

Primjena metode komponentata na čeličnom priključku stupa i grede u vijčanoj izvedbi

Zajec, Leona

Undergraduate thesis / Završni rad

2019

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering / Sveučilište u Rijeci, Građevinski fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: <https://um.nsk.hr/um:nbn:hr:157:885004>

Rights / Prava: [In copyright](#) / [Zaštićeno autorskim pravom.](#)

Download date / Datum preuzimanja: **2025-03-20**



Repository / Repozitorij:

[Repository of the University of Rijeka, Faculty of Civil Engineering - FCERI Repository](#)



image not found or type unknown

SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI

Leona Zajec

Primjena metode komponenata na čeličnom priključku stupa i grede u vijčanoj izvedbi

Završni rad

Rijeka, 2019.

SVEUČILIŠTE U RIJECI
GRAĐEVINSKI FAKULTET U RIJECI

Sveučilišni preddiplomski studij
Građevinarstvo
Osnove čeličnih konstrukcija

Leona Zajec

JMBAG: 0114029188

Primjena metode komponenata na čeličnom priključku stupa i grede u vijčanoj izvedbi

Završni rad

Rijeka, srpanj 2019.

Naziv studija: **Sveučilišni preddiplomski studij Građevinarstvo**

Znanstveno područje: Tehničke znanosti

Znanstveno polje: Građevinarstvo

Znanstvena grana: Nosive konstrukcije

Tema završnog rada

**PRIMJENA METODE KOMPONENATA NA ČELIČNOM PRIKLJUČKU STUPA I GREDE U
VIJČANOJ IZVEDBI**

**APPLICATION OF THE COMPONENT METHOD ON THE STEEL BEAM TO COLUMN
BOLTED JOINT**

Kandidatkinja: **LEONA ZAJEC**

Kolegij: **OSNOVE ČELIČNIH KONSTRUKCIJA**

Završni rad broj: **19-P-01**

Zadatak:

Dati teorijski pregled metode komponenata koristeći se literaturom i važećim europskim propisima za proračun priključaka u čeličnim konstrukcijama EN 1993-1-8. Primijeniti metodu komponenata za izračun ponašanja čeličnog priključka stupa i grede u vijčanoj izvedbi izloženog djelovanju savijanja. Parametre priključka preuzeti iz literature za primjer priključka koji je eksperimentalno ispitan. Kontrolu točnosti rezultata koji će se dobiti numeričkim proračunima, provesti dodatnim izračunom priključka u programskom paketu RAM Connection Standalone koji koristi istoimenu metodu. Napraviti usporedbe rezultata dobivenih numerički s rezultatima laboratorijskih ispitivanja koji su preuzeti iz literature.

Tema rada je uručena: 26. veljače 2019.

Mentorica:

doc. dr. sc. Paulina Krolo,
dpl. ing. građ.

IZJAVA

Završni rad sam izradila samostalno, u suradnji s mentoricom uz poštivanje pozitivnih građevinskih propisa i znanstvenih dostignuća iz područja građevinarstva. Građevinski fakultet u Rijeci je nositelj prava intelektualnog vlasništva u odnosu na ovaj rad.

Leona Zajec

Leona Zajec

U Rijeci, 28. lipnja 2019.

SAŽETAK

U radu je dan kratak opis metode komponenata. Primjena metode komponenata prikazana je na numeričkom primjeru priključka stupa i grede s obostrano produljenom čeonom pločom. Priključak je preuzet iz laboratorijskih ispitivanja, koje su proveli kineski znanstvenici. Proračun je proveden u skladu s europskom normom HRN EN 1993-1-8. Za kontrolu dobivenih rezultata proračun je proveden u programu RAM Connection Standalone. Na kraju, rezultati proračuna uspoređeni su s rezultatima dobivenim laboratorijskim ispitivanjima. Rezultati su zadovoljavajući.

KLJUČNE RIJEČI: priključak stupa i grede, metoda komponenata, laboratorijska ispitivanja, program RAM Connection Standalone, HRN EN 1993-1-8

ABSTRACT

In this paper, a short description of the component method is given. The application of the component method is shown on the numerical example of the beam-to-column joint with double extended end-plate. The connection was taken from the experiments conducted by Chinese scientists. The calculation is made in accordance with the European standard HRN EN 1993-1-8. The results of the calculation are controlled in the program RAM Connection Standalone. In the end, the results of the calculation were compared with the results of the experiment. The results are satisfactory.

KEYWORDS: beam-to-column joint, component method, experiments, program RAM Connection Standalone, HRN EN 1993-1-8

POPIS SLIKA

Slika 1: Priključak i spoj [1]	1
Slika 2: Definicija rotacije zglobova [2]	3
Slika 3: Granice klasifikacije krutosti priključka [1].....	4
Slika 4: Granice klasifikacije priključaka prema otpornosti na savijanje [1].....	5
Slika 5: Klasifikacija priključaka prema rotacijskom kapacitetu [1]	6
Slika 6: Bilinearizacija $M_j-\phi$ krivulje [1]	7
Slika 7: Model priključka stup-greda sastavljen od opruga i krutih veza [6].....	7
Slika 8: Komponente priključka grede i stupa s obostrano produljenom čeonom pločom ...	8
Slika 9: Udaljenost od središta tlaka do točke između dva reda vijaka u vlaku [4]	9
Slika 10: Udaljenost m [4]	11
Slika 11: Udaljenost mx [4]	12
Slika 12: Uzorak za ispitivanje [7]	16
Slika 13: Slom uzorka SC3 uslijed sloma vijaka [5].....	17
Slika 14: Priključak grede i stupa s obostrano produljenom čeonom pločom za uzorak SC3	18
Slika 15: Usporedba rezultata.....	26
Slika 16: Model priključka grede i stupa u programu	29
Slika 17: Tlocrt,nacrt i bokocrt priključka.....	30

