:str 22)	20
Slika 19: Ravnotežje sil v spoju.....	21
Slika 20: Definicije dimenzij ojačitve (The Steel Construction Institute, 2013:str 29)	22
Slika 21: Definicije razdalj m (The Steel Construction Institute, 2013:str 30).....	23
Slika 22: Površina efektivnega prereza	24
Slika 23: Mehanski model enostranskega vozlišča (da Silva, 2001: str 48).....	26
Slika 24: Plastični členek v spoju (Beg, 2011: str 25).....	29
Slika 25: 1. stabilnostna oblika	31
Slika 26: Poenostavljen bilinearni diagram moment-zasuk (SIST EN 1993-1-8, 2005: str 51)	31
Slika 27: Modeliranje vozlišč z vzmetmi (SIST EN 1993-1-8, 2005: str 57).....	32
Slika 28: Računski model vzmeti oziroma odvisnost moment-rotacija spoja	32
Slika 29: Upogibni momenti v konstrukciji s spoji konfiguracije 2 ter 3 z različni debelinami čelne pločevine	33
Slika 30: Graf odvisnosti momentne kapacitete od debeline čelne pločevine	34
Slika 31: Graf odvisnosti začetne togosti spoja od debeline čelne pločevine.....	35
Slika 32: Graf odvisnosti horizontalnega pomika konstrukcije od debeline čelne pločevine v spojih, za obtežno kombinacijo K2.....	35
Slika 33: Graf odvisnosti največjega zasuka v vozlišču od debeline čelne pločevine.....	36
Slika 34: Graf odvisnosti α_{cr} od povprečne togosti spojev v okvirju	36

Ta stran je namenoma prazna

1 Uvod

Spoji so v jeklenih konstrukcijah ena izmed najpomembnejših komponent. Zato so jim projektanti vedno morali posvečati veliko pozornosti. Danes osnovni statični izračun konstrukcije ne zahteva več toliko časa kot nekoč, saj je na voljo veliko računalniških programov, ki omogočajo hitri račun. Prav tako je na voljo vedno več pripomočkov za detajlno računanje lastnosti spojev. Kljub temu pa sem se v tem diplomskem delu osredotočil na račun brez pomoči programov. Ob pisanju sem naletel na nekaj različnih metod računa spojev. Vse pa so se v svoji osnovi opirale na standard SIST EN 1993-1-8.

V SIST EN 1993-1-8 [1] je podana komponentna metoda računa nosilnosti in togosti spojev, kjer vsako komponento spoja analiziramo posebej. Sama metoda je zelo zamudna in ni primerna za račun večjih objektov brez uporabe računalniških pripomočkov. V okviru te diplomske naloge sem zato s to metodo obravnaval manjši jekleni okvir, ki je del izmišljenega večetažnega objekta.

Osredotočil sem se le na spoje steber-prečka. Za spoje med stebrom in temeljev sem predpostavil da so togi in polno nosilni. Vozlišča sem zasnoval kot delno toge spoje s čelno pločevino. Pri tem pa sem sledil navodilom podanim v SIST EN 1993-1-8 [1] ter Joints in Steel Construction Moment-Resisting Joints to Eurocode 3 [2].

J.M. Cabrero in E. Bayo [3] kot prednosti delno togih spojev navajata sposobnost zagotavljanja zadostne togosti pri obremenitvi z vetrom, zaradi česar ni potrebe po diagonalnih ojačitvah; njihova rotacijska togost pripomore k optimizaciji razporeda upogibnega momenta v konstrukciji, ter posledično k optimalni razporeditvi teže in upogibnega momenta; prav tako pripomorejo k povečanju odpornosti proti požaru in vibracijam. Posledično so konstrukcije z delno togimi spoji lažje, bolj učinkovite ter bolj ekonomične.

Eden izmed ciljev projektantov je, da čim bolj zreducirajo količino dela na gradbišču. Stroški materiala so namreč majhni v primerjavi s stroški dela. Glede na stroške so delno togi spoji zelo ekonomična rešitev. Členkasti spoji so sicer cenovno ugodnejši, je pa pri tem potrebno zagotoviti povezja v okvirju, ki zagotavljajo globalno stabilnost konstrukcije. [2]

V tej diplomski nalogi sem spoje modeliral kot delno toge ter preučeval vpliv njihove togosti na globalno stabilnost konstrukcije. Račun spoja sem izvedel po komponentni metodi, globalni račun konstrukcije pa s programom SCIA Engineer 2013. Vozlišča sem najprej obravnaval kot toga, brez vpliva na obnašanje konstrukcije, nato pa kot delno kontinuirna, modelirana kot nelinearne vzmeti, z vplivom na obnašanje konstrukcije kot celote.

2 Delitev spojev

Standard loči tri poenostavljene računske modele, s katerimi lahko obravnavamo vozlišča:

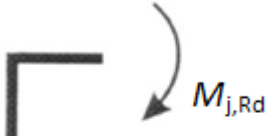
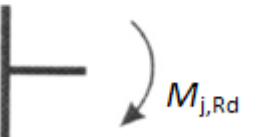
- členkasti, pri katerem se lahko predpostavi, da spoj ne prenaša upogibnih momentov
- kontinuirni, pri katerem se predpostavi, da vozlišča ne vplivajo na globalno analizo
- delno kontinuirni, pri katerem je pri globalni analizi konstrukcije treba upoštevati obnašanje vozlišč

Ker v diplomskem delu obravnavam delno toge spoje, moram te zasnovati kot delno vpeta vozlišča. Ta se med seboj ločijo glede na nosilnost in togost.

2.1 Nosilnost

Pri razvrstitvi glede na nosilnost spoja primerjamo nosilnost spoja ter nosilnost priključenega elementa. Glede na to razmerje ločimo 3 primere:

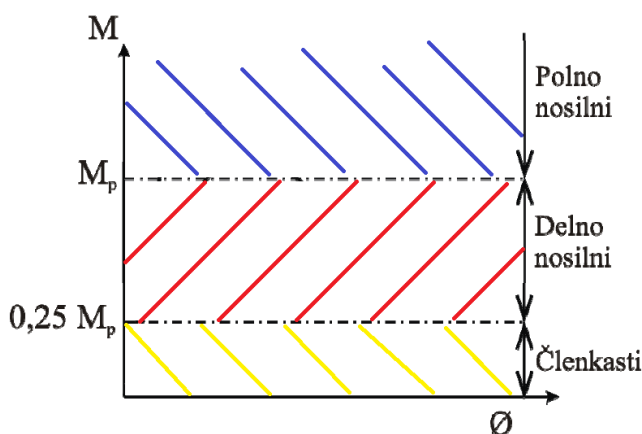
Polno nosilni spoj: spoj z momentno nosilnostjo, ki ne sme biti manjša od nosilnosti priključenega elementa. Poleg tega morata biti izpolnjena spodnja pogoja:

a) Vrh stebra		ali	$M_{j,Rd} \geq M_{b,pl,Rd}$ $M_{j,Rd} \geq M_{c,pl,Rd}$
b) Vmesne etaže		ali	$M_{j,Rd} \geq M_{b,pl,Rd}$ $M_{j,Rd} \geq 2M_{c,pl,Rd}$

Slika 1: Polno nosilna vozlišča (SIST EN 1993-1-8, 2005: str 55)

Nominalno členkast spoj: spoj, ki je sposoben razviti dovolj velike rotacije, da ga lahko modeliramo kot členek, hkrati pa ne sme prevzeti velikega momenta. Njegova projektna upogibna nosilnost ne sme preseči 25% projektne upogibne nosilnosti polno nosilnega vozlišča.

Delno nosilni spoj: spoj, ki ne izpolnjuje zahtev polno nosilnih ali nominalno členkastih vozlišč.



Slika 2: Delitev spojev glede na nosilnost

2.2 Togost

V SIST EN 1993-1-8 [1] je navedena razdelitev glede na začetno rotacijsko togost $S_{j,ini}$. Vozlišča so razdeljena v 3 kategorije. Vozlišče je togo, če je izpolnjen pogoj:

$$S_{j,ini} \geq k_b EI_b / L_b \quad (1)$$

kjer so:

$k_b = 8$ za okvirje, pri katerih povezja zmanjšajo vodoravne pomike za najmanj 80%

$k_b = 25$ za druge okvirje, če je v vsaki etaži izpolnjen pogoj $K_b / K_c \geq 0,1$

K_b ...srednja vrednost razmerja I_b / L_b za vse nosilce na vrhu obravnavane etaže

K_c ...srednja vrednost razmerja I_c / L_c za vse stebre v obravnavani etaži

I_b ...vztrajnostni moment nosilca

I_c ...vztrajnostni moment stebra

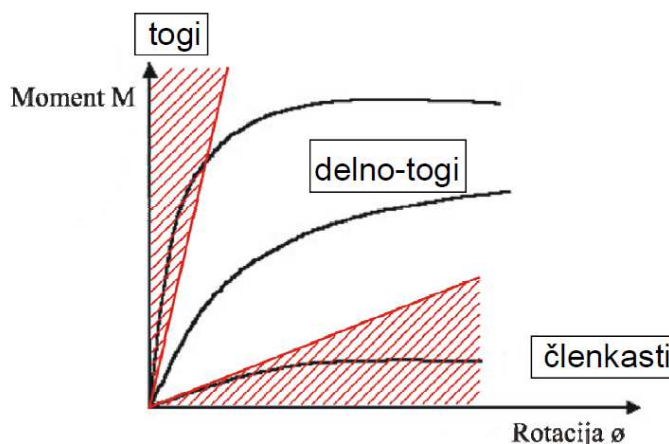
L_c ...višina etaže

L_b ...razpon nosilca

Nominalno členkasta vozlišča so tista, ki morajo biti sposobna prevzeti notranje sile, ne da bi se pri tem v vozlišču pojavil večji upogibni moment. Prav tako morajo biti sposobna prevzeti zasuke, ki nastanejo ob nanosu obtežbe. V to kategorijo se uvrstijo tista vozlišča, pri katerih je izpolnjen pogoj:

$$S_{j,ini} \leq 0,5 EI_b / L_b \quad (2)$$

Delno toga vozlišča so tista, ki ne izpolnjujejo zahtev za toga ali nominalno členkasta.



Slika 3: Delitev spojev glede na togost (Beg, 2011: str 22)

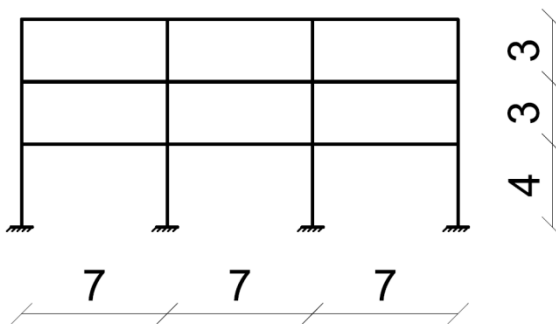
V [2] je razdelitev med togimi in delno togimi spoji s čelno pločevino definirana nekoliko drugače. Avtor navaja pričakovanje, da bo taka razdelitev v prihodnosti navedena tudi v nacionalnem dodatku k britanskem standardu. Za spoj se lahko predpostavi da je tog, če sta izpolnjena oba spodnja pogoja:

- za zgornjo vrsto vijakov je kritični 3. način porušitve, podan z izrazom (16) kjer pride do porušitve vijakov in ne čelne pločevine. To pomeni, da je treba uporabiti debele čelne pločevine in po možnosti še ojačati pasnico stebra.
- strižna sila v panelu stojine stebra ne sme preseči 80% projektne strižne nosilnosti stojine.

Če ta pogoja nista izpolnjena, moramo predpostaviti, da je spoj delno tog.

3 Obravnavana konstrukcija

Obravnaval sem preprost okvir, ki je del izmišljenega večetažnega objekta, ki se nahaja na območju Ljubljane. Jekleni okvirji so postavljeni na medsebojni razdalji 5 m. Na sliki 4 je prikazana geometrija posameznega okvirja. Vse dimenzije so v metrih.



Slika 4: Geometrija obravnavanega okvirja

3.1 Material

Celotna konstrukcija je iz jekla kakovosti S235. Pri računanju uporabim naslednje karakteristike materiala:

$f_y = 235 \text{ N/mm}^2$	...napetost na meji tečenja
$f_u = 360 \text{ N/mm}^2$	...natezna trdnost jekla
$E = 210000 \text{ MPa}$	...elastični modul
$\nu = 0,3$	...Poissonov količnik
$G = 81000 \text{ MPa}$	...strižni modul
$\gamma = 78 \text{ kN/m}^3$	...specifična teža

3.2 Vplivi na konstrukcijo

Na konstrukcijo delujejo zunanje obtežbe ter lastna teža. Ker primarni cilj diplomske naloge ni dimenzioniranje nosilne konstrukcije, nekaterih obtežb nismo upoštevali, druge pa smo poenostavili. Tako nisem upošteval obtežbe potresa ter namesto snega na strehi upošteval kar koristno obtežbo. Ostale obtežbe so upoštevane v skladu s standardom SIST EN 1991.

Pri računu obtežb predpostavim, da je objekt poslovnega značaja ter da se nahaja na področju, kjer je najmanj 15% površine pokrite s stavbami s povprečno višino več kot 15m.

Z računom po točkah 3 in 4 iz SIST EN 1991-1-4 [4] sem dobil tlak vetra na ploskev, ki znaša $w^{neto} = 0,295 \text{ kN/m}^2$. Nato pa z množenjem s širino 5m, ki odpade na en okvir še obtežbo, ki deluje na okvir po njegovi višini $w = 1,475 \text{ kN/m}$. To sem nato preračunal v točkovne sile v vozliščih, skladno z višino, ki odpade na eno vozlišče.

Stropni konstrukciji sem predpostavil lastno težo 5 kN/m^2 . Koristno obtežbo pa sem dobil iz standarda SIST EN 1991-1-1 [5], z upoštevanjem, da gre za poslovni objekt. $q = 3 \text{ kN/m}^2$. Ko obtežbi preračunam na okvir dobim, da na posamezen okvir odpade 25 kN/m stalne obtežbe in 15 kN/m koristne obtežbe. Lastno težo samega okvirja upošteva program avtomatsko, zato je tu ne navajam.

3.3 Obtežne kombinacije

Za vnos v program Scia Engineer ustvarim 4 obtežne kombinacije:

- K1: $1,35G + 1,5Q$
- K2: $1,35G + 1,5Q + \psi_{0,w}1,5W$
- K3: $1,35G + \psi_{0,w}1,5Q + 1,5W$
- K4: $G + 1,5W$

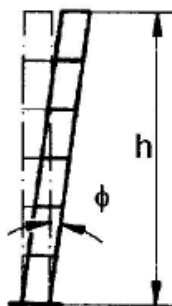
kjer so:

G ...lastna teža in stalna obtežba
 Q ...koristna obtežba
 W ...obtežba vetra

3.4 Račun po teoriji drugega reda

Za upoštevanje teorije drugega reda, moram na primeren način upoštevati vplive nepopolnosti na konstrukciji. Te SIST EN 1993-1-1 [6] loči na nadomestne globalne nepopolnosti ter lokalne nadomestne nepopolnosti. V skladu s temi navodili, lokalnih nepopolnosti običajno v globalni analizi ne upoštevamo, saj se njihov vpliv upošteva v kontroli stabilnosti posameznega elementa, kjer so zajete v uklonskih krivuljah. Globalne nepopolnosti pa upoštevamo vedno. Za tak pristop se odločim tudi v tem diplomskem delu, kjer jih upoštevam v obliki nadomestnega horizontalnega zamika okvirja.

$$\phi = \phi_0 \alpha_h \alpha_m = 0,00264 \text{ rad} \quad (3)$$



Slika 5: Vpliv globalnih nepopolnosti (SIST EN 1993-1-1, 2005: str 33)

kjer so:

$\phi_0 = 1/200 \text{ rad}$...osnovna vrednost zasuka
 $\alpha_h = 2/3$...redukcijski faktor višine h stebrov
 $\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} = 0,632$ vendar $2/3 \leq \alpha_h \leq 1$
 $h = 10 \text{ m}$...višina konstrukcije v metrih
 $\alpha_m = \sqrt{0,5(1 + \frac{1}{m})} = 0,791$... redukcijski koeficient števila stebrov v eni vrsti
 $m = 4$... število stebrov v eni vrsti, kjer so vključeni samo stebri, ki prenašajo vsak 50% povprečne navpične obtežbe stebrov v obravnavani ravnini
Vodoravni pomik celotne konstrukcije zaradi vpliva globalnih nepopolnosti nato določimo s preprostim izrazom z upoštevanjem kotnih funkcij:

$$x = h \tan \phi = 2,635 \text{ cm} \quad (4)$$

Kar pretvorjeno na tekoči meter znaša 2,635 mm/m

3.5 Kontrola nosilnosti prečke

Za prečke izberem profil IPE 400. Njegove karakteristike so podane spodaj:

h_b [mm]	b_b [mm]	t_{fb} [mm]	t_{wb} [mm]	r_b [mm]	A [cm ²]	d_b [mm]	c_b [mm]
400	180	13,5	8,6	21	84,5	331	373
I_y [cm ⁴]	$W_{pl,y}$ [cm ³]	i_y [cm]	I_z [cm ⁴]	$W_{pl,z}$ [cm ³]	i_z [cm]	I_t [cm ⁴]	I_{ω} [cm ⁵]
23130	1307	16,5	1320	229	3,95	51,1	490000

Ker računam prerez na plastično nosilnost, je potrebno zagotoviti, da je v 1. ali 2. razredu kompaktnosti [6]. Ker je tlačna sila v prečki odvisna le od obtežbe vetra, je njena vrednost zelo majhna. Zato v naslednjih korakih predpostavim, da je nosilec obremenjen le z upogibnim momentom in prečno strižno silo. Kontrole izvedem v skladu z [7].

Da je celoten profil v 1. razredu kompaktnosti zagotovim z upoštevanjem enačb za stojino v upogibu ter pasnico v tlaku, navedenimi v [7].

V program Scia vnesem izbrani profil ter z nelinearnim računom pri obremenitvi z obtežno kombinacijo K2 dobim notranje sile, kot so prikazane na slikah 6 in 7. Na najbolj kritični prečki so obremenitve:

$$N_{Ed} = -80 \text{ kN} \quad M_{Ed} = -263 \text{ kNm} \quad V_{Ed} = 220 \text{ kN}$$

Ker plošča po celotni dolžini podpira nosilec, lahko predpostavim, da nevarnosti bočne zvrnitve ni, osno silo zanemarim in izvedem le kontrolo nosilnosti za upogibni moment.

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} = W_{pl,y} f_y = 307,1 \text{ kNm} \quad (5)$$

Izkoriščenost prereza lahko nato izračunam po izrazu:

$$M_{Ed}/M_{pl,Rd} = 0,85 \quad (6)$$

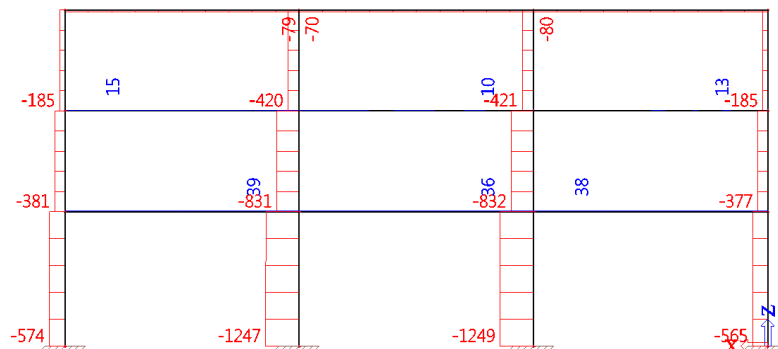
Z enačbami navedenimi v [7] zagotovim, da je profil kompakten tudi v strigu. Plastično strižno nosilnost prereza pa preverim po izrazu:

$$V_{pl,Rd} = A_v \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = 50 \cdot \frac{23,5}{\sqrt{3} \cdot 1} = 689,6 \text{ kN} > V_{Ed} = 220 \text{ kN} \quad (7)$$

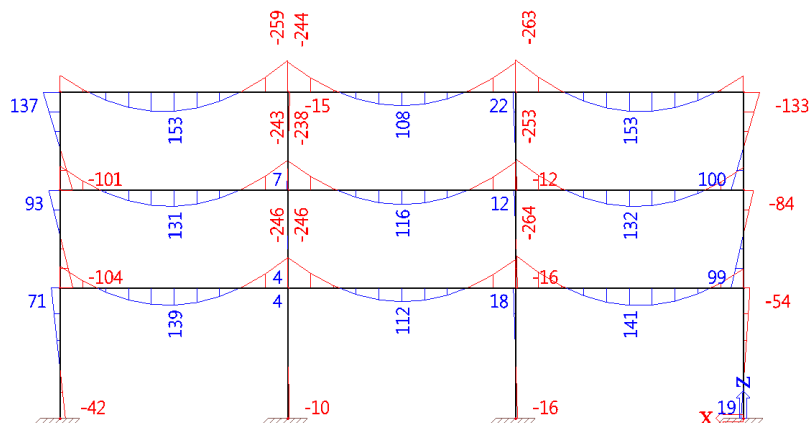
kjer je:

$$A_v = A - 2b_b t_{fb} + (t_{wb} + 2r_b) t_{fb} = 50,82 \text{ cm}^2 \quad \dots \text{strižni prerez nosilca}$$

Ker velja $V_{Ed} < 0,5V_{pl,Rd}$ sledi, da ni potrebno izvesti kontrole interakcije za moment-prečna sila.



Slika 6: Potek osnih sil v okvirju



Slika 7: Potek upogibnih momentov v okvirju

3.6 Kontrola nosilnosti stebra

Z nelinearnim računom v programu SCIA Engineer pridem po krajšem iteracijskem postopku do profila stebra HEA 260. Njegove karakteristike so podane spodaj:

h_c [mm]	b_c [mm]	t_{fc} [mm]	t_{wc} [mm]	r_c [mm]	A [cm ²]	d_c [mm]	c_c [mm]
250	260	12,5	7,5	24	86,8	177	225
I_y [cm ⁴]	$W_{pl,y}$ [cm ³]	i_y [cm]	I_z [cm ⁴]	$W_{pl,z}$ [cm ³]	i_z [cm]	I_t [cm ⁴]	I_ω [cm ⁵]
10450	920	11,0	3670	430	6,5	52,4	516400

Da je tudi stebel v 1. razredu kompaktnosti zagotovim z izpolnitvijo pogojev za stojino in pasnico v tlaku, navedenih v [7].

Potek notranjih sil je prikazan na slikah 6 in 7. Najbolj kritičen je drugi stebel iz desne proti levi, kjer v prvi etaži dobim pri merodajni obtežni kombinaciji K2 in nelinearni analizi spodnje obremenitve:

$$N_{Ed} = -1250 \text{ kN} \quad M_{y,Ed} = 18 \text{ kNm} \quad V_{z,Ed} = 10 \text{ kN}$$

Stabilnostno kontrolo upogibno in tlačno obremenjenega elementa izvedem po izrazih iz [6].

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y A f_y / \gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1}} \quad (8)$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z A f_y / \gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} W_{pl,y} f_y / \gamma_{M1}} \quad (9)$$

kjer so:

$N_{Ed}, M_{y,Ed}$	...projektne vrednosti notranjih sil
A	...ploščina prereza
$W_{pl,y}$	...plastčni odpornosti moment prereza
χ_y, χ_z	...redukcijska faktorja za uklon
χ_{LT}	...redukcijski faktor bočne zvrnitve
k_{yy}, k_{zy}	...interakcijska faktorja

Izraz (8) preveri uklon okoli močne osi v kombinaciji z bočno zvrnitvijo, (9) pa uklon okoli šibke osi v kombinaciji z bočno zvrnitvijo.

Predpostavim, da je steber bočno podprt v višini etaž. Kritičen prerez stebra je v prvi etaži. Ker je bila narejena nelinearna analiza z geometrijskimi nepopolnostmi, upoštevam, da je uklonska dolžina $l_{uy} = l_{uz} = 400 \text{ cm}$.

Za določitev χ_y, χ_z , moram izračunati relativno vitkost prerezov:

$$\bar{\lambda}_z = l_{uz}/(i_z \lambda_1) = 0,655 \quad \text{ter} \quad \bar{\lambda}_y = l_{uy}/(i_y \lambda_1) = 0,387$$

kjer je:

$$\lambda_1 = 93,9 \varepsilon = 93,9$$

Za določitev faktorja nepopolnosti α moram določiti uklonske krivulje prereza. Določim jih glede na razmerje h/b profila ter osi uklona.

h_c/b_c	krivulja	uklon okoli osi	α
0,96	b	y-y	0,34
	c	z-z	0,49

S tem lahko nato izračunam faktorja

$$\phi_y = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2) = 0,607$$

$$\phi_z = 0,5(1 + \alpha(\bar{\lambda}_z - 0,2) + \bar{\lambda}_z^2) = 0,826$$

ki sta potrebna za izračun redukcijskih faktorjev za uklon

$$\chi_y = \frac{1}{\phi_y + \sqrt{\phi_y^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = 0,931$$

$$\chi_z = \frac{1}{\phi_z + \sqrt{\phi_z^2 - \bar{\lambda}_z^2}} = 0,752$$

Za določitev redukcijskega faktorja bočne zvrnitve pa moram najprej določiti kritični moment bočne

$$\text{zvrnitve } M_{cr} = C_1 \frac{\pi}{k_z L} \sqrt{EI_z G I_t + \frac{\pi^2 EI_z EI_\omega}{(k_\omega L)^2}} = 1846 \text{ kNm}$$

kjer so:

$$C_1 = 2,56$$

...koeficient, ki zajema vpliv poteka momentov vzdolž nosilca

$$\psi = -16/18 = -0,9$$

... razmerje momentov med sosednjima točkama podpiranja

$$k_z, k_\omega$$

...uklonska koeficienta, konzervativno predpostavim da sta enaka 1

$$I_\omega$$

...torzijski vztrajnostni moment pri ovirani torziji

$$I_t$$

...torzijski vztrajnostni moment pri enakomerni torziji

$$L$$

...razmik med bočnimi podporami

Tudi za bočno zvrnitev je potrebno določiti uklonsko krivuljo

h_c/b_c	krivulja	os zvrnitve	α
0,96	b	y-y	0,34

Iz tega dobim relativno vitkost:

$$\bar{\lambda}_{lt} = \sqrt{\frac{W_{pl,y} f_y}{M_{cr}}} = 0,359$$

Ker velja $\bar{\lambda}_{lt} \leq 0,4$, bočna zvrnitev ne bo problematična in je faktor $\chi_{LT} = 1$.

