

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/>

V zbirki je izvorna različica izdajatelja.

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

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 a publisher's version PDF file.

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

Rupnik, B. 2016. Programsko orodje za račun nosilnosti in togosti spojev steber-prečka po komponentni metodi. Magistrsko delo = Software for the design of beam to column connections according to the component method. M. Sc. Thesis Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 115 str. (mentor: Može, P.).

<http://drugg.fgg.uni-lj.si/6166/>

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

**MAGISTRSKI ŠTUDIJSKI  
PROGRAM DRUGE STOPNJE  
GRADBENIŠTVO  
SMER GRADBENE  
KONSTRUKCIJE**

Kandidat:

**BLAŽ RUPNIK**

**PROGRAMSKO ORODJE ZA RAČUN NOSILNOSTI IN  
TOGOSTI SPOJEV STEBER-PREČKA PO  
KOMPONENTNI METODI**

Magistrsko delo št.: 40/II.GR

**SOFTWARE FOR THE DESIGN OF BEAM TO COLUMN  
CONNECTIONS ACCORDING TO THE COMPONENT  
METHOD**

Graduation – Master Thesis No.: 40/II.GR

**Mentor:**

doc. dr. Primož Može

Ljubljana, 16. 12. 2016

## **STRAN ZA POPRAVKE**

**Stran z napako**

**Vrstica z napako**

**Namesto**

**Naj bo**

Spodaj podpisani/-a študent/-ka Blaž Rupnik, vpisna številka 26410168, avtor/-ica pisnega zaključnega dela študija z naslovom: Programsko orodje za račun nosilnosti in togosti spojev steber-prečka po komponentni metodi

#### IZJAVLJAM

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

a) da je pisno zaključno delo študija rezultat mojega samostojnega dela;

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

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

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

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

5. soglašam, da se elektronska oblika pisnega zaključnega dela študija uporabi za preverjanje podobnosti vsebine z drugimi deli s programsko opremo za preverjanje podobnosti vsebine, ki je povezana s študijskim informacijskim sistemom članice;

6. da na UL neodplačno, neizključno, prostorsko in časovno neomejeno prenašam pravico shranitve avtorskega dela v elektronski obliki, pravico reproduciranja ter pravico dajanja pisnega zaključnega dela študija na voljo javnosti na svetovnem spletu preko Repozitorija UL;

7. da dovoljujem objavo svojih osebnih podatkov, ki so navedeni v pisnem zaključnem delu študija in tej izjavi, skupaj z objavo pisnega zaključnega dela študija.

V/Na: Ljubljana

Datum: 22.11.2016

Podpis študenta/-ke:

\_\_\_\_\_

## **IZJAVA**

Spodaj podpisani Blaž Rupnik, avtor magistrskega dela z naslovom Programsko orodje za račun nosilnosti in togosti spojev steber-prečka, izjavljam, da je programsko orodje KMrup namenjeno izključno za potrebe magistrske naloge in ne prevzemam odgovornosti za pravilnost delovanja programa v praksi.

Ljubljana, 22.11.2016

Blaž Rupnik

**BIBLIOGRAFSKO – DOKUMENTACIJSKA STRAN IN IZVLEČEK**

<b>UDK:</b>	<b>004.4:624.014.2(043)</b>
<b>Avtor:</b>	<b>Blaž Rupnik</b>
<b>Mentor:</b>	<b>doc. dr. Primož Može</b>
<b>Naslov:</b>	<b>Programsko orodje za račun nosilnosti in togosti spojev steber-prečka po komponentni metodi</b>
<b>Tip dokumenta:</b>	<b>Magistrsko delo</b>
<b>Obseg in oprema</b>	<b>115 str., 39 pregl., 84 sl., 97 en., 7 pril.</b>
<b>Ključne besede:</b>	<b>komponentna metoda, momentni spoj, programsko orodje, program, KMrup</b>

**Izveček**

V magistrski nalogi je predstavljena komponentna metoda projektiranja momentnega spoja steber-prečka. Z razdelitvijo spoja na komponente in opredelitvijo lastnosti teh komponent lahko določimo mehanski odziv v smislu nosilnost, togosti in rotacijske kapacitete spoja. Postopek obravnave spoja po komponentah se imenuje komponentna metoda projektiranja spojev.

Komponentna metoda se lahko uporabi za jekla kvalitete do vključno S460. V splošnem se lahko uporabi za katerikoli tip prereza priključenih elementov in za kakršnokoli konfiguracijo spoja. Komponentna metoda je plod številnih raziskav po vsem svetu in je preverjena s testi spojev. Posledično komponentna metoda na relativno enostaven način omogoča dobro predvidevanje nelinearnega obnašanja momentnih spojev.

Cilj magistrske naloge je bil izdelati program KMrup za izračun nosilnosti in rotacijske togosti momentnega spoja po komponentni metodi. V osnovi je KMrup narejen za račun momentnega spoja steber-prečka s podaljšano čelno pločevino. S prilagoditvijo vhodnih podatkov in primernim branjem rezultatov, je program mogoče uporabiti tudi za druge konfiguracije (spoj prečka-prečka, dvostranski spoj prečka-steber). Programsko orodje je napisano v spletnih jezikih, kar pomeni, da ga je preprosto uporabiti na praktično katerikoli napravi, ki lahko brska po internetu. Za uporabo je potreben le internetni brskalnik.

Delovanje programskega orodja je preverjeno na štirih konfiguracijah spojev s primerjavo spojev izračunanih v literaturi in s komercialnim programom SCIA Engineer.

## **BIBLIOGRAPHIC – DOCUMENTALISTIC INFORMATION AND ABSTRACT**

**UDC:** 004.4:624.014.2(043)  
**Author:** Blaž Rupnik  
**Supervisor:** Assoc. Prof. Primož Može ph. d.  
**Title:** Programsko orodje za račun nosilnosti in togosti spojev steber-prečka po komponentni metodi  
**Document type:** Mag. d.  
**Notess:** 115 p., 39 tab., 84 fig., 97 eq., 7 ann.  
**Obseg in oprema:** komponentna metoda, momentni spoj, programsko orodje, program, KMrup

### **Abstract**

This master thesis presents the component method for design of beam-to-column moment resisting connection. By dividing the connection into components and by determining characteristics of these components it is possible to determine mechanical response in sense of resistance, rotational stiffness and rotational capacity of the connection. The procedure of evaluating the connection by its components is called component method for designing connections.

The component method can be used for steel grades up to and including S460. In general it is not limited to any type of cross-section or for any kind of connection configuration. The component method is a result of many investigations across the world and is validated by tests of connections. That is the reason why the component method fairly easy allows good prediction of nonlinear behavior of moment resisting connections.

The main goal of this master thesis was to develop program KMrup for calculating resistance and rotational stiffness of moment resisting connections using component method. Essentially KMrup is developed for calculating moment resisting beam to column connection with extended end plate. With adapted data input and proper reading of the results, the use of the program can be extended to use on different types of connection configurations (beam to beam, two sided beam to column connection). Software is written in web programming languages, which means that it is easy to use on practically any device that can browse the internet. KMrup requires internet browsing program

The program is validated by four connection configurations that were calculated by commercial program SCIA Engineer and with results found in literature.

## **ZAHVALA**

Zahvaljujem se mentorju Primožu Možetu za usmeritve in pomoč pri nastajanju magistrskega dela.

Zahvaljujem se očetu in mami, ki sta mi stala ob strani in me podpirala vsa leta študija.



»Ta stran je namenoma prazna.«

**KAZALO**

1	UVOD .....	14
2	KOMPONENTNA METODA PROJEKTIRANJA SPOJEV .....	15
2.1	Splošno o komponentni metodi.....	15
2.2	Osnovni principi komponente metode.....	17
2.2.1	Nadomestni T-element .....	19
2.2.2	Modeliranje spoja steber-prečka z ločenimi T-elementi .....	22
2.2.3	Geometrija T-elementov v momentnem spoju s podaljšano čelno pločevino .....	25
2.2.4	Parameter $\alpha$ .....	30
2.3	Postopek projektiranja po komponentni metodi .....	31
2.4	Nosilnosti vrst vijakov v natezni coni (1. korak).....	33
2.4.1	Potencialna nosilnost samostojne vrste vijakov .....	34
2.4.2	Potencialna nosilnost skupine vrst vijakov.....	34
2.4.3	Projektna nosilnost posameznih vrst .....	34
2.4.4	Omejitev sil v vijakih na trikotno porazdelitev .....	34
2.4.5	Komponenta upogib pasnice stebra.....	36
2.4.6	Komponenta upogib čelne pločevine .....	36
2.4.7	Komponenta stojine stebra v nategu.....	36
2.4.8	Komponenta stojine prečke v nategu.....	37
2.5	Nosilnosti tlačnega območja spoja (2. korak) .....	37
2.5.1	Komponenta stojina stebra v prečnem tlaku.....	38
2.5.2	Komponenta stojina in pasnica prečke v tlaku .....	39
2.6	Komponenta strižni panel stebra (3. korak) .....	40
2.6.1	Izračun obremenitve v strižnem panelu.....	40
2.6.2	Nosilnost strižnega panela.....	41
2.7	Nosilnost vrst vijakov z upoštevanjem najšibkejše komponente in upogibna nosilnost spoja (4. korak) .....	42
2.7.1	Redukcija nateznih sil v vrstah vijakov .....	43
2.7.2	Upogibna nosilnost spoja .....	43
2.7.3	Modificirani upogibni moment ( $M_{Ed}$ ) ob prisotnosti osne sile v prečki .....	43
2.8	Strižna nosilnost vijakov (5. korak).....	44
2.9	Ojačitve spoja oziroma posameznih komponent (6. korak) .....	46
2.9.1	Natezna ojačitev stojine stebra .....	47
2.9.2	Tlačna ojačitev stojine stebra .....	50
2.9.3	Prispevek polne natezne in polne tlačne ojačitve k tlačni in strižni nosilnosti stojine stebra	53
2.9.4	Ojačitev strižnega panela stojine stebra.....	53
2.9.5	Ojačitev podaljšanega dela čelne pločevine z ojačitvenim rebrom .....	55
2.9.6	Ojačitev nosilca s kratko vuto .....	56

2.10	Zvari (7. korak).....	57
2.10.1	Nosilnost kotnih zvarov.....	57
2.10.2	Nosilnost čelnega zvara.....	59
2.10.3	Območja zvarov.....	59
2.11	Pravila za pozicioniranje vijakov.....	60
3	ROTACIJSKA TOGOST.....	61
3.1	Zasuk vozlišča.....	61
3.2	Model vozlišča z nadomestnimi vzmetmi.....	63
3.3	Rotacijska togost vozlišča steber-prečka.....	64
3.4	Rotacijska kapaciteta.....	66
4	IZDELAVA IN UPORABA PROGRAMA.....	68
4.1	Opis grafičnega vmesnika in uporabe programskega orodja.....	72
4.1.1	Priključeni elementi.....	72
4.1.2	Čelna pločevina, vijaki in zvari.....	73
4.1.3	Ojačitve.....	73
4.1.4	Ostali podatki za vnos.....	76
4.1.5	Gumbi NARIŠI, POPRAVI POZICIJE VIJAKOV in PORAČUNAJ PODANI SPOJ.....	77
4.1.6	Izpis rezultatov v datoteko PDF.....	79
4.2	Algoritem programa.....	80
4.2.1	Določitev parametra $\alpha$ .....	82
4.3	Omejitve programskega orodja.....	83
5	KONTROLA PRAVILNOSTI DELOVANJA PROGRAMSKEGA ORODJA KMrup.....	84
5.1	Primer 1: Primerjava z rešenim primerom v viru [2].....	84
5.1.1	Definiranje spoja v programskem orodju.....	85
5.1.2	Definiranje spoja v programu SCIA Engineer.....	86
5.1.3	Rezultati in komentar.....	89
5.2	Primer 2: Spoj iz primera 1 ojačen z dodatno pločevino ob strižnem panelu stebra.....	97
5.2.1	Definiranje spoja v programskem orodju.....	97
5.2.2	Definiranje spoja v programu SCIA Engineer.....	98
5.2.3	Rezultati in komentar.....	99
5.3	Primer 3: Spoj iz primera 1 ojačen z vuto.....	103
5.3.1	Definiranje spoja v programskem orodju.....	103
5.3.2	Definiranje spoja v programu SCIA Engineer.....	104
5.3.3	Rezultati in komentar.....	105
5.4	Primer 4: Primerjava s spojem s štirimi vrstami vijakov izračunanim v [3].....	106
5.5	Rezultati in komentar.....	107
6	ZAKLJUČEK.....	111
7	VIRI:.....	112

**KAZALO PREGLEDNIC**

Preglednica 1: Sodelujoče dolžine neojačene pasnice stebra (SIST EN 1993-1-8: str. 75) .....	23
Preglednica 2: Sodelujoče dolžine ojačene pasnice stebra (SIST EN 1993-1-8: str. 77) .....	24
Preglednica 3: Sodelujoče dolžine pri čelni pločevini (SIST EN 1993-1-8: str. 78).....	25
Preglednica 4: Komponente spoja .....	33
Preglednica 5: Redukcijski faktor $\omega$ .....	37
Preglednica 6: Vpliv različnih tipov ojačitev stebra na komponente spoja na strani stebra.....	47
Preglednica 7: Dovoljene robne oddaljenosti $e_1$ in $e_2$ ter najmanjši dovoljeni razmaki $p_1$ in $p_2$ .....	60
Preglednica 8: Togostni koeficienti osnovnih komponent vozlišč (SIST EN 1993-1-8: str. 95) .....	65
Preglednica 9: Najmanjša debelina pločevin, ki prepreči preboj vijaka.....	67
Preglednica 10: Primerjava rezultatov geometrije nadomestnih T-elementov in vrednosti parametra $\alpha$ za vrsto vijakov pod natezno pasnico – 1. primer .....	89
Preglednica 11: Primerjava rezultatov za vrsto vijakov 1 – 1. primer .....	90
Preglednica 12: Primerjava rezultatov za vrsto vijakov 2 – 1. primer .....	91
Preglednica 13: Primerjava rezultatov za vrsto vijakov 3 – 1. primer .....	92
Preglednica 14: Primerjava rezultatov za skupino vrst vijakov 3+2+1 – 1. primer .....	93
Preglednica 15: Primerjava rezultatov za skupino vrst vijakov 3+2 – 1. primer.....	94
Preglednica 16: Primerjava rezultatov za skupino vrst vijakov 2+1 – 1. primer.....	95
Preglednica 17: Primerjava rezultatov za ostale komponente v spoju – 1. primer .....	95
Preglednica 18: Primerjava sil v vrstah vijakov in upogibni nosilnosti spoja – 1. primer .....	96
Preglednica 19: Primerjava togosti spoja – 1. primer.....	96
Preglednica 20: Primerjava rezultatov za vrsto vijakov 1 – 2. primer .....	99
Preglednica 21: Primerjava rezultatov za vrsto vijakov 2 – 2. primer .....	100
Preglednica 22: Primerjava rezultatov za vrsto vijakov 3 – 2. primer .....	100
Preglednica 23: Primerjava rezultatov za skupino vrst vijakov 3+2+1 – 2. primer .....	100
Preglednica 24: Primerjava rezultatov za skupino vrst vijakov 3+2 – 2. primer.....	101
Preglednica 25: Primerjava rezultatov za skupino vrst vijakov 2+1 – 2. primer.....	101
Preglednica 26: Primerjava rezultatov za ostale komponente v spoju – 2. primer .....	101
Preglednica 27: Primerjava sil v vrstah vijakov in upogibni nosilnosti spoja – 2. primer .....	102
Preglednica 28: Primerjava togosti spoja – 2. primer.....	103
Preglednica 29: Primerjava komponente pasnica in stojina prečke v tlaku – 3. primer .....	105
Preglednica 30: Primerjava komponente pasnica in stojina prečke v tlaku – 3. primer .....	105
Preglednica 31: Primerjava rezultatov za vrsto vijakov 1 – 4. primer .....	107
Preglednica 32: Primerjava rezultatov za vrsto vijakov 2 – 4. primer .....	108
Preglednica 33: Primerjava rezultatov za vrsto vijakov 3 – 4. primer .....	108
Preglednica 34: Primerjava rezultatov za vrsto vijakov 4 – 4. primer .....	108
Preglednica 35: Primerjava rezultatov za skupino vrst vijakov 4+3+2 – 4. primer .....	109
Preglednica 36: Primerjava rezultatov za skupino vrst vijakov 4+3 – 4. primer.....	109
Preglednica 37: Primerjava rezultatov za skupino vrst vijakov 3+2 – 4. primer.....	109
Preglednica 38: Primerjava komponente pasnica in stojina prečke v tlaku – 4. primer.....	110
Preglednica 39: Primerjava sil v vrstah vijakov in upogibni nosilnosti spoja – 4. primer .....	110

## KAZALO SLIK

Slika 1: Shema spoja, ki ga računa programsko orodje KMrup (Veljkovic M., Simões da Silva L., Simões R., Wald F., Jaspert J.-P., Weynand K., Dubinā D., Landolfo R., Vila Real P., Gervásio H, 2015: str. 143).....	15
Slika 2: Sheme spojev z naštetimi komponentami (Veljkovic M., Simões da Silva L., Simões R., Wald F., Jaspert J.-P., Weynand K., Dubinā D., Landolfo R., Vila Real P., Gervásio H, 2015: str. 143).....	16
Slika 3: Sheme spojev, ki se računajo po enakem postopku (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 4) .....	18
Slika 4: Sile v spoju (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 4).....	18
Slika 5: Dimenzije pasnic nadomestnega T-elementa (SIST EN 1993-1-8) .....	19
Slika 6: 1. oblika porušitve (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 10).....	20
Slika 7: 2. oblika porušitve (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 10).....	21
Slika 8: 3. oblika porušitve (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 10).....	22
Slika 9: Nadomestni T-element na strani stebra (SIST EN 1993-1-8: str. 78).....	23
Slika 10: Nadomestni T-element za čelno pločevino (SIST EN 1993-1-8: str. 78) .....	24
Slika 11: Geometrija nadomestnega T-elementa.....	25
Slika 12: Sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa za samostojno vrsto vijakov – podaljšan del neojačene čelne pločevine (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 20).....	26
Slika 13: Sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa za samostojno vrsto vijakov – konec stebra in podaljšan del ojačene čelne pločevine (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 20).....	27
Slika 14: Sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa za samostojno vrsto vijakov – pasnica stebra pod ojačitvijo in čelna pločevina pod pasnico nosilca (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 21) .....	27
Slika 15: Sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa za samostojno vrsto vijakov – pasnica stebra med ojačitvama in čelna pločevina med ojačitvami ter pasnico nosilca(The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 21) .....	28
Slika 16: Sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa za samostojno vrsto vijakov v pasnici stebra oddaljeno od ojačitev in čelni pločevini oddaljeno od ojačitev ali pasnic nosilca (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 22) .....	28
Slika 17: Sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa za skupine vrst vijakov – zgornja vrsta (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 23) .....	29
Slika 18: Sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa za skupine vrst vijakov – notranja vrsta (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 23) .....	29
Slika 19: Sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa za skupine vrst vijakov – spodnja vrsta (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 23) .....	30
Slika 20: Parametri za izračun $\lambda_1$ in $\lambda_2$ (SIST EN 1993-1-8: str. 79).....	30
Slika 21: Vrednosti parametra $\alpha$ (SIST EN 1993-1-8: str. 79) .....	31
Slika 22: Komponente spoja (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 6).....	33

Slika 23: Trikotna razporeditev sil v spoju s podaljšano čelno pločevino (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 19) .....	35
Slika 24: Trikotna razporeditev sil v spoju s čelno pločevino.....	35
Slika 25: Raznos tlačne sile iz tlačene pasnice nosilca v pasnico stebra (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 20) .....	38
Slika 26: Strižna obremenitev panela stebra .....	41
Slika 27: Vitke stojine (Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih: str. 18).....	42
Slika 28: Natezne in tlačne nosilnosti v spoju, ki prispevajo k momentni nosilnosti (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 24) .....	43
Slika 29: Določitev $M_{mod,Ed}$ .....	44
Slika 30: Poziciji nateznih in strižni vijakov v spoju .....	45
Slika 31: Ojačitve na strani stebra (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 7).....	46
Slika 32: Kratka vuta.....	47
Slika 33: Ojačitveno rebro.....	47
Slika 34: Delna in polna natezna ojačitev s kotami.....	48
Slika 35: Sodelujoča dolžina stojine v nategu.....	49
Slika 36: Dimenzije za določitev projektne sile v natezni ojačitvi.....	49
Slika 37: Tlačna ojačitev z dimenzijami .....	51
Slika 38: Dolžina plošč za ojačitev strižnega panela (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 34) .....	54
Slika 39: Širina plošč za ojačitev strižnega panela (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 34) .....	54
Slika 40: Dimenzije kratke vute .....	56
Slika 41: Prerez prečke z vuto .....	57
Slika 42: Napetosti v kotnem zvaru.....	58
Slika 43: Vrednosti korelacijskega faktorja $\beta_w$ .....	58
Slika 44: Območja zvarov prečka – čelna pločevina.....	59
Slika 45: Model vozliča z vzmetmi (SIST EN 1993-1-8, str. 57) .....	61
Slika 46: Vozlišče steber-prečka (SIST EN 1993-1-8, str. 59) .....	62
Slika 47: Projektni diagram steber-prečka pri elastični globalni analizi konstrukcije (P. Može, 2015) .....	62
Slika 48: Projektni diagram steber-prečka pri elastoplastični globalni analizi konstrukcije (P. Može, 2015).....	63
Slika 49: Model vozlišča z nadomestnimi vzmetmi (P. Može, 2015).....	63
Slika 50: Primer kode HTML ( <a href="http://www.w3schools.com/html/default.asp">http://www.w3schools.com/html/default.asp</a> ) .....	69
Slika 51: Primer kode CSS ( <a href="http://www.w3schools.com/css/default.asp">http://www.w3schools.com/css/default.asp</a> ) .....	69
Slika 52: Primer kode JavaScript – račun nosilnosti spoja na vertikalni strig.....	70
Slika 53: Primer kode jQuery – dodajanje HTML elementa ob izbiri možnosti tlačne ojačitve stojine stebra .....	70
Slika 54: Primer kode z vključenim Bootstrapom ( <a href="http://www.w3schools.com/bootstrap/bootstrap_get_started.asp">http://www.w3schools.com/bootstrap/bootstrap_get_started.asp</a> ).....	71
Slika 55: Primer uporabe knjižnice oCanvas – izris čelne pločevine na canvas ("platno").....	71
Slika 56: Vnos podatkov za priključene elemente.....	72
Slika 57: Vnos podatkov o čelni pločevini, vijakih in zvarih.....	73
Slika 58: Vnos podatkov o ojačitvah.....	74

Slika 59: Izris vseh ojačitev v programskem orodju KMrup.....	75
Slika 60: Vnos ostali podatkov v programsko orodje KMrup.....	76
Slika 61: Gumb NARIŠI .....	77
Slika 62: Gumba 'popravi pozicije vijakov' in 'poračunaj podani spoj'.....	78
Slika 63: Izpis rezultatov .....	79
Slika 64: Izbira možnosti natisni v brskalniku Google Chrome.....	80
Slika 65: Algoritem za določitev parametra $\alpha$ za vrsto vijakov pod natezno pasnico .....	82
Slika 66: Položaj spoja v okvirju (Veljkovic M., Simões da Silva L., Simões R., Wald F., Jaspert J.-P., Weynand K., Dubinā D., Landolfo R., Vila Real P., Gervásio H, 2015: str. 156).....	84
Slika 67: Konfiguracija spoja (Veljkovic M., Simões da Silva L., Simões R., Wald F., Jaspert J.-P., Weynand K., Dubinā D., Landolfo R., Vila Real P., Gervásio H, 2015: str. 156).....	85
Slika 68: Konfiguracija spoja, kot ga prikaže programsko orodje KMrup.....	85
Slika 69: Definiranje spoja v programu SCIA Engineer (SCIA Engineer v16.0 Student version 2016. Steel connections: Design and checks of steel connections, 2016: str. 52).....	86
Slika 70: Vnos podatkov za čelno pločevino .....	87
Slika 71: Nastavitve spoja .....	87
Slika 72: Vnos podatkov za vijake .....	88
Slika 73: 3D prikaz spoja v programu SCIA Engineer [4].....	88
Slika 74: Izris spoja v programskem orodju KMrup za 2. primer .....	97
Slika 75: Slika 2. primera spoja bočno v programu SCIA Engineer [4] .....	98
Slika 76: Nastavitve ojačitve panela stojine stebra .....	98
Slika 77: Mala in velika ojačitev .....	99
Slika 78: Izbira debeline ojačitve .....	99
Slika 79: Izris spoja v programskem orodju KMrup za 2. primer, izris vute ni v merilu.....	103
Slika 80: Slika 2. primera spoja bočno v programu SCIA Engineer [4] .....	104
Slika 81: Nastavitve ojačitve panela stojine stebra .....	104
Slika 82: Mala in velika ojačitev .....	105
Slika 83: Slika spoja 4. primera kot jo izriše programsko orodje KMrup.....	106
Slika 84: Slika spoja 4. primera kot jo prikazana v viru [3].....	107

## 1 UVOD

Projektiranje spojev je eno izmed pomembnejših elementov konstruiranja jeklenih konstrukcij. Moderno projektiranje spojev teži k natančni opredelitvi nosilnosti in togosti delno nosilnih in delno togih spojev, saj le ta vpliva na razporeditev notranjih sil v okvirju.

V standardu SIST EN 1998-1-8 [1] je predstavljen postopek računanja nosilnosti in togosti spojev po komponentni metodi. Komponentna metoda je ena od metod, ki poleg računa nosilnosti spoja (ob določenih predpostavkah), omogoča tudi račun togosti spoja. Za uporabo komponentne metode, moramo poznati mehanske in geometrijske lastnosti tako imenovanih komponent spoja. Nato spoj analitično poračunamo. Tako dobimo natančen vpogled v dejansko dogajanje v momentnem spoju pri upogibni obremenitvi. S komponentno metodo lahko izračunamo dejansko upogibno nosilnost spoja in odziv v smislu rotacije spoja pri upogibni obremenitvi.

Uporaba komponentne metode je brez uporabe programske opreme zahtevna in dolgotrajna. Za določitev nosilnosti in togosti spojev po komponentni metodi je potrebno veliko število kontrol in izračunov za opredelitev lastnosti spoja. Optimizacija dimenzioniranja spojev zahteva iterativen pristop, kar še otežuje proces projektiranja.

Za temo moje magistrske naloge sem se poglobil v komponentno metodo in izdelal programsko orodje KMrup, ki računa upogibno nosilnost in rotacijsko togost momentnega spoja steber-prečka po komponentni metodi. Rezultate iz programskega orodja sem primerjal s spoji iz literature [2],[3] in s komercialnim programom SCIA Engineer [4].



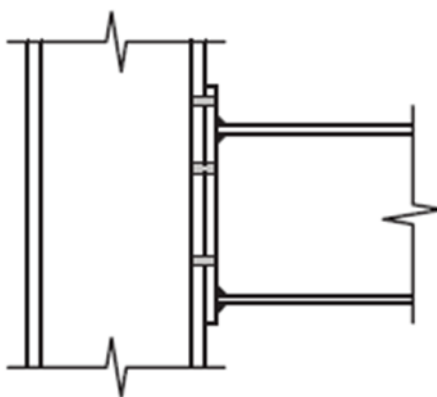
## 2 KOMPONENTNA METODA PROJEKTIRANJA SPOJEV

### 2.1 Splošno o komponentni metodi

Mehansko obnašanje jeklenih spojev v smislu nosilnosti, togosti in rotacijske kapacitete je kompleksen fenomen. Za opredelitev tega kompleksnega obnašanja, se spoj razdeli na različne dele, tako imenovane komponente [5].

Karakterizacija odziva spoja v smislu togosti, nosilnosti in duktilnosti je ključna za projektiranje momentnih spojev. Za ocene karakteristik so v splošnem možni trije pristopi: eksperimentalni, numerični in analitični. Za projektanta je v praksi uporaben analitični pristop. Analitični izračun z znanjem o mehanskih in geometrijskih lastnostih omogoči oceno odziva tako imenovanih komponent spoja. V standardu SIST EN1998-1-8 je predstavljen pojem komponentne metode in splošen analitični postopek računa spojev po komponentni metodi. Komponentna metoda se lahko uporabi za jekla kvalitete do vključno S460. Uporabi se lahko za katerikoli tip prereza priključenih elementov, obremenitev (osna sila in/ali upogibni moment, itn.) in kakršnokoli konfiguracijo spoja. Komponentna metoda je splošen in primeren pristop ocene mehanskih lastnosti spoja, obremenjenega v različnih obtežnih situacijah (statična in dinamična obremenitev, požar, potres, itn.)

Programsko orodje KMrup, razvito za namene te magistrske naloge, je v osnovi narejeno za račun momentnega spoja steber-prečka s podaljšano čelno pločevino (Slika 1). S prilagoditvijo vhodnih podatkov in primernim branjem rezultatov, je program mogoče uporabiti tudi za druge konfiguracije (spoj prečka-prečka, dvostranski spoj prečka-steber). Na spodnji sliki je prikazana osnovna shema spoja, katerega nosilnost in togost računa izdelani program (na sliki ni prikazanih ojačitev, ki jih omogoča program).



Slika 1: Shema spoja, ki ga računa programsko orodje KMrup (Veljkovic M., Simões da Silva L., Simões R., Wald F., Jaspert J.-P., Weynand K., Dubinã D., Landolfo R., Vila Real P., Gervásio H, 2015: str. 143)

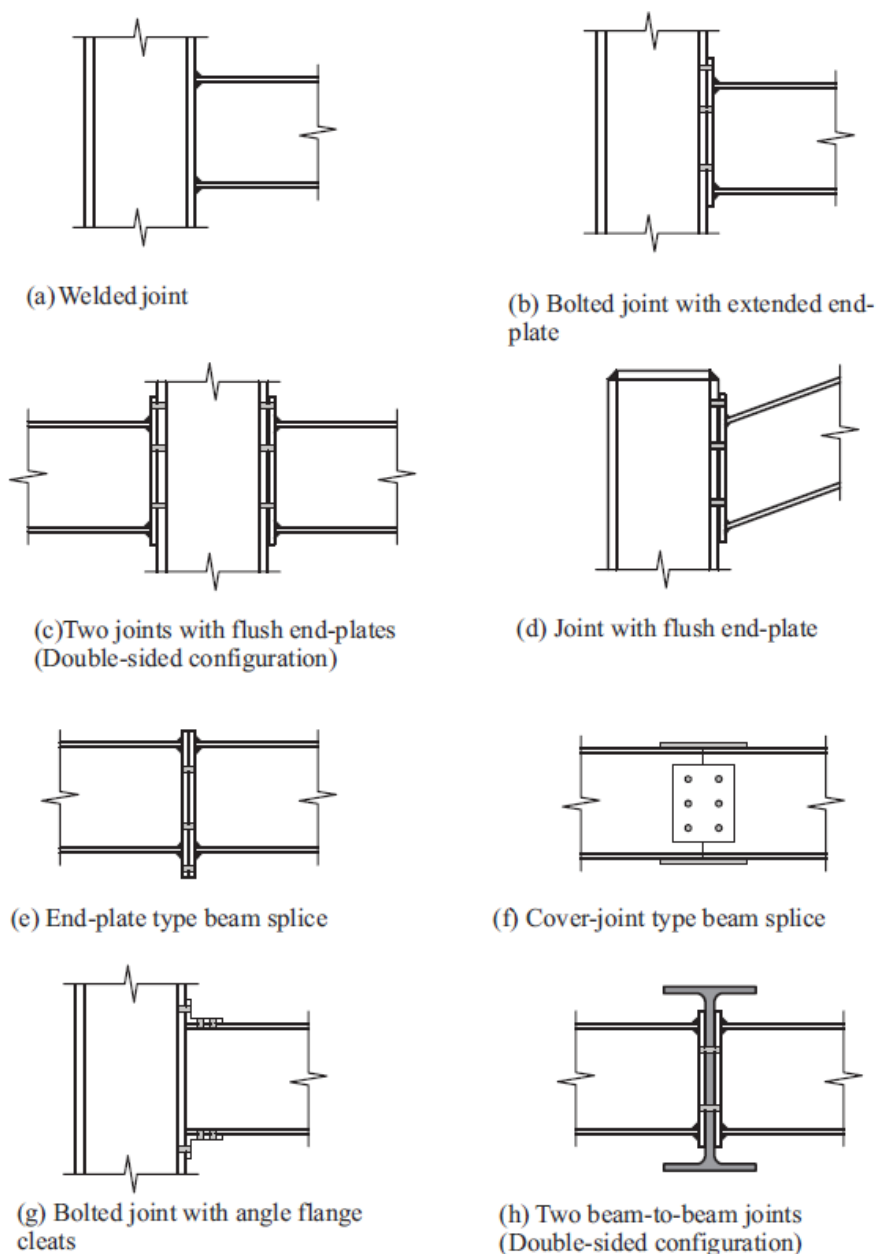
Figure 1: Scheme of joint calculated by the programming tool KMrup (Veljkovic M., Simões da Silva L., Simões R., Wald F., Jaspert J.-P., Weynand K., Dubinã D., Landolfo R., Vila Real P., Gervásio H, 2015: p. 143)

Spoji so večinoma obravnavani kot celota. Posebnost komponentne metode je v tem, da lahko katerikoli spoj obravnavamo kot sestav posameznih osnovnih komponent. Za spoj prikazan na sliki 1 in konfiguracije spojev prikazane na sliki 2, so relevantne naslednje komponente:

- stojina stebra v tlaku,
- pasnica in stojina prečke v upogibu,
- stojina stebra v prečnem nategu,
- pasnica stebra v upogibu,
- vijaki v nategu,

- upogib čelne pločevine,
- stojina stebra v nategu,
- stojina stebra v strigu,
- kotnik v upogibu.

Vsako izmed teh osnovnih komponent predstavimo z nadomestno vzmetjo, ki ima svojo nosilnost in togost. Prisotnost večih komponent v enem elementu spoja lahko vodi do interakcij obremenitev, kar pomeni nižjo nosilnost posameznih komponent spoja. Spisek vseh možnih komponent je naveden v SIST EN 1993-1-8 [1], v preglednici 6.1.



Slika 2: Sheme spojev z naštetimi komponentami (Veljkovic M., Simões da Silva L., Simões R., Wald F., Jaspert J.-P., Weynand K., Dubinā D., Landolfo R., Vila Real P., Gervásio H, 2015: str. 143)

Figure 2: Schemes of joints with mentioned components (Veljkovic M., Simões da Silva L., Simões R., Wald F., Jaspert J.-P., Weynand K., Dubinā D., Landolfo R., Vila Real P., Gervásio H, 2015: p. 143)

Postopek računa spoja po komponentni metodi sestoji iz 7 osnovnih korakov:

- identifikacije aktivnih komponent v spoju,
- ocene togosti in nosilnost posameznih komponent,
- sestave posameznih komponent in ocene togosti in/ali nosilnostnih karakteristik celotnega spoja (analiza sil znotraj spoja temelji na plastični teoriji z upoštevanjem treh osnovnih teoremov plastične analize in z upoštevanjem razpoložljive duktilnosti posameznih komponent)
- V standardu SIST EN 1993-1-8 [1] so napotki kako uporabiti komponentno metodo za oceno začetne togosti in projektno nosilnosti spojev. Obravnavana je tudi tema duktilnosti spoja.
- Uporaba komponentne metode zahteva zadostno poznavanje obnašanja osnovnih komponent. v Standardu SIST EN 1993-1-8 [1], preglednica 6.1 prikazuje vse osnovne komponente potrebne za račun spoja po statičnem pristopu. Kombinacija teh komponent omogoča obravnavo velikega števila različnih konfiguracij in tipov spojev.

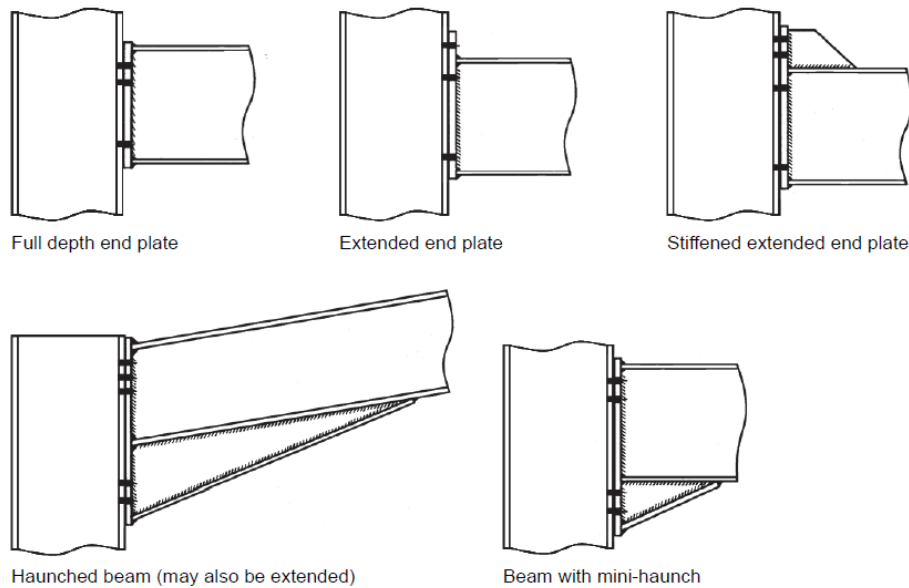
Evrokodi, tudi s komponentno metodo, omogočajo nove napredne metode ekonomičnega in učinkovitega projektiranja jeklenih konstrukcij. Projektiranje spojev pri tem igra veliko vlogo. Uporaba naprednih metod po navadi zahteva veliko časa, če na voljo ne obstajajo orodja za hitro in enostavno projektiranje. Takšna orodja predstavljajo tabele in programska oprema. Programska oprema je pri tem najbolj učinkovita in fleksibilna.

Momentni spoji so vedno dražji od členkastih spojev. Za izvedbo momentnega spoja je po navadi potrebna uporaba večje količine zvarov, kot pri drugih spojih. Varjenje je drag postopek in zahteva tudi pregled, ko je zvar končan. Uporaba ojačitev na elementih spoja pomeni še dodatne stroške. Uporaba vute pomeni velike količine varjenja in je zato draga [2].

## **2.2 Osnovni principi komponentne metode**

Zaradi kompleksnosti komponentne metode se je razvoj le te in predvidevanje obnašanja jeklenih spojev močno nanašalo na rezultate številnih raziskav, izvedenih v številnih raziskovalnih inštitutih. Posledično, komponentna metoda omogoča izračun in s tem uporabo delno nosilnih in delno togih spojev v konstrukcijah [6].

V literaturi [7] je pregledno opisan analitični računski postopek za račun spoja steber-prečka po komponentni metodi za prereze tipov I in H. V tem poglavju predstavljam povzetek postopka, ki je podan tem viru, z dopolnitvami iz standarda SIST EN 1993-1-8 [1]. Na sliki 3 so prikazane sheme konfiguracij spojev, za katere je v poglavjih 2.3–2.11 predstavljeni postopek računanja spojev relevanten.

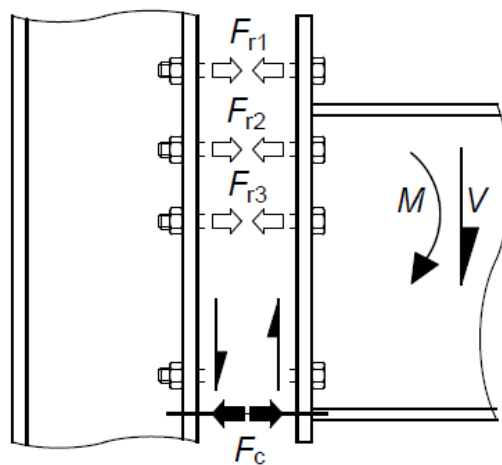


Slika 3: Sheme spojev, ki se računajo po enakem postopku (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 4)

Figure 3: Schemes of joints which are calculated by the same procedure (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association: p. 4)

Nosilnost vijachenega spoja s podaljšano čelno pločevino je zagotovljena s kombinacijo nateznih sil v vijakih v bližini natezne pasnice in tlačnih sil v tlačni pasnici prečke. Če v prečki ni osnih sil, sta natezna sila v vijakih in tlačna sila v spodnji pasnici prečke v ravnotežju. Nosilnost spoja na vertikalni strig zagotavljajo vijaki. Po načelu plastične analize strig običajno razporedimo na spodnje vrste, ki jih pri prenosu upogiba ne upoštevamo, saj ne prispevajo pomembno k upogibni nosilnosti spoja. Sile v spoju so shematsko predstavljene na sliki 4.

Običajno se nevtralna os v spoju nahaja v težišču tlačene pasnice ali blizu tlačene pasnice. V programskem orodju velja predpostavka, da je nevtralna os v spoju vedno v težišču spodnje pasnice nosilca (ob običajni statični obremenitvi, je tlačena spodnja pasnica nosilca). Vrsta vijakov, ki je najbolj oddaljena od težišča tlačene pasnice teži k temu, da se v njej razvijejo največje natezne sile v vijakih.



Slika 4: Sile v spoju (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 4)

Figure 4: Forces in the connection (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 4)

## 2.2.1 Nadomestni T-element

Nadomestni T-element je osnova na kateri sloni komponentna metoda. Je osnovna komponenta, pravzaprav nadkomponenta, ki je prisotna v večini komponent spoja. Nadomestni T-element sestoji iz natezno obremenjene stojine in upogibno obremenjenih pasnic. Vijaki so podvrženi nateznim obremenitvam. Kot reakcija zaradi nateznih sil v vijakih, se pojavijo tlačne sile na robovih pasnic nadomestnega T-elementa. Robove pasnic idealiziramo kot podpore, ki preprečujejo vse pomike in rotacije. Loči se nadomestni T-element na strani stebra in na strani čelne pločevine.

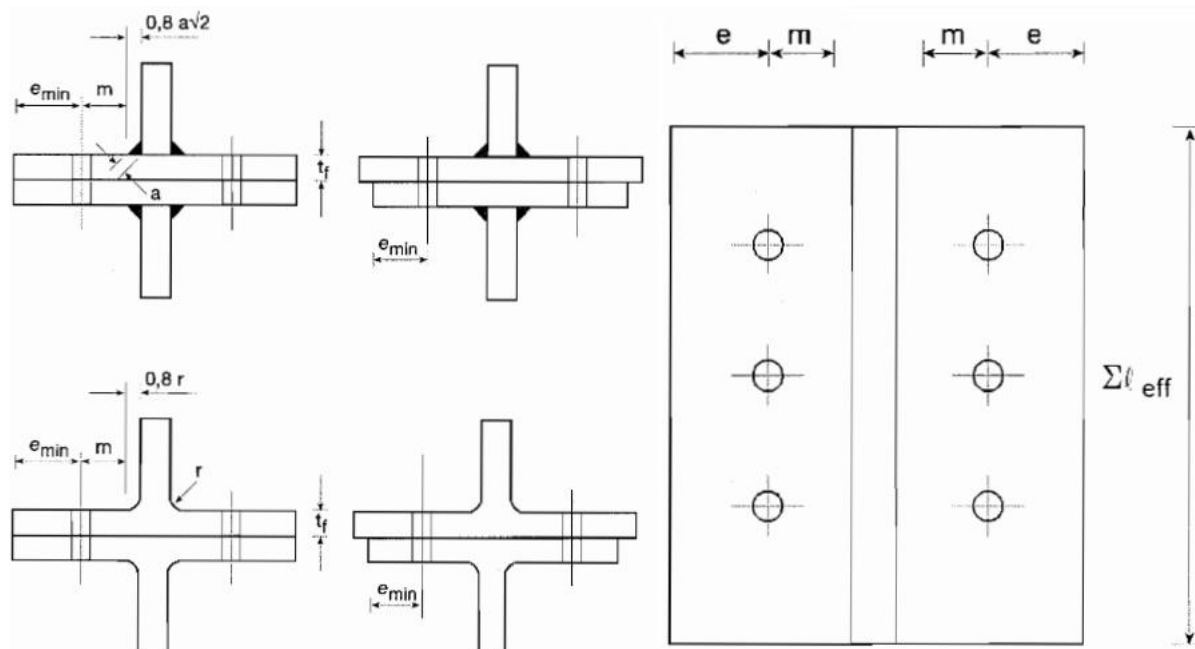
Nadomestni T-element se v vijačenih spojih lahko uporablja za modeliranje obnašanja komponent pasnica stebra v upogibu, čelna pločevina v upogibu, vezni kotnik v upogibu in ležiščna pločevina v upogibu. Za možne načine porušitve pasnic nadomestnega T-elementa se lahko predpostavi, da so podobne pričakovanim načinom porušitve osnovne komponente, ki jo T-element nadomešča [2].

Projektno nosilnost pasnic T-elementa v vijačenih vozliščih steber-prečka, brez uporabe podložnih ploščic, se določi po enačbah v poglavju 2.2.1.2.

### 2.2.1.1 Geometrija nadomestnega T-elementa

Slika 5 prikazuje osnovno geometrijo nadomestnega T-elementa. Na sliki so prikazani parametri  $e_{min}$ ,  $l_{eff}$ , in  $m$  na strani pasnic nadomestnega T-elementa. Vrednost  $e_{min}$  je manjša od razdalj med osjo vijaka in robom pasnice nadomestnega T-elementa.

Skupna sodelujoča dolžina  $\sum l_{eff}$  nadomestnega T-elementa mora biti takšna, da je projektna nosilnost njegovih pasnic enakovredna projektni nosilnosti osnovne komponente, ki jo T-element nadomešča. Sodelujoča dolžina nadomestnega T-elementa je nadomestne dolžina za katero ni nujno, da ustreza dejanski dolžini osnovne komponente, ki jo T-element nadomešča [2].

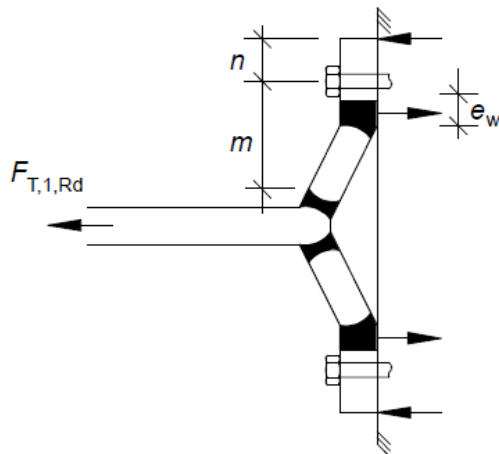


Slika 5: Dimenzije pasnic nadomestnega T-elementa (SIST EN 1993-1-8)  
Figure 5: Dimensions of T-stub flanges (SIST EN 1993-1-8)

### 2.2.1.2 Nosilnost nadomestnih T-elementov

Nosilnosti se izračunajo za 3 možne oblike porušitve. Nosilnost nadomestnega T-elementa je enaka najnižji vrednosti nosilnosti izmed 3 možnih oblik porušitev.

#### 1. OBLIKA PORUŠITVE – POLNA PLASTIFIKACIJA PASNIC



Slika 6: 1. oblika porušitve (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 10)

Figure 6: Failure mode 1 (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 10)

Izpeljava projektne nosilnosti pasnic nadomestnega T-elementa za 1. porušitveno obliko s principom virtualnega dela (običajna metoda):

$$F_{T,1,Rd} \delta w = 4M_{pl,1,Rd} \delta \varphi \quad (1)$$

$$F_{T,1,Rd} \delta w = 4M_{pl,1,Rd} \frac{\delta w}{m} \quad (2)$$

Nosilnost nadomestnega T-elementa pri 1. obliki porušitve (običajna metoda), se tako določi po enačbi (3):

$$F_{T,1,Rd} = \frac{4M_{pl,1,Rd}}{m} \quad (3)$$

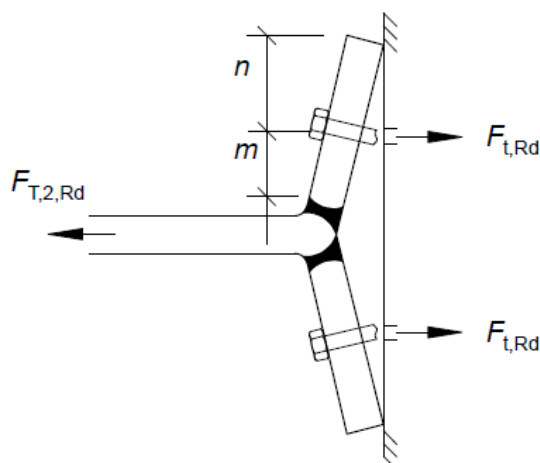
Poleg običajne metode se nosilnost pasnic za 1. obliko porušitve lahko določi tudi po alternativni metodi. Alternativna metoda pri določitvi nosilnosti pasnic nadomestnega T-elementa poleg razdalje od zaokrožitve med pasnico in stojino T-elementa upošteva še razdaljo od plastičnega členka, ki se razvije v pasnici ob vijaku in vzdolžno osjo vijaka ( $e_w$ ) ter razdaljo od roba pasnice in vijakom ( $n$ ).

Nosilnost nadomestnega T-elementa pri 1. obliki porušitve (alternativna metoda – upošteva še ), se določi po enačbi (4):

$$F_{T,1,Rd} = \frac{(8n - 2e_w)M_{pl,1,Rd}}{2mn - e_w(m+n)} \quad (4)$$

$\delta \varphi$  je naklonski kot med pasnico in podlago.

## 2. OBLIKA PORUŠITVE – PORUŠITEV VIJAKOV IN DELNA PLASTIFIKACIJA PASNICE



Slika 7: 2. oblika porušitve (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 10)

Figure 7: Failure mode 2 (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 10)

Izpeljava projektna nosilnost pasnic nadomestnega T-elementa za 2. porušitveno obliko s principom virtualnega dela (običajna metoda):

$$\frac{\delta w_v}{n} = \frac{\delta w}{n+m} \quad (5)$$

$$\delta w_v = \frac{\delta w}{n+m} n \quad (6)$$

$$\delta \varphi = \frac{\delta w}{n+m} \quad (7)$$

pri tem mora biti izpolnjen pogoj:  $n < 1.25m$

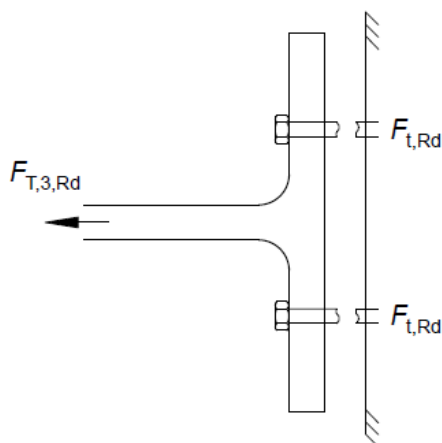
$$2M_{pl,Rd} \delta \varphi + 2 \frac{\sum F_{t,Rd}}{2} \delta w_w = F_{T,2,Rd} \delta w \quad (8)$$

$$2M_{pl,2,Rd} \frac{\delta w}{m+n} + \sum F_{t,Rd} \frac{\delta w}{m+n} n = F_{T,2,Rd} \delta w \quad (9)$$

Nosilnost nadomestnega T-elementa pri 2. obliki porušitve (običajna metoda), se tako določi po enačbi (10):

$$F_{T,2,Rd} = \frac{2M_{pl,2,Rd} + n \sum F_{t,Rd}}{m+n} \quad (10)$$

### 3. OBLIKA PORUŠITVE – PORUŠITEV VIJAKOV



Slika 8: 3. oblika porušitve (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 10)

Figure 8: Failure mode 3 (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 10)

Projektna nosilnost pasnic nadomestnega T-elementa za 3. porušitveno obliko:

$$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} \quad (11)$$

Členi v enačbah (1) – (11):

$M_{pl,1,Rd}$  in  $M_{pl,2,Rd}$  sta plastični upogibni nosilnosti za nadomestni T-element, za 1. in 2. porušitveno obliko.

$$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,1} t_f^2 f_y / \gamma_{M0} \quad (12)$$

$$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \sum l_{eff,2} t_f^2 f_y / \gamma_{M0} \quad (13)$$

kjer so: -  $l_{eff,1}$ ... sodelujoča dolžina nadomestnega T-elementa za 1. obliko porušitve, ki je manjša od vrednosti  $l_{eff,cp}$  in  $l_{eff,nc}$  (glej preglednice 1-3).

-  $l_{eff,2}$ ... sodelujoča dolžina nadomestnega T-elementa za 2. obliko porušitve, ki je enaka vrednosti  $l_{eff,nc}$  (glej preglednice 1-3).

-  $t_f$ ... debelina pasnic nadomestnega T-elementa

-  $f_y$ ... napetost na meji tečenja nadomestnega T-elementa

$\sum F_{t,Rd}$  je skupna natezna nosilnost vijakov v nadomestnem T-elementu

$$e_w = d_w / 4, \quad (14)$$

kjer sta: -  $e_w$ ... razdalja od plastičnega členka, ki se razvije v pasnici ob vijaku in vzdolžno osjo vijaka

-  $d_w$ ... premer podloške oziroma manjša širina glave vijaka ali matice (odprtina ključa)

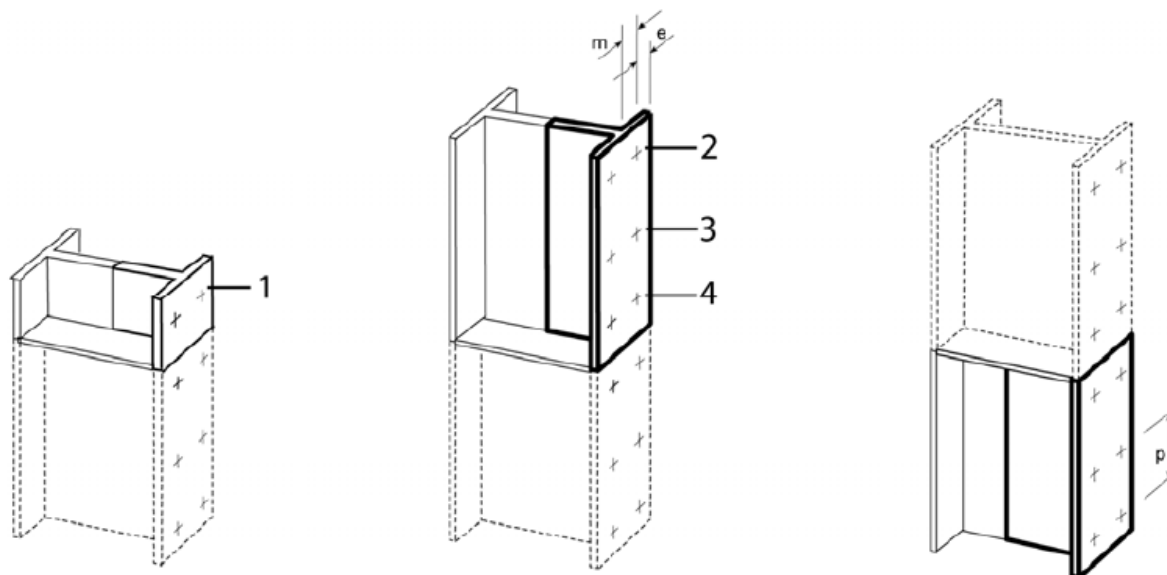
#### 2.2.2 Modeliranje spoja steber-prečka z ločenimi T-elementi

Nadomestni T-element uporabimo za modeliranje spoja steber-prečka. Ločimo T-element na strani strani stebra in na strani čelne pločevine. Na strani čelne pločevine se ločeno modelira T-element za podaljšani del čelne pločevine in T-element za čelno pločevino pod natezno pasnico prečke. Loči se delovanje vrst vijakov posamezno in v skupinah.



### 2.2.2.1 T-element na strani stebra

Slika 9 prikazuje konstrukcijo nadomestnega T-elementa na strani stebra za različne pozicije vijakov. Preglednica 1 prikazuje enačbe za določitev sodelujočih dolžin, ko je pasnica stebra neojačena. Preglednica 2 pa prikazuje enačbe za določitev sodelujočih dolžin, ko je pasnica stebra ojačena.



- 1 Zunanja vrsta vijakov neposredno ob ojačitvi
- 2 Zunanja vrsta vijakov
- 3 Notranja vrsta vijakov
- 4 Vrsta vijakov ob ojačitvi

Slika 9: Nadomestni T-element na strani stebra (SIST EN 1993-1-8: str. 78)  
Figure 9: Equivalent T-stub on column side (SIST EN 1993-1-8: p. 78)

Preglednica 1: Sodelujoče dolžine neojačene pasnice stebra (SIST EN 1993-1-8: str. 75)

Table 1: Effective lengths of unstiffened column flange (SIST EN 1993-1-8: p. 75)

Lega vrste vijakov	Posamezna vrsta vijakov		Vrsta vijakov kot del skupine vrst vijakov	
	Krožna oblika $l_{eff,cp}$	Poligonalna oblika $l_{eff,nc}$	Krožna oblika $l_{eff,cp}$	Poligonalna oblika $l_{eff,nc}$
Notranja vrsta	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	$p$
Zunanja vrsta	Manjša od: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	Manjša od f: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	Manjša od: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	Manjša od: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
1. način:	$l_{eff,1} = l_{eff,nc}$ , vendar $l_{eff,1} \leq l_{eff,cp}$		$\sum l_{eff,1} = \sum l_{eff,nc}$ , vendar $\sum l_{eff,1} \leq \sum l_{eff,cp}$	
2. način:	$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$		$\sum l_{eff,2} = \sum l_{eff,nc}$	

### 2.2.2.2 T-element na strani čelne pločevine

Ločeno se modelira T-element za podaljšani del čelne pločevine (t.j. nad natezno pasnico) in čelno pločevino pod natezno pasnico.

Slika 10 prikazuje nadomestni T-element za čelno pločevino. Nadomestni T-element za previsni del čelne pločevine se konstruira, kot je prikazano na sliki 10. Preglednica 2 prikazuje sodelujoče dolžine

nadomestnega T-elementa za čelno pločevino. Pri določanju projektne nosilnosti pasnic nadomestnega T-elementa za previsni del čelne pločevine parametra  $e$  in  $m$  nadomestimo z  $e_x$  in  $m_x$ .

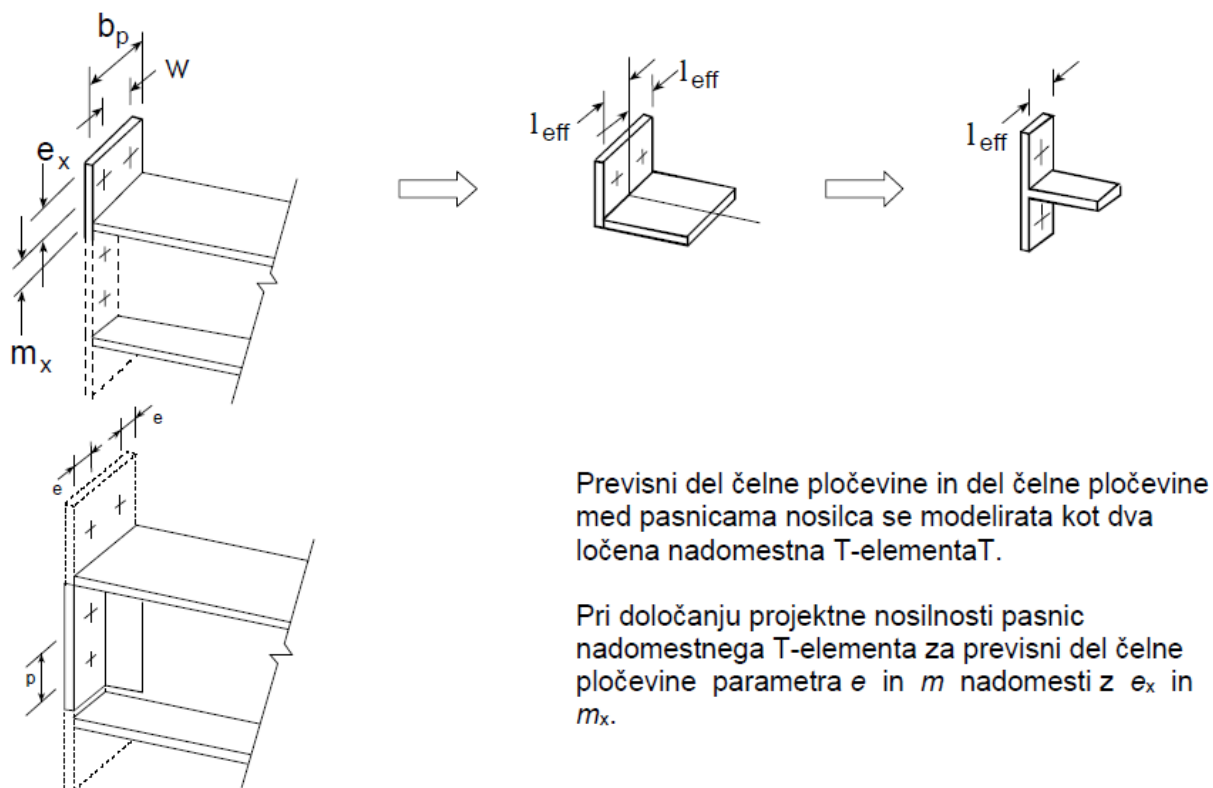
Preglednica 2: Sodelujoče dolžine ojačene pasnice stebra (SIST EN 1993-1-8: str. 77)

Table 2: Effective lengths of stiffened column flange (SIST EN 1993-1-8: p. 77)

Legla vrste vijakov	Posamezna vrsta vijakov		Vrsta vijakov kot del skupine vrst vijakov	
	Krožna oblika $\zeta_{\text{eff,cp}}$	Poligonalna oblika $\zeta_{\text{eff,nc}}$	Krožna oblika $\zeta_{\text{eff,cp}}$	Poligonalna oblika $\zeta_{\text{eff,nc}}$
Vrsta ob ojačitvi	$2\pi m$	$\alpha m$	$\pi m + p$	$0,5p + \alpha m - (2m + 0,625e)$
Ostale notranje vrste	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	$p$
Ostale zunanje vrste	Manjša od: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	Manjša od: $4m + 1,25e$ $2m + 0,625e + e_1$	Manjša od: $\pi m + p$ $2e_1 + p$	Manjša od: $2m + 0,625e + 0,5p$ $e_1 + 0,5p$
Zunanja vrsta ob ojačitvi	Manjša od: $2\pi m$ $\pi m + 2e_1$	$e_1 + \alpha m - (2m + 0,625e)$	ni relevantno	ni relevantno
1. način:	$\zeta_{\text{eff},1} = \zeta_{\text{eff,nc}}$ , vendar $\zeta_{\text{eff},1} \leq \zeta_{\text{eff,cp}}$		$\sum \zeta_{\text{eff},1} = \sum \zeta_{\text{eff,nc}}$ , vendar $\sum \zeta_{\text{eff},1} \leq \sum \zeta_{\text{eff,cp}}$	
2. način:	$\zeta_{\text{eff},2} = \zeta_{\text{eff,nc}}$		$\sum \zeta_{\text{eff},2} = \sum \zeta_{\text{eff,nc}}$	

$\alpha$  se določi iz slike 6.11.

Za pomoč pri določitvi lege vrst vijakov glej sliko 9.