POPIS TABLICA

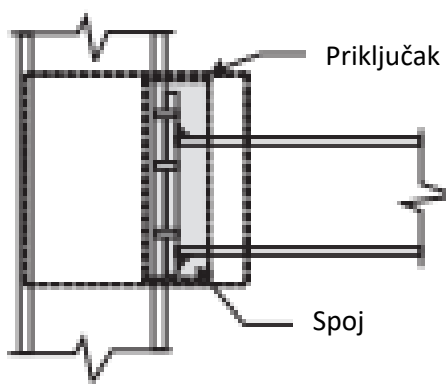
<i>Tablica 1: Tipovi modeliranja priključaka [1]</i>	6
<i>Tablica 2: Izrazi za proračun vlačne otpornosti komponenata [4]</i>	14
<i>Tablica 3: Geometrijske karakteristike grede i stupa</i>	18
<i>Tablica 4: Karakteristike vijka M20.....</i>	19
<i>Tablica 5: Rezultati proračuna koeficijenata krutosti osnovnih komponenti priključka</i>	20
<i>Tablica 6: Usporedba rezultata.....</i>	26

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. METODA KOMPONENATA	3
2.1. Općenito	3
2.1.1. Karakterizacija priključaka.....	3
2.1.2. Klasifikacija priključaka	4
2.1.3. Modeliranje priključaka	6
2.1.4. Idealizacija priključaka	7
2.2. Postupak proračuna metodom komponenata.....	8
2.2.1 Rotacijska krutost.....	9
2.2.2. Proračunski moment otpornosti priključaka stup-greda.....	13
3. LABORATORIJSKA ISPITIVANJA.....	16
4. PRIMJENA METODE KOMPONENATA.....	18
4.1. Opis priključka SC3	18
4.2. Izračun koeficijenata krutosti	19
4.3. Izračun proračunske otpornosti priključka na savijanje	21
5. USPOREDBA REZULTATA DOBIVENIH RUČNIM IZRAČUNOM S REZULTATIMA DOBIVENIM LABORATORIJSKIM ISPITIVANJEM.....	26
6. ZAKLJUČAK	27
7. LITERATURA.....	28
PRILOG: PRORAČUN PRIKLJUČKA U PROGRAMU RAM ConnectionStandalone(Bently) ..	29

1. UVOD

U novije vrijeme projektanti su shvatili da bi tijekom projektiranja trebali uzeti u obzir konstrukcijska svojstva priključaka i konstrukcijska svojstva elemenata koje žele spojiti. Također, vrlo je važno tijekom određivanja svojstava priključaka razlikovati pojmove spoj i priključak. Spoj se opisuje s više komponenata koje mehanički pričvršćuju elemente koje spajaju, a spoj i određena zona gdje se javljaju djelovanja spojenih elemenata naziva se priključak. (slika 1.)



Slika 1: Priključak i spoj [1]

Postoje dva pristupa razmatranja priključka, tradicionalni i suvremeni. Tradicionalni pristup razlikuje zglobne (bez otpornosti i krutosti) i potpuno krute (s punom otpornosti) priključke. Najveći nedostatak tradicionalnog pristupa je nepoznavanje stvarnog ponašanja priključka, što je dovelo do toga da brojne konstrukcije nisu ekonomične i da su na strani manje sigurnosti. Za razliku od tradicionalnog pristupa, suvremenim pristupom razmatra se ponašanje priključka koji se nalazi između potpuno krutog i zglobnog priključka. Suvremenim pristupom se pokušava potaknuti projektante da tijekom projektiranja konstrukcija promatraju priključak kao djelomično nepopustljiv.

Provedbom brojnih numeričkih simulacija i laboratorijskih istraživanja uslijedila je nova podjela. Priključke s obzirom na krutost dijelimo na: zglobne, djelomično nepopustljive i nepopustljive, a s obzirom na otpornost na: zglobne, djelomične otpornosti i pune otpornosti.

Jedna od suvremenih metoda koja se koristi za pronalaženje osnovnih karakteristika krutosti i otpornosti konstrukcijskih priključaka je metoda komponenata. To je metoda koja priključak razlaže na komponente (opruge) koje su krute i popustljive. Uvođenjem ove

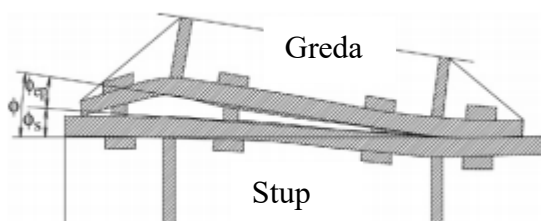
metode u Europski propis za proračun čeličnih konstrukcija EC3 [4], omogućuje se proračun čeličnih konstrukcija s djelomično nepopustljivim priključcima.

U ovom radu je dan teorijski pregled metode komponenata. Primjena ove metode prikazana je na numeričkom primjeru priključka stupa i grede s obostrano produljenom čeonom pločom. Rezultati dobiveni računskim proračunom provjereni su s rezultatima dobivenim u programu RAM Connection Standalone (Bentley) [8] te uspoređeni s rezultatima dobivenim laboratorijskim ispitivanjem koji je preuzet iz literature [2,5].

2. METODA KOMPONENATA

2.1. Općenito

Metoda komponenata razmatra priključak kao sustav koji je sastavljen od opruga i krutih veza. Rotacijska krutost opruge S , povezuje preneseni moment savijanja M_j i relativnu rotaciju ϕ . Relativna rotacija je razlika između apsolutnih rotacija dvaju spojena elementa (Slika 2.). Rotacijska krutost određena je kao nagib krivulje $M_j-\phi$, te ovisi o svojstvima priključka. Ako je rotacijska krutost jednaka nuli priključak je zglobni, a ako je rotacijska krutost beskonačna tada je priključak nepopustljiv. Kod djelomično nepopustljivih priključaka, opterećenje će uzrokovati i moment savijanja M_j i relativnu rotaciju ϕ između spojenih elemenata.



Slika 2: Definicija rotacije zglobova [2]

Za analizu stvarnog ponašanja priključka u nekom sustavu, suvremeni pristup uvodi formiranje modela priključka, a to obuhvaća karakterizaciju, klasifikaciju, modeliranje i idealizaciju priključka.

2.1.1. Karakterizacija priključaka

Karakterizacijom priključka određuje se deformabilnost i otpornost priključka. Priključak se može okarakterizirati ispitivanjem u laboratoriju ili primjenom numeričkih metoda, a jednostavniji postupak bio bi metoda komponenata. Tom metodom priključak se prikazuje pomoću odgovarajućih krutih i popustljivih komponenata. Karakteristike krutosti, otpornosti i duktilnosti određuju se prvo za osnovne komponente priključka, zatim se kombiniraju kako bi se postigle mehaničke karakteristike cijelog priključka.