Za faktorje k_{yy} in k_{zy} velja:

$$k_{zy} = 0$$

$$k_{yy} = \min \begin{cases} c_{my}(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y A f_y / \gamma_{M1}}) = 0,45 \\ c_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y A f_y / \gamma_{M1}} \right) = 0,61 \end{cases}$$

kjer je:

$$c_{my} = \max \begin{cases} 0,6 + 0,4\psi = 0,24 \\ 0,4 \end{cases}$$

Vse izračunane količine lahko vstavim v izraza (8) in (9) ter dobim:

$$\frac{1250}{0,93 \cdot 86,8 \cdot 23,5/1} + 0,45 \cdot \frac{1800}{1 \cdot 920 \cdot 23,5/1} = 0,70 \leq 1$$

$$\frac{1250}{0,75 \cdot 86,8 \cdot 23,5/1} = 0,82 \leq 1$$

Plastično nosilnost prereza dobim po spodnjem izrazu:

$$M_{N,y,Rd} = M_{pl,y,Rd} \frac{1-n}{(1-0,5a)} = 94,5 \text{ kNm} \leq W_{pl,y} f_y = 216,2 \text{ kNm} \quad (10)$$

kjer so:

$$n = \frac{N_{Ed}}{N_{pl,Rd}} = 0,62 \quad \dots \text{nivo osne sile}$$

$$a = \frac{A - 2bt_f}{A} = 0,25$$

Ko zagotovim, da je profil kompakten v strigu, preverim plastično strižno nosilnost prereza po izrazu:

$$V_{pl,Rd} = A_v \frac{f_y}{\sqrt{3} \gamma_{M0}} = 390 \text{ kN} > V_{Ed} = 10 \text{ kN} \quad (11)$$

kjer je:

$$A_v = 28,4 \text{ cm}^2 \quad \dots \text{strižni prerez stebra, ki se izračuna z izrazom:}$$

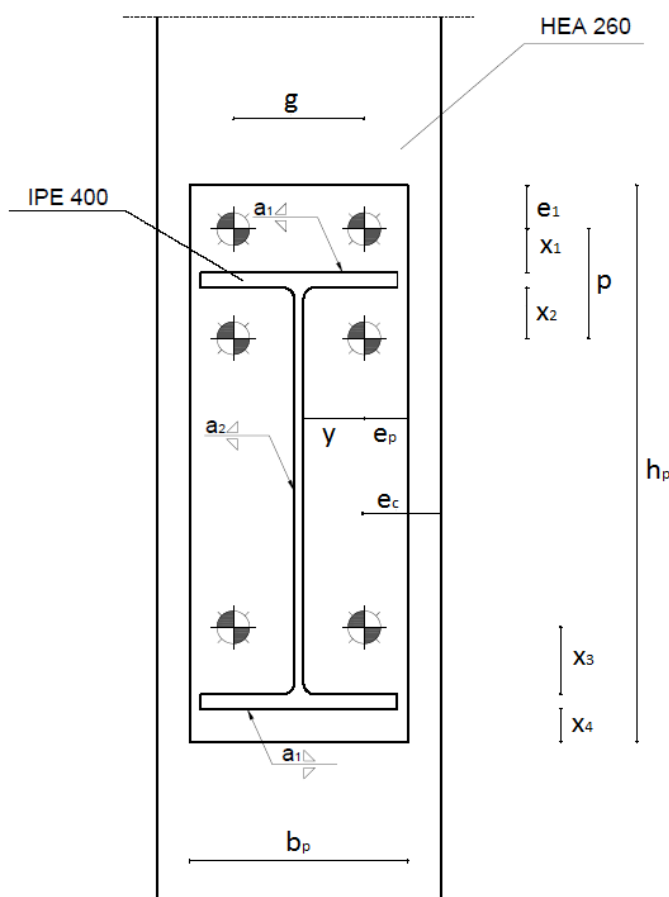
$$A_{vc} = A_c - 2b_c t_{fc} + (t_{wc} + 2r_c) t_{fc} \geq \eta h_{wc} t_{wc} \quad (12)$$

Ker velja $V_{Ed} < 0,5V_{pl,Rd}$ sledi, da ni potrebno izvesti kontrole interakcije za moment-prečna sila.

4 Spoji

4.1 Zasnova spojev

Geometrija spoja mora biti izbrana tako, da zagotavlja dovolj veliko duktilnost in rotacijsko kapaciteto, hkrati pa mora zagotoviti tudi dovolj nosilnosti. S tem namenom so v [2] podani nekateri standardni spoji in njihova geometrija. Spoje izvedemo s čelno pločevino, ki je vijadena na pasnico stebra, na njo pa je varjen nosilec. Čelno pločevino lahko izvedemo kot nepodaljšano, ali podaljšano. V našem primeru se odločimo za podaljšano čelno pločevino, s tremi vrstami vijakov. Zgornji dve sta namenjeni prevzemu upogibnega momenta, spodnja pa striga v spoju.



Slika 8: Geometrija spoja

Razdalje, ki so kotirane na sliki so sledeče:

$g = 90 \text{ mm}$	$p = 100 \text{ mm}$	$e_1 = 50 \text{ mm}$
$x_1 = 40 \text{ mm}$	$x_2 = 47 \text{ mm}$	$x_3 = 60 \text{ mm}$
$x_4 = 30 \text{ mm}$	$y = 41 \text{ mm}$	$e_p = 55 \text{ mm}$
$b_p = 200 \text{ mm}$	$h_p = 520 \text{ mm}$	$e_c = 85 \text{ mm}$

Za debelino čelne pločevine izberem $t_p = 16 \text{ mm}$.

Pri računu upoštevam vijake M24 8.8 ter njihove mehanske lastnosti:

$f_{yb} = 640 \text{ N/mm}^2$ - napetost na meji tečenja vijaka

$f_{ub} = 800 \text{ N/mm}^2$ - natezna trdnost vijaka

Vse zware v spoju predvidim kot polno nosilne. Kjer gre za T spoj med pločevinama, lahko polnonosilnost zagotovim z izpolnitvijo pogoja iz [7]:

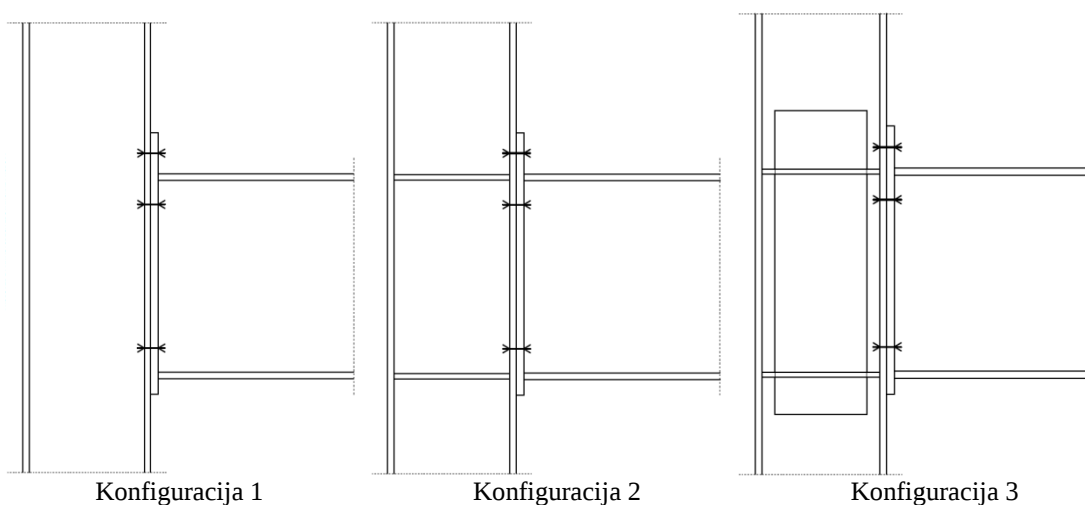
$$a \geq 0,46t \quad (13)$$

Z upoštevanjem pogoja (13) izberem:

$$a_1 = 7 \text{ mm}$$

$$a_2 = 4 \text{ mm}$$

Spoje v konstrukciji zasnujem na dva načina. Pri prvem vse spoje projektiram kot so prikazani na konfiguraciji 1, torej brez ojačitev. Pri drugem načinu pa vse spoje v konstrukciji ojačam. V tistih vozliščih, ki so dvostranska uporabim konfiguracijo 2, v robnih vozliščih, kjer je pomemben tudi strig v stojini stebra pa konfiguracijo 3.



Slika 9: Različne konfiguracije spoja

4.2 Material

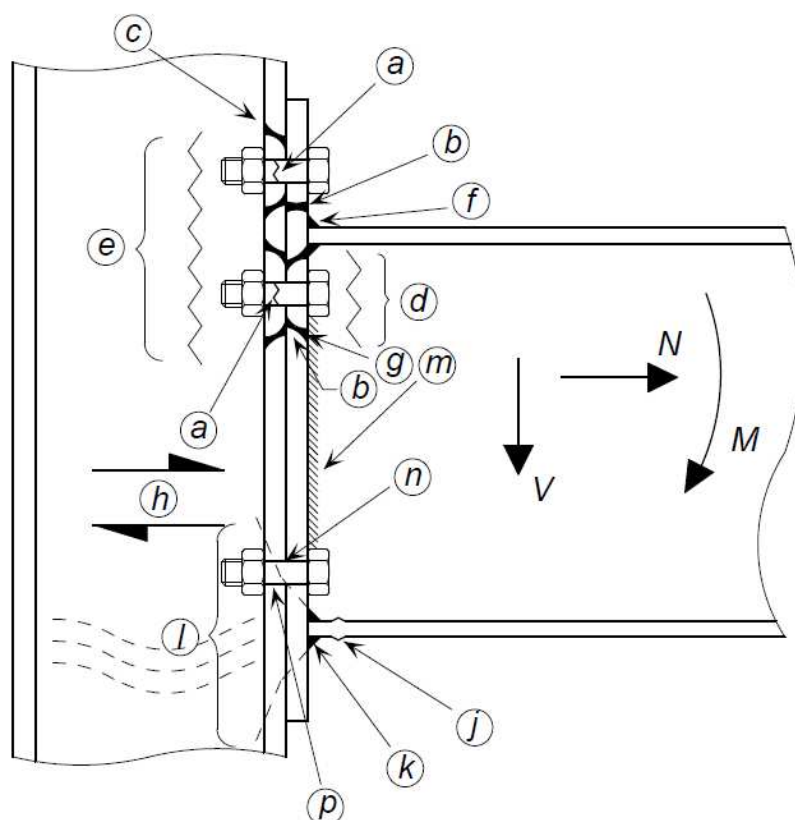
Material uporabljen za elemente spoja ne sme biti bolj nosilen kot material nosilca in stebra. S tem zagotovimo, da je čelna pločevina šibki element spoja. [2] Za čelno pločevino in vse pločevine, ki jih uporabimo kot ojačitve, torej vzamemo jeklo kakovosti S235.

4.3 Nosilnost spoja

SIST EN 1993-1-8 [1] podaja komponentno metodo, s katero je potrebno modelirati vozlišče, da se določi njegove konstrukcijske lastnosti. Komponentna metoda sloni na modeliranju spoja z vrsto osnovnih komponent, katere morajo vsaka prenesti svoj del obtežbe, njihovo nosilnost pa se izračuna z izrazi podanimi v standardu. V [2] so komponente, ki jih je potrebno preveriti, prikazane na spodnji preglednici in sliki.

Preglednica 1: Komponente v spoju

Oznaka	Komponenta	Oznaka	Komponenta
a	nateg vijaka	h	strižni panel stebra
b	upogib čelne pločevine	j	stojina in pasnica prečke v tlaku
c	upogib pasnice stebra	k	zvar med pasnico in čelno pločevino
d	stojina prečke v nategu	l	stojina stebra v prečnem tlaku
e	stojina stebra v nategu	m	zvar med stojino in čelno pločevino
f	zvar med čelno pločevino in pasnico	n	prestrig vijaka
g	zvar med čelno pločevino in stojino	p	bočni pritisk vijaka



Slika 10: Komponente v spoju (The Steel Construction Institute, 2013:str 6)

Glavna potrebna lastnost momentnih spojev je, poleg tega da so sposobni prenesti obtežbo tudi ta, da so duktilni. To pomeni, da se morajo biti sposobni rotirati kot plastični členki pod obtežbo, za kar potrebujejo zadostno rotacijsko kapaciteto. [2] S tem zadostimo predpostavki o plastični razporeditvi sil med vijaki. Posledično se upogibni moment po nosilcu prerazporedi. Rotacija spoja se izvede v obliki plastičnih deformacij v duktilnih elementih spoja. Nosilnost spoja je določena z najmanjšo nosilnostjo ene izmed komponent. Naloga projektanta, ki dimenzionira te spoje je zagotoviti, da nosilnost narekuje porušni mehanizem komponente, ki je duktilna. Med duktilne porušitve priročnik [2] uvršča:

- upogib čelne pločevine
- upogib pasnice stebra
- strižna porušitev stojine stebra

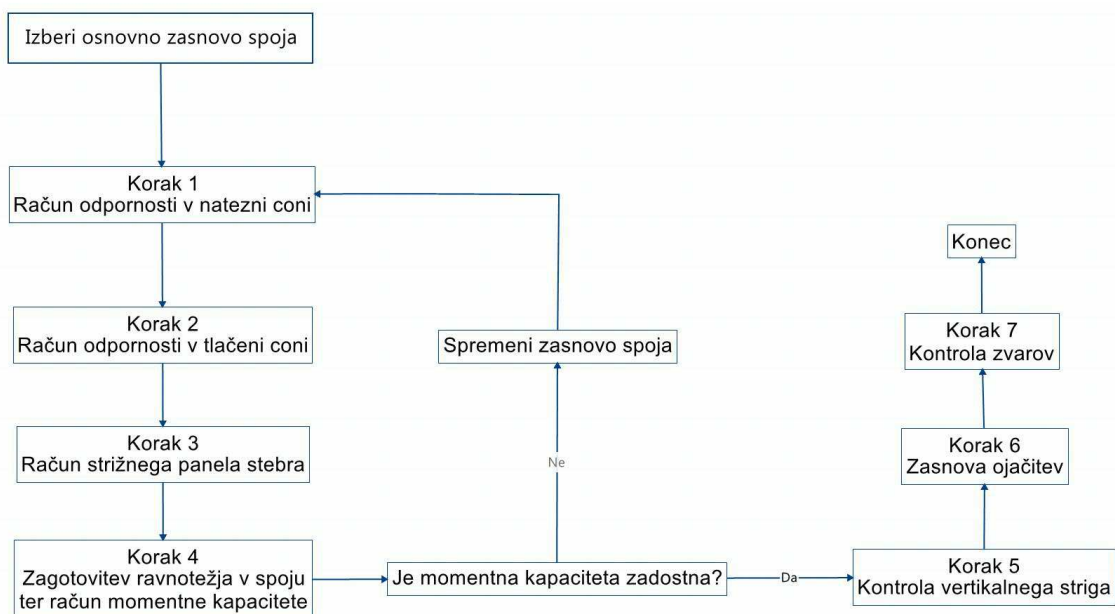
Pri računu se uporabljajo varnostni faktorji v skladu s SIST EN 1993-1-8 [1] in SIST EN 1993-1-1 [6]:

$$\gamma_{M0} = 1$$

$$\gamma_{M1} = 1$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

V naslednjih poglavjih obravnavam konstrukcijo z ojačanimi spoji. Osredotočim se na konfiguracijo spoja 2 ter dvostransko vozlišče, račun pa izvedem po korakih, ki so prikazani na spodnji sliki. To pomeni, da v prvem delu računa obravnavam neojčan spoj, v naslednjih korakih pa zasnujem ojačitve ter posledično spremenim nosilnosti izračunane že prej. Tak algoritem računa je kot najbolj optimalen podan v [2].



Slika 11: Algoritem računanja nosilnosti

4.3.1 Odpornost natezne cone

Potencialna sila v posamezni vrsti vijakov v natezni coni je omejena z enim izmed naslednjih porušnih mehanizmov:

- upogib čelne pločevine
- upogib pasnice stebra
- nateg stojine stebra
- nateg stojine prečke

Odpornost se izračuna najprej za vsako vrsto posebej ter nato še za skupine vrst, saj se pri skupini vijakov lahko pojavi drugačen odpovedni mehanizem. Tako je npr. odpornost druge vrste vijakov izračunana kot:

$$F_{t2,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \text{odpornost 2. vrste} \\ ((\text{odpornost vrst 2} + 1) - F_{t1,Rd}) \end{array} \right\}$$

kjer je:

$F_{ti,Rd}$...odpornost i-te vrste vijakov

Račun komponent v nategu se poenostavi z uvedbo nadomestnega T-elementa. To je element T-oblike, za katerega se predpostavi, da ima enako odpornost, kot bi jo imela sama komponenta ter da so možni načini porušitve podobni pričakovanim načinom porušitve osnovne komponente, ki jo T-element nadomešča. To dosežemo tako, da je skupna sodelujoča širina Σl_{eff} nadomestnega T-elementa taka, da je nosilnost njegovih pasnic enaka nosilnosti komponente, ki jo nadomešča. [1]

4.3.1.1 Čelna pločevina ali pasnica stebra v upogibu

Uporabljena metoda predpostavi plastično porazdelitev nateznih sil v vijakih. Ta pa se lahko zgodi le, če se v spoju lahko zgodi zadostna deformacija.

Ločeno se preveri čelno pločevino in pasnico stebra. Vsako vrsto vijakov se modelira kot nadomestni T element, za katerega se izračuna odpornost po treh različnih mehanizmi porušitve. Projektna

nosilnost pasnic nadomestnega T-elementa je določena kot minimalna vrednost med izrazi (14), (15), (16).

1. način porušitve: upogib pasnice T-elementa. Tak mehanizem je merodajen pri tankih pločevinah.

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} \quad (14)$$

2. način porušitve: istočasna odpoved pločevine in vijakov. Merodajen je pri srednje debelih pločevinah.

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n(\Sigma F_{t,Rd})}{m + n} \quad (15)$$

3. način porušitve: porušitev vijakov. Merodajen je pri debelih pločevinah.

$$F_{T,3,Rd} = \Sigma F_{t,Rd} \quad (16)$$

kjer so:

$$M_{pl,1,Rd} = \frac{\Sigma L_{eff,1} t_f^2 f_y}{4} \quad (17)$$

...plastični odpornostni moment nadomestnega T-elementa pasnice stebra ali čelne pločevine za porušitev po prvem načinu

$$M_{pl,2,Rd} = \frac{\Sigma L_{eff,2} t_f^2 f_y}{4} \quad (18)$$

...plastični odpornostni moment nadomestnega T-elementa pasnice stebra ali čelne pločevine za porušitev po drugem načinu

$$L_{eff,1} = \min \begin{cases} l_{eff,cp} \\ l_{eff,nc} \end{cases} \quad \dots \text{sodelujoča dolžina nadomestnega T-elementa}$$

$$L_{eff,2} = l_{eff,nc} \quad \dots \text{sodelujoča dolžina nadomestnega T-elementa}$$

kjer so:

$$l_{eff,nc} \quad \dots \text{sodelujoča dolžina poligonalne oblike}$$

$$l_{eff,cp} \quad \dots \text{sodelujoča dolžina krožne oblike}$$

$$t_f \quad \dots \text{debelina pasnice stebra } (t_{fc}) \text{ ali čelne pločevine } (t_p)$$

$$f_y \quad \dots \text{napetost na meji tečenja}$$

$$F_{t,Rd} = 0,9 f_{ub} A_s / \gamma_{M2} = 203,3 \text{ kN} \quad \dots \text{natezna nosilnost vijaka [7]}$$

$$m \quad \dots \text{razdalja od središča vijaka do 20\% v radij oziroma zvar med pasnico in stojino, prikazana na sliki 12}$$

$$m_p = g/2 - t_{wb}/2 - 0,8\sqrt{2}a_2 = 36,2 \text{ mm}$$

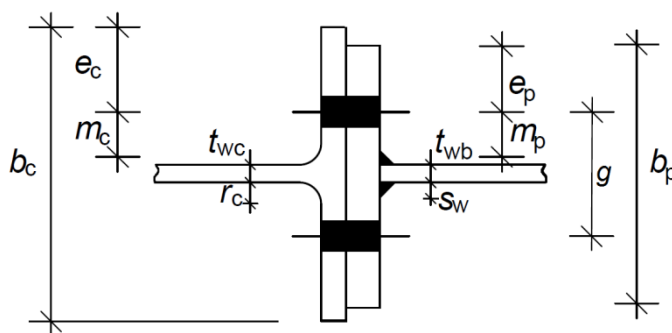
$$m_c = g/2 - t_{wc}/2 - 0,8r_c = 22,1 \text{ mm}$$

$$n = \min \begin{cases} e_p \\ e_c \\ 1,25m \end{cases} \quad \dots \text{efektivna razdalja od središča vijaka do roba}$$

$$n_p = 45,2 \text{ mm}$$

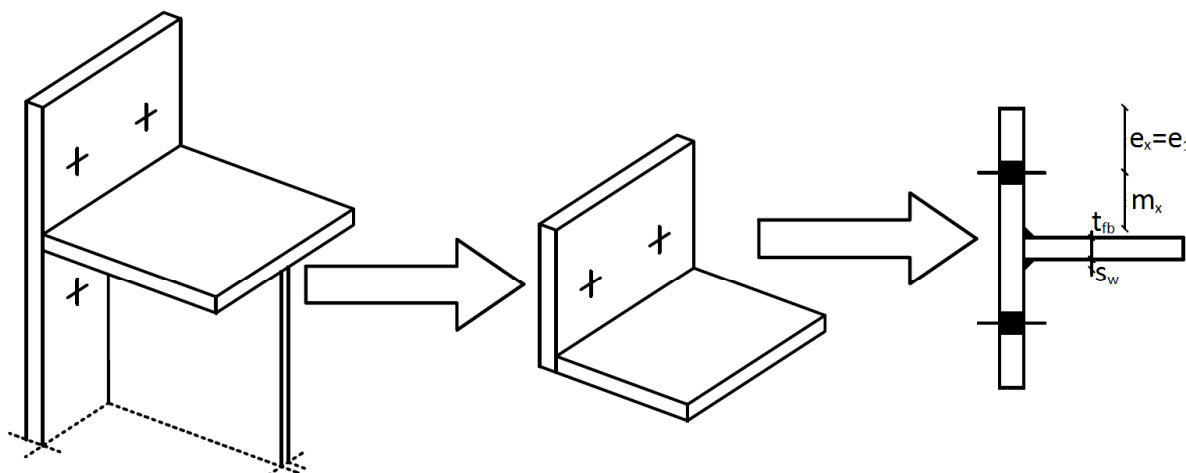
$$n_c = 27,6 \text{ mm}$$

Na spodnji sliki so prikazane razdalje uporabljene pri računu sodelujočih dolžin.



Slika 12: Definicije razdalj v spoju

Za vrsto vijakov v čelni pločevini, nad pasnico prečke, se upošteva drugačen nadomestni T-element. Prikazan je na sliki 13. Razdalji m in n se nadomestiti z $m_x = x_1 - 0,8\sqrt{2}a_1 = 32,1 \text{ mm}$ ter $n_x = \min \left\{ \frac{e_1}{1,25} \right\} = 40,1 \text{ mm}$



Slika 13: Definicije nadomestnega T-elementa za vrsto vijakov nad pasnico prečke

Najzahtevnejša naloga v tem koraku je določitev sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa. L_{eff} je potrebno določiti za vsak nadomestni T-element posebej, kar pomeni najprej za stran spoja pri čelni pločevini nato pri pasnici stebra. Glede na lego vijakov so lahko merodajne različne oblike sodelujočih dolžin.

4.3.1.1.1 Stran prečke

Na strani čelne pločevine dobim merodajni dolžini $L_{eff,1}$ ter $L_{eff,2}$ za vrsto vijakov nad pasnico nosilca iz naslednjih izrazov:

$$L_{eff,nc} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{b_p}{2} = 10,0 \\ 4m_x + 1,25e_x = 19,1 \\ 2m_x + 0,625e_x + e_p = 15,0 \\ 2m_x + 0,625e_x + \frac{g}{2} = 14,0 \end{array} \right\} = 10 \text{ cm} \quad (19)$$

$$L_{eff,cp} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2\pi m_x = 20,2 \\ \pi m_x + 2e_x = 20,1 \\ \pi m_x + g = 19,1 \end{array} \right\} = 19,1 \text{ cm} \quad (20)$$

Iz tega sledi $L_{eff,1} = L_{eff,2} = 10 \text{ cm}$.