Slika 10: Nadomestni T-element za čelno pločevino (SIST EN 1993-1-8: str. 78)

Figure 10: Equivalent T-stub for end plate (SIST EN 1993-1-8: p. 78)

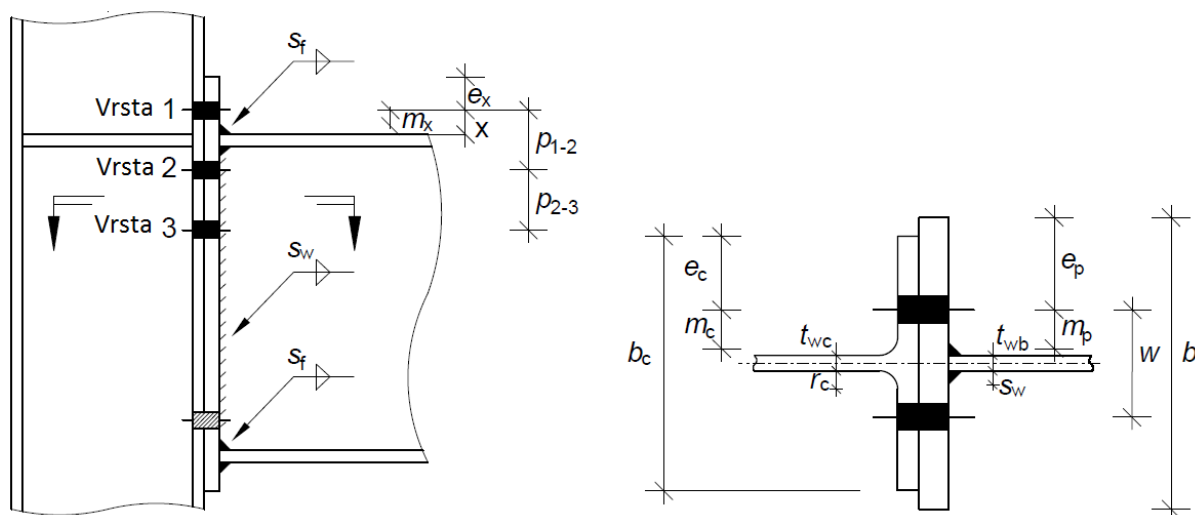
Preglednica 3: Sodelujoče dolžine pri čelni pločevini (SIST EN 1993-1-8: str. 78)

Table 3: Effective lengths for end plate (SIST EN 1993-1-8: p. 78)

Lega vrste vijakov	Posamezna vrsta vijakov		Vrsta vijakov kot del skupine vrst vijakov	
	Krožna oblika $\ell_{eff,cp}$	Poligonalna oblika $\ell_{eff,nc}$	Krožna oblika $\ell_{eff,cp}$	Poligonalna oblika $\ell_{eff,nc}$
Vrsta nad natezno pasnico nosilca (izven višine nosilca)	Manjša od: $2\pi m_x$ $\pi m_x + w$ $\pi m_x + 2e$	Manjša od: $4m_x + 1,25e_x$ $e + 2m_x + 0,625e_x$ $0,5b_p$ $0,5w + 2m_x + 0,625e_x$	—	—
Prva vrsta pod natezno pasnico nosilca (znotraj višine nosilca)	$2\pi m$	$am$	$\pi m + p$	$0,5p + am - (2m + 0,625e)$
Ostale notranje vrste	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$2p$	$p$
Ostale zunanje vrste	$2\pi m$	$4m + 1,25e$	$\pi m + p$	$2m + 0,625e + 0,5p$
1. način:	$\ell_{eff,1} = \ell_{eff,nc}$ , vendar $\ell_{eff,1} \leq \ell_{eff,cp}$		$\sum \ell_{eff,1} = \sum \ell_{eff,nc}$ , vendar $\sum \ell_{eff,1} \leq \sum \ell_{eff,cp}$	
2. način:	$\ell_{eff,2} = \ell_{eff,nc}$		$\sum \ell_{eff,2} = \sum \ell_{eff,nc}$	
α se določi iz slike 6.11..				

### 2.2.3 Geometrija T-elementov v momentnem spoju s podaljšano čelno pločevino

Leva stran slike 11 prikazuje geometrijo spoja s podaljšano čelno pločevino s tremi nateznimi vrstami vijakov. Na desni strani slike 11 je prikazan nadomestni T-element, ki se ga uporabi za račun komponent spoja. Prikazani so vsi parametri geometrije nadomestnega T-elementa, ki jih potrebujemo za določitev komponent spoja.



Slika 11: Geometrija nadomestnega T-elementa  
Figure 11: T-stub geometry

Za čelno pločevino:

$$m_p = w/2 - t_{wb}/2 - 0.8s$$

$$e_p = b_p/2 - w/2$$

Za pasnico stebra:

$$m_c = w/2 - t_{wc}/2 - 0.8r_c$$

$$e_c = b_c/2 - w/2$$

Za podaljšani del čelne pločevine:

$$m_x = x - 0.8s_f$$

Kjer so:-  $w$ ... vodoravna razdalja med navpičnima vrstama vijakov

-  $b_p$ ... širina čelne pločevine

-  $b_c$ ... širina pasnice stebra

-  $t_{wb}$ ... debelina stojine prečke

-  $t_{wc}$ ... debelina stojine stebra

-  $s$ ... debelina korena zvara

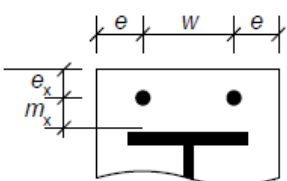

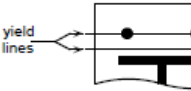
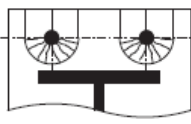

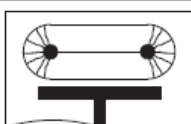

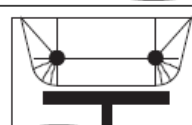
-  $r_c$ ... polmer zaokrožitve med pasnico in stojine vroče valjanega profila

### 2.2.3.1 Porušne linije in sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa

#### 2.2.3.1.1 Pasnica T-elementa v upogibu (mehanizma 1 in 2)

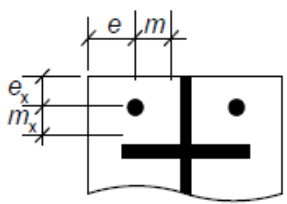
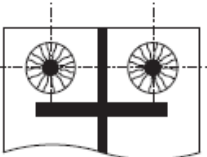
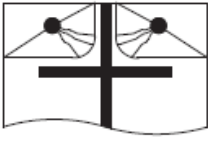
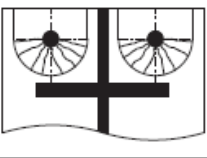

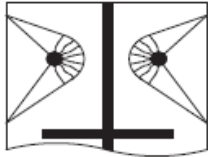
Enačbe za določitev sodelujočih dolžin nadomestnega T-elementa izhajajo iz modelov mehanizmov plastičnih porušnih linij. Literatura [7] prikazuje skupaj oblike porušnih linij in enačbe sodelujočih dolžin, ki izhajajo iz porušnih linij.

Slike 12 do 16 prikazujejo potek porušnih linij in enačbe za določitev sodelujočih dolžin nadomestnega T-elementa, ko vrste vijakov delujejo samostojno.

(a) Pair of bolts in an unstiffened end plate extension			
Note: Use $m_x$ in place of $m$ and $e_x$ in place of $n$ in the expressions for $F_{T,1,Rd}$ and $F_{T,2,Rd}$ .			
Circular patterns		Non-circular patterns	
	Circular yielding $\ell_{eff,cp} = 2\pi m_x$		Double curvature $\ell_{eff,nc} = \frac{b_p}{2}$
	Individual end yielding $\ell_{eff,cp} = \pi m_x + 2e_x$		Individual end yielding $\ell_{eff,nc} = 4m_x + 1.25e_x$
	Circular group yielding $\ell_{eff,cp} = \pi m_x + w$		Corner yielding $\ell_{eff,nc} = 2m_x + 0.625e_x + e$
			Group end yielding $\ell_{eff,nc} = 2m_x + 0.625e_x + \frac{w}{2}$

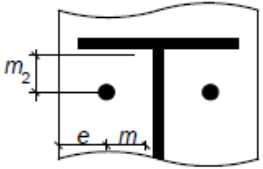
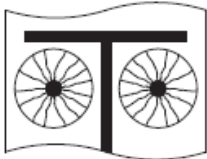
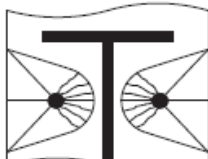
Slika 12: Sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa za samostojno vrsto vijakov – podaljšan del neojačene čelne pločevine (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 20)

Figure 12: Effective lengths of T-stub for row of bolts acting alone – unstiffened end plate extension (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 20)

<p><b>(b) Pair of bolts at end of column or on a stiffened end plate extension</b></p> <p>Note: The expressions below may also be used for a column without a stiffener except that the corner yielding pattern is not applicable.</p>			
Circular patterns		Non-circular patterns	
	<p>Circular yielding</p> $\ell_{\text{eff,cp}} = 2\pi m$		<p>Corner yielding</p> $\ell_{\text{eff,nc}} = \alpha m - (2m + 0.625e) + e_x$
	<p>Individual end yielding,</p> $\ell_{\text{eff,cp}} = \pi m + 2e_x$		<p>Corner yielding away from the stiffener/flange (<math>m_x</math> large)</p> $\ell_{\text{eff,nc}} = 2m + 0.625e + e_x$
			<p>Side yielding (<math>m_x</math> and <math>e_x</math> large)</p> $\ell_{\text{eff,nc}} = 4m + 1.25e$

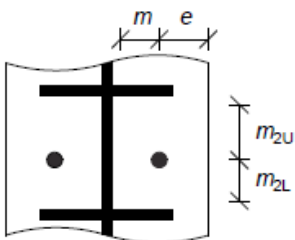
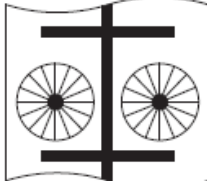
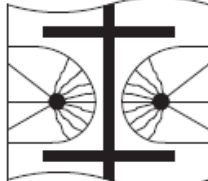
Slika 13: Sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa za samostojno vrsto vijakov – konec stebra in podaljšan del ojačene čelne pločevine (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 20)

Figure 13: Effective lengths for row of bolts acting alone – end of column and stiffened end plate extension (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 20)

<p><b>(c) Pair of bolts in a column flange below a stiffener (or cap plate) or in an end plate below the beam flange</b></p>			
Circular patterns		Non-circular patterns	
	<p>Circular yielding</p> $\ell_{\text{eff,cp}} = 2\pi m$		<p>Side yielding near beam flange or a stiffener</p> $\ell_{\text{eff,nc}} = \alpha m$

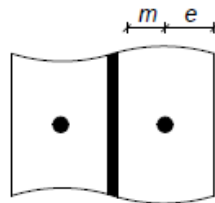
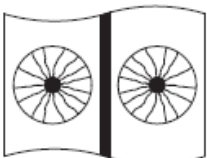
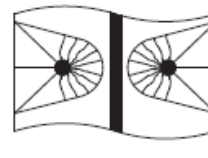
Slika 14: Sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa za samostojno vrsto vijakov – pasnica stebra pod ojačitvijo in čelna pločevina pod pasnico nosilca (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 21)

Figure 14: Effective lengths for row of bolts acting alone – column flange below a stiffener or and end plate below the beam flange (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 21)

<p><b>(d) Pair of bolts in a column flange between two stiffeners or in an end plate between stiffeners and beam flange</b> NB This pattern is not included in BS EN 1993-1-8</p>			
Circular patterns		Non-circular patterns	
	<p>Circular yielding <math>l_{\text{eff}} = 2\pi m</math></p>		<p>Side yielding between two stiffeners <math>l_{\text{eff}} = \alpha m + \alpha' m - (4m + 1.25e)</math> <math>\alpha</math> is calculated using <math>m_{2U}</math> <math>\alpha'</math> is calculated using <math>m_{2L}</math></p>

Slika 15: Sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa za samostojno vrsto vijakov – pasnica stebra med ojačitvama in čelna pločevina med ojačitvami ter pasnico nosilca (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 21)

Figure 15: Effective lengths for row of bolts acting alone – column flange between two stiffeners and end plate between stiffeners and beam flange (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 21)

<p><b>(e) Pair of bolts in a column flange away from any stiffener or in an end plate, away from the flange or any stiffener</b></p>			
Circular patterns		Non-circular patterns	
	<p>Circular yielding <math>l_{\text{eff}} = 2\pi m</math></p>		<p>Side yielding <math>l_{\text{eff}} = 4m + 1.25e</math></p>

Slika 16: Sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa za samostojno vrsto vijakov v pasnici stebra oddaljeno od ojačitev in čelni pločevini oddaljeno od ojačitev ali pasnic nosilca (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 22)

Figure 16: Effective lengths for row of bolts acting alone in a column flange away from any stiffener and in end plate, away from the flange or any stiffener (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 22)

### 2.2.3.2 T-element z več vrstami vijakov

Loči se sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa za posamezne vrste in vrste vijakov, ki delujejo v skupini.

Porušni mehanizem se lahko razvije okoli skupine vijakov, med katerimi ni ojačitve. To se imenuje delovanje vrst vijakov v skupini. Če je med vrstami vijakov ojačitev ali pasnica nosilca, se takšne skupine vrst vijakov ne upošteva.

Kadar vrste delujejo v skupini, skupina sestoji iz zgornje vrste, ene ali več notranjih vrst (če so v skupini vsaj 3 vrste vijakov) in spodnje vrste vijakov. Sodelujoča dolžina skupine je seštevek dolžin za vsako izmed vrst, ki deluje v skupini.

Slike 17 do 20 prikazujejo potek porušnih linij in enačbe za določitev sodelujočih dolžin nadomestnega T-elementa, ko vrste vijakov delujejo v skupini.

<b>(a) Top row</b> In an unstiffened column In a stiffened extended end plate (when there is more than one row) Below a column stiffener or below a beam flange			
Circular patterns		Non-circular patterns	
	Close to a free edge $\ell_{\text{eff,cp}} = 2e_1 + p$		Close to a free edge $\ell_{\text{eff,nc}} = e_1 + 0.5p$
	Away from a free edge $\ell_{\text{eff,cp}} = \pi m + p$		Away from a free edge $\ell_{\text{eff,nc}} = 2m + 0.625e + 0.5p$
	Close to stiffener/flange $\ell_{\text{eff,cp}} = \pi m + p$		Close to stiffener/flange $\ell_{\text{eff,nc}} = \alpha m - (2m + 0.625e) + 0.5p$

Slika 17: Sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa za skupine vrst vijakov – zgornja vrsta (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 23)

Figure 17: Effective lengths for bolt rows acting in combination – top row (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 23)

<b>(b) Internal row</b>			
Circular patterns		Non-circular patterns	
	$\ell_{\text{eff,cp}} = 2p$		$\ell_{\text{eff,nc}} = p$

Slika 18: Sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa za skupine vrst vijakov – notranja vrsta (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 23)

Figure 18: Effective lengths for bolt rows acting in combination – internal row (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 23)

(c) Bottom row			
Circular patterns		Non-circular patterns	
	Away from stiffener/flange $\ell_{\text{eff,cp}} = \pi m + p$		Away from stiffener/flange $\ell_{\text{eff,nc}} = 2m + 0.625e + 0.5p$
	Close to stiffener/flange $\ell_{\text{eff,cp}} = \pi m + p$		Close to stiffener/flange $\ell_{\text{eff,nc}} = \alpha m - (2m + 0.625e) + 0.5p$

Slika 19: Sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa za skupine vrst vijakov – spodnja vrsta (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 23)

Figure 19: Effective lengths for bolt rows acting in combination – bottom row (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 23)

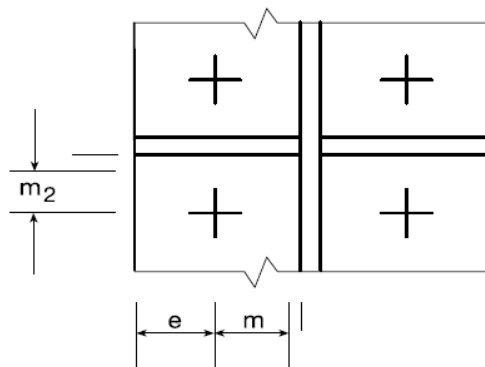
#### 2.2.4 Parameter $\alpha$

Na slikah 12-19 je za račun sodelujočih dolžin potreben parameter  $\alpha$ . Parameter  $\alpha$  predstavlja numerično vrednost, ki je odvisna od odmika posameznega vijaka od vodoravne (pasnica prečke) in navpične ojačitve (stojina prečke). Če je vrsta vijakov postavljena ob ojačitvi je sodelujoča širina nadomestnega T-elementa odvisna od razdalj  $m$ ,  $e$ ,  $m_2$ ,  $m_x$  in  $e_x$ . Vrednosti  $m_x$  in  $e_x$  sta predstavljeni na sliki 10.

Slika 21 prikazuje krivulje vrednosti parametra  $\alpha$ , v odvisnosti od parametrov  $\lambda_1$  in  $\lambda_2$ . Slika 20 pa prikazuje geometrijski pomen parametrov nadomestnega T-elementa  $m$ ,  $m_2$  in  $e$ , ki so potrebni za izračun  $\lambda_1$  in  $\lambda_2$ . Vrednosti parametrov  $\lambda_1$  in  $\lambda_2$  se določijo preko enačb (15) in (16).

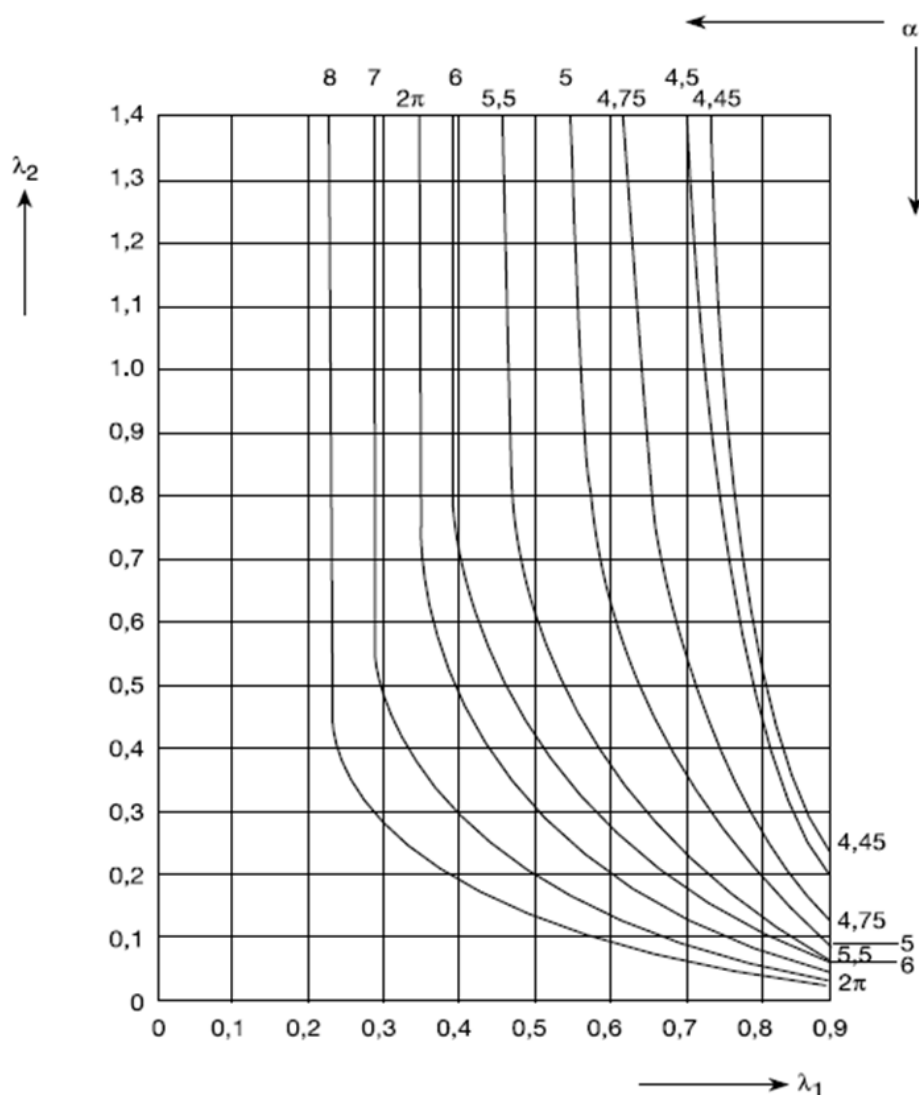
$$\lambda_1 = \frac{m}{m+e} \quad (15)$$

$$\lambda_2 = \frac{m_2}{m+e} \quad (16)$$



Slika 20: Parametri za izračun  $\lambda_1$  in  $\lambda_2$  (SIST EN 1993-1-8: str. 79)  
Figure 20: Parameters for calculating  $\lambda_1$  and  $\lambda_2$  (SIST EN 1993-1-8: str. 79)





Slika 21: Vrednosti parametra  $\alpha$  (SIST EN 1993-1-8: str. 79)  
Figure 21: Parameter  $\alpha$  values (SIST EN 1993-1-8: p. 79)

### 2.3 Postopek projektiranja po komponentni metodi

V nadaljevanju podajam podroben opis projektiranja spojev po komponentni metodi. Podani so opisi vseh komponent in elementov spoja. Pri pisanju tega poglavja sem se močno opiral na publikacijo z naslovom *Joints in Steel Construction Moment-Resisting joints to Eurocode 3* [7] in standard SIST EN 1993-1-8 [1].

Celoten postopek projektiranja spoja je običajno iterativen. Iteracija števila in postavitve vijakov (in če je potrebno, uporaba ojačitev), poteka toliko časa, da se doseže zadovoljiva rešitev, v smislu nosilnosti ali ekonomičnosti spoja.

Nekatere redke kontrole oziroma enačbe programske orodje preverja nekoliko drugače. V omenjenih poglavjih so naštet in obrazložene te razlike. Poleg opisa 7 korakov projektiranja so dodani komentarji o delovanju programskega orodja.

Glavni algoritem programskega orodja za račun spoja je napisan v približno takem zaporedju, kot ga opisujejo koraki projektiranja 1-6. Ti koraki so podrobno opisani v poglavjih 2.4-2.9. 7. korak projektiranja je kontrola vseh zvarov v spoju. Programsko orodje kontrol zvarov ne izvaja, v poglavju 2.10 se nahaja le opis dimenzioniranja zvarov.

Postopek verifikacije nosilnosti spoja poteka v sedmih korakih:

**1. KORAK:**

Račun potencialne nosilnosti vrst vijakov. To vključuje račun nosilnosti vijakov, čelne pločevine, stojine pasnice in stojine prečke. Nosilnost katerekoli vrste vijakov izhaja iz nosilnosti posamezne vrste ali iz delovanja v kombinaciji z drugimi vrstami. Lahko je omejena na trikotno porazdelitev glede na oddaljenost od tlačene pasnice. Potencialna nosilnost vijakov je enaka najmanjši izmed nosilnosti komponent v spoju, ki se aktivirajo ob nateznem delovanju vijaka. Potencialna nosilnost ni nujno končna nosilnost vrste vijakov. Končno nosilnost se določi ob upoštevanju ravnotežja z nosilnostjo komponent v tlačni in strižni coni.

**2. KORAK:**

Račun nosilnosti tlačne cone spoja na strani stebra in na strani prečke.

**3. KORAK:**

Račun strižne nosilnosti stojine stebra. Velikost strižne sile, ki deluje na stojino stebra, izhaja iz izračunov v korakih 1 in 2.

**4. KORAK:**

Račun končnih nateznih nosilnosti vrst vijakov, z reduciranjem potencialnih nosilnosti (1. korak), kjer je to potrebno. Namen je, da se doseže ravnotežje v spoju (če seštevek nateznih nosilnosti vrst vijakov presega tlačno nosilnost, ki je izračunana v 2. koraku) ali izenači seštevek nateznih sil v vijakih s strižno nosilnostjo stojine stebra.

Za tem se izračuna upogibna nosilnost spoja. Upogibna nosilnost spoja predstavlja seštevek sil v vijakih pomnožen z ročico, ki je enaka oddaljenosti vrste vijakov od nevtralne osi v spoju (težišče tlačene pasnice).

**5. KORAK:**

Račun strižne nosilnosti vrst vijakov. Ta je enaka seštevku celotne strižne nosilnosti vijakov, ki niso natezno obremenjeni (to so vrste vijakov pozicionirane pod in nad tlačeno pasnico; v izdelanem programu so to le vrste vijakov, pozicionirane pod tlačeno pasnico prečke) in strižne nosilnosti natezno obremenjenih vijakov, katerih strižna nosilnost je reducirana na 28.6 % celotne strižne nosilnosti.

**6. KORAK:**

Račun nosilnosti uporabljenih ojačitev v spoju in upoštevanje dodane nosilnosti s strani ojačitev k nosilnosti osnovnih komponent v spoju.

**7. KORAK:**

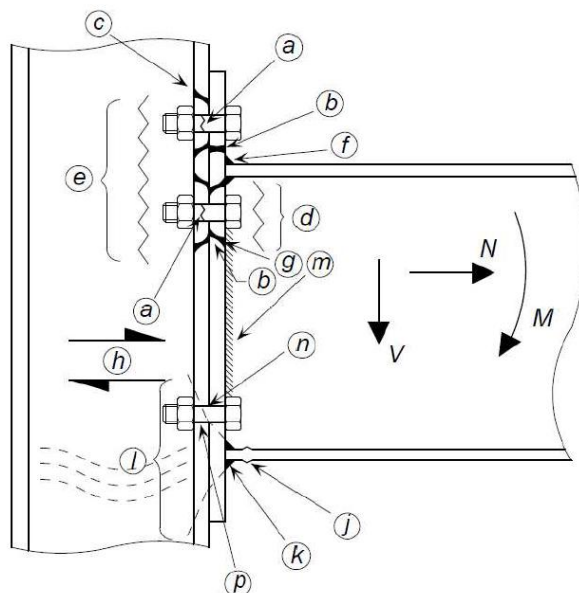
Kontrola zvarov v spoju (za uporabo programa je potrebno vnesti dimenzije polno nosilnih zvarov, program ne kontrolira vnesenih dimenzij). Če je kot ojačitev prečke predvidena vuta se preveri tudi zware, ki povezujejo vuto in prečko.

Teh 7 korakov omogoča določitev nosilnost 14 različnih komponent spoja steber-prečka s podaljšano čelno pločevino. Slika 22 prikazuje komponente v tem spoju. V preglednici 4 se nahajajo imena teh komponent.

Preglednica 4: Komponente spoja

Table 4: Joint components

CONA	OZNAKA NA SLIKI	KOMPONENTA	KORAK
NATEZNA	a	nateg vijaka	1
	b	upogib čelne pločevine	1
	c	upogib pasnice stebra	1
	d	stojina prečke v nategu	1
	e	stojina stebra v nategu	1
	f	zvar med pasnico in čelno pločevino	7
	g	zvar med stojino in čelno pločevino	7
VODORAVNI STRIG	h	strižni panel stebra	3
TLAK	j	stojina in pasnica prečke v tlaku	2
	k	zvar med pasnico prečke in čelno pločevino	7
	l	stojina stebra v prečnem tlaku	2
	m	zvar med stojino in čelno pločevino	7
	n	prestrig vijakov	5
	p	bočni pritisk vijaka	5



Slika 22: Komponente spoja (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 6)

Figure 22: Joint components (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 6)

## 2.4 Nosilnosti vrst vijakov v natezni coni (1. korak)

Natezne vrste vijakov so lahko vse vrste nad nevtralno osjo, ki je postavljena v težišče tlačene pasnice. Inženir pa prosto (z načeli platične analize) izbere katere vrste bo upošteval v izračunu nosilnosti. Potencialna projektna nosilnost je za vsako vrsto vijakov v natezni coni omejena z najmanjšo nosilnostjo med naslednjimi komponentami:

- upogib pasnice stebra
- upogib čelne pločevine
- nateg v stojini stebra
- nateg v stojini prečke

Nosilnost skupine več vrst vijakov skupaj je, zaradi manjših projektnih nosilnosti drugih komponent v spoju, lahko manjša od seštevka posameznih vrst.

### 2.4.1 Potencialna nosilnost samostojne vrste vijakov

Najprej se izračuna nosilnost posameznih vrst,  $F_{r,i}$ . Za spoj z  $i$ -mi vrstami vodoravnimi vrstami vijakov, se na začetku vrednosti  $F_{r,1}, F_{r,2}, \dots, F_{r,i}$  izračuna brez upoštevanja vplivov ostalih vrst, začnši z najvišjo vrsto (vrsto 1). Potem sledi vrsta 2, sledi ji vrsta 3 in tako naprej. Začnemo torej z najvišjo vrsto vijakov v spoju in se premikamo navzdol. Vsako vrsto se preveri na 4 porušitvene mehanizme:

- upogib pasnice stebra/porušitev vijakov (poglavje 2.4.5),
- upogib čelne pločevine/porušitev vijakov (poglavje 2.4.6),
- stojina stebra v nategu (poglavje 2.4.7),
- stojina nosilca v nategu (poglavje 2.4.8).

Za vsako vrsto vijakov se na podlagi dolžin porušitvenih linij, določi sodelujočo dolžino nadomestnega T-elementa. Sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa se nahajajo v preglednicah od 1 do 3. Potem se določi nosilnost posamezne vrste za vsakega izmed 4 porušitvenih mehanizmov. Potencialna nosilnost samostojne vrste vijakov je najnižja izmed teh 4 vrednosti.

### 2.4.2 Potencialna nosilnost skupine vrst vijakov

Z enakim postopkom kot za posamezne vrste se določi tudi potencialno nosilnost za skupino vrst vijakov. Sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa za skupine vrst vijakov se nahajajo v preglednicah od 1 do 3. Potencialna projektna nosilnost skupine vrst vijakov je najnižja izmed nosilnosti za 4 porušitvene mehanizme. Če vrste vijakov v skupini med seboj ločuje pasnica ali ojačitev, se nosilnosti takšne skupine ne računa.

### 2.4.3 Projektna nosilnost posameznih vrst

Vrste, ki med seboj niso ločene s pasnico ali ojačitvijo, so po navadi dovolj skupaj, da projektno nosilnost vrste določa projektno nosilnost skupine vrst vijakov. V takih primerih se predpostavi, da ima zgornja vrsta v skupini nosilnost, ki je enaka nosilnosti posamezne vrste. Spodnje vrste pa pripomorejo preostalo nosilnost skupine vrst vijakov. Postopek določitve nosilnosti posameznih vrst:

$$F_{t,1,Rd} = [\text{nosilnost vrste 1 posamezno}]$$

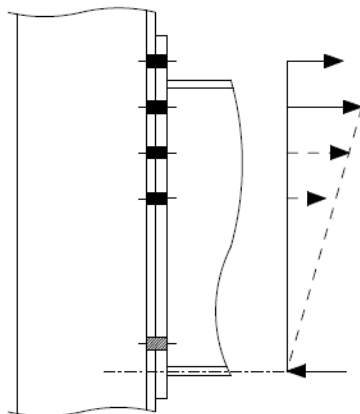
$$F_{t,2,Rd} = \min \left[ \begin{array}{l} \text{nosilnost vrste 2 posamezno} \\ (\text{nosilnost vrst } 2 + 1) - F_{t1,Rd} \end{array} \right]$$

$$F_{t,i,Rd} = \min \left[ \begin{array}{l} \text{nosilnost vrste } i \text{ posamezno} \\ (\text{nosilnost vrst } i + (i - 1)) - F_{t(i-1),Rd} \\ \vdots \\ \vdots \\ \vdots \\ (\text{nosilnost vrst } 1 + 2 + \dots + (i - 1) + i) - \sum_1^{i-1} F_{t,i,Rd} \end{array} \right]$$

### 2.4.4 Omejitev sil v vijakih na trikotno porazdelitev

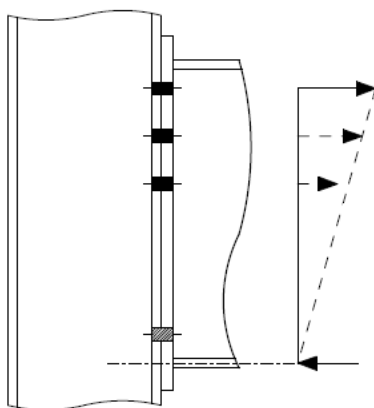
Za doseg celotne natezne nosilnosti več kot ene vrste vijakov je potrebna velika duktilnost v vrstah vijakov, ki so najbolj oddaljene od nevtralne osi v spoju. Če je za projektno nosilnost določene komponente spoja merodajna 1. ali 2. oblika porušitve (duktilna oblika porušitve), je običajno na voljo zadostna duktilnost za plastično razporeditev sil v vijakih. Če je natezna sila  $i$ -te vrste vijakov večja od

1.9 kratnika natezne nosilnosti vseh vijakov v vrsti (načeloma to pomeni, da je merodajna 3. oblika porušitve), je potrebno spodnjim vrstam pripisati elastično nosilnost (trikotna omejitev). Trikotno razporeditev sil v vijakih shematsko prikazujeta sliki 23 in 24.



Slika 23: Trikotna razporeditev sil v spoju s podaljšano čelno pločevino (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 19)

Figure 23: Triangular force distribution in extended end plate joint (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 19)



Slika 24: Trikotna razporeditev sil v spoju s čelno pločevino  
Figure 24: Triangular force distribution in full depth end plate joint

Plastična razporeditev sil v vijakih se upošteva, kadar:

$$F_{tx,Rd} \leq 1.9F_{t,Rd}, \quad (17)$$

kjer sta: -  $F_{tx,Rd}$ ... projektna natezna nosilnost ene od prejšnjih (oziroma višjih) vrst vijakov  $x$   
-  $F_{t,Rd}$ ... projektna natezna nosilnost posameznega vijaka

Kadar enačba (17) ni izpolnjena, se natezno nosilnost vseh nižjih vrst vijakov  $r$ , omeji z linearno interpolacijo (trikotna oziroma elastična omejitev) po enačbi 18 ki pomeni, da je 3. oblika porušitve merodajna le za natezno najbolj obremenjeno vrsto vijakov.

$$F_{tr,Rd} \leq F_{tx,Rd} \frac{h_r}{h_x}, \quad (18)$$

kjer sta: -  $h_x$ ... razdalja od vrste  $x$  (vrsta vijakov pozicionirana najdlje od nevtralne osi v spoju, kjer je natezna sila v vijakih večja kot  $1.9F_{t,Rd}$ )  
-  $h_r$ ... razdalja od vrste vijakov  $r$  do nevtralne osi v spoju (to je težišče tlačene pasnice nosilca)

#### 2.4.5 Komponenta upogib pasnice stebra

Za določitev nosilnosti vrst vijakov za komponento upogib pasnice stebra uporabimo nadomestni T-element. Sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa se določi glede na pozicijo posamezne vrste.

Samostojno delujoča vrsta se lahko nahaja znotraj ali zunaj višine nosilca (slika 16) in ob ojačitvi (slika 14).

Vrsta, ki deluje v skupini in se ne nahaja ob ojačitvi je lahko notranja (slika 18), zgornja (srednja 2 primera na sliki 17) ali spodnja (zgornja dva primera na sliki 19). Vrsta, ki deluje v skupini in se nahaja ob ojačitvi je lahko zgornja (spodnja 2 primera na sliki 17) ali spodnja (spodnja dva primera na sliki 19).

Nato se po enačbah (3) (ali (4)), (10) in (11) izračuna merodajni porušni mehanizem vrste ali skupine vrst in s tem potencialno nosilnost vrste ali skupine vrst vijakov.

#### 2.4.6 Komponenta upogib čelne pločevine

Za določitev nosilnosti vrst vijakov za komponento upogib pasnice stebra uporabimo nadomestni T-element. Sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa se določi glede na pozicijo posamezne vrste.

Samostojno delujoča vrsta vijakov se lahko nahaja nad natezno pasnico (slika 12 in slika 13 ob primeru uporabe ojačitvenega rebra (glej poglavje 2.9.5)). Lahko je pozicionirana kot prva vrsta pod natezno pasnico (slika 14). Lahko se nahaja znotraj višine nosilca in ob tem ni prva vrsta pod natezno pasnico (slika 16). Lahko se nahaja tudi izven višine nosilca in ob tem ni vrsta nad natezno pasnico (slika 16).

Vrsta, ki deluje v skupini je lahko pozicionirana kot najvišja vrsta znotraj višine nosilca (spodnja 2 primera na sliki 17). Lahko se nahaja znotraj ali zunaj višine nosilca in ob tem ni prva vrsta pod natezno pasnico, ter se hkrati pod njo nahajajo še druge vrste (slika 18). Lahko se nahaja znotraj ali zunaj višine nosilca in ob tem ni prva vrsta pod natezno pasnico, ter hkrati pod njo ni drugih vrst (zgornja 2 primera na sliki 19).

Nato se po enačbah (3) (ali (4)), (10) in (11) izračuna merodajni porušni mehanizem vrste ali skupine vrst in s tem potencialno nosilnost vrste ali skupine vrst vijakov.

#### 2.4.7 Komponenta stojine stebra v nategu

Projektno natezno nosilnost stojine stebra za posamezno vrsto ali skupino vrst vijakov se določi po enačbi (19).

$$F_{t,wc,Rd} = \frac{\omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}, \quad (19)$$

kjer so: -  $\omega$ ... redukcijski faktor, ki upošteva interakcijo s strigom in je odvisen od transformacijskega parametra  $\beta$ , za določitev faktorja  $\omega$  glej preglednico 5

- $b_{eff,t,wc}$ ... sodelujoča dolžina stojine stebra
- $l_{eff}$ ... sodelujoča dolžina nadomestnega T-elementa na strani stebra
- $t_{wc}$ ... debelina stojine stebra
- $f_{y,wc}$ ... napetost na meji tečenja stojine stebra

Preglednica 5: Redukcijski faktor  $\omega$

Table 5: Reduction factor  $\omega$

Transformacijski parameter $\beta$	Redukcijski faktor $\omega$
$0 \leq \beta \leq 0,5$	$\omega = 1$
$0,5 < \beta < 1$	$\omega = \omega_1 + 2(1 - \beta)(1 - \omega_1)$
$\beta = 1$	$\omega = \omega_1$
$1 < \beta < 2$	$\omega = \omega_1 + (\beta - 1)(\omega_2 - \omega_1)$
$\beta = 2$	$\omega = \omega_2$
$\omega_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + 1,3(b_{eff,c,wc} t_{wc} / A_{vc})^2}}$	$\omega_2 = \frac{1}{\sqrt{1 + 5,2(b_{eff,c,wc} t_{wc} / A_{vc})^2}}$
$A_{vc}$ je površina strižnega prereza stebra (glej 6.2.6.1); $\beta$ je transformacijski parameter, glej 5.3(7).	

Komentar o delovanju programa: uporabnik vnese vrednost transformacijskega parametra  $\beta$ , pred nastavljen je vrednost 1. Z izbiro transformacijskega parametra  $\beta$ , je možna uporaba programa tudi za drugačne spoje, ne le enostranski spoj steber-prečka (dvostranski spoj steber-prečka).

#### 2.4.7.1 Ojačena stojina stebra

Komponenta stojina stebra v nategu ne pride v poštev za skupino vrst vijakov, kjer je ojačitev med vrstami vijakov v skupini. Vir The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association [7] sicer navaja, da vrste vijakov na nateg stojine stebra ni potrebno preverjati, če je natezna ojačitev v bližini vrste vijakov (za natezno ojačitev se smatra, da je v bližini, če je navpična razdalja med natezno ojačitvijo in vrsto vijakov manjša od  $0.87w - w$  je vodoravna razdalja med vijakoma, glej sliko 11). Standard SIST EN 1993-1-8 [1] tega neposredno ne navaja. Povsem jasno je, da stojina stebra v nategu ni merodajna, če je vrsta vijakov postavljena v bližini ojačitve. Program izračuna tudi komponento natega stojine stebra za vrsto vijakov v bližini natezne ojačitve. Navodila za projektiranje natezne ojačitve so podana v poglavju 2.9.1.

#### 2.4.8 Komponenta stojine prečke v nategu

Projektna natezna nosilnost sodelujoče dolžine stojine nosilca za posamezno vrsto ali skupino vrst vijakov se določi po enačbi (20).

$$F_{t,wb,Rd} = \frac{b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{y,wb}}{\gamma_{M0}}, \quad (20)$$

kjer so: -  $b_{eff,t,wb}$ ... sodelujoča dolžina stojine nosilca  
 -  $t_{wb}$ ... debelina stojine nosilca  
 -  $f_{y,wb}$ ... napetost na meji tečenja stojine nosilca

### 2.5 Nosilnosti tlačnega območja spoja (2. korak)

Tlačno nosilnost na strani stebra zagotavlja stojina stebra na območju višine tlačene pasnice nosilca. Na strani nosilca tlačno nosilnost zagotavljata tlačena pasnica in del stojine nosilca. Na strani stebra je sodelujoča dolžina stojine nosilca, ki zagotavlja tlačno nosilnost, odvisna od raznosa tlačne sile skozi čelno pločevino in pasnico stebra. Tlačno silo v stojino stebra vnaša tlačena pasnica nosilca.

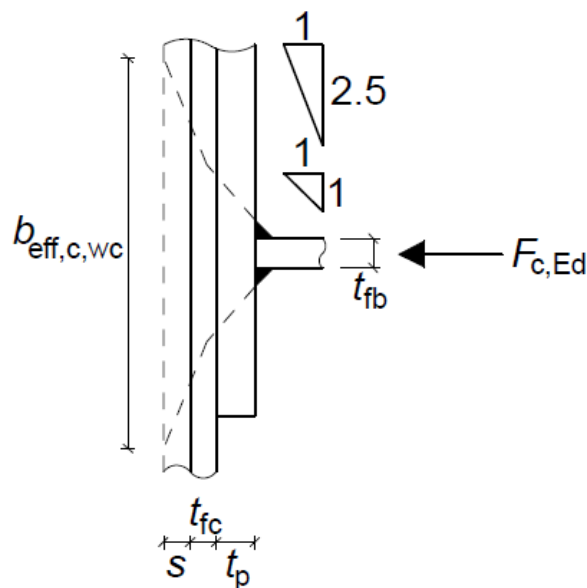
Ločimo dve komponenti – stojino stebra v prečnem tlaku ter stojino in pasnico prečke v tlaku.

### 2.5.1 Komponenta stojina stebra v prečnem tlaku

Tlačne napetosti v steber vnaša tlačena pasnica prečke. Tlačne napetosti se v stojino stebra raznašajo pod določenim naklonskim kotom. Kot raznosa sil v čelni pločevini je enak 1:1, kot raznosa v stebru (v pasnici in v zaokrožitvi med stojino in pasnico) pa je enak 1:2.5 (slika 25).

Rznos tlačnih sil določa višino stojine stebra  $b_{eff,c,wc}$ , s katerim se določi območje stojine stebra, ki prenaša tlačne napetosti. Nosilnost neojačene stojine stebra v prečnem tlaku se določi po enačbah (21) in (22).

Območje, ki zagotavlja nosilnost stojine stebra v tlaku prikazuje Slika 25. Iz slike je razviden tudi kot raznosa tlaka v čelni pločevini in stebru.



Slika 25: Raznos tlačne sile iz tlačene pasnice nosilca v pasnico stebra (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 20)

Figure 25: Compression force dispersion from compressed beam flange to column web (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 20)

Projektno nosilnost neojačene stojine stebra se določi po enačbi (21):

$$F_{c,wc,Rd} = \frac{\omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M0}}, \quad (21)$$

pri čemer mora biti izpolnjen pogoj (22):

$$F_{c,wc,Rd} \leq \frac{\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{y,wc}}{\gamma_{M1}}, \quad (22)$$

kjer so: -  $b_{eff,t,wc} = t_{fb} + 2s_f + 5(t_{fc} + s) + s_p$

-  $\omega$ ... redukcijski faktor, ki upošteva interakcijo s strigom (preglednica 5)

-  $t_{wc}$ ... je debelina stojine stebra

-  $f_{y,wc}$ ... je napetost na meji tečenja za stojino stebra

-  $k_{wc}$ ... je redukcijski faktor, ki upošteva vzdolžno tlačno napetostno stanje v stebru

-  $\rho$ ... je redukcijski faktor, ki upošteva lokalno izbočenje stojine stebra

-  $s = r_c$  za vroče valjane profile I in H

=  $\sqrt{2} a_c$  za varjene profile, kjer je  $a_c$  debelina korena zvara med stojino in pasnico stebra

-  $s_f$ ... dolžina noge zvara med tlačeno pasnico in čelno pločevino

-  $s_p = 2t_p$  (če črta raznosa ostane v čelni pločevini)



Redukcijski faktor  $k_{wc}$  upošteva sočasno prisotnost tlaka v stojini stebra  $\sigma_{com,Ed}$ , ki je posledica vertikalne obremenitve (npr. gravitacijske):

če:

$$\sigma_{com,Ed} \leq 0.7f_{y,wc} \quad k_{wc} = 1.0, \quad (23)$$

če:

$$\sigma_{com,Ed} > 0.7f_{y,wc} \quad k_{wc} = 1.7 - \frac{\sigma_{y,wc}}{f_{y,wc}}, \quad (24)$$

Napetost  $\sigma_{com,Ed}$  je enaka:

$$\sigma_{com,Ed} = \frac{M_{Ed}}{W_{el}} + \frac{N_{Ed}}{A}, \text{ vendar manjša kot } f_y. \quad (25)$$

Redukcijski faktor  $\rho$  upošteva lokalno izbočitev stojine stebra in se izračuna po enačbah (26) in (27).

če:

$$\bar{\lambda}_p \leq 0.72 \quad \rho = 1.0 \quad (26)$$

če:

$$\bar{\lambda}_p > 0.72 \quad \rho = \frac{\bar{\lambda}_p^{-0.2}}{\lambda_p^2}, \quad (27)$$

kjer:

$$\bar{\lambda}_p = 0.932 \sqrt{\frac{b_{eff,c,wc} d_{wc} f_{y,wc}}{E t_{wc}^2}} \quad (28)$$

$$d_{wc} = h_c - 2(t_{fc} + s) \quad (29)$$

#### Komentar delovanja programskega orodja:

Program ne računa faktorja  $k_{wc}$  na podlagi napetosti  $\sigma_{com,Ed}$ , temveč uporabnik vnese vrednost faktorja v temu namenjeno polje. Pred nastavljena je vrednost 1.0.

Programsko orodje upošteva, da je podaljšani del čelne pločevine pod tlačeno pasnico enak dolžini podaljška čelne pločevine nad natezno pasnico nosilca. Zato je v enačbi dolžine  $b_{eff,c,wc}$  vedno upoštevan člen  $s_p = 2t_p$ . To je rahla pomanjkljivost programskega orodja.

#### **2.5.2 Komponenta stojina in pasnica prečke v tlaku**

Pri običajni statični obtežbi je spodnji del nosilca, zaradi upogibne obremenitve, tlačno obremenjen. Govorimo o komponenti stojina in pasnica prečke v tlaku.

Tlačna nosilnost pasnice in dela stojine nosilca se določi po enačbi (30):

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{h_b - t_{fb}} \quad (30)$$

Členi enačbe (30):

- $M_{b,Rd}$ ... je projektna upogibna nosilnost prečnega prereza nosilca. Za nosilec z vuto, se  $M_{c,Rd}$  lahko izračuna brez upoštevanja srednje pasnice nosilca
- $h_b$ ... je višina priključenega nosilca (če je nosilec ojačen z vuto je  $h_b$  enak seštevku višin nosilca in vute)
- $t_{fb}$ ... je debelina pasnice nosilca (za nosilec ojačen z vuto, se uporabi srednja debelina natezne in tlačne pasnice)

Za opis projektiranja nosilca z vuto glej poglavje 2.9.6.

Kadar je prečna sila ( $V_{Ed}$ ) manjša od 50% nosilnosti nosilca na vertikalni strig se projektno upogibno nosilnost nosilca določi po enačbi (31).

$$M_{c,Rd} = \frac{W f_y}{\gamma_{M0}}, \quad (31)$$

kjer je: - za prereze v 1. in 2. razredu kompaktnosti  $W = W_{pl}$   
- za prereze v 3. razredu kompaktnosti  $W = W_{el}$   
- za prereze v 4. razredu kompaktnosti  $W = W_{eff}$

Če nivo prečne sile presega 50% projektne nosilnosti nosilca, je potrebno upogibno nosilnost nosilca določiti po postopku opisanem v SIST EN 1993-1-1 [8]. Ta postopek je opisan v komentarju delovanja programa spodaj.

#### Komentar delovanja programskega orodja:

Za prerez prečke je možno izbrati le standardne vroče valjane profile, ki so v upogibu vsi v 1. ali 2. razredu kompaktnosti tako, da je v programskem orodju za določitev projektne upogibne nosilnosti prereza vedno upoštevan plastični nosilnostni moment prereza.

Uporabnik vnese vrednost prečne sile v programsko orodje. Če ta presega 50% projektne strižne nosilnosti nosilca, se upogibna nosilnost izračuna po enačbah (32)-(34). Enačbe (32)-(34) podaja vir [9].

Upošteveno zmanjšano napetost na območju (strižnega) prereza:

$$f_{y,red} = (1-\rho) f_y \quad (32)$$

$$\rho = \left( \frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 \quad (33)$$

Zmanjšana projektna upogibna nosilnost je potem enaka:

$$M_{y,v,Rd} = \left( W_{pl} - \rho \frac{h_w^2 t_w}{4} \right) \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad (34)$$

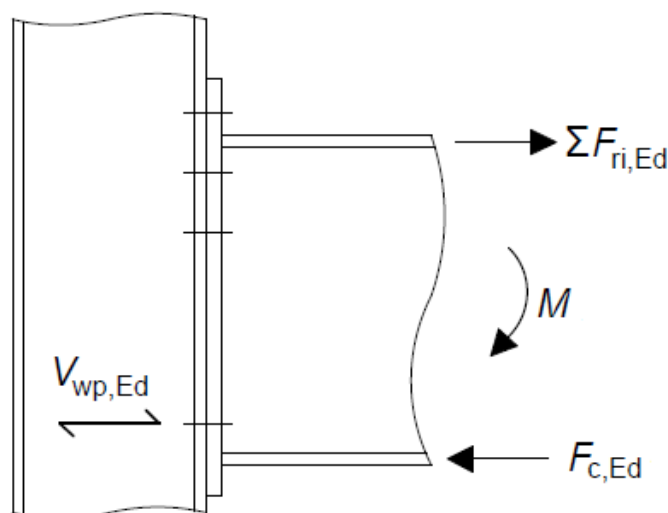
## **2.6 Komponenta strižni panel stebra (3. korak)**

V enostranskem in dvostranskem spoju steber-prečka, kjer upogibni momenti niso enaki in nasprotno predznačeni, upogibno nosilnost spoja lahko omejuje strižna odpornost komponente panela stojine stebra.

### **2.6.1 Izračun obremenitve v strižnem panelu**

V enostranskem in dvostranskem spoju steber-prečka, kjer upogibni momenti niso enaki in nasprotno predznačeni, upogibno nosilnost spoja lahko omejuje strižna odpornost panela stojine stebra.

Za enostranski spoj steber-prečka brez osne sile v prečki, se za obremenitev strižnega panela  $V_{wp,Ed}$  lahko predpostavi, da je enaka tlačni sili  $F_{C,Ed}$  (ki je enaka seštevku nateznih sil v vijakih). Lahko se upošteva redukcijo sile v panelu zaradi strižne sile v stebru pod višino spoja, vendar se ta vpliv (na varni strani) lahko zanemari. Če je v nosilcu enostranskega spoja steber-prečka osna sila, je posledično potrebno upoštevati vodoravne sile v stebru na mestih pod in nad spojem za izračun obremenitve strižnega panela (slika 26).



Slika 26: Strižna obremenitev panela stebra  
Figure 26: Shear force in column web panel

## 2.6.2 Nosilnost strižnega panela

Za enostranski ali dvostranski spoj (če sta nosilca na obeh straneh enakih višin) steber-prečka, se projektno strižno nosilnost izračuna po enačbah (35) in (36).

$$\text{Če: } \frac{d_c}{t_{wc}} \leq 69\varepsilon \quad V_{wp,Rd} = \frac{0.9f_{yc}A_{vc}}{\gamma_{M0}\sqrt{3}}, \quad (35)$$

$$\text{če: } \frac{d_c}{t_{wc}} > 69\varepsilon \quad V_{wp,Rd} = 0.9V_{bw,Rd} [7], \quad (36)$$

kjer so: -  $d_c$ ... višina stojine stebra brez zaokrožitve; =  $h_c - 2(t_{fc} + s)$

-  $s = r_c$  za vroče valjane profile; =  $\sqrt{2} a_c$  za varjene profile

-  $t_{fc}$ ... debelina pasnice stebra

-  $t_{wc}$ ... debelina stojine stebra

-  $f_{yc}$ ... je napetost na meji tečenja za jeklo stebra

-  $A_{vc}$ ... strižna površina stebra, določi se po enačbah (36) in (37)

$$- \varepsilon = \sqrt{\frac{235}{f_{y,c}}}$$

-  $V_{bw,Rd}$ ... je nosilnost stojine stebra na strižno izbočenje, določi se po enačbah podanih v EN 1993-1-5, člen 5.2(1); glej enačbe (33) do (39).

Za vroče valjane profile se površina strižnega prereza  $A_{vc}$  za vroče valjane profile določi po enačbah (37) in (38).

$$A_{vc} = A_c - 2b_c t_{fc} + (t_{wc} + 2r_c)t_{fc}, \quad (37)$$

vendar:

$$A_{vc} \leq \eta h_{wc} t_{wc}, \quad (38)$$

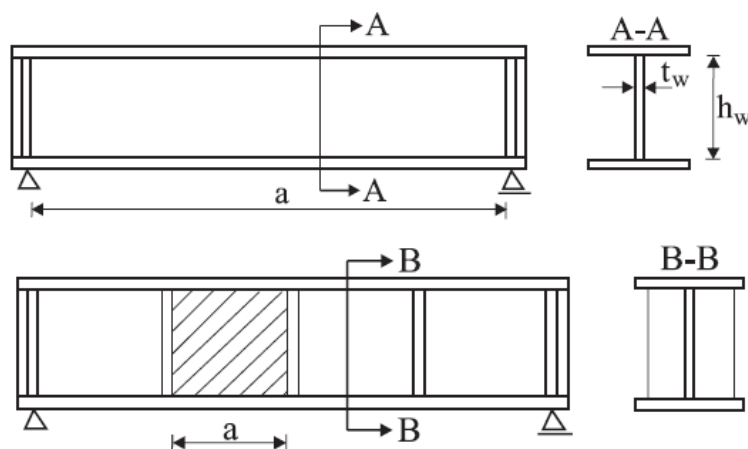
kjer  $h_{wc} = h_c - 2t_{fc}$  in je  $\eta$  lahko enak 1.2 (ali med 1.0 in 1.2).

Nosilnost ojačenega panela stojine stebra je opisana v poglavju 2.9.4.

### Komentar delovanja programskega orodja:

V programskem orodju je faktor  $\eta$  (na varni strani) za vsa jekla enak 1.0.

Nosilnost stojine stebra  $V_{bw,Rd}$  je v programu upoštevana po Priročniku za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih [9]. Določitev  $V_{bw,Rd}$  opisujejo enačbe (39) do (44) in slika 27.



Slika 27: Vitke stojine (Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih: str. 18)

Figure 27: Slender webs (Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih: p. 18)

$$k_{\tau} = 5.34 + \frac{4.0}{\alpha^2} \quad \text{pri } \alpha \geq 1.0 \quad (39)$$

$$k_{\tau} = 4.0 + \frac{5.34}{\alpha^2} \quad \text{pri } \alpha < 1.0, \quad (40)$$

kjer je  $k_{\tau}$  koeficient strižnega izbočenja.

$$\alpha = \frac{a}{h_w}$$

$$V_{bw,Rd} = \frac{\chi_w f_y h_w t_w}{\sqrt{3} \gamma_{M1}}, \quad (41)$$

$$\chi_w = \eta \quad \text{pri: } \bar{\lambda}_w \leq \frac{0.83}{\eta}, \quad (42)$$

$$\chi_w = \frac{0.83}{\bar{\lambda}_w} \quad \text{pri: } \bar{\lambda}_w > \frac{0.83}{\eta}, \quad (43)$$

$\chi_w(\bar{\lambda}_w)$  je redukcijski koeficient strižnega izbočenja (uklonska krivulja) za primer kjer je  $\bar{\lambda}_w$  vitkost stojine stebra v strigu:

$$\bar{\lambda}_w = \sqrt{\frac{f_y}{\sqrt{3} \tau_{cr}}} = \frac{h_w}{37.4 t_w \epsilon \sqrt{k_{\tau}}} \quad (44)$$

## 2.7 Nosilnost vrst vijakov z upoštevanjem najšibkejše komponente in upogibna nosilnost spoja (4. korak)

Metoda, opisana v 1. koraku, za izračun nosilnosti komponent v natezni coni, določa nabor nosilnosti za vsako izmed vrst. Sile v vrstah so, če je to potrebno, omejen po trikotni razporeditvi sil v vijakih spodnjih vrst (enačbi (17) in (18)). Vendar skupna natezna nosilnost vrst vijakov lahko presega tlačno nosilnost spodnje pasnice nosilca, kar pomeni, da natezne sile v vijakih ne dosežejo nateznih nosilnosti (enačba (30)). Enako velja za nosilnost strižnega panela stebra, ki prav tako lahko omejuje sile v vrstah vijakov (enačbi (35) in (36)). 4. korak podaja enačbe za določitev največje dejanske natezne sile v vrstah vijakov, z upoštevanjem ravnotežja v spoju.

### 2.7.1 Redukcija nateznih sil v vrstah vijakov

Natezne sile v vrstah vijakov in tlačna sila v spodnji (tlačeni) pasnici nosilca morajo biti v ravnotežju z osno silo v nosilcu  $N_{Ed}$  – enačba (45). Seštevek sil v vijakih pa ne sme presegati tlačne nosilnosti pasnice (skupaj s sodelujočo dolžino stojine) nosilca ali strižne nosilnosti panela stojine stebra.

$$\sum F_{ri} + N_{Ed} \leq F_{c,Rd}, \quad (45)$$

kjer so: -  $N_{Ed}$ ... osna sila v nosilcu (pozitiven predznak za tlak)

-  $F_{c,Rd}$ ... je manjša od vrednosti tlačne nosilnosti spoja (poglavje 2.5) in nosilnosti strižnega panela stebra (poglavje 2.6)

-  $\sum F_{ri}$ ... je seštevek nateznih sil v vseh vrstah vijakov

Kadar pogoj v enačbi (45) ni izpolnjen, je potrebna redukcija nateznih sil, dokler ni doseženo ravnotežje v spoju. Natezne sile se reducira od spodnje vrste navzgor proti najvišji vrsti, dokler ni doseženo ravnotežje.

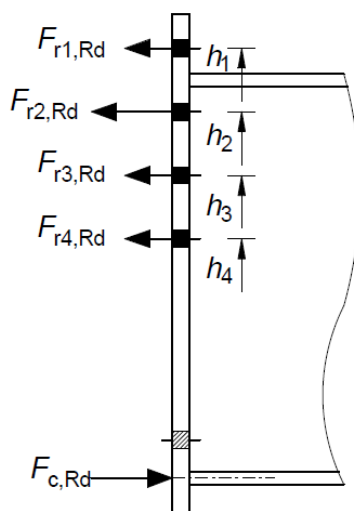
### 2.7.2 Upogibna nosilnost spoja

Ko so natezne sile v vrstah vijakov določene (upoštevajoč ravnotežje v spoju), se izračuna upogibno nosilnost spoja po enačbi (46). Slika 28 prikazuje natezne in tlačne nosilnosti v spoju, ki prispevajo k upogibni nosilnosti spoja.

$$M_{c,Rd} = \sum F_{ri,Rd} h_i, \quad (46)$$

kjer so: -  $F_{ri,Rd}$ ... natezna nosilnost i-te vrste vijakov (po opravljeni redukciji nateznih sil v vrstah vijakov, za dosego ravnotežja v spoju, če je ta potrebna)

-  $h_i$ ... je razdalja od nevtralne osi v spoju do i-te vrste vijakov



Slika 28: Natezne in tlačne nosilnosti v spoju, ki prispevajo k momentni nosilnosti (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 24)

Figure 28: Tension and compression resistances contributing to moment resistances (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 24)

### 2.7.3 Modificirani upogibni moment ( $M_{Ed}$ ) ob prisotnosti osne sile v prečki

To podpoglavje govori o kontroli nosilnosti spoja in o izračunu upogibne obremenitve spoja  $M_{mod,Ed}$  ob delovanju osne sile.

Program izračuna upogibno nosilnost spoja. Pri tem upošteva osno silo s katero poveča oziroma zmanjša nosilnost tlačene cone. Uporabnik pa je dolžan pravilno izračunati upogibno obremenitev. Ob prisotnosti osne sile v nosilcu, ki presega  $0.05N_{pl,Rd}$ , potem mora biti upogibna nosilnost spoja manjša od obremenitve.

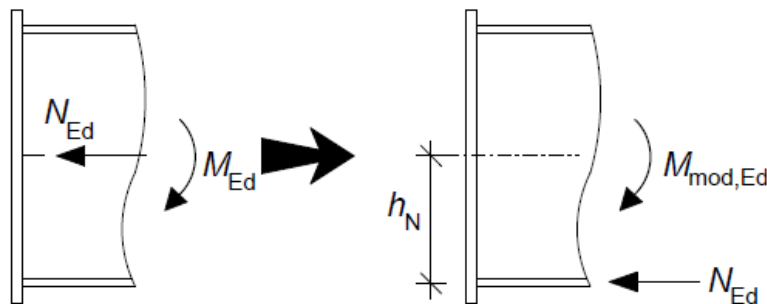
$$M_{j,Ed} \leq M_{j,Rd} \quad (47)$$

$$\frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} + \frac{N_{j,Ed}}{N_{j,Rd}} \leq 1.0 \quad (48)$$

kjer so: -  $M_{j,Ed}$ ... projektni upogibni moment v spoju brez upoštevanja osne sile  
 -  $M_{j,Rd}$ ... projektna upogibna nosilnost spoja, brez upoštevanja osne sile  
 -  $N_{j,Ed}$ ... projektna osna sila v spoju  
 -  $N_{j,Rd}$ ... projektna osna nosilnost spoja

Projektno osno nosilnost  $N_{j,Rd}$  se izračuna kot vsoto nosilnosti posameznih komponent za čisto tlačno oziroma natezno obremenitev.

Ko je v nosilcu prisotna osna sila, je potrebno modificirati projektni upogibni moment. Osna sila namreč deluje v težišču prereza, nevtralna os v spoju pa se nahaja v težišču tlačene pasnice. Prvotnemu  $M_{Ed}$  je potrebno prišteti zmnožek osne sile v nosilcu in razdaljo med težiščem prereza in težiščem tlačene pasnice nosilca. Slika 29 prikazuje upoštevanje osne sile v nosilcu za določitev  $M_{mod,Ed}$ .  $M_{mod,Ed}$  se izračuna po enačbi (49).



Slika 29: Določitev  $M_{mod,Ed}$   
 Figure 29: Determination of  $M_{mod,Ed}$

$$M_{mod,Ed} = M_{Ed} - N_{Ed} h_n, \quad (49)$$

kjer so: -  $N_{Ed}$ ... projektna osna sila v nosilcu (tlak s pozitivnim predznakom)  
 -  $h_n$ ... razdalja med težiščem prereza in težiščem tlačene pasnice nosilca

Potem uporabnik preveri nosilnost spoja po enačbi (47) ali (48), kjer vrednost  $M_{j,Ed}$  nadomesti z vrednostjo  $M_{mod,Ed}$ .

## 2.8 Strižna nosilnost vijakov (5. korak)

Nosilnost spoja na vertikalni strig zagotavljajo vijaki s svojo strižno nosilnostjo. Kadar je vijak obremenjen natezno in strižno, je potrebno upoštevati interakcijo striga in natega. Skladno s principom plastične analize, lahko prenos striha pripišemo najnižji vrsti vijakov. Te vrste običajno ne upoštevamo pri prenosu upogiba, saj v elastičnem stanju ne prispeva k upogibni nosilnosti, aktivacijo plastične nosilnosti pa omogoča šele plastična rotacija (slika 30). Če je v vijaku poleg striga prisotna še natezna sila, je potrebno med silami upoštevati interakcijo.

Standard SIST EN 1993-1-8 [1] dovoljuje poenostavitev v smislu, da strižno nosilnost zagotavljajo le vijaki v tlačni coni spoja.

Projektno strižno nosilnost posameznega vijaka, ki je natezno obremenjen se določi po enačbi (50).