2.1.2. Klasifikacija priključaka

Klasifikacija priključaka prema krutosti

Da bi se odredile karakteristike priključaka prema krutosti potrebno je poznavati granice krutosti priključaka. Granice krutosti priključaka uspoređuju se s proračunatom početnom krutosti $S_{j,ini}$ (slika 3.).

Na temelju toga razlikujemo [1]:

1) Nepopustljiv priključak: $S_{j,ini} \geq 25 \cdot EI/L$ (nepoduprti okviri)

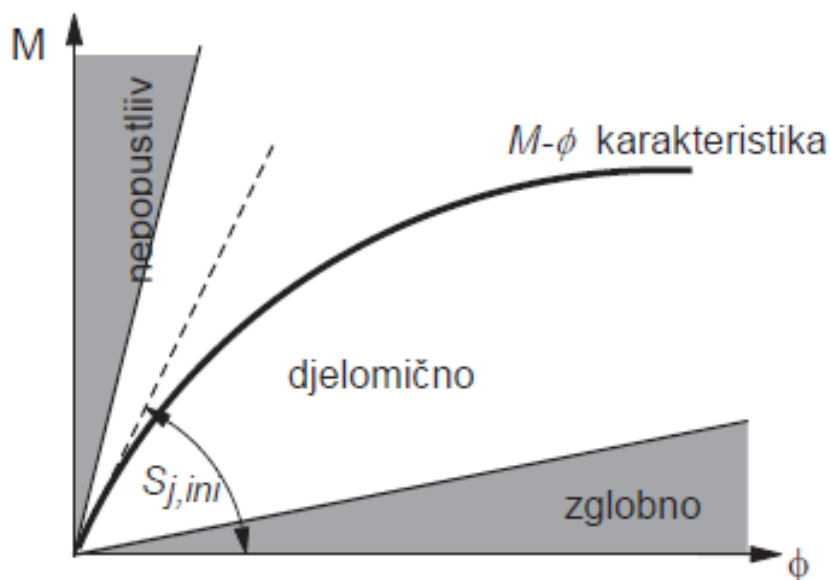
$$S_{j,ini} \geq 8 \cdot EI/L \text{ (poduprti okviri)}$$

2) Djelomično nepopustljiv priključak: $0,5 \cdot EI/L < S_{j,ini} < 25 \cdot EI/L$ (nepoduprti okviri)

$$0,5 \cdot EI/L < S_{j,ini} < 8 \cdot EI/L \text{ (poduprti okviri)}$$

3) Zglobni priključak: $S_{j,ini} \leq 0,5 \cdot EI/L$

EI/L -savojna krutost spojene grede



Slika 3: Granice klasifikacije krutosti priključka [1]

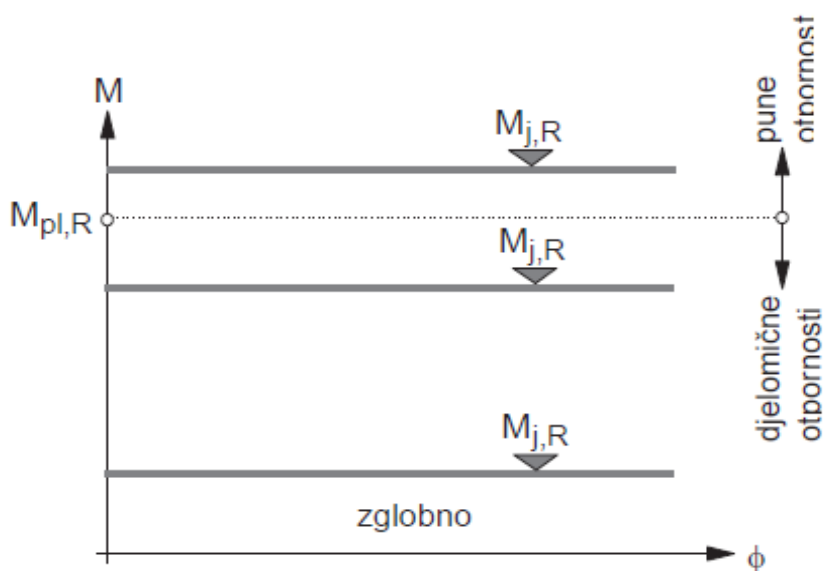
Klasifikacija priključaka prema otpornosti na savijanje

Da bi se odredile karakteristike priključaka prema otpornosti potrebno je poznavati granice „pune-otpornosti“ i „zglobne“, te se one uspoređuju s računskom otpornosti na savijanje $M_{j,Rd}$ (Slika 4.).

Na temelju toga razlikujemo [1]:

- 1) Priključak pune otpornosti: $M_{j,Rd} \geq M_{pune\ otpornosti}$
- 2) Priključak djelomične otpornosti: $0,25 * M_{pune\ otpornosti} < M_{j,Rd} < M_{pune\ otpornosti}$
- 3) Zglobni priključak: $M_{j,Rd} \leq 0,25 * M_{pune\ otpornosti}$

$M_{pune\ otpornosti}$ - računska otpornost na savijanje slabijeg konstrukcijskog elementa u spoju

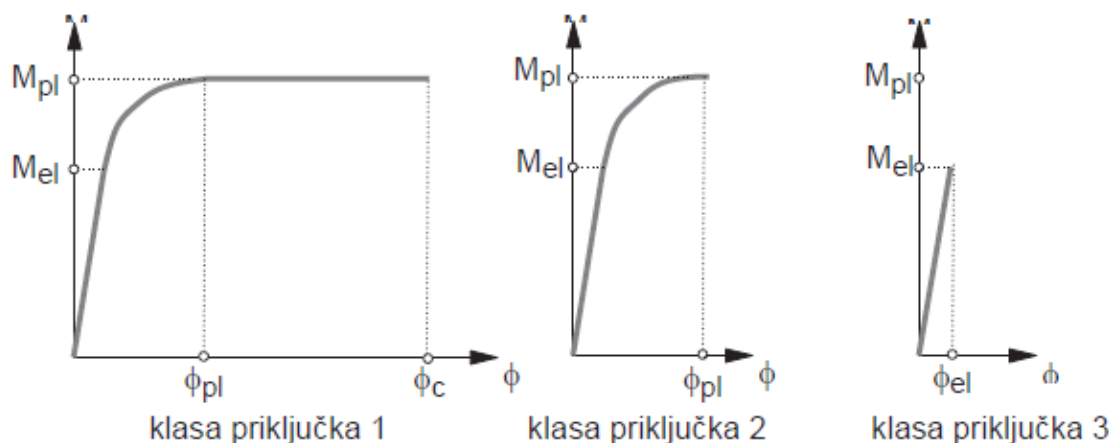


Slika 4: Granice klasifikacije priključaka prema otpornosti na savijanje [1]