Z izrazoma (17) ter (18) dobimo $M_{pl,1,Rd} = M_{pl,2,Rd} = 150,4 \text{ kNcm}$

Odpornost za različne načine porušitve dobimo po izrazih (14) do (16).

$$F_{T,1,Rd} = 187,6 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = 267,6 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = 406,7 \text{ kN}$$

Za drugo vrsto vijakov se sodelujočo dolžino nadomestnega T elementa izračuna iz mehanizmov, ki so merodajni za pare vijakov pod ojačitvijo ali pod pasnico prečke.

$$L_{eff,nc} = \alpha m_p = 23,5 \text{ cm} \quad (21)$$

$$L_{eff,cp} = 2\pi m_p = 22,7 \text{ cm} \quad (22)$$

kjer se vrednost $\alpha = 6,5$ odčita iz grafa 6.11 iz SIST EN 1993-1-8 [1] v odvisnosti od

$$\lambda_1 = \frac{m_1}{m_1 + e} = \frac{3,6}{3,6 + 5,5} = 0,40 \quad \lambda_2 = \frac{m_2}{m_1 + e} = \frac{3,9}{3,6 + 5,5} = 0,42$$

kjer so:

$$m_1 = m_p$$

$$m_2 = x_2 - 0,8\sqrt{2}a_1 = 39 \text{ mm}$$

$$e = e_p$$

Sledi torej $L_{eff,1} = 22,7 \text{ cm}$ ter $L_{eff,2} = 23,5 \text{ cm}$

Z izrazoma (17) ter (18) dobimo $M_{pl,1,Rd} = 341,8 \text{ kNcm}$ ter $M_{pl,2,Rd} = 353,6 \text{ kNcm}$

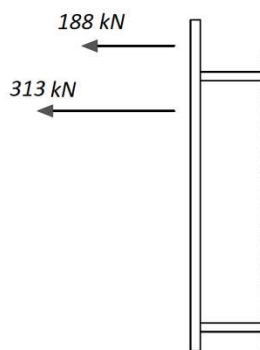
Odpornost za različne načine porušitve dobimo po izrazih (14) do (16).

$$F_{T,1,Rd} = 378,0 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = 312,8 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = 406,7 \text{ kN}$$

Merodajni odpornosti čelne pločevine na upogib dobimo kot minimalno vrednost izmed različnih porušnih mehanizmov za vsako vrsto posebej.



Slika 14: Upogibna nosilnost čelne pločevine

4.3.1.1.2 Stran stebra

Račun sodelujočih širin ponovim še na strani pasnice stebra, kjer so merodajni drugačni mehanizmi plastifikacije. Za zgornjo vrsto vijakov dobimo sodelujočo dolžino po naslednjem principu:

$$L_{eff,nc} = \min \left\{ \begin{array}{l} 4m_c + 1,25e_c = 19,4 \\ 2m_c + 0,625e_c + 0,5p = 14,2 \end{array} \right\} = 14,2 \text{ cm} \quad (23)$$

$$L_{eff,cp} = \min \left\{ \begin{array}{l} 2\pi m_c = 13,9 \\ \pi m_c + p = 15,9 \end{array} \right\} = 13,9 \quad (24)$$

Sledi torej $L_{eff,1} = 13,9 \text{ cm}$ ter $L_{eff,2} = 14,2 \text{ cm}$

Z izrazoma (17) ter (18) dobim $M_{pl,1,Rd} = 127,2 \text{ kNcm}$ ter $M_{pl,2,Rd} = 130,6 \text{ kNcm}$

Odpornost za različne načine porušitve dobim po izrazih (14) do (16).

$$F_{T,1,Rd} = 230,7 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = 278,6 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = 406,7 \text{ kN}$$

Za drugo vrsto so merodajni enaki mehanizmi plastifikacije, zato dobim tudi rezultate enake kot za prvo.

Za mehanizem, ki deluje okrog obeh vrst, kot skupine vijakov pa so sodelujoče dolžine:

$$L_{eff,nc} = 4m_c + 1,25e_c + p = 29,4 \text{ cm} \quad (25)$$

$$L_{eff,cp} = 2\pi m_c + 2p = 33,9 \text{ cm} \quad (26)$$

Sledi torej $L_{eff,1} = L_{eff,2} = 29,4 \text{ cm}$

Z izrazoma (17) ter (18) dobim $M_{pl,1,Rd} = M_{pl,2,Rd} = 270,3 \text{ kNcm}$.

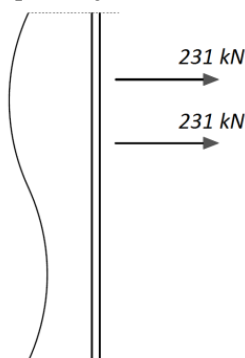
Odpornost za različne načine porušitve obeh vrst kot skupine vijakov dobim po izrazih (14) do (16).

$$F_{T,1,Rd} = 490,3 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = 560,8 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = 813,3 \text{ kN}$$

Merodajni odpornosti pasnice stebra na upogib dobim kot minimalno vrednost izmed različnih porušnih mehanizmov za vsako vrsto posebej.



Slika 15: Upogibna nosilnost pasnice stebra

4.3.1.2 Stojina stebra in prečke v nategu

Odpornost nadomestnega T-elementa je odvisna ne samo od upogibne odpornost pasnice, ampak tudi od natezne odpornosti stojine. Račun se tudi tu izvede posebej za stran stebra in prečke. Za stran stebra dobimo natezno odpornost efektivne dolžine stojine za vrsto ali skupino vrst vijakov po enačbi:

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} \quad (27)$$

kjer so:

$\omega = 1$...redukcijski faktor za upoštevanje interakcije s strigom v panelu stojine, ki ga dobimo iz preglednice 6.3 iz SIST EN 1993-1-8 [1] v odvisnost od parametra β , ki zajame vpliv strižnih sil

$b_{eff,t,wc}$..sodelujoča širina stojine stebra v nategu, ki je enaka sodelujoči dolžini nadomestnega T-elementa, s katerim je modelirana pasnica stebra (l_{eff}).

Odpornost nadomestnih T-elementov dobim po izrazu (27).

1. vrsta:	$b_{eff,t,wc} = 13,9\text{cm}$	...	$F_{t,wc,Rd} = 244,2\text{ kN}$
2. vrsta:	$b_{eff,t,wc} = 13,9\text{ cm}$	...	$F_{t,wc,Rd} = 244,2\text{ kN}$
1.+2. vrsta:	$b_{eff,t,wc} = 29,4\text{ cm}$	...	$F_{t,wc,Rd} = 519,0\text{ kN}$

Račun za stojino prečke se izvede samo za vrste vijakov, ki niso neposredno ob pasnici prečke, saj se predpostavi, da vse natezne napetosti v tistem območju prevzame pasnica. [2] V primeru obravnavanega spoja, ki ima samo dve vrsti vijakov v nategu, torej vse natezne napetosti prevzame pasnica prečke.

Končno nosilnost posamezne vrste vijakov torej dobim tako, da za vsako vrsto izpišem najmanjšo vrednost med porušnimi mehanizmi za upogib pasnice T-elementa. Te vrednosti nato primerjam z nosilnostjo stojine v nategu. Za boljšo predstavbo si rezultate zapišem v preglednico, kot je predlagano v [2].

Preglednica 2: Nosilnost nadomestnih T-elementov spoja konfiguracije 1

		Stran nosilca		Stran stebra	
		upogib čelne pločevine [kN]	nateg stojine nosilca[kN]	upogib pasnice stebra [kN]	nateg stojine stebra [kN]
Vrsta 1		187,5	/	230,7	244,2
Vrsta 2		309,9	/	230,7	244,2
1. in 2. vrsta	kot skupina	/	/	490,3	519
	1+2- $F_{t1,Rd}$	/	/	302,8	331,4

Končne odpornosti dobim torej kot minimalne vrednosti izmed zgornjih za vsako vrsto posebej.

$$F_{t1,Rd} = 187,5\text{ kN}$$

$$F_{t2,Rd} = 230,7\text{ kN}$$

4.3.2 Kontrola tlačne cone

Predpostavi se, da je celotna tlačna odpornost skoncentrirana na višini spodnje pasnice nosilca. Na strani stebra v njegovi stojini, na strani prečke pa v njeni pasnici in delu stojine.

Spoji s čelno pločevino prenašajo obtežbo preko natega v vijakih ter tlaka v spodnji pasnici nosilca. Če v nosilcu ni osne sile, sta si ti dve sili nasprotno enaki. V [2] avtor navaja, da je iz testov vidno, da je center rotacije blizu ali pa v spodnji pasnici nosilca. Zato lahko predpostavimo, da je celotna tlačna sila skoncentrirana na sredini spodnje pasnice.

4.3.2.1 Stojina stebra v prečnem tlaku

V okviru teh kontrol se preveri nosilnost stojine v tlaku ter nosilnost na uklon stojine stebra, kar je predvsem problem pri vitkih stojinah. Projektno nosilnost stojine stebra obremenjene s prečnim tlakom se izračuna z izrazom:

$$F_{c,wc,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} \frac{\omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}} = 436,7 \text{ kN} \\ \frac{\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M1}} = 386,4 \text{ kN} \end{array} \right. \quad (28)$$

kjer so:

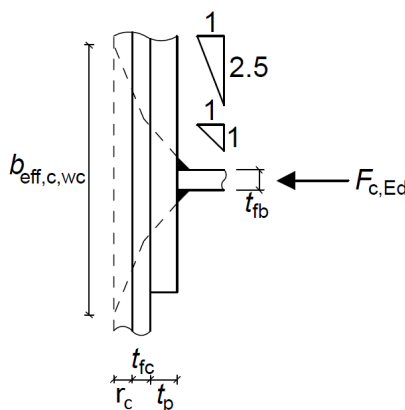
$\omega = 1$...redukcijski faktor definiran enako kot v izrazu (27)

$b_{eff,c,wc}$...sodelujoča širina pasnice stebra v tlaku

pri vijačenih spojih s čelno pločevino za vroče valjane profile velja

$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2}a_1 + 5(t_{fc} + r_c) + s_p = 24,8 \text{ cm}$$

kjer je s_p dolžina raznosa obtežbe pod kotom 45° skozi čelno pločevino



Slika 16: Raznos tlačne sile (The Steel Construction Institute, 2013: str 20)

$$\rho = \begin{cases} 1 & \text{če } \bar{\lambda}_p \leq 0,72 \\ (\bar{\lambda}_p - 0,2) / \bar{\lambda}_p^2 & \text{če } \bar{\lambda}_p > 0,72 \end{cases} = 0,88 \quad \dots \text{redukcijski faktor pri lokalnem izbočenju pločevin}$$

$$\bar{\lambda}_p = 0,932 \sqrt{(b_{eff,c,wc} d_c f_y) / E t_{wc}^2} = 0,87 \quad \dots \text{vitkost pločevine}$$

$k_{wc} = 1$...redukcijski faktor, ki zajema vpliv velikosti največje vzdolžne normalne tlačne napetosti v stojini, naveden v točki 6.2.6.2(2) v SIST EN 1993-1-8 [1]. Standard dopušča, da se redukcijo zanemari in predpostavi $k_{wc} = 1$

4.3.2.2 Stojina in pasnica prečke v tlaku

Preveriti je treba nosilnost pasnice in sodelujočega dela stojine nosilca v tlaku. Za rezultanto tlačnih sil se lahko predpostavi, da deluje v središču pasnice stebra. Tlačno odpornost se izračuna po izrazu

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h_b - t_{fb}} = 764,7 \text{ kN} \quad (29)$$

kjer so:

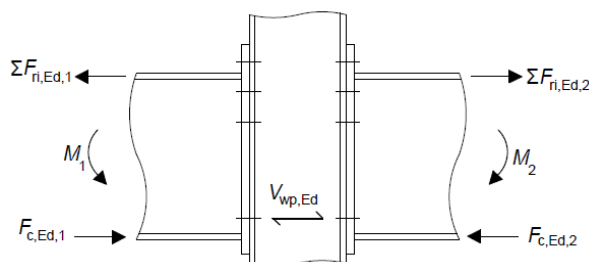
$M_{c,Rd} = 307,15 \text{ kNm}$...plastična upogibna nosilnost prereza nosilca

$h_b = 250 \text{ mm}$...višina nosilca
 $t_{fb} = 12,5 \text{ mm}$...debelina pasnice nosilca

4.3.3 Strižni panel

Prisotnost in velikost strižne sile v vozlišču je odvisna od vrste in obremenitve spoja. Če gre za enostransko vozlišče brez osne sile v prečki, potem lahko strižno obremenitev vzamemo enako tlačni sili $F_{c,Ed}$, ki je enaka seštevku nateznih sil. Pri dvostranskem vozlišču pa moramo biti pozorni na momenta v stikajočih prečkah. Če sta enaka in nasprotna en drugemu, je strižna obremenitev v spoju enaka nič. V obravnavanem dvostranskem vozlišču konfiguracije 2 torej ta kontrola ni potrebna. Če pa sta momenta različno velika, se strižna obremenitev izračuna po poenostavljenem izrazu [2]:

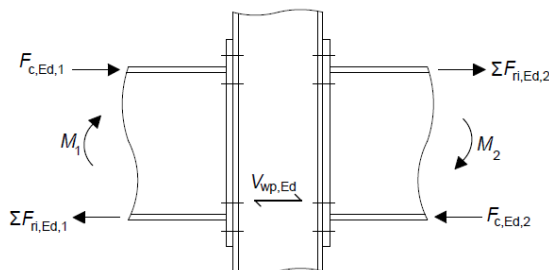
$$V_{wp,Ed} \doteq |F_{c,Ed,1} - F_{c,Ed,2}| \quad (30)$$



Slika 17: Delovanje momentov v nasprotni smeri (The Steel Construction Institute, 2013:str 22)

Za momenta, ki delujeta v enaki smeri pa po izrazu:

$$V_{wp,Ed} \doteq F_{c,Ed,1} + F_{c,Ed,2} \quad (31)$$



Slika 18: Delovanje momentov v isti smeri (The Steel Construction Institute, 2013:str 22)

Za račun odpornost stojine stebra v strigu moramo najprej z izrazi iz [7] zagotoviti, da je le ta kompaktna v strigu.

$$\frac{d_c}{t_{wc}} = 23,6 \leq 69\varepsilon = 69 \quad (32)$$

kjer so:

$$d_c = h_c - 2(t_{fc} + r_c) = 17,7 \text{ cm} \quad \dots \text{ravna višina stojine stebra}$$

$$t_{wc} \quad \dots \text{debelina stojine stebra}$$

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{yc}}} = 1$$

Odpornost se izračuna po izrazu:

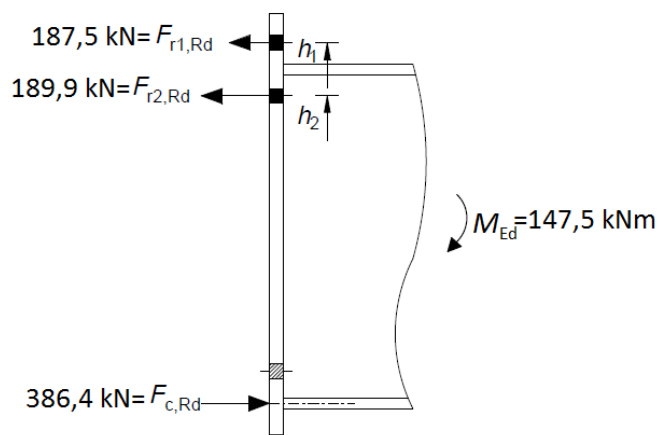
$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9f_{yc}A_{vc}}{\gamma_{M0}\sqrt{3}} = 350,9 \text{ kN} \quad (33)$$

kjer je:

A_{vc} ...strižni prerez stebra, definiran z izrazom (12)

4.3.4 Račun momentne kapacitete spoja

Pri računu momentne kapacitete spoja se opiramo na ravnotežje sil v spoju. Natezne sile v vijakih in tlačna sila v spodnji pasnici morajo biti v ravnotežju, kot je zapisano v izrazu (34). Prav tako mora biti izpolnjen momentni ravnotežni pogoj (35). Ker je osna sila v prečki zelo majhna, jo tako kot pri računu nosilnosti prečke, tudi tu zanemarim.



Slika 19: Ravnotežje sil v spoju

$$\Sigma F_{ri} = F_{c,Rd} \quad (34)$$

kjer so:

$F_{c,Rd} = 386,4 \text{ kN}$...tlačna sila, ki je enaka manjši izmed nosilnosti pasnice stojine v tlaku, stebra v prečnem tlaku, strižnega panela, kjer je ta kontrola relevantna

ΣF_{ri} ...vsota sil v vseh vrstah vijakov v nategu

Ker je vsota potencialnih sil v vijakih $F_{t1,Rd} + F_{t2,Rd} = 418,2 \text{ kN}$ večja od $F_{c,Rd}$, je potrebno sile v vijakih reducirati, da se doseže ravnotežje. Redukcijo naredim v drugi vrsti vijakov in sicer silo zmanjšam za $F_{t1,Rd} + F_{t2,Rd} - F_{c,Rd} = 31,8 \text{ kN}$.

Ko so določene sile v vijakih z upoštevanjem ravnotežja sil v horizontalni smeri, lahko zapišem še momentni ravnotežni pogoj, s katerim dobim tudi momentno kapaciteto spoja. Ravnotežje zapišem glede na središče tlačene pasnice.

$$M_{c,Rd} = \Sigma F_{ri,Rd} h_i = 147,5 \text{ kNm} = M_{Ed} \quad (35)$$

kjer so:

$F_{ri,Rd}$...reducirana natezna odpornost i-te vrste

h_i ...oddaljenost i-te vrste vijakov od centra tlačene cone, kjer so:

$$h_1 = h_b - t_{fb}/2 + x_1 = 43,3 \text{ cm}$$

$$h_2 = h_1 - p = 33,3 \text{ cm}$$

4.3.5 Kontrola vertikalnega striga

Odpornost vertikalnemu strigu nudijo vijaki, ki so namenjeni prenosu striga. Nosilnost vijaka je manjša izmed odpornosti proti prestrigu vijaka ter odpornosti na bočni pritisk pločevine, ki pa v tem primeru ni merodajen. Odpornost celotnega spoja je enaka dvakratni nosilnosti vijaka M24 8.8 na prestrig in je:

$$F_{v,Rd} = 2 \cdot 135,6 \text{ kN} = 271,2 \text{ kN} > F_{v,Ed} = 220 \text{ kN} \quad (36)$$

Če nosilnost strižnih vijakov ne bi zadostovala za prevzem celotne obremenitve, lahko v računu upoštevamo tudi vijake, ki so v nategu. Njihovo nosilnost pa lahko zaradi kombinacije natega in striga konzervativno upoštevamo kot največ 28% nosilnost vijakov obremenjenih samo s strigom. [2]

4.3.6 Račun ojačitve

Obstaja več načinov ojačitve spoja. Pri odločitvi za tip ojačitve sem pri obravnavanem tipu spoja gledal, kateri člen ima najmanjšo nosilnost ter ga nato ojačal tako, da se je celotna nosilnost spoja povečala. Pri tem sem bil pozoren tudi na to, da bo merodajni člen še vedno tak, ki ima duktilno porušitev in tako omogoča vzpostavitev plastičnega členka v spoju.

Pri dvostranskem spoju sem se odločil za tlačne ter natezne ojačitve, kot je prikazano na konfiguraciji spoja 2 (slika 9). Tlačne ojačitve povečajo tlačno odpornost stojine stebra, natezne ojačitve pa povečajo upogibno nosilnost pasnice stebra ter natezno nosilnost njegove stojine.

Pri enostranskem spoju pa je merodajna tudi kontrola strižnih napetosti v stojini stebra. Zato sem tam stojino poleg tlačne in natezne ojačitve, ojačal še z dodatno pločevino, kot je prikazano na konfiguraciji spoja 3 (slika 9). Ta poveča strižno nosilnost ter do neke mere tudi natezno in tlačno nosilnost stojine stebra.

4.3.6.1 Natezna ojačitev

Natezne ojačitve morajo biti postavljene simetrično na obeh straneh stojine stebra. V vogalih jih je potrebno pristriči, da se prilagodijo radiju ali zvaru med stojino in pasnico. Račun ojačitev izvedem po postopku, ki je opisan v [2]. Najprej moram zadostiti pogoju glede širine ojačitve:

$$b_{sg} \geq \frac{0,75(b_c - t_{wc})}{2} = 9,5 \text{ cm} \quad (37)$$

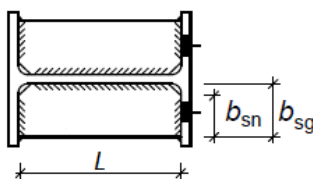
kjer je dimenzija b_{sg} definirana na spodnji sliki.

Izberem si torej $b_{sg} = 10 \text{ cm}$ in zadostim tudi spodnji enačbi.

$$2b_{sg} + t_{wc} = 20,75 \text{ cm} \geq 1,33g = 11,97 \text{ cm} \quad (38)$$

Razdaljo b_{sn} nato dobim tako da od b_{sg} odštejem radij zaokrožitve stebra r_c .

$$b_{sn} = 7,6 \text{ cm}$$



Slika 20:Definicije dimenzij ojačitve (The Steel Construction Institute, 2013:str 29)

Ojačitev mora biti sposobna prenesti večjo izmed sil, ki so potrebne da se zagotovi zadostno natezno odpornost stojine stebra ter zadostno podporo pasnici stebra [2]. Te sile so zajete v spodnjih izrazih.

$$F_{s,Ed} = (F_{ri,Rd} + F_{rj,Rd} - \frac{L_{wt} t_{wc} f_{y,c}}{\gamma_{M0}}) / 2 \quad (39)$$

$$F_{s,Ed} = \frac{m_1}{2} \left[\frac{F_{ri,Rd}}{m_1 + m_{2L}} + \frac{F_{rj,Rd}}{m_1 + m_{2U}} \right] \quad (40)$$

kjer so:

$F_{ri,Rd} = 244,2 \text{ kN}$...efektivna natezna odpornost vrste vijakov nad ojačitvijo po izrazu (27)

$F_{rj,Rd} = 244,2 \text{ kN}$...efektivna natezna odpornost vrste vijakov pod ojačitvijo po izrazu (27)

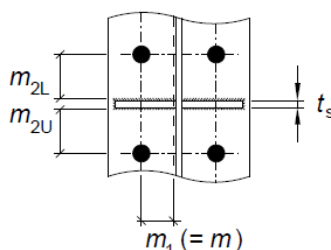
$L_{wt} = 25,6 \text{ cm}$...dolžina stojine v nategu, ob predpostavljenem raznosu sile od vijakov k stojini pod kotom 60°

$m_{2U} = m_{2L} = p/2 - t_s/2 - 0,8\sqrt{2}a_{ts} = 39,3 \text{ mm}$

$a_{ts} = 5 \text{ mm}$...polonosilni zvar izračunan po izrazu (13)

$m_1 = m_c = 22,1 \text{ mm}$

Razdalje m so razložene na spodnji sliki:



Slika 21:Definicije razdalj m (The Steel Construction Institute, 2013:str 30)

Z izrazi (39) in (40) dobimo rezultate:

$$F_{s,Ed} = \max \left\{ \begin{aligned} & (244,2 + 244,2 - \frac{25,6 \cdot 0,75 \cdot 23,5}{1}) / 2 = 18,86 \text{ kN} \\ & \frac{22,1}{2} \left[\frac{244,2}{22,1 + 39,3} + \frac{244,2}{22,1 + 39,3} \right] = 87,7 \text{ kN} \end{aligned} \right.$$

Iz večje izmed zgornjih obremenitev nato dobimo potreben prerez ojačitve z izrazom:

$$A_{sn} = b_{sn} t_s \geq \frac{F_{s,Ed} \gamma_{M0}}{f_{y,s}} = 3,73 \text{ cm}^2 \quad (41)$$

Iz zgornjega izraza vidim, da ni potrebna debela ojačitev, ampak se zaradi enostavnosti vseeno odločim za debelino $t_s = 1 \text{ cm}$. S tem zagotovim da je debelina enaka debelini tlačne ojačitve, določene v naslednjem poglavju, katera mora biti kompaktna v tlaku. Torej izraz (41) preide v $7,6 \text{ cm}^2 > 3,73 \text{ cm}^2$.

V [2] avtor navaja, da v spoju, ki ima natezno ojačitev zasnovano po tem postopku, nateg stojine stebra za vrste vijakov, ki so ob ojačitvi, ne more biti merodajen. Prav tako se pomembna sprememba zaradi natezne ojačitve zgodi tudi pri upogibni nosilnosti pasnice stebra. Mehanizmi plastifikacije se za obe vrsti spremenijo. Sodelujoče dolžine nadomestnih T-elementov sedaj dobim z upoštevanjem izrazov (21) in (22), le da tu namesto m_p upoštevam razdaljo $m_c = 22,1 \text{ mm}$. Za prvo in drugo vrsto vijakov so sedaj merodajni enaki mehanizmi in tako dobim za obe rezultate:

$$L_{eff,nc} = \alpha m_c = 17,6 \text{ cm}$$

$$L_{eff,cp} = 2\pi m_c = 13,9 \text{ cm}$$

Iz tega sledi: $L_{eff,1} = 13,9$ cm ter $L_{eff,2} = 17,6$ cm

Z izrazoma (17) ter (18) dobim $M_{pl,1,Rd} = 127,2$ kNcm ter $M_{pl,2,Rd} = 161,9$ kNcm

Odpornost za različne načine porušitve dobim po izrazih (14) do (16).

$$F_{T,1,Rd} = 230,7 \text{ kN}$$

$$F_{T,2,Rd} = 291,2 \text{ kN}$$

$$F_{T,3,Rd} = 406,7 \text{ kN}$$

S tem se spremeni tudi preglednica 2 in sicer v sledečo obliko:

Preglednica 3: Nosilnost nadomestnih T-elementov spoja konfiguracije 2

	Stran nosilca		Stran stebra	
	upogib čelne pločevine [kN]	nateg stojine nosilca [kN]	upogib pasnice stebra [kN]	nateg stojine stebra [kN]
Vrsta 1	187,5	/	230,7	/
Vrsta 2	309,9	/	230,7	/

Končne odpornosti dobim torej kot minimalne vrednosti izmed zgornjih za vsako vrsto posebej.

$$F_{t1,Rd} = 187,5 \text{ kN}$$

$$F_{t2,Rd} = 230,7 \text{ kN}$$

4.3.6.2 Tlačna ojačitev

Tlačne ojačitve morajo biti, enako kot natezne, nameščene simetrično na obeh straneh stojine stebra.