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v f_{ub} A_s}{\gamma_{M2}}, \quad (50)$$

kjer so: -  $\alpha_v = 0.5$  za vijake trdnostnega razreda 10.9

= 0.6 za vijake ostalih trdnostnih razredov

-  $A_n$ ... je neto prerez stebila vijaka

-  $f_{ub}$ ... je največja možna natezna napetost vijaka

-  $\gamma_{M2}$ ... varnostni faktor za vijake, zware in čelne pločevine

= 1.25 [1]

Nosilnost vijakov na interakcijo strig-upogib se določi po enačbi (51).

$$\frac{F_{v,Ed}}{F_{v,Rd}} + \frac{F_{t,Ed}}{1.4 F_{t,Rd}} \leq 1.0 \quad (51)$$

#### Komentar delovanja programskega orodja:

Programsko orodje izračuna najvčjo strižno silo, ki jo je sposoben prevzeti spoj, ob predpostavki, da je nivo striga v natezno obremenjenih vijakih takšen, da ne vpliva na natezno nosilnost vijaka ( $F_{v,Ed} = 0,4/1,4 + 0,286 F_{v,Rd}$ ). Princip je upoštevan z enačbo (52):

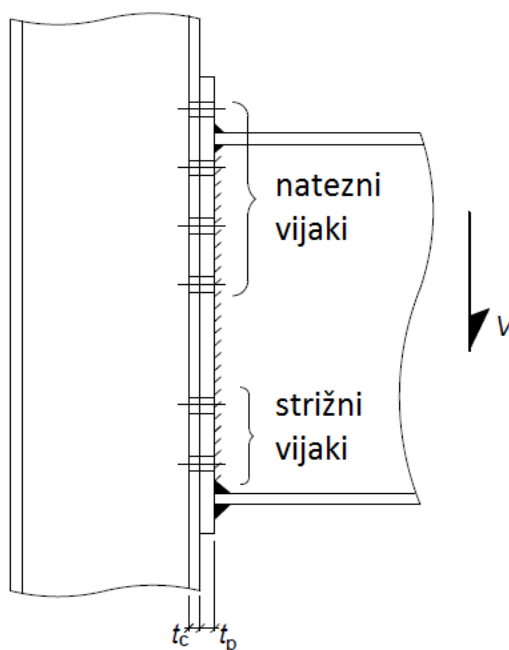
$$V_{Rd} = n_s F_{v,Rd} + n_t \frac{0,4}{1,4} F_{v,Rd}, \quad (52)$$

kjer sta: -  $n_s$ ... število vijakov, ki niso natezno obremenjeni

-  $n_t$ ... število vijakov, ki so natezno obremenjeni

Razliko v poziciji med tistimi vijaki, ki omogočajo polno strižno nosilnost in tistimi za katere strižno nosilnost reduciramo, shematično prikazuje Slika 30.

Slika 52 prikazuje izsek kode, ki izračuna nosilnost spoja na vertikalni strig.

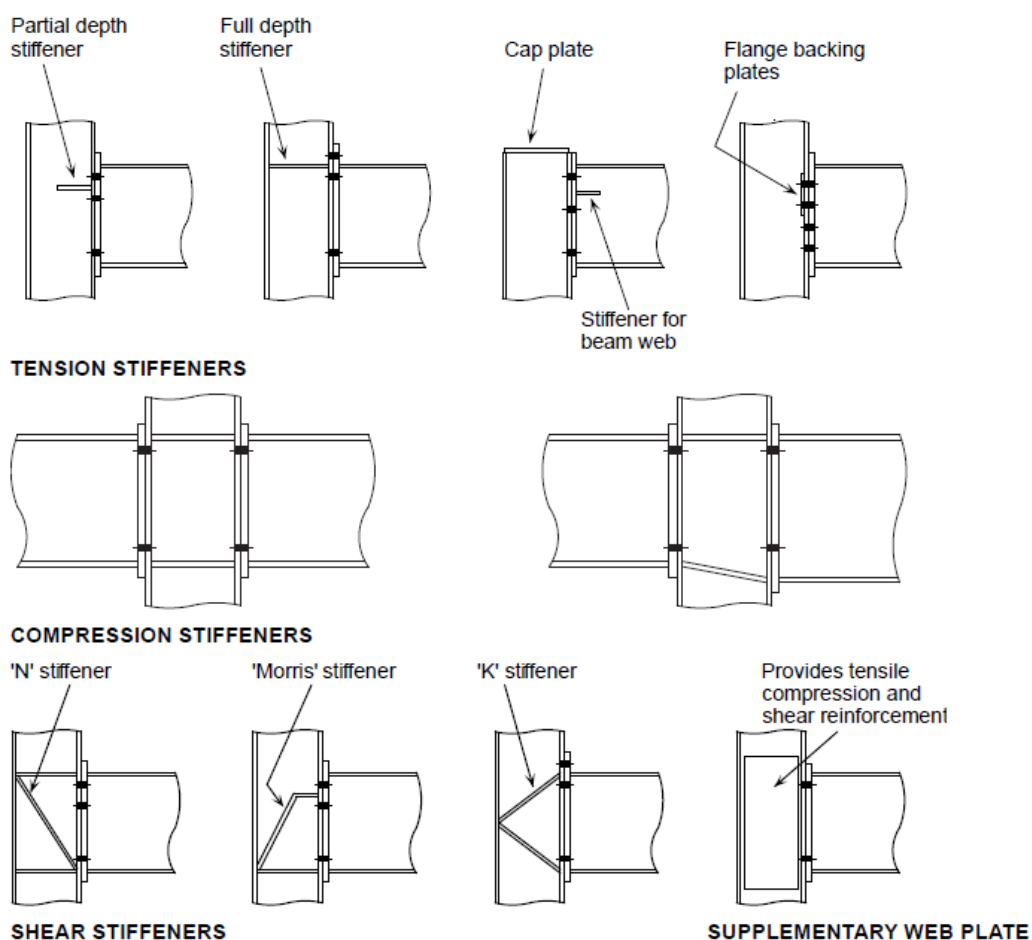


Slika 30: Poziciji nateznih in strižni vijakov v spoju  
Figure 30: Positions of tension and shear bolts in the connection

## 2.9 Ojačitve spoja oziroma posameznih komponent (6. korak)

Z ojačitvami spoja lahko povečamo nosilnost in togost komponent in posledično spoja. S pametno izbiro elementov se po navadi lahko izognemo potrebi po ojačitvah in s tem zmanjšamo ceno konstrukcije. Včasih ni druge možnosti, kot uporaba ojačitev. Nekatere ojačitve ojačijo več komponent spoja. Na sliki 31 so predstavljene ojačitve na strani stebra, primerne za momentni spoj steber-prečka s podaljšano čelno pločevino.

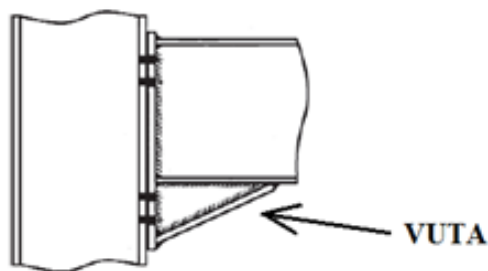
V KMrup je na strani stebra možno izbrati natezno ojačitev ("full depth compression stiffener"), tlačno ojačitev ("full depth compression stiffener") in ojačitev strižnega panela stebra ("supplementary web plates"). Na strani prečke pa program omogoča kratko vuto (Slika 32), ki ojači stojino in pasnico prečke v tlaku. Možna je tudi izbira ojačitvenega rebra (Slika 33), ki nekoliko pripomore k večji nosilnosti čelne pločevine v upogibu. Izmed ojačitev na strani stebra (Slika 31), v programu izbira delnih ojačitev v nategu in tlaku ("partial depth stiffener"), ojačitvenih ploščic za pasnice ("flange backing plates") in ojačitev strižnega panela tipov 'N', 'K' in 'Morris' ni možna.



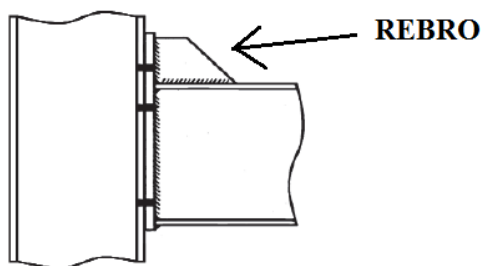
Slika 31: Ojačitve na strani stebra (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 7)

Figure 31: Stiffeners in the column (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 7)





Slika 32: Kratka vuta  
Figure 32: Short haunch



Slika 33: Ojačitveno rebro  
Figure 33: End plate rib

Preglednica 6 prikazuje vpliv ojačitev na povečanje nosilnosti posameznih komponent spoja na strani stebra.

Preglednica 6: Vpliv različnih tipov ojačitev stebra na komponente spoja na strani stebra  
Table 6: The effect of the column stiffeners on the connection components

TIP OJAČITVE STEBRA	KOMPONENTE SPOJA			
	stojina stebra v nategu	pasnica stebra v upogibu	stojina stebra v tlaku	stojina stebra v strigu
vse vodoravne ojačitve	DA	DA	DA	delno
ojačitev strižnega panela stebra	DA	NE	DA	DA
diagonalne ojačitve (N,K)	DA	DA	DA	DA
ojačitev Morris	DA	DA	DA	DA
ploščice za ojačitev pasnic	NE	delno (prehod iz 1. načina porušitve v 2. – glej poglavje 2.2.1.1)	NE	NE

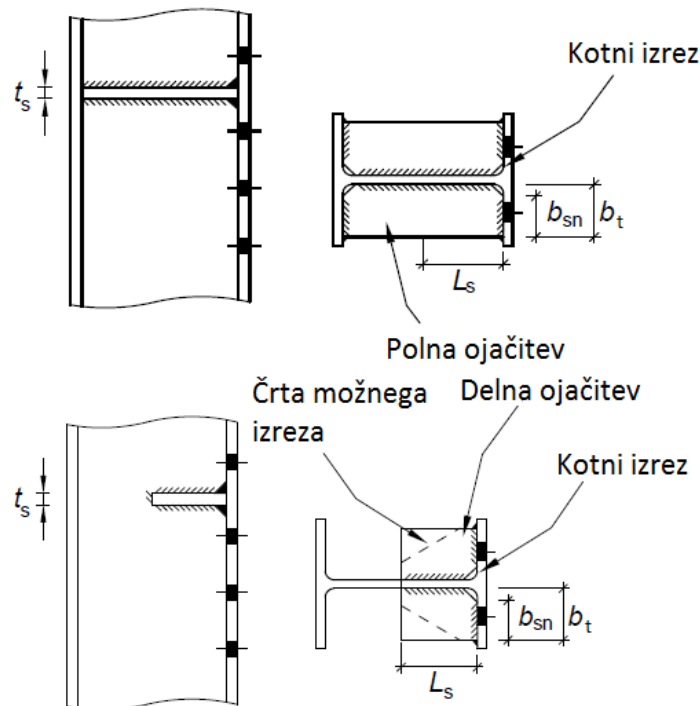
### 2.9.1 Natezna ojačitev stojine stebra

Natezna ojačitev poveča upogibno nosilnost pasnice stebra in natezno nosilnost stojine stebra. Natezna ojačitev mora biti uporabljena simetrično na obeh straneh stojine stebra. Uporabi se lahko ojačitev dolžine stojine stebra (polna ojačitev) ali delno ojačitev. Razliko med tema dvema nateznima ojačitvama in dimenzije ojačitve prikazuje Slika 34. KMrup ponuja le možnost polne natezne ojačitve, zato delna natezna ojačitev ni podrobno opisana.

Širina ojačitve naj ne bo ožja od pogoja v enačbi (53). Pri tem naj bo izpolnjen tudi pogoj v enačbi (54), ki zagotavlja pravilnost razvoja porušnih linij ob aktiviranju porušnih mehanizmov [7].

$$b_t \geq \frac{0.75(b_c - t_{wc})}{2} \quad (53)$$

$$2b_t + t_{wc} \geq 1.33w \quad (54)$$



Slika 34: Delna in polna natezna ojačitev s kotami  
Figure 34: Partial and full depth tension stiffener difference

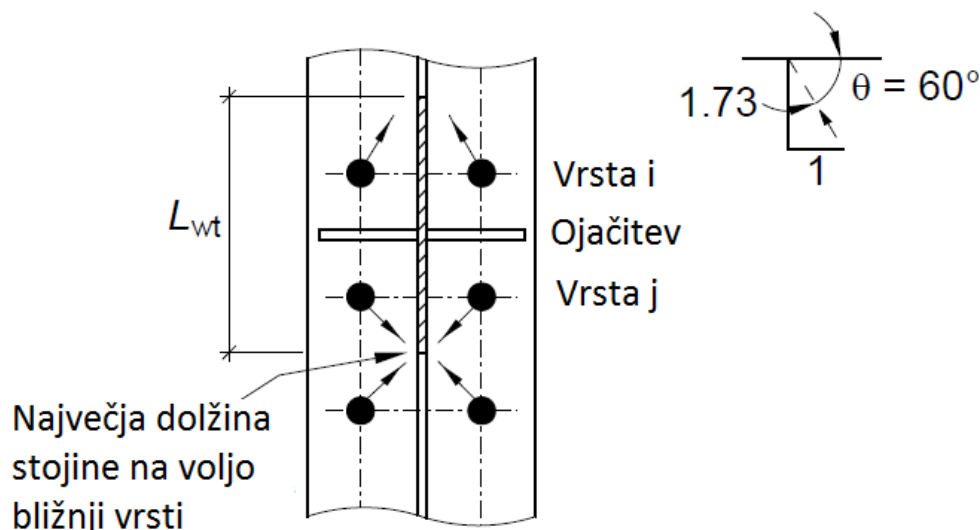
Potrebni prerez se lahko določi s pomočjo dveh principov.

1. princip:

Natezna ojačitev povečuje natezno nosilnost stojine stebra in omejuje upogib pasnice stebra. Da lahko izpolni ti dve nalogi mora natezna ojačitev izpolnjevati pogoj v enačbi (55). Enačba opisuje

$$F_{s,1,Ed} = \left( F_{ri,Rd} + F_{rj,Rd} - \frac{L_{wt} t_{wc} f_{y,c}}{\gamma_{M0}} \right) / 2, \quad (55)$$

- kjer so:
- $F_{ri,Rd}$ ... natezna nosilnost vrste vijakov nad natezno ojačitvijo
  - $F_{rj,Rd}$ ... natezna nosilnost vrste vijakov pod natezno ojačitvijo
  - $f_{y,c}$ ... napetost jekla stebra na meji tečenja
  - $L_{wt}$ ... je dolžina stojine v nategu, pri kateri je predpostavljena razporeditev sil pod kotom  $60^\circ$  od vijakov proti sredini stojine, ampak ne več kot polovica razdalje do bližnje vrste debeline, ki je na voljo na vrhu stebra (slika 35)
  - $t_{wc}$ ... debelina stojine stebra

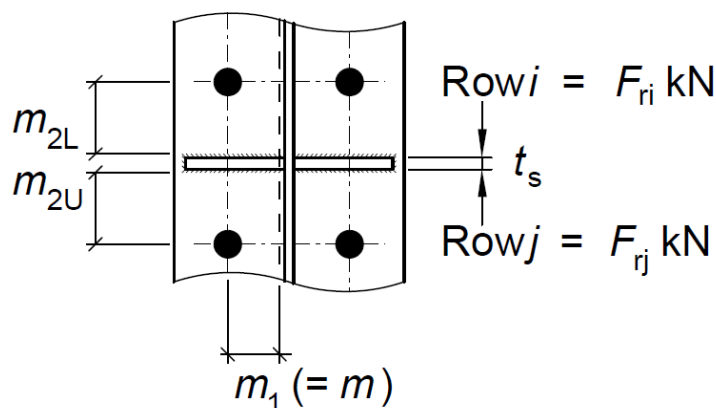


Slika 35: Sodelujoča dolžina stojine v nategu  
Figure 35: Effective length of web in tension

Drugi pogoj, ki mora biti izpolnjen predstavlja enačba (56).

$$F_{s,2,Ed} = \frac{m_1}{2} \left[ \frac{F_{ri,Rd}}{(m_1+m_{2L})} + \frac{F_{rj,Rd}}{(m_1+m_{2U})} \right], \quad (56)$$

kjer sta  $m_1$  in  $m_{2U}$  prikazana na sliki 36.



Slika 36: Dimenzije za določitev projektne sile v natezni ojačitvi  
Figure 36: Dimensions for determining design force in web stiffener

Neto površino vsake izmed nateznih ojačitev, ob predpostavki tečenja polnega prereza, določim iz pogoja polne nosilnosti.

$$A_{sn} \geq \frac{F_{s,Ed} Y_{M0}}{f_{y,s}}, \quad (57)$$

kjer so: -  $A_{sn} = b_{sn} t_s$   
-  $F_{s,Ed} \dots$  je večji izmed vrednosti  $F_{s,1,Ed}$  in  $F_{s,2,Ed}$   
-  $f_{y,s} \dots$  je napetost na meji tečenja ojačitve

Projektant je na varni strani, če upošteva debelino ojačitve, enako debelini natezne pasnice nosilca (ob izpolnjenih pogojih (55) in (56)).

## 2. princip

Natezno nosilnost polne natezne ojačitve se določi po enačbi (58). Za določitev skupne natezne nosilnosti osnovnega elementa in ojačitve, se obe nosilnosti enostavno seštejeta – enačba (59).

$$F_{t,oj,Rd} = \frac{2b_t t_s f_{y,oj}}{\gamma_{Mo}} \quad (58)$$

$$F_{t,Rd} = F_{t,wc,Rd} + F_{t,oj,Rd}, \quad (59)$$

kjer so: -  $F_{t,oj,Rd}$ ... projektna natezna nosilnost polne natezne ojačitve

-  $F_{t,wc,Rd}$ ... projektna natezna nosilnost stojine stebra – enačba (18)

-  $F_{t,Rd}$ ... skupna projektna natezna nosilnost

-  $b_t$ ... širina natezne ojačitve – enačba (53)

-  $t_s$ ... debelina natezne ojačitve

-  $f_{y,oj}$ ... napetost na meji tečenja jekla natezne ojačitve (uporabljeno mora biti isto jeklo kot za steber)

### Komentar delovanja programskega orodja:

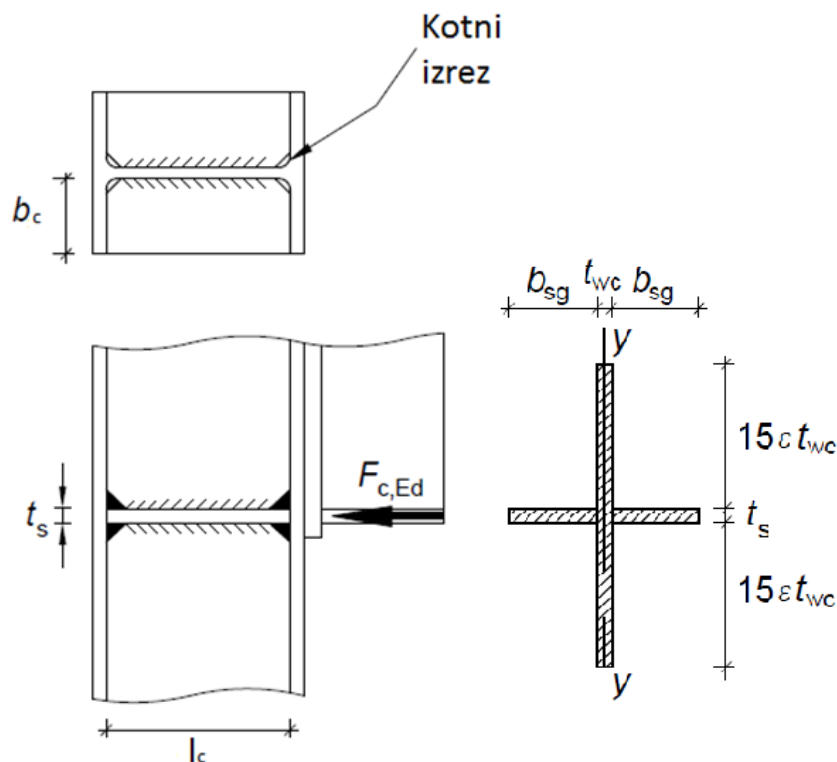
Širine natezne ojačitve se v programu ne da izbirati in je enaka  $(b_{stebra} - t_{w,stebra})/2$ . Ob uporabi ojačitve strižnega panela stebra, se širina dodatno zmanjša še za debelino pločevine, s katero je ojačan strižni panel. Uporabnik v programsko orodje vnese le debelino natezne ojačitve. Pred nastavljena je vrednost enaka debelini pasnice nosilca. Program ne kontrolira, če vnesena debelina natezne ojačitve izpolnjuje pogoje v enačbah (55), (56) in (57). Če uporabnik uporabi manjšo debelino natezne ojačitve kot pred nastavljeno, mora sam preveriti, ali izbrana debelina izpolnjuje te enačbe.

### **2.9.2 Tlačna ojačitev stojine stebra**

Tlačna ojačitev poveča tlačno nosilnost stojine stebra. Tlačna ojačitev mora biti, prav tako kot natezna, uporabljena simetrično na obeh straneh stojine stebra. Uporabi se lahko ojačitev dolžine stojine stebra (polna ojačitev) ali delno ojačitev. KMrup ponuja le možnost polne ojačitve, zato delna tlačna ojačitev ni podrobno opisana. Slika 37 prikazuje polno tlačno ojačitev z označenimi dimenzijami ojačitve.

Potrebni prerez se lahko določi s pomočjo dveh principov.

1. princip



Slika 37: Tlačna ojačitev z dimenzijami  
Figure 37: Compression stiffener with dimensions

Tlačna ojačitev mora biti dimenzionirana tako, da je nosilnost prečnega prereza ojačitve in nosilnost na uklon večja od osne sile v tlačeni pasnici nosilca. Poleg ojačitve se pri uklonski nosilnosti lahko upošteva sodelujoča dolžina stojine stebra v dolžini  $15\epsilon t_{wc}$  (določitev  $\epsilon$  prikazuje enačba (62)) na vsako stran. Zagotoviti pa je potrebno ustrezno kompaktnost ojačitve.

$$\epsilon = \sqrt{\frac{235}{f_y}} \quad (62)$$

Z omejitvijo razmerja širina/debelina ojačitve preprečimo možnost torzijskega uklona. To zagotovimo z upoštevanjem pogoja 3. razred kompaktnosti tlačene pasnice, ki ga opisuje enačba (63).

$$b_{sg}/t_s \leq 14\epsilon, \quad (63)$$

kjer je  $b_{sg}$  širina tlačne ojačitve skupaj s polovico stojine pasnice (slika 37).

Sodelujoče območje, ki zagotavlja odpornost na lokalno izbočenje pločevin se določi po enačbi (64).

$$A_{s,eff} = (30\epsilon t_w + t_s)t_w + 2b_{sg}t_s \quad (64)$$

Vztrajnostni moment prereza ojačitve se določi po enačbi (65).

$$I_s = \frac{(2b_{sg} + t_{wc})^3 t_s}{12} \quad (65)$$

Nosilnost sodelujočega območja ojačitve se določi po enačbi (66).

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{s,eff} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (66)$$

Prečni prerez  $A_{s,eff}$  je območje ojačitve v stiku s pasnico in sodelujočo dolžino stojine stebra – Slika 37.

Nosilnost ojačitve na upogibni uklon je odvisen od njene vitkosti – enačba (67).

$$\bar{\lambda} = \frac{l}{i_s \lambda_1}, \quad (67)$$

kjer so: -  $\lambda_1 = 93.9\epsilon$

-  $l$ ... kritična uklonska dolžina ojačitve

$$- i_s = \sqrt{i_s/A_{s,eff}}$$

Za spoje s stebri brez preprečitev rotacije okoli vzdolžne osi stebra se predpostavi  $l = l_c$ . Če je steburu preprečena rotacija okoli svoje vzdolžne osi, se lahko vzame manjšo dolžino, ampak ne manjšo od  $0.75h_w$ , kjer je  $h_w$  višina stojine stebra.

Če je vitkost  $\bar{\lambda} \leq 0.2$ , se izbočenje uklon ni prisoten, v nasprotnem primeru pa se uklonska nosilnost določi kot:

$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{s,eff} f_y}{\gamma_{M1}}, \quad (68)$$

$$\text{kjer so: } - \chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \lambda^2}} \leq 1.0 \quad (69)$$

$$- \phi = 0.5(1 + \alpha(\lambda - 0.2) + \lambda^2) \quad (70)$$

$$- \alpha = 0.49 \quad (71)$$

-  $f_y$ ... manjša od napetosti na meji tečenja med stebrom in ojačitvijo

Tlačna ojačitev je po navadi izdelana tako, da nalega na pasnice stebra. V tem primeru kotni zvar z debelino 4 mm služi le za povezavo. Če ojačitev ne nalega na pasnice stebra, je potrebno zvar dimenzionirati na prenos tlačne sile.

## 2. princip

2. princip temelji na povečanju tlačne nosilnosti stojine stebra iz naslova prereza tlačne ojačitve. Tlačna ojačitev mora biti vsaj v 3. razredu kompaktnosti v tlaku.

Tlačno nosilnost polne tlačne ojačitve se določi po enačbi (72). Za določitev skupne tlačne nosilnosti osnovnega elementa in ojačitve, se obe nosilnosti seštejeta – enačba (73).

$$F_{c,oj,Rd} = \frac{2b_c t_s f_{y,oj}}{\gamma_{M0}} \quad (72)$$

$$F_{c,Rd} = F_{c,wc,Rd} + F_{c,oj,Rd}, \quad (73)$$

kjer so: -  $F_{c,oj,Rd}$ ... projektna tlačna nosilnost ojačitve

-  $F_{c,wc,Rd}$ ... projektna tlačna nosilnost stojine stebra – enačbi (21) in (22)

-  $F_{c,Rd}$ ... skupna projektna tlačna nosilnost

-  $b_c$ ... širina tlačne ojačitve

-  $t_s$ ... debelina tlačne ojačitve

-  $f_{y,oj}$ ... napetost na meji tečenja jekla natezne ojačitve (uporabljeno mora biti isto jeklo kot za steber)

### Komentar delovanja programskega orodja:

Širine tlačne ojačitve se v programu ne da izbirati in je enaka, kot pri natezni ojačitvi, to je  $(b_{stebra} - t_w, stebra)/2$ . Ob uporabi ojačitve strižnega panela stebra, se širina dodatno zmanjša še za debelino

pločevine, s katero je ojačan strižni panel. Uporabnik v programsko orodje vnese le debelino ojačitve. Pred nastavljen je vrednost enaka debelini pasnice nosilca. Če se uporabnik odloči za zmanjšanje debeline ojačitve, mora izbrano debelino preveriti po enačbi (68). Programsko orodje za vneseno debelino predpostavi, da izpolnjuje te pogoje.

### 2.9.3 Prispevek polne natezne in polne tlačne ojačitve k strižni nosilnosti stojine stebra

Če sta v spoju uporabljena tako polna natezna in polna tlačna ojačitev, skupaj ojačujeta strižni panel stebra.

Prispevek tlačne in natezne ojačitve k strižni nosilnosti panela stojine stebra se določi, po enačbah (74)-(76). Če sta debelini natezne in tlačne ojačitve enaki, sta tudi prispevka k strižni nosilnosti panela stojine stebra enaki.

$$V_{wp,add,Rd} = \frac{4M_{pl,fc,Rd}}{d_s} \leq \frac{M_{pl,fc,Rd} + 2M_{pl,oj,Rd}}{d_s} \quad (74)$$

$$M_{pl,oj,Rd} = W_{pl,oj} f_{y,oj} / \gamma_{M0} \quad (75)$$

$$W_{pl,oj} = \frac{2b_c t_s^2}{4}, \quad (76)$$

kjer so: -  $V_{wp,add,Rd}$ ... prispevek tlačne in/ali natezne ojačitve k strižni nosilnosti panela stojine stebra  
 -  $M_{pl,fc,Rd}$ ... manjša izmed vrednosti projektnih upogibnih nosilnost  $M_{pl,1,Rd}$  (enačba(11)) in  $M_{pl,2,Rd}$  (enačba (12)) komponente upogib pasnice stebra za 1. in 2. vrsto vijakov  
 -  $M_{pl,oj,Rd}$ ... projektna plastična upogibna nosilnost natezne in/ali ojačitvene pločevine  
 -  $W_{pl,oj}$ ... plastični odpornostni moment natezne in/ali tlačne ojačitvene pločevine  
 -  $d_s$ ... višina stojine stebra skupaj z zaokrožitvijo med stojino in pasnico

Prispevek polne natezne ojačitve k strižni nosilnosti panela stojine stebra se določi po enačbah (77)-(79).

$$V_{wp,add,Rd} = \frac{4M_{pl,fc,Rd}}{d_s} \leq \frac{2M_{pl,fc,Rd} + 2M_{pl,oj,Rd}}{d_s} \quad (77)$$

$$M_{pl,oj,Rd} = W_{pl,oj} f_{y,oj} / \gamma_{M0} \quad (78)$$

$$W_{pl,oj} = \frac{2b_t t_s^2}{4}, \quad (79)$$

kjer so: -  $V_{wp,add,Rd}$ ... prispevek polne natezne ojačitve k strižni nosilnosti panela stojine stebra  
 -  $M_{pl,fc,Rd}$ ... plastična upogibna nosilnost pasnice  $M_{pl,fc,Rd} = (b_{fc} t_{fc}^2) / 4 \times (f_{y,fc} / \gamma_{M0})$   
 -  $M_{pl,oj,Rd}$ ... projektna plastična upogibna nosilnost ojačitvene pločevine  
 -  $W_{pl,oj}$ ... plastični odpornostni moment ojačitvene pločevine  
 -  $d_s$ ... višina stojine stebra skupaj z zaokrožitvijo med stojino in pasnico

Skupna nosilnost strižnega panela se tako določi po enačbi (80):

$$V_{wp,oj,Rd} = V_{wp,Rd} + V_{wp,add, natezna ojačitev,Rd} + V_{wp,add, tlačna ojačitev,Rd}, \quad (80)$$

kjer so: -  $V_{wp,oj,Rd}$ ... skupna nosilnost ojačenega strižnega panela  
 -  $V_{wp,Rd}$ ... nosilnost ojačenega strižnega panela  
 -  $V_{wp,add, natezna ojačitev,Rd}$ ... dodatna nosilnost strižnega panela zaradi natezne ojačitve  
 -  $V_{wp,add, tlačna ojačitev,Rd}$ ... dodatna nosilnost strižnega panela zaradi tlačne ojačitve

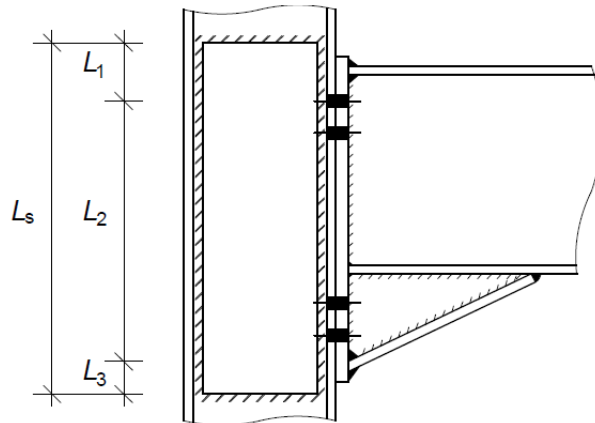
### 2.9.4 Ojačitev strižnega panela stojine stebra

Strižni panel lahko ojačimo z dodatnimi plščami ob stojini stebra z dodatnimi ploščami ob stojini stebra (ang. "supplementary web plates"). SWP povečuje strižno nosilnost panela stojine stebra in tudi natezno in tlačno nosilnost stojine stebra. Lahko se uporabi sočasno z natezno in tlačno ojačitvijo.

### 2.9.4.1 Dimenzije in materiali

- jeklo SWP mora biti enako jeklu stebra
- debelina SWP mora biti vsaj enake debelini stojine stebra
- širina stebra ne sme presegati  $40e_{t_s}$
- po dolžini mora SWP segati preko nateznih in tlačnih con v spoju (glej sliko 38)
- po širini mora SWP segati do zaokrožitve med stojino in pasnico stebra (glej sliko 39)

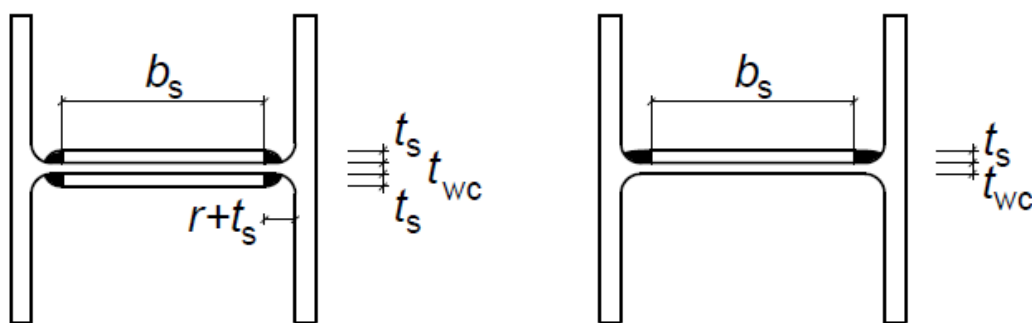
Dolžina SWP je prikazana na sliki 38. Minimalna dolžina  $L_1$  znaša polovico dolžine  $b_{eff,t,wc}$  (poglavje 2.4.7), minimalna dolžina  $L_3$  pa polvico  $b_{eff,c,wc}$  (poglavje 2.5.1).



Slika 38: Dolžina plošč za ojačitev strižnega panela (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 34)

Figure 38: Length of Supplementary Web Plates (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 34)

Kjer je SWP uporabljena le za povečanje nosilnost stebra v strigu, je zadostna tolikšna širina, da se robovi zvarov dotikajo zaokrožitve med stojino in pasnico stebra (levi primer na sliki 39). Kjer je SWP uporabljena tudi za ojačitev stojine stebra v nategu in tlaku, mora SWP po širini segati do zaokrožitve med stojino in pasnico stebra (desni primer na sliki 39).



Slika 39: Širina plošč za ojačitev strižnega panela (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: str. 34)

Figure 39: Width of Supplementary Web Plates (The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association, 2013: p. 34)

Detajl na desni strani slike 39 je težje izdelati, kot tistega na levi strani. Robovi ojačitve morajo biti posneti, za boljše naleganje pločevin. Prav tako je zahtevnejše varjenje na radij. Pri varjenih profilih ta rešitev ni primerna.



### 2.9.4.2 Povečanje tlačne in natezne nosilnosti stojine stebra

Kot omenjeno, SWP poleg strižne nosilnosti panela stojine stebra povečuje tudi natezno in tlačno nosilnost stojine stebra. Učinek je odvisen od tega ali so SWP nameščene na eni ali na obeh straneh stojine stebra, dimenzij zvarov s katerimi so SWP privarjene na stojino in kvalitete uporabljenega jekla. Povečanje nosilnosti se izrazi s povečano efektivno debelino stojine stebra  $t_{w,eff}$ .

Za dimenzije zvarov večje ali enake debelini čelne pločevine (upoštevano v programskem orodju):

- pri eni dodatni pločevini:  $t_{w,eff} = 1.5 t_{wc}$
- pri dodatnih pločevinah na obeh straneh stojine:  $t_{w,eff} = 2.0 t_{wc}$

Za dimenzije zvarov večje ali enake debelini čelne pločevine (velja za eno ali dve dodatni pločevini):

- za kvalitete jekla S235, S275 ali S355:  $t_{w,eff} = 1.4 t_{wc}$
- za kvalitete jekla S420 in S460:  $t_{w,eff} = 1.3 t_{wc}$

Pri računu povečane tlačne nosilnosti iz naslova uporabe SWP je potrebno ponovno izračunati faktor  $\omega$  (

Preglednica 5), zaradi povečanega strižnega prereza  $A_{vc}$  (naslednje podpoglavje opisuje povečanje  $A_{vc}$  zaradi uporabe SWP).

### 2.9.4.3 Povečanje nosilnosti strižnega panela

Strižni prerez  $A_{vc}$  se za enostransko in dvostransko ojačitev poveča za  $b_s t_{wc}$ . Če tudi je debelina zaradi pogoja o največji možni širini  $40\epsilon t_s$ , večja od debeline stojine stebra, se nadaljnje ojačitve strižnega panela stojine stebra iz tega naslova ne upoštevata.

#### Komentar delovanja programskega orodja:

Programsko orodje upošteva povečanje  $t_{w,eff}$  za zware večje ali enake debelini čelne pločevine, torej  $t_{w,eff} = 1.5 t_{wc}$  za eno dodatno pločevino ter  $t_{w,eff} = 2.0 t_{wc}$  za dodatni pločevini na obeh straneh stojine.

Uporabnik nima možnosti vnosa dimenzij SWP v program. Program vedno upošteva širino SWP, ki je enaka večji izmed dimenzij na sliki 39. Če je širina stebra širša kot  $40\epsilon t_s$ , program poveča debelino SWP, da je omenjeni pogoj izpolnjen in med rezultate izračuna izpiše novo debelino SWP. Programsko orodje ne računa dolžine SWP, saj za določitev nosilnosti ta ni pomembna. Predpostavljeno je, da je dolžina SWP zadostna – glej sliko 38 in opis dolžin nad sliko 38.

### 2.9.5 Ojačitev podaljšanega dela čelne pločevine z ojačitvenim rebrom

Ojačitveno rebro poveča upogibno nosilnost čelne pločevine, saj spremeni potek plastičnih porušnih linij v čelni pločevini. S tem se poveča dolžina nadomestnega T-elementa in njegova nosilnost., kar pomeni večjo upogibno nosilnost čelne pločevine v upogibuza vrsto vijakov nad natezno pasnico. Potek linij in sodelujoče dolžine neojačenega previsnega dela čelne pločevine prikazuje Slika 12. Potek linij in sodelujoče dolžine ojačenega previsnega dela čelne pločevine prikazuje Slika 13.

Če sta nosilec in ojačitveno rebro iz jekel enakih trdnostih razredov, mora biti debelina ojačitvenega rebra večja ali enaka debelini stojini nosilca. Če sta nosilec in ojačitveno rebro iz jekel različnih

trdnostnih razredov, mora biti debelina ojačitvenega rebra vsaj enaka razmerju napetosti tečenja nosilca in rebra, pomnožena z vrednostjo debeline stojine nosilca [10].

#### Komentar delovanja programskega orodja:

Uporabnik ima možnost vnosa debeline ojačitvenega rebra, pred nastavljen je vrednost enaka debelini stojine nosilca. Programsko orodje upošteva, da ojačitveno rebro sega preko višine 1. vrste vijakov v spoju.

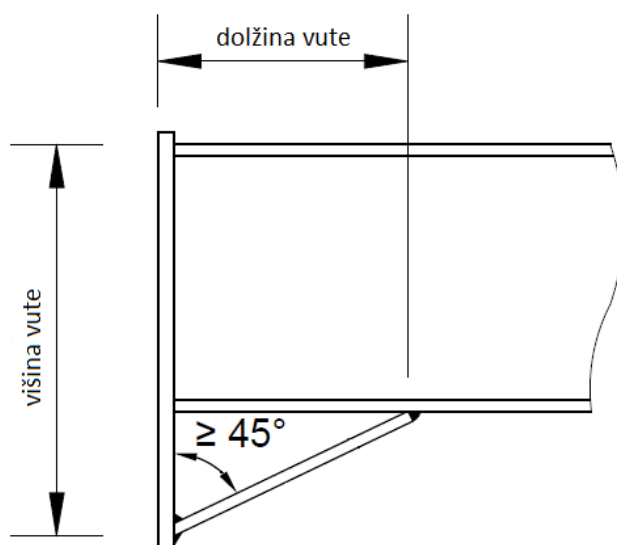
### 2.9.6 Ojačitev nosilca s kratko vuto

Kratka vuta se lahko uporabi za ojačitev nosilca. Dimenziji vute – višina in dolžina, sta prikazana na sliki 40.

Projektiranje kratke vute:

- uporabi se enako jeklo kot za nosilec
- velikost pasnice vute mora biti vsaj enake velikosti pasnice nosilca
- debelina stojine mora biti vsaj enaka debelini stojine nosilca
- kot naklona med pasnico vute in čelno pločevino ne sme biti manjši od  $45^\circ$

Vuta je po navadi izrezana iz vroče-valjanega profila. V večini primerov kar iz elementa, katerega prerez, je enak prerezu nosilca.



Slika 40: Dimenzije kratke vute  
Figure 40: Short haunch dimensions

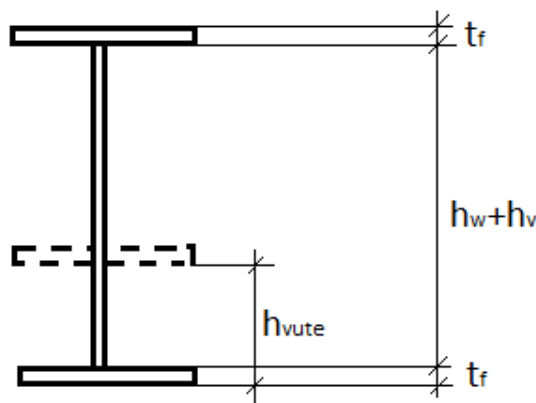
Ob uporabi vute se komponenta stojine in pasnica prečke v tlaku "preseli" v pasnico in del stojine vute. Programsko orodje ponuja le možnost uporabe vute, ki je izrezana iz prereza enakega prerezu nosilca. Nosilnost komponente se določi po enačbi (30), s tem da se člen  $M_{C,Rd}$  določi po enačbi (81). Plastični odpornostni moment v enačbi (80) se določi po enačbah (82) in (83). V enačbah ni upoštevana spodnja pasnica nosilca. Prav tako niso upoštewane zaokrožitve med stojinami in pasnicami nosilca in vute. Slika 41 prikazuje prerez nosilca in vute z označenimi nekaterimi členi v enačbah (81) in (82).

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} \quad (81)$$

$$\text{skupna višina vute in nosilca} \leq 600\text{mm: } W_{pl} = b t_f (h_w + h_v + t_f) + \frac{(h_w + h_v)^2}{4} t_w \quad (82)$$

$$\text{skupna višina vute in nosilca} > 600\text{mm: } W_{pl} = b t_f (h_w + h_v + t_f) + 0.2 \frac{(h_w + h_v)^2}{4} t_w, \quad (83)$$

kjer so: -  $b$ ... širina pasnice nosilca in vute  
-  $t_f$ ... debelina pasnice nosilca in vute  
-  $h_w$ ... višina stojine nosilca  
-  $h_v$ ... višina vute  
-  $t_w$ ... debelina stojine nosilca in vute



Slika 41: Prerez prečke z vuto  
Figure 41: Cross-section with haunch

#### Komentar delovanja programskega orodja:

Programsko orodje je napisano tako, da se nevtralna os v spoju ohrani v težišču tlačene pasnice nosilca tudi v primeru, če je nosilec ojačen z vuto. Vir [7] v primeru uporabe vute opisuje premik nevtralne osi v spodnjo pasnico vute. Enako pri določanju upogibne nosilnosti spoja z nosilcem ojačenim z vuto stori program SCIA Engineer [4]. To je poenostavitev na nevarni strani. V diplomski nalogi [11] je predstavljeno, da se nevtralna os v spoju ojačenemu s kratko vuto formira nekje znotraj vute.

KMrup pri določanju projektne upogibne nosilnosti nosilca z vuto ne upošteva prispevka nosilnosti srednje pasnice. Slika 41 in enačba (81) prikazujeta račun projektne upogibne nosilnosti nosilca ojačenega z vuto, kot ga računa programsko orodje. Prerez vute je upoštevan, kot da je izrezan iz nosilca enakega prereza in materiala kot osnovni nosilec in ima pasnico. Izbira oblike in prereza vute ni možna. Uporabnik določi le višino nosilca.

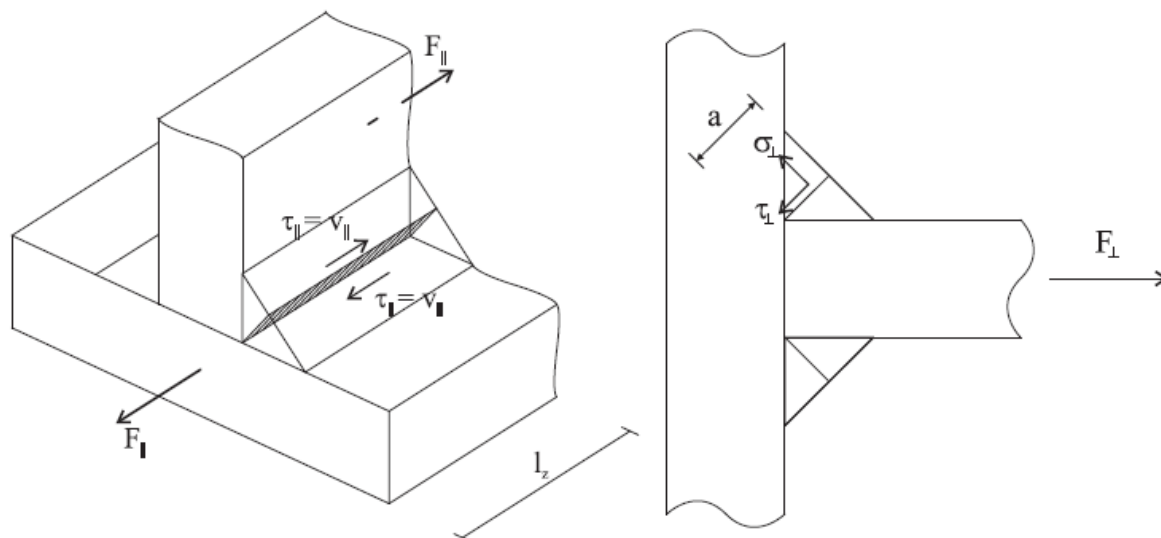
### **2.10 Zvari (7. korak)**

Zvari omogočajo prenos strižnih sil (v njihovi vzdolžni smeri), nateznih napetosti (v smeri pravokotno glede na daljšo dimenzijo zvara) in kombinacij striga in natega. Vse zware je potrebno preveriti na te vplive. Če je zvar obremenjen v tlaku in je zagotovljeno naleganje, gre prenos preko kontaktov in so potrebni zvari manjših dimenzij.

#### **2.10.1 Nosilnost kotnih zvarov**

Nosilnost zvara na dolžino na delovanje strižnih sil v njegovi vzdolžni smeri se določi po natančnejši (poglavje 4.5.3.2, SIST EN 1993-1-8 [1]) ali po poenostavljeni (poglavje 4.5.3.3, SIST EN 1993-1-8

[1]) metodi. V enačbi (84) in na sliki 42 je predstavljena natančnejša metoda, ki je v primeru, ko želimo dimenzionirati polno nosilne kotne zware, primernejša.



Slika 42: Napetosti v kotnem zvaru  
Figure 42: Stresses in fillet weld

$$\sqrt{\sigma_{\perp}^2 + 3(\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2)} \leq \frac{f_u}{\beta_w \gamma_{M2}}, \quad (84)$$

kjer so: -  $\sigma_{\perp} = \frac{F}{2} \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{1}{a l_z}$ , pri čemer mora biti izpolnjen pogoj  $\sigma_{\perp} \leq 0,9 \frac{F E d}{\gamma_{M2}}$

-  $\tau_{\perp} = \frac{F}{2} \frac{\sqrt{2}}{2} \frac{1}{a l_z}$

-  $\tau_{\parallel} = \frac{F}{2 a l_z}$

-  $f_u$ ... natezna trdnost osnovnega materiala (ne zvara)

-  $\beta_w$ ... korelacijski koeficient, podan na sliki 43

Členi  $F$ ,  $a$  in  $l_z$  so predstavljeni na sliki 42.

Nosilnost zvara izpostavljenega delovanju sil pravokotno na njegovo dolžino predstavlja enačba (83).

Za par dveh kotnih zvarov (slika 42), ki sta obremenjena pravokotno na svojo dolžino, lahko dosežemo da sta zvara polno nosilna. Da je zvar polno nosilen pomeni, da je njegova nosilnost enaka ali večja od nosilnosti priključene pločevine. Za spoje med elementi enakih trdnostnih razredov in materiala S275, je zvar polno nosilen, če je skupna debelina zvarov enaka debelini elementa. Za spoje med elementi enakih trdnostnih razredov in materiala S355, je zvar polno nosilen, če je skupna debelina zvarov enaka 1.2 kratniku debeline elementa.

jeklo*	$\beta_w$
S 235	0,8
S 275	0,85
S 355	0,9
S 420	1,0
S 460	1,0

\* Velja za jekla po  
SIST EN 10025, SIST EN 10210

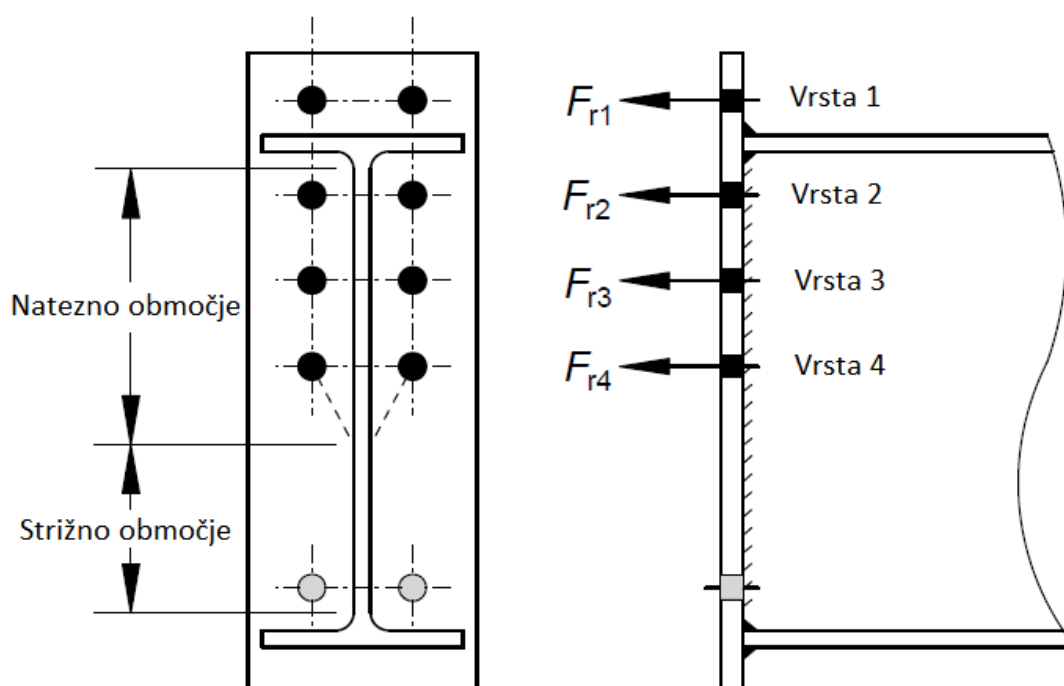
Slika 43: Vrednosti korelacijskega faktorja  $\beta_w$   
Figure 43: Values of the correlation factor  $\beta_w$

## 2.10.2 Nosilnost čelnega zvara

Za nosilnost polno penetriranega čelnega zvara se lahko vzame nosilnost šibkejšega izmed varjenih elementov. Delno penetrirani čelni zvar ojačen s kotnim zvarom se lahko projektira kot polno penetrirani čelni zvar, pri katerem se upošteva najmanjšo debelino zvara in njegov relativni kot glede na smer sile pravokotno na njegovo dolžino.

## 2.10.3 Območja zvarov

Iz praktičnih razlogov se zware med nosilcem in čelno pločevino razdeli na območja, kot to prikazuje Slika 44.



Slika 44: Območja zvarov prečka – čelna pločevina  
Figure 44: Beam web to end plate weld zones

### 2.10.3.1 Natezno območje

Zvari med natezno pasnico in čelno pločevino so lahko polno penetrirani zvari ali kotni zvari, ki so dimenzionirani na nosilnost natezne pasnice.

V delno nosilnem spoju se lahko izvede kotni zvar, ki se ga dimenzionira na:

- a) skupno nosilnost vrst vijakov v zgornjih treh vrstah vijakov – spoj s podaljšano čelno pločevino:

$$F_{w,Ed} = (F_{r1} + F_{r2} + F_{r3}) \quad (85)$$

- b) skupno nosilnost vrst vijakov v zgornjih dveh vrstah vijakov – spoj s čelno pločevino:

$$F_{w,Ed} = (F_{r1} + F_{r2}) \quad (86)$$

Za nosilce manjših in srednjih dimenzij naj bodo kotni zvari polno nosilni in simetrični. Če dolžina kraka kotnega zvara presega dolžino 12 mm, je delno penetriran čelni zvar v kombinaciji s kotnim

zvarom bolj ekonomična rešitev. Potrebno je paziti, da dimenzija kotnega zvara ni premajhna, zato je enostavna in varna rešitev uporaba polno nosilnih zvarov.

Za veliko nosilcev je enostavna in konservativna rešitev uporaba polno nosilnih zvarov med stojino nosilca in čelno pločevino. Dva kotna zvara debeline 8 mm sta dovolj za polno nosilnost pri nosilcih s stojinami debeline 11.3 mm in jekla S275 ter za nosilce z debelinami stojine do 9.4 mm in jekla S355. Če je stojina nosilca debela, je uporaba polno nosilnih zvarov neekonomična in se stojina razdeli na natezno in strižno območje. V vsakem izmed območij se potem določi zware, ki prenašajo projektne obremenitve.

Za zware v nateznem območju se priporoča uporaba polno nosilnih zvarov, razen če je stojina debela in ima precej večjo nosilnost, kot je natezna nosilnost T-elementa v nateznem območju. V takem primeru, se lahko namesto polno nosilnega zvara projektira zvar, ki ima nosilnost enako ali večjo, kot je učinkovita nosilnost nadomestnega T-elementa.

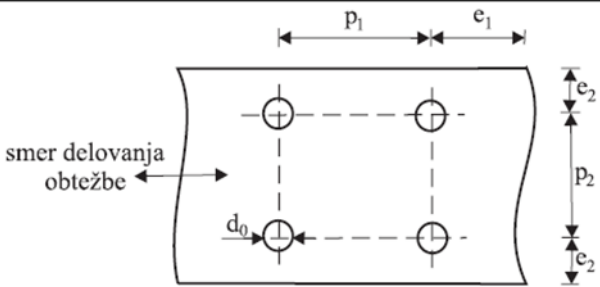
Če ima tlačna pasnica ravno odžagan rob, se lahko predpostavi prenašanje tlačnih napetosti preko neposrednega kontakta med pločevinami. V tem primeru zadostuje zvar 4 do 6 mm debel zvar. Če temu ni tako, se mora zvar projektirati tako, da prenaša silo enako tisti v tlačeni pasnici.

## 2.11 Pravila za pozicioniranje vijakov

Pri določanju razdalj med luknjami za vijake in razdalj med luknjami in robom čelne pločevine je potrebno upoštevati minimalne razdalje med luknjami in širine morebitnih zvarov med luknjami. Potrebno je paziti še, da je med luknjami dovolj prostora za pritrnitev vijakov. Pravila za določitev minimalnih razdalj med luknjami za vijake prikazuje preglednica 7. Minimalne razdalje so povezane z bočnimi pritiski. Pri montaži spojev so razdalje pomembne za omogočanje dostopa do vijakov z ključem za vijačenje vijakov.

Preglednica 7: Dovoljene robne oddaljenosti  $e_1$  in  $e_2$  ter najmanjši dovoljeni razmaki  $p_1$  in  $p_2$

Table 7: Allowed edge distances  $e_1$  and  $e_2$  and minimum allowed distances  $p_1$  and  $p_2$



razmak	najmanjši razmak	običajni razmak	največji razmak [mm] *	
			izpostavljeno koroziji	ni nevarnosti korozije
$e_1$	$1,2d_0$	$2,0d_0 - 2,5d_0$	$40 + 4t$	$\max(8t, 125 \text{ mm})$
$e_2^*$	$1,2d_0$	$1,5d_0$	$40 + 4t$	$\max(8t, 125 \text{ mm})$
$p_1$	$2,2d_0$	$3,0d_0$	Glej Pr. 29 in Pr. 30	
$p_2^*$	$2,4d_0$	$3,0d_0$		

$t$  je najmanjša debelina zunanje pločevine  
\*Pri tlačnih pločevinah je potrebno največjo dovoljeno robno oddaljenost  $e_2$  omejiti (previsni elementi), da preprečimo lokalno izbočenje pločevine.

### 3 ROTACIJSKA TOGOST

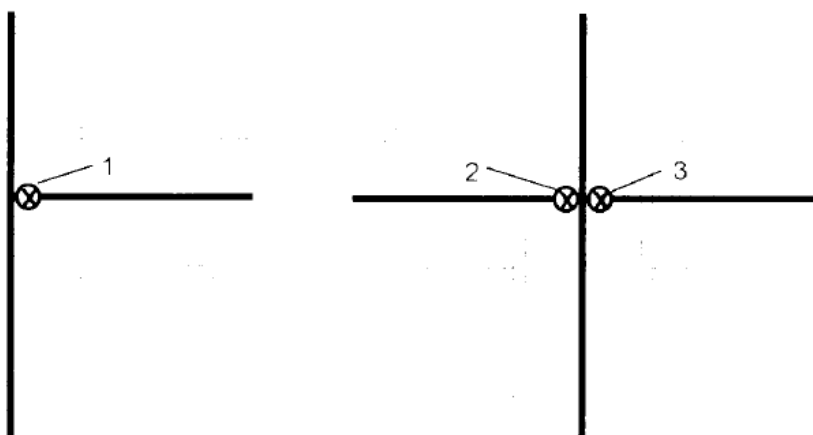
Programsko orodje poleg nosilnosti določi tudi rotacijsko togost spoja. Pri pisanju tega poglavja sem se opiral na opis določevanja rotacijske togosti, ki je podan v Standardu SIST EN 1993-1-8 [1] in predavanj iz predmeta Jeklene konstrukcije na magistrskem študiju gradbeništva [25]. Programsko orodje računa togost spoja po postopku opisanem v tem standardu. Rotacijsko togost spoja se določi na podlagi togosti posameznih komponent v spoju. Togost posameznih komponent je odvisna od lastnosti komponent.

Komponente pasnica stebra v upogibu, stojina stebra v prečnem nategu in čelna pločevina v upogibu, so odvisne od nateznih vrst vijakov in skupin nateznih vrst vijakov. Za sodelujoče dolžine, ki se upoštevajo za določitev koeficientov togosti, se pri teh komponentah upošteva najmanjše sodelujoče dolžine, ki delujejo v posamezni vrsti ali v skupini vrst.

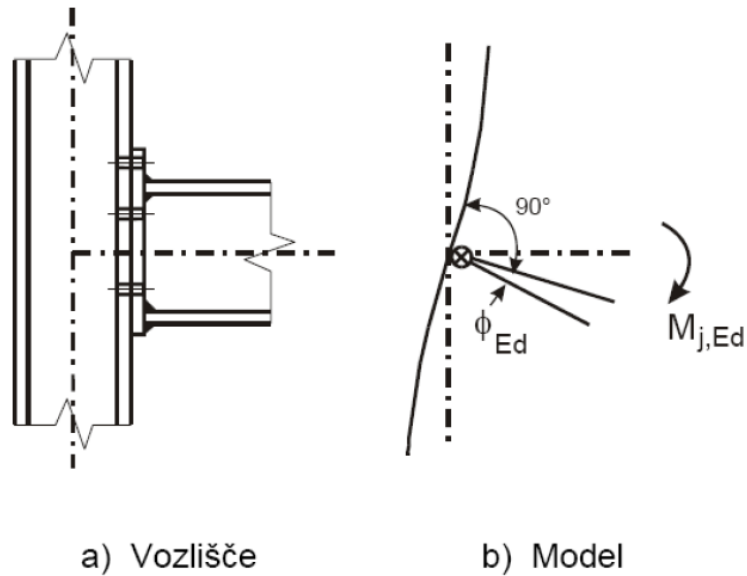
#### 3.1 Zasuk vozlišča

Rotacijska togost vozlišča nam pove kolikšen upogibni moment je potreben za zasuk vozlišča za 1 osnovno enoto radian. Steber in prečka sta v modelu spoja predstavljena kot linijska elementa. Med njima se modelira rotacijsko vzmet, ki s svojimi fizikalnimi lastnostmi ustreza odnosu upogibni moment-zasuk vozlišča.

Slika 45 prikazuje nadomestno vzmet za enostransko in dvostransko vozlišče steber-prečka. Številka 1 na sliki 45 označuje vozlišče v enostranskem spoju, številka 2 levo stran dvostranskega vozlišča, številka 3 pa desno stran vozlišča v dvostranskem spoju steber-prečka. V modelu vozlišča je upoštevano enostransko vozlišče. Slika 46 skupaj prikazuje sliko in model vozlišča steber-prečka.

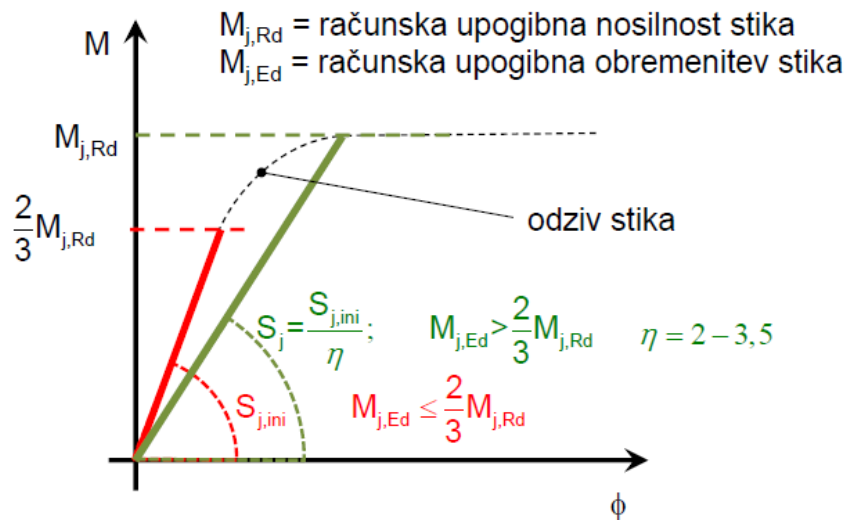


Slika 45: Model vozlišča z vzmetmi (SIST EN 1993-1-8, str. 57)  
Figure 45: Spring model of the connection (SIST EN 1993-1-8, p. 57)



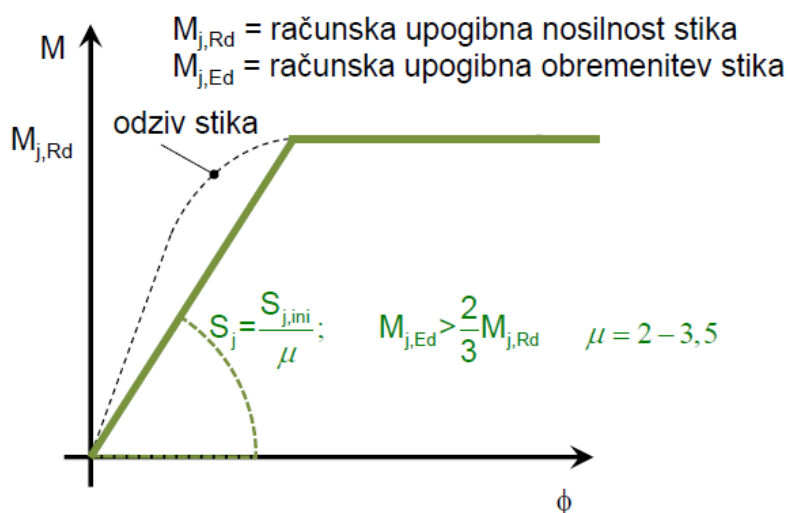
Slika 46: Vozlišče steber-prečka (SIST EN 1993-1-8, str. 59)  
Figure 46: Column-beam node (SIST EN 1993-1-8, p. 59)

Razmerje med upogibnim momentom opisujemo z diagramom odnosa zasuk-upogibni moment vozlišča. Slika 47 prikazuje projektni diagram upogibni moment-zasuk, ki se ga upošteva pri elastični globalni analizi konstrukcije. Slika 48 pa projektni diagram upogibni moment-zasuk, ki se ga upošteva pri elastoplastični globalni analizi konstrukcije.