Klasifikacija priključaka prema duktilnosti

Ukoliko su priključci otporni na savijanje, potrebno ih je klasificirati prema duktilnosti, te se time obuhvaća rotacijski kapacitet (Slika 5.) [1]:

- 1) Klasa 1: Neograničen rotacijski kapacitet
- 2) Klasa 2: Ograničen rotacijski kapacitet
- 3) Klasa 3: Ne posjeduje rotacijski kapacitet



Slika 5: Klasifikacija priključaka prema rotacijskom kapacitetu [1]

2.1.3. Modeliranje priključaka

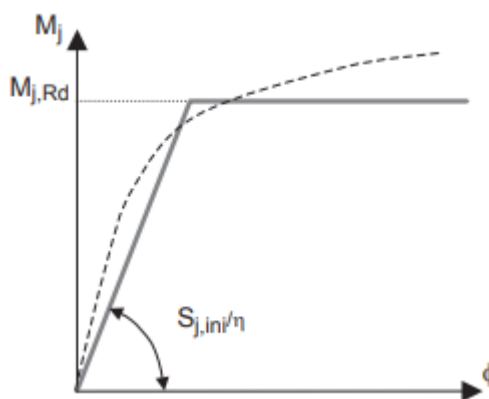
Osim tradicionalnih načina modeliranja priključaka, za rotacijsku krutost (kruti ili zglobni) i za otpornost (pune otpornosti ili zglobni), danas postoje i druge mogućnosti modeliranja priključaka: djelomično nepopustljiv-pune otpornosti i djelomično nepopustljiv-djelomične otpornosti (Tablica 1.).

Tablica 1: Tipovi modeliranja priključaka [1]

Popustljivost	Otpornost		
	Puna	Djelomična	Zglobna
nepopustljiv	Kontinuirano	djelomično kontinuirano	-
djelomično nepopustljiv	djelomično kontinuirano	djelomično kontinuirano	-
zglobni	-	-	jednostavno

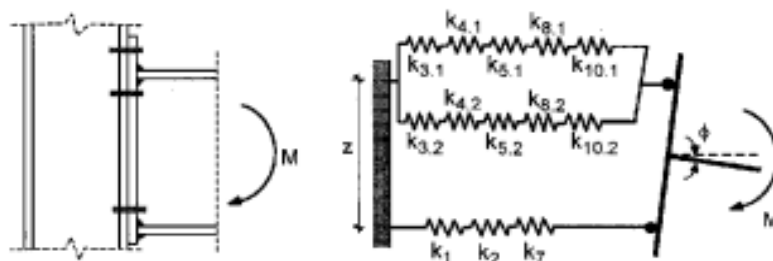
2.1.4. Idealizacija priključaka

Pomoću krivulje odnosa momenta savijanja M_j i rotacije priključka ($M_j-\phi$). Zbog jednostavnijeg korištenja krivulja se može idealizirati. Postoji nekoliko mogućnosti idealizacije $M_j-\phi$ krivulje, a najjednostavnija je idealizacija elastičnim-idealno plastičnim odnosom momenta savijanja i rotacije (slika 6.).



Slika 6: Bilinearizacija $M_j-\phi$ krivulje [1]

Analiziranje ponašanja priključaka u čeličnim konstrukcijama vrlo je složeno, te je u analizu potrebno uključiti mnogo različitih pojava: nelinearnost materijala, nelinearnost kontakata i klizanja u spoju, geometrijsku nelinearnost, zaostale napone i složenu geometriju konstrukcijskog priključka. Da bi se uzele u obzir sve te pojave koriste se numeričke simulacije primjenom metode konačnih elemenata, međutim to nije praktično za projektante. Razvojem metode komponenata mehanički model je bitno pojednostavljen, a komponente priključka prikazuju se kao opruge i krute veze (slika 7.).



Slika 7: Model priključka stup-greda sastavljen od opruga i krutih veza [6]

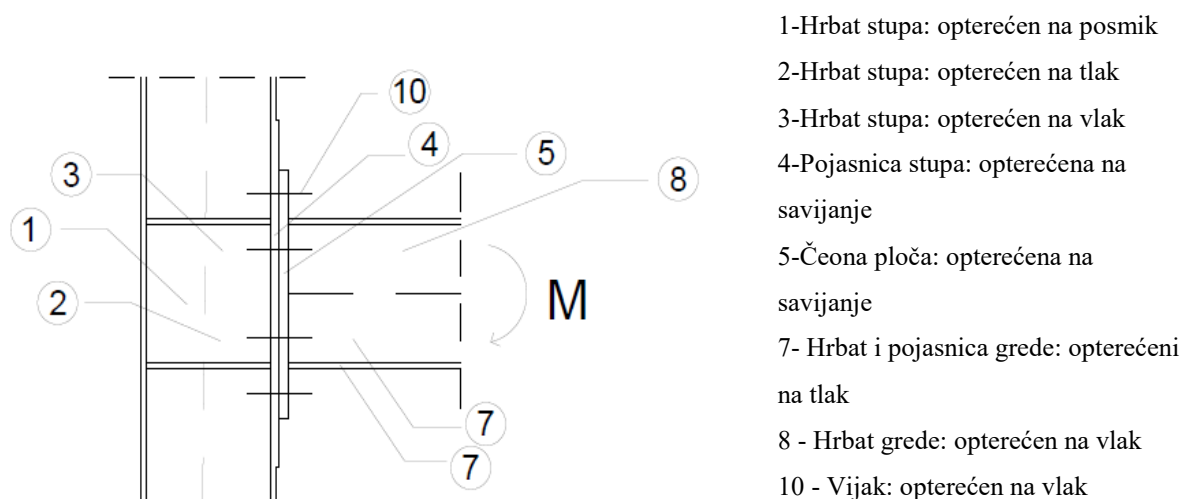
2.2. Postupak proračuna metodom komponenata

Metoda komponenata obuhvaća 3 koraka [6]:

- 1) U Eurokodu 3 [4] dano je 20 različitih komponenata, potrebno je odrediti one koje se nalaze u određenom priključku.
- 2) Komponente se prikazuju oprugama, za svaku oprugu radi se karakterizacija F- Δ krivulje. Ovisno o procjeni koju je potrebno odrediti potrebno je poznavati linearni odnosno nelinearni F- Δ odgovor svake komponente, stoga je za procjenu inicijalne krutosti potrebna linearna krutost svake komponente, a za procjenu duktilnosti nelinearna.
- 3) Na kraju, potrebno je sastaviti komponente kako bi se dobila mehanička svojstva cijelog priključka.