Nosilnost efektivnega prereza stojine in ojačitev mora biti vsaj enaka tlačni sili $F_{c,Ed}$. Efektivni prerez je križ, sestavljen iz obeh ojačitev ter dela stojine, ki sodeluje pri prevzemu tlaka, dolžine $b_{eff,c,wc}$.

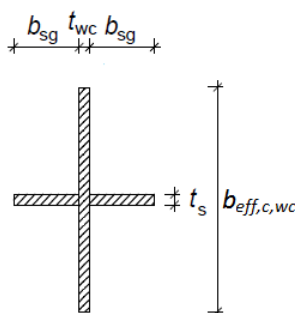
Potrebno je zagotoviti, da je prerez v 3. razredu kompaktnosti. Da lahko rešim izraz (42), si za debelino ojačitve t_s izberem 1 cm. Dimenzije v spodnjih izrazih so prikazane na sliki 22.

$$b_{sg}/t_s \leq 14\epsilon \quad (42)$$

Sledi torej $b_{sg} < 14$ cm. Izberem si dimenzijo $b_{sg} = 12$ cm.

Površino efektivnega prereza dobimo iz izraza:

$$A_{s,eff} = b_{eff,c,wc}t_w + 2b_{sg}t_s = 42,58 \text{ cm}^2 \quad (43)$$



Slika 22: Površina efektivnega prereza

Novo nosilnost stojine stebra v prečnem tlaku nato dobimo po izrazu:

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{s,eff}f_y}{\gamma_{M0}} = 1000,7 \text{ kN} \quad (44)$$

Preveriti moram tudi uklon ojačitev, kar storim z računom relativne vitkosti prereza.

$$\bar{\lambda} = \frac{l}{i_s \lambda_1} = 0,03 \quad (45)$$

kjer so:

$$\lambda_1 = 93,9\varepsilon = 93,9$$

$$l = 0,7c_c = 15,8 \text{ cm}$$

...uklonska dolžina ojačitve

$$i_s = \sqrt{I_s/A_{s,eff}} = 5,51 \text{ cm}$$

...vztrajnostni polmer prereza

$$I_s = (2b_{sg} + t_{wc})^3 t_s / 12 = 1263,4 \text{ cm}^4$$

...vztrajnostni moment efektivnega prereza

Ker je $\bar{\lambda} < 0,2$, lahko zanemarim nevarnost uklona. V nasprotnem primeru bi ga moral upoštevati po standardnih enačbah za uklon.

Zvare, s katerimi je ojačitev privarjena na steber, naredim polnonosilne z uporabo enačbe (13)

Momentno kapaciteto spoja konfiguracije 2 lahko sedaj izračunam po enakih izrazih kot v poglavju 4.3.4. Zaradi ojačitev se nosilnost spoja poveča na $M_c = 158,1 \text{ kNm}$. Torej vidim, da z vgradnjo ojačitev pri taki zasnovi spoja nisem pridobil veliko nosilnosti, saj so merodajni mehanizmi plastifikacije upogib čelne pločevine ter upogib pasnice stebra. Več nosilnosti bi lahko pridobil predvsem z vgraditvijo dodatnih pločevin za odebelitev pasnice stebra.

4.3.6.3 Strižna ojačitev panela z dodatno strižno pločevino

Dodatna strižna pločevina je potrebna le v robnih vozliščih, kjer je kritična kontrola striga. Tak spoj je prikazan na konfiguraciji 3. Privarim jo le na eno stran stojine, saj mi morebitna dodatna strižna pločevina tudi na drugi strani, po navodilih v standardu, ne bi več dodatno prispevala k strižnemu prerezu. Pločevina mora ustrezati naslednjim zahtevam navedenih v [1]:

- trdnost jekla mora biti enaka kot trdnost stebra.
- debelina t_s mora biti najmanj enaka debelini pasnice stebra t_{wc} .
- širina mora biti manjša od $40\varepsilon t_s$ in skupaj z zvare mora biti enaka notranji višini ravnega dela stojine d_c .
- dolžina mora biti vsaj taka, da pokrije celotno tlačno ter natezno cono stojine stebra.

Odločim se za debelino strižne ojačitve $t_s = 10 \text{ mm} > t_{wc} = 7,5 \text{ mm}$. Širino pločevine določim kot

$$b_s = d_c - 2\sqrt{2}a_s = 15,7 \text{ cm}$$

kjer je $a_s = 0,7t_s = 7 \text{ mm}$...polnonosilni zvar v preklonem spoju [7]

S tem se strižni prerez stebra poveča na $A_{vc,ojačan} = A_{vc} + b_s t_{wc} = 40,53 \text{ cm}^2$

Nosilnost panela v strigu pa tako znaša:

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9f_{yc}A_{vc,ojačan}}{\gamma_{M0}\sqrt{3}} = 494,9 \text{ kN} \quad (46)$$

Strižna obremenitev panela $V_{wp,Ed}$ je enaka tlačni sili $F_{c,Ed} = 418,2 \text{ kN}$, torej je nosilnost zadostna.

4.3.7 Kontrola zvarov

Ker sem že v osnovi vse zware zasnoval kot polnonosilne, kontrola zvarov ni potrebna. V nasprotnem primeru pa bi bilo potrebno zagotoviti, da porušitev zvarov ni merodajna za nosilnost spoja, saj tak porušni mehanizem ni duktilen.

4.4 Rotacijska togost spoja

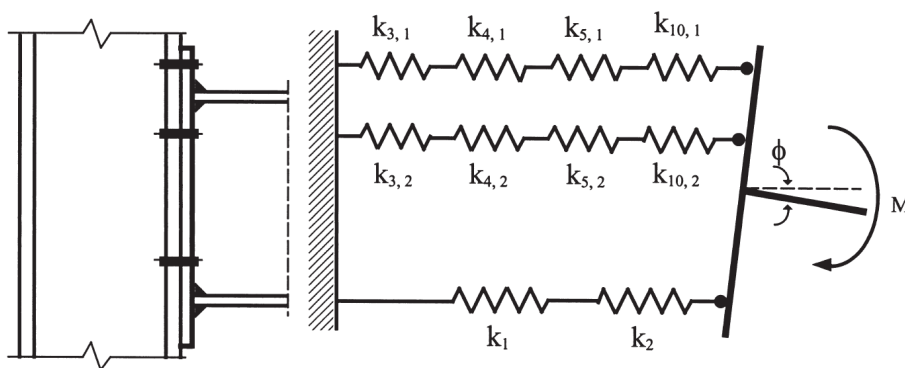
Rotacijsko togost spoja tako kot nosilnost računamo po komponentni metodi, kot je določeno v SIST EN 1993-1-8 [1]. Določimo jo iz podajnosti osnovnih komponent spoja, ki so zajeti v koeficientih elastične togosti k_i . Te koeficiente je potrebno ustrezno kombinirati v odvisnosti od vrste spoja, števila vrst vijakov v nategu, ojačitev ipd. Za primere, kot je obravnavani, ko osna sila v priključenem elementu ne presega 5% nosilnost prereza $N_{pl,Rd}$, se lahko začetna rotacijska togost $S_{j,ini}$ izračuna s spodnjim izrazom. Račun v celotnem poglavju je opravljen za dvostranski spoj konfiguracije 2.

$$S_{j,ini} = \frac{Ez^2}{\sum_i \frac{1}{k_i}} \quad (47)$$

kjer so:

k_i ...togostni koeficient osnovne komponente i

$z = z_{eq}$...ročica



Slika 23: Mehanski model enostranskega vozlišča (da Silva, 2001: str 48)

Togostni koeficienti k_i predstavljajo nadomestne rotacijske togosti vzmeti. Vsaka komponenta spoja je predstavljena s svojo vzmetjo. Avtorja v članku [8] navajata, da pride v drugačnih spojih, kot so na primer varjeni, do drugačnih povezav med vzmetmi. Skupna lastnost vsem spojem pa je, da se delijo na natezno, tlačno in strižno cono. Za račun togosti vozlišča prečka-steber s čelno pločevino in dvema ali več vrst vijakov v nategu je račun togostnih koeficientov k_i sestavljen iz računa koeficienta k_{eq} ter pri dvostranskih vozliščih z enakima in nasprotno usmerjenima momentoma k_2 , pri enostranskem spoju pa k_1 in k_2 . Za ročico z je potrebno upoštevati vrednost z_{eq} . [1] Vzmet, ki nadomešča komponente v tlaku, je zaporedno vezana z vzmetjo, ki nadomešča komponente v strigu. Skupaj pa sta nato vzporedno vezani z vzmetjo, ki nadomešča komponente v nategu. Ta je sestavljena iz vzporedno vezanih vzmeti, ki predstavljajo vsaka svojo vrsto vijakov v nategu. Kako so nadomestne vzmeti povezane v modelu, je predstavljeno na zgornji sliki. Vse vzmeti v nategu bi lahko predstavil tudi z eno samo vzmetjo, s togostnim koeficientom k_{eq} .

4.4.1 Natezna cona

Koeficient k_{eq} opisuje osnovne komponente, ki se nanašajo na vrste vijakov v nategu. Sestavljen je iz vzmeti, ki predstavljajo vsako vrsto vijakov v nategu in so med seboj vzporedno povezane. Določen je s spodnjim izrazom.

$$k_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} h_r}{z_{eq}} \quad (48)$$

kjer so:

h_r ...razdalja r-te vrste vijakov do središča tlaka
 $k_{eff,r}$...efektivni togostni koeficient r-te vrste, znotraj katerega so upoštevani togostni koeficienti k_i osnovnih komponent
 z_{eq} ...ekvivalentna ročica

Efektivni togostni koeficient se določi s spodnjim izrazom. Predpostavi se, da so vzmeti osnovnih komponent med seboj zaporedno vezane.

$$k_{eff,r} = \frac{1}{\sum_i 1/k_{i,r}} \quad (49)$$

Nadomestno ročico pa dobimo z izrazom:

$$z_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} h_r^2}{\sum_r k_{eff,r} h_r} \quad (50)$$

kjer so ročice:

$$h_1 = h_b - t_{fb}/2 + x_1 = 43,3 \text{ cm}$$

$$h_2 = h_1 - p = 33,3 \text{ cm}$$

Pri računu vozlišč prečka-steber mora k_{eq} nadomestiti togostne koeficiente:

- stojina stebra v nategu (k_3)
- pasnica stebra v upogibu (k_4)
- čelna pločevina v upogibu (k_5)
- vijaki v nategu (k_{10})

Posamezne togostne koeficiente se izračuna po spodnjih izrazih.

Stojina stebra v nategu:

$$k_3 = \frac{0,7 b_{eff,t,wc} t_{wc}}{c} = \frac{0,7 \cdot 13,9 \text{ cm} \cdot 0,75 \text{ cm}}{22,5 \text{ cm}} = 0,323 \text{ cm} \quad (51)$$

kjer so:

c ...višina stojine med pasnicama

$b_{eff,t,wc} = 13,9 \text{ cm}$...sodelujoča širina stojine stebra v nategu, ki je definirana enako kot v izrazu (27)

Koeficient k_3 ima enako vrednost za prvo in drugo vrsto vijakov v nategu.

Pasnica stebra v upogibu:

$$k_4 = \frac{0,9 l_{eff}^3 t_{fc}^3}{m_c^3} = \frac{0,9 \cdot 13,9 \text{ cm} \cdot (1,25 \text{ cm})^3}{(2,21 \text{ cm})^3} = 2,272 \text{ cm} \quad (52)$$

kjer so:

l_{eff} ...najmanjša efektivna dolžina za to vrsto vijakov izračunana po izrazih v poglavju 4.3.6.1

m_c ...razdalja določena na sliki 12

Koeficient k_4 ima enako vrednost za prvo in drugo vrsto vijakov v nategu.

Čelna ploščevina v upogibu:

$$k_5 = \frac{0,9 l_{eff} t_p^3}{m^3} \quad (53)$$

kjer so za zgornjo vrsto vijakov:

$l_{eff} = 10 \text{ cm}$...najmanjša efektivna dolžina za to vrsto vijakov izračunana po izrazih v poglavju 4.3.1.1

$m = m_x = 32,1 \text{ mm}$

$k_5 = 1,117 \text{ cm}$

za drugo vrsto vijakov:

$l_{eff} = 22,7 \text{ cm}$

$m = m_p = 36,7 \text{ mm}$

$k_5 = 1,771 \text{ cm}$

Vijaki v nategu:

$$k_{10} = \frac{1,6 A_s}{L_b} = \frac{1,6 \cdot 3,53 \text{ cm}^2}{4,48 \text{ cm}} = 1,032 \text{ cm} \quad (54)$$

kjer so:

$A_s = 3,53 \text{ cm}^2$

...prerez skozi del stebra vijaka z navojem

$L_b = t_{fc} + t_p + 2s + 0,5(m + k) = 44,75 \text{ mm}$

...raztezna dolžina, za katero se vzame

spenjalna dolžina ter polovična vsota višine glave vijaka in matice, kjer so:

$s = 4 \text{ mm}$...debelina podložke za navadni vijak M24

$m = 21,5 \text{ mm}$...debelina matice za navadni vijak M24

$k = 15 \text{ mm}$...debelina glave vijaka za navadni vijak M24

Koeficient k_{10} ima enako vrednost za prvo in drugo vrsto vijakov v nategu.

Z izrazom (49) tako lahko izračunam:

$k_{eff,1} = 1/(1/0,323 + 1/2,272 + 1/1,117 + 1/1,032) = 0,185 \text{ cm}$

$k_{eff,2} = 1/(1/0,323 + 1/2,272 + 1/1,771 + 1/1,032) = 0,197 \text{ cm}$

Z izrazom (50) dobim ekvivalentno ročico:

$z_{eq} = (0,185 \cdot 43,3^2 + 0,197 \cdot 33,3^2)/(0,185 \cdot 43,3 + 0,197 \cdot 33,3) = 38,82 \text{ cm}$

Z izrazom (48) nato dobim:

$k_{eq} = 0,185 \text{ cm} \cdot 43,3 \text{ cm} + 0,197 \text{ cm} \cdot 33,3 \text{ cm} / (38,8 \text{ cm}) = 0,376 \text{ cm}$

4.4.2 Strižna cona

Koeficient k_1 zajame obnašanje panela stojine stebra v strigu. Izračuna se ga po izrazu:

$$k_1 = \frac{0,38 A_{vc}}{\beta z} = \infty \quad (55)$$

kjer so:

A_{vc} ...strižni prerez stebra

$\beta = 0$...transformacijski parameter za dvostransko vozlišče, kjer sta momenta nasprotna enaka, kot je določeno v preglednici 5.4 v SIST EN 1993-1-8 [1].

$z = z_{eq}$...ročica

V primeru, ko je stojina ojačana s strižno ojačitvijo, kot je to pokazano v konfiguraciji spoja 3, se predpostavi, da velja $k_1 = \infty$.

4.4.3 Tlačna cona

Koeficient k_2 zajame obnašanje stojine stebra v tlaku. Za obravnavan spoj konfiguracije 2, ki ima tlačno ojačitev, velja $k_2 = \infty$. Za spoj brez tlačne ojačitve pa se izračuna po izrazu:

$$k_2 = \frac{0,7b_{eff,c,wc}t_{wc}}{c} \quad (56)$$

kjer so:

$b_{eff,c,wc}$...sodelujoča širina v tlaku definirana enako kot v izrazu (28)

c ...višina stojine stebra med pasnicama

Vse tako izračunane osnovne koeficiente vstavim v izraz (47) ter dobim začetno rotacijsko togost:

$$S_{j,ini} = \frac{21000 \text{ kN/cm}^2 \cdot (38,8 \text{ cm})^2}{\frac{1}{0,376 \text{ cm}} + \frac{1}{\infty} + \frac{1}{\infty}} = 119 \text{ MNm/rad}$$

4.5 Rotacijska kapaciteta

Ker računam po geometrijsko nelinearni analizi z nelinearnimi vzmetmi, je potrebno zagotoviti, da imajo vozlišča zadostno rotacijsko kapaciteto, ki omogočijo razvoj plastičnih členkov. Tako zagotovimo, da ne pride do krhke porušitve. Da ima spoj zadostno rotacijsko kapaciteto lahko zagotovimo tako, da izpolnimo dva pogoja iz standarda [1]:

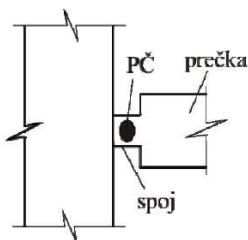
a) Upogibna nosilnost vozlišča je omejena z nosilnostjo

- pasnice stebra v upogibu ali
- čelne pločevine nosilca v upogibu

b) Debelina t pasnice stebra ali čelne pločevine zadošča pogoju

$$t \leq 0,36d \sqrt{f_{ub}/f_y} = 16 \text{ mm} \quad (57)$$

Kot je pokazano v zgornjih poglavjih, sta za spoje konfiguracije 2 ter 3 oba pogoja zadoščena. Pri delno nosilnih vozliščih v spoju nastanejo plastične deformacije oziroma plastični členek, kot je to prikazano na sliki 24. Če bi bil merodajen drug mehanizem porušitve, kot na primer odpoved vijakov v nategu, ki nimajo sposobnosti doseganja večjih plastičnih deformacij, bi prišlo do porušitve preden bi se lahko razvila nosilnost spodnjih vrst vijakov in s tem izračunana nosilnost ne bi bila izkazana.



Slika 24: Plastični členek v spoju (Beg, 2011: str 25)

4.6 Razvrstitev vozlišča

Glede na obravnavane kriterije v drugem poglavju, lahko tako izračunana vozlišča razvrstim po nosilnosti ter togosti. Za vozlišča katerih račun ni prikazan v zgornjih poglavjih, je le ta predstavljen v prilogi A.

4.6.1 Nosilnost

Za klasifikacijo spoja moram primerjati nosilnost prečke ter spoja. Nosilnost prečke na upogibni moment je $M_{b,pl,Rd} = 307,1 \text{ kNm}$. Nosilnost vozlišča pa je odvisna od njegove vrste.

Preglednica 4: Nosilnost obravnavanih spojev

	Dvostransko vozlišče		Robno vozlišče	
	Konfiguracija 1	Konfiguracija 2	Konfiguracija 1	Konfiguracija 3
M_c [kNm]	147,5	158,1	122,4	158,1

Iz preglednice je razvidno, da noben spoj ni polno nosilen. Vse konfiguracije spojev pa imajo nosilnost večjo od $0,25M_{b,pl,Rd}$, kar pomeni da jih moramo uvrstiti med delno nosilne.

4.6.2 Togost

Kriterij za uvrstitev med toga vozlišča je podan z izrazom (1). V primeru obravnavane konstrukcije se izraz zapiše:

$$S_{j,ini} \geq k_b EI_b / L_b = 25 \cdot 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{33740 \text{ cm}^4}{700 \text{ cm}} = 253 \text{ MNm/rad}$$

Kriterij za nominalno členkasta vozlišča (2) pa se zapiše:

$$S_{j,ini} \leq 0,5 EI_b / L_b = 0,5 \cdot 21000 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \cdot \frac{33740 \text{ cm}^4}{700 \text{ cm}} = 5 \text{ MNm/rad}$$

kjer je $K_b/K_c = 1,8$ za prvo etažo in $= 1,4$ za ostale.

Preglednica 5: Togost obravnavanih spojev

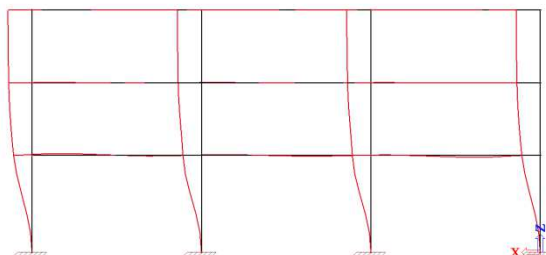
	Dvostransko vozlišče		Robno vozlišče	
	Konfiguracija 1	Konfiguracija 2	Konfiguracija 1	Konfiguracija 3
$S_{j,ini}$ [MNm/rad]	72	119	40	119

Iz preglednice je razvidno, da noben izmed obravnavanih spojev ne dosega kriterijev za toga ali za členkasto vozlišče. Torej lahko vse spoje klasificiram kot delno toge.

Tudi po razvrstitvi v [2], predstavljeni v drugem poglavju, lahko spoje uvrstimo med delno toge.

5 Numerična analiza okvirja

Za ugotavljanje stabilnosti konstrukcije, jo moramo izmakniti iz ravnotežne lege ter ravnotežne enačbe zapisati v deformirani legi konstrukcije. Tako račun poteče po teoriji drugega reda. Ob računu stabilnosti v SCIA Engineer 2013, nam program sam izmakne konstrukcijo iz ravnotežne lege v različne deformirane lege. Za okvir najbolj neugodna je 1. stabilnostna oblika, prikazana na sliki 25.



Slika 25: 1. stabilnostna oblika

Glede na obnašanje konstrukcije nato program izračuna faktor α_{cr} , ki je definiran v spodnjem izrazu:

$$\alpha_{cr} = F_{cr}/F_{Ed} \quad (58)$$

kjer so:

α_{cr} ...faktor, ki pove, za kolikokrat je treba povečati projektno obtežbo, da se doseže elastična kritična obtežba konstrukcije

F_{Ed} ...projektna obtežba konstrukcije

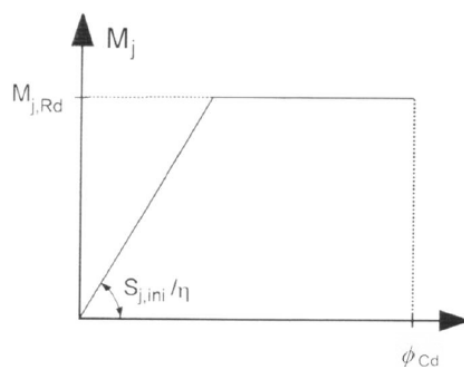
F_{cr} ...elastična kritična obtežba, ki povzroči globalno nestabilnost konstrukcije

Ob upoštevanju togih vozlišč, programsko orodje SCIA Engineer 2013 izračuna faktor kritične obtežbe $\alpha_{cr} = 11,36$.

5.1 Globalna analiza

V preglednici 5.1 v SIST EN 1993-1-8 [1] so podane metode globalne analize v odvisnosti od razvrstitve vozlišča. Ker so v obravnavanem primeru vsa vozlišča delno toga in delno nosilna, se morajo modelirati kot delno kontinuirna v elastično-plastični globalni analizi.

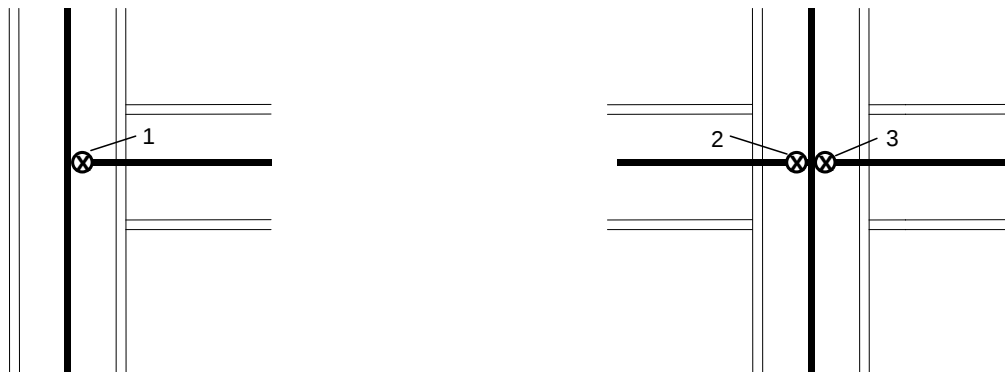
Pri določanju notranjih sil in momentov v vozlišču je potrebno upoštevati diagram upogibni moment-zasuk vozlišča. Standard [1] določa, da se kot poenostavitev diagrama moment-zasuk lahko uporabi bilinearni diagram, pri katerem se prilagoditveni koeficient η določi iz preglednice 5.2. iz tega standarda. Za vozlišča prečka-steber je koeficient $\eta = 2$.