Slika 47: Projektni diagram steber-prečka pri elastični globalni analizi konstrukcije (P. Može, 2015)  
Figure 47: Beam-column project diagram for elastic structure analysis (P. Može, 2015)





Slika 48: Projektni diagram steber-prečka pri elastoplastični globalni analizi konstrukcije (P. Može, 2015)  
 Figure 48: Beam-column project diagram for elastoplastic structure analysis (P. Može, 2015)

### 3.2 Model vozlišča z nadomestnimi vzmetmi

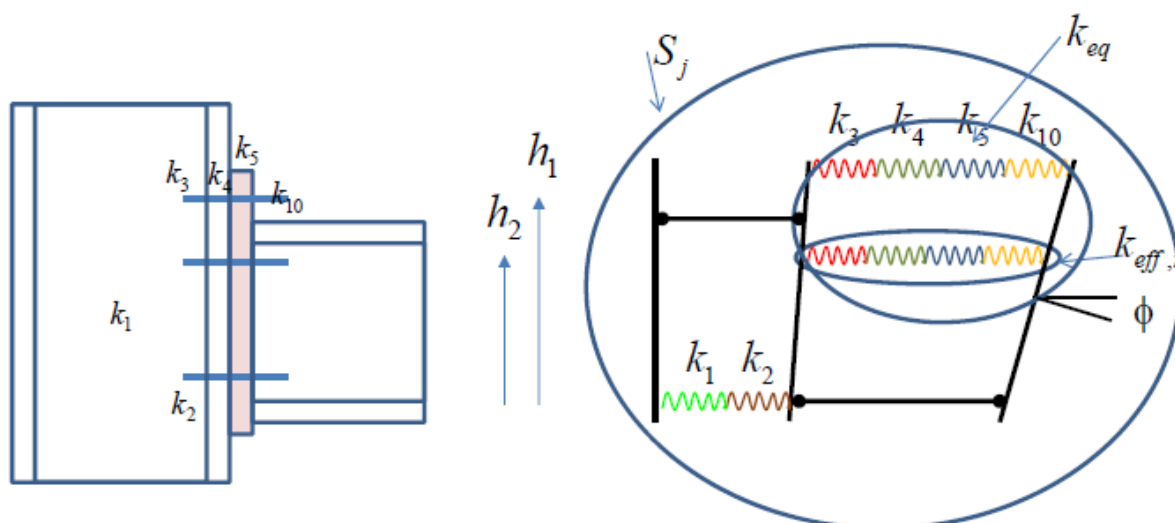
Lastnosti rotacijske vzmeti prikazane na sliki 45 določajo lastnosti komponent spoja. Lastnosti komponent ponazorimo z nadomestnimi vzmetmi. Prikazuje jih Slika 49.

Za vsako natezno vrsto vijakov modeliramo zaporedno vezano nadomestno vzmet  $k_{eff,r}$  – enačba (87). Ta sestoji iz nadomestnih vzmeti, ki predstavljajo nadomestne vzmeti komponent, ki se aktivirajo ob natezni obremenitvi vrste vijakov.

Ob natezih vrstah vijakov se upošteva naslednje komponente, ki so vezane zaporedno:

- stojina stebra v prečnem nategu - nadomestna vzmet s koeficientom togosti  $k_3$ ,
- pasnica stebra v upogibu - nadomestna vzmet s koeficientom togosti  $k_4$ ,
- upogib čelne pločevine - nadomestna vzmet s koeficientom togosti  $k_5$ ,
- vijaki v nategu - nadomestna vzmet s koeficientom togosti  $k_{10}$ .

$$\frac{1}{k_{eff,r}} = \frac{1}{k_3} + \frac{1}{k_4} + \frac{1}{k_5} + \frac{1}{k_{10}} \quad (87)$$



Slika 49: Model vozlišča z nadomestnimi vzmetmi (P. Može, 2015)  
 Figure 49: Replacement strings nod model (P. Može, 2015)

Pri spojih s čelno pločevino in dvema ali več vrstami vijakov v nategu so osnovne komponente, ki se nanašajo na te vrste vijakov, opisane z nadomestnim togostnim koeficientom  $k_{eq}$ , vezane vzporedno. Določa ga enačba (88).

$$k_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} h_r}{z_{eq}}, \quad (88)$$

kjer so: -  $h_r$ ... razdalja r-te vrste vijakov do središča tlaka

- $k_{eff,r}$ ... efektivni togostni koeficient r-te vrste vijakov, kjer so na ustrezen način upoštevani togostni koeficienti  $k_i$  osnovnih komponent, naštetih v preglednici 8
- $z_{eq}$ ... ekvivalentna ročica

Nadomestno ročico  $z_{eq}$  se določi po izrazu (89):

$$z_{eq} = \frac{\sum_r k_{eff,r} h_r^2}{\sum_r k_{eff,r} h_r} \quad (89)$$

Za določitev rotacijske togosti vozlišča je poleg komponent ob nateznih vrstah vijakov potrebno upoštevati še dve komponenti:

- strižni panel stebra - nadomestna vzmet s koeficientom togosti  $k_1$
- stojina stebra v prečnem nategu - nadomestna vzmet s koeficientom togosti  $k_2$ .

Togostne koeficiente osnovnih komponent vozlišč je se določi z uporabo izrazov, danih v preglednici 8. Našteti so samo koeficienti, ki pridejo v poštev za spoj s podaljšano čelno pločevino.

### 3.3 Rotacijska togost vozlišča steber-prečka

V vijačenih vozliščih s čelnimi pločevinami in z več kot eno vrsto vijakov v nategu se prispevek katerekoli vrste vijakov lahko zanemari ob upoštevanju pravil platične analize. Ni nujno, da je pri izračunu rotacijske togosti in projektne nosilnosti število upoštevanih vrst vijakov enako. Programsko orodje je napisano tako, da so pri določanju rotacijske togosti spoja, upoštevane vse natezne vrste vijakov.

Preglednica 8: Togostni koeficienti osnovnih komponent vozlišč (SIST EN 1993-1-8: str. 95)

Table 8: Stiffness coefficients for basic joint components (SIST EN 1993-1-8: p. 95)

Component	Stiffness coefficient $k_i$	
Column web panel in shear	Unstiffened, single-sided joint, or a double-sided joint in which the beam depths are similar	stiffened
	$k_1 = \frac{0,38 A_{VC}}{\beta z}$	$k_1 = \infty$
	$z$ is the lever arm from Figure 6.15; $\beta$ is the transformation parameter from 5.3(7).	
Column web in compression	unstiffened	stiffened
	$k_2 = \frac{0,7 b_{eff,c,wc} t_{wc}}{d_c}$	$k_2 = \infty$
	$b_{eff,c,wc}$ is the effective width from 6.2.6.2	
Column web in tension	stiffened or unstiffened bolted connection with a single bolt-row in tension or unstiffened welded connection	stiffened welded connection
	$k_3 = \frac{0,7 b_{eff,t,wc} t_{wc}}{d_c}$	$k_3 = \infty$
	$b_{eff,t,wc}$ is the effective width of the column web in tension from 6.2.6.3. For a joint with a single bolt-row in tension, $b_{eff,t,wc}$ should be taken as equal to the smallest of the effective lengths $\ell_{eff}$ (individually or as part of a group of bolt-rows) given for this bolt-row in Table 6.4 (for an unstiffened column flange) or Table 6.5 (for a stiffened column flange).	
Column flange in bending (for a single bolt-row in tension)	$k_4 = \frac{0,9 \ell_{eff} t_{fc}^3}{m^3}$ $\ell_{eff}$ is the smallest of the effective lengths (individually or as part of a bolt group) for this bolt-row given in Table 6.4 for an unstiffened column flange or Table 6.5 for a stiffened column flange; $m$ is as defined in Figure 6.8.	
End-plate in bending (for a single bolt-row in tension)	$k_5 = \frac{0,9 \ell_{eff} t_p^3}{m^3}$ $\ell_{eff}$ is the smallest of the effective lengths (individually or as part of a group of bolt-rows) given for this bolt-row in Table 6.6; $m$ is generally as defined in Figure 6.11, but for a bolt-row located in the extended part of an extended end-plate $m = m_x$ , where $m_x$ is as defined in Figure 6.10.	
Bolts in tension (for a single bolt-row)	$k_{10} = 1,6 A_s / L_b$ $L_b$ is the bolt elongation length, taken as equal to the grip length (total thickness of material and washers), plus half the sum of the height of the bolt head and the height of the nut.	preloaded or non-preloaded

Kadar osna sila  $N_{Ed}$  v priključenem elementu ne presega 5 % projektne nosilnosti  $N_{pl,Rd}$  prečnega prereza tega elementa, se rotacijska togost  $S_j$  vozlišča prečka-steber ali spoja v polju nosilca za upogibne momente  $M_{j,Ed}$ , ki so manjši od projektne upogibne nosilnosti vozlišča  $M_{j,Rd}$ , z zadostno natančnostjo lahko izračuna z izrazom (90).

$$S_j = \frac{Ez^2}{\mu \sum i k_i} \quad (90)$$

kjer so: -  $k_i$ ... togostni koeficient osnovne komponente  $i$   
-  $z$ ... ročica po 6.2.7, SIST EN 1993-1-8 [1]  
-  $\mu$ ... razmerje togosti  $S_{j,ini}/S_j$

Razmerje togosti  $\mu$  se določi po enačbah (91) in (92).

$$\text{- pri } M_{j,Ed} \leq 2/3 M_{j,Rd} \quad \mu = 1 \quad (91)$$

$$\text{- pri } 2/3 M_{j,Rd} < M_{j,Ed} \leq M_{j,Rd} \quad \mu = (1.5 M_{j,Ed} / M_{j,Rd})^\psi, \quad (92)$$

Vrednost koeficienta  $\psi$  za vijachen spoj s čelno pločevino je enak 2.7.

### 3.4 Rotacijska kapaciteta

Pri globalni analizi s togo metodo plastičnih členkov je treba v vozliščih, v katerih se razvijejo plastični členki, potrebno zagotoviti zadostno rotacijsko kapaciteto za razvoj plastičnih členkov.

Za vijacheno vozlišče prečka-steber, pri katerem je za določitev projektne upogibne nosilnosti  $M_{j,Rd}$  merodajna projektna nosilnost panela stojine v strigu, se lahko predpostavi, da ima zadostno rotacijsko kapaciteto za plastično globalno analizo, če velja  $d/t_w \leq 69\epsilon$ .

Da je rotacijska kapaciteta zagotovljena, se lahko predpostavi, če sta izpolnjeni naslednji dve zahtevi:

- a) projektna upogibna nosilnost vozlišča je omejena s projektno nosilnostjo nižje izmed naslednjih dveh komponent:
  - pasnice stebra v upogibu,
  - čelne pločevine nosilca v upogibu.
- b) debelina pasnice stebra in čelne pločevine zadošča pogoju (93):

$$t \leq 0.36 d \sqrt{f_{ub}/f_y}, \quad (93)$$

kjer je  $f_y$  napetost tečenja ustrezne osnovne komponente

Za vozlišče z vijachenim spojem, v katerem je projektna upogibna nosilnost  $M_{j,Rd}$  omejena s projektno strižno nosilnostjo vijakov, se ne sme predpostaviti, da ima zadostno rotacijsko kapaciteto za plastično globalno analizo [1].

Preglednica 9 prikazuje vrednosti premerov vijakov in debelinami pločevin, ki izpolnjujejo pogoj (93).

Preglednica 9: Najmanjša debelina pločevin, ki prepreči preboj vijaka  
 Table 9: Minimum plate thickness which prevents breakthrough of a bolt

NAJVEČJA DEBELINA PASNICE STEBRA IN ČELNE PLOČEVINE [mm]		d [mm]								
		12	16	20	22	24	27	30	33	36
JEKLO PLOČEVIN	TRDNOST VIJAKOV									
S235	4.6	5.6	7.5	9.4	10.3	11.3	12.7	14.1	15.5	16.9
	5.6	6.3	8.4	10.5	11.6	12.6	14.2	15.8	17.3	18.9
	6.8	6.9	9.2	11.5	12.7	13.8	15.5	17.3	19.0	20.7
	8.8	8.0	10.6	13.3	14.6	15.9	17.9	19.9	21.9	23.9
	10.9	8.9	11.9	14.9	16.3	17.8	20.1	22.3	24.5	26.7
S275	4.6	5.2	6.9	8.7	9.6	10.4	11.7	13.0	14.3	15.6
	5.6	5.8	7.8	9.7	10.7	11.7	13.1	14.6	16.0	17.5
	6.8	6.4	8.5	10.6	11.7	12.8	14.4	16.0	17.5	19.1
	8.8	7.4	9.8	12.3	13.5	14.7	16.6	18.4	20.3	22.1
	10.9	8.2	11.0	13.7	15.1	16.5	18.5	20.6	22.7	24.7
S355	4.6	4.6	6.1	7.6	8.4	9.2	10.3	11.5	12.6	13.8
	5.6	5.1	6.8	8.5	9.4	10.3	11.5	12.8	14.1	15.4
	6.8	5.6	7.5	9.4	10.3	11.2	12.6	14.0	15.4	16.8
	8.8	6.5	8.6	10.8	11.9	13.0	14.6	16.2	17.8	19.5
	10.9	7.3	9.7	12.1	13.3	14.5	16.3	18.1	19.9	21.8
S420	4.6	4.2	5.6	7.0	7.7	8.4	9.5	10.5	11.6	12.6
	5.6	4.7	6.3	7.9	8.6	9.4	10.6	11.8	13.0	14.1
	6.8	5.2	6.9	8.6	9.5	10.3	11.6	12.9	14.2	15.5
	8.8	6.0	7.9	9.9	10.9	11.9	13.4	14.9	16.4	17.9
	10.9	6.7	8.9	11.1	12.2	13.3	15.0	16.7	18.3	20.0
S460	4.6	4.0	5.4	6.7	7.4	8.1	9.1	10.1	11.1	12.1
	5.6	4.5	6.0	7.5	8.3	9.0	10.1	11.3	12.4	13.5
	6.8	4.9	6.6	8.2	9.0	9.9	11.1	12.3	13.6	14.8
	8.8	5.7	7.6	9.5	10.4	11.4	12.8	14.2	15.7	17.1
	10.9	6.4	8.5	10.6	11.7	12.7	14.3	15.9	17.5	19.1

## 4 IZDELAVA IN UPORABA PROGRAMA

Programsko orodje je napisano v spletnih jezikih. Za spletne jezike sem se odločil, ker sem imel pred začetkom dela o njih največ znanja. Prednost spletnih jezikov je v tem, da je na spletu na voljo ogromno virov in predstavljenih rešenih primerov za lažje programiranje in reševanje problemov, ki nastanejo v procesu razvoja programskega orodja oziroma aplikacije oziroma spletne strani. Reševanje problema komponente metode poteka analitično, kar pomeni, da za račun ni potrebna velika procesna moč ali zaloga spomina, kot je to potrebno za probleme, ki se rešujejo z numeričnimi metodami. Spletnemu brskalniku novejši operacijski sistemi dodelijo dovolj procesne moči in spomina, da lahko reši (verjetno) kakršenkoli analitični problem. Spletna stran s teče lokalno, kar pomeni, da za uporabo programskega orodja ni potrebna internetna povezava.

Odprtokodna programska oprema je s strani uporabniške skupnosti razvita programska oprema za uporabniško skupnost [12]. Vsi uporabljeni jeziki, knjižnice, ogrodje in razvojna okolja so odprtokodni. Programerski entuziasti konstantno razvijajo odprtokodna orodja in omogočajo ljubiteljskim in profesionalnim programerjem, da razvijajo programske opreme ki jo potrebujejo. S tem pospešujejo razvoj informacijske dobe in rušijo težnje korporacij k monopolizaciji interneta, programske opreme, operacijskih sistemov itn.

V prvem odstavku tega poglavja sem omenil spletne vire, ki omogočajo hitrejši proces razvoja programskih orodij. Iz množice takšnih virov na internetu izstopata spletni strani [w3schools.com](http://w3schools.com) in [stackoverflow.com](http://stackoverflow.com). Na strani [w3schools.com](http://w3schools.com) so na voljo vaje, primeri in opis namenskosti, sintakse, metod posameznega jezika ali knjižnice ali ogrodja; na voljo je vse kar začetnik potrebuje za pristop k razvijanju spletnih strani. Predstavljeni so vsi glavni jeziki, ki jih razvijalec potrebuje za razvoj praktično česarkoli v okviru potreb spletnih strani. Spletna stran [stackoverflow.com](http://stackoverflow.com) je namenjena reševanju problemov, ki nastanejo ob razvoju programske opreme nasploh. Ko se programerju pri razvoju pojavi problem, ga objavi na forum. Ta problem mu potem rešijo in razložijo izkušenejši programerji. Spletna stran [stackoverflow.com](http://stackoverflow.com) ni omejena le na spletne jezike, je pa na voljo največ informacij prav o njih. Pri razvoju svojega programskega orodja praktično sem le redko naletel na problem, ki ga ne bi mogel rešiti z informacijami, ki so na voljo na teh dveh spletnih straneh. Za usposobitev knjižnic sem se zgledoval tudi po domačih spletnih straneh knjižnic.

Programsko orodje sem razvijal v dveh razvojnih okoljih – Netbeans [13] in Notepad++ [24]. Uporabljeni so trije spletni jeziki – HTML, CSS in JavaScript, dve JavaScript knjižnici – oCanvas in jQuery, ter ogrodje za lažje oblikovanje uporabniškega vmesnika – Bootstrap. Velika prednost tega, da je program napisan v spletnih jezikih je v tem da ga je preprosto uporabiti na skorajda katerikoli napravi, ki lahko brska po internetu. Za uporabo je potreben le internetni brskalnik (Internet Explorer, Mozilla Firefox, Google Chrome, Opera...).

Jezika HTML in CSS skrbita za statični prikaz strani. HTML omogoča programerju postavitev tako imenovanih DOM ("document object model") elementov na strani, za izgled strani sem uporabil Bootstrap, tako da se mi eksplicitno z izgledom strani ni bilo potrebno ukvarjati, sestavljeno je iz jezikov HTML, CSS. Bootstrap je narejen za pomoč pri razvoju uporabniških vmesnikov spletnih strani in spletnih aplikacij. Z uporabo ogrodja Bootstrap sem prihranil veliko časa, ki bi ga moral sicer posvetiti detajlom kot je zamik besedila od levega in desnega roba, razmik med vrsticami in podobno. Knjižnico oCanvas.js [14] sem uporabil za izris spoja. Uporabil sem jo prvič in se je izkazala za zelo uporabno in primerno za izris tehnične risbe. JavaScript v ozadju "poskrbi" za celoten račun spoja in za umestitev novih DOM elementov na stran. Število potrebnih DOM elementov za prikaz vseh relevantnih podatkov izračunov in končnih rezultatov je odvisno od števila vrst vijakov in uporabe ojačitev v spoju. Dodajanje elementov s samim jezikom JavaScript ni možno. Za to nalogo sem uporabil knjižnico JQuery.js [15], ki je napisana v jeziku JavaScript, prav za namen manipulacije HTML elementov, animacije in podobno. Spodaj sledijo opisi vseh omenjenih jezikov, knjižnic in

ogrodja z dveh spletnih virov – Wikipedija in domače strani knjižnice oCanvas, ki ni predstavljena na spletni enciklopediji Wikipedija.

HTML (HyperText Markup Language): je standardni označevalni (ang. markup) jezik za izdelavo spletnih strani in spletnih aplikacij. Z jezikoma CSS in JavaScript tvori trojico ključnih tehnologij svetovnega spleta. Spletni brskalnik dobi HTML dokument s spletnega strežnika ali lokalno z naprave, kjer je brskalnik nameščen in ga pretvori v multimedijsko spletno stran. HTML semantično opisuje strukturo spletne strani in vsebuje začetne podatke za izgled dokumenta [16].

```
<!DOCTYPE html>
<html>
<head>
<title>Page Title</title>
</head>
<body>

<h1>This is a Heading</h1>
<p>This is a paragraph.</p>

</body>
</html>
```

Slika 50: Primer kode HTML (<http://www.w3schools.com/html/default.asp>)  
Figure 50: HTML code example (<http://www.w3schools.com/html/default.asp>)

Cascading Style Sheets (sl. kaskadne stilske podloge) poznane pod kratico CSS: je jezik za opis prikaza dokumenta, napisan v označevalnem jeziku. Čeprav je največkrat je uporabljen za nastavitev stila izgleda spletnih strani in uporabniških vmesnikov napisanih v jezikih HTML in XHTML, se jezik lahko uporabi v kateremkoli XML dokumentu. Skupaj s HTML in JavaScript, je CSS ključna tehnologija, uporabljena pri večini spletnih strani. Služi za ustvarjanje vizualno privlačnih spletnih strani in uporabniških vmesnikov aplikacij, ki tečejo na mobilnih telefonih [17].

```
body {
  background-color: lightblue;
}

h1 {
  color: white;
  text-align: center;
}

p {
  font-family: verdana;
  font-size: 20px;
}
```

Slika 51: Primer kode CSS (<http://www.w3schools.com/css/default.asp>)  
Figure 51: CSS code example (<http://www.w3schools.com/css/default.asp>)

JavaScript: je visoko-nivojski (močna abstrakcija od strojnega jezika – koda je za programerja bolj naravna kot strojni jezik, ki je serija števil 0 in 1), dinamični ("skriptni" jezik), netipni (ne razlikuje med tipi spremenljivk), interpretirani (za delovanje napisane kode ni potrebna prevedba programa na strojni jezik) programski jezik. Skupaj z HTML in CSS tvori tri glavne tehnologije vsebinske produkcije svetovnega spleta. Je sestavni del večine spletnih strani, podpirajo ga vsi moderni brskalniki. JavaScript je uporabljen tudi v okoljih, ki niso spletno bazirana, kot so PDF dokumenti in namizni pripomočki ("gadgets") [18].

```
// 10. NOSILNOST SPOJA NA VERTIKALNI STRIG
```

```
var vertStrig_stNateznihVijakov = 0;
for(var i=0; i<steviloNateznihVrstVijakov; i++){
    if(podatki_nosilnosti_nosilnostSpoja_F[i][1] != 0)
        vertStrig_stNateznihVijakov++;
}
vertStrig_stNateznihVijakov = 2*vertStrig_stNateznihVijakov;
var vertStrig_stOstalihVijakov = 2*(parseFloat(document.getElementById("stevilo_vrst_vijakov").value) -
    vertStrig_stNateznihVijakov/2);
var vertStrig_striznaNosilnostVijaka = (0.6*trdnostVijakov*netoPrerezVijaka)/1.25;
if(materialVijakov==10.9)
    vertStrig_striznaNosilnostVijaka = (0.5*trdnostVijakov*netoPrerezVijaka)/1.25;
var nosilnosti_vertikalniStrig_Fvrd =
    (vertStrig_stNateznihVijakov*(0.4/1.4)+vertStrig_stOstalihVijakov)*
    vertStrig_striznaNosilnostVijaka;

document.getElementById("nosilnosti_vertikalniStrig_Fv,rd").innerHTML =
    Math.round(vertStrig_striznaNosilnostVijaka *100)/100;
document.getElementById("nosilnosti_vertikalniStrig_V,rd").innerHTML =
    Math.round(nosilnosti_vertikalniStrig_Fvrd *100)/100;
```

Slika 52: Primer kode JavaScript – račun nosilnosti spoja na vertikalni strig  
Figure 52: JavaScript code example – shear resistance of bolt rows

jQuery: je JavaScript knjižnica, ustvarjena za skriptiranje HTML. JQuery je najbolj priljubljena JavaScript knjižnica v uporabi danes, nameščena je na 65% izmed 10 milijonov najbolj obiskanih spletnih strani na svetu. Sintaksa knjižnice jQuery je prilagojena za navigacijo po dokumentu, izbiranje DOM ("document object model") elementov, ustvarjanje animacij, reakcijo ob dogodkih (pritisek gumba na miški, pritisek na zaslon na dotik...), razvoj Ajax aplikacij in izdelavo vmesnikov [19].

```
$("#tlacna_ojacitev").click(function(){
    if ($("#tlacna_ojacitev_podatki").length){
        $("#tlacna_ojacitev_podatki").empty();
    }
    if(this.checked){
        $("#tlacna_ojacitev_podatki")
            .append(" Debelina pločevine ")
            .append("<input type=number id=debelina_tlacne_ojacitve size=20 step=0.1 min=0 max=50 />")
            .append(" mm");

        prerezPrecke = document.getElementById('profilPrecke').value;
        i = 0;
        var tfPrecke = 0;
        while(podatkiPrerezi[i][0] != prerezPrecke)
            i++;
        tfPrecke = podatkiPrerezi[i][3];

        document.getElementById("debelina_tlacne_ojacitve").value = tfPrecke;
    }
});
```

Slika 53: Primer kode jQuery – dodajanje HTML elementa ob izbiri možnosti tlačne ojačitve stojine stebra  
Figure 53: jQuery code example – HTML element if choosing pressure stiffening for column web

Bootstrap: je del programa, ki je uporabniku viden (ang. front-end). Je ogrodje za oblikovanje spletnih strani in spletnih aplikacij. Vsebuje oblikovne predloge bazirane na jeziki HTML in CSS za obliko besedila, obrazce, gumbe, navigacijske in druge komponente in JavaScript razširitve. V nasprotju z mnogimi drugimi ogrodji, cilja le na razvoj "front-enda" [20].



```
<head>
  <title>Bootstrap Example</title>
  <meta charset="utf-8">
  <meta name="viewport" content="width=device-width, initial-scale=1">
  <link rel="stylesheet" href="https://maxcdn.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.3.7
/css/bootstrap.min.css">
  <script src="https://ajax.googleapis.com/ajax/libs/jquery/1.12.4/jquery.min.js">
</script>
  <script src="https://maxcdn.bootstrapcdn.com/bootstrap/3.3.7/js/bootstrap.min.js">
</script>
</head>
<body>

<div class="container">
  <h1>My First Bootstrap Page</h1>
  <p>This is some text.</p>
</div>

</body>
```

Slika 54: Primer kode z vključenim Bootstrapom  
([http://www.w3schools.com/bootstrap/bootstrap\\_get\\_started.asp](http://www.w3schools.com/bootstrap/bootstrap_get_started.asp))

Figure 54: Example of code with included Bootstrap  
([http://www.w3schools.com/bootstrap/bootstrap\\_get\\_started.asp](http://www.w3schools.com/bootstrap/bootstrap_get_started.asp))

oCanvas: je JavaScript knjižnica narejena za namen razvoja HTML5 elementa canvas (platno). Namesto dela s posameznimi piksli, se z uporabo knjižnice dela z objekti (črta, kvadrat, trikotnik...) [23]. HTML canvas je HTML element, ki se uporablja za risanje grafik z JavaScriptom.

```
// RISANJE ČELNE PLOČEVINE

var startCelnaLevo = (1-sirinaCelnePlocevine/bStebra)*
  (startSteberDesno-startSteberLevo)/2 + startSteberLevo;
var startCelnaDesno = (sirinaCelnePlocevine/bStebra)*
  (startSteberDesno-startSteberLevo)/2 + (startSteberLevo+startSteberDesno)/2;
var startCelnaZgoraj = (startSteberSpodaj+startSteberZgoraj)/2 -
  (visinaCelnePlocevine/bStebra)*(startSteberDesno-startSteberLevo)/2;
var startCelnaSpodaj = (startSteberSpodaj+startSteberZgoraj)/2 +
  (visinaCelnePlocevine/bStebra)*(startSteberDesno-startSteberLevo)/2;

var levaMejaCelnePlocevine = canvas.display.line({
  start: { x: startCelnaLevo, y: startCelnaZgoraj },
  end: { x: startCelnaLevo, y: startCelnaSpodaj },
  stroke: "1px #000"
});
var desnaMejaCelnePlocevine = canvas.display.line({
  start: { x: startCelnaDesno, y: startCelnaZgoraj },
  end: { x: startCelnaDesno, y: startCelnaSpodaj },
  stroke: "1px #000"
});
var zgornjaMejaCelnePlocevine = canvas.display.line({
  start: { x: startCelnaLevo, y: startCelnaZgoraj },
  end: { x: startCelnaDesno, y: startCelnaZgoraj },
  stroke: "1px #000"
});
var spodnjaMejaCelnePlocevine = canvas.display.line({
  start: { x: startCelnaLevo, y: startCelnaSpodaj },
  end: { x: startCelnaDesno, y: startCelnaSpodaj },
  stroke: "1px #000"
});
canvas.addChild(levaMejaCelnePlocevine);
canvas.addChild(desnaMejaCelnePlocevine);
canvas.addChild(zgornjaMejaCelnePlocevine);
canvas.addChild(spodnjaMejaCelnePlocevine);
```

Slika 55: Primer uporabe knjižnice oCanvas – izris čelne pločevine na canvas ("platno")  
Figure 55: Use of oCanvas library example – drawing of end plate onto canvas

## 4.1 Opis grafičnega vmesnika in uporabe programskega orodja

Grafični vmesnik je v celoti prikazan na domači strani programskega orodja, ki nosi naslov index.html. Uporaba programa je zelo enostavna. Uporabnik vnese vse potrebne podatke o elementih spoja. Poleg tega mora za izris in izračun spoja pritisniti 3 gumba.

Število podatkov, ki jih mora uporabnik vnesti v program, je odvisno od konfiguracije spoja. Minimalno število podatkov (spoj brez ojačitev), ki jih mora za opis elementov spoja uporabnik vnesti v program, je 13. Potrebno je vnesti podatke o priključenih elementih (Slika 56) in o ostalih elementih spoja ki so: čelna pločevina, vijaki in zvari, s katerimi je čelna pločevina pritrjena na nosilec oziroma prečko (Slika 57). V sledečih podpoglavjih je prikazan in opisan potek podaje vseh elementov spoja.

### 4.1.1 Priključeni elementi

The screenshot shows two sections for data input. The first section is for a column, labeled 'STEBER'. It contains two dropdown menus: 'Tip prereza:' with 'HEB400' selected, and 'Kvaliteta jekla:' with 'S235' selected. The second section is for a beam, labeled 'PREČKA'. It also contains two dropdown menus: 'Tip prereza:' with 'IPE600' selected, and 'Kvaliteta jekla:' with 'S235' selected.

Slika 56: Vnos podatkov za priključene elemente  
Figure 56: Data input for column and beam

Za prečke in prereze je možno uporabiti vse dimenzije tipskih profilov I, IPE, HEA, HEB in HEM. Možno je uporabiti materiale S235, S275, S355, S420 in S460. Geometrijo profilov sem črpal iz baze profilov, podane v viru [9].

#### 4.1.2 Čelna pločevina, vijaki in zvari

##### ČELNA PLOČEVINA

Višina:  mm

Širina:  mm

Debelina:  mm

Trdnostni razred jekla:

(\* čelna pločevina mora biti šibki element spoja - trdnostni razred jekla naj bo enak ali nižji kot pri stebru in prečki)

##### VIJAKI

Število vrst vijakov:

(\* nevtralna os v spoju poteka skozi težišče spodnje pasnice prečke; k upogibni nosilnosti spoja pripomorejo le vrste vijakov, ki... vrste vijakov pod spodnjo pasnico prečke pripomorejo le k strižni odpornosti spoja)

(\*\* program samodejno upošteva natezno vrsto vijakov ob tlačni pasnici prečke; če tega ne želiš, vpiši 1 vrsto vijakov manj)

Tip vijakov:  Prednapeti vijaki

Trdnostni razred vijakov:

##### ZVARI

Debelina zvara med stojino prečke in čelno pločevino:  mm

Debelina zvara med pasnico prečke in čelno pločevino:  mm

(\* program računa z vrednostmi, ki jih podaš; zvari v momentnem spoju morajo biti polnonosilni)

Slika 57: Vnos podatkov o čelni pločevini, vijakih in zvarih

Figure 57: Data input for end plate, bolts and welds

Pri vnosu podatkov za čelno pločevino in zvar, morajo biti vnesene dimenzije smiselne. Program vnesenih dimenzij ne preverja. Pri podajanju čelne pločevine, je prav tako kot za priključene elemente možna uporaba konstrukcijskih jekel S235, S275, S355, S420 in S460. Spoj ni zasnovan pravilno, če je za čelno pločevino uporabljen močnejši material, kot za kateregakoli od priključenih elementov (steber, prečka).

Za podajanje vijakov mora uporabnik vnesti 3 podatke – število vrst vijakov, trdnosti razred vijakov in obkljukati uporabo vijakov za prednapenjanje. Seznam standardov o vijakih podaja vir [21]. Na voljo so naslednji tipi vijakov: M12, M16, M20, M22, M24, M27, M30 in M36. Možna je izbira naslednjih trdnostnih razredov vijakov: 4.6/4.8, 5.6/5.8, 6.8, 8.8, 10.9. Razlika med običajnimi vijaki in vijaki za prednapenjanje je v geometriji matic in glav vijakov, kar se malenkostno pozna pri računu togosti spoja in pri vrednostih rezultatov nosilnosti pasnic nadomestnega T-elementa po alternativni metodi.

Dimenzije zvarov morajo biti takšne, da je zvar polno nosilen. Program ne preverja dimenzij zvarov, ampak računa z vrednostmi, ki jih poda uporabnik.

#### 4.1.3 Ojačitve

Za bolj komplicirane konfiguracije spoja je potrebno vnesti še podatke o ojačitvah. Na strani stebra so možne 3 ojačitve. In sicer ojačitev stojine stebra v tlaku (tlačna ojačitev), ojačitev stojine stebra v nategu (natezna ojačitev) in ojačitev strižnega panela stebra. Na strani prečke je možna ojačitev prečke z vuto. Na strani čelne pločevine je možna uporaba ojačitvenega rebra. Slika 58 prikazuje vnos podatkov za vse naštetje ojačitve.

## OJAČITVE NA STRANI STEBRA

 tlačna ojačitevDebelina pločevine  mm natezna ojačitevDebelina pločevine  mm strižni panel enostranska ojačitev (debelina ojačitve je enaka debelini stojine stebra; oz takšne debeline, da je izpolnjen pogoj... dvostranska ojačitev (debelini ojačitev sta enaki debelini stojine stebra; oz takšnih debelin, da je izpolnjen pogoj...

## OJAČITEV PREČKE - VUTA

 vuta

(\* program kljub vuti upošteva nevtralno os v spoju v težišču tlačene pasnice)

(\*\* na sliki je vuta prikazano z belo barvo simbolično, v računu je upoštevana spodaj vnesena vrednost višine vute)

(\*\*\*) v računu je vuta upoštevana, kot da je izrezana iz elementa, ki je po prerezu in materialu enak prečki)

(\*\*\*) pri uporabi vute je potrebno upoštevati modificirano upogibno obremenitev spoja:  $M_{mod,ed} = M_{ed} - N_{ed} \cdot h$  (Ned...  
razdalja med težiščem prečke in pasnico vute na mestu vpjetja))Višina vute:  mm

## OJAČITEV ČELNE PLOČEVINE - REBRO

 rebro mm

(\* debelina rebra mora biti enaka debelini stojine nosilca ali večja)

(\*\* na sliki je rebro prikazano simbolično s temno sivo barvo)

Slika 58: Vnos podatkov o ojačitvah

Figure 58: Data input for stiffeners

**Tlačna in natezna ojačitev:** tlačna ojačitev je pozicionirana na višini težišča tlačene pasnice, natezna ojačitev pa na višini težišča natezne pasnice. Pozicija tlačne ojačitve se ob uporabi vute premakne v težišče pasnice vute. Dolžina natezne in tlačne ojačitve je enaka višini pasnice stebra, ni možnosti uporabe delnih ojačitev. Širini obeh ojačitev znašata polovico širine stebra, od katere je odšteta še polovica širine stojine stebra in zaokrožitev profila med stojino in pasnico. Ob primeru sočasne uporabe tlačne in/ali natezne ojačitve skupaj z ojačitvijo strižnega panela, program preveri ali je debelina strižne ojačitve večja od zaokrožitve profila stebra. Če to drži temu primerno zmanjša širino natezne in/ali tlačne ojačitve. Uporabnik torej izbere le debelino ojačitve, ki je pred nastavljena na debelino pasnic prečke. Ponovno tu program ne preverja vnesenih podatkov s strani uporabnika. Pri vnosu debeline tlačne ojačitve, ki je manjša od pasnice prečke, mora uporabnik preveriti kompaktnost tlačne ojačitve v tlaku. Če uporabnik pred nastavljenimi vrednostmi ne spreminja, kontrola kompaktnosti ni potrebna, saj so pasnice vseh tipskih profilov v tlaku v 1. razredu kompaktnosti (in s tem tudi ploščica tlačne ojačitve, če je enake debeline kot pasnica prečke).

**Strižni panel:** pri ojačitvi strižnega panela je možna izbira enostranske ali dvostranske ojačitve. Razlika med izbira je v tem, da enostranska ojačitev povečuje nosilnost stojine stebra v tlaku in v nategu za 50%, dvostranska pa za 100%. Dodatna nosilnost panela stojine stebra zaradi ojačitve, je enaka za enostransko in dvostransko ojačitev. Program po standardu SIST EN 1993-1-8 [1] samodejno upošteva, da je ojačitvena pločevina iz enakega materiala kot steber. Program upošteva da je debelina ojačitve enaka debelini stojine stebra oziroma da je izpolnjen pogoj  $40\epsilon_s$ . Program upošteva da je širina ojačitvene ploščice enaka širini stebra do zaokrožitve.

Program preveri tudi kompaktnost panela stebra v strigu. Če stojina ni kompaktna (npr. pri visokih HEA prerezih iz jekel visokih trdnosti), upošteva zmanjšanje strižnega prereza stojine po standardu EN 1993-1-5 [22]. Enačba pogoja za dolžino ojačitvenih ploščic je podana v poglavju o ojačitvah, program te dolžine ne računa.

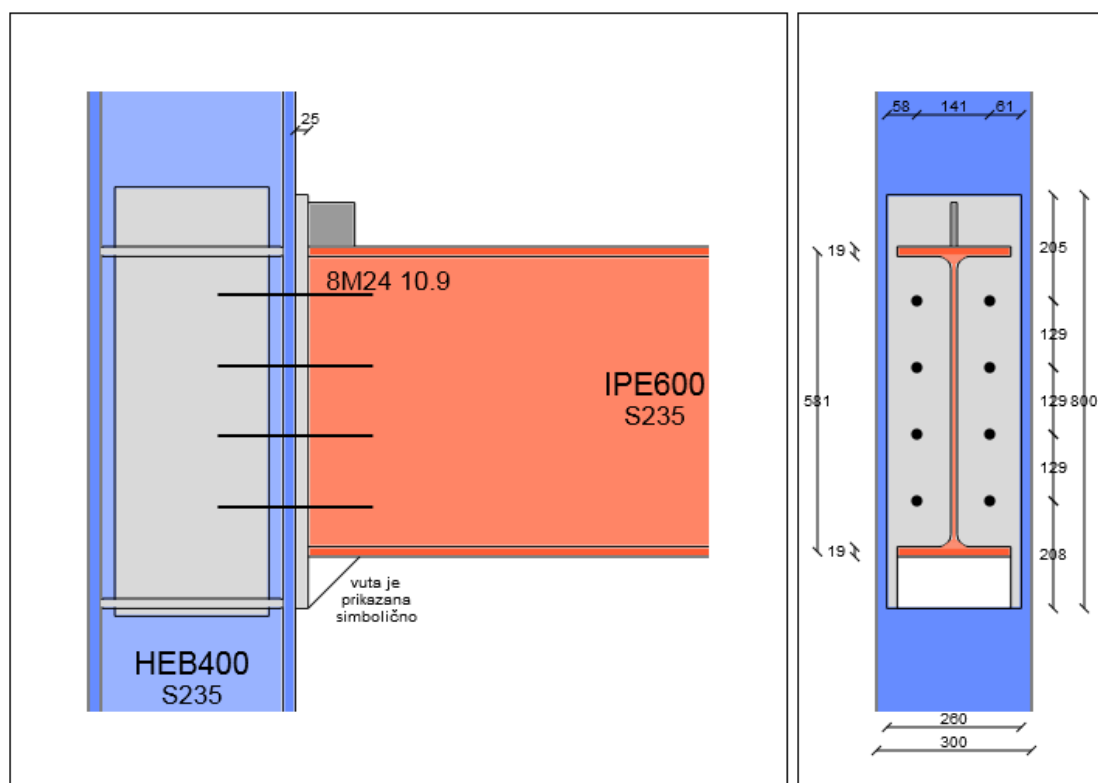
VUTA: ob uporabi vute je potrebno vnesti le podatek o višini vute. Standard SIST EN 1993-1-8 [1] predpisuje, da je naklonski kot med vuto in prečko manjši ali enak kotu  $45^\circ$ , vendar to za delovanje programa ni pomembno. Naklonski kot med vuto in prečko vpliva na položaj nevtralne osi v spoju. Programsko orodje pa na varni strani ohranja ročico spoja v težišču tlačene pasnice prečke. Tu je zelo pomembna razlika s programom SCIA Engineer [4], saj SCIA prestavi nevtralno os v spodnji konec vute. To je zelo nevarno, saj se za strme vute nevtralna os spusti kvečjemu za polovico višino vute, ne pa za njeno celotno višino. Prestavitev nevtralne osi v spodnji konec vute lahko na nevarni strani precej poveča upogibno nosilnost spoja. Program predpostavi, da je vuta izrezana iz prereza osnovnega nosilca in je zato iz enakega materiala in enakih dimenzij stojine in pasnice kot osnovni prerez. Pri računu upogibne nosilnosti z vuto ojačenega nosilca program zanemari prispevek spodnje pasnice nosilca. Uporaba vute pomeni, da je potrebno modificirati izračunani projektni upogibni moment v prečki na mestu spoja.

REBRO: za uporabo ojačitvenega rebra v spoju je potrebno le obkljukati okence ob napisu rebro. Uporabnik vnese željeno debelino rebro, ki mora biti enaka ali večja od debeline stojine stebra, program vnese vrednosti ne preverja. Pred nastavljen je vrednost enaka debelini stojine nosilca.

OPOMBA: pri poljih za obkljukanje je potrebno paziti ali je pod okencem izpisan komentar ali ne. Ob osvežitvi strani, si namreč brskalnik (to je odvisno od nastavitve brskalnika) lahko zapomni izbiro uporabnika od prej (stanja pred osvežitvijo strani). Če pod obkljukanim okencem ni komentarja, to pomeni, da je kljukica ostala še iz časa pred osvežitvijo strani in izbrana opcija v izračunu ne bo upoštevana. Dodatna kontrola upoštevanja obkljukanja polj je tudi skica. Skica se mora ujemati z vnesenimi podatki.

Vse opisane ojačitve so prikazane na sliki 59. Rebro in vuta program izriše simbolično, vsi ostali elementi spoja se izrišejo v merilu. Vse ojačitve na strani stebra so izrisane s svetlo sivo barvo, rebro je izrisano s temno sivo barvo, vuta pa z belo barvo.

SKICA:



Slika 59: Izris vseh ojačitev v programskem orodju KMrup  
Figure 59: Picture of all stiffeners by the programming tool KMrup

#### 4.1.4 Ostali podatki za vnos

Ostali podatki, za vnos so: osna in prečna sila v prečki, metoda računa, podatki za račun komponente stojine stebra v prečnem tlaku in podatki za račun togosti spoja. Vsak izmed teh podatkov modificira račun posameznih komponent spoja, podatki za račun togosti spoja vplivajo na rezultate togosti spoja. Vnos ostalih podatkov prikazuje slika 60.

OSNA IN PREČNA SILA V PREČKI

Osna sila:  kN

(\* če je sila tlačna, vnosi vrednost z negativnim predznakom)  
(\*\* če osna sila presega 5% tlačne/natezne nosilnosti prečke, račun togosti in nosilnosti spoja ni pravi (glej...))

Prečna sila:  kN

METODA RAČUNA  $F_{t,rd}$

Alternativna metoda

PODATKI ZA RAČUN KOMPONENTE STOJINA STEBRA V PREČNEM TLAKU

Transformacijski parameter beta ( $0 \leq \beta \leq 2$ )

Redukcijski faktor  $k_{wc}$  ( $1 \leq k_{wc} \leq 1.7$ )

PODATEK ZA RAČUN TOGOSTI SPOJA

Delež obremenitve spoja glede na njegovo nosilnost ( $0 \leq M_{j,ed}/M_{j,rd} \leq 1.0$ )

Dolžina prečke  m

Slika 60: Vnos ostali podatkov v programsko orodje KMrup  
Figure 60: Input of the rest of the data into the programming tool KMrup

OSNA IN PREČNA SILA V PREČKI: če je nivo prečne sile v prečki visok, je potrebno upoštevati M-V in reducirati upogibno nosilnost, kar vpliva na nosilnost pasnice in stojine prečke v tlaku. Osna sila v prečki pomembno vpliva na račun ravnotežja v spoju in s tem na samo nosilnost spoja. Poleg ravnotežja osna sila vpliva tudi na 3 komponente: stojina stebra v tlaku, panel stojine stebra v strigu ter tlak v stojini in pasnici prečke (glej eno od prejšnjih poglavij, kjer je to natančno opisano). Standard SIST EN 1993-1-8 [1] pravi, da v primeru, če osna sila v prečki presega 5 % osne nosilnosti, potem vpliva osne sile ni potrebno upoštevati- V nasprotnem primeru je potrebno upoštevati interakcijo med upogibom in osno silo. Program nivoja osne sile glede na nosilnost prečke ne preverja, temveč računa s podanimi vrednostmi. Za tlačno silo je potrebno vnesti vrednost z negativnim predznakom. Za obe sili sta v programskem orodju pred nastavljeni vrednosti 0 kN.

METODA RAČUNA  $F_{t,rd}$ : uporaba možnosti "Alternativna metoda računa  $F_{t,rd}$ " upošteva enačbo (4) za projektno nosilnost  $F_{T,I,Rd}$  pasnic nadomestnega T-elementa.

PODATKI ZA RAČUN KOMPONENTE STOJINA STEBRA V TLAKU: za račun komponente stojine stebra v tlaku sta potrebna podatka transformacijski parameter  $\beta$  in redukcijski faktor  $k_{wc}$ . Za obe vrednosti je v programskem orodju pred nastavljeni vrednosti 1. Oba faktorja sta predstavljena v enem izmed prejšnji poglavij. V običajnih pogojih je vrednost obeh faktorjev 1 (SIST EN 1993-1-8 [1]).

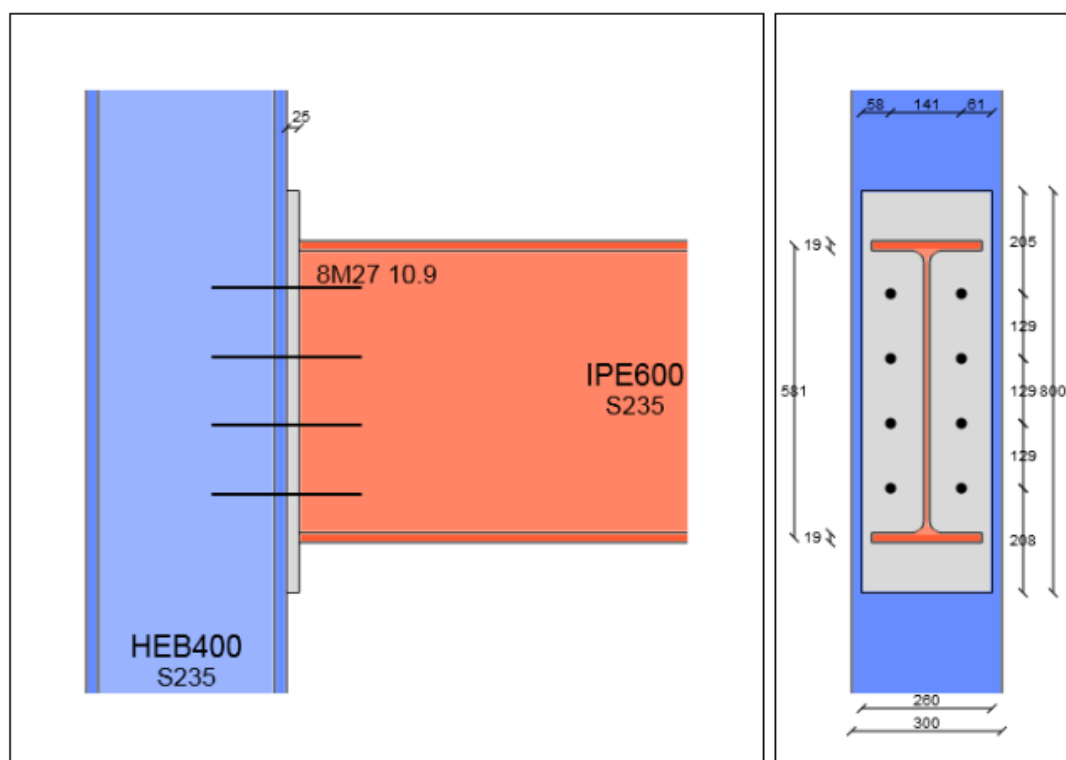
PODATEK ZA RAČUN TOGOSTI SPOJA: za določitev sekantne rotacijske togosti spoja je potreben podatek o deležu obremenitve spoja glede na njegovo nosilnost. Za umestitev spoja glede na njegovo togost (nominalno členkast spoj / delno togi spoj / togi spoj) je potreben podatek o dolžini prečke.

#### 4.1.5 Gumbi NARIŠI, POPRAVI POZICIJE VIJAKOV in PORAČUNAJ PODANI SPOJ

Za izris in izračun spoja je potrebno pritisniti 3 gumbе. Ti gumbi so okvirjeni z modro barvo in vizualno izstopajo. Prvi izmed 3 gumbov, je gumb NARIŠI. Ko uporabnik vnese podatke o elementih spoja se s pritiskom gumba NARIŠI izriše podani spoj (Slika 61). Gumb NARIŠI se nahaja tik nad prostorom za izris slike. Če uporabnik pritisne na gumb NARIŠI preden je definiral spoj, program ne deluje.

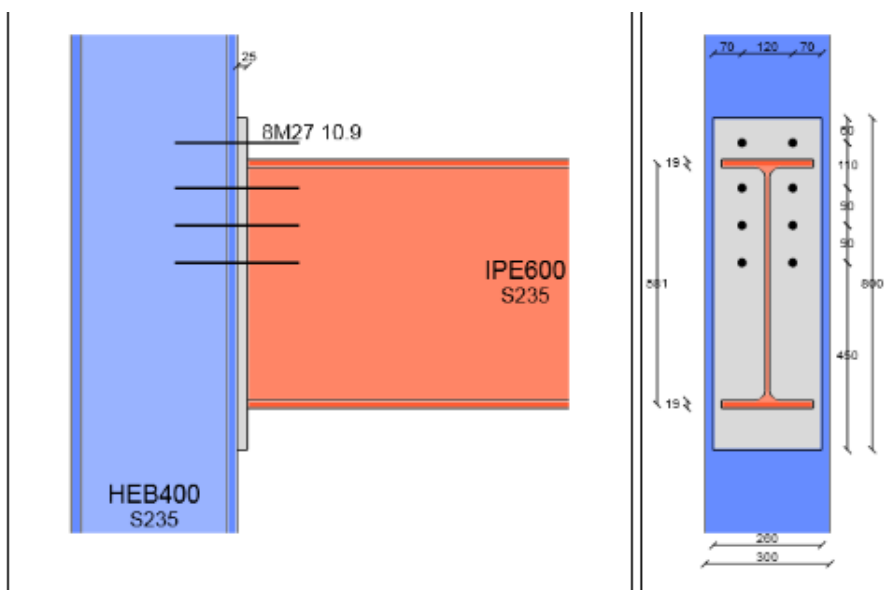
NARIŠI

SKICA:



Slika 61: Gumb NARIŠI  
Figure 61: Button NARIŠI (draw)

Po pritisku gumba NARIŠI program izriše skico spoja. Program izbrano število vrst vijakov razporedi enakomerno na razdalji višine stojine prečke. Sledi vnos naslednje serije podatkov, ki so razdalje med vrstami vijakov, razdalja med zgornjim robom pločevine in 1. vrsto vijakov, ter vodoravna razdalja med robom čelne pločevine in vrsto vijakov (to je razdalja med levim robom čelne pločevine in levo navpično vrsto vijakov, ki je enaka razdalji med desnim robom čelne pločevine in desno navpično vrsto vijakov) – Slika 62. S pritiskom gumba POPRAVI POZICIJE VIJAKOV program na sliki popravi pozicije vijakov in shrani vnesene podatke. Gumb se nahaja pod polji za vnos razdalj vijakov (slika 62). Nato mora pritisniti še zadnji modri gumb, ki nosi napis PORAČUNAJ PODANI SPOJ. Ta gumb se nahaja tik pod gumbom POPRAVI POZICIJE VIJAKOV (Slika 62).



## NAVPIČNE RAZDALJE MED VIJAKI:

(\* nad natezno pasnico prečke je lahko pozicionirana največ 1 vrsta vijakov)

Razdalja med zgornjim robom čelne pločevine in 1. vrsto vijakov:  mmRazdalja med 1. in 2. vrsto vijakov:  mmRazdalja med 2. in 3. vrsto vijakov:  mmRazdalja med 3. in 4. vrsto vijakov:  mm

## VODORAVNE RAZDALJE MED VIJAKI:

Vodoravna razdalja med robom čelne pločevine in vrsto vijakov:  mm

POPRAVI POZICIJE VIJAKOV

PORAČUNAJ PODANI SPOJ

Slika 62: Gumba 'popravi pozicije vijakov' in 'poračunaj podani spoj'

Figure 62: 'Popravi pozicije vijakov' (modify bolt positions) and 'poračunaj podani spoj' (calculate defined joint) buttons

Ob pritisku gumba PORAČUNAJ PODANI SPOJ se pod napisom REZULTATI izpiše celoten izpis računa Programskega orodja. Napis rezultati se nahaja pod razdelitveno vodoravno črto. Razdelitvena črta pa se nahaja tik pod gumbom pod modrim gumbom PORAČUNAJ PODANI SPOJ (Slika 63).



#### VODORAVNE RAZDALJE MED VIJAKI:

Vodoravna razdalja med robom čelne pločevine in vrsto vijakov:  mm

POPRAVI POZICIJE VIJAKOV

PORAČUNAJ PODANI SPOJ

REZULTATI:

#### 2.) GEOMETRIJA NADOMESTNIH T ELEMENTOV

2.1) T ELEMENT NA STRANI STEBRA [mm]:

P: 120

m: 31.65

e (steber): 90

e (čelna pločevina): 70

e: 70

e1: 60

n: 39.56

nmin: 39.56

2.2) T ELEMENT NA STRANI PREČKE [mm]:

P: 120

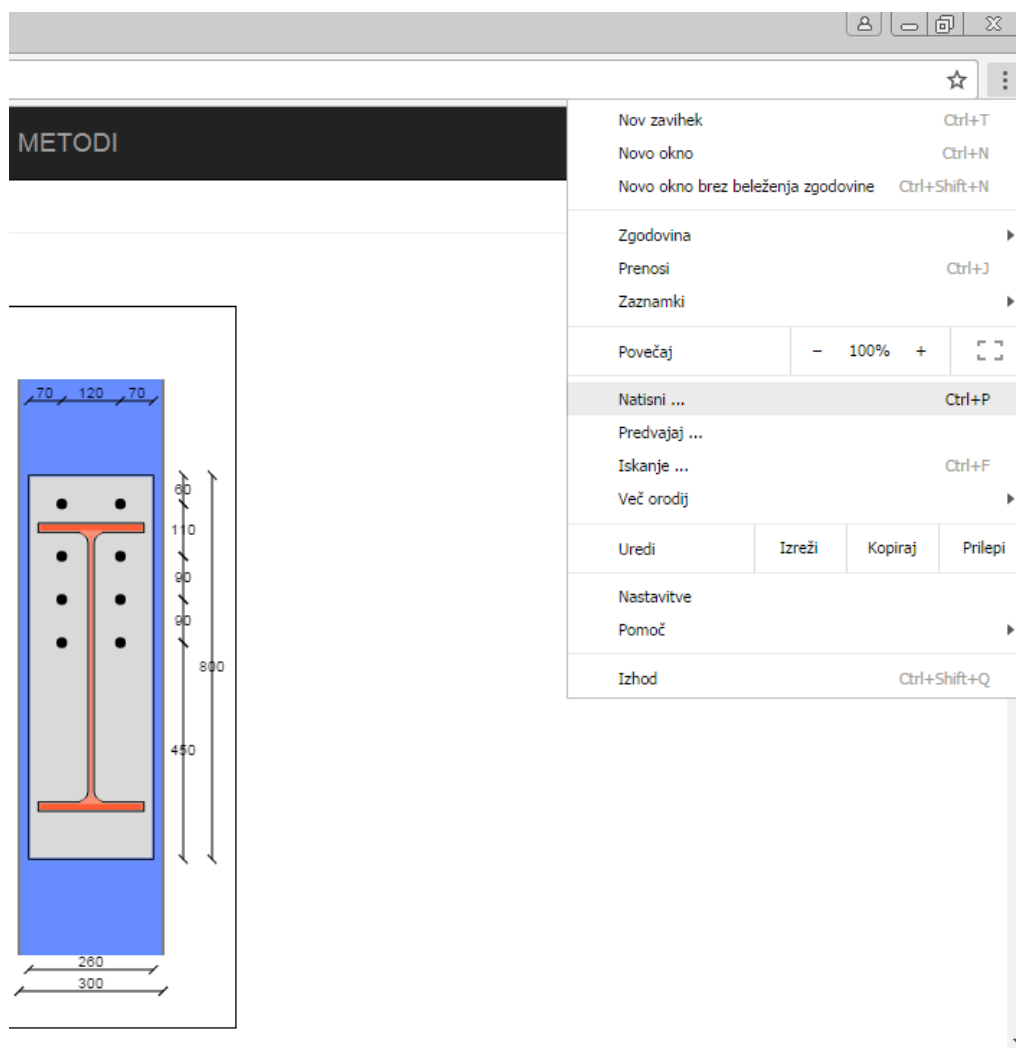
•  
• (se nadaljuje)  
•

Slika 63: Izpis rezultatov

Figure 63: Results output

#### 4.1.6 Izpis rezultatov v datoteko PDF

Izpis rezultatov omogočajo novejšje različice brskalnikov. Možnost ustvarjanja PDF datoteke, v brskalniku prikazane vsebine, se po navadi nahaja v razdelku nastavitve brskalnika. Brskalniki pri nastavitvah tiskanja uporabniku omogočajo izbiro oddaljenosti teksta od roba, nastavitve glave in noge dokumenta in podobno. Slika 64 prikazuje, izbiro možnosti natisni v brskalniku Google Chrome.



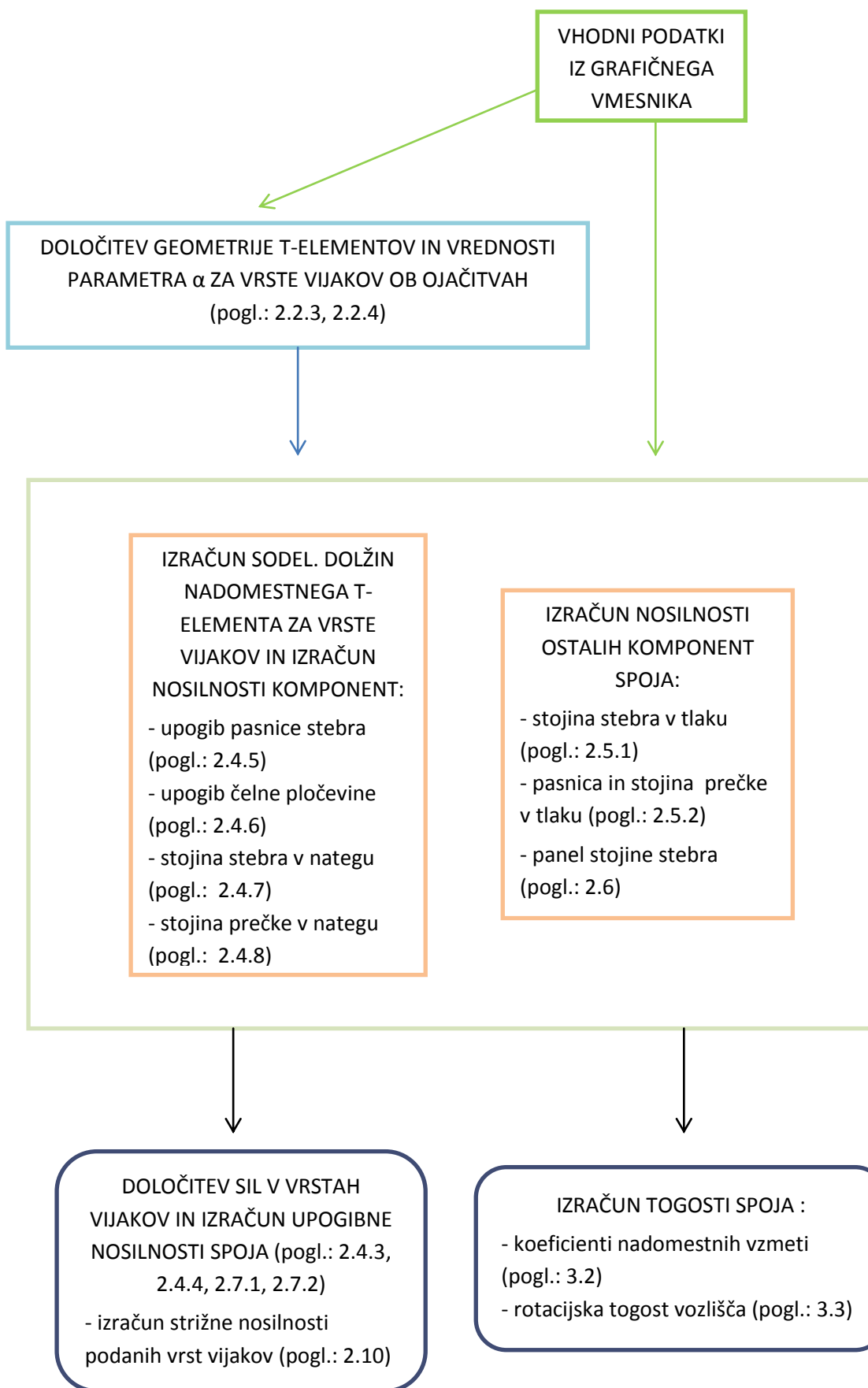
Slika 64: Izbira možnosti natisni v brskalniku Google Chrome  
Figure 64: Picking options natisni (print) in Google Chrome browser

## 4.2 Algoritem programa

Algoritem računa spoja po komponenti metodi je napisan v podobnem zaporedju, kot komponentno metodo opisuje 2. poglavje tega magistrskega dela.

Podatki iz grafičnega vmesnika se prenesejo v datoteko javascript, kjer se v logičnem zaporedju opravijo vsi potrebni izračuni za določitev nosilnosti posameznih komponent. Potem se določi natezne sile v vrstah vijakov in na koncu določi upogibno nosilnost ter rotacijsko togost spoja

Pri pomembnejših izračunih programsko orodje pod razdelilno črto izpiše vmesne rezultate na spletno stran, ki ločuje rezultate od polj za vnos podatkov o spoju. V tem poglavju je grafično predstavljen algoritem, ki opravi vse potrebne izračune. Algoritem je po iztočnicah v programski kodi predstavljen na naslednji strani.



#### 4.2.1 Določitev parametra $\alpha$

Če spoj po komponentni metodi računamo peš se vrednost parametra preprosto odčita iz slike 21, ki izvira iz SIST EN 1993-1-8 [1]. Programska koda seveda ne more čitati vrednosti iz tabele na način kot to počne človek. Za vnos parametra  $\alpha$  v programsko kodo je potreben drugačen pristop.

Krivulje vrednosti parametra  $\alpha$  v odvisnosti od parametrov  $\lambda_1$  in  $\lambda_2$  so določene empirično. Obstajajo pa enačbe, ki opisujejo potek teh krivulj. V virih na katere sem se opiral pri pisanju programskega orodja in magistrskega naloge sem zasledil dva seta enačb, ki opisujejo te krivulje. Prvega podaja vir [7]. V tem viru so podane enačbe (94) – (96), ki so navedene spodaj.

Za dano vrednost parametra  $\alpha$ , v območju od  $\alpha=8$  do  $\alpha=4.45$ , je ravni del krivulje vrednosti  $\lambda_1$  podan z enačbo (93):

$$\lambda_{1,\text{lim}} = \frac{1.25}{(\alpha - 2.75)} \quad (94)$$

Najmanjšo vrednost parametra  $\lambda_2$  na tem ravnem delu krivulje podaja enačba (94):

$$\lambda_{2,\text{lim}} = \frac{\alpha \lambda_{1,\text{lim}}}{2} \quad (95)$$

Pod mejo  $\lambda_{2,\text{lim}}$  se vrednost parametra  $\lambda_1$  določi po enačbi (95):

$$\lambda_1 = \lambda_{1,\text{lim}} + (1 - \lambda_{1,\text{lim}}) \left( \frac{(\lambda_{2,\text{lim}} - \lambda_2)}{\lambda_{2,\text{lim}}} \right)^{0.185\alpha^{1.785}} \quad (96)$$

Najprej sem se problema hotel lotiti z odčitavanjem vrednosti za vse kombinacije parametrov  $\lambda_1$  in  $\lambda_2$  za vrednosti parametra  $\alpha$  od 8 do 4.45. Vendar je kombinacij preveč in tega ne bi uspel opraviti v doglednem času.