U Eurokodu 3 [4] dano je 20 različitih komponenata, međutim nisu sve zastupljene na svakom priključku, stoga će se opisati postupak primjene metode komponenata na priključku stupa i grede s obostrano produljenom čeonom pločom na kojem je zastupljeno 8 komponenata, zbog usklađivanja s Eurokodom komponente su označene brojevima od 1 do 10, međutim komponente 6 i 9 ne pojavljuju se u navedenom priključku.

U priključku stupa i grede, prvo su određene komponente od kojih se priključak sastoji, te opis na koji način su opterećene (slika 8.)



Slika 8: Komponente priključka grede i stupa s obostrano produljenom čeonom pločom

2.2.1 Rotacijska krutost

Za svaku od komponenata dane su formule za izračun koeficijenta krutosti.

Koeficijent krutosti k_1 -HRBAT STUPA (posmik)

$$k_1 = \frac{0,38 \cdot A_{vc}}{\beta \cdot z} \quad (1)$$

gdje je

A_{vc} - posmična površina stupa

β - parametar transformacije

z - udaljenost od središta tlaka do točke između dva reda vijaka u vlaku (slika 9.)

Posmična površina stupa računa se prema izrazu:

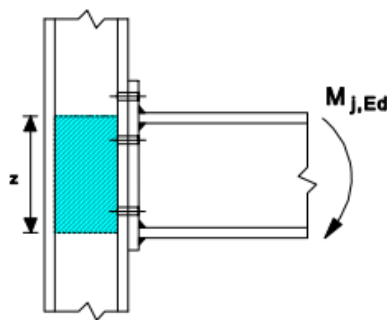
$$A_{vc} = \eta \cdot h_w \cdot t_w \quad (2)$$

gdje je

η – faktor posmične površine (za zavarene presjeke iznosi 1)

h_w - visina hrpta

t_w - debljina hrpta



Slika 9: Udaljenost od središta tlaka do točke između dva reda vijaka u vlaku [4]

Koeficijent krutosti k_2 -HRBAT STUPA (tlak)

$$k_2 = \frac{0,7 \cdot b_{eff,c,wc} \cdot t_{wc}}{d_c} \quad (3)$$

gdje je

$b_{eff,c,wc}$ - efektivna širina hrpta stupa u tlaku

t_{wc} - debljina hrpta

d_c - ravni dio hrpta stupa

Efektivna širina hrpta računa se prema izrazu:

$$b_{eff,c,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} \cdot a_p + 5 \cdot (t_{fc} + s) + s_p \quad (4)$$

gdje je

t_{fb} - debljina pojasnice grede

a_p - debljina zavara

t_{fc} - debljina pojasnice stupa

s_p - debljina dobivena rasprostiranjem pod kutem od 45° kroz ploču

Koeficijent krutosti k_3 -HRBAT STUPA (vlak)

$$k_3 = \frac{0,7 \cdot b_{eff,t,wc} \cdot t_{wc}}{d_c} \quad (5)$$

$b_{eff,t,wc}$ - efektivna širina hrpta stupa u vlaku

t_{wc} - debljina hrpta stupa

d_c - ravni dio hrpta

Efektivna širina hrpta računa se prema izrazu:

$$b_{eff,t,wc} = t_{fb} + 2\sqrt{2} \cdot a_b + 5 \cdot (t_{fc} + s) \quad (6)$$

gdje je

t_{fb} - debljina pojasnice grede

a_b - debljina zavara

t_{fc} - debljina pojasnice stupa

Koeficijent krutosti k_4 -POJASNICA STUPA (savijanje)

$$k_4 = \frac{0,9 \cdot l_{eff} \cdot t_{fc}^3}{m^3} \quad (7)$$

gdje je

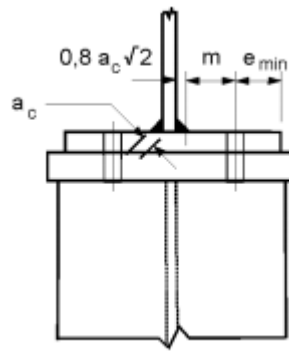
l_{eff} - najmanja efektivna duljina

$$l_{eff} = p$$

p - razmak između vijaka

t_{fc} - debljina pojasnice stupa

m – udaljenost definirana na slici 10.



Slika 10: Udaljenost m [4]

Koeficijent krutosti k_5 -ČEONA PLOČA (savijanje)

$$k_5 = \frac{0,9 \cdot l_{eff} \cdot t_p^3}{m^3} \quad (8)$$

gdje je

l_{eff} - najmanja efektivna duljina

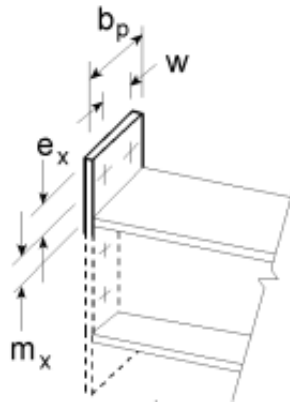
$$l_{eff} = p$$

p - razmak između vijaka

t_p - debljina čeone ploče

m - za red vijaka koji se nalazi u produženom dijelu proširene čeone ploče, $m = mx$,

mx je definiran na slici 11.