Slika 26: Poenostavljen bilinearni diagram moment-zasuk (SIST EN 1993-1-8, 2005: str 51)

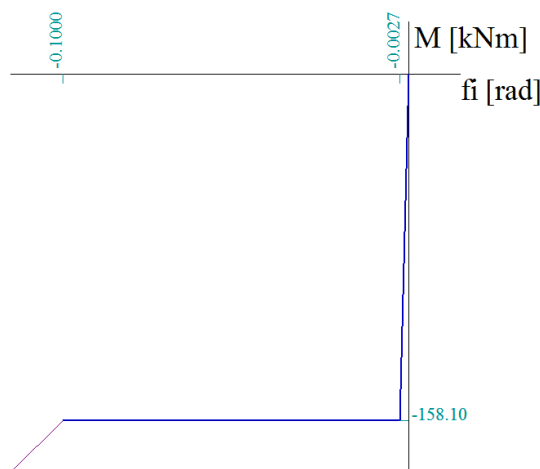
5.2 Modeliranje vozlišč

Vsak spoj je potrebno modelirati kot nadomestno vzmet z rotacijsko togostjo, ki jo izračunamo z izrazom (47). Ker je za opis obnašanja vzmeti uporabljen bilinearen diagram moment-zasuk, moram uporabiti sekantno togost $S_{j,ini}/\eta$, kot je razloženo v poglavju 5.1. Kot je prikazano na spodnji sliki, moramo dvostranska vozlišča modelirati kot dve različni vzmeti, ki imata lahko tudi različni togosti.



Slika 27: Modeliranje vozlišč z vzmetmi (SIST EN 1993-1-8, 2005: str 57)

Ko spoj kot vzmet vstavim v program, mu določim potek odvisnosti upogibni moment-zasuk. Ker so vsi obravnavani spoji le delno nosilni, se tam tvori plastični členek. To povzroči, da se moment prerazporedi na nosilec, kjer se poveča, v spoju pa se zmanjša na nivo, ki ga le-ta še lahko prenese, torej na plato prikazan na spodnjem grafu.

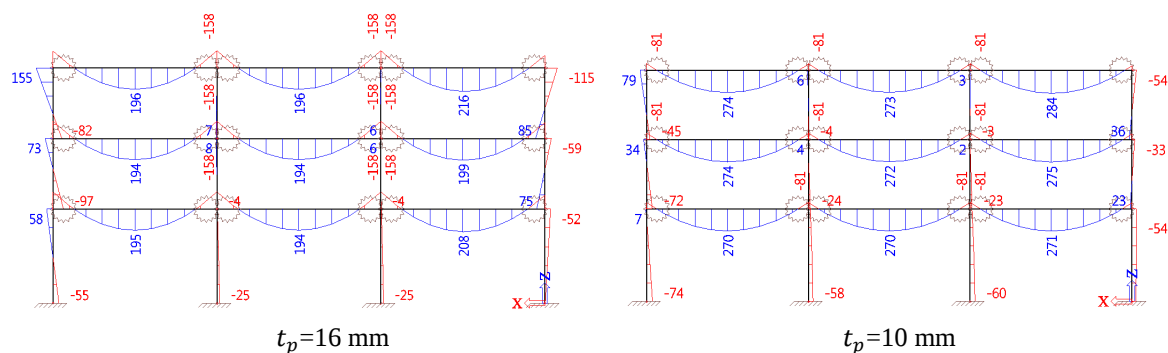


Slika 28: Računski model vzmeti oziroma odvisnost moment-rotacija spoja

5.3 Rezultati analize

Opravi sem nelinearno analizo, pri kateri se je za merodajno obtežno kombinacijo izkazala K2. Mrežo končnih elementov sem definiriral tako, da je povprečno število KE na enem elementu (stebri oziroma prečki) 10.

V večini spojev v konstrukciji je dosežen plato grafa moment-zasuk, kar pomeni, da je dosežena upogibna nosilnost spoja ter da se tam tvori plastični členek. Posledica tega je razporeditev upogibnih momentov na nosilec, kot je prikazano na spodnjih slikah.



Slika 29: Upogibni momenti v konstrukciji s spoji konfiguracije 2 ter 3 z različni debelinami čelne pločevine

Vidim torej, da se z manjšanjem togosti vozlišč v konstrukciji večja upogibni moment v polju prečke.

Z namenom primerjave obnašanja konstrukcije z različnimi spoji, sem izdelal Excel-ov dokument, s pomočjo katerega sem nato hitreje izračunal momentno kapaciteto spoja M_c ter njegovo začetno togost $S_{j,ini}$. Parameter, ki sem ga spreminjal je bila debelina čelne pločevine t_p . Ob tem sem spremljal spreminjanje pomikov, zasukov ter faktorja α_{cr} . Rezultati so prikazani na spodnjih preglednicah, kjer sta:

Φ_{max} ...največji zasuk obravnavane konfiguracije spoja na konstrukciji
 u_x ...največji pomik v obravnavani konstrukciji v horizontalni smeri

Preglednica 6: Pomik ter α_{cr} konstrukcije – vozlišča konfiguracije 1

t_p [mm]	togi spoji	20	18	16	14	12	10	členkasti spoji
u_x [mm]	3,9	17,5	17,8	20,6	24,7	31,1	64,8	323,4
α_{CR}	11,36	9,17	9,14	9,1	9,08	8,92	8,72	1,14

Preglednica 7: Dvostransko vozlišče konfiguracije 1

t_p [mm]	20	18	16	14	12	10
M_c [kNm]	157,6	157,6	149,8	130,7	114,2	80,9
$S_{j,ini}$ [MNm/rad]	76	74	72	69	64	56
Φ_{max} [mrad]	6,9	7	7,3	7,8	9	11,9

Preglednica 8: Enostransko vozlišče konfiguracije 1

t_p [mm]	20	18	16	14	12	10
M_c [kNm]	127,2	126,7	122,4	117,5	113,2	80,9
$S_{j,ini}$ [MNm/rad]	41	41	40	39	37	34
Φ_{max} [mrad]	9,2	9,3	9,5	9,8	10,6	13,5

Preglednica 9: Pomik ter α_{cr} konstrukcije z ojačanimi vozlišči – konfiguracija 2, 3

t_p [mm]	togi spoji	20	18	16	14	12	10	členkasti spoji
u_x [mm]	3,9	12,3	12,6	21,3	34,2	49,6	75	323,4
α_{cr}	11,36	10,25	10,23	10,19	10,12	10	9,76	1,14

Preglednica 10: Dvostransko vozlišče konfiguracije 2

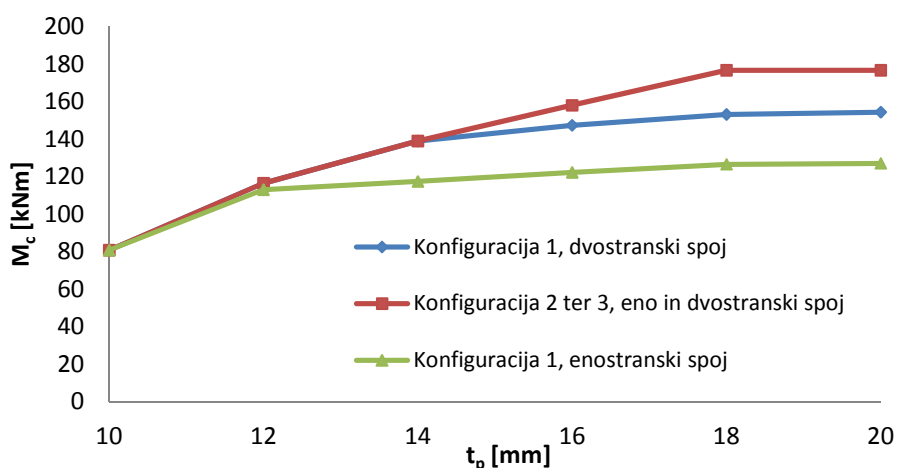
t_p [mm]	20	18	16	14	12	10
M_c [kNm]	176,8	176,8	158,1	139,1	116,6	80,9
$S_{j,ini}$ [MNm/rad]	126	124	119	112	101	84
Φ_{max} [mrad]	5,1	5,1	6,1	7,4	8,9	11,4

Preglednica 11: Enostransko vozlišče konfiguracije 3

t_p [mm]	20	18	16	14	12	10
M_c [kNm]	176,8	176,8	158,1	139,1	116,6	80,9
$S_{j,ini}$ [MNm/rad]	126	124	119	112	101	84
Φ_{max} [mrad]	7,2	7,2	7,9	9,1	10,5	12,7

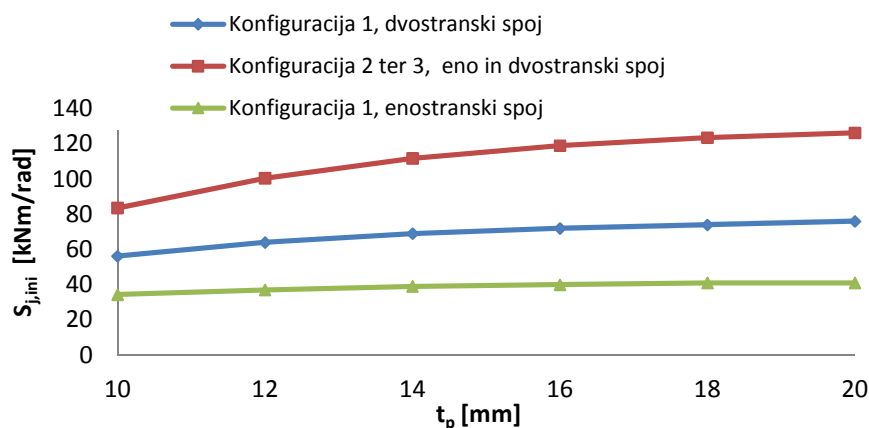
Iz rezultatov vidim, da pri manjših debelinah čelne pločevine pomiki ter zasuki konstrukcije začnejo hitreje naraščati. Obnašanje konstrukcije se takrat vedno bolj približuje obnašanju konzole, zato bi ustreznost takih spojev moral preveriti še s kontrolami pomikov v MSU. Do kakšne razlike v pomikih konstrukcije pride, priča že podatek, da je pomik konstrukcije z ojačanimi spoji z debelino $t_p = 10$ mm skoraj 21x večji od tistega pri konstrukciji s togimi spoji.

Na grafu na sliki 30 je prikazan potek momentne kapacitete spoja M_c v odvisnosti od debeline čelne pločevine t_p za različne tipe spoja. Iz grafa je razvidno, da se z manjšanjem debeline čelne pločevine manjšajo tudi razlike v momentni kapaciteti med različnimi konfiguracijami spoja. Prav tako vidimo, da naklon linije za konfiguracijo 1 pri manjši debelini začne ujemati z naklonom linije za konfiguracijo 2 ter 3. Pri večjih debelinah pa M_c ne narašča več. Takrat je namreč merodajen mehanizem za porušitev upogib pasnice stebra, pri manjši debelini pa upogib čelne pločevine



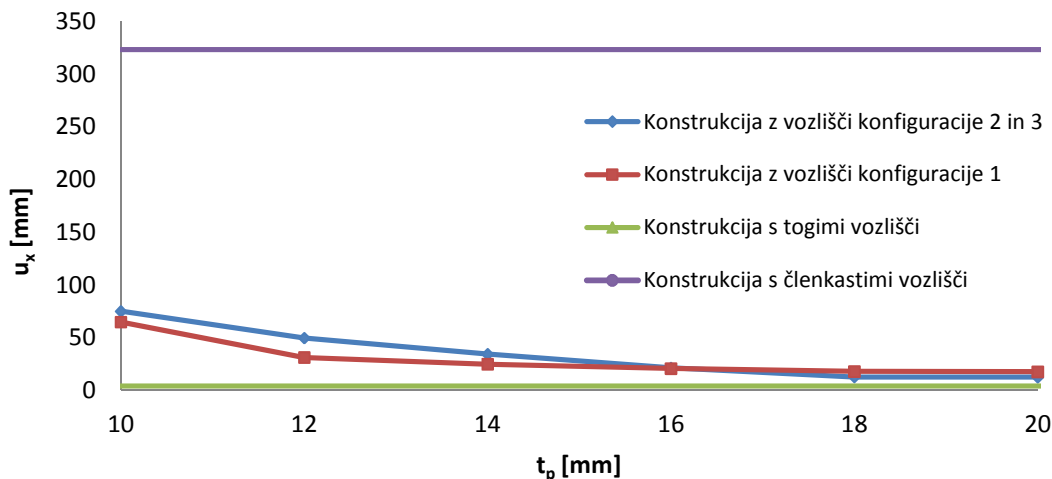
Slika 30: Graf odvisnosti momentne kapacitete od debeline čelne pločevine

Rezultati odvisnosti začetne togosti spoja $S_{j,ini}$ od debeline čelne pločevine t_p (slika 31), se za enostranski spoj konfiguracije 3 in dvostranski spoj konfiguracije 2 ne razlikujejo, saj imajo osnovne komponente v obeh primerih enako togost. Lepo je vidno, da se z manjšanjem debeline čelne pločevine manjša tudi razlika med različnimi spoji ter da bi vsi grafi z manjšanjem debeline t_p šli proti vrednosti 0.



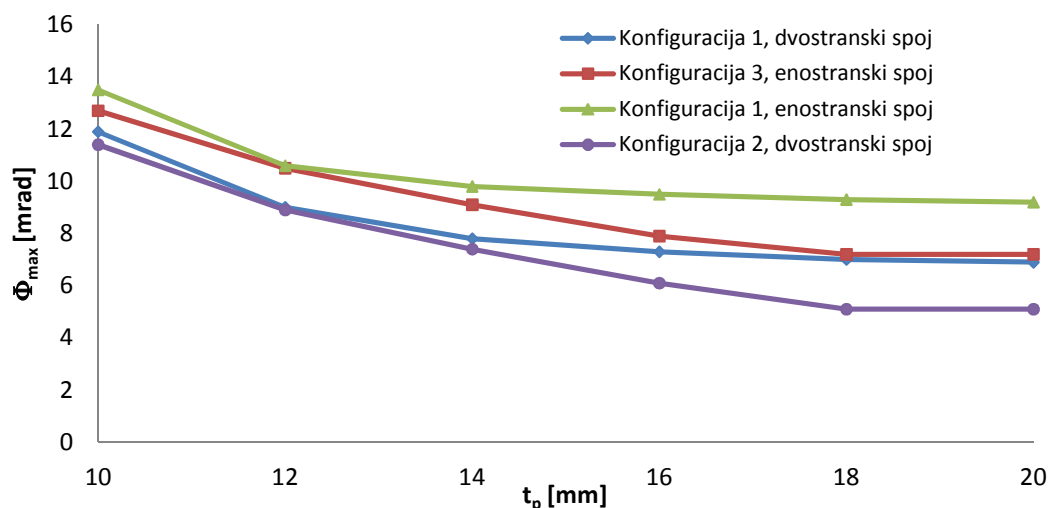
Slika 31: Graf odvisnosti začetne togosti spoja od debeline čelne pločevine

Iz odvisnosti horizontalnega pomika u_x od debeline čelne pločevine (slika 32) lahko vidimo, da pri tanjših čelnih pločevinah pomiki hitreje naraščajo. Iz tega razloga ni priporočljivo uporabiti preveč tankih pločevin. Zanimiv pa je predvsem rezultat, ki kaže, da ima konstrukcija, v kateri so vgrajeni ojačani spoji konfiguracije 2 in 3, večje pomike kot konstrukcija s spoji konfiguracije 1, čeprav je togost zadnjih precej manjša od togosti ojačanih spojev.



Slika 32: Graf odvisnosti horizontalnega pomika konstrukcije od debeline čelne pločevine v spojih, za obtežno kombinacijo K2

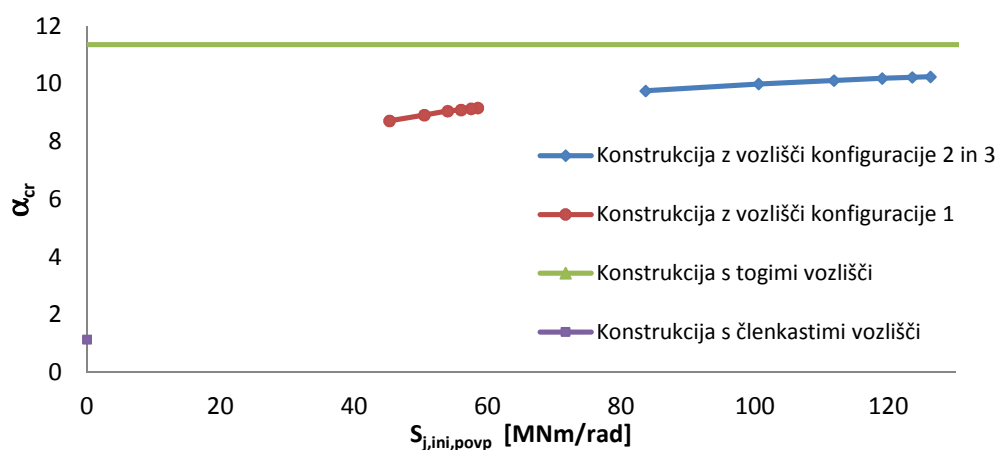
Tudi pri odvisnosti zasuka od debeline čelne pločevine (slika 33) lahko vidimo, da vrednosti z večanjem debeline konvergirajo k določenim vrednostim. Kot je razvidno se najmanjši zasuki vedno zgodijo na dvostranskem vozlišču konfiguracije 2, največji pa na enostranskem konfiguracije 1. Vidno je tudi, da zasuk v dvostranskih spojih konfiguracije 1 narašča s skoraj identičnim naklonom kot pri enostranskih. Prav tako zasuk dvostranskih spojih konfiguracije 2 narašča s skoraj identičnim naklonom kot pri enostranskih spojih konfiguracije 3.



Slika 33: Graf odvisnosti največjega zasuka v vozlišču od debeline čelne pločevine

Na grafu iz slike 34 je prikazan faktor α_{cr} v odvisnosti od povprečne začetne togosti spojev v konstrukciji $S_{j,ini,povp}$, ki jo dobimo kot $(S_{j,ini,enostransko} + S_{j,ini,dvostransko})/2$. V primeru konstrukcije z ojačanimi vozlišči konfiguracije 2 in 3 sta ti dve vrednosti enaki, kot je razvidno tudi iz preglednic z rezultati.

Iz poteka grafa je jasno razvidno, da se z zmanjševanjem togosti spoja manjša tudi faktor α_{cr} . Pri manjši togosti je padanje bolj strmo. Z manjšanjem togosti vozlišč se namreč manjša uklonska dolžina konstrukcije. Euler-jeva kritična sila, od katere je odvisen tudi faktor α_{cr} , pa se manjša s kvadratom uklonske dolžine. Iz poteka lahko sklepam tudi, da z večanjem togosti α_{cr} limitira proti vrednosti $\alpha_{cr} = 11,36$, kolikor je vrednost koeficienta pri okvirju s togimi spoji. Z manjšanjem togosti pa se α_{cr} bliža vrednosti $\alpha_{cr} = 1$, kolikor je vrednost faktorja, če so vsi spoji členkasti in se konstrukcija obnaša kot konzola.

Slika 34: Graf odvisnosti α_{cr} od povprečne togosti spojev v okvirju

Kot je razvidno tudi iz slike 29 se z manjšanjem togosti spojev veča tudi moment v stebrih okvirja. Pri projektiranju takega okvirja bi torej moral na tem mestu še enkrat narediti kontrolo nosilnosti ter stabilnosti stebrov. Obe izvede kar program SCIA Engineer 2013 sam. Nosilnost preverja po enačbi 6.41 iz standarda SIST EN 1993-1-1 [5]. Za okvir s spoji konfiguracije 2 in 3 ter debelino čelne

pločevine $t_p = 16$ mm, program izračuna izkoriščenost prereza glede na plastično nosilnost 0,24. Kontrolo stabilnosti pa izvede po izrazih (8) in (9), kot v poglavju 3.6. Če v izraza vstavimo vse izračunane parametre se zapišeta:

$$\frac{1221}{0,93 \cdot 86,8 \cdot 23,5/1} + 1,008 \frac{2300}{1 \cdot 920 \cdot 23,5/1} = 0,64 + 0,09 = 0,73$$

$$\frac{1221}{0,75 \cdot 86,8 \cdot 23,5/1} + 0,605 \frac{2300}{1 \cdot 920 \cdot 23,5/1} = 0,79 + 0,06 = 0,85$$

Za okvir s členkastimi spoji dobimo izkoriščenost prereza glede na plastično nosilnost 3,99, kar je skoraj 4x preveč. Izraza za kontrolo stabilnosti pa se v tem primeru zapišeta:

$$\frac{1208}{0,93 \cdot 86,8 \cdot 23,5/1} + 1,058 \frac{20200}{0,92 \cdot 920 \cdot 23,5/1} = 0,64 + 1,09 = 1,73$$

$$\frac{1208}{0,75 \cdot 86,8 \cdot 23,5/1} + 0,926 \frac{20200}{0,92 \cdot 920 \cdot 23,5/1} = 0,79 + 0,95 = 1,74$$

Vidim torej, da se z manjšanjem togosti spojev večajo upogibni momenti v stebrih, kar povzroči, da so ti bolj nestabilni. Vplivi teorije drugega reda torej povečajo momente za približno 9x, če primerjam konstrukcijo s členkastimi spoji s tisto s spoji z debelino čelne pločevine $t_p = 16$ mm. Če pa primerjam momente v konstrukciji s členkastimi spoji s tistimi v konstrukciji s togimi spoji, pa vidim, da se ti povečajo za skoraj 14x. Ker se poveča momentna obremenitev je potrebno znova preveriti tudi stabilnost stebrov ter plastično nosilnost prereza. Obe v primeru konstrukcije s členkastimi spoji nista zadostni, zato bi moral uporabiti večji profil stebrov.

Za primerjavo rezultatov sem izvedel še račun konstrukcije, ki ima namesto vpetih, členkaste podpore. Rezultati so prikazani za konstrukcijo s spoji konfiguracije 2 in 3. Vidim, da je taka konstrukcija neprimerno manj stabilna kot konstrukcija s togimi spoji. Pomiki so veliko večji, koeficient α_{cr} , pa je zelo blizu vrednosti 1. Za konstrukcijo s členkastimi spoji program računa sploh ne more izvesti, saj gre za statično nestabilno konstrukcijo.

Preglednica 12: Rezultati za konstrukcijo s členkastimi podporami in spoji konfiguracije 2 in 3

t_p [mm]	toge podpore	togi spoji	20	16	12	členkasti spoji
u_x [mm]		3,9	12,3	21,3	49,6	323,4
α_{cr}		11,36	10,25	10,19	10	1,14
u_x [mm]	členkaste podpore	14,5	41,3	70,7	202,4	konstrukcija ni stabilna
α_{cr}		3,05	2,81	2,79	2,75	

6 Zaključek

Zasnova spoja ima velik vpliv na stroške izvedbe ter na obnašanje konstrukcije, kot sem se prepričal v diplomskem delu. Na računskem primeru sem skušal pokazati potek projektiranja okvirja z delno togimi spoji ter vpliv le teh na obnašanje jeklene konstrukcije. Okvir sem najprej dimenzioniral s togimi spoji, da sem dobil profile stebrov in prečk, ki sem jih potreboval za račun spoja. Nato sem s pomočjo priročnikov spoj zasnoval kot standardni vijačen spoj steber-prečka s čelno pločevino. Temu sem moral z uporabo komponentne metode, ki jo podaja standard, izračunati nosilnost ter rotacijsko togost.

Pri uporabi delno togih spojev je po mojem mnenju potrebno najti kompromis med manjšo porabo materiala v spoju, kar povzroči manjšo togost spojev ter med zadostno stabilnostjo konstrukcije kot celote. Glede na rezultate analize prikazane v poglavju 5.3 lahko rečem, da je za okvir obravnavanih dimenzij in spoji konfiguracije 1,2 in 3 temu zadoščeno, če je debelina čelne pločevine v spoju okrog 12 mm. V tem primeru v konstrukciji ne pride do prevelikih pomikov, zasuki v spojih pa so manjši od 10 mrad. Glede na dolžino računa samega spoja lahko v zaključku ugotovim tudi, da je postopek zelo dolgotrajen, s čimer se pod vprašaj postavlja smiselnost takega računa brez uporabe računalniških programov. Z uporabo računalniških programov, ki omogočajo detajlni račun spojev, bi do enakih ali podobnih rezultatov lahko prišel precej hitreje.