V priročniku SCIA Engineer [23] je opisan algoritem, ki z iteriranjem poišče takšno vrednost parametra  $\alpha$ , da ta ustreza vrednostim parametrov  $\lambda_1$  in  $\lambda_2$ . Tako sem v programsko orodje vnesel ta algoritem. V priročniku je enačba (96) podana nekoliko drugače, povzema jo enačba (97).

$$\lambda_1 = \lambda_{1,\text{lim}} + (1 - \lambda_{1,\text{lim}}) \left( \frac{(\lambda_{2,\text{lim}} - \lambda_2)}{\lambda_{2,\text{lim}}} \right)^{\frac{\alpha}{\sqrt{2}}} \quad (97)$$

V algoritem za določanje parametra  $\alpha$  sem vstavil obe enačbi, (96) in (97). Izkazalo se je da enačba (97) podaja vrednosti, ki se bolje ujemajo z grafikonom v SIST EN 1993-1-8 tako, da je v programskem orodju uporabljena ta enačba. Slika 65 prikazuje določitev parametra  $\alpha$  za vrsto pod natezno pasnico, kot je definirana v programskem orodju.

```
while(alfa_vrstaPodNatezno_lambda1kontrola != lambda1_2decimalki_vrstaPodNatezno){
    alfa_vrstaPodNatezno_lambda1zvezdica = 1.25/(alfa_vrstaPodNatezno-2.75);
    alfa_vrstaPodNatezno_lambda2zvezdica = (alfa_vrstaPodNatezno*alfa_vrstaPodNatezno_lambda1zvezdica)/2;
    if(lambda2_2decimalki_vrstaPodNatezno<alfa_vrstaPodNatezno_lambda2zvezdica){
        alfa_vrstaPodNatezno_lambda1kontrola = alfa_vrstaPodNatezno_lambda1zvezdica +
            (1-alfa_vrstaPodNatezno_lambda1zvezdica)*
            Math.pow((alfa_vrstaPodNatezno_lambda2zvezdica-
                lambda2_2decimalki_vrstaPodNatezno)/
                alfa_vrstaPodNatezno_lambda2zvezdica,
                alfa_vrstaPodNatezno/Math.sqrt(2));
    }
    else alfa_vrstaPodNatezno_lambda1kontrola = alfa_vrstaPodNatezno_lambda1zvezdica;
    alfa_vrstaPodNatezno_lambda1kontrola = Math.round(alfa_vrstaPodNatezno_lambda1kontrola *100) /100;
    if(alfa_vrstaPodNatezno_lambda1kontrola == lambda1_2decimalki_vrstaPodNatezno) break;
    else alfa_vrstaPodNatezno = alfa_vrstaPodNatezno+0.01;
}
```

Slika 65: Algoritem za določitev parametra  $\alpha$  za vrsto vijakov pod natezno pasnico

Figure 65: Algorithm for calculation of  $\alpha$  parameter

### **4.3 Omejitve programskega orodja**

Programsko orodje pravilno računa za največ 9 vrst vijakov. Omejitev se pojavi pri 10. vrsti, saj je koda za prepoznavo posamezne vrste v skupini vrst vijakov napisana glede na ime te posamezne vrste. Vrste vijakov od 1 do 9 imajo enoznakovno ime, vrste od 10 do 99 pa dvoznakovno. 10. vrsta vijakov je tako za programsko kodo zopet vrsta 1 in od tod vse nadaljnje napake in na koncu nesmiselnost rezultatov za skupine vrst vijakov, katerih del je 10. vrsta vijakov.

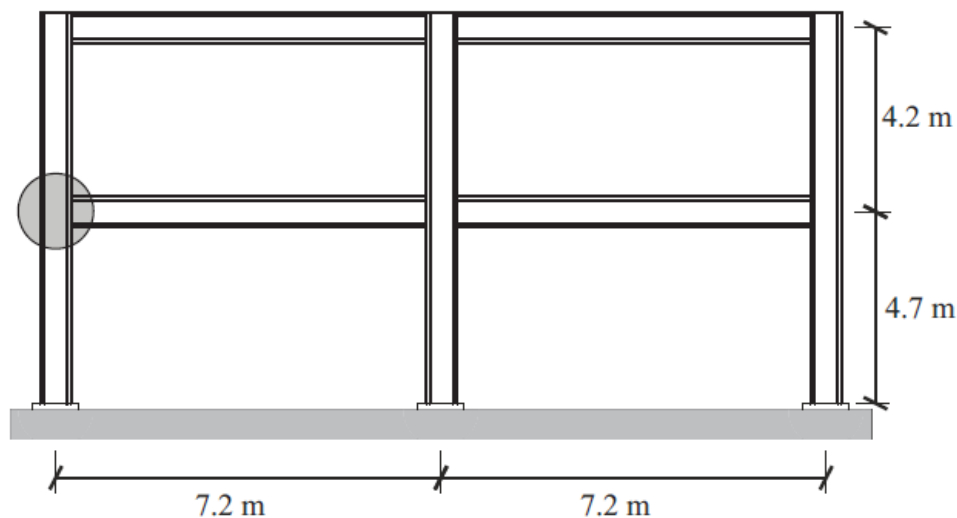
Lahko bi prilagodil kodo, da bi program pravilno poračunal tudi spoje z 10 in več vrstami vijakov, a zato ni potrebe. S poskušanjem sem ugotovil, da se tudi pri spojih s priključenimi elementi največjih možnih tipskih profilov in kvalitete jekla S460, natezno aktivira največ 5-6 vrst vijakov.

## 5 KONTROLA PRAVLNOSTI DELOVANJA PROGRAMSKEGA ORODJA KMrup

Delovanje programskega orodja sem preizkusil z dvema viroma, ki prikazujeta račun dveh spojev po komponentni metodi. Konfiguracijo spoja podanega v viru [2] sem preveril še s komercialnim programom SCIA Engineer [4]. SCIA med drugim omogoča račun spoja po komponentni metodi, navodila za uporabo te funkcije so podana v viru [23]. V tem programu sem poleg osnovne konfiguracije spoja iz vira [2] preveril še delovanje programskega orodja ob primeru definiranja ojačitve strižnega panela stebra in ojačitve prečke z vuto. Delovanje programskega orodja sem preveril še z rešenim primerom vijachenega stika dveh IPE nosilcev s podaljšano čelno ploščevino, ki je podan v diplomski nalogi Roka Morgana [3]. Izpisi rezultatov iz programskega orodja in komercialnega programa SCIA Engineer [4] se nahajajo v prilogah.

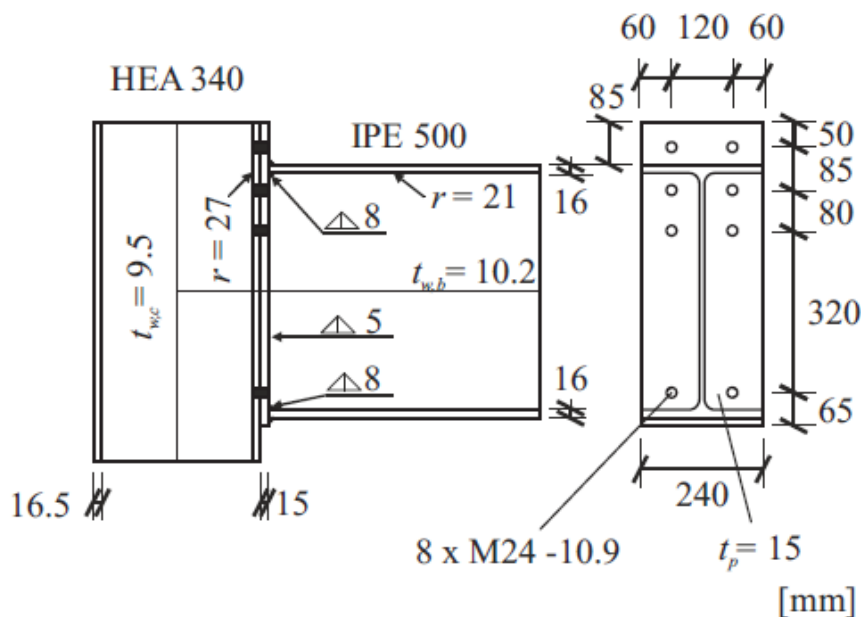
### 5.1 Primer 1: Primerjava z rešenim primerom v viru [2]

Poročilo z naslovom Eurocodes: Background & Applications. Design of Steel Buildings [2], ki je delo večih avtorjev, podaja nazorno rešen primer računa momentnega spoja stebra-prečka po komponentni metodi. Avtorji so podali rešen primer računa spoja po komponentni metodi v poročilo z namenom, da bi s tem projektantom približali način reševanja problema momentnih spojev po komponentni metodi. Slika 66 prikazuje položaj obravnavanega spoja na okvirju, Slika 67 pa konfiguracijo spoja, ki je podana v viru [2]. Slika 67 iz vira [2] v pogledu ne prikazuje stebra na katerega je priključen nosilec. Slika 68 prikazuje konfiguracijo spoja, kot jo izriše programsko orodje. Slika 68 predstavlja 3D sliko spoja, kot jo prikazuje komercialni program SCIA Engineer [4].



Slika 66: Položaj spoja v okvirju (Veljkovic M., Simões da Silva L., Simões R., Wald F., Jaspert J.-P., Weynand K., Dubinã D., Landolfo R., Vila Real P., Gervásio H, 2015: str. 156)

Figure 66: Position of connection in the frame (Veljkovic M., Simões da Silva L., Simões R., Wald F., Jaspert J.-P., Weynand K., Dubinã D., Landolfo R., Vila Real P., Gervásio H, 2015: str. 156)

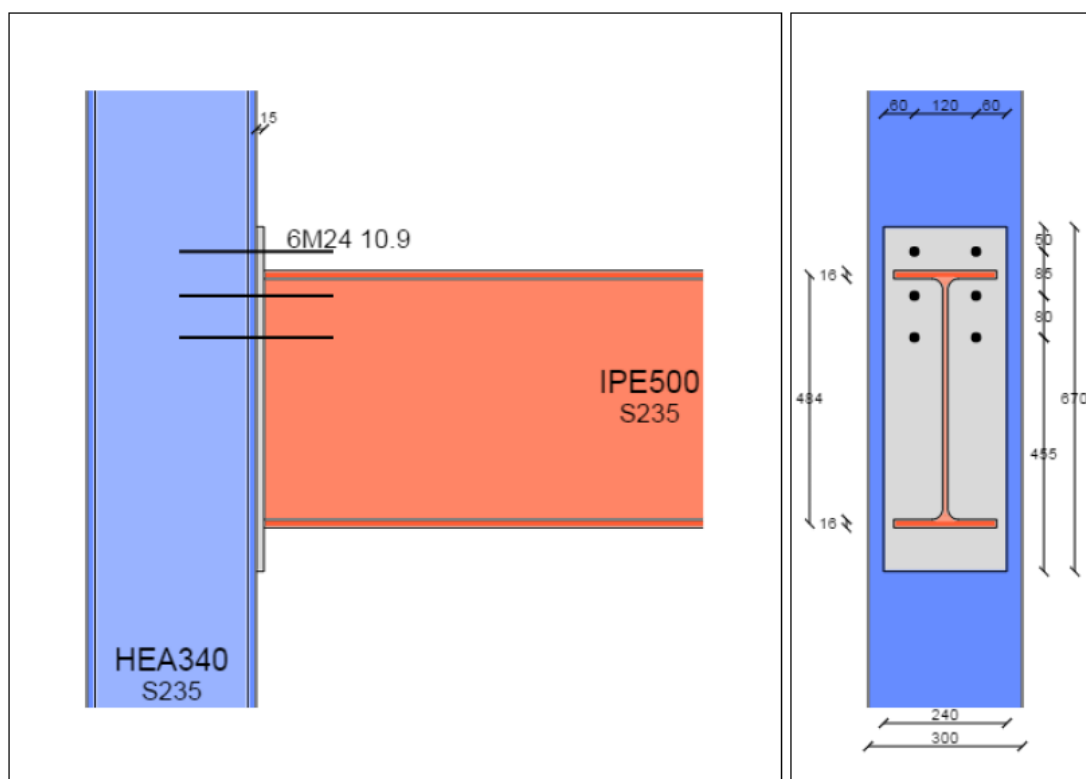


Slika 67: Konfiguracija spoja (Veljkovic M., Simões da Silva L., Simões R., Wald F., Jaspert J.-P., Weynand K., Dubinã D., Landolfo R., Vila Real P., Gervásio H, 2015: str. 156)

Figure 67: Joint configuration (Veljkovic M., Simões da Silva L., Simões R., Wald F., Jaspert J.-P., Weynand K., Dubinã D., Landolfo R., Vila Real P., Gervásio H, 2015: str. 156)

### 5.1.1 Definiranje spoja v programskem orodju

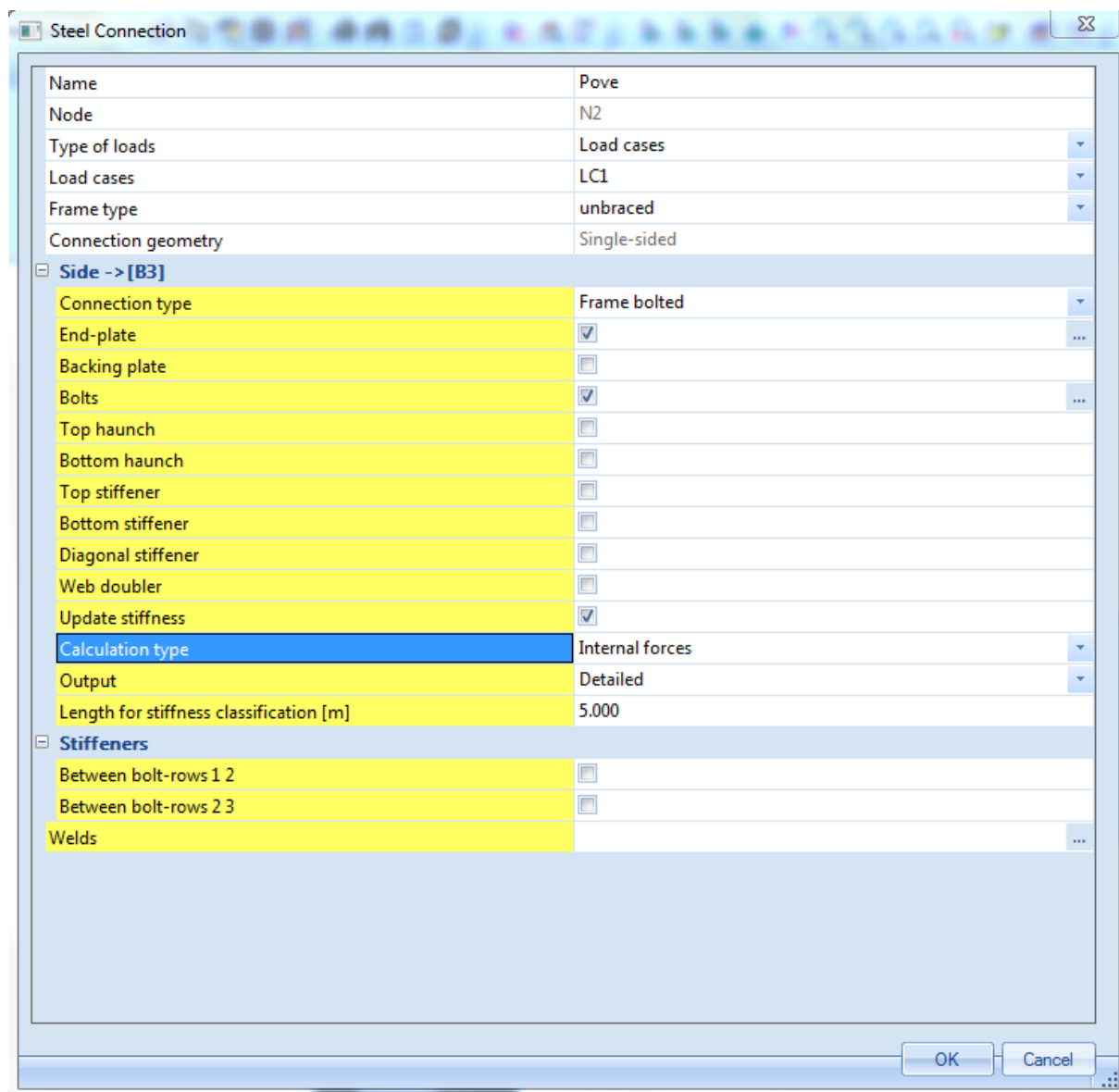
Definiranje vseh elementov spoja v izdelanem programskem orodju je zelo preprosto. Slika 68 prikazuje sliko kot jo izriše programsko orodje. Izpolnjena polja v grafičnem vmesniku so prikazana v izpisu programa, ki se nahaja v prilogi 1.



Slika 68: Konfiguracija spoja, kot ga prikaže programsko orodje KMrup  
Figure 68: Joint configuration displayed by programming tool KMrup

### 5.1.2 Definiranje spoja v programu SCIA Engineer

Najprej modeliramo 2 stebra, na katerih stik umestimo nosilec. SCIA [4] zazna povezavo 3 elementov v njihovem vozlišču. Zaženemo elastično analizo konstrukcije. Nastavimo tip povezave in tako definiramo kakšen spoj želimo uporabiti – Slika 69.

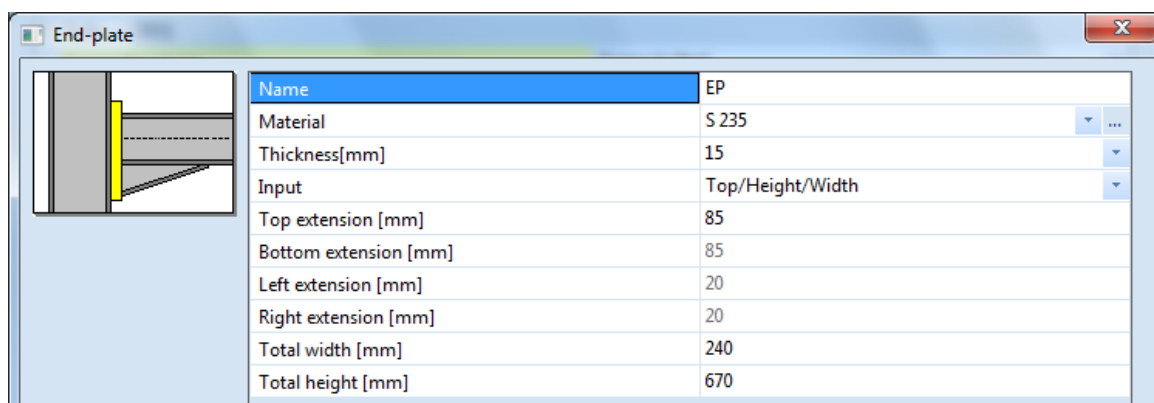


Slika 69: Definiranje spoja v programu SCIA Engineer (SCIA Engineer v16.0 Student version 2016. Steel connections: Design and checks of steel connections, 2016: str. 52)

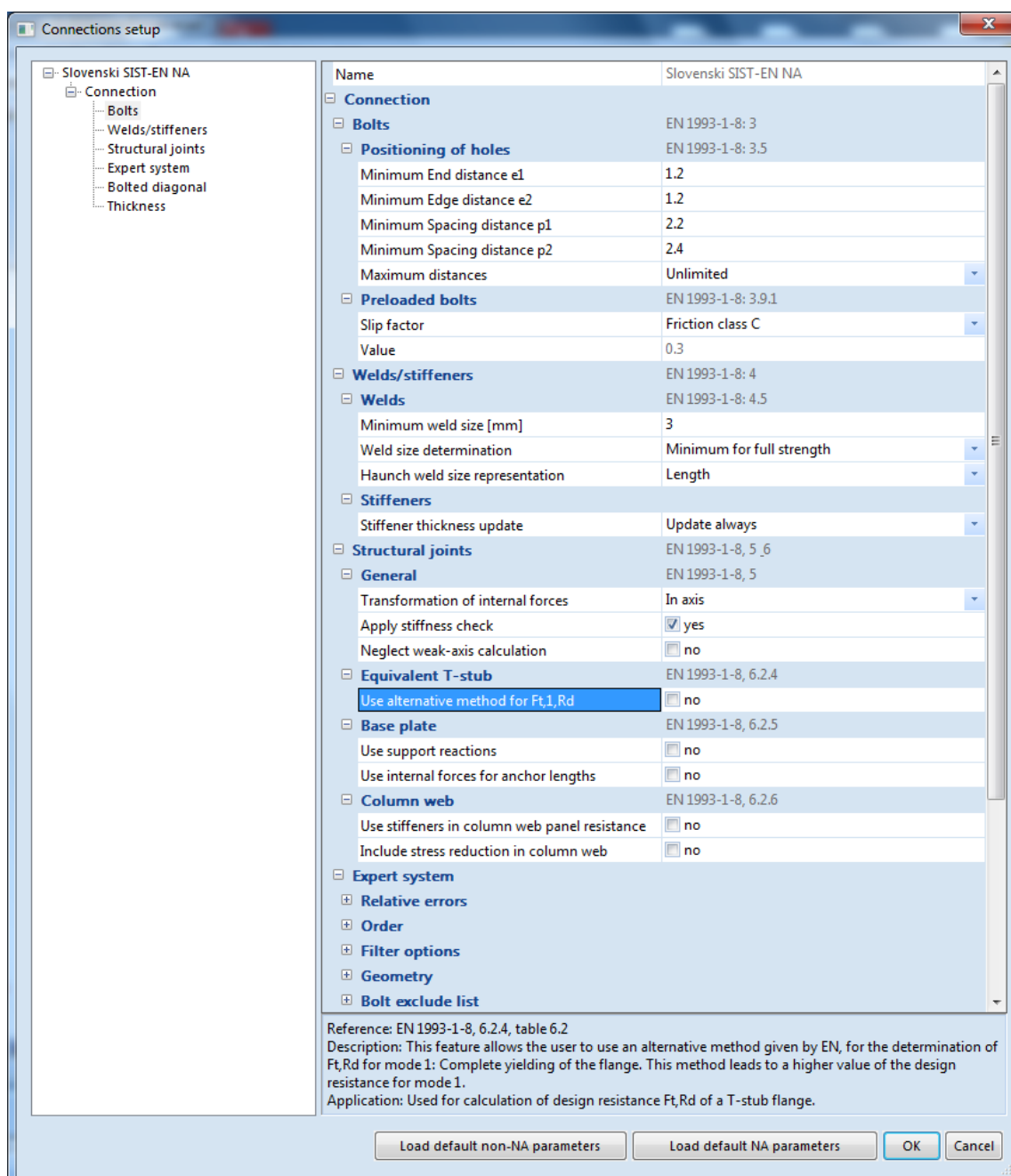
Figure 69: Defining joint in program SCIA Engineer (SCIA Engineer v16.0 Student version 2016. Steel connections: Design and checks of steel connections, 2016: p. 52)

Momentni spoj je sedaj definiran. Potrebno je vnesti še podatke o čelni pločevini in vijakih. Slika 70 prikazuje vnos podatkov čelne pločevine, Slika 71 prikazuje nastavitve spoja, Slika 72 pa vnos podatkov o vijakih.



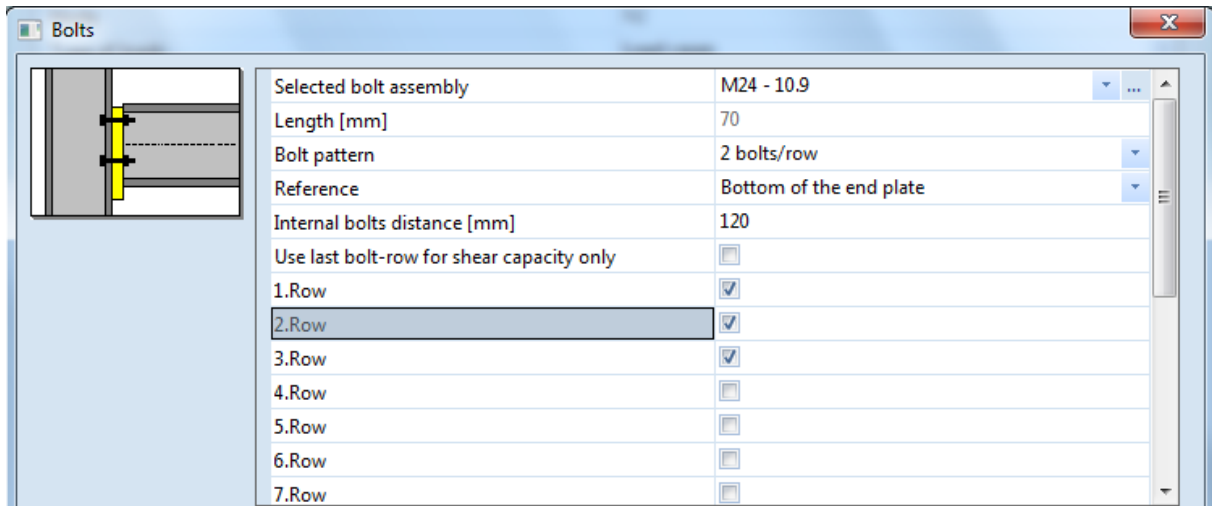


Slika 70: Vnos podatkov za čelno pločevino  
 Figure 70: End plate data input



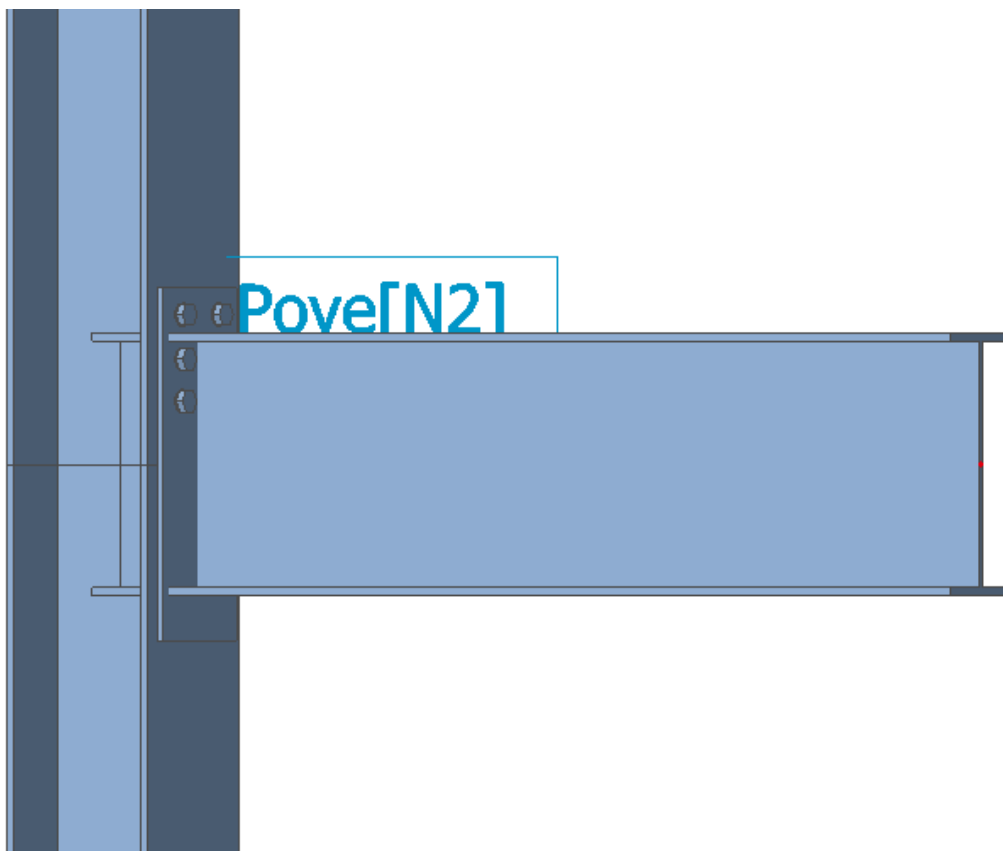
Slika 71: Nastavitve spoja  
 Figure 71: Connection setup

Slika 71 prikazuje opravljanje z nastavitvami spoja. V razdelku nastavitve spoja, SCIA Engineer[4] ponuja možnost alternativne metode. Na sliki 72 so prikazane le kljukice za postavitve 3 vrst vijakov. Pod polji za kljukice za vrste vijakov se nahajajo še razdalje za vnos pozicij vijakov. V programu SCIA Engineer [4] se pozicije vijakov vnaša od spodaj navzgor. Razdalje se lahko vnaša glede na spodnji rob čelne pločevine ali glede na spodnji rob spodnje pasnice nosilca.



Slika 72: Vnos podatkov za vijake  
Figure 72: Bolts data input

Ko definiramo konfiguracijo in nastavitve spoja, se ta izriše na modelu konstrukcije. Slika 73 prikazuje 3D model konstrukcije z definiranim spojem.



Slika 73: 3D prikaz spoja v programu SCIA Engineer [4]  
Figure 73: 3D view of joint in program SCIA Engineer [4]

### 5.1.3 Rezultati in komentar

Primerjave rezultatov so podane v preglednicah 10 do 18. Pod vsako preglednico se nahaja komentar preglednice in obrazložitev morebitnih razlik v izračunih. Nepravilnost izračuna je v tabele označena z rdečim okencem in zaporedno število v oklepaju poleg rezultata. Kjer so razlike med rezultati v viru [2] in kontroliranimi programoma majhne, je razlog v zaokroževanju vmesnih in končnih enačb preko katerih se določi prikazane rezultate.

Preglednica 10: Primerjava rezultatov geometrije nadomestnih T-elementov in vrednosti parametra  $\alpha$  za vrsto vijakov pod natezno pasnico – 1. primer

Table 10: Comparison of results for T-stubs geometries and parameter  $\alpha$  for row of bolts under the tension flange – 1<sup>st</sup> case

		JRC steel report	Programsko orodje	SCIA Engineer v16.0
T-ELEMENT NA STRANI STEBRA	m [mm]	33.65	33.65	/
	e [mm]	90	90	/
	e <sub>1</sub> [mm]	50	50	/
	e <sub>min</sub> [mm]	60	60	/
	n [mm]	42.06	42.06	/
T-ELEMENT NA STRANI ČELNE PLOČEVINE	e <sub>x</sub>	50	50	50
	m <sub>x</sub>	25.95	25.95	25.95
	w	120	120	120
	e	60	60	60
	m	49.29	49.29	49.24
	m <sub>2,zgoraj</sub>	24.95	24.95	24.95
	m <sub>2,spodaj</sub>	/	344.95	344.95
n <sub>x</sub>	32.44	32.44	32.44	
$\alpha$		7.21	7.39	7.45
$\lambda_1$		0.45	0.45	0.45
$\lambda_2$		0.23	0.23	0.23

Preglednica 10 podaja primerjavo rezultatov geometrije nadomestnih T-elementov in vrednost parametra  $\alpha$  za vrsto vijakov pod natezno pasnico. SCIA Engineer [4] podatkov o T-elementu na strani stebra ne izpiše. Sicer se rezultati geometrije T-elementov za vir [2], programsko orodje in program SCIA Engineer [4] ujemajo. Do razlike pride med vrednostmi parametra  $\alpha$  za vrsto pod natezno pasnico. V poročilu [2] je odčitano in je pravilno. Nekoliko preseneča rahlo odstopanje med programoma, saj sem za določitev parametra uporabil algoritem, ki je podan v priročniku programa SCIA Engineer [4]. Očitno SCIA Engineer [4] vseeno uporabi nekoliko drugačen algoritem ali pa SCIA zaokrožuje vrednosti parametrov  $\lambda_1$  in  $\lambda_2$  na dve decimalni mesti in od tod razlika. Vrednost parametra  $\alpha$  za vrsto pod natezno pasnico iz programa KMrup je nekoliko bližje pravi vrednosti, kot rezultat iz programa SCIA Engineer [4].

Preglednica 11: Primerjava rezultatov za vrsto vijakov 1 – 1. primer

Table 11: Comparison of results for bolt row 1 – 1<sup>st</sup> case

<b>VRSTA VIJAKOV 1</b>	Komponenta	Lastnosti komponente	JRC steel report	Programsko orodje	SCIA Engineer v16.0	
	Pasnica stebra v upogibu	krožna oblika [mm]		211.43	211.43	205.71 (1)
		polig. Oblika [mm]		247.1	247.1	173.55 (2)
		M <sub>pl,1,Rd</sub> [kNcm]		338.18	338.17	/
		M <sub>pl,2,Rd</sub> [kNcm]		395.23	395.23	/
		F <sub>t,1,Rd</sub> [kN]		401.99	401.99	329.97 (3)
		F <sub>t,2,Rd</sub> [kN]		386.8	386.8	355.73 (4)
		F <sub>t,3,Rd</sub> [kN]		508.32	508.32	508.32
	Stojina stebra v prečnem nategu	F <sub>t,Rd</sub> [kN]		386.8	386.8	329.97 (5)
		b <sub>eff,t,wc</sub> [mm]		247.1	247.1	173.55 (6)
		b <sub>eff,1</sub> [mm]		247.1	247.1	173.55 (7)
		β		1	1	1
		A <sub>vc</sub> [mm <sup>2</sup> ]		4495	4497.75	4547.75 (8)
		ω <sub>1</sub>		/	0.859	0.92 (9)
		ω <sub>2</sub>		/	0.643	0.77 (10)
	Čelna pločevina v upogibu	ω		0.86	0.859	0.92 (11)
		F <sub>t,wc,Rd</sub> [kN]		474	474.06	358.07 (12)
		krožna oblika [mm]		163.05	163.04	163.04
		polig. oblika [mm]		120	120	120
		M <sub>pl,1,Rd</sub> [kNcm]		158.63	158.63	/
M <sub>pl,2,Rd</sub> [kNcm]			158.63	158.63	/	
F <sub>t,1,Rd</sub> [kN]			244.51	244.52	244.52	
Stojina prečke v nategu	F <sub>t,2,Rd</sub> [kN]		336.74	336.74	336.74	
	F <sub>t,3,Rd</sub> [kN]		508.32	508.32	508.32	
	F <sub>t,Rd</sub> [kN]		244.51	244.52	244.52	
Potencialna nosilnost vrste [kN]	b <sub>eff,t,wb</sub>		/	/	/	
	F <sub>t,wb,Rd</sub>		/	/	/	
			244.51	244.52	244.52	

Preglednica 11 podaja primerjavo rezultatov za vrst vijakov 1. Program SCIA Engineer [4] naredi pri računanju nosilnosti komponent za 1. vrsto vijakov hudo napako. Namreč napačno določi vrednosti sodelujočih dolžin nadomestnega T-elementa na strani stebra – odstopanji (1) in (2). Ugotovil sem, da SCIA uporabi napačno porušno obliko za vrsto vijakov nad natezno pasnico. Za krožno obliko sodelujoče dolžine upošteva namreč enačbo  $\pi m + 2e_1$  v preglednici 1, za poligonalno obliko pa enačbo  $2m + 0.625e + e_1$ .

Enačbe z vrednostmi  $e_1$  je potrebno preveriti če se spoj nahaja na drugi lokaciji v okvirju, in sicer pod vrhom stebra, ne pa na nivoju srednje etaže, kakor je definiran okvir v programu SCIA Engineer [4] (slika 73). Od tod izvirajo tudi napake od (3) do (7).

SCIA Engineer [4] napačno določi vrednost strižnega prereza stebra – odstopanje (8). Odstopanje med strižnima prerezoma programskega orodja in programa SCIA Engineer [4] je 50 mm<sup>2</sup>. Odstopanje je sicer majhno saj znaša približno 1% vrednosti v programskem orodju in je zato nepomembno. Programsko orodje pravilno določi vrednost strižnega prereza, ker se vrednost ujema z vrednostjo iz tabel, ki jo za profile podaja proizvajalec. Vrednosti iz tabel so podane na natančnost 5 mm. V viru [2] je namesto računa uporabljena vrednost iz tabele.

Napake oziroma odstopanja (9) do (11) za vrednosti  $\omega$  so posledica različne sodelujoče dolžine, označene s (6). Enak sklep sledi za odstopanje (12).

Preglednica 12: Primerjava rezultatov za vrsto vijakov 2 – 1. primer

Table 12: Comparison of results for bolt row 2 – 1<sup>st</sup> case

<b>VRSTA VIJAKOV 2</b>	Komponenta	Lastnosti komponente	JRC steel report	Programsko orodje	SCIA Engineer v16.0	
	Pasnica stebra v upogibu	krožna oblika [mm]		211.43	211.43	211.43
		polig. oblika [mm]		247.1	247.1	247.1
		M <sub>pl,1,Rd</sub> [kNcm]		338.18	338.17	/
		M <sub>pl,2,Rd</sub> [kNcm]		395.23	395.23	/
		F <sub>t,1,Rd</sub> [kN]		401.99	401.99	401.99
		F <sub>t,2,Rd</sub> [kN]		386.8	386.8	386.8
		F <sub>t,3,Rd</sub> [kN]		508.32	508.32	508.32
	F <sub>t,Rd</sub> [kN]		386.8	386.8	386.8	
	Stojina stebra v prečnem nategu	b <sub>eff,t,wc</sub> [mm]		247.1	247.1	247.1
b <sub>eff,1</sub> [mm]			247.1	247.1	247.1	
β			1	1	1	
A <sub>vc</sub> [mm <sup>2</sup> ]			4495	4497.75	4547.75 (4)	
ω <sub>1</sub>			/	0.859	0.86	
ω <sub>2</sub>			/	0.643	0.65	
ω			0.86	0.859	0.86	
F <sub>t,wc,Rd</sub> [kN]		474	474.06	475.42		
Čelna pločevina v upogibu	krožna oblika [mm]		309.4	309.4	309.4	
	polig. oblika [mm]		355.02	363.91 (1)	366.85 (5)	
	M <sub>pl,1,Rd</sub> [kNcm]		408.99	408.99	/	
	M <sub>pl,2,Rd</sub> [kNcm]		469.29	481.04 (2)	/	
	F <sub>t,1,Rd</sub> [kN]		332.24	332.22	332.22	
	F <sub>t,2,Rd</sub> [kN]		365.11	367.25 (3)	367.97 (6)	
	F <sub>t,3,Rd</sub> [kN]		508.32	508.32	508.32	
F <sub>t,Rd</sub> [kN]		332.24	332.22	332.22		
Stojina prečke v nategu	b <sub>eff,t,wb</sub>		309.4	309.4	/	
	F <sub>t,wb,Rd</sub>		741.63	741.64	/	
Potencialna nosilnost vrste [kN]			332.24	332.22	332.22	

Preglednica 12 prikazuje primerjavo rezultatov za vrsto vijakov 2. Pri drugi vrsti vijakov se v programskem orodju prikaže majhna napaka zaradi nekoliko večjega parametra  $\alpha$ . Od tod odstopanja (1) do (3) pri izdelanem programskem orodju in odstopanja (5) in (6) v programu SCIA Engineer [4].

Program SCIA Engineer [4] za drugo vrsto vijakov pravilno določi sodelujoče dolžine za pasnico stebra v upogibu.

Preglednica 13: Primerjava rezultatov za vrsto vijakov 3 – 1. primer

Table 13: Comparison of results for bolt row 3 – 1<sup>st</sup> case

<b>VRSTA VIJAKOV 3</b>	Komponenta	Lastnosti komponente	JRC steel report	Programsko orodje	SCIA Engineer v16.0	
	Pasnica stebra v upogibu	krožna oblika [mm]		211.43	211.43	211.43
		polig. oblika [mm]		247.1	247.1	247.1
		M <sub>pl,1,Rd</sub> [kNcm]		338.18	338.17	/
		M <sub>pl,2,Rd</sub> [kNcm]		395.23	395.23	/
		F <sub>t,1,Rd</sub> [kN]		401.99	401.99	401.99
		F <sub>t,2,Rd</sub> [kN]		386.8	386.8	386.8
		F <sub>t,3,Rd</sub> [kN]		508.32	508.32	508.32
	F <sub>t,Rd</sub> [kN]		386.8	386.8	386.8	
	Stojina stebra v prečnem nategu	b <sub>eff,t,wc</sub> [mm]		247.1	247.1	247.1
b <sub>eff,1</sub> [mm]			247.1	247.1	247.1	
β			1	1	1	
A <sub>vc</sub> [mm <sup>2</sup> ]			4495	4497.75	4547.75 (1)	
ω <sub>1</sub>			/	0.859	0.86	
ω <sub>2</sub>			/	0.643	0.65	
ω			0.86	0.859	0.86	
F <sub>t,wc,Rd</sub> [kN]		474	474.06	475.42		
Čelna pločevina v upogibu	krožna oblika [mm]		309.4	309.4	309.4	
	polig. oblika [mm]		271.96	271.97	271.97	
	M <sub>pl,1,Rd</sub> [kNcm]		359.5	359.51	/	
	M <sub>pl,2,Rd</sub> [kNcm]		359.5	359.51	/	
	F <sub>t,1,Rd</sub> [kN]		292.04	292.03	292.03	
	F <sub>t,2,Rd</sub> [kN]		345.01	345.01	345.01	
	F <sub>t,3,Rd</sub> [kN]		508.32	508.32	508.32	
F <sub>t,Rd</sub> [kN]		292.04	292.03	292.03		
Stojina prečke v nategu	b <sub>eff,t,wb</sub> [mm]		271.96	271.97	271.97	
	F <sub>t,wb,Rd</sub> [kN]		651.89	651.92	651.92	
Potencialna nosilnost vrste [kN]			292.04	292.03	292.03	

Preglednica 13 podaja primerjavo rezultatov za vrsto vijakov 3. Za tretjo vrsto vijakov se vsi rezultati ujemajo. Razlika oziroma odstopanje (1) je razloženo pri primerjavi rezultatov za vrsto 1.

Preglednica 14: Primerjava rezultatov za skupino vrst vijakov 3+2+1 – 1. primer

Table 14: Comparison of results for group of bolt rows 3+2+1 – 1<sup>st</sup> case

<b>SKUPINA VRST VIJAKOV 3+2+1</b>	<b>Komponenta</b>	<b>Lastnosti komponente</b>	<b>JRC steel report</b>	<b>Programsko orodje</b>	<b>SCIA Engineer v16.0</b>	
	Pasnica stebra v upogibu	krožna oblika [mm]		541.41	541.43	535.71 (1)
		polig. oblika [mm]		412.1	412.1	338.55 (2)
		M <sub>pl,1,Rd</sub> [kNcm]		659.14	659.14	/
		M <sub>pl,2,Rd</sub> [kNcm]		659.14	659.14	/
		F <sub>t,1,Rd</sub> [kN]		783.53	783.53	643.69 (3)
		F <sub>t,2,Rd</sub> [kN]		1021.32	1021.32	990.24 (4)
		F <sub>t,3,Rd</sub> [kN]		1524.96	1524.96	1524.96
	Stojina stebra v prečnem nategu	F <sub>t,Rd</sub> [kN]		783.53	783.53	643.69 (5)
		b <sub>eff,t,wc</sub> [mm]		412.1	412.1	338.55
b <sub>eff,1</sub> [mm]			412.1	412.1	338.55	
β			/	1	1	
A <sub>vc</sub> [mm <sup>2</sup> ]			4495	4497.75	4547.75 (6)	
ω <sub>1</sub>			/	0.71	0.78 (7)	
ω <sub>2</sub>			/	0.45	0.53 (8)	
Čelna pločevina v upogibu	ω		0.71	0.71	0.78 (9)	
	F <sub>t,wc,Rd</sub> [kN]		653.21	653.01	588.36 (10)	
Stojina prečke v nategu	SE NE PREVERJA					
Nosilnost skupine vrst vijakov [kN]			653.21	653.01	588.36	

V preglednici 14 vsa odstopanja izhajajo iz napake v programu SCIA Engineer [4], ki je omenjena že med komentarji pod preglednico 11. Program SCIA Engineer [4] preverja tudi enačbe z vrednostmi  $e_1$  za zunanjo vrsto vijakov v preglednici 1. Strižna površina ostaja napačna – odstopanje (6).

Preglednica 15: Primerjava rezultatov za skupino vrst vijakov 3+2 – 1. primer

Table 15: Comparison of results for group of bolt rows 3+2 – 1<sup>st</sup> case

<b>SKUPINA VRST VIJAKOV 3+2</b>	Komponenta	Lastnosti komponente	JRC steel report	Programsko orodje	SCIA Engineer v16.0	
	Pasnica stebra v upogibu	krožna oblika [mm]		371.41	371.43	371.43
		polig. oblika [mm]		327.1	327.1	327.1
		M <sub>pl,1,Rd</sub> [kNcm]		523.19	523.19	/
		M <sub>pl,2,Rd</sub> [kNcm]		523.19	523.19	/
		F <sub>t,1,Rd</sub> [kN]		621.92	621.92	621.92
		F <sub>t,2,Rd</sub> [kN]		703	703	703
		F <sub>t,3,Rd</sub> [kN]		1016.64	1016.64	1016.64
	F <sub>t,Rd</sub> [kN]		621.92	621.92	621.92	
	Stojina stebra v prečnem nategu	b <sub>eff,t,wc</sub> [mm]		327.1	327.1	327.1
b <sub>eff,1</sub> [mm]			327.1	327.1	327.1	
β			/	1	1	
A <sub>vc</sub> [mm <sup>2</sup> ]			4495	4497.75	4547.75 (9)	
ω <sub>1</sub>			/	0.786	0.79	
ω <sub>2</sub>			/	0.536	0.54	
ω			0.785	0.786	0.79	
F <sub>t,wc,Rd</sub> [kN]		573.25	573.65	576.06 (10)		
Čelna pločevina v upogibu	krožna oblika [mm]		469.38	469.4	469.4	
	polig. oblika [mm]		435.02	443.91 (1)	446.85 (11)	
	M <sub>pl,1,Rd</sub> [kNcm]		575.04	586.79 (2)	/	
	M <sub>pl,2,Rd</sub> [kNcm]		575.04	586.79 (3)	/	
	F <sub>t,1,Rd</sub> [kN]		467.13	476.65 (4)	479.81 (12)	
	F <sub>t,2,Rd</sub> [kN]		663.67	665.8 (5)	666.51 (13)	
	F <sub>t,3,Rd</sub> [kN]		1016.64	1016.64	1061.64	
F <sub>t,Rd</sub> [kN]		467.13	476.65 (6)	479.81 (14)		
Stojina prečke v nategu	b <sub>eff,t,wb</sub> [mm]		435.02	443.91 (7)	446.85 (15)	
	F <sub>t,wb,Rd</sub> [kN]		1042.74	1064.04 (8)	1071.1 (16)	
Nosilnost skupine vrst vijakov [kN]			467.13	476.65	479.81	

Preglednica 15 podaja primerjavo rezultatov za skupino vrst vijakov 3+2. Odstopanja oziroma napake na strani obeh preverjenih programov od (1) do (8) in od (11) do (16) izhajajo iz določitve parametra  $\alpha$  za vrsto vijakov 2. Odstopanja (9) in (10) izhajata iz napačne določitve strižnega prereza stebra v programu SCIA Engineer [4].



Preglednica 16: Primerjava rezultatov za skupino vrst vijakov 2+1 – 1. primer

Table 16: Comparison of results for group of bolt rows 2+1 – 1<sup>st</sup> case

SKUPINA VRST VIJAKOV 2+1	Komponenta	Lastnosti komponente	JRC steel report	Programsko orodje	SCIA Engineer v16.0	
	Pasnica stebra v upogibu	krožna oblika [mm]		381.42	381.43	375.71 (2)
		polig. oblika [mm]		332.1	332.1	258.55 (3)
		$M_{pl,1,Rd}$ [kNcm]		531.18	531.18	/
		$M_{pl,2,Rd}$ [kNcm]		531.18	531.18	/
		$F_{t,1,Rd}$ [kN]		631.42	631.42	491.58 (4)
		$F_{t,2,Rd}$ [kN]		705.12	705.12	674.04 (5)
		$F_{t,3,Rd}$ [kN]		1016.64	1016.64	1016.64
	Stojina stebra v prečnem nategu	$F_{t,Rd}$ [kN]		631.42	631.42	491.58 (6)
		$b_{eff,t,wc}$ [mm]		332.1	332.1	258.55 (7)
$b_{eff,1}$ [mm]			332.1	332.1	258.55 (8)	
$\beta$			/	1	1	
$A_{vc}$ [mm <sup>2</sup> ]			4495	4497.75	4547.75 (9)	
$\omega_1$			/	0.781	0.85 (10)	
$\omega_2$			/	0.53	0.63 (11)	
Čelna pločevina v upogibu	$\omega$		0.781	0.781	0.85 (12)	
	$F_{t,wc,Rd}$ [kN]		579.04	579.01	491.5 (13)	
Stojina prečke v nategu	SE NE PREVERJA					
Nosilnost skupine vrst vijakov [kN]			579.04	579.01	491.5 (14)	

Preglednica 16 ponovno lepo prikazuje kako zaradi napake pri določanju sodelujoče širine nadomestnega T-elementa program SCIA Engineer [4] izračuna napačne rezultate. Vsa odstopanja so napake v programu SCIA Engineer [4]. Nastopijo zaradi razlike v vrednosti parametra  $\alpha$ , ter zaradi napačnih sodelujočih dolžin za nadomestni T-element na strani stebra.

Preglednica 17: Primerjava rezultatov za ostale komponente v spoju – 1. primer

Table 17: Comparison of results for the rest of components in joint – 1<sup>st</sup> case

OSTALE KOMPONENTE	Komponenta	Lastnosti komponente	JRC steel report	Programsko orodje	SCIA Engineer v16.0	
	STOJINA STEBRA V TLAKU	$b_{eff,c,wc}$ [mm]		274.81	286.13 (2)	286.13
		$\omega_1$		0.834	0.823 (3)	0.83 (8)
		$\omega_2$		/	0.587	0.59
		$\omega$		0.834	0.823 (4)	0.83 (9)
		$\bar{\lambda}_p$		0.848	0.865 (5)	0.87 (10)
		$\rho$		0.901	0.889 (6)	0.89 (11)
		$F_{c,wc,Rd}$ [kN]		460.9	467.61 (7)	469.01 (12)
	PASNICA IN STOJINA PREČKE V TLAKU	$M_{pl,Rd}$ [kNm]		515.59	515.59	515.59
	STRIŽNA NOSILNOST STOJINE STEBRA	$F_{bf,Rd}$ [kN]		1065.3	1065.27	1065.27
$V_{cw,Rd}$ [kN]			548.22	549.22	555.32 (13)	
NOSILNOST SPOJA NA VERTIKALNI STRIG	$F_{v,Rd}$ [kN]		141.2	141.2	141.2	
	$V_{Rd}$ [kN]		726.2 (1)	443.77	443.77	

V preglednici 17 odstopanje (1) nastopi pri nosilnosti spoja na vertikalni strig. Razlika nastane zato, ker je v viru [7] 4. vrsta vijakov upoštevana samo za prevzem striga, ne pa tudi obremenitev, ki rezultirajo iz momenta (nateg). Zato sem v KMrup in v programu SCIA Engineer [4] spoj definiral brez 4. vrste vijakov. V KMrup in SCIA Engineer nosilnost na vertikalni strig pomeni strižno silo, ki so jo sposobni prevzeti vijaki ob sočasnem delovanju natega.

V preglednici 17 je razlog za odstopanja (2) do (7) v malenkostno različni definiciji geometrije spoja. Previsni del čelne pločevine je v programskem orodju na spodnjem in zgornjem koncu nujno enak (slika 64), saj moj program čelno pločevino centrira glede na težišče prečke. To pa je različno od konfiguracije spoja v JRC Steel Report [2] (slika 68), kjer je zgornji previsni del pločevine daljši od spodnjega. V tem konkretnem spoju to pomeni, da pri komponenti stojina stebra v tlaku, raztros

vnesene tlačene sile iz pasnice prečke (slika 25) v stojino stebra na spodnjem koncu pade izven čelne pločevine. Od tod vse razlike (2) do (7) in nekoliko višja nosilnost omenjene komponente v programskem orodju.

SCIA Engineer [4] na splošno dopušča definiranje veliko večih možnosti konfiguracije spoja kot programsko orodje, tako da je možno definirati različna previsna dela čelne pločevine. Vendar sem zavoljo kontrole programskega orodja, v programu SCIA Engineer [4] definiral spoj z enakimi previsnima deloma čelne pločevine.

Odstopanja (8)-(12) na strani program SCIA Engineer [4] v primerjavi z izdelanim programskim orodjem izhajajo iz že večkrat omenjenih različnih strižnih površin stebra.

Preglednica 18: Primerjava sil v vrstah vijakov in upogibni nosilnosti spoja – 1. primer

Table 18: Comparison of results of forces in bolt rows and joint moment resistance – 1<sup>st</sup> case

		JRC steel report	Programsko orodje	SCIA Engineer v16.0
<b>ROČICE IN NATEZNE SILE V VIJAKIH</b>	r <sub>1</sub> [cm]	52.7	52.7	52.7
	r <sub>2</sub> [cm]	44.2	44.2	44.2
	r <sub>3</sub> [cm]	36.2	36.2	36.2
	Trikotna razporeditev?	NE	NE	NE
	F <sub>glob,min</sub> [kN]	460.9	467.61	469.01
	F <sub>1</sub> [kN]	244.51	244.52	244.52
	F <sub>2</sub> [kN]	216.9	223.09	224.49
<b>UPOGIBNA NOSILNOST SPOJA</b>	F <sub>3</sub> [kN]	0	0	0
	M <sub>b,pl,Rd</sub>	515.59	515.59	515.59
	M <sub>j,Rd</sub> [kNm]	224.5	227.47	228.08
	Klasifikacija po nosilnosti	DELNO NOSILEN	DELNO NOSILEN	DELNO NOSILEN

Končni rezultati upogibne nosilnosti spoja v preglednici 18 so praktično enaki. Iz preglednice se vidi, da je komponenta stojina stebra v tlaku tista, ki omejuje sile v vijakih s silo  $F_{glob,min}$ . Od tod tudi razlika med nosilnostjo izračunano s programskim orodjem in programom SCIA Engineer [4] ter tisto iz vira [2]. Vsa ostala odstopanja, ki so označena na preglednicah 11 do 18 v tem primeru ne vplivajo na upogibno nosilnost obravnavanega spoja.

Preglednica 19: Primerjava togosti spoja – 1. primer

Table 19: Results comparison for joint stiffness – 1<sup>st</sup> case

		JRC steel report	Programsko orodje	SCIA Engineer v16.0	
<b>TOGOST SPOJA</b>	VRSTA 1	k <sub>3</sub> [mm]	4.54	4.54	2.53 (4)
		k <sub>4</sub> [mm]	17.62	17.62	9.81 (5)
		k <sub>5</sub> [mm]	20.86	20.86	20.86
		k <sub>10</sub> [mm]	11.65 (1)	10.03	10
		keff [mm]	2.43	2.36	1.55 (6)
	VRSTA 2	k <sub>3</sub> [mm]	2.26	2.26	2.26
		k <sub>4</sub> [mm]	8.75	8.75	8.75
		k <sub>5</sub> [mm]	5.97	6.1	5.97
		k <sub>10</sub> [mm]	11.65 (2)	10.03	10
		keff [mm]	1.23	1.22	1.21
	VRSTA 3	k <sub>3</sub> [mm]	4.48	4.48	4.48
		k <sub>4</sub> [mm]	17.35	17.35	17.35
		k <sub>5</sub> [mm]	4.48	4.48	4.48
		k <sub>10</sub> [mm]	11.65 (3)	10.03	10
		keff [mm]	1.7	1.66	1.65
	zeq [mm]	466.44	466.21	453.04	
	k <sub>1</sub> [mm]	3.53	3.67	3.81	
	k <sub>2</sub> [mm]	7.52	7.83	7.83	
	keq [mm]	5.23	5.1	4.31	
	S <sub>j,ini</sub> [MNm/rad]	75.214	76.527	69.3 (7)	

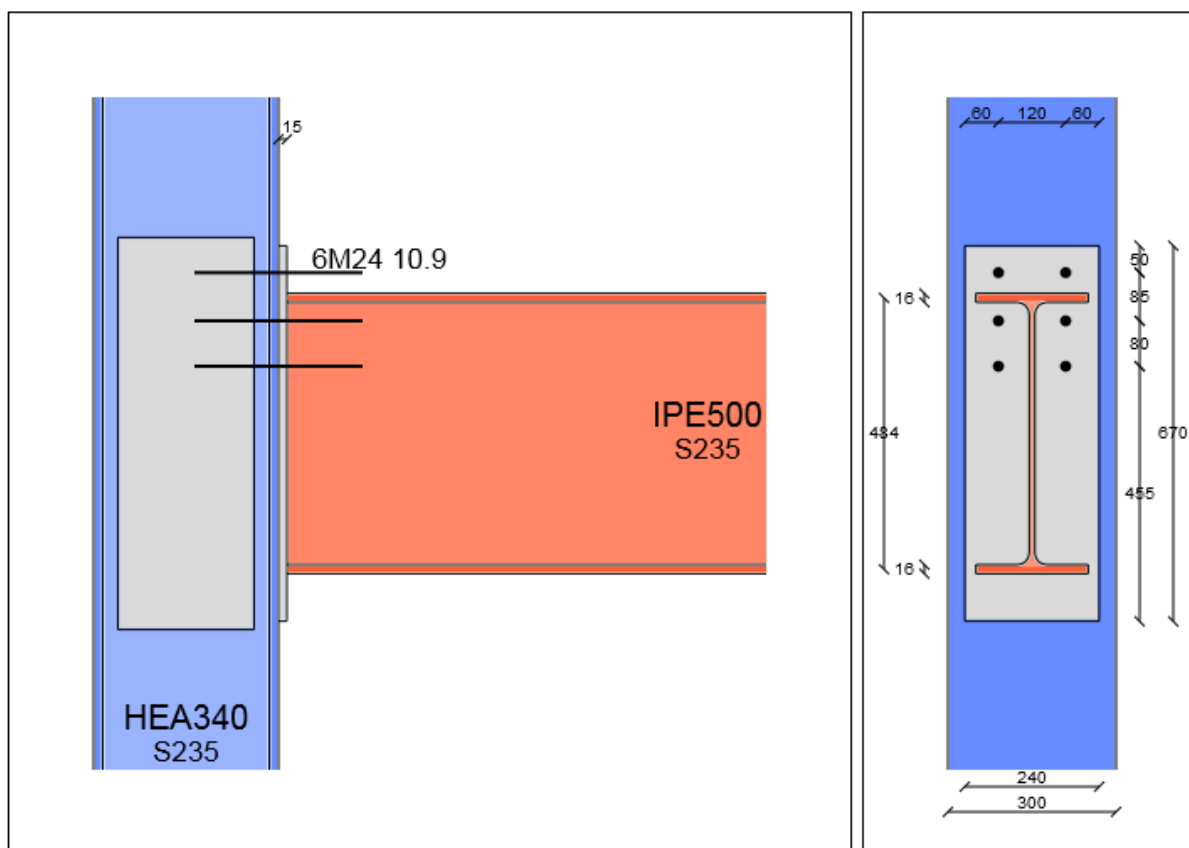
Odstopanja (1), (2), (3) v preglednici 19 se nahajajo na strani računsko rešenega primera v viru [2]. Napaka izhaja iz tega, da v enačbi za koeficient togosti nadomestne vzmeti za vrsto vijakov nategu, nista upoštevani dve podložki ampak le ena. Standard SIST EN 1993-1-8 [1] zahteva za vijake trdnostnega razreda 10.9 dve podložki. Napake (4), (5) in (6) v programu SCIA Engineer [4] izhajajo iz napačne sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa na strani stebra. Posledično je zaradi tega manjša napaka pri rezultatu togosti spoja (7).

## 5.2 Primer 2: Spoj iz primera 1 ojačen z dodatno pločevino ob strižnem panelu stebra

Spoj v viru [2] je poračunan za konfiguracijo brez ojačitev. Za kontrolo delovanja ojačitev programskega orodja sem primerjal rezultate za novo konfiguracijo spoja z uporabo ojačitve strižnega panela, (obojestranske SWP) programa SCIA Engineer [4] in programskega orodja.

### 5.2.1 Definiranje spoja v programskem orodju

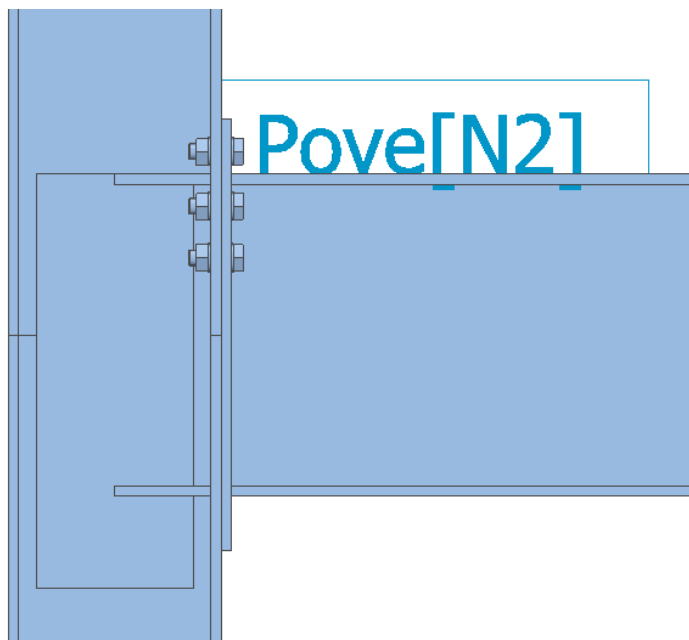
Definiranje vseh elementov spoja v izdelanem programskem orodju je zelo preprosto. Slika 74 prikazuje sliko kot jo izriše programsko orodje. Za voljo preglednosti magistrske naloge v tem poglavju ne dodajam slik izpolnjenih polj v grafičnem vmesniku programskega orodja. Izpolnjena polja v grafičnem vmesniku so prikazana v izpisu rezultatov, skupaj s sliko in izpisom rezultatov. Vse skupaj se nahaja v prilogi 3.



Slika 74: Izris spoja v programskem orodju KMrup za 2. primer  
Figure 74: Joint drawing in programming tool KMrup for 2. case

## 5.2.2 Definiranje spoja v programu SCIA Engineer

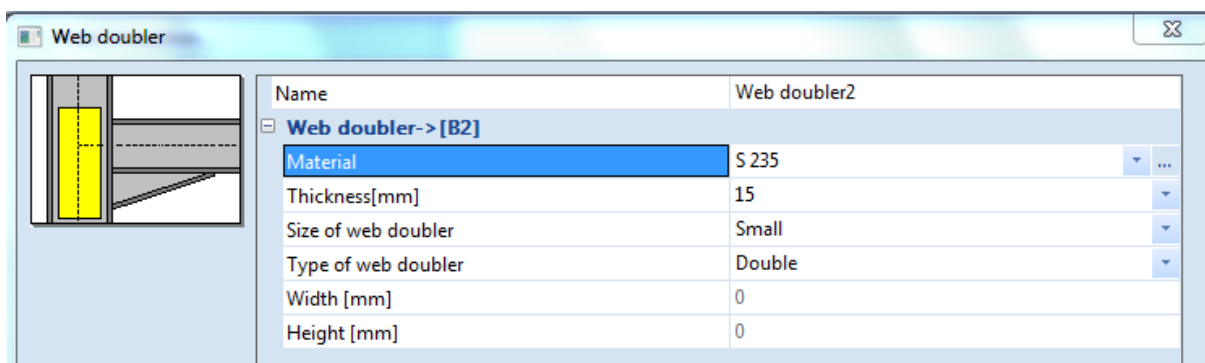
Spoju, katerega opis postopka definicije je opisan v poglavju 5.1.2, dodamo obojestransko ojačitev panela stojine stebra. Sliko spoja bočno v programu SCIA Engineer [4] prikazuje slika 75. Postopek dodajanja SWP v programu prikazujejo slike 76 do 81.