Slika 11: Udaljenost m_x [4]

Koeficijent krutosti k_{10} – VIJAK (vlak)

$$k_{10} = \frac{1,6 \cdot A_s}{L_b} \quad (9)$$

gdje je

A_s - površina jezgre vijka

L_b - zbroj debljina ploča koje se spajaju (pojasnica stupa, čelna ploča, debljine podložnih pločica, debljine matice i glave vijka)

Za hrbat i pojasnicu grede (k_7) i hrbat grede (k_8) koeficijenti krutosti uzimaju se kao beskonačni, te se oni u proračunu ne uzimaju u obzir.

Rotacijska krutost priključka određuje se na temelju krutosti osnovnih komponenti:

$$S_{j,ini} = \frac{E \cdot z^2}{\mu \cdot \sum_i \frac{1}{k_i}} \quad (10)$$

gdje je

E - modul elastičnosti

z - udaljenost od središta tlaka do točke između dva reda vijaka u vlakcu (slika 9.)

μ - omjer krutosti

Omjer krutosti određuje se iz sljedećeg izraza:

Ako je $2/3 M_{j,Rd} < M_{j,Ed} \leq M_{j,Rd}$ tada je:

$$\mu = \left(1,5 \cdot \frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} \right)^{\psi} \quad (11)$$

Za vijčani priključak, ψ iznosi 2,7.

2.2.2. Proračunski moment otpornosti priključaka stup-greda

Proračunski moment djelovanja trebao bi zadovoljiti izraz:

$$\frac{M_{j,Ed}}{M_{j,Rd}} \leq 1,0 \quad (12)$$

Proračunski moment otpornosti može se odrediti iz izraza:

$$M_{j,Rd} = \sum h_r \cdot F_{tr,Rd} \quad (13)$$

gdje je

$F_{tr,Rd}$ - efektivna proračunska vlačna otpornost reda vijaka r

h_r - udaljenost reda vijaka od središta tlaka (slika 11.)

Vlačna otpornost komponenata, u kojima se pojavljuje vlak, određuje se za svaki red vijaka, te se odabire najmanja vrijednost.

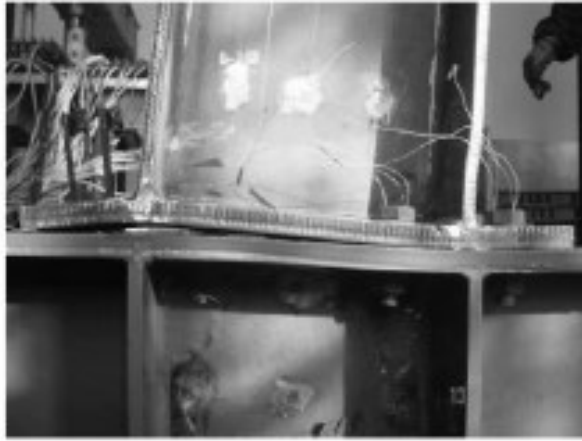
U tablici 2 dani su izrazi za proračun vlačne otpornosti komponenata.

Tablica 2: Izrazi za proračun vlačne otpornosti komponenata [4]

Red vijaka
<p>Prema EC3: Oblik 1</p> <p style="text-align: center;">Za slučaj bez ukruta, odabrana je metoda 2 kao alternativna</p> $F_{t,1,Rd} = \frac{(8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd}}{2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m + n)} \quad (14)$ <p>gdje je</p> <p>$n = \min(e_{min}, 1,25m)$, (slika 10.)</p> <p>m – udaljenost definirana na slici 10.</p> <p>$e_w = d_w/4$</p> <p>d_w - promjer podložne pločice</p> <p>$M_{pl,1,Rd}$ dobiva se prema izrazu:</p> $M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot \sum l_{eff,1} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} \quad (15)$ <p>gdje je</p> <p>t_f - debljina pojasnice</p> <p>f_y - granica popuštanja</p> <p>$\gamma_{M,0}$ - parcijalni koeficijent za otpornost</p> <p>l_{eff} - proračunska duljina pojasnice</p> <p>$l_{eff,cp} = 2 \cdot \pi \cdot m$</p> <p>$l_{eff,nc} = \alpha \cdot m$</p> <p>$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc})$</p>
$F_{t,2,Rd} = \frac{2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}}{m + n} \quad (16)$ <p>Za jedan vijak, otpornost vijka na vlak iznosi:</p> $F_{tr,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M,2}} \quad (17)$ <p>$M_{pl,2,Rd}$ dobiva se prema izrazu:</p> $M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot \sum l_{eff,2} \cdot t_f^2 \cdot f_y}{\gamma_{M,0}} \quad (18)$ <p>gdje je</p> <p>$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$</p>

$$F_{t,3,Rd} = \sum F_{tr,Rd} \quad (19)$$

$$F_{t,Rd} = \min(F_{t,1,Rd}, F_{t,2,Rd}, F_{t,3,Rd}) \quad (20)$$



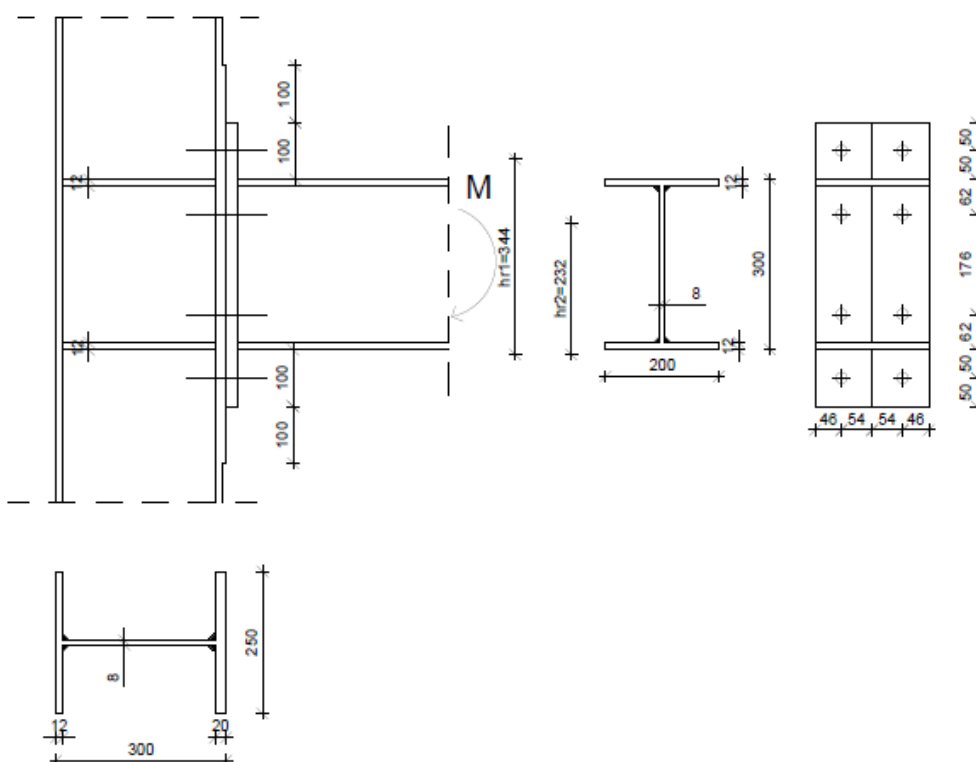
Slika 13: Slom uzorka SC3 uslijed sloma vijaka [5]