Viri

- [1] SIST EN 1993-1-8, Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij – 1-8. del: Projektiranje spojev
- [2] Joints in Steel Construction Moment-Resisting Joints to Eurocode 3. 2013. The Steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association Limited
- [3] Cabrero, J.M., Bayo, E. 2005. Development of practical design methods for steel structures with semi-rigid connections. Engineering Structures 2005, 27: 1125-1137
- [4] SIST EN 1991-1-4, Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije -1-4. del: Splošni vplivi – Vpliv vetra
- [5] SIST EN 1991-1-1, Evrokod 1: Vplivi na konstrukcije – 1-1. del: Splošni vplivi – Prostorninske teže, lastna teža, koristne obtežbe stavb
- [6] SIST EN 1993-1-1, Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij – 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe
- [7] Beg, D., Pogačnik, A. 2009. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije
- [8] da Silva, L. S., Girao Coelho, A. 2001. A ductility model for steel connections. Journal of Constructional Steel Research 2001, 57: 45-70

Ostali viri:

Beg, D., Čermelj, B. 2011. Jeklene konstrukcije I 6.0 Spoji
<http://ucilnica1314.fgg.uni-lj.si/course/view.php?id=2216> (Pridobljeno 10. 8. 2014)

PRILOGA A: Tabelarni prikaz računa spoje z različnimi debelinami čelne pločevine

Nosilnost vozlišča konfiguracije 1, $t_p = 20$ mm:

Natezna cona									
Upogib čelne pločevine					Upogib pasnice stebra				
$n_x=$	4,0	cm			$m_c=$	2,2	cm		
$m_x=$	3,2	cm			$e_c=$	8,5	cm		
$e_x=$	5,0	cm			$n=$	2,8	cm		
$m_p=$	3,6	cm			Sodelujoče dolžine				
Sodelujoče dolžine					prva vrsta				
prva vrsta					$L_{eff,cp}$				
$L_{eff,cp}$					$2\pi m_c=$				
$2\pi m_x=$					13,9				
$\pi m_x+2e_x=$					cm				
$\pi m_x+g=$					$\pi m_c+p=$				
$L_{eff,nc}$					15,9				
$b_p/2=$					cm				
$4m_x+1,25e_x=$					$L_{eff,nc}$				
$2m_x+0,625e_x+e_p=$					19,4				
$2m_x+0,625e_x+g/2=$					cm				
$L_{eff,cp}=$					$4m_x+1,25e_c=$				
$L_{eff,nc}=$					19,4				
$L_{eff,1}=$					cm				
$L_{eff,2}=$					$2m_x+0,625e_c+0,5p=$				
$L_{eff,1}=$					14,2				
$L_{eff,2}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,cp}=$				
$L_{eff,cp}=2\pi m_p=$					19,1				
$L_{eff,nc}=\alpha m_p=$					cm				
$m_2=$					$L_{eff,nc}=$				
$m_1=$					10,0				
$\lambda_1=$					cm				
$\lambda_2=$					$L_{eff,1}=$				
$\alpha=$					10,0				
$L_{eff,1}=$					cm				
$L_{eff,2}=$					$L_{eff,2}=$				
$L_{eff,2}=$					14,2				
druga vrsta					cm				
$L_{eff,cp}=2\pi m_p=$					druga vrsta				
$L_{eff,nc}=\alpha m_p=$					$L_{eff,1}=$				
$m_2=$					13,9				
$m_1=$					cm				
$\lambda_1=$					$L_{eff,2}=$				
$\lambda_2=$					14,2				
$\alpha=$					cm				
$L_{eff,1}=$					druga vrsta				
$L_{eff,2}=$					$L_{eff,1}=$				
$L_{eff,2}=$					13,9				
Odpornost nadomestnega T elementa					cm				
prva vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,cp}=2\pi m_c+2p=$				
$F_{T,2,Rd}=$					33,9				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,nc}=4\pi m_c+1,25e_c+p=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva+druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva+druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva+druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva+druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva+druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva+druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva+druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva+druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva+druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva+druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva+druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva+druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
prva+druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
$M_{pl,2,Rd}=$					cm				
$F_{T,1,Rd}=$					$L_{eff,1}=$				
$F_{T,2,Rd}=$					29,4				
$F_{T,3,Rd}=$					cm				
druga vrsta					$L_{eff,2}=$				
$M_{pl,1,Rd}=$					29,4				
M									

Nosilnost vozlišča konfiguracije 2 (dvostransko) in 3 (enostransko), $t_p = 20$ mm:

Natezna cona		
Upogib čelne pločevine		
$n_x =$	4,0	cm
$m_x =$	3,2	cm
$e_x =$	5,0	cm
$n =$	4,5	cm
$m_p =$	3,6	cm
Sodelujoče dolžine		
prva vrsta		
$L_{eff,cp} = 2\pi m_p =$	13,9	cm
$L_{eff,nc} = \alpha m_p =$	17,6	cm
$m_2 =$	3,9	cm
$m_1 =$	2,2	cm
$\lambda_1 =$	0,21	
$\lambda_2 =$	0,37	
$\alpha =$	8,00	
$L_{eff,1} =$	13,9	cm
$L_{eff,2} =$	17,6	cm
druga vrsta		
$L_{eff,1} =$	13,9	cm
$L_{eff,2} =$	17,6	cm
Odpornost nadomestnega T elementa		
prva vrsta		
$M_{pl,1,Rd} =$	127,2	kNcm
$M_{pl,2,Rd} =$	161,9	kNcm
$F_{T,1,Rd} =$	230,7	kN
$F_{T,2,Rd} =$	291,2	kN
$F_{T,3,Rd} =$	406,7	kN
druga vrsta		
$M_{pl,1,Rd} =$	127,2	kNcm
$M_{pl,2,Rd} =$	161,9	kNcm
$F_{T,1,Rd} =$	230,7	kN
$F_{T,2,Rd} =$	291,2	kN
$F_{T,3,Rd} =$	406,7	kN
druga vrsta		
$M_{pl,1,Rd} =$	534,1	kNcm
$M_{pl,2,Rd} =$	552,6	kNcm
$F_{T,1,Rd} =$	590,6	kN
$F_{T,2,Rd} =$	361,7	kN
$F_{T,3,Rd} =$	406,7	kN

Stojina prečke v nategu				Stojina stebra v nategu			
prva vrsta				prva vrsta			
Vse prevzame pasnica prečke				Nateg ni merodajen			
druga vrsta				druga vrsta			
Vse prevzame pasnica prečke				Nateg ni merodajen			
Določitev končnih odpornosti vrst vijakov							
	Stran nosilca			Stran stebra			
	upogib čelne pločevine [kN]	nateg stojine nosilca[kN]		upogib pasnice stebra [kN]	nateg stojine stebra [kN]		
1. vrsta	291,0	/		230,7	/		
2. vrsta	361,7	/		230,7	/		
F _{t1,Rd} =		230,7	kN		F _{t2,Rd} =		230,7 kN
Tlačna cona							
Pasnica prečke v tlaku				Stojina stebra v tlaku			
M _{c,Rd} =	30715	kNcm		A _{s,eff} =	43,2	cm ²	
F _{c,fb,Rd} =	794,7	kN		N _{c,Rd} =	1014,8	kN	
Strižni panel							
A _{vc,ojačan} =	40,5	cm ²		Obremenitev			
V _{wp,Rd} =	494,9	kN		Enostranski spoj			
		F _v =		461,4	kN		
		Dvostranski spoj					
		F _v =		0	kN		
Momentna kapaciteta spoja							
ΣF _{ri} =	461,4	kN		F _c =	461,4	kN	
F _{r1} =	230,7	kN		h ₁ =	43,3	cm	
F _{r2} =	230,7	kN		h ₂ =	33,3	cm	
M _c =	176,8	kNm					
Vertikalni strig v spoju							
F _{v,Rd} =	135,6	kN		Obremenitev spoja			
				V=	220	kN	
F _{Rd} =	271,2	kN		>	220	kN	OK

Togost spoja konfiguracije 1, $t_p = 20$ mm:

Natezna cona									
Prva vrsta vijakov					Druga vrsta vijakov				
$b_{eff,t,wc} =$	13,85	cm			$b_{eff,t,wc} =$	13,85	cm		
$k_3 =$	0,323	cm			$k_3 =$	0,323	cm		
$m_c =$	2,21	cm			$m_c =$	2,21	cm		
$l_{eff} =$	13,85	cm			$l_{eff} =$	13,85	cm		
$k_4 =$	2,272	cm			$k_4 =$	2,272	cm		
$m = m_x =$	3,21	cm			$m = m_p =$	3,62	cm		
$l_{eff} =$	10,00	cm			$l_{eff} =$	22,73	cm		
$k_5 =$	2,181	cm			$k_5 =$	3,457	cm		
$A_s =$	3,53	cm ²			$A_s =$	3,53	cm ²		
$m =$	2,15	cm			$m =$	0,40	cm		
$k =$	1,50	cm			$k =$	2,15	cm		
$s =$	0,40	cm			$s =$	1,50	cm		
$l_b =$	5,88	cm			$l_b =$	5,88	cm		
$k_{10} =$	0,961	cm			$k_{10} =$	0,961	cm		
$k_{eff,1} =$	0,199	cm			$k_{eff,2} =$	0,206	cm		
$h_1 =$	43,33	cm			$h_2 =$	33,33	cm		
$k_{eq} =$	0,398	cm/rad			$z_{eq} =$	38,89	cm		
Strižna cona									
Enostranski spoj					Dvostranski spoj				
$\beta =$	1				$\beta =$	0			
$z =$	38,89	cm							
$A_{vc} =$	28,74	cm							
$k_1 =$	0,281	cm			$k_1 =$	neskončno			
Tlačna cona									
Enostranski spoj					Dvostranski spoj				
$b_{eff,c,wc} =$	25,58	cm			$b_{eff,c,wc} =$	25,58	cm		
$k_2 =$	0,597	cm			$k_2 =$	0,597	cm		
Enostranski spoj					Dvostranski spoj				
$S_{j,ini} =$	41	MNm/rad			$S_{j,ini} =$	76	MNm/rad		

Togost spojev konfiguracije 2 in 3, $t_p = 20$ mm:

Natezna cona									
Prva vrsta vijakov					Druga vrsta vijakov				
$b_{eff,t,wc} =$	13,85	cm			$b_{eff,t,wc} =$	13,85	cm		
$k_3 =$	0,323	cm			$k_3 =$	0,323	cm		
$m_c =$	2,21	cm			$m_c =$	2,21	cm		
$l_{eff} =$	13,85	cm			$l_{eff} =$	13,85	cm		
$k_4 =$	2,272	cm			$k_4 =$	2,272	cm		
$m = m_x =$	3,21	cm			$m = m_p =$	3,62	cm		
$l_{eff} =$	10,00	cm			$l_{eff} =$	22,73	cm		
$k_5 =$	2,181	cm			$k_5 =$	3,457	cm		
$A_s =$	3,53	cm ²			$A_s =$	3,53	cm ²		
$m =$	2,15	cm			$m =$	0,40	cm		
$k =$	1,50	cm			$k =$	2,15	cm		
$s =$	0,40	cm			$s =$	1,50	cm		
$l_b =$	5,88	cm			$l_b =$	5,88	cm		
$k_{10} =$	0,961	cm			$k_{10} =$	0,961	cm		
$k_{eff,1} =$	0,199	cm			$k_{eff,2} =$	0,206	cm		
$h_1 =$	43,33	cm			$h_2 =$	33,33	cm		
$k_{eq} =$	0,398	cm			$z_{eq} =$	38,89	cm		
Strižna cona									
Enostranski spoj					Dvostranski spoj				
$\beta =$	1				$\beta =$	0			
$k_1 =$	neskončno				$k_1 =$	neskončno			
Tlačna cona									
Enostranski spoj					Dvostranski spoj				
$k_2 =$	neskončno				$k_2 =$	neskončno			
Enostranski spoj					Dvostranski spoj				
$S_{j,ini} =$	126	MNm/rad			$S_{j,ini} =$	126	MNm/rad		

Nosilnost vozlišča konfiguracije 1, $t_p = 18\text{mm}$:

Natezna cona					
Upogib čelne pločevine			Upogib pasnice stebra		
$n_x=$	4,0	cm	$m_c=$	2,2	cm
$m_x=$	3,2	cm	$e_c=$	8,5	cm
$e_x=$	5,0	cm	$n=$	2,8	cm
$n=$	4,5	cm	Sodelujoče dolžine		
$m_p=$	3,6	cm	prva vrsta		
Sodelujoče dolžine			$L_{eff,cp}$		
prva vrsta			$2\pi m_c=$	13,9	cm
$L_{eff,cp}$			$\pi m_c+p=$	15,9	cm
$2\pi m_x=$	20,2	cm	$L_{eff,nc}$		
$\pi m_x+2e_x=$	20,1	cm	$4m_c+1,25e_{c,}=$	19,4	cm
$\pi m_x+g=$	19,1	cm	$2m_c+0,625e_c+0,5p=$	14,2	cm
$L_{eff,nc}$			$L_{eff,cp}=$	13,9	cm
$b_p/2=$	10,0	cm	$L_{eff,nc}=$	14,2	cm
$4m_x+1,25e_x=$	19,1	cm	$L_{eff,1}=$	13,9	cm
$2m_x+0,625e_x+e_p=$	15,0	cm	$L_{eff,2}=$	14,2	cm
$2m_x+0,625e_x+g/2=$	14,0	cm	druga vrsta		
$L_{eff,cp}=$	19,1	cm	$L_{eff,1}=$	13,9	cm
$L_{eff,nc}=$	10,0	cm	$L_{eff,2}=$	14,2	cm
$L_{eff,1}=$	10,0	cm	prva+druga vrsta		
$L_{eff,2}=$	10,0	cm	$L_{eff,cp}=2\pi m_c+2p=$	33,9	cm
druga vrsta			$L_{eff,nc}=4\pi m_c+1,25e_c+p=$	29,4	cm
$L_{eff,cp}=2\pi m_p=$	22,7	cm	$L_{eff,1}=$	29,4	cm
$L_{eff,nc}=\alpha m_p=$	23,5	cm	$L_{eff,2}=$	29,4	cm
$m_2=$	3,9	cm	Odpornost nadomestnega T elementa		
$m_1=$	3,6	cm	prva vrsta		
$\lambda_1=$	0,40		$M_{pl,1,Rd}=$	127,2	kNcm
$\lambda_2=$	0,42		$M_{pl,2,Rd}=$	130,6	kNcm
$\alpha=$	6,50		$F_{T,1,Rd}=$	230,7	kN
$L_{eff,1}=$	22,7	cm			
$L_{eff,2}=$	23,5	cm	$F_{T,2,Rd}=$	278,6	kN
Odpornost nadomestnega T elementa					
prva vrsta			$F_{T,3,Rd}=$	406,7	kN
$M_{pl,1,Rd}=$	190,4	kNcm	druga vrsta		
$M_{pl,2,Rd}=$	190,4	kNcm	$M_{pl,1,Rd}=$	127,2	kNcm
$F_{T,1,Rd}=$	237,3	kN	$M_{pl,2,Rd}=$	130,6	kNcm
			$F_{T,1,Rd}=$	230,7	kN
$F_{T,2,Rd}=$	278,7	kN			
			$F_{T,2,Rd}=$	278,6	kN
$F_{T,3,Rd}=$	406,7	kN			
druga vrsta			$F_{T,3,Rd}=$	406,7	kN
$M_{pl,1,Rd}=$	432,6	kNcm	prva+druga vrsta		
$M_{pl,2,Rd}=$	447,6	kNcm	$M_{pl,1,Rd}=$	270,3	kNcm
$F_{T,1,Rd}=$	478,4	kN	$M_{pl,2,Rd}=$	270,3	kNcm
			$F_{T,1,Rd}=$	490,3	kN
$F_{T,2,Rd}=$	335,9	kN			
			$F_{T,2,Rd}=$	560,8	kN
$F_{T,3,Rd}=$	406,7	kN			
			$F_{T,3,Rd}=$	813,3	kN
Stojina prečke v nategu					
prva vrsta			druga vrsta		
Vse prevzame pasnica prečke			Vse prevzame pasnica prečke		
Stojina stebra v nategu					
Enostransko vozlišče			Dvostransko vozlišče		
prva vrsta			prva vrsta		
$F_{t,wc,Rd}=$	225,8	kN	$F_{t,wc,Rd}=$	244,2	kN
$b_{eff,t,wc}=$	13,9	cm	$b_{eff,t,wc}=$	13,9	cm
$\beta=1$	->	$\omega=\omega_1=$	$\beta=0$	->	$\omega=$
		0,925			1
druga vrsta			druga vrsta		
$F_{t,wc,Rd}=$	225,8	kN	$F_{t,wc,Rd}=$	244,2	kN
$b_{eff,t,wc}=$	13,9	cm	$b_{eff,t,wc}=$	13,9	cm
$\beta=1$	->	$\omega=\omega_1=$	$\beta=0$	->	$\omega=$
		0,925			1

prva+druga vrsta				prva+druga vrsta			
$F_{t,wc,Rd}=$	390,3	kN		$F_{t,wc,Rd}=$	519,0	kN	
$b_{eff,t,wc}=$	29,4	cm		$b_{eff,t,wc}=$	29,4	cm	
$\beta=1$	->	$\omega=\omega_1=$	0,752	$\beta=0$	->	$\omega=$	1
Določitev končnih odpornosti vrst vijakov							
Enostransko vozlišče							
	Stran nosilca			Stran stebra			
	upogib čelne pločevine [kN]	nateg stojine nosilca[kN]		upogib pasnice stebra [kN]	nateg stojine stebra [kN]		
1. vrsta	237,3	/		230,7	225,8		
2. vrsta	335,9	/		230,7	225,8		
1+2 vrsta	/	/		490,3	390,3		
1+2-Pr1	/	/		264,6	164,6		
$F_{t1,Rd}=$	225,8	kN		$F_{t2,Rd}=$	164,6	kN	
Dvostransko vozlišče							
	Stran nosilca			Stran stebra			
	upogib čelne pločevine [kN]	nateg stojine nosilca[kN]		upogib pasnice stebra [kN]	nateg stojine stebra [kN]		
1. vrsta	237,3	/		230,7	244,2		
2. vrsta	335,9	/		230,7	244,2		
1+2 vrsta	/	/		490,3	519,0		
1+2-Pr1	/	/		259,6	288,3		
$F_{t1,Rd}=$	230,7	kN		$F_{t2,Rd}=$	230,7	kN	
Tlačna cona							
Pasnica prečke v tlaku							
$M_{c,Rd}=$	30714,5	kNcm		$F_{c,fb,Rd}=$	794,7	kN	
Stojina stebra v tlaku							
Enostransko vozlišče				Dvostransko vozlišče			
$\beta=1$	->	$\omega=\omega_1=$	0,800	$\beta=0$	->	$\omega=$	1
$k_{wc}=$	1			$k_{wc}=$	1		
$b_{eff,c,wc}=$	25,2	cm		$b_{eff,c,wc}=$	25,2	cm	
$d_{wc}=$	17,7	cm		$d_{wc}=$	17,7	cm	
$\lambda_p=$	0,878			$\lambda_p=$	0,878		
$\rho=$	0,880			$\rho=$	0,880		
$F_{c,wc,Rd}=$	355,2	<	312,5	$F_{c,wc,Rd}=$	443,8	<	390,5
$F_{c,wc,Rd}=$	312,5	kN		$F_{c,wc,Rd}=$	390,5	kN	
Strizni panel							
$A_{vc}=$	28,74	cm ²		Obremenitev			
$V_{wp,Rd}=$	350,9	kN		Enostransko vozlišče			
				$F_v=$	312,5	kN	
				Dvostransko vozlišče			
			$F_v=$	0	kN		
Momentna kapaciteta spoja							
Enostransko vozlišče				Dvostransko vozlišče			
$F_c=$	312,5	kN		$F_c=$	390,5	kN	
$h_1=$	43,3	cm		$h_1=$	43,3	cm	
$h_2=$	33,3	cm		$h_2=$	33,3	cm	
$\Sigma F_{ri}=$	312,5	kN		$\Sigma F_{ri}=$	390,5	kN	
$F_{r1}=$	225,8	kN		$F_{r1}=$	230,7	kN	
$F_{r2}=$	86,7	kN		$F_{r2}=$	159,7	kN	
$M_c=$	126,7	kNm		$M_c=$	153,2	kNm	
Vertikalni strig v spoju							
$F_v,Rd=$	135,6	kN		Obremenitev			
				$V=$	220	kN	
$F_{Rd}=$	271,2	kN	>	220	kN	OK	

Nosilnost vozlišča konfiguracije 2 (dvostransko) in 3 (enostransko), $t_p = 18 \text{ mm}$:

Natezna cona			Natezna cona		
Upogib čelne pločevine			Upogib pasnice stebra		
$n_x=$	4,0	cm	$m_c=$	2,2	cm
$m_x=$	3,2	cm	$e_c=$	8,5	cm
$e_x=$	5,0	cm	$n=$	2,8	cm
$n=$	4,5	cm	Sodelujoče dolžine		
$m_p=$	3,6	cm	prva vrsta		
Sodelujoče dolžine			$L_{eff,cp}=2\pi m_p=$	13,9	cm
prva vrsta			$L_{eff,nc}=\alpha m_p=$	17,6	cm
$L_{eff,cp}$			$m_2=$	3,9	cm
$2\pi m_x=$	20,2	cm	$m_1=$	2,2	cm
$\pi m_x+2e_x=$	20,1	cm	$\lambda_1=$	0,21	
$\pi m_x+g=$	19,1	cm	$\lambda_2=$	0,37	
$L_{eff,nc}$			$\alpha=$	8,00	
$b_p/2=$	10,0	cm	$L_{eff,1}=$	13,9	cm
$4m_x+1,25e_x=$	19,1	cm	$L_{eff,2}=$	17,6	cm
$2m_x+0,625e_x+e_p=$	15,0	cm	druga vrsta		
$2m_x+0,625e_x+g/2=$	14,0	cm	$L_{eff,1}=$	13,9	cm
$L_{eff,cp}=$	19,1	cm	$L_{eff,2}=$	17,6	cm
$L_{eff,nc}=$	10,0	cm	Odpornost nadomestnega T elementa		
$L_{eff,1}=$	10,0	cm	prva vrsta		
$L_{eff,2}=$	10,0	cm	$M_{pl,1,Rd}=$	127,2	kNcm
druga vrsta			$M_{pl,2,Rd}=$	161,9	kNcm
$L_{eff,cp}=2\pi m_p=$	22,7	cm	$F_{T,1,Rd}=$	230,7	kN
$L_{eff,nc}=\alpha m_p=$	23,5	cm			
$m_2=$	3,9	cm	$F_{T,2,Rd}=$	291,2	kN
$m_1=$	3,6	cm			
$\lambda_1=$	0,40		$F_{T,3,Rd}=$	406,7	kN
$\lambda_2=$	0,42		druga vrsta		
$\alpha=$	6,50		$M_{pl,1,Rd}=$	127,2	kNcm
$L_{eff,1}=$	22,7	cm	$M_{pl,2,Rd}=$	161,9	kNcm
$L_{eff,2}=$	23,5	cm	$F_{T,1,Rd}=$	230,7	kN
Odpornost nadomestnega T elementa					
prva vrsta			$F_{T,2,Rd}=$	291,2	kN
$M_{pl,1,Rd}=$	190,4	kNcm			
$M_{pl,2,Rd}=$	190,4	kNcm	$F_{T,3,Rd}=$	406,7	kN
$F_{T,1,Rd}=$	237,3	kN			
$F_{T,2,Rd}=$	278,7	kN			
$F_{T,3,Rd}=$	406,7	kN			
druga vrsta					
$M_{pl,1,Rd}=$	432,6	kNcm			
$M_{pl,2,Rd}=$	447,6	kNcm			
$F_{T,1,Rd}=$	478,4	kN			
$F_{T,2,Rd}=$	335,9	kN			
$F_{T,3,Rd}=$	406,7	kN			

Stojina prečke v nategu			Stojina stebra v nategu		
prva vrsta			prva vrsta		
Vse prevzame pasnica prečke			Nateg ni merodajen		
druga vrsta			druga vrsta		
Vse prevzame pasnica prečke			Nateg ni merodajen		
Določitev končnih odpornosti vrst vijakov					
	Stran nosilca		Stran stebra		
	upogib čelne pločevine [kN]	nateg stojine nosilca [kN]	upogib pasnice stebra [kN]	nateg stojine stebra [kN]	
1. vrsta	237,3	/	230,7	/	
2. vrsta	335,9	/	230,7	/	
$F_{t1,Rd}=$	230,7	kN	$F_{t2,Rd}=$	230,7	kN
Tlačna cona					
Pasnica prečke v tlaku			Stojina stebra v tlaku		
$M_{c,Rd}=$	30715	kNcm	$A_{s,eff}=$	42,9	cm ²
$F_{c,fb,Rd}=$	794,7	kN	$N_{c,Rd}=$	1007,8	kN
Strižni panel					
$A_{vc,ojačan}=$	40,5	cm ²	Obremenitev		
$V_{wp,Rd}=$	494,9	kN	Enostranski spoj		
			$F_v=$	461,4	kN
			Dvostranski spoj		
			$F_v=$	0	kN
Momentna kapaciteta spoja					
$\Sigma F_{ri}=$	461,4	kN	$F_c=$	461,4	kN
$F_{r1}=$	230,7	kN	$h_1=$	43,3	cm
$F_{r2}=$	230,7	kN	$h_2=$	33,3	cm
$M_c=$	176,8	kNm			
Vertikalni strig v spoju					
$F_v,Rd=$	135,6	kN	Obremenitev spoja		
			$V=$	220	kN
$F_{Rd}=$	271,2	kN	$>$	220	kN OK

Togost spoja konfiguracije 1, $t_p = 18$ mm:

Natezna cona						
Prva vrsta vijakov				Druga vrsta vijakov		
b _{eff,t,wc} =	13,85	cm		b _{eff,t,wc} =	13,85	cm
k ₃ =	0,323	cm		k ₃ =	0,323	cm
m _c =	2,21	cm		m _c =	2,21	cm
l _{eff} =	13,85	cm		l _{eff} =	13,85	cm
k ₄ =	2,272	cm		k ₄ =	2,272	cm
m=m _x =	3,21	cm		m=m _p =	3,62	cm
l _{eff} =	10,00	cm		l _{eff} =	22,73	cm
k ₅ =	1,590	cm		k ₅ =	2,520	cm
A _s =	3,53	cm ²		A _s =	3,53	cm ²
m=	2,15	cm		m=	0,40	cm
k=	1,50	cm		k=	2,15	cm
s=	0,40	cm	s=	1,50	cm	
L _b =	5,68	cm	L _b =	5,68	cm	
k ₁₀ =	0,995	cm	k ₁₀ =	0,995	cm	
k _{eff,1} =	0,194	cm	k _{eff,2} =	0,203	cm	
h ₁ =	43,33	cm	h ₂ =	33,33	cm	
k _{eq} =	0,389	cm/rad		z _{eq} =	38,86 cm	
Strižna cona						
Enostranski spoj				Dvostranski spoj		
β=	1			β=	0	
z=	38,86	cm				
A _{vc} =	28,74	cm				
k ₁ =	0,281	cm		k ₁ =	neskončno	
Tlačna cona						
Enostranski spoj				Dvostranski spoj		
b _{eff,c,wc} =	25,18	cm		b _{eff,c,wc} =	25,18	cm
k ₂ =	0,588	cm		k ₂ =	0,588	cm
Enostranski spoj				Dvostranski spoj		
S _{j,ini} =	41	MNm/rad		S _{j,ini} =	74	MNm/rad