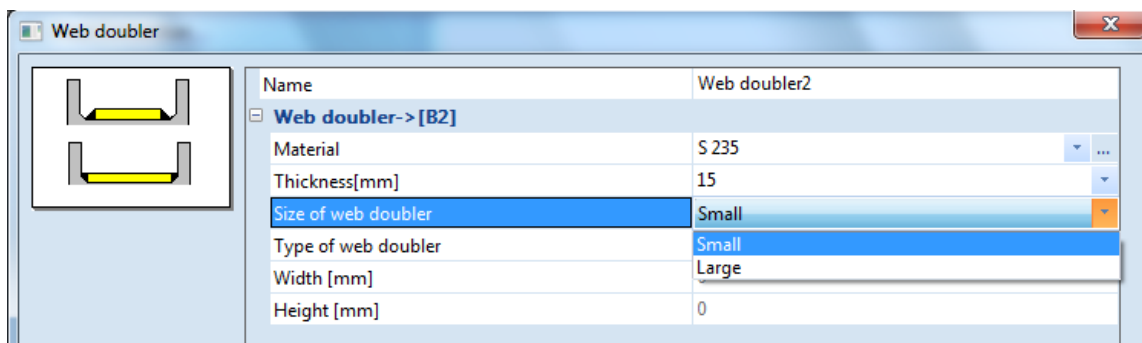
Slika 75: Slika 2. primera spoja bočno v programu SCIA Engineer [4]  
Figure 75: 2. case joint picture in program SCIA Engineer [4]

Lahko opazimo drobno pomanjkljivost v izrisu slike. Zgornji rob SWP je narisan na višini zgornjega roba zgornje pasnice nosilca. To je nekoliko zavajajoče saj mora segati SWP preko natezne in tlačne cone v stebra.

V razdelku Steel connection properties (slika 69) obkljukamo možnost Web doubler. Ko obkljukamo to polje, program SCIA Engineer [4] spoju doda ojačitev stojine stebra. Potem nastavimo lastnosti SWP. Slika 76 prikazuje nastavitve možnosti ojačitve strižnega panela. Uporabljeno je jeklo S235. Debelina ojačitvenih plošč je 15 mm. Izbral sem debelino, ki je večja od debeline stojine stebra. Za velikost ojačitve sta na voljo dve možnosti – velika in mala. Uporabil sem veliko ojačitev (na sliki 77 je označena mala ojačitev, izračun spoja je narejen za veliko ojačitev; to je razvidno tudi v izpisu rezultatov, ki se nahaja v prilogi 4). Razliko med malo in veliko ojačitvijo prikazuje Slika 77. Na voljo je enojni (ojačena ena stran stojine) in dvojni tip (ojačeni obe strani stojine) ojačitve, izbral sem dvojnega (slika 78).

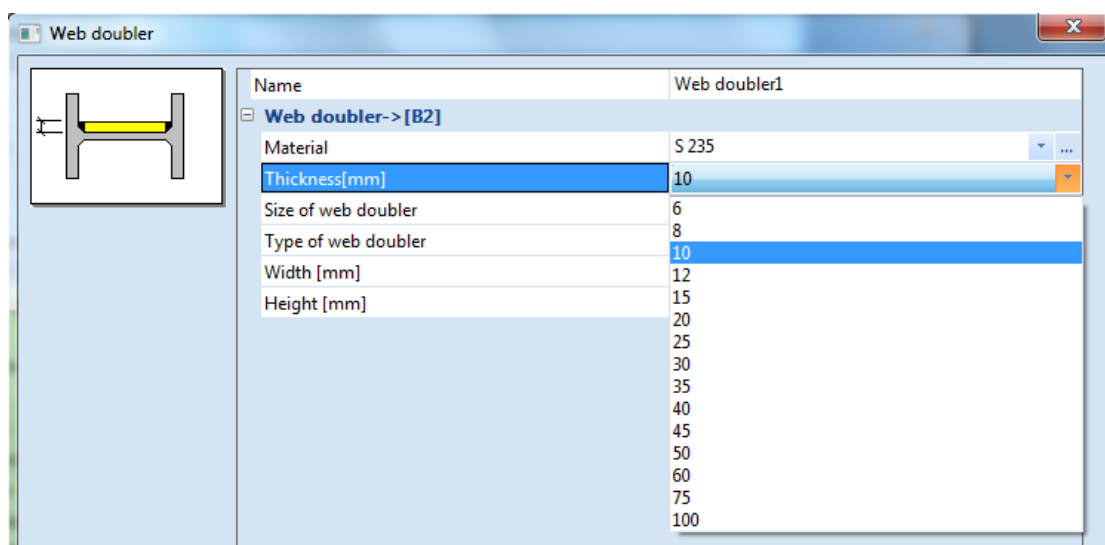


Slika 76: Nastavitve ojačitve panela stojine stebra  
Figure 76: Column web panel stiffener settings



Slika 77: Mala in velika ojačitev  
Figure 77: Small and large stiffener

Slika 78 prikazuje katere debeline program SCIA Engineer [4] ponuja na voljo. V splošnem ni potrebe po izbiri debeline, saj večja debelina od stojine stebra ne pomeni dodatne ojačitve. Uporabljena pa mora biti najmanj debelina stojine stebra.



Slika 78: Izbira debeline ojačitve  
Figure 78: Web doubler thickness choice

### 5.2.3 Rezultati in komentar

Ojačitve strižnega panela s ploščami SWP pomeni ojačitev komponent stojina stebra v tlaku in nategu, ter ojačitev stojine v strigu. Zato v tem poglavju podajam le rezultate za te komponente in končno tabelo sil in upogibne nosilnosti spoja. Rezultati ostalih komponent so enaki kot za 1. primer. Za razliko od 1. primera so tokrat primerjane le vrednosti obeh programov.

Preglednica 20: Primerjava rezultatov za vrsto vijakov 1 – 2. primer

Table 20: Comparison of results for bolt row 1 – 2<sup>nd</sup> case

	Komponenta	Lastnosti komponente	Programsko orodje	SCIA Engineer v16.0
<b>VRSTA VIJAKOV 1</b>	Stojina stebra v prečnem nategu	$b_{eff,t,wc}$ [mm]	247.1	173.55 (1)
		$b_{eff,1}$ [mm]	247.1	173.55 (2)
		$\beta$	1	1
		$A_{vc}$ [mm <sup>2</sup> ]	6806.25	6856.25 (3)
		$\omega_1$	0.786	0.88 (4)
		$\omega_2$	0.537	0.67 (5)
		$\omega$	0.786	0.88 (6)
	$F_{t,wc,Rd}$ [kN]	867.22	697.45 (7)	
	Potencialna nosilnost vrste [kN]		244.52	244.52

Odstopanja (1), (2) v preglednici 20 nastopijo iz že obrazloženega razloga napačne določitve sodelujoče dolžine nadomestnega T-elementa. Odstopanje (3) nastopi zaradi različnega strižnega prereza programa SCIA Engineer [4]. Če odštejemo nosilnosti vrste vijakov 1 za 2. primer od rezultata 1. primera, izvemo kolikšen je dodatek k nosilnosti komponente stojina stebra v nategu iz naslova ojačitve strižnega panela. Za programsko orodje je to  $867.22kN-474.06kN=393.16kN$ , za program SCIA Engineer [4] je to  $697.45kN-358.07kN=339.38kN$ . Potencialna nosilnost vrste ostane enaka, ker je za njo merodajna komponenta čelna pločevina v upogibu (glej preglednico 11).

Preglednica 21: Primerjava rezultatov za vrsto vijakov 2 – 2. primer

Table 21: Comparison of results for bolt row 2 – 2<sup>nd</sup> case

VRSTA VIJAKOV 2	Komponenta	Lastnosti komponente	Programsko orodje	SCIA Engineer v16.0
	Stojina stebra v prečnem nategu		$b_{eff,t,wc}$ [mm]	247.1
		$b_{eff,1}$ [mm]	247.1	247.1
		$\beta$	1	1
		$A_{vc}$ [mm <sup>2</sup> ]	6806.25	6856.25
		$\omega_1$	0.786	0.79
		$\omega_2$	0.537	0.54
		$\omega$	0.786	0.79
		$F_{t,wc,Rd}$ [kN]	867.22	869.64
Potencialna nosilnost vrste [kN]			332.22	332.22

Preglednica 22: Primerjava rezultatov za vrsto vijakov 3 – 2. primer

Table 22: Comparison of results for bolt row 3 – 2<sup>nd</sup> case

VRSTA VIJAKOV 3	Komponenta	Lastnosti komponente	Programsko orodje	SCIA Engineer v16.0
	Stojina stebra v prečnem nategu		$b_{eff,t,wc}$ [mm]	247.1
		$b_{eff,1}$ [mm]	247.1	247.1
		$\beta$	1	1
		$A_{vc}$ [mm <sup>2</sup> ]	6806.25	6856.25
		$\omega_1$	0.786	0.79
		$\omega_2$	0.537	0.54
		$\omega$	0.786	0.79
		$F_{t,wc,Rd}$ [kN]	867.22	869.64
Potencialna nosilnost vrste [kN]			292.03	292.03

V preglednicah 21 in 22 pride do majhnih razlik zaradi različnega strižnega prereza stebra v programu SCIA Engineer [4].

Preglednica 23: Primerjava rezultatov za skupino vrst vijakov 3+2+1 – 2. primer

Table 23: Comparison of results for group of bolt rows 3+2+1 – 2<sup>nd</sup> case

SKUPINA VRST VIJAKOV 3+2+1	Komponenta	Lastnosti komponente	Programsko orodje	SCIA Engineer v16.0
	Stojina stebra v prečnem nategu		$b_{eff,t,wc}$ [mm]	412.1
		$b_{eff,1}$ [mm]	412.1	338.55 (2)
		$\beta$	1	1
		$A_{vc}$ [mm <sup>2</sup> ]	6806.25	6856.25 (3)
		$\omega_1$	0.606	0.68 (4)
		$\omega_2$	0.356	0.42 (5)
		$\omega$	0.606	0.68 (6)
		$F_{t,wc,Rd}$ [kN]	1115.59	1032.3 (7)
Potencialna nosilnost skupine [kN]			783.53	643.69 (8)

V preglednici 23 so odstopanja in razlogi za odstopanja enaki kot za vrsto vijakov 1. nosilnost skupine vrst vijakov komponente stojina stebra v prečnem nategu v programskem orodju znaša 1115.59 kN, v programu SCIA Engineer [4] pa 1032.3 kN.

Preglednica 24: Primerjava rezultatov za skupino vrst vijakov 3+2 – 2. primer

Table 24: Comparison of results for group of bolt rows 3+2 – 2<sup>nd</sup> case

SKUPINA VRST VIJAKOV 3+2	Komponenta	Lastnosti komponente	Programsko orodje	SCIA Engineer v16.0	
	Stojina stebra v prečnem nategu		$b_{eff,t,wc}$ [mm]	327.1	327.1
			$b_{eff,1}$ [mm]	327.1	327.1
			$\beta$	1	1
			$A_{vc}$ [mm <sup>2</sup> ]	6806.25	6856.25
			$\omega_1$	0.693	0.7
			$\omega_2$	0.433	0.44
			$\omega$	0.693	0.7
			$F_{t,wc,Rd}$ [kN]	1011.72	1015.57
Potencialna nosilnost skupine [kN]			476.65	479.81	

Preglednica 25: Primerjava rezultatov za skupino vrst vijakov 2+1 – 2. primer

Table 25: Comparison of results for group of bolt rows 2+1 – 2<sup>nd</sup> case

SKUPINA VRST VIJAKOV 2+1	Komponenta	Lastnosti komponente	Programsko orodje	SCIA Engineer v16.0	
	Stojina stebra v prečnem nategu		$b_{eff,t,wc}$ [mm]	332.1	258.55 (1)
			$b_{eff,1}$ [mm]	332.1	258.55 (2)
			$\beta$	1	1
			$A_{vc}$ [mm <sup>2</sup> ]	6806.25	6856.25 (3)
			$\omega_1$	0.687	0.77 (4)
			$\omega_2$	0.428	0.52 (5)
			$\omega$	0.687	0.77 (6)
			$F_{t,wc,Rd}$ [kN]	1019.06	894.03 (7)
Potencialna nosilnost skupine [kN]			631.42	643.69 (8)	

Za preglednico 25 velja enak komentar kot za preglednico 23.

Preglednica 26: Primerjava rezultatov za ostale komponente v spoju – 2. primer

Table 26: Comparison of results rest of the components in joint – 2<sup>nd</sup> case

OSTALE KOMPONENTE	Komponenta	Lastnosti komponente	Programsko orodje	SCIA Engineer v16.0	
	STOJINA STEBRA V TLAKU		$b_{eff,c,wc}$ [mm]	286.13	286.13
			$\omega_1$	0.739	0.74
			$\omega_2$	0.481	0.48
			$\omega$	0.739	0.74
			$\bar{\lambda}_p$	0.433	0.43
			$\rho$	1	1
			$F_{c,wc,Rd}$ [kN]	944.56	947.69
	PASNICA IN STOJINA PREČKE V TLAKU		$M_{pl,Rd}$ [kNm]	515.59	515.59
			$F_{bf,Rd}$ [kN]	1065.27	1065.27
	STRIŽNA NOSILNOST STOJINE STEBRA		$V_{cw,Rd}$ [kN]	831.11	837.21
	NOSILNOST SPOJA NA VERTIKALNI STRIG		$F_{v,Rd}$ [kN]	141.2	141.2
			$V_{Rd}$ [kN]	242.06	242.06

Rezultati programskega orodja in programa SCIA Engineer [4] v preglednici 26 se dobro ujemajo. Rahlo odstopata vrednosti nosilnosti komponente stojine stebra v tlaku. To verjetno zato, ker program SCIA Engineer [4] zaokrožuje vrednosti faktorjev  $\omega$  na dve decimalni mesti, programsko orodje pa na

3 mesta. Rahlo odstopata tudi vrednosti nosilnosti komponente strižna nosilnost stebra, to pa ponovno zaradi različnih vrednosti strižnih površin stebra.

Preglednica 27: Primerjava sil v vrstah vijakov in upogibni nosilnosti spoja – 2. primer  
Table 27: Comparison of forces in bolt rows and joint moment resistance – 2<sup>nd</sup> case

		Programsko orodje	SCIA Engineer v16.0
<b>ROČICE IN NATEZNE SILE V VIJAKIH</b>	r <sub>1</sub> [cm]	52.7	52.7
	r <sub>2</sub> [cm]	44.2	44.2
	r <sub>3</sub> [cm]	36.2	36.2
	Trikotna razporeditev?	NE	NE
	F <sub>glob,min</sub> [kN]	831.11	837.21
	F <sub>1</sub> [kN]	244.52	244.52
F <sub>2</sub> [kN]	332.22	235.29 (1)	
F <sub>3</sub> [kN]	144.42	163.88	
<b>UPOGIBNA NOSILNOST SPOJA</b>	M <sub>b,pl,Rd</sub>	515.59	515.59
	M <sub>j,Rd</sub> [kNm]	327.98	292.18 (2)
	Klasifikacija po nosilnosti	DELNO NOSILEN	DELNO NOSILEN

V preglednici 27 zaradi prenizke izračunane potencialne nosilnosti skupin vrst 3+2+1 in 2+1 pri 1. primeru, na strani programa SICA Engineer [4] pride do razlike (1) in posledično do razlike (2). Odstopanje v končni upogibni nosilnosti spoja je 11 %.

Ojačitev panela stojine stebra namreč omogoči višjo mejo  $F_{glob,min}$  in s tem razvoj večjih nateznih sil v vrstah vijakov 2 in 3. Program SCIA Engineer [4] po seštevanju sil v nateznih vijakih ( $244.52kN + 235.29kN + 163.88kN = 643.69kN$ ) ne doseže  $F_{glob,min}$ , saj jo omejuje prenizka vrednost potencialne nosilnosti skupin vrst vijakov 3+2+1 in 2+1. Nižje potencialne nosilnosti omenjenih skupin izhajajo iz napačnih sodelujočih dolžin nadomestnega T-elementa za komponento upogib pasnice stebra za 1. vrsto vijakov.

Odstopanja (1)-(3) v preglednici 27 nastopijo v programu SCIA Engineer [4] zaradi že večkrat omenjene napačne dolžine nadomestnega T-elementa za komponento upogib pasnice stebra. Odstopanje (4) nastopi zaradi prav tako že večkrat omenjene razlike v strižnih površin med programskim orodjem in programom SCIA Engineer [4]. Zaradi odstopanj (1)-(4) pride do odstopanja (5).

Standard SIST EN 1993-1-8 [1] (Preglednica 8 v tem dokumentu) sicer pravi, da je za ojačen strižni panel, vrednost togosti nadomestne vzmeti  $k_l$  (komponenta panel stojine stebra v strigu) neskončno. Ne pravi pa za kakšno ojačitev to velja. Na tem mestu sem se pri pisanju programskega orodja zgledoval po programu SCIA Engineer [4], ki za račun togosti omenjene komponente, ob uporabljeni SWP ojačitvi, upošteva dvojno debelino stojine stebra. Pripis neskončne vrednosti koeficienta togosti omenjene komponente za ojačitev z dodatnimi pločevinami SWP se mi zdi pretiran. Neskončno vrednost bi prej pripisal ojačitvi strižnega panela Morrison, K ali N, ki geometrijsko bolj sovпада s strižnimi deformacijskimi valovi v strižnem panelu stebra.



Preglednica 28: Primerjava togosti spoja – 2. primer  
Table 28: Comparison of results for joint stiffness – 2<sup>nd</sup> case

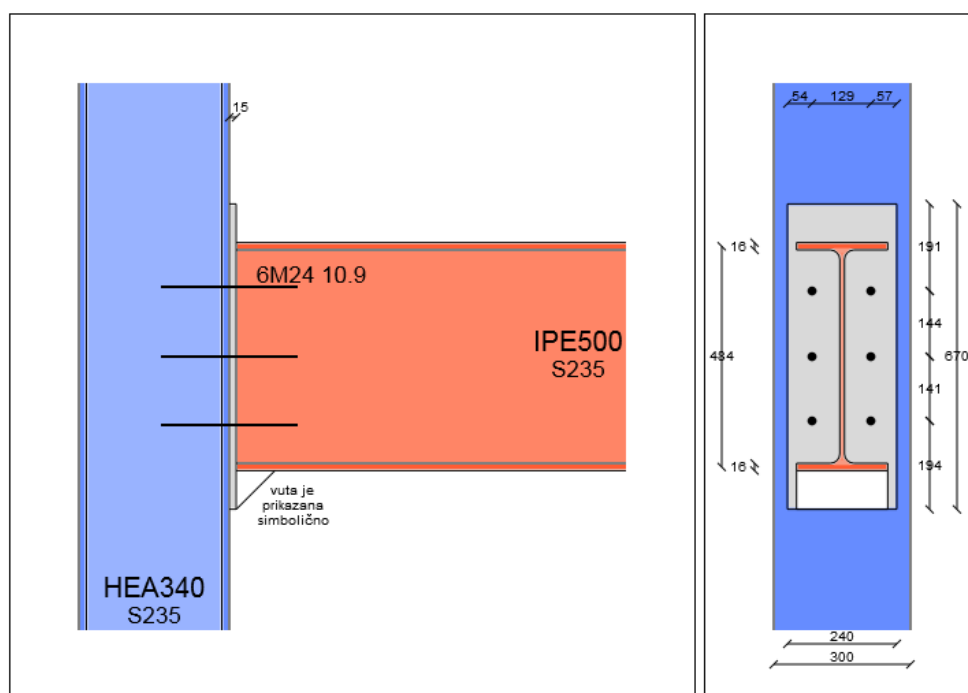
TOGOST SPOJA			Programsko orodje	SCIA Engineer v16.0	
	VRSTA 1	k3 [mm]		9.09	5.06 (1)
		k4 [mm]		17.62	9.81 (2)
		k5 [mm]		20.86	20.86
		k10 [mm]		10.03	10
		keff [mm]		3.18	2.24 (3)
	VRSTA 2	k3 [mm]		4.52	4.52
		k4 [mm]		8.75	8.75
		k5 [mm]		6.1	5.97
		k10 [mm]		10.03	10
		keff [mm]		1.67	1.66
	VRSTA 3	k3 [mm]		8.95	8.95
		k4 [mm]		17.35	17.35
		k5 [mm]		4.48	4.48
		k10 [mm]		10.03	10
		keff [mm]		2.03	2.03
	zeq [mm]			468.57	457.63
	k1 [mm]			5.52	5.69 (4)
	k2 [mm]			15.66	15.66
	keq [mm]			6.72	5.78
Sj,ini [MNm/rad]			117.07	106.62 (4)	

### 5.3 Primer 3: Spoj iz primera 1 ojačen z vuto

#### 5.3.1 Definiranje spoja v programskem orodju

Slika 79 prikazuje sliko konfiguracije spoja, kot jo izriše programsko orodje. Vuta programsko orodje izriše simbolično. To pomeni, da izrisana ni v merilu in ne prikazuje ločeno pasnice in stojine vute. Uporabljena je vuta višine 250 mm. Izpolnjena polja v grafičnem vmesniku so prikazana v izpisu programskega orodja, skupaj s sliko in izpisom rezultatov. Vse skupaj se nahaja v prilogi 5.

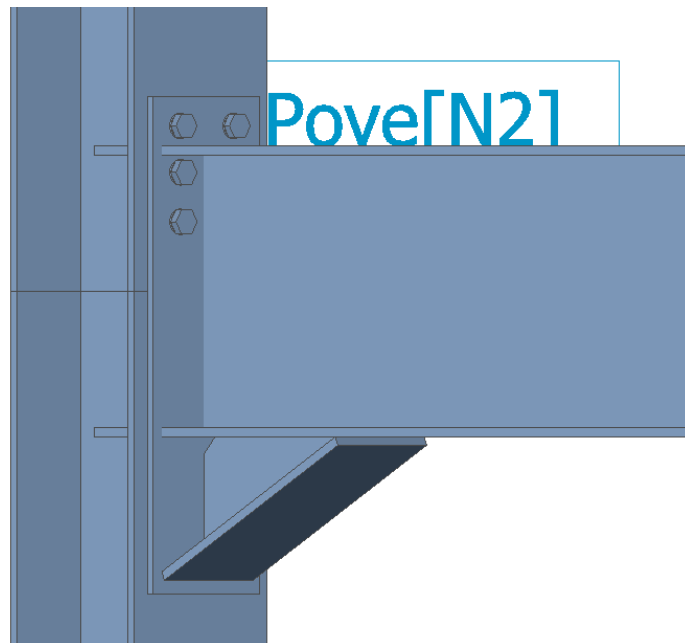
SKICA:



Slika 79: Izris spoja v programskem orodju KMrup za 2. primer, izris vute ni v merilu  
Figure 79: Joint drawing in programming tool KMrup for 2<sup>th</sup> case, haunch drawing is not in scale

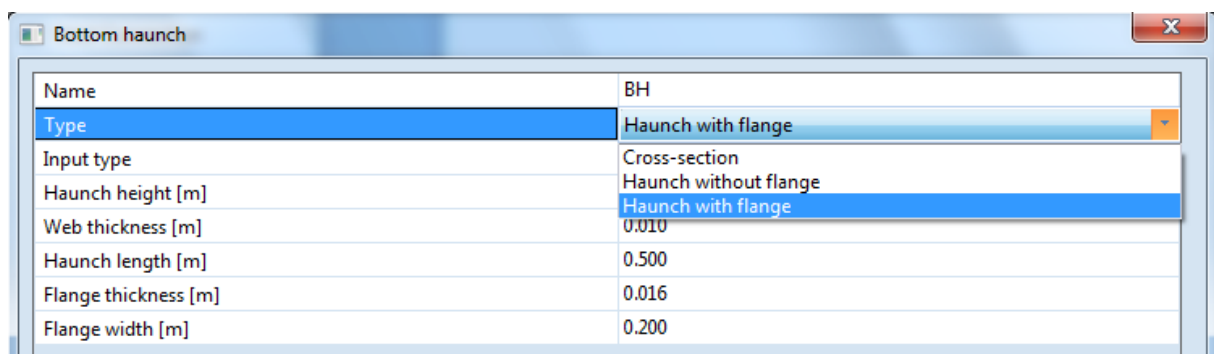
### 5.3.2 Definiranje spoja v programu SCIA Engineer

Spoju, katerega opis postopka definicije je opisan v poglavju 5.1.2, dodamo vuto višine 250 mm, ki je izrezano z elementa enakega prereza in materiala kot nosilec. 3D sliko spoja v programu SCIA Engineer [4] prikazuje slika 80. Postopek dodajanja SWP v programu prikazujejo slike 81 do 83.



Slika 80: Slika 2. primera spoja bočno v programu SCIA Engineer [4]  
Figure 80: 2. case joint picture in program SCIA Engineer [4]

Pri definiciji spoja obkljukamo možnost "haunch" (vuta). Potem nastavimo lastnosti vute. Slika 81 prikazuje katere tipe vut ima na voljo program SCIA Engineer [4]. Programsko orodje je omejeno zgolj na tip "haunch with flange" (vuta s pasnico). Slika 78 prikazuje definirane vse lastnosti vute. Lastnosti so izbrane tako, da se ujemajo z lastnostmi vute, ki ga ponuja programsko orodje.



Slika 81: Nastavitve ojačitve panela stojine stebra  
Figure 81: Column web panel stiffener settings

Name	BH
Type	Haunch with flange
Input type	Height x length
Haunch height [m]	0.250
Web thickness [m]	0.010
Haunch length [m]	0.500
Flange thickness [m]	0.016
Flange width [m]	0.200

Slika 82: Mala in velika ojačitev  
Figure 82: Small and big stiffener

### 5.3.3 Rezultati in komentar

Ojačitev spoja z vuto pomeni ojačitev nosilca oziroma ojačitev komponente stojina in pasnica prečke v tlaku. Zato v tem poglavju podajam le tabelo primerjave rezultatov te komponente ter tabelo primerjave rezultatov sil vrstah vijakov in upogibne nosilnosti spoja. Vse ostale komponente spoja ostajajo enake kot pri 1. primeru. Prav tako ostanejo enake kot v 1. primeru, natezne sile v vrstah vijakov.

Preglednica 29: Primerjava komponente pasnica in stojina prečke v tlaku – 3. primer

Table 29: Comparison of results for beam flange and web in compression – 3<sup>rd</sup> case

Komponenta	Lastnosti komponente	Programsko orodje	SCIA Engineer v16.0
PASNICA IN STOJINA	$M_{pl,Rd}$ [kNm]	889.05 (1)	930.34
PREČKE V TLAKU	$F_{bf,Rd}$ [kN]	1211.23 (2)	1267.49

Do razlik (1) in (2) v preglednici 29 pride, ker programsko orodje pri upogibni nosilnosti nosilca podprtega z vuto na varni strani zanemari prispevek srednje pasnice (za poenostavitev računa to omogoča standard SIST EN 1993-1-8 [1]). Program SCIA Engineer [4] podaja večje vrednosti nosilnosti komponent, saj upošteva pri računu tudi sredno pasnico.

Preglednica 30: Primerjava komponente pasnica in stojina prečke v tlaku – 3. primer

Table 30: Comparison of results for joint stiffness – 3<sup>rd</sup> case

		Programsko orodje	SCIA Engineer v16.0
<b>ROČICE IN NATEZNE SILE V VIJAKIH</b>	$r_1$ [cm]	52.7	77.606 (1)
	$r_2$ [cm]	44.2	69.606 (2)
	$r_3$ [cm]	36.2	61.106 (3)
	Trikotna razporeditev?	NE	NE
	$F_{glob,min}$ [kN]	467.61	469.01
	$F_1$ [kN]	244.52	244.52
	$F_2$ [kN]	223.09	210.33
<b>UPOGIBNA NOSILNOST SPOJA</b>	$F_3$ [kN]	0	0
	$M_{b,pl,Rd}$	515.59	515.59
	$M_{j,Rd}$ [kNm]	227.47	336.16 (4)
	Klasifikacija po nosilnosti	DELNO NOSILEN	DELNO NOSILEN

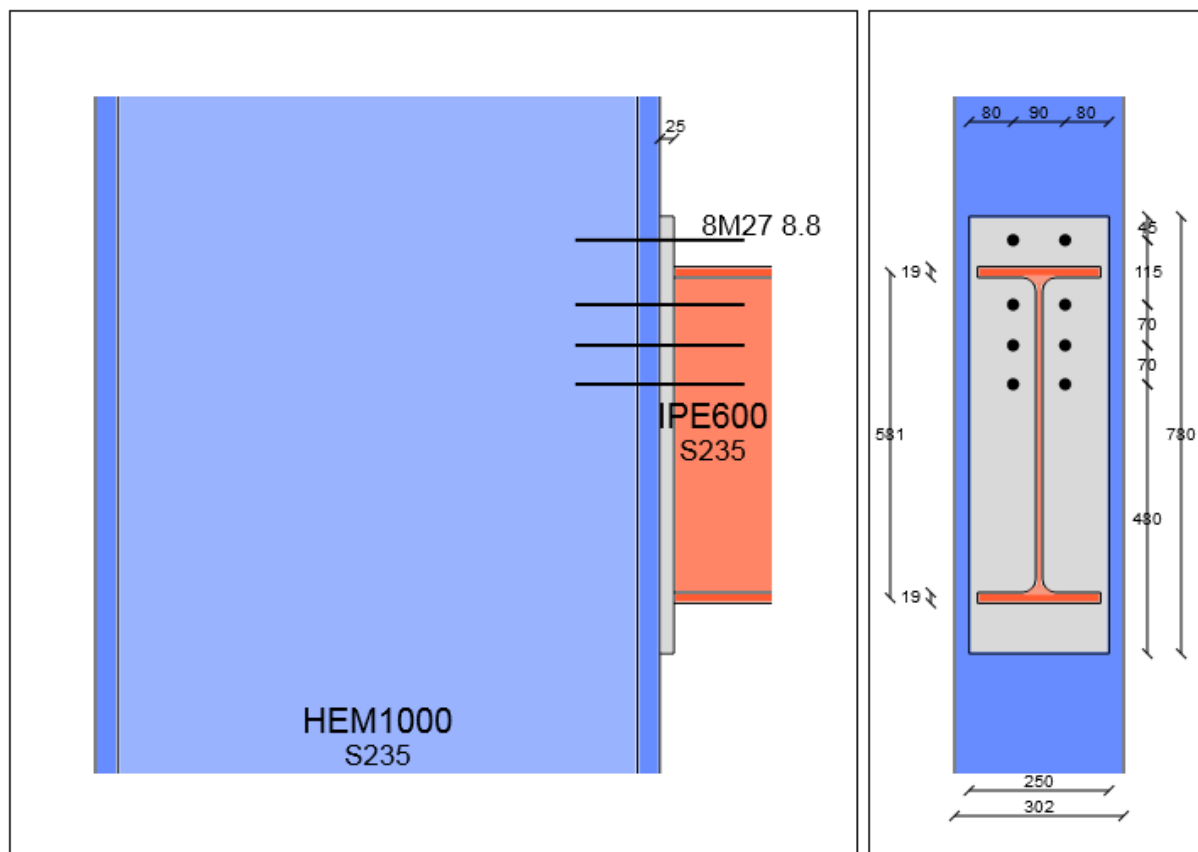
Preglednica 30 prikazuje zelo pomembno razliko v delovanju programskega orodja in programa SCIA Engineer [4]. Iz preglednice je razvidno, da program SCIA Engineer [4] prestavi nevtralno os v spoju v pasnico vute. Ročice se povečajo za višino vute. Literatura [11] pravi, da se nevtralna os premakne, vendar ne v spodnjo pasnico vute. Programsko orodje (na varni strani) nevtralno os ohrani na višini

tlačne pasnice nosilca. Razlika v izračunanih upogibnih nosilnostih je zaradi tega zelo velika, kar 108.7 kNm.

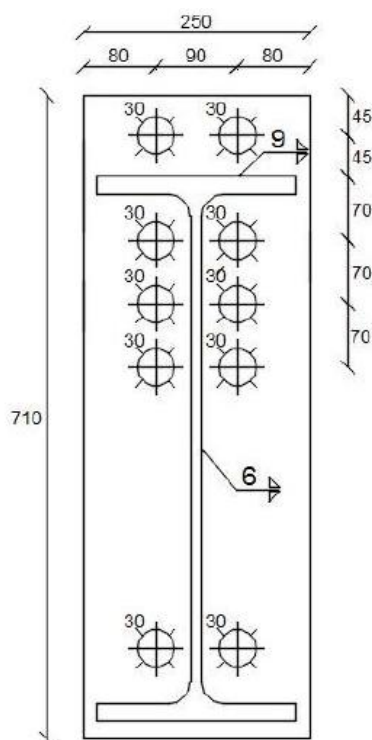
#### 5.4 Primer 4: Primerjava s spojem s štirimi vrstami vijakov izračunanem v [3]

Programsko orodje je možno uporabiti tudi za primer stika dveh nosilcev. Zato je potrebno v programskem orodju definirati močan steber na katerega se priključi eden od nosilcev. Če imajo komponente na strani stebra večje nosilnosti kot tiste na strani nosilca in čelne pločevine, upogibno nosilnost spoja določajo komponente na strani nosilca oziroma čelne pločevine. Te komponente pa pridejo v poštev pri določitvi nosilnosti vijachenega stika nosilcev.

Slika 83 prikazuje spoj, kot je definiran v programskem orodju. Za namen merodajnosti nosilnosti komponent na strani nosilca in čelne pločevine je podan steber profila HEM 1000. Izpolnjena polja grafičnega vmesnika se nahajajo v prilogi 7. Slika 84 prikazuje konfiguracijo spoja kot je prikazana v diplomskem delu Roka Morgana [3]. Uporabljeni so vijaki M27, trdnostnega razreda 8.8. Debelina čelne pločevine je enaka 25 mm.



Slika 83: Slika spoja 4. primera kot jo izriše programsko orodje KMrup  
Figure 83: Figure of 4<sup>th</sup> case joint drawn by the programming tool KMrup



Slika 84: Slika spoja 4. primera kot jo prikazana v viru [3]  
Figure 84: Picture of 4<sup>th</sup> case joint as shown in source [3]

## 5.5 Rezultati in komentar

Preglednica 31: Primerjava rezultatov za vrsto vijakov 1 – 4. primer  
Table 31: Comparison of results for bolt row 1 – 4<sup>th</sup> case

	Komponenta	Lastnosti komponente	Programsko orodje	Diplomska naloga
<b>VRSTA VIJAKOV 1</b>	Čelna pločevina v upogibu	krožna oblika [mm]	199.38	199.3
		polig. oblika [mm]	125	125
		$M_{pl,1,Rd}$ [kNcm]	458.98	459
		$M_{pl,2,Rd}$ [kNcm]	458.98	459
		$F_{t,1,Rd}$ [kN]	527.3	528
		$F_{t,2,Rd}$ [kN]	410.94	411
		$F_{t,3,Rd}$ [kN]	528.77	528
		$F_{t,Rd}$ [kN]	410.94	411
	Stojina prečke v nategu	SE NE PREVERJA		
	Potencialna nosilnost vrste [kN]		410.94	411

Preglednica 32: Primerjava rezultatov za vrsto vijakov 2 – 4. primer

Table 32: Comparison of results for bolt row 2 – 4<sup>th</sup> case

<b>VRSTA VIJAKOV 2</b>	<b>Komponenta</b>	<b>Lastnosti komponente</b>	<b>Programsko orodje</b>	<b>Diplomska naloga</b>	
	Čelna pločevina v upogibu	krožna oblika [mm]		202.39	202.3
		polig. oblika [mm]		255.76 (1)	247.9
		M <sub>pl,1,Rd</sub> [kNcm]		743.16	742.8
		M <sub>pl,2,Rd</sub> [kNcm]		939.12	910.3
		F <sub>t,1,Rd</sub> [kN]		922.84	923
		F <sub>t,2,Rd</sub> [kN]		552.91 (2)	545
		F <sub>t,3,Rd</sub> [kN]		528.77	528
		F <sub>t,Rd</sub> [kN]		528.77	528
	Stojina prečke v nategu	b <sub>eff,t,wb</sub>		202.39	/
F <sub>t,wb,Rd</sub>			570.75	/	
Potencialna nosilnost vrste [kN]			528.77	528	

Preglednica 33: Primerjava rezultatov za vrsto vijakov 3 – 4. primer

Table 33: Comparison of results for bolt row 3 – 4<sup>th</sup> case

<b>VRSTA VIJAKOV 3</b>	<b>Komponenta</b>	<b>Lastnosti komponente</b>	<b>Programsko orodje</b>	<b>Diplomska naloga</b>	
	Čelna pločevina v upogibu	krožna oblika [mm]		202.39	202.3
		polig. oblika [mm]		228.85	228.8
		M <sub>pl,1,Rd</sub> [kNcm]		743.16	742.8
		M <sub>pl,2,Rd</sub> [kNcm]		840.3	840.1
		F <sub>t,1,Rd</sub> [kN]		922.84	923
		F <sub>t,2,Rd</sub> [kN]		525.64	525
		F <sub>t,3,Rd</sub> [kN]		528.77	528
		F <sub>t,Rd</sub> [kN]		525.64	525
	Stojina prečke v nategu	b <sub>eff,t,wb</sub>		202.39	202.3
F <sub>t,wb,Rd</sub>			570.75	570	
Potencialna nosilnost vrste [kN]			525.64	525	

Preglednica 34: Primerjava rezultatov za vrsto vijakov 4 – 4. primer

Table 34: Comparison of results for bolt row 4 – 4<sup>th</sup> case

<b>VRSTA VIJAKOV 4</b>	<b>Komponenta</b>	<b>Lastnosti komponente</b>	<b>Programsko orodje</b>	<b>Diplomska naloga</b>	
	Čelna pločevina v upogibu	krožna oblika [mm]		202.39	202.3
		polig. oblika [mm]		228.85	228.8
		M <sub>pl,1,Rd</sub> [kNcm]		743.16	742.8
		M <sub>pl,2,Rd</sub> [kNcm]		840.3	840.1
		F <sub>t,1,Rd</sub> [kN]		922.84	923
		F <sub>t,2,Rd</sub> [kN]		525.64	525
		F <sub>t,3,Rd</sub> [kN]		528.77	528
		F <sub>t,Rd</sub> [kN]		525.64	525
	Stojina prečke v nategu	b <sub>eff,t,wb</sub>		202.39	202.3
F <sub>t,wb,Rd</sub>			570.75	570	
Potencialna nosilnost vrste [kN]			525.64	525	

Preglednica 35: Primerjava rezultatov za skupino vrst vijakov 4+3+2 – 4. primer

Table 35: Comparison of results for bolt row 4+3+2 – 4<sup>th</sup> case

<b>SKUPINA VRST VIJAKOV 4+3+2</b>	Komponenta	Lastnosti komponente	Programsko orodje	Diplomska naloga	
	Čelna pločevina v upogibu	krožna oblika [mm]		482.39	482.3
		polig. oblika [mm]		395.76 (1)	387.9
		M <sub>pl,1,Rd</sub> [kNcm]		1453.19 (2)	1424.3
		M <sub>pl,2,Rd</sub> [kNcm]		1453.19 (3)	1424.3
		F <sub>t,1,Rd</sub> [kN]		1804.54 (4)	1769
		F <sub>t,2,Rd</sub> [kN]		1282.29 (5)	1273
		F <sub>t,3,Rd</sub> [kN]		1586.3	1584
	F <sub>t,Rd</sub> [kN]		1282.29 (6)	1273	
	Stojina prečke v nategu	b <sub>eff,t,wb</sub>		395.76 (7)	387.9
F <sub>t,wb,Rd</sub>			1116.05 (8)	1094	
Potencialna nosilnost skupine vrst vijakov [kN]			1116.05 (9)	1094	

Preglednica 36: Primerjava rezultatov za skupino vrst vijakov 4+3 – 4. primer

Table 36: Comparison of results for bolt row 4+3 – 4<sup>th</sup> case

<b>SKUPINA VRST VIJAKOV 4+3</b>	Komponenta	Lastnosti komponente	Programsko orodje	Diplomska naloga	
	Čelna pločevina v upogibu	krožna oblika [mm]		342.29	342.4
		polig. oblika [mm]		298.85	298.8
		M <sub>pl,1,Rd</sub> [kNcm]		1097.33	1097.2
		M <sub>pl,2,Rd</sub> [kNcm]		1097.33	1097.2
		F <sub>t,1,Rd</sub> [kN]		1362.64	1363
		F <sub>t,2,Rd</sub> [kN]		890.33	890
		F <sub>t,3,Rd</sub> [kN]		1057.54	1056
	F <sub>t,Rd</sub> [kN]		890.33	890	
	Stojina prečke v nategu	b <sub>eff,t,wb</sub>		298.85	298.8
F <sub>t,wb,Rd</sub>			842.75	745	
Potencialna nosilnost skupine vrst vijakov [kN]			842.75	745	

Preglednica 37: Primerjava rezultatov za skupino vrst vijakov 3+2 – 4. primer

Table 37: Comparison of results for bolt row 3+2 – 4<sup>th</sup> case

<b>SKUPINA VRST VIJAKOV 3+2</b>	Komponenta	Lastnosti komponente	Programsko orodje	Diplomska naloga	
	Čelna pločevina v upogibu	krožna oblika [mm]		342.39	342.4
		polig. oblika [mm]		325.76 (1)	317.9
		M <sub>pl,1,Rd</sub> [kNcm]		1196.16 (2)	1167.4
		M <sub>pl,2,Rd</sub> [kNcm]		1196.16 (3)	1167.4
		F <sub>t,1,Rd</sub> [kN]		1485.36 (4)	1450
		F <sub>t,2,Rd</sub> [kN]		917.6 (5)	909
		F <sub>t,3,Rd</sub> [kN]		1057.54	1056
	F <sub>t,Rd</sub> [kN]		917.6 (6)	909	
	Stojina prečke v nategu	b <sub>eff,t,wb</sub>		325.76 (7)	/
F <sub>t,wb,Rd</sub>			918.65 (8)	/	
Potencialna nosilnost skupine vrst vijakov [kN]			917.6 (9)	909	

Vsa odstopanja med rezultati v preglednicah 31-37, med rezultati programskega orodja in rezultati navedenimi v diplomski nalogi nastopijo zaradi razlike v vrednostih faktorja  $\alpha$  za vrsto vijakov pod natezno pasnico. V diplomski nalogi je vrednost tega faktorja enaka 7.7, v programskem orodju ta vrednost znaša 7.94.

Preglednica 38: Primerjava komponente pasnica in stojina prečke v tlaku – 4. primer

Table 38: Comparison of results for component beam flange and web in compression – 4<sup>th</sup> case

Komponenta	Lastnosti komponente	Programsko orodje	Diplomska naloga
PASNICA IN STOJINA	$M_{pl,Rd}$ [kNm]	825.32	825
PREČKE V TLAKU	$F_{bf,Rd}$ [kN]	1420.52	1420

Preglednica 39: Primerjava sil v vrstah vijakov in upogibni nosilnosti spoja – 4. primer

Table 39: Comparison of results of forces in bolt rows and joint moment resistance – 4<sup>th</sup> case

		Programsko orodje	Diplomska naloga
<b>ROČICE IN NATEZNE SILE V VIJAKIH</b>	$r_1$ [cm]	63.55	63.55
	$r_2$ [cm]	52.05	52.05
	$r_3$ [cm]	45.05	45.05
	$r_4$ [cm]	38.05	38.05
	Trikotna razporeditev?	DA	DA
	$F_{glob,min}$ [kN]	1420.52	1420
	$F_1$ [kN]	410.94	411
$F_2$ [kN]	528.77	528	
$F_3$ [kN]	388.83 (1)	381	
$F_4$ [kN]	91.98 (2)	100	
<b>UPOGIBNA NOSILNOST SPOJA</b>	$M_{b,pl,Rd}$	825.32	825
	$M_{j,Rd}$ [kNm]	746.54	746
	Klasifikacija po nosilnosti	DELNO NOSILEN	DELNO NOSILEN

Odstopaji (1) in (2) v preglednici 39 nastopita zaradi različnih izračunanih nosilnosti skupin vijakov 4+3+2 in 3+2. Vendar sta odstopaji majhni in praktično ne vplivata na rezultat upogibne nosilnosti spoja.



## 6 ZAKLJUČEK

V času nastajanja ni bilo moč najti odprtokodnega programskega orodja, s katerim bi bilo mogoče poračunati momentni spoj po komponentni metodi. Programsko orodje KMrup počne prav to. Programsko orodje deluje v spletnem brskalniku in je preprosto za uporabo.

Delovanje programskega orodja sem preveril z rešenima primeroma v virih [2] in [3]. Rezultati se zelo dobro ujemajo. Primerjava rezultatov je predstavljena v poglavjih 5.1 in 5.4. Delovanje programskega orodja sem primerjal še s komercialnim programom SCIA Engineer [4]. SCIA ima širok nabor možnosti uporabe, med katerim je tudi projektiranje spojev po komponentni metodi. Pri primerjavi rezultatov s programskim orodjem, se je izkazalo da ima SCIA pri računanju nekaj pomanjkljivosti in vsaj eno napako, ki za predstavljen primer spoja povzroči odstopanje v rezultatih upogibne nosilnosti spoja za 11 %.

V magistrskem delu sem predstavil izračune programskega orodja za 4 različne konfiguracije spojev. V eni izmed konfiguracij je za ojačitev nosilca uporabljena kratka vuta. Nevtralna os v spoju je ob neojačenem nosilcu v težišču tlačene pasnice nosilca. Uporaba kratke vute povzroči premik nevtralne osi, vendar sem v literaturi zasledil, da se nevtralna os ne premakne v težišče tlačene pasnice vute, ampak precej višje. Standard SIST EN 1993-1-8 [1] ne podaja lege nevtralne osi pri spojih s kratko vuto, čeprav so takšni spoji pogosto uporabljeni prav z namenom, da na ta račun povečamo upogibno nosilnost spoja. SCIA Engineer [4] premakne nevtralno os na spodnji konec vute, kar je skrajni primer in daje prevelike vrednosti upogibnih nosilnosti. Programsko orodje ohrani lego nevtralne osi v težišču tlačene pasnice. Zaradi tega pride do velike razlike med izračunanimi vrednostmi upogibne nosilnosti spoja v rezultatih za 3. primer in sicer za kar 32 %. Nevtralna os se nahaja nekje vmes med težiščem tlačene pasnice in spodnjim koncem vute. Postopek določitve lege nevtralne osi je predstavljen v literaturi [11].

Pri primerjavi rezultatov programskega orodja in programa SCIA Engineer [4] sem naletel na pomanjkljivost v SIST EN 1993-1-8 [1], glede določitve togosti nadomestne vzmeti za komponento strižni panel stebra. V preglednici v omenjenem standardu je navedeno, da če je strižni panel ojačen, se komponenti  $k_1$  pripiše neskončno togost. Ne piše pa za kakšno ojačitev to velja. Za ojačitev strižnega panela stebra z dodatnimi pločevinami, je to nesmiselno. Če namesto ojačitve za povečanje debeline stojine stebra uporabimo prerez, ki ima dvakrat debelejšo debelino stojine kot izhodiščni prerez, je učinek na togost nadomestne vzmeti enak kot pri ojačitvi z dodatnimi pločevinami. Pripis neskončne vrednosti koeficientu  $k_1$  je bolj smiseln za ojačitve tipa Morris, N in K.

## 7 VIRI:

- [1] SIST EN 1993-1-8, Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij – 1-8. del: Projektiranje spojev.
- [2] Veljkovic M., Simões da Silva L., Simões R., Wald F., Jaspert J.-P., Weynand K., Dubinã D., Landolfo R., Vila Real P., Gervásio H. 2015. Eurocodes: Background & Applications. Design of Steel Buildings: 466 str.
- [3] Morgan R. 2016. Tabele nosilnosti vijačenih stikov IPE nosilcev s podaljšano čelno pločevino. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba R. Morgan): 74 f.
- [4] Nemetschek Group. 2016. SCIA Engineer v16.0 Student version. Belgium, Herk-de-Stad, SCIA nv.
- [5] Steenhuis M., Jaspert J. P., Gomes F., Leino T. 2016. Application of the Component Method to Steel Joints.  
[https://www.researchgate.net/publication/267222738\\_Application\\_of\\_the\\_component\\_method\\_to\\_steel\\_joints?enrichId=rgreq-7a76dc195a0684ff4bc926b8a2928765-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI2NzIyMjczODtBUzoyMjQ3OTg3ODIzMDAxNjBAMTQzMjYwNzYxNDU5Ng%3D%3D&el=1\\_x\\_2](https://www.researchgate.net/publication/267222738_Application_of_the_component_method_to_steel_joints?enrichId=rgreq-7a76dc195a0684ff4bc926b8a2928765-XXX&enrichSource=Y292ZXJQYWdlOzI2NzIyMjczODtBUzoyMjQ3OTg3ODIzMDAxNjBAMTQzMjYwNzYxNDU5Ng%3D%3D&el=1_x_2) (Pridobljeno 5.10. 2016.)
- [6] Simões da Silva L. 2008. Towards a consistent design approach for steel joints under generalized loading. Journal of Constructional Steel Research , 64: 1059-1075.
- [7] The steel Construction Institute, The British Constructional Steelwork Association. 2013. Joints in Steel Construction Moment-Resisting joints to Eurocode 3: 163 str.
- [8] SIST EN 1993-1-1, Evrokod 3: Projektiranje jeklenih konstrukcij – 1-1. del: Splošna pravila in pravila za stavbe
- [9] Beg D., Pogačnik A. 2009. Priročnik za projektiranje gradbenih konstrukcij po Evrokod standardih. Ljubljana, Inženirska zbornica Slovenije.
- [10] American Institute of Steel Construction. 2016. Prequalified Connections for Special and Intermediate Steel Moment Frames for Seismic Applications: 260 str.
- [11] Ambrožič M. 2014. Polno nosilni spoji v potresno odpornih stavbah. Diplomsko naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo (samozaložba M. Ambrožič): 118 f.
- [12] Opensource.com.  
<https://opensource.org/> (Pridobljeno 14.11.2016.)
- [13] Oracle Corporation. 2016. Netbeans 8.2. ZDA, Redwood Shores, CA 94065.
- [14] Johannes Koggdal. oCanvas.  
<http://ocanvas.org/> (Pridobljeno 21.6.2016.)
- [15] jQuery.com.  
<http://jquery.com/download/> (Pridobljeno 12.6.2016.)

- [16] Wikipedija. HTML.  
<https://en.wikipedia.org/wiki/HTML> (Pridobljeno 11.10.2016.)
- [17] Wikipedija. Cascading Style Sheets.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Cascading\\_Style\\_Sheets](https://en.wikipedia.org/wiki/Cascading_Style_Sheets) (Pridobljeno 11.10.2016.)
- [18] Wikipedija. JavaScript.  
<https://en.wikipedia.org/wiki/JavaScript> (Pridobljeno 11.10.2016.)
- [19] Wikipedija. jQuery.  
<https://en.wikipedia.org/wiki/JQuery> (Pridobljeno 11.10.2016.)
- [20] Wikipedija. Bootstrap (front-end framework).  
[https://en.wikipedia.org/wiki/Bootstrap\\_\(front-end\\_framework\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Bootstrap_(front-end_framework)) (Pridobljeno 11.10.2016.)
- [21] SIST EN 1090-2: Izvedba jeklenih in aluminijastih konstrukcij – 2. Del: Tehnične zahteve za izvedbo jeklenih konstrukcij.
- [22] EN 1993-1-5, Eurocode 3 – Design of steel structures – Part 1-5: Plated structural elements.
- [23] SCIA Engineer v16.0 2016. Steel connections: Design and checks of steel connections, 92.  
[http://help.scia.net/download/16.0/en/SteelConnections\\_enu.pdf](http://help.scia.net/download/16.0/en/SteelConnections_enu.pdf) (Pridobljeno 12.10.2016.)
- [24] Lorenz J., Dovgan V., Harry, Fleming K., Y N, Fowler T., Cuvier C., Legault, J., Brotherstone D., Thesis S., Gruël J., Boyer F., Jonsson A., Radić I., Gerard D. 2016. Notepad++ 7.2.1.
- [25] Može, P. 2015. Spoji. Ljubljana, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo: 91 str. Študijsko gradivo pri predmetu Jeklene konstrukcije, magistrski študij gradbeništva.

**SEZNAM PRILOG**

PRILOGA 1: IZPIS PROGRAMSKEGA ORODJA ZA 1. PRIMER

PRILOGA 2: IZPIS PROGRAMA SCIA ENGINEER ZA 1. PRIMER

PRILOGA 3: IZPIS PROGRAMSKEGA ORODJA ZA 2. PRIMER

PRILOGA 4: IZPIS PROGRAMA SCIA ENGINEER ZA 2. PRIMER

PRILOGA 5: IZPIS PROGRAMSKEGA ORODJA ZA 3. PRIMER

PRILOGA 6: IZPIS PROGRAMA SCIA ENGINEER ZA 3. PRIMER

PRILOGA 7: IZPIS PROGRAMSKEGA ORODJA ZA 4. PRIMER

»Ta stran je namenoma prazna.«

## PRILOGA 1

Program po komponentni metodi izračuna nosilnost in togost podanega spoja.

Z ukazom NARIŠI se izriše slika podanega spoja. Z ukazom IZRAČUNAJ program izračuna nosilnost in togost podanega spoja  
V izpisu na spodnjem delu strani se nahajajo delni rezultati izračuna in nosilnost posameznih komponent spoja in rezultati računa togosti spoja

#### STEBER

Tip prereza: HEA340 ▾

Kvaliteta jekla: S235 ▾

#### PREČKA

Tip prereza: IPE500 ▾

Kvaliteta jekla: S235 ▾

#### ČELNA PLOČEVINA

Višina: 670 mm

Širina: 240 mm

Debelina: 15 mm

Trdnostni razred jekla: S235 ▾

(\* čelna pločevina mora biti šibki element spoja - trdnostni razred jekla naj bo enak ali nižji kot pri stebri in prečki)

#### VIJAKI

Število vrst vijakov: 3

(\* nevtralna os v spoju poteka skozi težišče spodnje pasnice prečke; k upogibni nosilnosti spoja pripomorejo le vrste vijakov, ki so pozicionirane nad spodnjo pasnico prečke (natezne vrste vijakov); vrste vijakov pod spodnjo pasnico prečke pripomorejo le k strižni odpornosti spoja)

(\*\* program samodejno upošteva natezno vrsto vijakov ob tlačni pasnici prečke; če tega ne želiš, vpiši 1 vrsto vijakov manj)

Tip vijakov: M24 ▾ Prednapeti vijaki

Trdnostni razred vijakov: 10.9 ▾

#### ZVARI

Debelina zvara med stojino prečke in čelno pločevino: 5 mm

Debelina zvara med pasnico prečke in čelno pločevino: 8 mm

(\* program računa z vrednostmi, ki jih podaš; zvari v momentnem spoju morajo biti polnonosilni)

#### OJAČITVE NA STRANI STEBRA

tlačna ojačitev

natezna ojačitev

strižni panel

#### OJAČITEV PREČKE - VUTA

vuta

#### OJAČITEV ČELNE PLOČEVINE - REBRO

rebro

#### OSNA IN PREČNA SILA V PREČKI

Osna sila: 0 kN

(\* če je sila tlačna, vnese vrednost z negativnim predznakom)

(\*\* če osna sila presega 5% tlačne/natezne nosilnosti prečke, račun togosti in nosilnosti spoja ni pravi (glej SIST EN 1993-1-8))

Prečna sila:  kN

METODA RAČUNA  $F_{t,rd}$

Alternativna metoda

PODATKI ZA RAČUN KOMPONENTE STOJINA STEBRA V PREČNEM TLAKU

Transformacijski parameter beta ( $0 \leq \beta \leq 2$ )

Redukcijski faktor  $k_{wc}$  ( $1 \leq k_{wc} \leq 1.7$ )

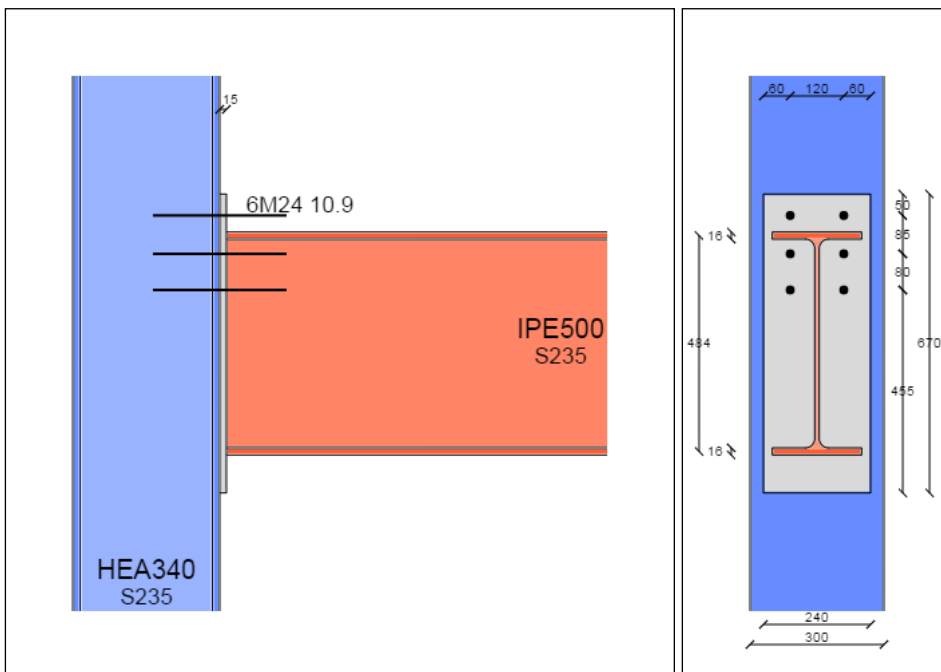
PODATEK ZA RAČUN TOGOSTI SPOJA

Delež obremenitve spoja glede na njegovo nosilnost ( $0 \leq M_{j,ed}/M_{j,rd} \leq 1.0$ )

Dolžina prečke  m

NARIŠI

SKICA:



NAVPIČNE RAZDALJE MED VIJAKI:

(\* nad natezno pasnico prečke je lahko pozicionirana največ 1 vrsta vijakov)

Razdalja med zgornjim robom čelne pločevine in 1. vrsto vijakov:  mm

Razdalja med 1. in 2. vrsto vijakov:  mm

Razdalja med 2. in 3. vrsto vijakov:  mm

VODORAVNE RAZDALJE MED VIJAKI:

Vodoravna razdalja med robom čelne pločevine in vrsto vijakov:  mm

POPRAVI POZICIJE VIJAKOV



REZULTATI:

## 2.) GEOMETRIJA NADOMESTNIH T ELEMENTOV

2.1) T ELEMENT NA STRANI STEBRA [mm]:

P: 120

m: 33.65

e (steber): 90

e (čelna pločevina): 60

e: 60

e1: 50

n: 42.06

nmin: 42.06

2.2) T ELEMENT NA STRANI PREČKE [mm]:

P: 120

m: 49.24

e (precka): 60

e (čelna pločevina): 60

emin: 60

n: 61.55

nmin: 60

2.3) T ELEMENT NA STRANI ČELNE PLOČEVINE [mm]:

ex: 50

mx: 25.95

w: 120

e: 60

m: 49.24

m2 (vrsta vijakov pod natezno pasnico): 24.95

m2 (spodnja natezna vrsta vijakov): 344.95

nx: 32.44

## 3.) VRSTA VIJAKOV 1

3.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]:

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 211.43

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 247.1

Mpl,1,rd: 338.17

Mpl,2,rd: 395.23

Ft,1,rd: 401.99

Ft,2,rd: 386.8

Ft,3,rd: 508.32

Nosilnost elementa - Ft,rd: 386.8

3.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]:

beff,c,wc: 247.1

beff,1: 247.1

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 4497.75

Omega1: 0.859

Omega2: 0.643

Omega: 0.859

Ft,wc,rd: 474.06

3.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]:

Sodelujoča dolžina - krožna oblika leff,cp: 163.04

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika leff,nc: 120

Mpl,1: 158.63

Mpl,2: 158.63

Ft,1,rd: 244.52

Ft,2,rd: 336.74

Ft,3,rd: 508.32

Ft,rd: 244.52

3.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]:

Sodelujoča dolžina - beff,t,wb: 0

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 0

POTENCIALNA NOSILNOST VRSTE VIJAKOV 1 [kN]: 244.52

#### 4.) VRSTA VIJAKOV 2

4.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 211.43

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 247.1

Mpl,1,rd: 338.17

Mpl,2,rd: 395.23

Ft,1,rd: 401.99

Ft,2,rd: 386.8

Ft,3,rd: 508.32

Nosilnost elementa: 386.8

4.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]

beff,c,wc: 247.1

beff,1: 247.1

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 4497.75

Omega1: 0.859

Omega2: 0.643

Omega: 0.859

Ft,wc,rd: 474.06

4.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina - krožna oblika: 309.4

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika: 363.91

Mpl,1: 408.99

Mpl,2: 481.04

Ft,1,rd: 332.22

Ft,2,rd: 367.25

Ft,3,rd: 508.32

Ft,rd: 332.22

4.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]

Sodelujoča dolžina beff,t,w,b: 309.4

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 741.64

POTENCIALNA NOSILNOST VRSTE VIJAKOV 2 [kN]: 332.22

## 5.) VRSTA VIJAKOV 3

5.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 211.43

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 247.1

Mpl,1,rd: 338.17

Mpl,2,rd: 395.23

Ft,1,rd: 401.99

Ft,2,rd: 386.8

Ft,3,rd: 508.32

Nosilnost elementa: 386.8

5.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]

beff,c,wc: 247.1

beff,1: 247.1

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 4497.75

Omega1: 0.859

Omega2: 0.643

Omega: 0.859

Ft,wc,rd: 474.06

5.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina - krožna oblika: 309.4

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika: 271.97

Mpl,1: 359.51

Mpl,2: 359.51

Ft,1,rd: 292.03

Ft,2,rd: 345.01

Ft,3,rd: 508.32

Ft,rd: 292.03

5.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]

Sodelujoča dolžina beff,t,w,b: 271.97

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 651.92

POTENCIALNA NOSILNOST VRSTE VIJAKOV 3 [kN]: 292.03

## 6.) KONTROLE SKUPIN VIJAKOV - VRSTE 3+2+1

6.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Razdalja med krajnima vrstama vijakov - p: 165

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 541.43

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 412.1

Mpl,1,rd: 659.14

Mpl,2,rd: 659.14

Ft,1,rd: 783.53

Ft,2,rd: 1021.32

Ft,3,rd: 1524.96

Ft,rd: 783.53

6.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]

beff,t,wc: 412.1

beff,1: 412.1

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 4497.75

Omega1: 0.71

Omega2: 0.45

Omega: 0.71

Ft,wc,rd: 653.01

6.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina - krožna oblika: 0

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika: 0

Mpl,1: 0

Mpl,2: 0

Ft,1,rd: 0

Ft,2,rd: 0

Ft,3,rd: 0

Ft,rd: 0

6.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]

Sodelujoča dolžina beff,t,w,b: 0

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 0

NOSILNOST SKUPINE VRST VIJAKOV [kN]: 653.01

## 7.) KONTROLE SKUPIN VIJAKOV - VRSTE 3+2

7.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Razdalja med krajnima vrstama vijakov - p: 80

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 371.43

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 327.1

Mpl,1,rd: 523.19

Mpl,2,rd: 523.19

Ft,1,rd: 621.92

Ft,2,rd: 703

Ft,3,rd: 1016.64

Ft,rd: 621.92

7.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]

beff,t,wc: 327.1

beff,1: 327.1

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 4497.75

Omega1: 0.786

Omega2: 0.536

Omega: 0.786

Ft,wc,rd: 573.65

7.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina - krožna oblika: 469.4

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika: 443.91

Mpl,1: 586.79

Mpl,2: 586.79

Ft,1,rd: 476.65

Ft,2,rd: 665.8

Ft,3,rd: 1016.64

Ft,rd: 476.65

7.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]

Sodelujoča dolžina beff,t,w,b: 443.91

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 1064.04

NOSILNOST SKUPINE VRST VIJAKOV [kN]: 476.65

## 8.) KONTROLE SKUPIN VIJAKOV - VRSTE 2+1

8.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Razdalja med krajnima vrstama vijakov - p: 85

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 381.43

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 332.1

Mpl,1,rd: 531.18

Mpl,2,rd: 531.18

Ft,1,rd: 631.42

Ft,2,rd: 705.12

Ft,3,rd: 1016.64

Ft,rd: 631.42

8.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]

beff,t,wc: 332.1

beff,1: 332.1

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 4497.75

Omega1: 0.781

Omega2: 0.53

Omega: 0.781

Ft,wc,rd: 579.01

8.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina - krožna oblika: 0

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika: 0

Mpl,1: 0

Mpl,2: 0

Ft,1,rd: 0

Ft,2,rd: 0

Ft,3,rd: 0

Ft,rd: 0

8.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]

Sodelujoča dolžina beff,t,w,b: 0

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 0

NOSILNOST SKUPINE VRST VIJAKOV [kN]: 579.01

## 9.) POTENCIALNE NOSILNOSTI VRST VIJAKOV UPOŠTEVAJOČ NOSILNOSTI SKUPIN VIJAKOV [kN]

Nosilnost vrste 1: 244.52

Nosilnost vrste 2: 332.22

Nosilnost vrste 3: 76.27

## 10.) STOJINA STEBRA V TLAKU [mm,kN]

beff,c,wc: 286.13

omega1: 0.823

omega2: 0.587

omega: 0.823

lambdacrtica,p: 0.865

ro: 0.889

Fc,wc,rd: 467.61

## 11.) PASNICA IN STOJINA PREČKE V TLAKU [kNm,kN]

Plastična upogibna nosilnost prečke -  $M_{pl,rd}$ : 515.59

Tlačna trdnost spodnje pasnice prečke -  $F_{bf,rd}$ : 1065.27

## 12.) NOSILNOST PREREZOV [kN,kNm]

### 12.1) STRIŽNA NOSILNOST STOJINE STEBRA [kN]

Stojina stebra kompaktna v strigu: DA

Strižna nosilnost stojine stebra -  $V_{cw,rd}$ : 549.22

### 12.2) PLASTIČNA UPOGIBNA NOSILNOST PREČKE [kNm]

$M_{pl,rd}$ : 515.59

## 13.) KONČNE NOSILNOSTI

### 13.1) NOSILNOST SPOJA

Ročice vrst vijakov [cm]:

r1: 52.7

r2: 44.2

r3: 36.2

NOSILNOST VRST VIJAKOV, UPOŠTEVAJOČ PRAVILO O TRIKOTNI RAZPOREDITVI SIL, ČE JE NATEZNA SILA V NAJBOLJ OBREMENJENI VRSTI VEČJA OD 1.9 KRATNIKA NATEZNE NOSILNOSTI VIJAKA [kN]:

Natezna sila v najbolj obremenjeni vrsti vijakov -  $F_{max}$  [kN]: 332.22

Omejitev pri kateri se mora upoštevati trikotna razporeditev sil -  $F_{omejitev}$  [kN]: 482.9

F1: 244.52

F2: 332.22

F3: 76.27

NOSILNOST VRST VIJAKOV, UPOŠTEVAJOČ RAVNOTEŽJE SIL V SPOJU [kN]:

$F_{glob,min}$  [kN]: 467.61

Osna sila v prečki[kN]: 0

F1: 244.52

F2: 223.09

F3: 0

Upogibna nosilnost spoja [kNm]:

$M_{j,rd}$ : 227.47

SPOJ JE DELNO NOSILEN

### 13.2) NOSILNOST ČELNE PLOČEVINE [kNm]

$M_{čp,rd}$ : 381.42

## 14.) NOSILNOST SPOJA NA VERTIKALNI STRIG

Strižna nosilnost posameznega vijaka -  $F_{v,rd}$ : 141.2

Nosilnost vijakov na strig -  $V_{rd}$ : 443.77

## 15.) TOGOST SPOJA

(\* spodnji rezultati veljajo, če so za spoj uporabljena mehka konstrukcijska jekla S235 - S355)

15.1) NADOMESTNE VZMETI [cm]

- VRSTA VIJAKOV 1

Stojina stebra v prečnem nategu - k3i: 0.454

Pasnica stebra v upogibu - k4i: 1.762

Čelna pločevina v upogibu - k5i: 2.086

Vijaki v nategu - k10i: 1.003

Nadomestna vzmet za vrsto 1 - keff,i: 0.236

- VRSTA VIJAKOV 2

Stojina stebra v prečnem nategu - k3i: 0.226

Pasnica stebra v upogibu - k4i: 0.875

Čelna pločevina v upogibu - k5i: 0.61

Vijaki v nategu - k10i: 1.003

Nadomestna vzmet za vrsto 2 - keff,i: 0.122

- VRSTA VIJAKOV 3

Stojina stebra v prečnem nategu - k3i: 0.448

Pasnica stebra v upogibu - k4i: 1.735

Čelna pločevina v upogibu - k5i: 0.448

Vijaki v nategu - k10i: 1.003

Nadomestna vzmet za vrsto 3 - keff,i: 0.166

NADOMESTNA VZMET VRST VIJAKOV V NATEGU

Nadomestna ročica - zeq: 46.621

Togost nadomestne vzmeti - keq: 0.51

STRIŽNI PANEL

Togost nadomestne vzmeti - k1: 0.367

STOJINA STEBRA V PREČNEM TLAKU

Togost nadomestne vzmeti - k2: 0.783

15.2) ROTACIJSKA TOGOST STEBRA [MNm]

Začetna (tangenta) togost - sj,ini: 76.527

Sekantna rotacijska togost - sj: 166.398

15.3) KLASIFIKACIJA PO TOGOSTI

Razmerje  $K=E^*/L$  [MNm]: 20.244

SPOJ JE DELNO TOG



## PRILOGA 2

## Steel Connection

Name	Pcve
Node	N2
Connection type	Frame bolted
Connection geometry	Single-sided
Calculation type	Internal forces
Lc/Combi	LC1

Connected beams

Name	CrossSection	Material	Length [m]	Beg. node	End node	Type
B2	CS1 - HEA340	S 235	2.000	N2	N3	column (100)
B3	CS2 - IPE500	S 235	2.000	N2	N4	beam (80)

### Parts of connection: Side [B3]

Bolts

M24 - 10.9			
Name		Bolt pattern	2 bolts/row
Internal bolts distance [mm]	120	External bolts distance [mm]	
Length [mm]	70	Reference	Bottom of the end plate
1.Location [mm]	620	2.Location [mm]	535
3.Location [mm]	455	4.Location [mm]	

End-plate

EP			
Material	S 235	Left extension [mm]	20
Thickness[mm]	15	Right extension [mm]	20
Input	Top/Height/Width	Total width [mm]	240
Top extension [mm]	85	Total height [mm]	670
Bottom extension [mm]	85		

### Connection analysis: Side [B3]

According to EN 1993-1-8

National annex: Slovenian SIST-EN NA

Partial safety factors	
Gamma M0	1.00
Gamma M1	1.00
Gamma M2	1.25
Gamma M3	1.25

### 1. Internal forces

LC1		
NEd	0.00	kN
Vz,Ed	10.00	kN
My,Ed	-10.00	kNm
Vy,Ed	0.00	kN
Mz,Ed	0.00	kNm

Tension top

Note:  $NEd \leq 0.05 * Npl,Rd,Beam$ .