4. PRIMJENA METODE KOMPONENATA

4.1. Opis priključka SC3

Metoda komponentata primijenjena je na priključku stupa i grede s obostrano produljenom čeonom pločom (slika 14.).

Geometrijske karakteristike stupa, grede i vijaka dane su u tablicama 3. i 4.



Slika 14: Priključak grede i stupa s obostrano produljenom čeonom pločom za uzorak SC3

Tablica 3: Geometrijske karakteristike grede i stupa

	Visina profila [mm]	Širina hrpta (t_w) [mm]	Širina profila [mm]	Širina pojasnice (t_f) [mm]
Greda	300	8	200	12
Stup	300	8	250	12 (20)

Tablica 4: Karakteristike vijka M20

Vijak	M20
Površina jezgre vijka (A_s) [mm ²]	245
Debljina podložne pločice [mm]	8
Debljina matice [mm]	10
Debljina glave vijka [mm]	12,5
Promjer podložne pločice (d_w) [mm]	32,95

4.2. Izračun koeficijenta krutosti

Proračun koeficijenta krutosti za svaku od komponenata.

k_1 – HRBAT STUPA

Koeficijent krutosti za hrbat stupa opterećen na posmik dobiven je prema izrazu (1).

$$k_1 = \frac{0,38 \cdot 2144}{1 \cdot 288} = 2,83$$

Posmična površina stupa slijedi iz izraza (2).

$$A_{vc} = 1 \cdot 268 \cdot 8 = 2144 \text{ mm}^2$$

k_2 - HRBAT STUPA

Koeficijent krutosti za hrbat stupa opterećen na tlak dobiven je prema izrazu (3).

$$k_2 = \frac{0,7 \cdot 231,2 \cdot 8}{245,37} = 5,28$$

Efektivna širina hrpta stupa u tlaku slijedi iz izraza (4).

$$b_{eff,c,wc} = 12 + 2\sqrt{2} \cdot 8 + 5 \cdot (20 + \sqrt{2} \cdot 8) + 40 = 231,2 \text{ mm}$$

k_3 - HRBAT STUPA

Koeficijent krutosti za hrbat stupa opterećen na vlak dobiven je prema izrazu (5).

$$k_3 = \frac{0,7 \cdot 191,2 \cdot 8}{245,37} = 4,36$$

Efektivna širina hrpta stupa u vlaku slijedi iz izraza (6).

$$b_{eff,t,wc} = 12 + 2\sqrt{2} \cdot 8 + 5 \cdot (20 + \sqrt{2} \cdot 8) = 191,2 \text{ mm}$$

k₄ - POJASNICA STUPA

Koeficijent krutosti za pojasnicu stupa opterećenu na savijanje dobiven je prema izrazu (7).

$$k_4 = \frac{0,9 \cdot 112 \cdot 20^3}{40,95^3} = 11,74$$

k₅ - ČEONA PLOČA

Koeficijent krutosti za čeonu ploču opterećenu na savijanje dobiven je prema izrazu (8).

$$k_5 = \frac{0,9 \cdot 176 \cdot 20^3}{50^3} = 10,14$$

k₁₀ - VIJAK

Koeficijent krutosti za vijak opterećen na vlak dobiven je prema izrazu (9).

$$k_{10} = \frac{1,6 \cdot 245}{59,25} = 6,62$$

Tablica 5: Rezultati proračuna koeficijenata krutosti osnovnih komponenti priključka

Komponenta	Koeficijent krutosti
Hrbat stupa opterećen na posmik	k ₁ =2,83
Hrbat stupa opterećen na tlak	k ₂ =5,28
Hrbat stupa opterećen na vlak	k ₃ =4,36
Pojasnica stupa opterećena na savijanje	k ₄ =11,74
Čeona ploča opterećena na savijanje	k ₅ =10,14
Hrbat i pojasnica grede opterećeni na tlak	k ₇ =∞
Hrbat grede opterećen na vlak	k ₈ =∞
Vijak opterećen na vlak	k ₁₀ =6,62

Prema izrazu (10) dobiva se početna rotacijska krutost:

$$\begin{aligned} S_{j,ini} &= \frac{206000 \cdot 288^2}{1,35 \cdot \left(\frac{1}{2,83} + \frac{1}{5,28} + \frac{1}{4,36} + \frac{1}{11,74} + \frac{1}{10,14} + \frac{1}{6,62} \right)} \\ &= 11402,4 \text{ kNm} / \text{mm} \cdot 4,48 \text{ mm} \\ &= 51082 \text{ kNm} / \text{rad} \end{aligned}$$

Vrijednost 4,48 mm predstavlja vertikalni otklon grede u elastičnom području. Početna rotacijska krutost dobivena eksperimentom iznosi 49093 kNm/rad, a rotacijska krutost dobivena numeričkim postupkom iznosi 51082 kNm/rad.

4.3. Izračun proračunske otpornosti priključka na savijanje

Analizom djelomično popustljivog priključka, gdje je moment djelovanja veći od 2/3 momenta otpornosti, omjer krutosti se računa prema izrazu (11).

Moment djelovanja, dobiven laboratorijskim ispitivanjem, očitao je s linearnog dijela grafa, prije nego što dolazi do popuštanja komponenata.

Moment djelovanja iznosi:

$$M_{j,Ed} = 65 \text{ kNm}$$

Za dobivanje momenta otpornosti, potrebno je odrediti vlačnu otpornost komponenata u kojima se pojavljuje vlak. Vlačna otpornost određuje se za svaki red vijaka, te se odabire najmanja vrijednost.