Togost spojev konfiguracije 2 in 3, $t_p = 18$ mm:

Natezna cona						
Prva vrsta vijakov				Druga vrsta vijakov		
b _{eff,t,wc} =	13,85	cm		b _{eff,t,wc} =	13,85	cm
k ₃ =	0,323	cm		k ₃ =	0,323	cm
m _c =	2,21	cm		m _c =	2,21	cm
l _{eff} =	13,85	cm		l _{eff} =	13,85	cm
k ₄ =	2,272	cm		k ₄ =	2,272	cm
m=m _x =	3,21	cm		m=m _p =	3,62	cm
l _{eff} =	10,00	cm		l _{eff} =	22,73	cm
k ₅ =	1,590	cm		k ₅ =	2,520	cm
A _s =	3,53	cm ²		A _s =	3,53	cm ²
m=	2,15	cm		m=	0,40	cm
k=	1,50	cm		k=	2,15	cm
s=	0,40	cm		s=	1,50	cm
L _b =	5,68	cm		L _b =	5,68	cm
k ₁₀ =	0,995	cm		k ₁₀ =	0,995	cm
k _{eff,1} =	0,194	cm		k _{eff,2} =	0,203	cm
h ₁ =	43,33	cm	h ₂ =	33,33	cm	
k _{eq} =	0,389	cm		z _{eq} =	38,86	cm
Strižna cona						
Enostranski spoj				Dvostranski spoj		
β=	1			β=	0	
k ₁ =	neskončno			k ₁ =	neskončno	
Tlačna cona						
Enostranski spoj				Dvostranski spoj		
k ₂ =	neskončno			k ₂ =	neskončno	
Enostranski spoj				Dvostranski spoj		
S _{j,ini} =	124	MNm/rad		S _{j,ini} =	124	MNm/rad

Nosilnost vozlišča konfiguracije 1, $t_p = 14\text{mm}$:

Natezna cona					
Upogib čelne pločevine			Upogib pasnice stebra		
$n_x=$	4,0	cm	$m_c=$	2,2	cm
$m_x=$	3,2	cm	$e_c=$	8,5	cm
$e_x=$	5,0	cm	$n=$	2,8	cm
$n=$	4,5	cm	Sodelujoče dolžine		
$m_p=$	3,6	cm	prva vrsta		
Sodelujoče dolžine			$L_{eff,cp}$		
prva vrsta			$2\pi m_c=$	13,9	cm
$L_{eff,cp}$			$\pi m_c+p=$	15,9	cm
$2\pi m_x=$	20,2	cm	$L_{eff,nc}$		
$\pi m_x+2e_c=$	20,1	cm	$4m_c+1,25e_c=$	19,4	cm
$\pi m_x+g=$	19,1	cm	$2m_c+0,625e_c+0,5p=$	14,2	cm
$L_{eff,nc}$			$L_{eff,cp}=$	13,9	cm
$b_p/2=$	10,0	cm	$L_{eff,nc}=$	14,2	cm
$4m_x+1,25e_c=$	19,1	cm	$L_{eff,1}=$	13,9	cm
$2m_x+0,625e_c+e_p=$	15,0	cm	$L_{eff,2}=$	14,2	cm
$2m_x+0,625e_x+g/2=$	14,0	cm	druga vrsta		
$L_{eff,cp}=$	19,1	cm	$L_{eff,1}=$	13,9	cm
$L_{eff,nc}=$	10,0	cm	$L_{eff,2}=$	14,2	cm
$L_{eff,1}=$	10,0	cm	prva+druga vrsta		
$L_{eff,2}=$	10,0	cm	$L_{eff,cp}=2\pi m_c+2p=$	33,9	cm
druga vrsta			$L_{eff,nc}=4\pi m_c+1,25e_c+p=$	29,4	cm
$L_{eff,cp}=2\pi m_p=$	22,7	cm	$L_{eff,1}=$	29,4	cm
$L_{eff,nc}=\alpha m_p=$	23,5	cm	$L_{eff,2}=$	29,4	cm
$m_2=$	3,9	cm	Odpornost nadomestnega T elementa		
$m_1=$	3,6	cm	prva vrsta		
$\lambda_1=$	0,40		$M_{pl,1,Rd}=$	127,2	kNcm
$\lambda_2=$	0,42		$M_{pl,2,Rd}=$	130,6	kNcm
$\alpha=$	6,50		$F_{T,1,Rd}=$	230,7	kN
$L_{eff,1}=$	22,7	cm	druga vrsta		
$L_{eff,2}=$	23,5	cm	$F_{T,2,Rd}=$	278,6	kN
Odpornost nadomestnega T elementa			prva vrsta		
prva vrsta			$F_{T,3,Rd}=$	406,7	kN
$M_{pl,1,Rd}=$	115,2	kNcm	druga vrsta		
$M_{pl,2,Rd}=$	115,2	kNcm	$M_{pl,1,Rd}=$	127,2	kNcm
$F_{T,1,Rd}=$	143,6	kN	$M_{pl,2,Rd}=$	130,6	kNcm
			$F_{T,1,Rd}=$	230,7	kN
$F_{T,2,Rd}=$	257,8	kN	prva vrsta		
			$F_{T,2,Rd}=$	278,6	kN
$F_{T,3,Rd}=$	406,7	kN	$F_{T,3,Rd}=$	406,7	kN
druga vrsta			prva+druga vrsta		
$M_{pl,1,Rd}=$	261,7	kNcm	$M_{pl,1,Rd}=$	270,3	kNcm
$M_{pl,2,Rd}=$	270,8	kNcm	$M_{pl,2,Rd}=$	270,3	kNcm
$F_{T,1,Rd}=$	289,4	kN	$F_{T,1,Rd}=$	490,3	kN
			prva vrsta		
$F_{T,2,Rd}=$	292,5	kN	$F_{T,2,Rd}=$	560,8	kN
			druga vrsta		
$F_{T,3,Rd}=$	406,7	kN	$F_{T,3,Rd}=$	813,3	kN
Stojina prečke v nategu					
prva vrsta			druga vrsta		
Vse prevzame pasnica prečke			Vse prevzame pasnica prečke		
Stojina stebra v nategu					
Enostransko vozlišče			Dvostransko vozlišče		
prva vrsta			prva vrsta		
$F_{t,wc,Rd}=$	225,8	kN	$F_{t,wc,Rd}=$	244,2	kN
$b_{eff,t,wc}=$	13,9	cm	$b_{eff,t,wc}=$	13,9	cm
$\beta=1$	->	$\omega=\omega_1=$	$\beta=0$	->	$\omega=$
druga vrsta			druga vrsta		
$F_{t,wc,Rd}=$	225,8	kN	$F_{t,wc,Rd}=$	244,2	kN
$b_{eff,t,wc}=$	13,9	cm	$b_{eff,t,wc}=$	13,9	cm
$\beta=1$	->	$\omega=\omega_1=$	$\beta=0$	->	$\omega=$

prva+druga vrsta					prva+druga vrsta			
F _{t,wc,Rd} =		390,3	kN		F _{t,wc,Rd} =		519,0	kN
b _{eff,t,wc} =		29,4	cm		b _{eff,t,wc} =		29,4	cm
β=1	->	ω=ω ₁ =	0,752		β=0	->	ω=	1
Določitev končnih odpornosti vrst vijakov								
Enostransko vozlišče								
	Stran nosilca			Stran stebra				
	upogib čelne pločevine [kN]	nateg stojine nosilca[kN]		upogib pasnice stebra [kN]	nateg stojine stebra [kN]			
1. vrsta	143,6	/		230,7	225,8			
2. vrsta	289,4	/		230,7	225,8			
1+2 vrsta	/	/		490,3	390,3			
1+2-Pr1	/	/		346,8	246,8			
F _{t1,Rd} =		143,6	kN		F _{t2,Rd} =	225,8	kN	
Dvostransko vozlišče								
	Stran nosilca			Stran stebra				
	upogib čelne pločevine [kN]	nateg stojine nosilca[kN]		upogib pasnice stebra [kN]	nateg stojine stebra [kN]			
1. vrsta	143,6	/		230,7	244,2			
2. vrsta	289,4	/		230,7	244,2			
1+2 vrsta	/	/		490,3	519,0			
1+2-Pr1	/	/		346,8	375,4			
F _{t1,Rd} =		143,6	kN		F _{t2,Rd} =	230,7	kN	
Tlačna cona								
Pasnica prečke v tlaku								
M _{c,Rd} =	30714,5	kNcm			F _{c,fb,Rd} =	794,7	kN	
Stojina stebra v tlaku								
Enostransko vozlišče					Dvostransko vozlišče			
β=1	->	ω=ω ₁ =	0,809		β=0	->	ω=	1
k _{wc} =	1				k _{wc} =	1		
b _{eff,c,wc} =	24,4	cm			b _{eff,c,wc} =	24,4	cm	
d _{wc} =	17,7	cm			d _{wc} =	17,7	cm	
λ _p =	0,864				λ _p =	0,864		
ρ=	0,890				ρ=	0,890		
F _{c,wc,Rd} =	347,8	<	309,5		F _{c,wc,Rd} =	429,7	<	382,4
F _{c,wc,Rd} =	309,5	kN		F _{c,wc,Rd} =	382,4	kN		
Strižni panel								
A _{vc} =	28,74	cm ²		Obremenitev				
V _{wp,Rd} =	350,9	kN		Enostransko vozlišče				
		F _v =				309,5	kN	
		Dvostransko vozlišče						
		F _v =				0	kN	
		Momentna kapaciteta spoja						
Enostransko vozlišče					Dvostransko vozlišče			
F _c =	309,5	kN			F _c =	382,4	kN	
h ₁ =	43,3	cm			h ₁ =	43,3	cm	
h ₂ =	33,3	cm			h ₂ =	33,3	cm	
ΣF _{ri} =	309,5	kN			ΣF _{ri} =	382,4	kN	
F _{r1} =	143,6	kN			F _{r1} =	143,6	kN	
F _{r2} =	165,9	kN			F _{r2} =	230,7	kN	
M _c =	117,5	kNm			M _c =	139,1	kNm	
Vertikalni strig v spoju								
F _{v,Rd} =	135,6	kN		Obremenitev				
		V=				220	kN	
		F _{Rd} =	271,2	kN	>	220	kN	OK

Nosilnost vozlišča konfiguracije 2 (dvostransko) in 3 (enostransko), $t_p = 14$ mm:

Natezna cona		
Upogib čelne pločevine		
$n_x =$	4,0	cm
$m_x =$	3,2	cm
$e_x =$	5,0	cm
$n =$	4,5	cm
$m_p =$	3,6	cm
Sodelujoče dolžine		
prva vrsta		
$L_{eff,cp}$		
$2\pi m_x =$	20,2	cm
$\pi m_x + 2e_x =$	20,1	cm
$\pi m_x + g =$	19,1	cm
$L_{eff,nc}$		
$b_p/2 =$	10,0	cm
$4m_x + 1,25e_x =$	19,1	cm
$2m_x + 0,625e_x + e_p =$	15,0	cm
$2m_x + 0,625e_x + g/2 =$	14,0	cm
$L_{eff,cp} =$	19,1	cm
$L_{eff,nc} =$	10,0	cm
$L_{eff,1} =$	10,0	cm
$L_{eff,2} =$	10,0	cm
druga vrsta		
$L_{eff,cp} = 2\pi m_p =$	22,7	cm
$L_{eff,nc} = \alpha m_p =$	23,5	cm
$m_2 =$	3,9	cm
$m_1 =$	3,6	cm
$\lambda_1 =$	0,40	
$\lambda_2 =$	0,42	
$\alpha =$	6,50	
$L_{eff,1} =$	22,7	cm
$L_{eff,2} =$	23,5	cm
Odpornost nadomestnega T elementa		
prva vrsta		
$M_{pl,1,Rd} =$	115,2	kNcm
$M_{pl,2,Rd} =$	115,2	kNcm
$F_{T,1,Rd} =$	143,6	kN
$F_{T,2,Rd} =$	257,8	kN
$F_{T,3,Rd} =$	406,7	kN
druga vrsta		
$M_{pl,1,Rd} =$	261,7	kNcm
$M_{pl,2,Rd} =$	270,8	kNcm
$F_{T,1,Rd} =$	289,4	kN
$F_{T,2,Rd} =$	292,5	kN
$F_{T,3,Rd} =$	406,7	kN

Upogib pasnice stebra		
$m_c =$	2,2	cm
$e_c =$	8,5	cm
$n =$	2,8	cm
Sodelujoče dolžine		
prva vrsta		
$L_{eff,cp} = 2\pi m_p =$	13,9	cm
$L_{eff,nc} = \alpha m_p =$	17,6	cm
$m_2 =$	3,9	cm
$m_1 =$	2,2	cm
$\lambda_1 =$	0,21	
$\lambda_2 =$	0,37	
$\alpha =$	8,00	
$L_{eff,1} =$	13,9	cm
$L_{eff,2} =$	17,6	cm
druga vrsta		
$L_{eff,1} =$	13,9	cm
$L_{eff,2} =$	17,6	cm
Odpornost nadomestnega T elementa		
prva vrsta		
$M_{pl,1,Rd} =$	127,2	kNcm
$M_{pl,2,Rd} =$	161,9	kNcm
$F_{T,1,Rd} =$	230,7	kN
$F_{T,2,Rd} =$	291,2	kN
$F_{T,3,Rd} =$	406,7	kN
druga vrsta		
$M_{pl,1,Rd} =$	127,2	kNcm
$M_{pl,2,Rd} =$	161,9	kNcm
$F_{T,1,Rd} =$	230,7	kN
$F_{T,2,Rd} =$	291,2	kN
$F_{T,3,Rd} =$	406,7	kN

Stojina prečke v nategu				Stojina stebra v nategu			
prva vrsta				prva vrsta			
Vse prevzame pasnica prečke				Nateg ni merodajen			
druga vrsta				druga vrsta			
Vse prevzame pasnica prečke				Nateg ni merodajen			
Določitev končnih odpornosti vrst vijakov							
	Stran nosilca			Stran stebra			
	upogib čelne pločevine [kN]	nateg stojine nosilca[kN]		upogib pasnice stebra [kN]	nateg stojine stebra [kN]		
1. vrsta	143,6	/		230,7	/		
2. vrsta	289,4	/		230,7	/		
F _{t1,Rd} =		143,6	kN		F _{t2,Rd} =		230,7 kN
Tlačna cona							
Pasnica prečke v tlaku				Stojina stebra v tlaku			
M _{c,Rd} =	30715	kNcm		A _{s,eff} =	42,3	cm ²	
F _{c,fb,Rd} =	794,7	kN		N _{c,Rd} =	993,7	kN	
Strižni panel							
A _{vc,ojačan} =	40,5	cm ²		Obremenitev			
V _{wp,Rd} =	494,9	kN		Enostranski spoj			
		F _v =		374,3	kN		
		Dvostranski spoj					
		F _v =		0	kN		
Momentna kapaciteta spoja							
ΣF _{ri} =	374,3	kN		F _c =	374,3	kN	
F _{r1} =	143,6	kN		h ₁ =	43,3	cm	
F _{r2} =	230,7	kN		h ₂ =	33,3	cm	
M _c =	139,1	kNm					
Vertikalni strig v spoju							
F _{v,Rd} =	135,6	kN		Obremenitev spoja			
				V=	220	kN	
F _{Rd} =	271,2	kN		>	220	kN	OK

Togost spoja konfiguracije 1, $t_p = 14$ mm:

Natezna cona					
Prva vrsta vijakov			Druga vrsta vijakov		
$b_{eff,t,wc}=$	13,85	cm	$b_{eff,t,wc}=$	13,85	cm
$k_3=$	0,323	cm	$k_3=$	0,323	cm
$m_c=$	2,21	cm	$m_c=$	2,21	cm
$l_{eff}=$	13,85	cm	$l_{eff}=$	13,85	cm
$k_4=$	2,272	cm	$k_4=$	2,272	cm
$m=m_x=$	3,21	cm	$m=m_p=$	3,62	cm
$l_{eff}=$	10,00	cm	$l_{eff}=$	22,73	cm
$k_5=$	0,748	cm	$k_5=$	1,186	cm
$A_s=$	3,53	cm ²	$A_s=$	3,53	cm ²
$m=$	2,15	cm	$m=$	0,40	cm
$k=$	1,50	cm	$k=$	2,15	cm
$s=$	0,40	cm	$s=$	1,50	cm
$L_b=$	5,28	cm	$L_b=$	5,28	cm
$k_{10}=$	1,071	cm	$k_{10}=$	1,071	cm
$k_{eff,1}=$	0,172	cm	$k_{eff,2}=$	0,188	cm
$h_1=$	43,33	cm	$h_2=$	33,33	cm
$k_{eq}=$	0,354	cm/rad	$z_{eq}=$	38,76	cm
Strižna cona					
Enostranski spoj			Dvostranski spoj		
$\beta=$	1		$\beta=$	0	
$z=$	38,76	cm			
$A_{vc}=$	28,74	cm			
$k_1=$	0,282	cm	$k_1=$	neskončno	
Tlačna cona					
Enostranski spoj			Dvostranski spoj		
$b_{eff,c,wc}=$	24,38	cm	$b_{eff,c,wc}=$	24,38	cm
$k_2=$	0,569	cm	$k_2=$	0,569	cm
Enostranski spoj			Dvostranski spoj		
$S_{j,ini}=$	39	MNm/rad	$S_{j,ini}=$	69	MNm/rad

Togost spojev konfiguracije 2 in 3, $t_p = 14$ mm:

Natezna cona						
Prva vrsta vijakov				Druga vrsta vijakov		
b _{eff,t,wc} =	13,85	cm		b _{eff,t,wc} =	13,85	cm
k ₃ =	0,323	cm		k ₃ =	0,323	cm
m _c =	2,21	cm		m _c =	2,21	cm
l _{eff} =	13,85	cm		l _{eff} =	13,85	cm
k ₄ =	2,272	cm		k ₄ =	2,272	cm
m=m _x =	3,21	cm		m=m _p =	3,62	cm
l _{eff} =	10,00	cm		l _{eff} =	22,73	cm
k ₅ =	0,748	cm		k ₅ =	1,186	cm
A _s =	3,53	cm ²		A _s =	3,53	cm ²
m=	2,15	cm		m=	0,40	cm
k=	1,50	cm		k=	2,15	cm
s=	0,40	cm		s=	1,50	cm
L _b =	5,28	cm		L _b =	5,28	cm
k ₁₀ =	1,071	cm		k ₁₀ =	1,071	cm
k _{eff,1} =	0,172	cm	k _{eff,2} =	0,188	cm	
h ₁ =	43,33	cm	h ₂ =	33,33	cm	
k _{eq} =	0,354	cm		z _{eq} =	38,76	cm
Strižna cona						
Enostranski spoj				Dvostranski spoj		
β=	1			β=	0	
k ₁ =	neskončno			k ₁ =	neskončno	
Tlačna cona						
Enostranski spoj				Dvostranski spoj		
k ₂ =	neskončno			k ₂ =	neskončno	
Enostranski spoj				Dvostranski spoj		
S _{j,ini} =	112	MNm/rad		S _{j,ini} =	112	MNm/rad

Nosilnost vozlišča konfiguracije 1, $t_p = 12\text{mm}$:

Natezna cona		
Upogib čelne pločevine		
$n_x =$	4,0	cm
$m_x =$	3,2	cm
$e_x =$	5,0	cm
$n =$	4,5	cm
$m_p =$	3,6	cm
Sodelujoče dolžine		
prva vrsta		
$L_{eff,cp}$		
$2\pi m_x =$	20,2	cm
$\pi m_x + 2e_x =$	20,1	cm
$\pi m_x + g =$	19,1	cm
$L_{eff,nc}$		
$b_p/2 =$	10,0	cm
$4m_x + 1,25e_x =$	19,1	cm
$2m_x + 0,625e_x + e_p =$	15,0	cm
$2m_x + 0,625e_x + g/2 =$	14,0	cm
$L_{eff,cp} =$	19,1	cm
$L_{eff,nc} =$	10,0	cm
$L_{eff,1} =$	10,0	cm
$L_{eff,2} =$	10,0	cm
druga vrsta		
$L_{eff,cp} = 2\pi m_p =$	22,7	cm
$L_{eff,nc} = \alpha m_p =$	23,5	cm
$m_2 =$	3,9	cm
$m_1 =$	3,6	cm
$\lambda_1 =$	0,40	
$\lambda_2 =$	0,42	
$\alpha =$	6,50	
$L_{eff,1} =$	22,7	cm
$L_{eff,2} =$	23,5	cm
Odpornost nadomestnega T elementa		
prva vrsta		
$M_{pl,1,Rd} =$	84,6	kNcm
$M_{pl,2,Rd} =$	84,6	kNcm
$F_{T,1,Rd} =$	105,5	kN
$F_{T,2,Rd} =$	249,4	kN
$F_{T,3,Rd} =$	406,7	kN
druga vrsta		
$M_{pl,1,Rd} =$	192,3	kNcm
$M_{pl,2,Rd} =$	198,9	kNcm
$F_{T,1,Rd} =$	212,6	kN
$F_{T,2,Rd} =$	274,8	kN
$F_{T,3,Rd} =$	406,7	kN
Stojina prečke v nategu		
prva vrsta		
Vse prevzame pasnica prečke		
druga vrsta		
Vse prevzame pasnica prečke		
Stojina stebra v nategu		
Enostransko vozlišče		
prva vrsta		
$F_{t,wc,Rd} =$	225,8	kN
$b_{eff,t,wc} =$	13,9	cm
$\beta = 1$	->	$\omega = \omega_1 = 0,925$
druga vrsta		
$F_{t,wc,Rd} =$	225,8	kN
$b_{eff,t,wc} =$	13,9	cm
$\beta = 1$	->	$\omega = \omega_1 = 0,925$
Dvostransko vozlišče		
prva vrsta		
$F_{t,wc,Rd} =$	244,2	kN
$b_{eff,t,wc} =$	13,9	cm
$\beta = 0$	->	$\omega = 1$
druga vrsta		
$F_{t,wc,Rd} =$	244,2	kN
$b_{eff,t,wc} =$	13,9	cm
$\beta = 0$	->	$\omega = 1$

prva+druga vrsta			
$F_{t,wc,Rd} =$	390,3	kN	
$b_{eff,t,wc} =$	29,4	cm	
$\beta = 1$	->	$\omega = \omega_1 = 0,752$	
prva+druga vrsta			
$F_{t,wc,Rd} =$	519,0	kN	
$b_{eff,t,wc} =$	29,4	cm	
$\beta = 0$	->	$\omega = 1$	
Določitev končnih odpornosti vrst vijakov			
Enostransko vozlišče			
Stran nosilca		Stran stebra	
upogib čelne pločevine [kN]	nateg stojine nosilca [kN]	upogib pasnice stebra [kN]	nateg stojine stebra [kN]
1. vrsta	105,5	/	230,7
2. vrsta	212,6	/	230,7
1+2 vrsta	/	/	490,3
1+2-Pr1	/	/	384,8
$F_{t1,Rd} =$	105,5	kN	$F_{t2,Rd} =$ 212,6 kN
Dvostransko vozlišče			
Stran nosilca		Stran stebra	
upogib čelne pločevine [kN]	nateg stojine nosilca [kN]	upogib pasnice stebra [kN]	nateg stojine stebra [kN]
1. vrsta	105,5	/	230,7
2. vrsta	212,6	/	230,7
1+2 vrsta	/	/	490,3
1+2-Pr1	/	/	384,8
$F_{t1,Rd} =$	105,5	kN	$F_{t2,Rd} =$ 212,6 kN
Tlačna cona			
Pasnica prečke v tlaku			
$M_{c,Rd} =$	30714,5	kNcm	$F_{c,fb,Rd} =$ 794,7 kN
Stojina stebra v tlaku			
Enostransko vozlišče		Dvostransko vozlišče	
$\beta = 1$	->	$\omega = \omega_1 = 0,814$	
$k_{wc} =$	1	$k_{wc} =$	1
$b_{eff,c,wc} =$	24,0	$b_{eff,c,wc} =$	24,0
$d_{wc} =$	17,7	$d_{wc} =$	17,7
$\lambda_p =$	0,856	$\lambda_p =$	0,856
$\rho =$	0,895	$\rho =$	0,895
$F_{c,wc,Rd} =$	344,0	<	307,9
$F_{c,wc,Rd} =$	307,9	kN	$F_{c,wc,Rd} =$ 378,3 kN
Strižni panel			
$A_{vc} =$	28,74	cm ²	Obremenitev
$V_{wp,Rd} =$	350,9	kN	Enostransko vozlišče
		$F_v =$	307,9 kN
		Dvostransko vozlišče	$F_v =$ 0 kN
Momentna kapaciteta spoja			
Enostransko vozlišče		Dvostransko vozlišče	
$F_c =$	307,9	$F_c =$	378,3
$h_1 =$	43,3	$h_1 =$	43,3
$h_2 =$	33,3	$h_2 =$	33,3
$\Sigma F_{ri} =$	307,9	$\Sigma F_{ri} =$	378,3
$F_{r1} =$	105,5	$F_{r1} =$	105,5
$F_{r2} =$	202,4	$F_{r2} =$	212,6
$M_c =$	113,2	$M_c =$	116,6
Vertikalni strig v spoju			
$F_v,Rd =$	135,6	kN	Obremenitev
		$V =$	220 kN
$F_{Rd} =$	271,2	kN	> 220 kN OK