....:STRONG-AXIS CALCULATION:...

### 2. Design moment resistance $M_{j,y,Rd}$

#### 2.1. Design resistance of basic components

##### 2.1.1. Column web panel in shear

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.6.1

Vwp,Rd data		
Column web in shear (Vwp,Rd)	555.32	kN
Beta	1.00	
Avc	4547.75	mm <sup>2</sup>

##### 2.1.2. Column web in compression

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.6.2

F <sub>c,wc,Rd</sub> data		
b <sub>eff,c,wc</sub>	286.13	mm
t <sub>wc</sub>	9.50	mm
ω <sub>1</sub>	0.83	
ω <sub>2</sub>	0.59	
ω	0.83	
d <sub>wc</sub>	243.00	mm
λ <sub>p,rel</sub>	0.87	
ρ	0.89	
k <sub>wc</sub>	1.00	
F <sub>c,wc,Rd</sub>	469.01	kN

### 2.1.3. Beam flange and web in compression

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.6.7

F <sub>c,fb,Rd</sub> data		
Section class	1	
M <sub>c,Rd</sub>	515.59	kNm
h <sub>b-tfb</sub>	484.00	mm
F <sub>c,fb,Rd</sub>	1065.27	kN

### 2.1.4. Design tension resistance of bolt-row

According to EN 1993-1-8 Article 3.6

F <sub>t,Rd</sub> data		
f <sub>ub</sub>	1000.00	MPa
A <sub>s</sub>	353.00	mm <sup>2</sup>
k <sub>2</sub>	0.90	-
F <sub>t,Rd</sub>	254.16	kN
L <sub>b</sub>	56.50	mm

Note: The bolt-rows are numbered starting from the bolt-row farthest from the centre of compression as specified in EN 1993-1-8 Article 6.2.7.2 (1).

#### 2.1.4.1. Column flange

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.6.3, 6.2.6.4 (effective lengths in mm, resistance in kN)

row	m2U	m2L	limit	near stiff. U	near stiff. L	Classification
1	-	-	-	-	-	Other end bolt-row at end of column
2	-	-	-	-	-	Other inner bolt-row
3	-	-	-	-	-	Other end bolt-row at end of column

row	p (p1+p2)	e	e1	m	n	λ1U	λ2U	αU	λ1L	λ2L	αL
1	0.00+42.50	90.00	50.00	33.65	42.06	-	-	-	-	-	-
2	42.50+40.00	90.00	-	33.65	42.06	-	-	-	-	-	-
3	40.00+0.00	90.00	2120.00	33.65	42.06	-	-	-	-	-	-

row	leff,cp,i	leff,nc,i
1	205.71	173.55
2	211.43	247.10
3	211.43	247.10

row	leff,cp,g,inner	leff,nc,g,inner	leff,cp,g,end	leff,nc,g,end	leff,cp,g,start	leff,nc,g,start
1	-	-	-	-	185.00	92.50
2	165.00	82.50	190.71	166.05	185.71	163.55
3	-	-	185.71	163.55	-	-

group	leff,cp,g	leff,nc,g
1- 2	375.71	258.55
1- 3	535.71	338.55
2- 3	371.43	327.10

For individual bolt-row:

row	leff,1	leff,2	L <sub>b</sub> *	Prying forces	FT,1,Rd	FT,2,Rd	FT,3,Rd	F <sub>t,fc,Rd,i</sub>
1	173.55	173.55	151.82	✓	329.97	355.73	508.32	329.97
2	211.43	247.10	124.62	✓	401.99	385.80	508.32	386.80
3	211.43	247.10	124.62	✓	401.99	385.80	508.32	385.80

row	beff,t,wc	twc	$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega$	Ft,wc,Rd,i
1	173.55	9.50	0.92	0.77	0.92	358.07
2	247.10	9.50	0.86	0.65	0.86	475.42
3	247.10	9.50	0.86	0.65	0.86	475.42

For group of bolt-rows:

group	leff,1	leff,2	Lb*	Prying forces	FT,1,Rd	FT,2,Rd	FT,3,Rd	Ft,fc,Rd,g
1- 2	258.55	258.55	203.82	✓	491.58	674.04	1016.64	491.58
1- 3	338.55	338.55	233.49	✓	643.69	990.24	1524.96	643.69
2- 3	327.10	327.10	161.11	✓	621.92	703.00	1016.64	621.92

group	beff,t,wc	$\omega_1$	$\omega_2$	$\omega$	Ft,wc,Rd,g
1- 2	258.55	0.85	0.63	0.85	491.50
1- 3	338.55	0.78	0.53	0.78	588.36
2- 3	327.10	0.79	0.54	0.79	576.06

### 2.1.4.2. Endplate

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.6.5, 6.2.6.8  
(effective lengths in mm, resistance in kN)

row	m2U	m2L	limit	near flange U	near flange L	Classification
1	-	-	-	-	-	Bolt-row outside of beam
2	24.95	-	176.29	✓	-	Bolt-row adjacent to beam flange
3	-	344.95	176.29	-	X	Other end bolt-row

row	p (p1+p2)	e	ex	m	mx	n	$\lambda_{1U}$	$\lambda_{2U}$	$\alpha_U$	$\lambda_{1L}$	$\lambda_{2L}$	$\alpha_L$
1	0.00+0.00	60.00	50.00	-	25.95	32.44	-	-	-	-	-	-
2	0.00+40.00	60.00	-	49.24	-	60.00	0.45	0.23	7.45	-	-	-
3	40.00+0.00	60.00	-	49.24	-	60.00	-	-	-	-	-	-

row	leff,cp,i	leff,nc,i
1	163.04	120.00
2	309.40	366.85
3	309.40	271.97

row	leff,cp,g,inner	leff,nc,g,inner	leff,cp,g,end	leff,nc,g,end	leff,cp,g,start	leff,nc,g,start
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	234.70	270.86	234.70	270.86
3	-	-	234.70	175.99	-	-

group	leff,cp,g	leff,nc,g
2- 3	469.40	446.85
1- 2	469.40	446.85

For individual bolt-row:

row	leff,1	leff,2	Lb*	Prying forces	FT,1,Rd	FT,2,Rd	FT,3,Rd	Ft,ep,Rd,i
1	120.00	120.00	134.02	✓	244.52	336.74	508.32	244.52
2	309.40	366.85	355.22	✓	332.22	367.97	508.32	332.22
3	271.97	271.97	404.11	✓	292.03	345.01	508.32	292.03

row	beff,t,wb	Ft,wb,Rd,i
1	-	-
2	309.40	741.64
3	271.97	651.92

For group of bolt-rows:

group	leff,1	leff,2	Lb*	Prying forces	FT,1,Rd	FT,2,Rd	FT,3,Rd	Ft,ep,Rd,g
2- 3	446.85	446.85	491.91	✓	479.81	666.51	1016.64	479.81
1- 2	446.85	446.85	491.91	✓	479.81	666.51	1016.64	479.81

group	beff,t,wb	Ft,wb,Rd,g
2- 3	446.85	1071.10
1- 2	-	-

**2.2. Force distribution in bolt-rows**

**2.2.1. Potential tension resistance**

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.7.2 (6),(8)

row	Ft,fc,Rd,i	Ft,fc,Rd,g	Ft,wc,Rd,i	Ft,wc,Rd,g	Ft,ep,Rd,i	Ft,ep,Rd,g	Ft,wb,Rd,i	Ft,wb,Rd,g	Ft,r,Rd
1	329.97	-	358.07	-	244.52	-	-	-	244.52
2	386.80	247.06	475.42	246.98	332.22	235.29	741.64	826.58	235.29
3	386.80	163.88	475.42	108.56	292.03	244.52	651.92	835.81	108.56

$\Sigma Ft,Rd = 588.36 \text{ kN}$

**2.2.2. Assessment of the shear and compression zone**

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.7.2 (7)

Column web in shear (Vwp,Rd/Beta)	555.32	kN
Column web in compression (Fc,wc,Rd)	469.01	kN
Beam flange and web in compression (Fc,fb,Rd)	1065.27	kN

Limiting resistance = 469.01 kN

row	Ft,r,Rd	Decrease	Ft,r,Rd
1	244.52	0.00	244.52
2	235.29	10.80	224.49
3	108.56	108.56	0.00

**2.2.3. Triangular limit**

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.7.2 (9)

Limit:  $1.9 * Ft,Rd = 482.90 \text{ kN}$

row	Ft,r,Rd	> Limit	Decrease	Ft,r,Rd
1	244.52	x	-	244.52
2	224.49	x	-	224.49
3	0.00	x	-	0.00

**2.3. Determination of Mj,y,Rd**

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.7.2 (1)

row	hr[mm]	Ft,r,Rd[kN]
1	527.00	244.52
2	442.00	224.49
3	362.00	0.00

**Mj,y,Rd = 228.08 kNm**

**2.4. Determination of Nj,Rd**

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.7.1 (3)

data		
Column Web in tension (Ft,wc,Rd)	588.36	kN
Endplate in bending (Ft,ep,Rd)	724.32	kN
Column Flange in bending (Ft,fc,Rd)	643.69	kN

Note: The Beam web in tension component is not considered, since there is no bolt-row located within the beam.

**Nj,Rd = 588.36 kN**

**3. Design shear resistance Vz,Rd**

Vz,Rd data		
Fv,Rd	141.20	kN
nb,full	2	
nb,reduced	4	
e1,ep	50.00	mm
e1,cf	50.00	mm
p1	80.00	mm
k1 plate	2.50	
k1 beam	2.50	
Alfa_b plate	0.64	
Alfa_b column	0.64	
Alfa_d plate	0.64	
Alfa_d column	0.64	
Fb,ep,Rd	166.15	kN
Fb,cf,Rd	182.77	kN
Avz	6035.20	mm <sup>2</sup>
l1 (tension)	0.37	

Vz,Rd data		
I2 (compression)	0.63	
Vz,Rd beam	666.55	kN
Vz,Rd	443.77	kN

#### 4. Stiffness calculation

##### 4.1. Design rotational stiffness

According to EN 1993-1-8 Article 6.3.4

row	k3[mm]	k4[mm]	k5[mm]	k10[mm]	keff[mm]
1	2.53	9.81	20.86	10.00	1.55
2	2.26	8.75	5.97	10.00	1.21
3	4.48	17.35	4.48	10.00	1.65

Sj data		
Sj	69.30	MNm/rad
Sj,ini	69.30	MNm/rad
z	453.04	mm
mu	1.00	
k1	3.81	mm
k2	7.83	mm
keq	4.31	mm

##### 4.2. Stiffness classification

Stiffness data		
E	210000.00	MPa
Ib	482000000.00	mm <sup>4</sup>
Lb	5000.00	mm
frame type	unbraced	
Sj,rigid	506.10	MNm/rad
Sj,pinned	10.12	MNm/rad

System SEMI RIGID

##### 4.3. Stiffness check

Stiffness data		
Fi y	34.65	MNm/rad
Stiffness modification coef.	2.00	
Sj,app	69.30	MNm/rad
Sj,lower boundary	49.76	MNm/rad
Sj,upper boundary	101.04	MNm/rad

Sj,ini is inside the boundaries.

The actual joint stiffness conforms with the joint stiffness of the analysis model.

##### 4.4. Ductility classification

The failure mode is not situated in the column shear zone.

In the endplate we have the following :

$$t \leq 0.36 \sqrt{f_{ub}/f_y} d$$

This results in a ductile classification for ductility : class 1.

#### 5. Design calculations

##### 5.1. Flange welds

data		
Mj,y,Rd	228.08	kNm
α	1.70	
h	484.00	mm
FRd	801.12	kN
Nt,Rd	752.00	kN
f <sub>u</sub>	360.00	MPa
β <sub>w</sub>	0.80	
minimum af	7.39	mm
af	8.00	mm

##### 5.2. Web welds

data		
F <sub>t</sub>	224.49	kN
F <sub>v</sub>	3.33	kN

data		
lw	366.85	mm
fu	360.00	MPa
$\beta_w$	0.80	
minimum aw (a2)	4.71	mm
aw	5.00	mm

....:WEAK-AXIS CALCULATION:....

According to Neumann N, Nuhic F: "DESIGN OF STRUCTURAL JOINTS CONNECTING H OR I SECTIONS subjected to in-plane and out-of-plane bending", EUROSTEEL, 2011 & Kristensen SO, "Single-sided structural beam-to-column joint of H- or I-profiles with bolted endplate exposed to in-plane and out-of-plane bending", Stavanger, 2010

6. Design moment resistance  $M_{j,z,Rd}$

6.1. Design resistance of basic components

6.1.1. Column flange in bending

row	$F_{t,fc,Rd,i}$	$F_{t,fc,Rd,g}$	$F_{t,fc,Rd}$	$F_{ta,fc,Rd}$
1	329.97	-	329.97	164.99
2	386.80	247.06	247.06	123.53
3	386.80	163.88	163.88	81.94

$F_{ta,fc,Rd} = 370.46 \text{ kN}$

6.1.2. End-plate in bending

row	$l_{eff,cp,i}$	$l_{eff,nc,i}$
1	163.04	143.15

For individual bolt-row:

row	$l_{eff,1}$	$l_{eff,2}$	$L_b^*$	Prying forces	$FT_{,1,Rd}$	$FT_{,2,Rd}$	$FT_{,3,Rd}$	$F_{t,ep,Rd,i}$
1	143.15	143.15	112.35	✓	291.69	347.22	508.32	291.69

row	$F_{t,ep,Rd,i}$	$F_{t,ep,Rd,g}$	$F_{t,ep,Rd}$	$F_{ta,ep,Rd,i}$
1	291.69	-	291.69	145.84
2	332.22	235.29	235.29	117.64
3	292.03	244.52	244.52	122.26

$F_{ta,ep,Rd} = 385.75 \text{ kN}$

6.1.3. Beam flange in compression

$F_{cb,fb,Rd}$ data		
$bc_{fb,eff}$	120.00	mm
k	1.00	
$F_{cb,fb,Rd}$	902.40	kN

6.1.4. Column flange in twisting

$F_{ta,fct,Rd}$ data		
bc	300.00	mm
y	106.67	mm
$F_{ta,fct,Rd}$	31.17	kN

6.1.5. Column web in bending

$F_{ta,wbc,Rd}$ data		
p1	165.00	mm
p2	120.00	mm
y	106.67	mm
$b_{eff,wbc}$	372.60	mm
$F_{ta,wbc,Rd}$	18.52	kN

6.2. Determination of  $M_{j,z,Rd}$

$M_{j,z,Rd}$ data		
$F_{ta,Rd}$	49.69	kN
y	106.67	mm
$M_{j,z,Rd}$	5.30	kNm

7. Design shear resistance  $V_{y,Rd}$

Vy,Rd data		
Fv,Rd	141.20	kN
nb,full	3	
nb,reduced	3	
Fb,ep,Rd	166.15	kN
Fb,cf,Rd	182.77	kN
Avy	6718.24	mm <sup>2</sup>
Vy,Rd beam	455.76	kN
Vy,Rd	455.76	kN

Note: Bolt shear resistances are taken from the strong-axis calculation.

**8. Stiffness calculation**

**8.1. Design rotational stiffness**

row	k4[mm]	k5[mm]	k10[mm]
1	4.91	12.44	5.00
2	4.38	2.99	5.00
3	8.68	2.24	5.00

Sj data		
Sj	0.17	MNm/rad
Sj,ini	0.17	MNm/rad
zeq	106.67	mm
mu	1.00	
k4	17.96	mm
k5	17.67	mm
k7	-	
k10	14.99	mm
k17	0.05	mm
k18	0.02	mm

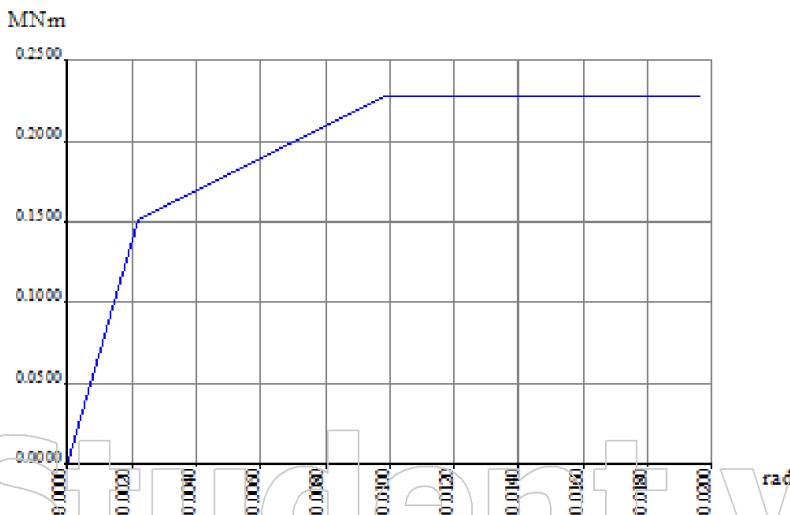
.....RESULTS.....

**9. Unity checks**

Unity checks	
My,Ed/Mj,y,Rd	0.04
Mz,Ed/Mj,z,Rd	0.00
NEd/Nj,Rd	0.00
Vz,Ed/Vz,Rd	0.02
Vy,Ed/Vy,Rd	0.00
Vz,Ed/Vz,Rd + Vy,Ed/Vy,Rd	0.02
My,Ed/Mj,y,Rd + Mz,Ed/Mj,z,Rd	0.04

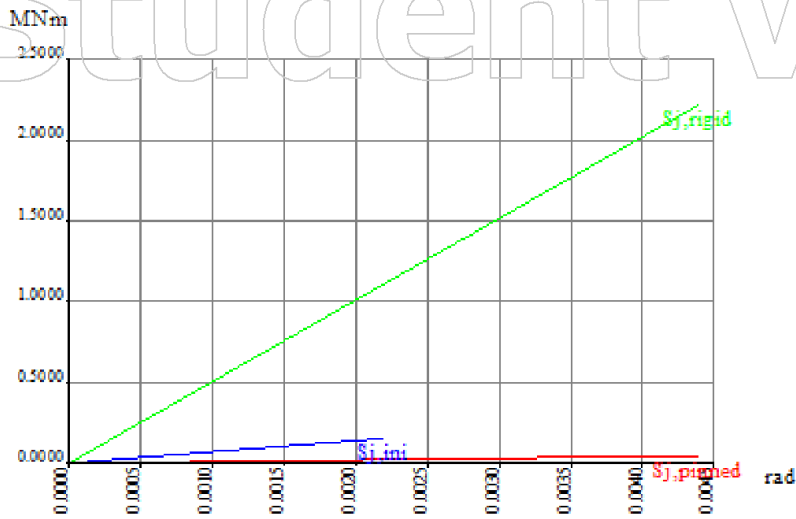
The connection satisfies.

**Moment-rotation diagram: Side [B3] - Strong axis**

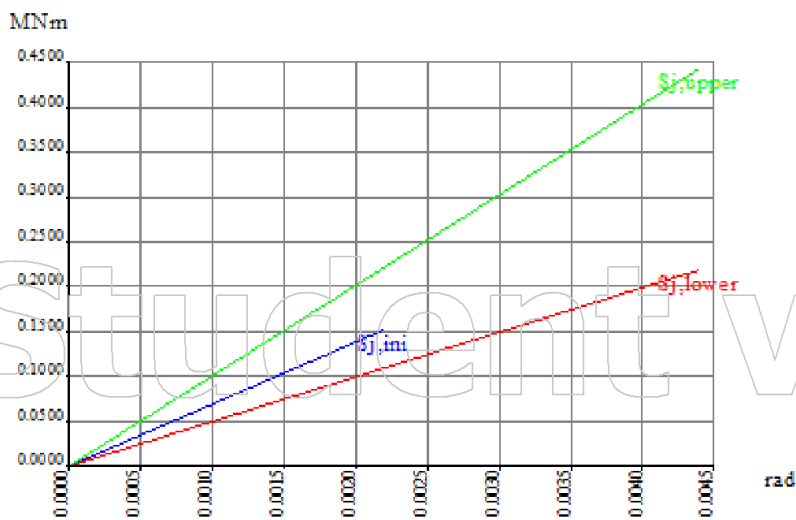




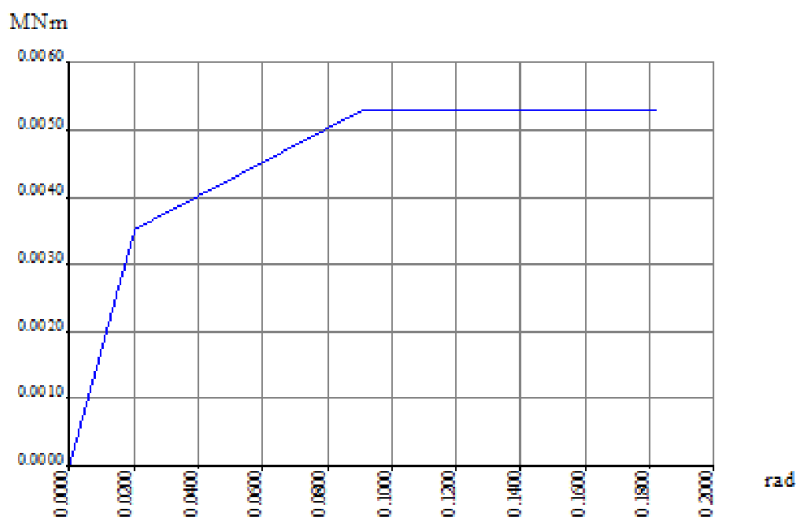
Stiffness classification: Side [B3] - Strong axis



Stiffness check: Side [B3] - Strong axis



Moment-rotation diagram: Side [B3] - Weak axis



## PRILOGA 3

Program po komponentni metodi izračuna nosilnost in togost podanega spoja.

Z ukazom NARIŠI se izriše slika podanega spoja. Z ukazom IZRAČUNAJ program izračuna nosilnost in togost podanega spoja

V izpisu na spodnjem delu strani se nahajajo delni rezultati izračuna in nosilnost posameznih komponent spoja in rezultati računa togosti spoja

#### STEBER

Tip prereza: HEA340 ▾

Kvaliteta jekla: S235 ▾

#### PREČKA

Tip prereza: IPE500 ▾

Kvaliteta jekla: S235 ▾

#### ČELNA PLOČEVINA

Višina: 670 mm

Širina: 240 mm

Debelina: 15 mm

Trdnostni razred jekla: S235 ▾

(\* čelna pločevina mora biti šibki element spoja - trdnostni razred jekla naj bo enak ali nižji kot pri stebru in prečki)

#### VIJAKI

Število vrst vijakov: 3

(\* nevtralna os v spoju poteka skozi težišče spodnje pasnice prečke; k upogibni nosilnosti spoja pripomorejo le vrste vijakov, ki so pozicionirane nad spodnjo pasnico prečke (natezne vrste vijakov); vrste vijakov pod spodnjo pasnico prečke pripomorejo le k strižni odpornosti spoja)

(\*\* program samodejno upošteva natezno vrsto vijakov ob tlačni pasnici prečke; če tega ne želiš, vpiši 1 vrsto vijakov manj)

Tip vijakov: M24 ▾ Prednapeti vijaki

Trdnostni razred vijakov: 10.9 ▾

#### ZVARI

Debelina zvara med stojino prečke in čelno pločevino: 5 mm

Debelina zvara med pasnico prečke in čelno pločevino: 8 mm

(\* program računa z vrednostmi, ki jih podaš; zvari v momentnem spoju morajo biti polnonosilni)

#### OJAČITVE NA STRANI STEBRA

tlačna ojačitev

natezna ojačitev

strižni panel

enostranska ojačitev (debelina ojačitve je enaka debelini stojine stebra; oz takšne debeline, da je izpolnjen pogoj o minimalni širini:  $40 \cdot \epsilon \cdot \text{debelina}$ )

dvostranska ojačitev (debelini ojačitev sta enaki debelini stojine stebra; oz takšnih debelin, da je izpolnjen pogoj o minimalni širini:  $40 \cdot \epsilon \cdot \text{debelina}$ )

#### OJAČITEV PREČKE - VUTA

vuta

#### OJAČITEV ČELNE PLOČEVINE - REBRO

rebro

#### OSNA IN PREČNA SILA V PREČKI

Osna sila:  kN

(\* če je sila tlačna, vnesi vrednost z negativnim predznakom)

(\*\* če osna sila presega 5% tlačne/natezne nosilnosti prečke, račun togosti in nosilnosti spoja ni pravilen (glej SIST EN 1993-1-8))

Prečna sila:  kN

METODA RAČUNA Ft,rd

Alternativna metoda

PODATKI ZA RAČUN KOMPONENTE STOJINA STEBRA V PREČNEM TLAKU

Transformacijski parameter beta ( $0 \leq \beta \leq 2$ )

Redukcijski faktor kw ( $1 \leq kw \leq 1.7$ )

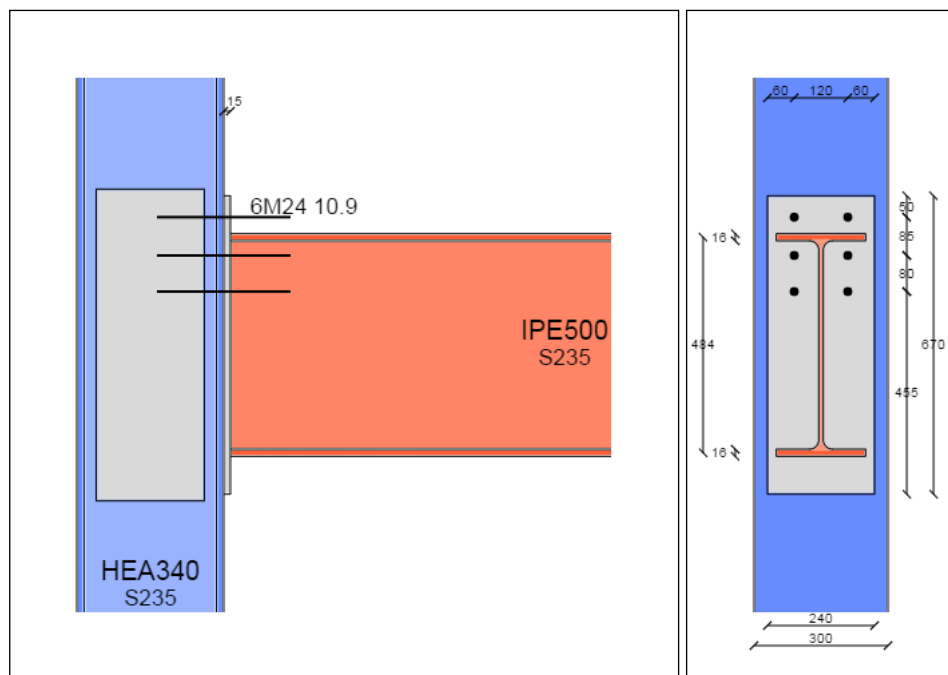
PODATEK ZA RAČUN TOGOSTI SPOJA

Delež obremenitve spoja glede na njegovo nosilnost ( $0 \leq M_{j,ed}/M_{j,rd} \leq 1.0$ )

Dolžina prečke  m

NARIŠI

SKICA:



NAVPIČNE RAZDALJE MED VIJAKI:

(\* nad natezno pasnico prečke je lahko pozicionirana največ 1 vrsta vijakov)

Razdalja med zgornjim robom čelne pločevine in 1. vrsto vijakov:  mm

Razdalja med 1. in 2. vrsto vijakov:  mm

Razdalja med 2. in 3. vrsto vijakov:  mm

VODORAVNE RAZDALJE MED VIJAKI:

Vodoravna razdalja med robom čelne pločevine in vrsto vijakov:  mm

POPRAVI POZICIJE VIJAKOV

PORAČUNAJ PODANI SPOJ

---

REZULTATI:

## 2.) GEOMETRIJA NADOMESTNIH T ELEMENTOV

2.1) T ELEMENT NA STRANI STEBRA [mm]:

P: 120

m: 33.65

e (steber): 90

e (čelna pločevina): 60

e: 60

e1: 50

n: 42.06

nmin: 42.06

2.2) T ELEMENT NA STRANI PREČKE [mm]:

P: 120

m: 49.24

e (precka): 60

e (čelna pločevina): 60

emin: 60

n: 61.55

nmin: 60

2.3) T ELEMENT NA STRANI ČELNE PLOČEVINE [mm]:

ex: 50

mx: 25.95

w: 120

e: 60

m: 49.24

m2 (vrsta vijakov pod natezno pasnico): 24.95

m2 (spodnja natezna vrsta vijakov): 344.95

nx: 32.44

## 3.) VRSTA VIJAKOV 1

3.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]:

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 211.43

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 247.1

Mpl,1,rd: 338.17

Mpl,2,rd: 395.23

Ft,1,rd: 401.99

Ft,2,rd: 386.8

Ft,3,rd: 508.32

Nosilnost elementa - Ft,rd: 386.8

3.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]:

beff,c,wc: 247.1

beff,1: 247.1

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 6806.25

Omega1: 0.786

Omega2: 0.537

Omega: 0.786

Ft,wc,rd: 867.22

3.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]:

Sodelujoča dolžina - krožna oblika leff,cp: 163.04

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika leff,nc: 120

Mpl,1: 158.63

Mpl,2: 158.63

Ft,1,rd: 244.52

Ft,2,rd: 336.74

Ft,3,rd: 508.32

Ft,rd: 244.52

3.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]:

Sodelujoča dolžina - beff,t,wb: 0

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 0

POTENCIALNA NOSILNOST VRSTE VIJAKOV 1 [kN]: 244.52

#### 4.) VRSTA VIJAKOV 2

4.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 211.43

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 247.1

Mpl,1,rd: 338.17

Mpl,2,rd: 395.23

Ft,1,rd: 401.99

Ft,2,rd: 386.8

Ft,3,rd: 508.32

Nosilnost elementa: 386.8

4.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]

beff,c,wc: 247.1

beff,1: 247.1

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 6806.25

Omega1: 0.786

Omega2: 0.537

Omega: 0.786

Ft,wc,rd: 867.22

4.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina - krožna oblika: 309.4

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika: 363.91

Mpl,1: 408.99

Mpl,2: 481.04  
Ft,1,rd: 332.22  
Ft,2,rd: 367.25  
Ft,3,rd: 508.32  
Ft,rd: 332.22

4.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]  
Sodelujoča dolžina beff,t,w,b: 309.4  
Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 741.64

POTENCIALNA NOSILNOST VRSTE VIJAKOV 2 [kN]: 332.22

## 5.) VRSTA VIJAKOV 3

5.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]  
Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 211.43  
Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 247.1  
Mpl,1,rd: 338.17  
Mpl,2,rd: 395.23  
Ft,1,rd: 401.99  
Ft,2,rd: 386.8  
Ft,3,rd: 508.32  
Nosilnost elementa: 386.8

5.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]  
beff,c,wc: 247.1  
beff,1: 247.1  
Beta: 1  
Površina strižnega prereza Avc: 6806.25  
Omega1: 0.786  
Omega2: 0.537  
Omega: 0.786  
Ft,wc,rd: 867.22

5.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]  
Sodelujoča dolžina - krožna oblika: 309.4  
Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika: 271.97  
Mpl,1: 359.51  
Mpl,2: 359.51  
Ft,1,rd: 292.03  
Ft,2,rd: 345.01  
Ft,3,rd: 508.32  
Ft,rd: 292.03

5.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]  
Sodelujoča dolžina beff,t,w,b: 271.97  
Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 651.92

POTENCIALNA NOSILNOST VRSTE VIJAKOV 3 [kN]: 292.03

## 6.) KONTROLE SKUPIN VIJAKOV - VRSTE 3+2+1

6.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Razdalja med krajnima vrstama vijakov - p: 165

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 541.43

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 412.1

Mpl,1,rd: 659.14

Mpl,2,rd: 659.14

Ft,1,rd: 783.53

Ft,2,rd: 1021.32

Ft,3,rd: 1524.96

Ft,rd: 783.53

6.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]

beff,t,wc: 412.1

beff,1: 412.1

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 6806.25

Omega1: 0.606

Omega2: 0.356

Omega: 0.606

Ft,wc,rd: 1115.59

6.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina - krožna oblika: 0

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika: 0

Mpl,1: 0

Mpl,2: 0

Ft,1,rd: 0

Ft,2,rd: 0

Ft,3,rd: 0

Ft,rd: 0

6.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]

Sodelujoča dolžina beff,t,w,b: 0

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 0

NOSILNOST SKUPINE VRST VIJAKOV [kN]: 783.53

## 7.) KONTROLE SKUPIN VIJAKOV - VRSTE 3+2

7.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Razdalja med krajnima vrstama vijakov - p: 80

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 371.43

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 327.1

Mpl,1,rd: 523.19

Mpl,2,rd: 523.19

Ft,1,rd: 621.92

Ft,2,rd: 703

Ft,3,rd: 1016.64



Ft,rd: 621.92

7.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]

beff,t,wc: 327.1

beff,1: 327.1

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 6806.25

Omega1: 0.693

Omega2: 0.433

Omega: 0.693

Ft,wc,rd: 1011.72

7.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina - krožna oblika: 469.4

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika: 443.91

Mpl,1: 586.79

Mpl,2: 586.79

Ft,1,rd: 476.65

Ft,2,rd: 665.8

Ft,3,rd: 1016.64

Ft,rd: 476.65

7.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]

Sodelujoča dolžina beff,t,w,b: 443.91

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 1064.04

NOSILNOST SKUPINE VRST VIJAKOV [kN]: 476.65

## 8.) KONTROLE SKUPIN VIJAKOV - VRSTE 2+1

8.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Razdalja med krajnima vrstama vijakov - p: 85

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 381.43

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 332.1

Mpl,1,rd: 531.18

Mpl,2,rd: 531.18

Ft,1,rd: 631.42

Ft,2,rd: 705.12

Ft,3,rd: 1016.64

Ft,rd: 631.42

8.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]

beff,t,wc: 332.1

beff,1: 332.1

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 6806.25

Omega1: 0.687

Omega2: 0.428

Omega: 0.687

Ft,wc,rd: 1019.06

### 8.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNm, kN]

Sodelujoča dolžina - krožna oblika: 0

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika: 0

Mpl,1: 0

Mpl,2: 0

Ft,1,rd: 0

Ft,2,rd: 0

Ft,3,rd: 0

Ft,rd: 0

### 8.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]

Sodelujoča dolžina beff,t,w,b: 0

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 0

NOSILNOST SKUPINE VRST VIJAKOV [kN]: 631.42

## 9.) POTENCIALNE NOSILNOSTI VRST VIJAKOV UPOŠTEVAJOČ NOSILNOSTI SKUPIN VIJAKOV [kN]

Nosilnost vrste 1: 244.52

Nosilnost vrste 2: 332.22

Nosilnost vrste 3: 144.42

## 10.) STOJINA STEBRA V TLAKU [mm,kN]

beff,c,wc: 286.13

omega1: 0.739

omega2: 0.481

omega: 0.739

lambdacrtica,p: 0.433

ro: 1

Fc,wc,rd: 944.56

## 11.) PASNICA IN STOJINA PREČKE V TLAKU [kNm,kN]

Plastična upogibna nosilnost prečke - Mpl,rd: 515.59

Tlačna trdnost spodnje pasnice prečke - Fbf,rd: 1065.27

## 12.) NOSILNOST PREREZOV [kN,kNm]

### 12.1) STRIŽNA NOSILNOST STOJINE STEBRA [kN]

Stojina stebra kompaktna v strigu: DA

Strižna nosilnost stojine stebra - Vcw,rd: 549.22

Širina strižne ojačitve bs [mm]: 243

Debelina strižne ojačitve ts [mm]: 9.5

Strižna nosilnost strižne ojačitve - Vwp,add,rd: 281.89

Skupna strižna nosilnost -  $V_{wp,rd}$ : 831.11

12.2) PLASTIČNA UPOGIBNA NOSILNOST PREČKE [kNm]

$M_{pl,rd}$ : 515.59

### 13.) KONČNE NOSILNOSTI

13.1) NOSILNOST SPOJA

Ročice vrst vijakov [cm]:

$r_1$ : 52.7

$r_2$ : 44.2

$r_3$ : 36.2

NOSILNOST VRST VIJAKOV, UPOŠTEVAJOČ PRAVILO O TRIKOTNI RAZPOREDITVI SIL, ČE JE NATEZNA SILA V NAJBOLJ OBREMENJENI VRSTI VEČJA OD 1.9 KRATNIKA NATEZNE NOSILNOSTI VIJAKA [kN]:

Natezna sila v najbolj obremenjeni vrsti vijakov -  $F_{max}$  [kN]: 332.22

Omejitev pri kateri se mora upoštevati trikotna razporeditev sil -  $F_{omejitev}$  [kN]: 482.9

$F_1$ : 244.52

$F_2$ : 332.22

$F_3$ : 144.42

NOSILNOST VRST VIJAKOV, UPOŠTEVAJOČ RAVNOTEŽJE SIL V SPOJU [kN]:

$F_{glob,min}$  [kN]: 831.11

Oсна sila v prečki[kN]: 0

$F_1$ : 244.52

$F_2$ : 332.22

$F_3$ : 144.42

Upogibna nosilnost spoja [kNm]:

$M_j,rd$ : 327.98

SPOJ JE DELNO NOSILEN

13.2) NOSILNOST ČELNE PLOČEVINE [kNm]

$M_{čp,rd}$ : 381.42

### 14.) NOSILNOST SPOJA NA VERTIKALNI STRIG

Strižna nosilnost posameznega vijaka -  $F_{v,rd}$ : 141.2

Nosilnost vijakov na strig -  $V_{rd}$ : 242.06

### 15.) TOGOST SPOJA

(\* spodnji rezultati veljajo, če so za spoj uporabljena mehka konstrukcijska jekla S235 - S355)

15.1) NADOMESTNE VZMETI [cm]

- VRSTA VIJAKOV 1

Stojina stebra v prečnem nategu -  $k_3i$ : 0.909

Pasnica stebra v upogibu -  $k_4i$ : 1.762

Čelna pločevina v upogibu -  $k_5i$ : 2.086

Vijaki v nategu -  $k_{10i}$ : 1.003

Nadomestna vzmet za vrsto 1 -  $keff,i$ : 0.318

- VRSTA VIJAKOV 2

Stojina stebra v prečnem nategu -  $k_3i$ : 0.452

Pasnica stebra v upogibu -  $k_4i$ : 0.875

Čelna pločevina v upogibu - k5i: 0.61

Vijaki v nategu - k10i: 1.003

Nadomestna vzmet za vrsto 2 - keff,i: 0.167

- VRSTA VIJAKOV 3

Stojina stebra v prečnem nategu - k3i: 0.895

Pasnica stebra v upogibu - k4i: 1.735

Čelna pločevina v upogibu - k5i: 0.448

Vijaki v nategu - k10i: 1.003

Nadomestna vzmet za vrsto 3 - keff,i: 0.203

NADOMESTNA VZMET VRST VIJAKOV V NATEGU

Nadomestna ročica - zeq: 46.857

Togost nadomestne vzmeti - keq: 0.672

STRIŽNI PANEL

Togost nadomestne vzmeti - k1: 0.552

STOJINA STEBRA V PREČNEM TLAKU

Togost nadomestne vzmeti - k2: 1.566

15.2) ROTACIJSKA TOGOST STEBRA [MNm]

Začetna (tangenta) togost - sj,ini: 117.067

Sekantna rotacijska togost - sj: 254.547

15.3) KLASIFIKACIJA PO TOGOSTI

Razmerje  $K=E*I/L$  [MNm]: 20.244

SPOJ JE DELNO TOG

## PRILOGA 4

## Steel Connection

Name	Pcve
Node	N2
Connection type	Frame bolted
Connection geometry	Single-sided
Calculation type	Internal forces
Lc/Combi	LC1

Connected beams

Name	CrossSection	Material	Length [m]	Beg. node	End node	Type
B2	CS1 - HEA340	S 235	2.000	N2	N3	column (100)
B3	CS2 - IPE500	S 235	2.000	N2	N4	beam (80)

### Parts of connection

Web doubler

Name	Thickness[mm]	Material	Size of web doubler	Type of web doubler	Width [mm]	Height [mm]
Web doubler2	15	S 235	Large	Double	243	620

### Parts of connection: Side [B3]

Bolts

M24 - 10.9			
Name		Bolt pattern	2 bolts/row
Internal bolts distance [mm]	120	External bolts distance [mm]	
Length [mm]	70	Reference	Bottom of the end plate
1.Location [mm]	620	2.Location [mm]	535
3.Location [mm]	455	4.Location [mm]	

End-plate

EP			
Material	S 235	Left extension [mm]	20
Thickness[mm]	15	Right extension [mm]	20
Input	Top/Height/Width	Total width [mm]	240
Top extension [mm]		Total height [mm]	670
Bottom extension [mm]			

### Connection analysis: Side [B3]

#### According to EN 1993-1-8

National annex: Slovenian SIST-EN NA

Partial safety factors	
Gamma M0	1.00
Gamma M1	1.00
Gamma M2	1.25
Gamma M3	1.25

### 1. Internal forces

LC1		
NEd	0.00	kN
Vz,Ed	10.00	kN
My,Ed	-10.00	kNm
Vy,Ed	0.00	kN
Mz,Ed	0.00	kNm

Tension top

Note: NEd <= 0.05 \* Npl,Rd,Beam.

### ....:STRONG-AXIS CALCULATION:...

#### 2. Design moment resistance Mj,y,Rd

##### 2.1. Design resistance of basic components

##### 2.1.1. Column web panel in shear

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.6.1

Vwp,Rd data		
Column web in shear (Vwp,Rd)	837.21	kN
Beta	1.00	
Avc	6856.25	mm <sup>2</sup>

Note: The shear area Avc has been increased due to the presence of a web doubler.

### 2.1.2. Column web in compression

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.6.2

Fc,wc,Rd data		
beff,c,wc	286.13	mm
twc	19.00	mm
ω1	0.74	
ω2	0.48	
ω	0.74	
dwc	243.00	mm
λp,rel	0.43	
ρ	1.00	
kwc	1.00	
Fc,wc,Rd	947.69	kN

Note: The thickness twc has been increased due to the presence of a web doubler.

### 2.1.3. Beam flange and web in compression

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.6.7

Fc,fb,Rd data		
Section class	1	
Mc,Rd	515.59	kNm
hb-tfb	484.00	mm
Fc,fb,Rd	1065.27	kN

### 2.1.4. Design tension resistance of bolt-row

According to EN 1993-1-8 Article 3.6

Ft,Rd data		
fub	1000.00	MPa
As	353.00	mm <sup>2</sup>
k2	0.90	-
Ft,Rd	254.16	kN
Lb	56.50	mm

Note: The bolt-rows are numbered starting from the bolt-row farthest from the centre of compression as specified in EN 1993-1-8 Article 6.2.7.2 (1).

#### 2.1.4.1. Column flange

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.6.3, 6.2.6.4  
(effective lengths in mm, resistance in kN)

row	m2U	m2L	limit	near stiff. U	near stiff. L	Classification
1	-	-	-	-	-	Other end bolt-row at end of column
2	-	-	-	-	-	Other inner bolt-row
3	-	-	-	-	-	Other end bolt-row at end of column

row	p (p1+p2)	e	e1	m	n	λ1U	λ2U	αU	λ1L	λ2L	αL
1	0.00+42.50	90.00	50.00	33.65	42.06	-	-	-	-	-	-
2	42.50+40.00	90.00	-	33.65	42.06	-	-	-	-	-	-
3	40.00+0.00	90.00	2120.00	33.65	42.06	-	-	-	-	-	-

row	leff,cp,i	leff,nc,i
1	205.71	173.55
2	211.43	247.10
3	211.43	247.10

row	leff,cp,g,inner	leff,nc,g,inner	leff,cp,g,end	leff,nc,g,end	leff,cp,g,start	leff,nc,g,start
1	-	-	-	-	185.00	92.50
2	165.00	82.50	190.71	166.05	185.71	163.55
3	-	-	185.71	163.55	-	-

group	leff,cp,g	leff,nc,g
1- 2	375.71	258.55
1- 3	535.71	338.55

group	leff,cp,g	leff,nc,g
2- 3	371.43	327.10

For individual bolt-row:

row	leff,1	leff,2	Lb*	Prying forces	FT,1,Rd	FT,2,Rd	FT,3,Rd	Ft,fc,Rd,i
1	173.55	173.55	151.82	✓	329.97	355.73	508.32	329.97
2	211.43	247.10	124.62	✓	401.99	386.80	508.32	386.80
3	211.43	247.10	124.62	✓	401.99	386.80	508.32	386.80

row	beff,t,wc	twc	ω1	ω2	ω	Ft,wc,Rd,i
1	173.55	19.00	0.88	0.67	0.88	679.45
2	247.10	19.00	0.79	0.54	0.79	869.64
3	247.10	19.00	0.79	0.54	0.79	869.64

Note: The thickness twc has been increased due to the presence of a web doubler.

For group of bolt-rows:

group	leff,1	leff,2	Lb*	Prying forces	FT,1,Rd	FT,2,Rd	FT,3,Rd	Ft,fc,Rd,g
1- 2	258.55	258.55	203.82	✓	491.58	674.04	1016.64	491.58
1- 3	338.55	338.55	233.49	✓	643.69	990.24	1524.96	643.69
2- 3	327.10	327.10	161.11	✓	621.92	703.00	1016.64	621.92

group	beff,t,wc	ω1	ω2	ω	Ft,wc,Rd,g
1- 2	258.55	0.77	0.52	0.77	894.03
1- 3	338.55	0.68	0.42	0.68	1032.30
2- 3	327.10	0.70	0.44	0.70	1015.57

### 2.1.4.2. Endplate

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.6.5, 6.2.6.8 (effective lengths in mm, resistance in kN)

row	m2U	m2L	limit	near flange U	near flange L	Classification
1	-	-	-	-	-	Bolt-row outside of beam
2	24.95	-	176.29	✓	-	Bolt-row adjacent to beam flange
3	-	344.95	176.29	-	x	Other end bolt-row

row	p (p1+p2)	e	ex	m	mx	n	λ1U	λ2U	αU	λ1L	λ2L	αL
1	0.00+0.00	60.00	50.00	-	25.95	32.44	-	-	-	-	-	-
2	0.00+40.00	60.00	-	49.24	-	60.00	0.45	0.23	7.45	-	-	-
3	40.00+0.00	60.00	-	49.24	-	60.00	-	-	-	-	-	-

row	leff,cp,i	leff,nc,i
1	163.04	120.00
2	309.40	366.85
3	309.40	271.97

row	leff,cp,g,inner	leff,nc,g,inner	leff,cp,g,end	leff,nc,g,end	leff,cp,g,start	leff,nc,g,start
1	-	-	-	-	-	-
2	-	-	234.70	270.86	234.70	270.86
3	-	-	234.70	175.99	-	-

group	leff,cp,g	leff,nc,g
2- 3	469.40	446.85
1- 2	469.40	446.85

For individual bolt-row:

row	leff,1	leff,2	Lb*	Prying forces	FT,1,Rd	FT,2,Rd	FT,3,Rd	Ft,ep,Rd,i
1	120.00	120.00	134.02	✓	244.52	336.74	508.32	244.52
2	309.40	366.85	355.22	✓	332.22	367.97	508.32	332.22
3	271.97	271.97	404.11	✓	292.03	345.01	508.32	292.03

row	beff,t,wb	Ft,wb,Rd,i
1	-	-
2	309.40	741.64



row	beff,t,wb	Ft,wb,Rd,i
3	271.97	651.92

For group of bolt-rows:

group	leff,1	leff,2	Lb*	Prying forces	FT,1,Rd	FT,2,Rd	FT,3,Rd	Ft,ep,Rd,g
2- 3	446.85	446.85	491.91	✓	479.81	666.51	1016.64	479.81
1- 2	446.85	446.85	491.91	✓	479.81	666.51	1016.64	479.81

group	beff,t,wb	Ft,wb,Rd,g
2- 3	446.85	1071.10
1- 2	-	-

## 2.2. Force distribution in bolt-rows

### 2.2.1. Potential tension resistance

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.7.2 (6),(8)

row	Ft,fc,Rd,i	Ft,fc,Rd,g	Ft,wc,Rd,i	Ft,wc,Rd,g	Ft,ep,Rd,i	Ft,ep,Rd,g	Ft,wb,Rd,i	Ft,wb,Rd,g	Ft,r,Rd
1	329.97	-	679.45	-	244.52	-	-	-	244.52
2	386.80	247.06	869.64	649.51	332.22	235.29	741.64	826.58	235.29
3	386.80	163.88	869.64	552.49	292.03	244.52	651.92	835.81	163.88

$$\Sigma Ft,Rd = 643.69 \text{ kN}$$

### 2.2.2. Assessment of the shear and compression zone

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.7.2 (7)

Column web in shear (Vwp,Rd/Beta)	837.21	kN
Column web in compression (Fc,wc,Rd)	947.69	kN
Beam flange and web in compression (Fc,fb,Rd)	1065.27	kN

$$\text{Limiting resistance} = 837.21 \text{ kN}$$

row	Ft,r,Rd	Decrease	Ft,r,Rd
1	244.52	0.00	244.52
2	235.29	0.00	235.29
3	163.88	0.00	163.88

### 2.2.3. Triangular limit

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.7.2 (9)

$$\text{Limit: } 1.9 * Ft,Rd = 482.90 \text{ kN}$$

row	Ft,r,Rd	> Limit	Decrease	Ft,r,Rd
1	244.52	x	-	244.52
2	235.29	x	-	235.29
3	163.88	x	-	163.88

## 2.3. Determination of Mj,y,Rd

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.7.2 (1)

row	hr[mm]	Ft,r,Rd[kN]
1	527.00	244.52
2	442.00	235.29
3	362.00	163.88

$$Mj,y,Rd = 292.18 \text{ kNm}$$

## 2.4. Determination of Nj,Rd

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.7.1 (3)

data		
Column Web in tension (Ft,wc,Rd)	1032.30	kN
Endplate in bending (Ft,ep,Rd)	724.32	kN
Column Flange in bending (Ft,fc,Rd)	643.69	kN

Note: The Beam web in tension component is not considered, since there is no bolt-row located within the beam.

$$Nj,Rd = 643.69 \text{ kN}$$

## 3. Design shear resistance Vz,Rd

Vz,Rd data		
Fv,Rd	141.20	kN
nb,full	0	

Vz,Rd data		
nb, reduced	6	
e1,ep	50.00	mm
e1,cf	50.00	mm
p1	80.00	mm
k1 plate	2.50	
k1 beam	2.50	
Alfa_b plate	0.64	
Alfa_b column	0.64	
Alfa_d plate	0.64	
Alfa_d column	0.64	
Fb,ep,Rd	166.15	kN
Fb,cf,Rd	182.77	kN
Avz	6035.20	mm <sup>2</sup>
I1 (tension)	0.53	
I2 (compression)	0.47	
Vz,Rd beam	601.04	kN
Vz,Rd	242.06	kN

#### 4. Stiffness calculation

##### 4.1. Design rotational stiffness

According to EN 1993-1-8 Article 6.3.4

row	k3[mm]	k4[mm]	k5[mm]	k10[mm]	keff[mm]
1	5.06	9.81	20.86	10.00	2.24
2	4.52	8.75	5.97	10.00	1.66
3	8.95	17.35	4.48	10.00	2.03

Sj data		
Sj	106.62	MNm/rad
Sj,ini	106.62	MNm/rad
z	457.63	mm
mu	1.00	
k1	5.69	mm
k2	15.66	mm
keq	5.78	mm

Note: The stiffness coefficients k1, k2 and k3 have taken into account the presence of the web doubler.

##### 4.2. Stiffness classification

Stiffness data		
E	210000.00	MPa
Ib	482000000.00	mm <sup>4</sup>
Lb	5000.00	mm
frame type	unbraced	
Sj,rigid	506.10	MNm/rad
Sj,pinned	10.12	MNm/rad

System SEMI RIGID

##### 4.3. Stiffness check

Stiffness data		
Fi y	34.65	MNm/rad
Stiffness modification coef.	2.00	
Sj,app	69.30	MNm/rad
Sj,lower boundary	49.76	MNm/rad
Sj,upper boundary	101.04	MNm/rad

Sj,ini is not inside the boundaries.

The actual joint stiffness does not conform with the joint stiffness of the analysis model.

##### 4.4. Ductility classification

The failure mode is situated in the column shear zone.

This results in a ductile classification for ductility : class 1.

#### 5. Design calculations

##### 5.1. Flange welds

data		
Mj,y,Rd	292.18	kNm
a	1.70	
h	484.00	mm
FRd	1026.26	kN
Nt,Rd	752.00	kN
fu	360.00	MPa
βw	0.80	
minimum af	7.39	mm
af	8.00	mm

### 5.2. Web welds

data		
Ft	399.17	kN
Fv	3.33	kN
lw	446.85	mm
fu	360.00	MPa
βw	0.80	
minimum aw (a2)	4.71	mm
aw	5.00	mm

### 5.3. Stiffeners

Name	Minimum th[mm]	Applied th[mm]	Weld size[mm]
Web doubler2	-	15	15

### ....:WEAK-AXIS CALCULATION:....

According to Neumann N, Nuhic F: "DESIGN OF STRUCTURAL JOINTS CONNECTING H OR I SECTIONS subjected to in-plane and out-of-plane bending", EUROSTEEL, 2011 & Kristensen SO, "Single-sided structural beam-to-column joint of H- or I-profiles with bolted endplate exposed to in-plane and out-of-plane bending", Stavanger, 2010

### 6. Design moment resistance Mj,z,Rd

#### 6.1. Design resistance of basic components

##### 6.1.1. Column flange in bending

row	Ft,fc,Rd,i	Ft,fc,Rd,g	Ft,fc,Rd	Fta,fc,Rd
1	329.97	-	329.97	164.99
2	386.80	247.06	247.06	123.53
3	386.80	163.88	163.88	81.94

$F_{ta,fc,Rd} = 370.46 \text{ kN}$

##### 6.1.2. End-plate in bending

row	leff,cp,i	leff,nc,i
1	163.04	143.15

For individual bolt-row:

row	leff,1	leff,2	Lb*	Prying forces	FT,1,Rd	FT,2,Rd	FT,3,Rd	Ft,ep,Rd,i
1	143.15	143.15	112.35	✓	291.69	347.22	508.32	291.69

row	Ft,ep,Rd,i	Ft,ep,Rd,g	Ft,ep,Rd	Fta,ep,Rd,r
1	291.69	-	291.69	145.84
2	332.22	235.29	235.29	117.64
3	292.03	244.52	244.52	122.26

$F_{ta,ep,Rd} = 385.75 \text{ kN}$

##### 6.1.3. Beam flange in compression

Fcb,fb,Rd data		
bc,fb,eff	120.00	mm
k	1.00	
Fcb,fb,Rd	902.40	kN

##### 6.1.4. Column flange in twisting

Fta,fct,Rd data		
bc	300.00	mm
y	106.67	mm
Fta,fct,Rd	31.17	kN

**6.1.5. Column web in bending**

Fta,wbc,Rd data		
p1	165.00	mm
p2	120.00	mm
y	106.67	mm
beff,wbc	372.60	mm
Fta,wbc,Rd	18.52	kN

**6.2. Determination of Mj,z,Rd**

Mj,z,Rd data		
Fta,Rd	49.69	kN
y	106.67	mm
Mj,z,Rd	5.30	kNm

**7. Design shear resistance Vy,Rd**

Vy,Rd data		
Fv,Rd	141.20	kN
nb,full	3	
nb,reduced	3	
Fb,ep,Rd	166.15	kN
Fb,cf,Rd	182.77	kN
Avy	6718.24	mm <sup>2</sup>
Vy,Rd beam	455.76	kN
Vy,Rd	455.76	kN

Note: Bolt shear resistances are taken from the strong-axis calculation.

**8. Stiffness calculation**

**8.1. Design rotational stiffness**

row	k4[mm]	k5[mm]	k10[mm]
1	4.91	12.44	5.00
2	4.38	2.99	5.00
3	8.68	2.24	5.00

Sj data		
Sj	0.17	MNm/rad
Sj,ini	0.17	MNm/rad
zeq	106.67	mm
mu	1.00	
k4	17.96	mm
k5	17.67	mm
k7	-	
k10	14.99	mm
k17	0.05	mm
k18	0.02	mm

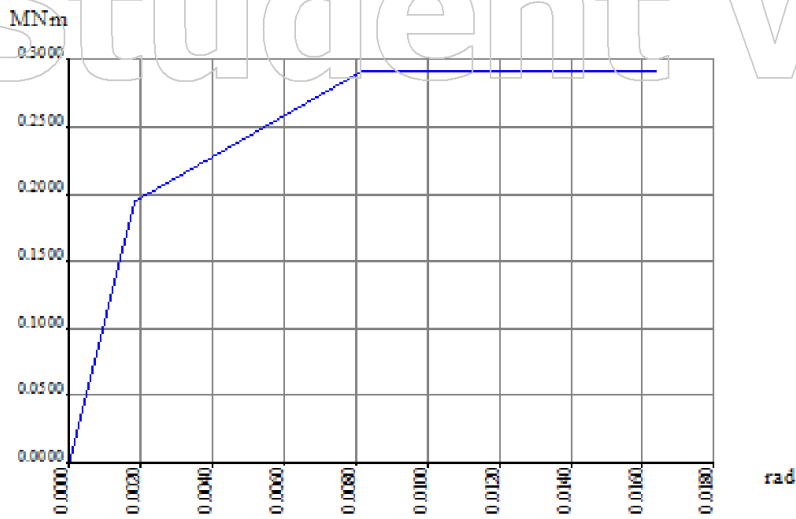
....RESULTS:....