Nosilnost vozlišča konfiguracije 2 (dvostransko) in 3 (enostransko), $t_p = 12 \text{ mm}$:

Natezna cona		
Upogib čelne pločevine		
$n_x =$	4,0	cm
$m_x =$	3,2	cm
$e_x =$	5,0	cm
$n =$	4,5	cm
$m_p =$	3,6	cm
Sodelujoče dolžine		
prva vrsta		
$L_{eff,cp}$		
$2\pi m_x =$	20,2	cm
$\pi m_x + 2e_x =$	20,1	cm
$\pi m_x + g =$	19,1	cm
$L_{eff,nc}$		
$b_p/2 =$	10,0	cm
$4m_x + 1,25e_x =$	19,1	cm
$2m_x + 0,625e_x + e_p =$	15,0	cm
$2m_x + 0,625e_x + g/2 =$	14,0	cm
$L_{eff,cp} =$	19,1	cm
$L_{eff,nc} =$	10,0	cm
$L_{eff,1} =$	10,0	cm
$L_{eff,2} =$	10,0	cm
druga vrsta		
$L_{eff,cp} = 2\pi m_p =$	22,7	cm
$L_{eff,nc} = \alpha m_p =$	23,5	cm
$m_2 =$	3,9	cm
$m_1 =$	3,6	cm
$\lambda_1 =$	0,40	
$\lambda_2 =$	0,42	
$\alpha =$	6,50	
$L_{eff,1} =$	22,7	cm
$L_{eff,2} =$	23,5	cm
Odpornost nadomestnega T elementa		
prva vrsta		
$M_{pl,1,Rd} =$	84,6	kNcm
$M_{pl,2,Rd} =$	84,6	kNcm
$F_{T,1,Rd} =$	105,5	kN
$F_{T,2,Rd} =$	249,4	kN
$F_{T,3,Rd} =$	406,7	kN
druga vrsta		
$M_{pl,1,Rd} =$	192,3	kNcm
$M_{pl,2,Rd} =$	198,9	kNcm
$F_{T,1,Rd} =$	212,6	kN
$F_{T,2,Rd} =$	274,8	kN
$F_{T,3,Rd} =$	406,7	kN

Upogib pasnice stebra		
$m_c =$	2,2	cm
$e_c =$	8,5	cm
$n =$	2,8	cm
Sodelujoče dolžine		
prva vrsta		
$L_{eff,cp} = 2\pi m_p =$	13,9	cm
$L_{eff,nc} = \alpha m_p =$	17,6	cm
$m_2 =$	3,9	cm
$m_1 =$	2,2	cm
$\lambda_1 =$	0,21	
$\lambda_2 =$	0,37	
$\alpha =$	8,00	
$L_{eff,1} =$	13,9	cm
$L_{eff,2} =$	17,6	cm
druga vrsta		
$L_{eff,1} =$	13,9	cm
$L_{eff,2} =$	17,6	cm
Odpornost nadomestnega T elementa		
prva vrsta		
$M_{pl,1,Rd} =$	127,2	kNcm
$M_{pl,2,Rd} =$	161,9	kNcm
$F_{T,1,Rd} =$	230,7	kN
$F_{T,2,Rd} =$	291,2	kN
$F_{T,3,Rd} =$	406,7	kN
druga vrsta		
$M_{pl,1,Rd} =$	127,2	kNcm
$M_{pl,2,Rd} =$	161,9	kNcm
$F_{T,1,Rd} =$	230,7	kN
$F_{T,2,Rd} =$	291,2	kN
$F_{T,3,Rd} =$	406,7	kN

Stojina prečke v nategu				Stojina stebra v nategu			
prva vrsta				prva vrsta			
Vse prevzame pasnica prečke				Nateg ni merodajen			
druga vrsta				druga vrsta			
Vse prevzame pasnica prečke				Nateg ni merodajen			
Določitev končnih odpornosti vrst vijakov							
	Stran nosilca			Stran stebra			
	upogib čelne pločevine [kN]	nateg stojine nosilca[kN]		upogib pasnice stebra [kN]	nateg stojine stebra [kN]		
1. vrsta	105,5	/		230,7	/		
2. vrsta	212,6	/		230,7	/		
F _{t1,Rd} =		105,5	kN		F _{t2,Rd} =		212,6 kN
Tlačna cona							
Pasnica prečke v tlaku				Stojina stebra v tlaku			
M _{c,Rd} =		30715	kNcm	A _{s,eff} =		42,0	cm ²
F _{c,fb,Rd} =		794,7	kN	N _{c,Rd} =		986,6	kN
Strižni panel							
A _{vc,ojačan} =		40,5	cm ²	Obremenitev			
V _{wp,Rd} =		494,9	kN	Enostranski spoj			
				F _v =		318,1	kN
				Dvostranski spoj			
				F _v =		0	kN
Momentna kapaciteta spoja							
ΣF _{ri} =		318,1	kN	F _c =		318,1	kN
F _{r1} =		105,5	kN	h ₁ =		43,3	cm
F _{r2} =		212,6	kN	h ₂ =		33,3	cm
M _c =		116,6	kNm				
Vertikalni strig v spoju							
F _{v,Rd} =		135,6	kN	Obremenitev spoja			
				V=		220	kN
F _{Rd} =		271,2	kN	>		220	kN OK

Togost spoja konfiguracije 1, $t_p = 12$ mm:

Natezna cona					
Prva vrsta vijakov			Druga vrsta vijakov		
$b_{eff,t,wc} =$	13,85	cm	$b_{eff,t,wc} =$	13,85	cm
$k_3 =$	0,323	cm	$k_3 =$	0,323	cm
$m_c =$	2,21	cm	$m_c =$	2,21	cm
$l_{eff} =$	13,85	cm	$l_{eff} =$	13,85	cm
$k_4 =$	2,272	cm	$k_4 =$	2,272	cm
$m = m_x =$	3,21	cm	$m = m_p =$	3,62	cm
$l_{eff} =$	10,00	cm	$l_{eff} =$	22,73	cm
$k_5 =$	0,471	cm	$k_5 =$	0,747	cm
$A_s =$	3,53	cm ²	$A_s =$	3,53	cm ²
$m =$	2,15	cm	$m =$	0,40	cm
$k =$	1,50	cm	$k =$	2,15	cm
$s =$	0,40	cm	$s =$	1,50	cm
$L_b =$	5,08	cm	$L_b =$	5,08	cm
$k_{10} =$	1,113	cm	$k_{10} =$	1,113	cm
$k_{eff,1} =$	0,153	cm	$k_{eff,2} =$	0,173	cm
$h_1 =$	43,33	cm	$h_2 =$	33,33	cm
$k_{eq} =$	0,320	cm/rad	$z_{eq} =$	38,66	cm
Strižna cona					
Enostranski spoj			Dvostranski spoj		
$\beta =$	1		$\beta =$	0	
$z =$	38,66	cm			
$A_{vc} =$	28,74	cm			
$k_1 =$	0,282	cm	$k_1 =$	neskončno	
Tlačna cona					
Enostranski spoj			Dvostranski spoj		
$b_{eff,c,wc} =$	23,98	cm	$b_{eff,c,wc} =$	23,98	cm
$k_2 =$	0,560	cm	$k_2 =$	0,560	cm
Enostranski spoj			Dvostranski spoj		
$S_{j,ini} =$	37	MNm/rad	$S_{j,ini} =$	64	MNm/rad

Togost spojev konfiguracije 2 in 3, $t_p = 12$ mm:

Natezna cona					
Prva vrsta vijakov			Druga vrsta vijakov		
$b_{eff,t,wc} =$	13,85	cm	$b_{eff,t,wc} =$	13,85	cm
$k_3 =$	0,323	cm	$k_3 =$	0,323	cm
$m_c =$	2,21	cm	$m_c =$	2,21	cm
$l_{eff} =$	13,85	cm	$l_{eff} =$	13,85	cm
$k_4 =$	2,272	cm	$k_4 =$	2,272	cm
$m = m_x =$	3,21	cm	$m = m_p =$	3,62	cm
$l_{eff} =$	10,00	cm	$l_{eff} =$	22,73	cm
$k_5 =$	0,471	cm	$k_5 =$	0,747	cm
$A_s =$	3,53	cm ²	$A_s =$	3,53	cm ²
$m =$	2,15	cm	$m =$	0,40	cm
$k =$	1,50	cm	$k =$	2,15	cm
$s =$	0,40	cm	$s =$	1,50	cm
$L_b =$	5,08	cm	$L_b =$	5,08	cm
$k_{10} =$	1,113	cm	$k_{10} =$	1,113	cm
$k_{eff,1} =$	0,153	cm	$k_{eff,2} =$	0,173	cm
$h_1 =$	43,33	cm	$h_2 =$	33,33	cm
$k_{eq} =$	0,320	cm	$z_{eq} =$	38,66	cm
Strižna cona					
Enostranski spoj			Dvostranski spoj		
$\beta =$	1		$\beta =$	0	
$k_1 =$	neskončno		$k_1 =$	neskončno	
Tlačna cona					
Enostranski spoj			Dvostranski spoj		
$k_2 =$	neskončno		$k_2 =$	neskončno	
Enostranski spoj			Dvostranski spoj		
$S_{j,ini} =$	101	MNm/rad	$S_{j,ini} =$	101	MNm/rad

Nosilnost vozlišča konfiguracije 1, $t_p = 10\text{mm}$:

Natezna cona					
Upogib čelne pločevine			Upogib pasnice stebra		
$n_x=$	4,0	cm	$m_c=$	2,2	cm
$m_x=$	3,2	cm	$e_c=$	8,5	cm
$e_x=$	5,0	cm	$n=$	2,8	cm
$n=$	4,5	cm	Sodelujoče dolžine		
$m_p=$	3,6	cm	prva vrsta		
Sodelujoče dolžine			$L_{eff,cp}$		
prva vrsta			$2\pi m_c=$		
$L_{eff,cp}$			$\pi m_c+p=$		
$2\pi m_x=$			$L_{eff,nc}$		
$\pi m_x+2e_x=$			$4m_c+1,25e_c=$		
$\pi m_x+g=$			$2m_c+0,625e_c+0,5p=$		
$L_{eff,nc}$			$L_{eff,cp}=$		
$b_p/2=$			$L_{eff,nc}=$		
$4m_x+1,25e_x=$			$L_{eff,1}=$		
$2m_x+0,625e_x+e_p=$			$L_{eff,2}=$		
$2m_x+0,625e_x+g/2=$			druga vrsta		
$L_{eff,cp}=$			$L_{eff,1}=$		
$L_{eff,nc}=$			$L_{eff,2}=$		
$L_{eff,1}=$			prva+druga vrsta		
$L_{eff,2}=$			$L_{eff,cp}=2\pi m_c+2p=$		
druga vrsta			$L_{eff,nc}=4\pi m_c+1,25e_c+p=$		
$L_{eff,cp}=2\pi m_p=$			$L_{eff,1}=$		
$L_{eff,nc}=\alpha m_p=$			$L_{eff,2}=$		
$m_2=$			Odpornost nadomestnega T elementa		
$m_1=$			prva vrsta		
$\lambda_1=$			$M_{pl,1,Rd}=$		
$\lambda_2=$			$M_{pl,2,Rd}=$		
$\alpha=$			$F_{T,1,Rd}=$		
$L_{eff,1}=$			$F_{T,2,Rd}=$		
$L_{eff,2}=$			$F_{T,3,Rd}=$		
Odpornost nadomestnega T elementa			druga vrsta		
prva vrsta			$M_{pl,1,Rd}=$		
$M_{pl,1,Rd}=$			$M_{pl,2,Rd}=$		
$M_{pl,2,Rd}=$			$F_{T,1,Rd}=$		
$F_{T,1,Rd}=$			$F_{T,2,Rd}=$		
$F_{T,2,Rd}=$			$F_{T,3,Rd}=$		
$F_{T,3,Rd}=$			prva+druga vrsta		
druga vrsta			$M_{pl,1,Rd}=$		
$M_{pl,1,Rd}=$			$M_{pl,2,Rd}=$		
$M_{pl,2,Rd}=$			$F_{T,1,Rd}=$		
$F_{T,1,Rd}=$			$F_{T,2,Rd}=$		
$F_{T,2,Rd}=$			$F_{T,3,Rd}=$		
$F_{T,3,Rd}=$			Stojina prečke v nategu		
prva vrsta			druga vrsta		
Vse prevzame pasnica prečke			Vse prevzame pasnica prečke		
Stojina stebra v nategu					
Enostransko vozlišče			Dvostransko vozlišče		
prva vrsta			prva vrsta		
$F_{t,wc,Rd}=$			$F_{t,wc,Rd}=$		
$b_{eff,t,wc}=$			$b_{eff,t,wc}=$		
$\beta=1$	->	$\omega=\omega_1=$	$\beta=0$	->	$\omega=$
druga vrsta			druga vrsta		
$F_{t,wc,Rd}=$			$F_{t,wc,Rd}=$		
$b_{eff,t,wc}=$			$b_{eff,t,wc}=$		
$\beta=1$	->	$\omega=\omega_1=$	$\beta=0$	->	$\omega=$

prva+druga vrsta				prva+druga vrsta			
F _{t,wc,Rd} =		390,3	kN	F _{t,wc,Rd} =		519,0	kN
b _{eff,t,wc} =		29,4	cm	b _{eff,t,wc} =		29,4	cm
β=1	->	ω=ω ₁ =	0,752	β=0	->	ω=	1
Določitev končnih odpornosti vrst vijakov							
Enostransko vozlišče							
	Stran nosilca			Stran stebra			
	upogib čelne pločevine [kN]	nateg stojine nosilca[kN]		upogib pasnice stebra [kN]	nateg stojine stebra [kN]		
1. vrsta	73,3	/		230,7	225,8		
2. vrsta	147,7	/		230,7	225,8		
1+2 vrsta	/	/		490,3	390,3		
1+2-Pr1	/	/		417,1	317,1		
F _{t1,Rd} =		73,3	kN		F _{t2,Rd} =	147,7	kN
Dvostransko vozlišče							
	Stran nosilca			Stran stebra			
	upogib čelne pločevine [kN]	nateg stojine nosilca[kN]		upogib pasnice stebra [kN]	nateg stojine stebra [kN]		
1. vrsta	73,3	/		230,7	244,2		
2. vrsta	147,7	/		230,7	244,2		
1+2 vrsta	/	/		490,3	519,0		
1+2-Pr1	/	/		417,1	445,7		
F _{t1,Rd} =		73,3	kN		F _{t2,Rd} =	147,7	kN
Tlačna cona							
Pasnica prečke v tlaku							
M _{c,Rd} =	30714,5	kNcm		F _{c,fb,Rd} =	794,7	kN	
Stojina stebra v tlaku							
Enostransko vozlišče				Dvostransko vozlišče			
β=1	->	ω=ω ₁ =	0,819	β=0	->	ω=	1
kwc=	1			kwc=	1		
b _{eff,c,wc} =	23,6	cm		b _{eff,c,wc} =	23,6	cm	
d _{wc} =	17,7	cm		d _{wc} =	17,7	cm	
λ _p =	0,849			λ _p =	0,849		
ρ=	0,900			ρ=	0,900		
F _{c,wc,Rd} =	340,2	<	306,3	F _{c,wc,Rd} =	415,6	<	374,1
F _{c,wc,Rd} =	306,3	kN		F _{c,wc,Rd} =	374,1	kN	
Strižni panel							
A _{vc} =	28,74	cm ²		Obremenitev			
V _{wp,Rd} =	350,9	kN		Enostransko vozlišče			
				F _v =	306,3	kN	
				Dvostransko vozlišče			
				F _v =	0	kN	
Momentna kapaciteta spoja							
Enostransko vozlišče				Dvostransko vozlišče			
F _c =	306,3	kN		F _c =	374,1	kN	
h ₁ =	43,3	cm		h ₁ =	43,3	cm	
h ₂ =	33,3	cm		h ₂ =	33,3	cm	
ΣF _{ri} =	306,3	kN		ΣF _{ri} =	374,1	kN	
F _{r1} =	73,3	kN		F _{r1} =	73,3	kN	
F _{r2} =	147,7	kN		F _{r2} =	147,7	kN	
M _c =	80,9	kNm		M _c =	80,9	kNm	
Vertikalni strig v spoju							
F _{v,Rd} =	135,6	kN		Obremenitev			
				V=	220	kN	
F _{Rd} =	271,2	kN	>	220	kN	OK	

Nosilnost vozlišča konfiguracije 2 (dvostransko) in 3 (enostransko), $t_p = 10$ mm:

Natezna cona		
Upogib čelne pločevine		
$n_x =$	4,0	cm
$m_x =$	3,2	cm
$e_x =$	5,0	cm
$n =$	4,5	cm
$m_p =$	3,6	cm
Sodelujoče dolžine		
prva vrsta		
$L_{eff,cp}$		
$2\pi m_x =$	20,2	cm
$\pi m_x + 2e_x =$	20,1	cm
$\pi m_x + g =$	19,1	cm
$L_{eff,nc}$		
$b_p/2 =$	10,0	cm
$4m_x + 1,25e_x =$	19,1	cm
$2m_x + 0,625e_x + e_p =$	15,0	cm
$2m_x + 0,625e_x + g/2 =$	14,0	cm
$L_{eff,cp} =$	19,1	cm
$L_{eff,nc} =$	10,0	cm
$L_{eff,1} =$	10,0	cm
$L_{eff,2} =$	10,0	cm
druga vrsta		
$L_{eff,cp} = 2\pi m_p =$	22,7	cm
$L_{eff,nc} = \alpha m_p =$	23,5	cm
$m_2 =$	3,9	cm
$m_1 =$	3,6	cm
$\lambda_1 =$	0,40	
$\lambda_2 =$	0,42	
$\alpha =$	6,50	
$L_{eff,1} =$	22,7	cm
$L_{eff,2} =$	23,5	cm
Odpornost nadomestnega T elementa		
prva vrsta		
$M_{pl,1,Rd} =$	58,8	kNcm
$M_{pl,2,Rd} =$	58,8	kNcm
$F_{T,1,Rd} =$	73,3	kN
$F_{T,2,Rd} =$	242,2	kN
$F_{T,3,Rd} =$	406,7	kN
druga vrsta		
$M_{pl,1,Rd} =$	133,5	kNcm
$M_{pl,2,Rd} =$	138,1	kNcm
$F_{T,1,Rd} =$	147,7	kN
$F_{T,2,Rd} =$	259,9	kN
$F_{T,3,Rd} =$	406,7	kN

Upogib pasnice stebra		
$m_c =$	2,2	cm
$e_c =$	8,5	cm
$n =$	2,8	cm
Sodelujoče dolžine		
prva vrsta		
$L_{eff,cp} = 2\pi m_p =$	13,9	cm
$L_{eff,nc} = \alpha m_p =$	17,6	cm
$m_2 =$	3,9	cm
$m_1 =$	2,2	cm
$\lambda_1 =$	0,21	
$\lambda_2 =$	0,37	
$\alpha =$	8,00	
$L_{eff,1} =$	13,9	cm
$L_{eff,2} =$	17,6	cm
druga vrsta		
$L_{eff,1} =$	13,9	cm
$L_{eff,2} =$	17,6	cm
Odpornost nadomestnega T elementa		
prva vrsta		
$M_{pl,1,Rd} =$	127,2	kNcm
$M_{pl,2,Rd} =$	161,9	kNcm
$F_{T,1,Rd} =$	230,7	kN
$F_{T,2,Rd} =$	291,2	kN
$F_{T,3,Rd} =$	406,7	kN
druga vrsta		
$M_{pl,1,Rd} =$	127,2	kNcm
$M_{pl,2,Rd} =$	161,9	kNcm
$F_{T,1,Rd} =$	230,7	kN
$F_{T,2,Rd} =$	291,2	kN
$F_{T,3,Rd} =$	406,7	kN

Stojina prečke v nategu				Stojina stebra v nategu			
prva vrsta				prva vrsta			
Vse prevzame pasnica prečke				Nateg ni merodajen			
druga vrsta				druga vrsta			
Vse prevzame pasnica prečke				Nateg ni merodajen			
Določitev končnih odpornosti vrst vijakov							
	Stran nosilca			Stran stebra			
	upogib čelne pločevine [kN]	nateg stojine nosilca[kN]		upogib pasnice stebra [kN]	nateg stojine stebra [kN]		
1. vrsta	73,3	/		230,7	/		
2. vrsta	147,7	/		230,7	/		
F _{t1,Rd} =		73,3	kN		F _{t2,Rd} =		147,7 kN
Tlačna cona							
Pasnica prečke v tlaku				Stojina stebra v tlaku			
M _{c,Rd} =		30715	kNcm	A _{s,eff} =		41,7	cm ²
F _{c,fb,Rd} =		794,7	kN	N _{c,Rd} =		979,6	kN
Strižni panel							
A _{vc,ojačan} =		40,5	cm ²	Obremenitev			
V _{wp,Rd} =		494,9	kN	Enostranski spoj			
				F _v =		220,9	kN
				Dvostranski spoj			
				F _v =		0	kN
Momentna kapaciteta spoja							
ΣF _{ri} =		220,9	kN	F _c =		220,9	kN
F _{r1} =		73,3	kN	h ₁ =		43,3	cm
F _{r2} =		147,7	kN	h ₂ =		33,3	cm
M _c =		80,9	kNm				
Vertikalni strig v spoju							
F _{v,Rd} =		135,6	kN	Obremenitev spoja			
				V=		220	kN
F _{Rd} =		271,2	kN	>		220	kN OK

Togost spoja konfiguracije 1, $t_p = 10$ mm:

Natezna cona									
Prva vrsta vijakov					Druga vrsta vijakov				
$b_{eff,t,wc} =$	13,85	cm			$b_{eff,t,wc} =$	13,85	cm		
$k_3 =$	0,323	cm			$k_3 =$	0,323	cm		
$m_c =$	2,21	cm			$m_c =$	2,21	cm		
$l_{eff} =$	13,85	cm			$l_{eff} =$	13,85	cm		
$k_4 =$	2,272	cm			$k_4 =$	2,272	cm		
$m = m_x =$	3,21	cm			$m = m_p =$	3,62	cm		
$l_{eff} =$	10,00	cm			$l_{eff} =$	22,73	cm		
$k_5 =$	0,273	cm			$k_5 =$	0,432	cm		
$A_s =$	3,53	cm ²			$A_s =$	3,53	cm ²		
$m =$	2,15	cm			$m =$	0,40	cm		
$k =$	1,50	cm			$k =$	2,15	cm		
$s =$	0,40	cm			$s =$	1,50	cm		
$L_b =$	4,88	cm			$L_b =$	4,88	cm		
$k_{10} =$	1,159	cm			$k_{10} =$	1,159	cm		
$k_{eff,1} =$	0,124	cm			$k_{eff,2} =$	0,149	cm		
$h_1 =$	43,33	cm			$h_2 =$	33,33	cm		
$k_{eq} =$	0,268	cm/rad			$z_{eq} =$	38,52	cm		
Strižna cona									
Enostranski spoj					Dvostranski spoj				
$\beta =$	1				$\beta =$	0			
$z =$	38,52	cm							
$A_{vc} =$	28,74	cm							
$k_1 =$	0,283	cm			$k_1 =$	neskončno			
Tlačna cona									
Enostranski spoj					Dvostranski spoj				
$b_{eff,c,wc} =$	23,58	cm			$b_{eff,c,wc} =$	23,58	cm		
$k_2 =$	0,550	cm			$k_2 =$	0,550	cm		
Enostranski spoj									
$S_{j,ini} =$	34	MNm/rad			$S_{j,ini} =$	56	MNm/rad		

Togost spojev konfiguracije 2 in 3, $t_p = 10$ mm:

Natezna cona									
Prva vrsta vijakov					Druga vrsta vijakov				
$b_{eff,t,wc} =$	13,85	cm			$b_{eff,t,wc} =$	13,85	cm		
$k_3 =$	0,323	cm			$k_3 =$	0,323	cm		
$m_c =$	2,21	cm			$m_c =$	2,21	cm		
$l_{eff} =$	13,85	cm			$l_{eff} =$	13,85	cm		
$k_4 =$	2,272	cm			$k_4 =$	2,272	cm		
$m = m_x =$	3,21	cm			$m = m_p =$	3,62	cm		
$l_{eff} =$	10,00	cm			$l_{eff} =$	22,73	cm		
$k_5 =$	0,273	cm			$k_5 =$	0,432	cm		
$A_s =$	3,53	cm ²			$A_s =$	3,53	cm ²		
$m =$	2,15	cm			$m =$	0,40	cm		
$k =$	1,50	cm			$k =$	2,15	cm		
$s =$	0,40	cm			$s =$	1,50	cm		
$L_b =$	4,88	cm			$L_b =$	4,88	cm		
$k_{10} =$	1,159	cm			$k_{10} =$	1,159	cm		
$k_{eff,1} =$	0,124	cm			$k_{eff,2} =$	0,149	cm		
$h_1 =$	43,33	cm			$h_2 =$	33,33	cm		
$k_{eq} =$	0,268	cm			$z_{eq} =$	38,52	cm		
Strižna cona									
Enostranski spoj					Dvostranski spoj				
$\beta =$	1				$\beta =$	0			
$k_1 =$	neskončno				$k_1 =$	neskončno			
Tlačna cona									
Enostranski spoj					Dvostranski spoj				
$k_2 =$	neskončno				$k_2 =$	neskončno			
Enostranski spoj									
$S_{j,ini} =$	84	MNm/rad			$S_{j,ini} =$	84	MNm/rad		