**9. Unity checks**

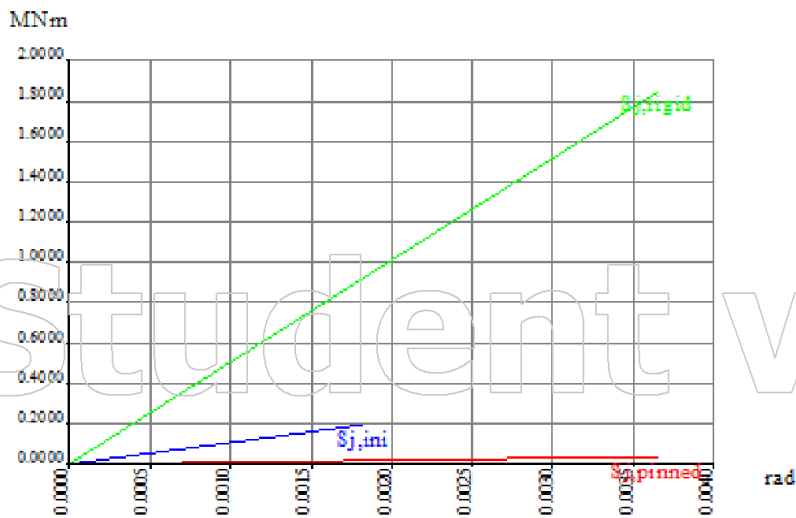
Unity checks	
My,Ed/Mj,y,Rd	0.03
Mz,Ed/Mj,z,Rd	0.00
NEd/Nj,Rd	0.00
Vz,Ed/Vz,Rd	0.04
Vy,Ed/Vy,Rd	0.00
Vz,Ed/Vz,Rd + Vy,Ed/Vy,Rd	0.04
My,Ed/Mj,y,Rd + Mz,Ed/Mj,z,Rd	0.03

The connection satisfies.

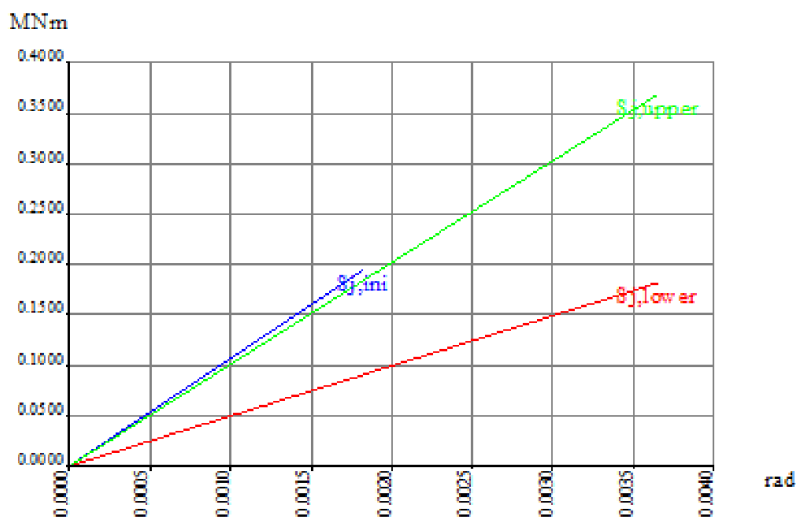
Moment-rotation diagram: Side [B3] - Strong axis



Stiffness classification: Side [B3] - Strong axis



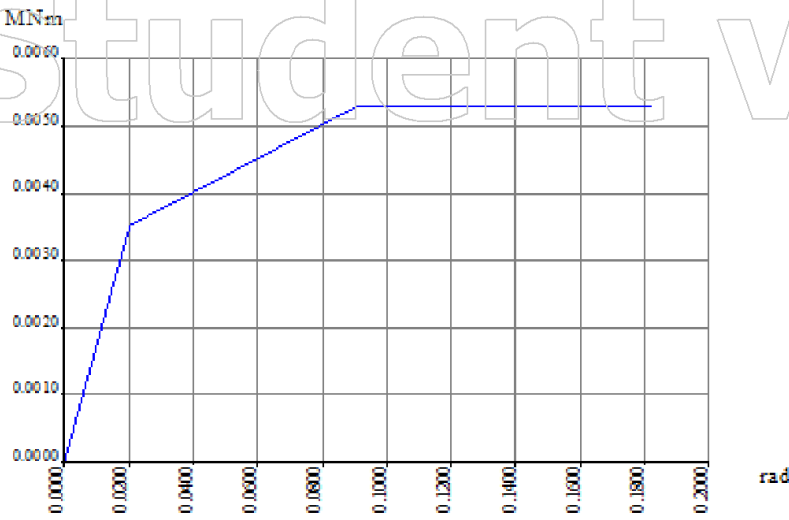
Stiffness check: Side [B3] - Strong axis



Moment-rotation diagram: Side [B3] - Weak axis

Student version

Student version



Student version

Student version

## PRILOGA 5

Program po komponentni metodi izračuna nosilnost in togost podanega spoja.

Z ukazom NARIŠI se izriše slika podanega spoja. Z ukazom IZRAČUNAJ program izračuna nosilnost in togost podanega spoja

V izpisu na spodnjem delu strani se nahajajo delni rezultati izračuna in nosilnost posameznih komponent spoja in rezultati računa togosti spoja

#### STEBER

Tip prereza: HEA340 ▾

Kvaliteta jekla: S235 ▾

#### PREČKA

Tip prereza: IPE500 ▾

Kvaliteta jekla: S235 ▾

#### ČELNA PLOČEVINA

Višina: 670 mm

Širina: 240 mm

Debelina: 15 mm

Trdnostni razred jekla: S235 ▾

(\* čelna pločevina mora biti šibki element spoja - trdnostni razred jekla naj bo enak ali nižji kot pri stebru in prečki)

#### VIJAKI

Število vrst vijakov: 3

(\* nevtralna os v spoju poteka skozi težišče spodnje pasnice prečke; k upogibni nosilnosti spoja pripomorejo le vrste vijakov, ki so pozicionirane nad spodnjo pasnico prečke (natezne vrste vijakov); vrste vijakov pod spodnjo pasnico prečke pripomorejo le k strižni odpornosti spoja)

(\*\* program samodejno upošteva natezno vrsto vijakov ob tlačni pasnici prečke; če tega ne želiš, vpiši 1 vrsto vijakov manj)

Tip vijakov: M24 ▾ Prednapeti vijaki

Trdnostni razred vijakov: 10.9 ▾

#### ZVARI

Debelina zvara med stojino prečke in čelno pločevino: 5 mm

Debelina zvara med pasnico prečke in čelno pločevino: 8 mm

(\* program računa z vrednostmi, ki jih podaš; zvari v momentnem spoju morajo biti polnonosilni)

#### OJAČITVE NA STRANI STEBRA

tlačna ojačitev

natezna ojačitev

strižni panel

#### OJAČITEV PREČKE - VUTA

vuta

(\* program kljub vuti upošteva nevtralno os v spoju v težišču tlačene pasnice)

(\*\* na sliki je vuta prikazano z belo barvo simbolično, v računu je upoštevana spodaj vnesena vrednost višine vute)

(\*\*\* v računu je vuta upoštevana, kot da je izrezana iz elementa, ki je po prerezu in materialu enak prečki)

(\*\*\*\* pri uporabi vute je potrebno upoštevati modificirano upogibno obremenitev spoja:  $M_{mod,ed} = M_{ed} - Ned * h$  (Ned - osna sila v prečki (pozitiven predznak za tlak v prečki), h - razdalja med težiščem prečke in pasnico vute na mestu vpetja)))

Višina vute: 250 mm

#### OJAČITEV ČELNE PLOČEVINE - REBRO

rebro



### OSNA IN PREČNA SILA V PREČKI

Osna sila:  kN

(\* če je sila tlačna, vnesi vrednost z negativnim predznakom)

(\*\* če osna sila presega 5% tlačne/natezne nosilnosti prečke, račun togosti in nosilnosti spoja ni pravilen (glej SIST EN 1993-1-8))

Prečna sila:  kN

### METODA RAČUNA Ft,rd

Alternativna metoda

### PODATKI ZA RAČUN KOMPONENTE STOJINA STEBRA V PREČNEM TLAKU

Transformacijski parameter beta ( $0 \leq \beta \leq 2$ )

Redukcijski faktor kw ( $1 \leq kw \leq 1.7$ )

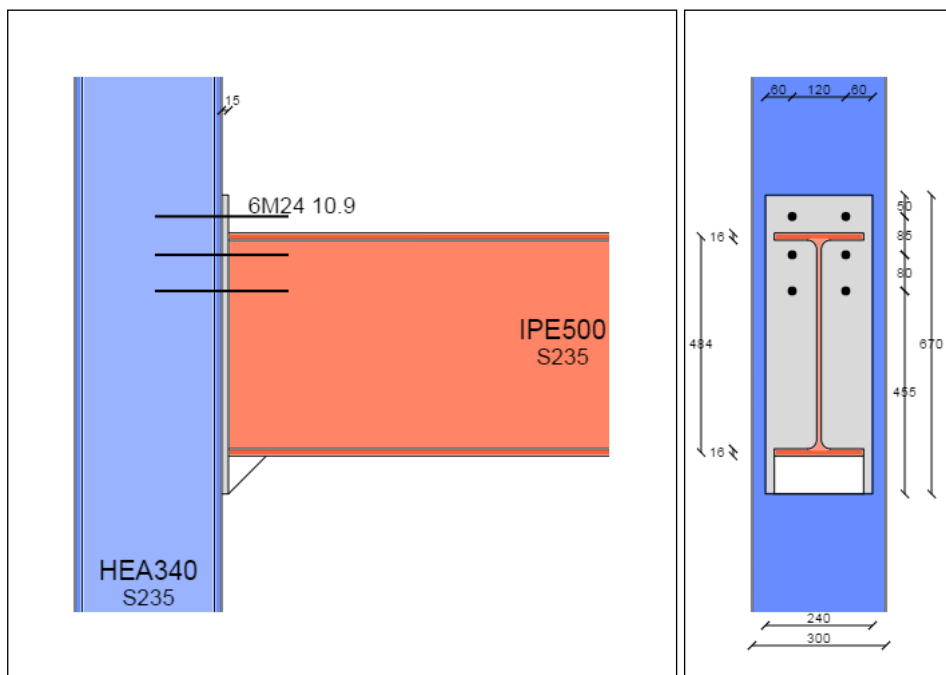
### PODATEK ZA RAČUN TOGOSTI SPOJA

Delež obremenitve spoja glede na njegovo nosilnost ( $0 \leq M_{j,ed}/M_{j,rd} \leq 1.0$ )

Dolžina prečke  m

NARIŠI

### SKICA:



### NAVPIČNE RAZDALJE MED VIJAKI:

(\* nad natezno pasnico prečke je lahko pozicionirana največ 1 vrsta vijakov)

Razdalja med zgornjim robom čelne pločevine in 1. vrsto vijakov:  mm

Razdalja med 1. in 2. vrsto vijakov:  mm

Razdalja med 2. in 3. vrsto vijakov:  mm

### VODORAVNE RAZDALJE MED VIJAKI:

Vodoravna razdalja med robom čelne pločevine in vrsto vijakov:  mm

POPRAVI POZICIJE VIJAKOV

REZULTATI:

## 2.) GEOMETRIJA NADOMESTNIH T ELEMENTOV

2.1) T ELEMENT NA STRANI STEBRA [mm]:

P: 120

m: 33.65

e (steber): 90

e (čelna pločevina): 60

e: 60

e1: 50

n: 42.06

nmin: 42.06

2.2) T ELEMENT NA STRANI PREČKE [mm]:

P: 120

m: 49.24

e (precka): 60

e (čelna pločevina): 60

emin: 60

n: 61.55

nmin: 60

2.3) T ELEMENT NA STRANI ČELNE PLOČEVINE [mm]:

ex: 50

mx: 25.95

w: 120

e: 60

m: 49.24

m2 (vrsta vijakov pod natezno pasnico): 24.95

m2 (spodnja natezna vrsta vijakov): 344.95

nx: 32.44

## 3.) VRSTA VIJAKOV 1

3.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]:

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 211.43

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 247.1

Mpl,1,rd: 338.17

Mpl,2,rd: 395.23

Ft,1,rd: 401.99

Ft,2,rd: 386.8

Ft,3,rd: 508.32

Nosilnost elementa - Ft,rd: 386.8

3.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]:

beff,c,wc: 247.1

beff,1: 247.1

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 4497.75

Omega1: 0.859

Omega2: 0.643

Omega: 0.859

Ft,wc,rd: 474.06

3.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]:

Sodelujoča dolžina - krožna oblika leff,cp: 163.04

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika leff,nc: 120

Mpl,1: 158.63

Mpl,2: 158.63

Ft,1,rd: 244.52

Ft,2,rd: 336.74

Ft,3,rd: 508.32

Ft,rd: 244.52

3.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]:

Sodelujoča dolžina - beff,t,wb: 0

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 0

POTENCIALNA NOSILNOST VRSTE VIJAKOV 1 [kN]: 244.52

#### 4.) VRSTA VIJAKOV 2

4.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 211.43

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 247.1

Mpl,1,rd: 338.17

Mpl,2,rd: 395.23

Ft,1,rd: 401.99

Ft,2,rd: 386.8

Ft,3,rd: 508.32

Nosilnost elementa: 386.8

4.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]

beff,c,wc: 247.1

beff,1: 247.1

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 4497.75

Omega1: 0.859

Omega2: 0.643

Omega: 0.859

Ft,wc,rd: 474.06

4.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina - krožna oblika: 309.4

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika: 363.91

Mpl,1: 408.99

Mpl,2: 481.04

Ft,1,rd: 332.22

Ft,2,rd: 367.25

Ft,3,rd: 508.32

Ft,rd: 332.22

4.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]

Sodelujoča dolžina beff,t,w,b: 309.4

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 741.64

POTENCIALNA NOSILNOST VRSTE VIJAKOV 2 [kN]: 332.22

## 5.) VRSTA VIJAKOV 3

5.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 211.43

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 247.1

Mpl,1,rd: 338.17

Mpl,2,rd: 395.23

Ft,1,rd: 401.99

Ft,2,rd: 386.8

Ft,3,rd: 508.32

Nosilnost elementa: 386.8

5.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]

beff,c,wc: 247.1

beff,1: 247.1

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 4497.75

Omega1: 0.859

Omega2: 0.643

Omega: 0.859

Ft,wc,rd: 474.06

5.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina - krožna oblika: 309.4

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika: 271.97

Mpl,1: 359.51

Mpl,2: 359.51

Ft,1,rd: 292.03

Ft,2,rd: 345.01

Ft,3,rd: 508.32

Ft,rd: 292.03

5.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]

Sodelujoča dolžina beff,t,w,b: 271.97

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 651.92

POTENCIALNA NOSILNOST VRSTE VIJAKOV 3 [kN]: 292.03

## 6.) KONTROLE SKUPIN VIJAKOV - VRSTE 3+2+1

6.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Razdalja med krajnima vrstama vijakov - p: 165

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 541.43

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 412.1

Mpl,1,rd: 659.14

Mpl,2,rd: 659.14

Ft,1,rd: 783.53

Ft,2,rd: 1021.32

Ft,3,rd: 1524.96

Ft,rd: 783.53

6.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]

beff,t,wc: 412.1

beff,1: 412.1

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 4497.75

Omega1: 0.71

Omega2: 0.45

Omega: 0.71

Ft,wc,rd: 653.01

6.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina - krožna oblika: 0

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika: 0

Mpl,1: 0

Mpl,2: 0

Ft,1,rd: 0

Ft,2,rd: 0

Ft,3,rd: 0

Ft,rd: 0

6.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]

Sodelujoča dolžina beff,t,w,b: 0

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 0

NOSILNOST SKUPINE VRST VIJAKOV [kN]: 653.01

## 7.) KONTROLE SKUPIN VIJAKOV - VRSTE 3+2

7.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Razdalja med krajnima vrstama vijakov - p: 80

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 371.43

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 327.1

Mpl,1,rd: 523.19

Mpl,2,rd: 523.19

Ft,1,rd: 621.92

Ft,2,rd: 703

Ft,3,rd: 1016.64

Ft,rd: 621.92

7.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]

beff,t,wc: 327.1

beff,1: 327.1

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 4497.75

Omega1: 0.786

Omega2: 0.536

Omega: 0.786

Ft,wc,rd: 573.65

7.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina - krožna oblika: 469.4

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika: 443.91

Mpl,1: 586.79

Mpl,2: 586.79

Ft,1,rd: 476.65

Ft,2,rd: 665.8

Ft,3,rd: 1016.64

Ft,rd: 476.65

7.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]

Sodelujoča dolžina beff,t,w,b: 443.91

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 1064.04

NOSILNOST SKUPINE VRST VIJAKOV [kN]: 476.65

## 8.) KONTROLE SKUPIN VIJAKOV - VRSTE 2+1

8.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Razdalja med krajnima vrstama vijakov - p: 85

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 381.43

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 332.1

Mpl,1,rd: 531.18

Mpl,2,rd: 531.18

Ft,1,rd: 631.42

Ft,2,rd: 705.12

Ft,3,rd: 1016.64

Ft,rd: 631.42

8.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]

beff,t,wc: 332.1

beff,1: 332.1

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 4497.75

Omega1: 0.781

Omega2: 0.53

Omega: 0.781

Ft,wc,rd: 579.01

8.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina - krožna oblika: 0

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika: 0

Mpl,1: 0

Mpl,2: 0

Ft,1,rd: 0

Ft,2,rd: 0

Ft,3,rd: 0

Ft,rd: 0

8.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]

Sodelujoča dolžina beff,t,w,b: 0

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 0

NOSILNOST SKUPINE VRST VIJAKOV [kN]: 579.01

## 9.) POTENCIALNE NOSILNOSTI VRST VIJAKOV UPOŠTEVAJOČ NOSILNOSTI SKUPIN VIJAKOV [kN]

Nosilnost vrste 1: 244.52

Nosilnost vrste 2: 332.22

Nosilnost vrste 3: 76.27

## 10.) STOJINA STEBRA V TLAKU [mm,kN]

beff,c,wc: 286.13

omega1: 0.823

omega2: 0.587

omega: 0.823

lambdacrtica,p: 0.865

ro: 0.889

Fc,wc,rd: 467.61

## 11.) PASNICA IN STOJINA PREČKE V TLAKU [kNm,kN]

Plastična upogibna nosilnost prečke - Mpl,rd: 889.05

Tlačna trdnost spodnje pasnice prečke - Fbf,rd: 1211.23

## 12.) NOSILNOST PREREZOV [kN,kNm]

12.1) STRIŽNA NOSILNOST STOJINE STEBRA [kN]

Stojina stebra kompaktna v strigu: DA

Strižna nosilnost stojine stebra - Vcw,rd: 549.22

12.2) PLASTIČNA UPOGIBNA NOSILNOST PREČKE [kNm]  
Mpl,rd: 515.59

### 13.) KONČNE NOSILNOSTI

#### 13.1) NOSILNOST SPOJA

Ročice vrst vijakov [cm]:

r1: 52.7

r2: 44.2

r3: 36.2

NOSILNOST VRST VIJAKOV, UPOŠTEVAJOČ PRAVILO O TRIKOTNI RAZPOREDITVI SIL, ČE JE NATEZNA SILA V NAJBOLJ OBREMENJENI VRSTI VEČJA OD 1.9 KRATNIKA NATEZNE NOSILNOSTI VIJAKA [kN]:

Natezna sila v najbolj obremenjeni vrsti vijakov - Fmax [kN]: 332.22

Omejitev pri kateri se mora upoštevati trikotna razporeditev sil - Fomejitev [kN]: 482.9

F1: 244.52

F2: 332.22

F3: 76.27

NOSILNOST VRST VIJAKOV, UPOŠTEVAJOČ RAVNOTEŽJE SIL V SPOJU [kN]:

Fglob,min [kN]: 467.61

Oсна sila v prečki[kN]: 0

F1: 244.52

F2: 223.09

F3: 0

Upogibna nosilnost spoja [kNm]:

Mj,rd: 227.47

SPOJ JE DELNO NOSILEN

#### 13.2) NOSILNOST ČELNE PLOČEVINE [kNm]

Mčp,rd: 381.42

### 14.) NOSILNOST SPOJA NA VERTIKALNI STRIG

Strižna nosilnost posameznega vijaka - Fv,rd: 141.2

Nosilnost vijakov na strig - Vrd: 443.77

### 15.) TOGOST SPOJA

(\* spodnji rezultati veljajo, če so za spoj uporabljena mehka konstrukcijska jekla S235 - S355)

#### 15.1) NADOMESTNE VZMETI [cm]

- VRSTA VIJAKOV 1

Stojina stebra v prečnem nategu - k3i: 0.454

Pasnica stebra v upogibu - k4i: 1.762

Čelna pločevina v upogibu - k5i: 2.086

Vijaki v nategu - k10i: 1.003

Nadomestna vzmet za vrsto 1 - keff,i: 0.236

- VRSTA VIJAKOV 2

Stojina stebra v prečnem nategu - k3i: 0.226

Pasnica stebra v upogibu - k4i: 0.875

Čelna pločevina v upogibu - k5i: 0.61



Vijaki v nategu - k10i: 1.003

Nadomestna vzmet za vrsto 2 - keff,i: 0.122

- VRSTA VIJAKOV 3

Stojina stebra v prečnem nategu - k3i: 0.448

Pasnica stebra v upogibu - k4i: 1.735

Čelna pločevina v upogibu - k5i: 0.448

Vijaki v nategu - k10i: 1.003

Nadomestna vzmet za vrsto 3 - keff,i: 0.166

NADOMESTNA VZMET VRST VIJAKOV V NATEGU

Nadomestna ročica - zeq: 46.621

Togost nadomestne vzmeti - keq: 0.51

STRIŽNI PANEL

Togost nadomestne vzmeti - k1: 0.367

STOJINA STEBRA V PREČNEM TLAKU

Togost nadomestne vzmeti - k2: 0.783

15.2) ROTACIJSKA TOGOST STEBRA [MNm]

Začetna (tangenta) togost - sj,ini: 76.527

Sekantna rotacijska togost - sj: 166.398

15.3) KLASIFIKACIJA PO TOGOSTI

Razmerje  $K=E^*I/L$  [MNm]: 20.244

SPOJ JE DELNO TOG

## PRILOGA 6

## Steel Connection

Name	Pcve
Node	N2
Connection type	Frame bolted
Connection geometry	Single-sided
Calculation type	Internal forces
Lc/Combi	LC1

Connected beams

Name	CrossSection	Material	Length [m]	Beg. node	End node	Type
B2	CS1 - HEA340	S 235	2.000	N2	N3	column (100)
B3	CS2 - IPE500	S 235	2.000	N2	N4	beam (80)

### Parts of connection: Side [B3]

Bolts

M24 - 10.9			
Name		Bolt pattern	2 bolts/row
Internal bolts distance [mm]	120	External bolts distance [mm]	
Length [mm]	70	Reference	Bottom of the end plate
1.Location [mm]	805	2.Location [mm]	725
3.Location [mm]	640	4.Location [mm]	

End-plate

EP			
Material	S 235	Left extension [mm]	20
Thickness[mm]	15	Right extension [mm]	20
Input	Top/Bottom/Left/Right	Total width [mm]	240
Top extension [mm]	85	Total height [mm]	855
Bottom extension [mm]	20		

Bottom haunch

Name	BH
Type	Haunch with flange
Input type	Height x length
Haunch height [m]	0.250
Web thickness [m]	0.010
Haunch length [m]	0.500
Flange thickness [m]	0.016
Flange width [m]	0.200

### Connection analysis: Side [B3]

According to EN 1993-1-8

National annex: Slovenian SIST-EN NA

Bottom haunch [B3]		
hc	250.00	mm
lc	500.00	mm
b	200.00	mm
tc	16.00	mm
tw	10.20	mm
weld ab,min	8.00	mm
weld ab,calc	15.00	mm
weld ab	15.00	mm
weld ac,min	15.00	mm
weld ac,calc	11.00	mm
weld ac	15.00	mm

Partial safety factors	
Gamma M0	1.00
Gamma M1	1.00
Gamma M2	1.25
Gamma M3	1.25

### 1. Internal forces

LC1		
NEd	0.00	kN
Vz,Ed	10.00	kN
My,Ed	-10.00	kNm
Vy,Ed	0.00	kN
Mz,Ed	0.00	kNm

Tension top

Note: NEd <= 0.05 \* Npl,Rd,Beam.

.....STRONG-AXIS CALCULATION.....

**2. Design moment resistance  $M_{j,y,Rd}$**

**2.1. Design resistance of basic components**

**2.1.1. Column web panel in shear**

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.6.1

Vwp,Rd data		
Column web in shear (Vwp,Rd)	555.32	kN
Beta	1.00	
Avc	4547.75	mm <sup>2</sup>

**2.1.2. Column web in compression**

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.6.2

Fc,wc,Rd data		
beff,c,wc	262.50	mm
twc	9.50	mm
$\omega_1$	0.85	
$\omega_2$	0.62	
$\omega$	0.85	
dwc	243.00	mm
$\lambda_{p,rel}$	0.83	
$\rho$	0.92	
kwc	1.00	
Fc,wc,Rd	454.85	kN

**2.1.3. Beam flange and web in compression**

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.6.7

Fc,fb,Rd data		
Section class	1	
Mc,Rd	930.34	kNm
hb-tfb	734.00	mm
Fc,fb,Rd	1267.49	kN
Fc,fb,Rd,max	940.00	kN
Fc,fb,Rd	940.00	kN

Note: Fc,fb,Rd resistance is limited according to the EN 1993-1-8 Article 6.2.6.7 (1).

**2.1.4. Design tension resistance of bolt-row**

According to EN 1993-1-8 Article 3.6

Ft,Rd data		
fub	1000.00	MPa
As	353.00	mm <sup>2</sup>
k2	0.90	-
Ft,Rd	254.16	kN
Lb	56.50	mm

Note: The bolt-rows are numbered starting from the bolt-row farthest from the centre of compression as specified in EN 1993-1-8 Article 6.2.7.2 (1).

**2.1.4.1. Column flange**

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.6.3, 6.2.6.4

(effective lengths in mm, resistance in kN)

row	m2U	m2L	limit	near stiff. U	near stiff. L	Classification
1	-	-	-	-	-	Other end bolt-row at end of column
2	-	-	-	-	-	Other inner bolt-row
3	-	-	-	-	-	Other end bolt-row at end of column



group	ieff,cp,g	ieff,nc,g
2- 3	479.40	478.95

For individual bolt-row:

row	ieff,1	ieff,2	Lb*	Prying forces	FT,1,Rd	FT,2,Rd	FT,3,Rd	Ft,ep,Rd,i
1	120.00	120.00	134.02	✓	244.52	336.74	508.32	244.52
2	309.40	393.95	355.22	✓	332.22	374.52	508.32	332.22
3	271.97	271.97	404.11	✓	292.03	345.01	508.32	292.03

row	beff,t,wb	Ft,wb,Rd,i
1	-	-
2	309.40	741.64
3	271.97	651.92

For group of bolt-rows:

group	ieff,1	ieff,2	Lb*	Prying forces	FT,1,Rd	FT,2,Rd	FT,3,Rd	Ft,ep,Rd,g
2- 3	478.95	478.95	458.95	✓	514.27	674.28	1016.64	514.27

group	beff,t,wb	Ft,wb,Rd,g
2- 3	478.95	1148.03

## 2.2. Force distribution in bolt-rows

### 2.2.1. Potential tension resistance

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.7.2 (6),(8)

row	Ft,fc,Rd,i	Ft,fc,Rd,g	Ft,wc,Rd,i	Ft,wc,Rd,g	Ft,ep,Rd,i	Ft,ep,Rd,g	Ft,wb,Rd,i	Ft,wb,Rd,g	Ft,r,Rd
1	329.97	-	358.07	-	244.52	-	-	-	244.52
2	386.80	237.56	475.42	240.03	332.22	-	741.64	-	237.56
3	386.80	161.61	475.42	106.29	292.03	276.71	651.92	910.47	106.29

$$\sum Ft,Rd = 588.36 \text{ kN}$$

### 2.2.2. Assessment of the shear and compression zone

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.7.2 (7)

Column web in shear (Vwp,Rd/Beta)	555.32	kN
Column web in compression (Fc,wc,Rd)	454.85	kN
Beam flange and web in compression (Fc,fb,Rd)	940.00	kN

$$\text{Limiting resistance} = 454.85 \text{ kN}$$

row	Ft,r,Rd	Decrease	Ft,r,Rd
1	244.52	0.00	244.52
2	237.56	27.23	210.33
3	106.29	106.29	0.00

### 2.2.3. Triangular limit

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.7.2 (9)

$$\text{Limit: } 1.9 * Ft,Rd = 482.90 \text{ kN}$$

row	Ft,r,Rd	> Limit	Decrease	Ft,r,Rd
1	244.52	x	-	244.52
2	210.33	x	-	210.33
3	0.00	x	-	0.00

## 2.3. Determination of Mj,y,Rd

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.7.2 (1)

row	hr[mm]	Ft,r,Rd[kN]
1	776.06	244.52
2	696.06	210.33
3	611.06	0.00

$$Mj,y,Rd = 336.16 \text{ kNm}$$

## 2.4. Determination of Mj,Rd for compressed haunch at beam

data		
alpha	26.57	deg
Af	3200.00	mm <sup>2</sup>
beff	200.00	mm
Ad	2040.00	mm <sup>2</sup>
ro	0.87	
Me	453.55	kNm
Mj,Rd	383.86	kNm
MEd	-4.39	kNm

**2.5. Determination of Nj,Rd**

According to EN 1993-1-8 Article 6.2.7.1 (3)

data		
Column Web in tension (Ft,wc,Rd)	588.36	kN
Beam Web in tension (Ft,wb,Rd)	1148.03	kN
Endplate in bending (Ft,ep,Rd)	758.79	kN
Column Flange in bending (Ft,fc,Rd)	643.69	kN

**Nj,Rd = 588.36 kN**

**3. Design shear resistance Vz,Rd**

Vz,Rd data		
Fv,Rd	141.20	kN
nb,full	2	
nb,reduced	4	
e1,ep	50.00	mm
e1,cf	50.00	mm
p1	80.00	mm
k1 plate	2.50	
k1 beam	2.50	
Alfa_b plate	0.64	
Alfa_b column	0.64	
Alfa_d plate	0.64	
Alfa_d column	0.64	
Fb,ep,Rd	166.15	kN
Fb,cf,Rd	182.77	kN
Avz	8422.00	mm <sup>2</sup>
I1 (tension)	0.24	
I2 (compression)	0.76	
Vz,Rd beam	1004.80	kN
Vz,Rd	443.77	kN

**4. Stiffness calculation**

**4.1. Design rotational stiffness**

According to EN 1993-1-8 Article 6.3.4

row	k3[mm]	k4[mm]	k5[mm]	k10[mm]	keff[mm]
1	2.46	9.55	20.86	10.00	1.52
2	2.26	8.75	6.10	10.00	1.22
3	4.54	17.62	4.54	10.00	1.67

Sj data		
Sj	132.62	MNm/rad
Sj,ini	132.62	MNm/rad
z	698.44	mm
mu	1.00	
k1	2.47	mm
k2	7.18	mm
keq	4.37	mm

**4.2. Stiffness classification**

Stiffness data		
E	210000.00	MPa
Ib	48200000.00	mm <sup>4</sup>
Lb	2000.00	mm
frame type	braced	
Sj,rigid	404.88	MNm/rad

Stiffness data		
Sj,pinned	25.31	MNm/rad

System: SEMI RIGID

#### 4.3. Stiffness check

Stiffness data		
Fi y	infinity	MNm/rad
Stiffness modification coef.	2.00	
Sj,app	infinity	MNm/rad
Sj,lower boundary	404.88	MNm/rad
Sj,upper boundary	infinity	MNm/rad

Sj,ini is not inside the boundaries.

The actual joint stiffness does not conform with the joint stiffness of the analysis model.

#### 4.4. Ductility classification

The failure mode is not situated in the column shear zone.

In the endplate we have the following :

$$t \leq 0.36 \sqrt{f_{ub}/f_y} d$$

This results in a ductile classification for ductility : class 1.

### 5. Design calculations

#### 5.1. Flange welds

data		
Mj,y,Rd	336.16	kNm
$\alpha$	1.40	
h	733.06	mm
FRd	642.00	kN
Nt,Rd	752.00	kN
f <sub>u</sub>	360.00	MPa
$\beta_w$	0.80	
minimum af	7.39	mm
af	8.00	mm

#### 5.2. Web welds

data		
F <sub>t</sub>	210.33	kN
F <sub>v</sub>	3.33	kN
l <sub>w</sub>	393.95	mm
f <sub>u</sub>	360.00	MPa
$\beta_w$	0.80	
minimum a <sub>w</sub> (a <sub>2</sub> )	4.71	mm
a <sub>w</sub>	5.00	mm

#### ....:WEAK-AXIS CALCULATION:....

According to Neumann N, Nuhic F: "DESIGN OF STRUCTURAL JOINTS CONNECTING H OR I SECTIONS subjected to in-plane and out-of-plane bending", EUROSTEEL, 2011 & Kristensen SO, "Single-sided structural beam-to-column joint of H- or I-profiles with bolted endplate exposed to in-plane and out-of-plane bending", Stavanger, 2010

### 6. Design moment resistance M<sub>j,z,Rd</sub>

#### 6.1. Design resistance of basic components

##### 6.1.1. Column flange in bending

row	F <sub>t,fc,Rd,i</sub>	F <sub>t,fc,Rd,g</sub>	F <sub>t,fc,Rd</sub>	F <sub>ta,fc,Rd</sub>
1	329.97	-	329.97	164.99
2	386.80	237.56	237.56	118.78
3	386.80	161.61	161.61	80.81

$$F_{ta,fc,Rd} = 364.57 \text{ kN}$$

##### 6.1.2. End-plate in bending

row	l <sub>eff,cp,i</sub>	l <sub>eff,nc,i</sub>
1	163.04	143.15

For individual bolt-row:



row	leff,1	leff,2	Lb*	Prying forces	FT,1,Rd	FT,2,Rd	FT,3,Rd	Ft,ep,Rd,i
1	143.15	143.15	112.35	✓	291.69	347.22	508.32	291.69

row	Ft,ep,Rd,i	Ft,ep,Rd,g	Ft,ep,Rd	Fta,ep,Rd,r
1	291.69	-	291.69	145.84
2	332.22	-	332.22	166.11
3	292.03	276.71	276.71	138.36

Fta,ep,Rd = 450.31 kN

### 6.1.3. Beam flange in compression

Fcb,fb,Rd data		
bc,fb,eff	120.00	mm
k	1.00	
Fcb,fb,Rd	902.40	kN

### 6.1.4. Column flange in twisting

Fta,fct,Rd data		
bc	300.00	mm
y	106.67	mm
Fta,fct,Rd	31.17	kN

### 6.1.5. Column web in bending

Fta,wbc,Rd data		
p1	165.00	mm
p2	120.00	mm
y	106.67	mm
beff,wbc	372.60	mm
Fta,wbc,Rd	18.52	kN

### 6.2. Determination of Mj,z,Rd

Mj,z,Rd data		
Fta,Rd	49.69	kN
y	106.67	mm
Mj,z,Rd	5.30	kNm

### 7. Design shear resistance Vy,Rd

Vy,Rd data		
Fv,Rd	141.20	kN
nb,full	3	
nb,reduced	3	
Fb,ep,Rd	166.15	kN
Fb,cf,Rd	182.77	kN
Avy	9918.24	mm <sup>2</sup>
Vy,Rd beam	672.84	kN
Vy,Rd	544.63	kN

Note: Bolt shear resistances are taken from the strong-axis calculation.

### 8. Stiffness calculation

#### 8.1. Design rotational stiffness

row	k4[mm]	k5[mm]	k10[mm]
1	4.77	12.44	5.00
2	4.38	3.05	5.00
3	8.81	2.27	5.00

Sj data		
Sj	0.17	MNm/rad
Sj,ini	0.17	MNm/rad
zeq	106.67	mm
mu	1.00	
k4	17.96	mm
k5	17.76	mm
k7	-	
k10	14.99	mm
k17	0.05	mm

Sj data		
k18	0.02	mm

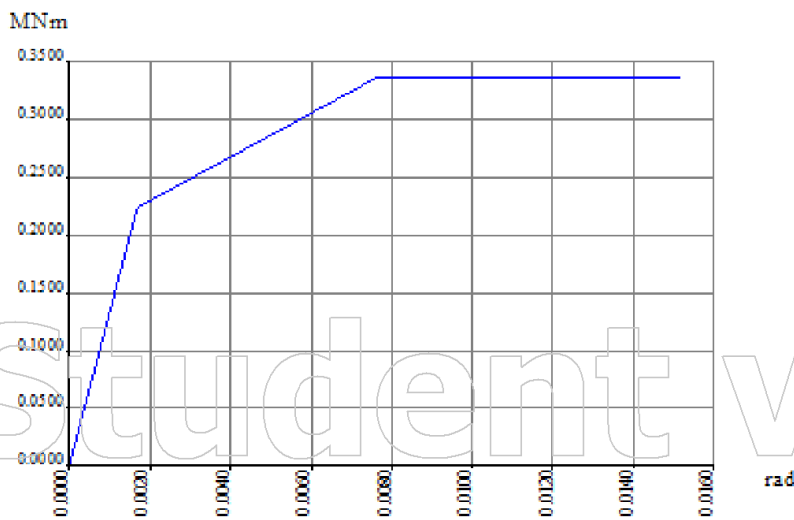
....RESULTS:....

9. Unity checks

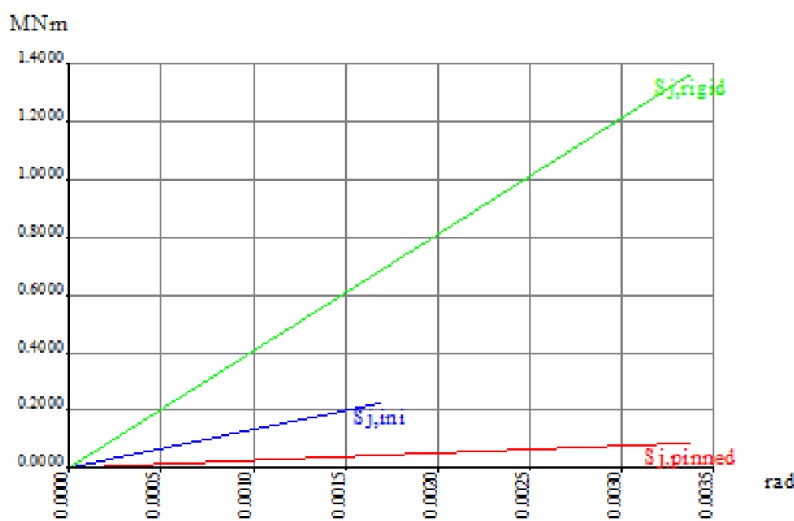
Unity checks	
$M_{y,Ed}/M_{j,y,Rd}$	0.03
$M_{z,Ed}/M_{j,z,Rd}$	0.00
$N_{Ed}/N_{j,Rd}$	0.00
$V_{z,Ed}/V_{z,Rd}$	0.02
$V_{y,Ed}/V_{y,Rd}$	0.00
$V_{z,Ed}/V_{z,Rd} + V_{y,Ed}/V_{y,Rd}$	0.02
$M_{y,Ed}/M_{j,y,Rd} + M_{z,Ed}/M_{j,z,Rd}$	0.03

The connection satisfies.

Moment-rotation diagram: Side [B3] - Strong axis



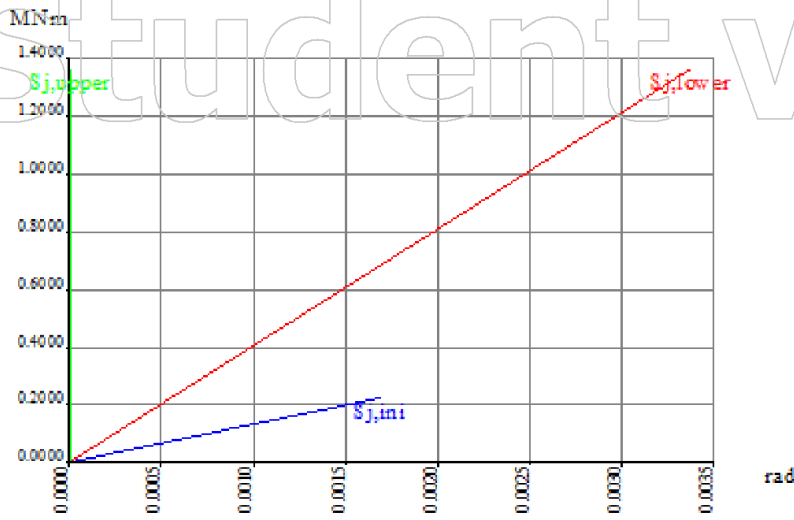
Stiffness classification: Side [B3] - Strong axis



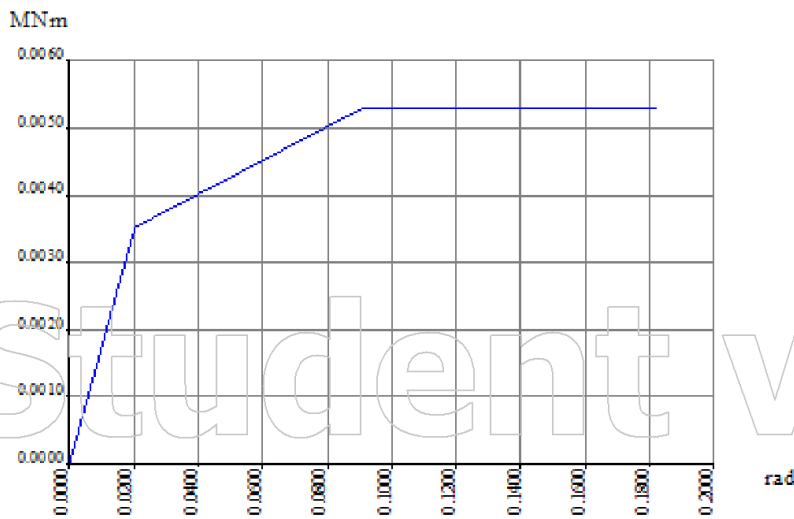
Stiffness check: Side [B3] - Strong axis

Student version

Student version



Moment-rotation diagram: Side [B3] - Weak axis



Student version

Student version

## PRILOGA 7

Program po komponentni metodi izračuna nosilnost in togost podanega spoja.

Z ukazom NARIŠI se izriše slika podanega spoja. Z ukazom IZRAČUNAJ program izračuna nosilnost in togost podanega spoja

V izpisu na spodnjem delu strani se nahajajo delni rezultati izračuna in nosilnost posameznih komponent spoja in rezultati računa togosti spoja

#### STEBER

Tip prereza: HEM1000 ▾

Kvaliteta jekla: S235 ▾

#### PREČKA

Tip prereza: IPE600 ▾

Kvaliteta jekla: S235 ▾

#### ČELNA PLOČEVINA

Višina: 780 mm

Širina: 250 mm

Debelina: 25 mm

Trdnostni razred jekla: S235 ▾

(\* čelna pločevina mora biti šibki element spoja - trdnostni razred jekla naj bo enak ali nižji kot pri stebru in prečki)

#### VIJAKI

Število vrst vijakov: 4

(\* nevtralna os v spoju poteka skozi težišče spodnje pasnice prečke; k upogibni nosilnosti spoja pripomorejo le vrste vijakov, ki so pozicionirane nad spodnjo pasnico prečke (natezne vrste vijakov); vrste vijakov pod spodnjo pasnico prečke pripomorejo le k strižni odpornosti spoja)

(\*\* program samodejno upošteva natezno vrsto vijakov ob tlačni pasnici prečke; če tega ne želiš, vpiši 1 vrsto vijakov manj)

Tip vijakov: M27 ▾ Prednapeti vijaki

Trdnostni razred vijakov: 8.8 ▾

#### ZVARI

Debelina zvara med stojino prečke in čelno pločevino: 6 mm

Debelina zvara med pasnico prečke in čelno pločevino: 9 mm

(\* program računa z vrednostmi, ki jih podaš; zvari v momentnem spoju morajo biti polnonosilni)

#### OJAČITVE NA STRANI STEBRA

tlačna ojačitev

natezna ojačitev

strižni panel

#### OJAČITEV PREČKE - VUTA

vuta

#### OJAČITEV ČELNE PLOČEVINE - REBRO

rebro

#### OSNA IN PREČNA SILA V PREČKI

Osna sila: 0 kN

(\* če je sila tlačna, vnese vrednost z negativnim predznakom)

(\*\* če osna sila presega 5% tlačne/natezne nosilnosti prečke, račun togosti in nosilnosti spoja ni pravilen (glej SIST EN 1993-1-8))

Prečna sila:  kN

METODA RAČUNA Ft,rd

Alternativna metoda

PODATKI ZA RAČUN KOMPONENTE STOJINA STEBRA V PREČNEM TLAKU

Transformacijski parameter beta ( $0 \leq \beta \leq 2$ )

Redukcijski faktor kw ( $1 \leq kw \leq 1.7$ )

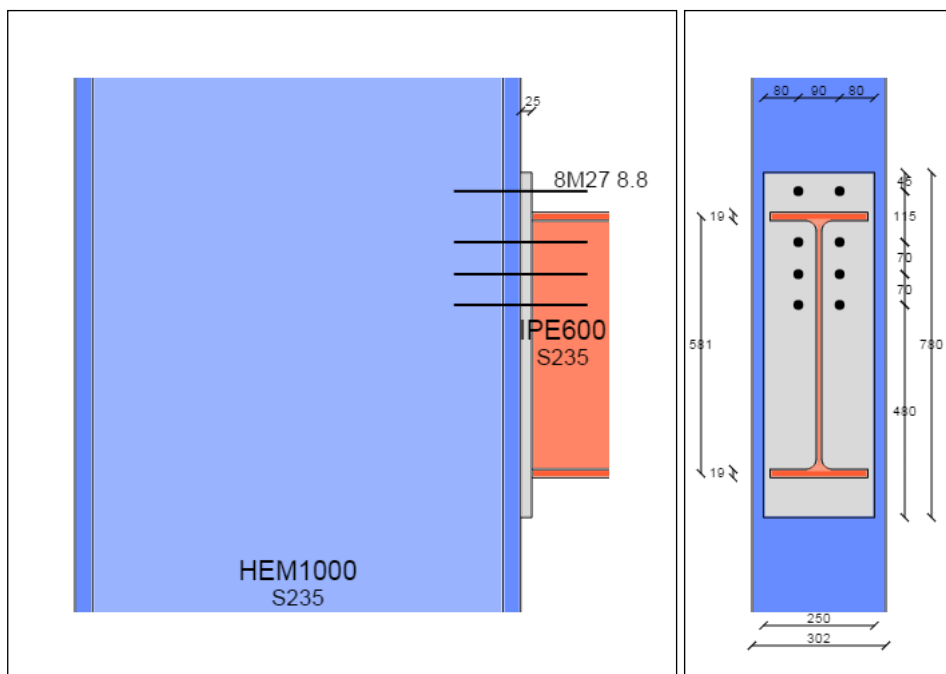
PODATEK ZA RAČUN TOGOSTI SPOJA

Delež obremenitve spoja glede na njegovo nosilnost ( $0 \leq M_{j,ed}/M_{j,rd} \leq 1.0$ )

Dolžina prečke  m

NARIŠI

SKICA:



NAVPIČNE RAZDALJE MED VIJAKI:

(\* nad natezno pasnico prečke je lahko pozicionirana največ 1 vrsta vijakov)

Razdalja med zgornjim robom čelne pločevine in 1. vrsto vijakov:  mm

Razdalja med 1. in 2. vrsto vijakov:  mm

Razdalja med 2. in 3. vrsto vijakov:  mm

Razdalja med 3. in 4. vrsto vijakov:  mm

VODORAVNE RAZDALJE MED VIJAKI:

Vodoravna razdalja med robom čelne pločevine in vrsto vijakov:  mm

POPRAVI POZICIJE VIJAKOV

PORAČUNAJ PODANI SPOJ

REZULTATI:

## 2.) GEOMETRIJA NADOMESTNIH T ELEMENTOV

### 2.1) T ELEMENT NA STRANI STEBRA [mm]:

P: 90

m: 10.5

e (steber): 106

e (čelna pločevina): 80

e: 80

e1: 45

n: 13.13

nmin: 13.13

### 2.2) T ELEMENT NA STRANI PREČKE [mm]:

P: 90

m: 32.21

e (precka): 80

e (čelna pločevina): 80

emin: 80

n: 40.26

nmin: 40.26

### 2.3) T ELEMENT NA STRANI ČELNE PLOČEVINE [mm]:

ex: 45

mx: 34.82

w: 90

e: 80

m: 32.21

m2 (vrsta vijakov pod natezno pasnico): 40.82

m2 (spodnja natezna vrsta vijakov): 360.82

nx: 43.52

## 3.) VRSTA VIJAKOV 1

### 3.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]:

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 65.97

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 174.5

Mpl,1,rd: 620.15

Mpl,2,rd: 1640.3

Ft,1,rd: 2362.48

Ft,2,rd: 1682.37

Ft,3,rd: 528.77

Nosilnost elementa - Ft,rd: 528.77

### 3.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]:

beff,c,wc: 174.5

beff,1: 174.5

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 23500

Omega1: 0.985  
Omega2: 0.942  
Omega: 0.985  
Ft,wc,rd: 847.86

3.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]:

Sodelujoča dolžina - krožna oblika leff,cp: 199.38  
Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika leff,nc: 125

Mpl,1: 458.98  
Mpl,2: 458.98  
Ft,1,rd: 527.3  
Ft,2,rd: 410.94  
Ft,3,rd: 528.77  
Ft,rd: 410.94

3.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]:

Sodelujoča dolžina - beff,t,wb: 0

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 0

POTENCIALNA NOSILNOST VRSTE VIJAKOV 1 [kN]: 410.94

#### 4.) VRSTA VIJAKOV 2

4.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 65.97

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 174.5

Mpl,1,rd: 620.15  
Mpl,2,rd: 1640.3  
Ft,1,rd: 2362.48  
Ft,2,rd: 1682.37  
Ft,3,rd: 528.77  
Nosilnost elementa: 528.77

4.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]

beff,c,wc: 174.5

beff,1: 174.5

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 23500

Omega1: 0.985  
Omega2: 0.942  
Omega: 0.985  
Ft,wc,rd: 847.86

4.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina - krožna oblika: 202.39

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika: 255.76

Mpl,1: 743.16  
Mpl,2: 939.12  
Ft,1,rd: 922.84



Ft,2,rd: 552.91

Ft,3,rd: 528.77

Ft,rd: 528.77

4.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]

Sodelujoča dolžina beff,t,w,b: 202.39

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 570.75

POTENCIALNA NOSILNOST VRSTE VIJAKOV 2 [kN]: 528.77

## 5.) VRSTA VIJAKOV 3

5.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 65.97

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 174.5

Mpl,1,rd: 620.15

Mpl,2,rd: 1640.3

Ft,1,rd: 2362.48

Ft,2,rd: 1682.37

Ft,3,rd: 528.77

Nosilnost elementa: 528.77

5.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]

beff,c,wc: 174.5

beff,1: 174.5

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 23500

Omega1: 0.985

Omega2: 0.942

Omega: 0.985

Ft,wc,rd: 847.86

5.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina - krožna oblika: 202.39

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika: 228.85

Mpl,1: 743.16

Mpl,2: 840.3

Ft,1,rd: 922.84

Ft,2,rd: 525.64

Ft,3,rd: 528.77

Ft,rd: 525.64

5.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]

Sodelujoča dolžina beff,t,w,b: 202.39

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 570.75

POTENCIALNA NOSILNOST VRSTE VIJAKOV 3 [kN]: 525.64

## 6.) VRSTA VIJAKOV 4

6.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 65.97  
Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 174.5  
Mpl,1,rd: 620.15  
Mpl,2,rd: 1640.3  
Ft,1,rd: 2362.48  
Ft,2,rd: 1682.37  
Ft,3,rd: 528.77  
Nosilnost elementa: 528.77

6.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]  
beff,c,wc: 174.5

beff,1: 174.5

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 23500

Omega1: 0.985

Omega2: 0.942

Omega: 0.985

Ft,wc,rd: 847.86

6.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina - krožna oblika: 202.39

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika: 228.85

Mpl,1: 743.16

Mpl,2: 840.3

Ft,1,rd: 922.84

Ft,2,rd: 525.64

Ft,3,rd: 528.77

Ft,rd: 525.64

6.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]

Sodelujoča dolžina beff,t,w,b: 202.39

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 570.75

POTENCIALNA NOSILNOST VRSTE VIJAKOV 4 [kN]: 525.64

## 7.) KONTROLE SKUPIN VIJAKOV - VRSTE 4+3+2+1

7.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Razdalja med krajnima vrstama vijakov - p: 255

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 575.97

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 429.5

Mpl,1,rd: 4037.3

Mpl,2,rd: 4037.3

Ft,1,rd: 15380.19

Ft,2,rd: 4592.86

Ft,3,rd: 2115.07

Ft,rd: 2115.07

7.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]

beff,t,wc: 429.5

beff,1: 429.5

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 23500

Omega1: 0.916

Omega2: 0.752

Omega: 0.916

Ft,wc,rd: 1941.79

7.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina - krožna oblika: 0

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika: 0

Mpl,1: 0

Mpl,2: 0

Ft,1,rd: 0

Ft,2,rd: 0

Ft,3,rd: 0

Ft,rd: 0

7.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]

Sodelujoča dolžina beff,t,w,b: 0

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 0

NOSILNOST SKUPINE VRST VIJAKOV [kN]: 1941.79

## 8.) KONTROLE SKUPIN VIJAKOV - VRSTE 4+3+2

8.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Razdalja med krajnima vrstama vijakov - p: 140

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 345.97

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 314.5

Mpl,1,rd: 2956.3

Mpl,2,rd: 2956.3

Ft,1,rd: 11262.1

Ft,2,rd: 3383.97

Ft,3,rd: 1586.3

Ft,rd: 1586.3

8.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]

beff,t,wc: 314.5

beff,1: 314.5

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 23500

Omega1: 0.952

Omega2: 0.842

Omega: 0.952

Ft,wc,rd: 1478.03

8.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina - krožna oblika: 482.39

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika: 395.76

Mpl,1: 1453.19

Mpl,2: 1453.19

Ft,1,rd: 1804.54

Ft,2,rd: 1282.29

Ft,3,rd: 1586.3

Ft,rd: 1282.29

8.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]

Sodelujoča dolžina beff,t,w,b: 395.76

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 1116.05

NOSILNOST SKUPINE VRST VIJAKOV [kN]: 1116.05

## 9.) KONTROLE SKUPIN VIJAKOV - VRSTE 3+2+1

9.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Razdalja med krajnima vrstama vijakov - p: 185

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 435.97

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 359.5

Mpl,1,rd: 3379.3

Mpl,2,rd: 3379.3

Ft,1,rd: 12873.52

Ft,2,rd: 3742.06

Ft,3,rd: 1586.3

Ft,rd: 1586.3

9.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]

beff,t,wc: 359.5

beff,1: 359.5

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 23500

Omega1: 0.939

Omega2: 0.807

Omega: 0.939

Ft,wc,rd: 1665.9

9.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina - krožna oblika: 0

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika: 0

Mpl,1: 0

Mpl,2: 0

Ft,1,rd: 0

Ft,2,rd: 0

Ft,3,rd: 0

Ft,rd: 0

9.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]

Sodelujoča dolžina beff,t,w,b: 0

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 0

NOSILNOST SKUPINE VRST VIJAKOV [kN]: 1586.3

## 10.) KONTROLE SKUPIN VIJAKOV - VRSTE 4+3

10.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Razdalja med krajnima vrstama vijakov - p: 70

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 205.97

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 244.5

Mpl,1,rd: 1936.15

Mpl,2,rd: 2298.3

Ft,1,rd: 7375.81

Ft,2,rd: 2533.17

Ft,3,rd: 1057.54

Ft,rd: 1057.54

10.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]

beff,t,wc: 244.5

beff,1: 244.5

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 23500

Omega1: 0.97

Omega2: 0.895

Omega: 0.97

Ft,wc,rd: 1170.82

10.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina - krožna oblika: 342.39

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika: 298.85

Mpl,1: 1097.33

Mpl,2: 1097.33

Ft,1,rd: 1362.64

Ft,2,rd: 890.33

Ft,3,rd: 1057.54

Ft,rd: 890.33

10.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]

Sodelujoča dolžina beff,t,w,b: 298.85

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 842.75

NOSILNOST SKUPINE VRST VIJAKOV [kN]: 842.75

## 11.) KONTROLE SKUPIN VIJAKOV - VRSTE 3+2

11.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Razdalja med krajnima vrstama vijakov - p: 70

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 205.97

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 244.5

Mpl,1,rd: 1936.15

Mpl,2,rd: 2298.3

Ft,1,rd: 7375.81

Ft,2,rd: 2533.17

Ft,3,rd: 1057.54

Ft,rd: 1057.54

11.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]

beff,t,wc: 244.5

beff,1: 244.5

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 23500

Omega1: 0.97

Omega2: 0.895

Omega: 0.97

Ft,wc,rd: 1170.82

11.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina - krožna oblika: 342.39

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika: 325.76

Mpl,1: 1196.16

Mpl,2: 1196.16

Ft,1,rd: 1485.36

Ft,2,rd: 917.6

Ft,3,rd: 1057.54

Ft,rd: 917.6

11.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]

Sodelujoča dolžina beff,t,w,b: 325.76

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 918.65

NOSILNOST SKUPINE VRST VIJAKOV [kN]: 917.6

## 12.) KONTROLE SKUPIN VIJAKOV - VRSTE 2+1

12.1) PASNICA STEBRA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Razdalja med krajnima vrstama vijakov - p: 115

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - krožna oblika: 295.97

Sodelujoča dolžina pasnice stebra - poligonalna oblika: 289.5

Mpl,1,rd: 2721.3

Mpl,2,rd: 2721.3

Ft,1,rd: 10366.86

Ft,2,rd: 2891.27

Ft,3,rd: 1057.54

Ft,rd: 1057.54

12.2) STOJINA STEBRA V PREČNEM NATEGU [mm, kN]

beff,t,wc: 289.5

beff,1: 289.5

Beta: 1

Površina strižnega prereza Avc: 23500

Omega1: 0.959

Omega2: 0.861

Omega: 0.959

Ft,wc,rd: 1370.31

12.3) ČELNA PLOČEVINA V UPOGIBU [mm, kNcm, kN]

Sodelujoča dolžina - krožna oblika: 0

Sodelujoča dolžina - poligonalna oblika: 0

Mpl,1: 0

Mpl,2: 0

Ft,1,rd: 0

Ft,2,rd: 0

Ft,3,rd: 0

Ft,rd: 0

12.4) STOJINA PREČKE V NATEGU [mm, kN]

Sodelujoča dolžina beff,t,w,b: 0

Natezna nosilnost stojine prečke Ft,wb,rd: 0

NOSILNOST SKUPINE VRST VIJAKOV [kN]: 1057.54

### 13.) POTENCIALNE NOSILNOSTI VRST VIJAKOV UPOŠTEVAJOČ NOSILNOSTI SKUPIN VIJAKOV [kN]

Nosilnost vrste 1: 410.94

Nosilnost vrste 2: 528.77

Nosilnost vrste 3: 388.83

Nosilnost vrste 4: 198.45

### 14.) STOJINA STEBRA V TLAKU [mm,kN]

beff,c,wc: 444.46

omega1: 0.911

omega2: 0.741

omega: 0.911

lambdacrtica,p: 0.922

ro: 0.849

Fc,wc,rd: 1696.36

### 15.) PASNICA IN STOJINA PREČKE V TLAKU [kNm,kN]

Plastična upogibna nosilnost prečke - Mpl,rd: 825.32

Tlačna trdnost spodnje pasnice prečke - Fbf,rd: 1420.52

### 16.) NOSILNOST PREREZOV [kN,kNm]

#### 16.1) STRIŽNA NOSILNOST STOJINE STEBRA [kN]

Stojina stebra kompaktna v strigu: DA

Strižna nosilnost stojine stebra - Vcw,rd: 2869.58

#### 16.2) PLASTIČNA UPOGIBNA NOSILNOST PREČKE [kNm]

Mpl,rd: 825.32

### 17.) KONČNE NOSILNOSTI

#### 17.1) NOSILNOST SPOJA

Ročice vrst vijakov [cm]:

r1: 63.55

r2: 52.05

r3: 45.05

r4: 38.05

NOSILNOST VRST VIJAKOV, UPOŠTEVAJOČ PRAVILO O TRIKOTNI RAZPOREDITVI SIL, ČE JE NATEZNA SILA V NAJBOLJ OBREMENJENI VRSTI VEČJA OD 1.9 KRATNIKA NATEZNE NOSILNOSTI VIJAKA [kN]:

Natezna sila v najbolj obremenjeni vrsti vijakov - Fmax [kN]: 528.77

Omejitev pri kateri se mora upoštevati trikotna razporeditev sil - Fomejitev [kN]: 502.33

F1: 410.94

F2: 528.77

F3: 388.83

F4: 198.45

NOSILNOST VRST VIJAKOV, UPOŠTEVAJOČ RAVNOTEŽJE SIL V SPOJU [kN]:

Fglob,min [kN]: 1420.52

Oсна sila v prečki[kN]: 0

F1: 410.94

F2: 528.77

F3: 388.83

F4: 91.98

Upogibna nosilnost spoja [kNm]:

Mj,rd: 746.54

SPOJ JE DELNO NOSILEN

#### 17.2) NOSILNOST ČELNE PLOČEVINE [kNm]

Mčp,rd: 973.18

### 18.) NOSILNOST SPOJA NA VERTIKALNI STRIG

Strižna nosilnost posameznega vijaka - Fv,rd: 176.26

Nosilnost vijakov na strig - Vrd: 402.87

### 19.) TOGOST SPOJA

(\* spodnji rezultati veljajo, če so za spoj uporabljena mehka konstrukcijska jekla S235 - S355)

#### 19.1) NADOMESTNE VZMETI [cm]

- VRSTA VIJAKOV 1

Stojina stebra v prečnem nategu - k3i: 0.112

Pasnica stebra v upogibu - k4i: 328.264

Čelna pločevina v upogibu - k5i: 4.165



Vijaki v nategu - k10i: 0.828

Nadomestna vzmet za vrsto 1 - keff,i: 0.096

- VRSTA VIJAKOV 2

Stojina stebra v prečnem nategu - k3i: 0.157

Pasnica stebra v upogibu - k4i: 460.253

Čelna pločevina v upogibu - k5i: 8.366

Vijaki v nategu - k10i: 0.828

Nadomestna vzmet za vrsto 2 - keff,i: 0.13

- VRSTA VIJAKOV 3

Stojina stebra v prečnem nategu - k3i: 0.119

Pasnica stebra v upogibu - k4i: 348.299

Čelna pločevina v upogibu - k5i: 2.945

Vijaki v nategu - k10i: 0.828

Nadomestna vzmet za vrsto 3 - keff,i: 0.1

- VRSTA VIJAKOV 4

Stojina stebra v prečnem nategu - k3i: 0.112

Pasnica stebra v upogibu - k4i: 328.264

Čelna pločevina v upogibu - k5i: 6.287

Vijaki v nategu - k10i: 0.828

Nadomestna vzmet za vrsto 4 - keff,i: 0.097

NADOMESTNA VZMET VRST VIJAKOV V NATEGU

Nadomestna ročica - zeq: 51.436

Togost nadomestne vzmeti - keq: 0.409

STRIŽNI PANEL

Togost nadomestne vzmeti - k1: 1.736

STOJINA STEBRA V PREČNEM TLAKU

Togost nadomestne vzmeti - k2: 0.753

19.2) ROTACIJSKA TOGOST STEBRA [MNm]

Začetna (tangenta) togost - sj,ini: 127.798

Sekantna rotacijska togost - sj: 277.881

19.3) KLASIFIKACIJA PO TOGOSTI

Razmerje  $K=E^*I/L$  [MNm]: 38.674

SPOJ JE DELNO TOG