1) Pojasnica stupa

Prvi red vijaka	Drugi red vijaka
<p>Prema izrazu (14) slijedi:</p> $F_{t,1,Rd} = \frac{(8 \cdot 62,5 - 2 \cdot 8,24) \cdot 10,84}{2 \cdot 50 \cdot 62,5 - 8,24 \cdot (50 + 62,5)}$ $= 984,48 \text{ kN}$ <p>$M_{pl,1,Rd}$ slijedi iz izraza (15):</p> $M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot 314,16 \cdot 20^2 \cdot 345}{1}$ $= 10,84 \text{ kN / m}$ <p>$n = \min(e_{min}, 1,25m)$ $= \min(71 \text{ mm}, 1,25 \cdot 50)$ $= 62,5 \text{ mm}$</p> <p>$l_{eff,cp} = 2,0 \cdot \pi \cdot m$ $= 2,0 \cdot \pi \cdot 50$ $= 314,16 \text{ mm}$</p> <p>$l_{eff,nc} = \alpha \cdot m$ $= 6,58 \cdot 50$ $= 328,97 \text{ mm}$</p> <p>$l_{eff,1} = \min(l_{eff,cp}, l_{eff,nc})$ $= 314,16 \text{ mm}$</p>	<p>Prema izrazu (14) slijedi:</p> $F_{t,1,Rd} = \frac{(8 \cdot 62,5 - 2 \cdot 8,24) \cdot 10,84}{2 \cdot 50 \cdot 62,5 - 8,24 \cdot (50 + 62,5)}$ $= 984,48 \text{ kN}$ <p>$M_{pl,1,Rd}$ slijedi iz izraza (15):</p> $M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot 314,16 \cdot 20^2 \cdot 345}{1}$ $= 10,84 \text{ kN / m}$
<p>Prema izrazu (16) slijedi</p> $F_{t,2,Rd} = \frac{2 \cdot 11,35 + 62,5 \cdot 352,8}{50 + 62,5}$ $= 397,77 \text{ kN}$ <p>Za jedan vijak, otpornost vijka na vlak iznosi:</p> $F_{tr,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M,2}}$ $= \frac{0,9 \cdot 100 \cdot 2,45}{1,25}$ $= 176,4 \text{ kN}$	<p>Prema izrazu (16) slijedi</p> $F_{t,2,Rd} = \frac{2 \cdot 11,35 + 62,5 \cdot 352,8}{50 + 62,5}$ $= 397,77 \text{ kN}$

<p>Za dva vijka u redu, otpornost na vlak iznosi:</p> $\sum F_{tr,Rd} = 2 \cdot F_{tr,Rd} = 352,8 \text{ kN}$ <p>$M_{pl,2,Rd}$ dobiva se prema izrazu (18):</p> $M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot 328,97 \cdot 20^2 \cdot 345}{1}$ $= 11,35 \text{ kNm}$ <p>$l_{eff,2} = l_{eff,nc} = 328,97 \text{ mm}$</p>	<p>$M_{pl,2,Rd}$ dobiva se prema izrazu (18):</p> $M_{pl,2,Rd} = \frac{0,25 \cdot 328,97 \cdot 20^2 \cdot 345}{1}$ $= 11,35 \text{ kNm}$
<p>Prema izrazu (19) slijedi:</p> $F_{t,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 352,8 \text{ kN}$	<p>Prema izrazu (19) slijedi:</p> $F_{t,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 352,8 \text{ kN}$
<p>Prema izrazu (20) slijedi:</p> $F_{t,Rd} = \min(984,48, 397,77, 352,8)$ $= 352,8 \text{ kN}$	<p>Prema izrazu (20) slijedi:</p> $F_{t,Rd} = \min(984,48, 397,77, 352,8)$ $= 352,8 \text{ kN}$

2) Čeona ploča

Prvi red vijaka	Drugi red vijaka
<p>Prema izrazu (14) slijedi:</p> $F_{t,1,Rd} = \frac{(8 \cdot 46 - 2 \cdot 8,24) \cdot 3,45}{2 \cdot 45,2 \cdot 46 - 8,24 \cdot (45,2 + 46)}$ $= 355,95 \text{ kN}$ <p>$M_{pl,1,Rd}$ slijedi iz izraza (15)</p> $M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot 100 \cdot 20^2 \cdot 345}{1}$ $= 3,45 \text{ kN / m}$	<p>Prema izrazu (14) slijedi:</p> $F_{t,1,Rd} = \frac{(8 \cdot 46 - 2 \cdot 8,24) \cdot 8,56}{2 \cdot 43,6 \cdot 46 - 8,24 \cdot (43,6 + 46)}$ $= 919,79 \text{ kN}$ <p>$M_{pl,1,Rd}$ slijedi iz izraza (15)</p> $M_{pl,1,Rd} = \frac{0,25 \cdot 248,24 \cdot 20^2 \cdot 345}{1}$ $= 8,56 \text{ kN / m}$

$n = \min(e_{\min}, 1,25m)$ $= \min(46 \text{ mm}, 1,25 \cdot 45,2)$ $= 46 \text{ mm}$ $l_{\text{eff,cp}} = \pi \cdot m_x + 2,0 \cdot e_x$ $= \pi \cdot 45,2 + 2,0 \cdot 46$ $= 234 \text{ mm}$ $l_{\text{eff,nc}} = 0,5 \cdot b_p$ $= 0,5 \cdot 200$ $= 328,97 \text{ mm}$ $l_{\text{eff,l}} = \min(l_{\text{eff,cp}}, l_{\text{eff,nc}})$ $= 100 \text{ mm}$	$n = \min(e_{\min}, 1,25m)$ $= \min(46 \text{ mm}, 1,25 \cdot 43,6)$ $= 46 \text{ mm}$ $l_{\text{eff,cp}} = 2,0 \cdot \pi \cdot m$ $= 2,0 \cdot \pi \cdot 43,6$ $= 273,95 \text{ mm}$ $l_{\text{eff,nc}} = \alpha \cdot m$ $= 5,69 \cdot 43,6$ $= 248,24 \text{ mm}$ $l_{\text{eff,l}} = \min(l_{\text{eff,cp}}, l_{\text{eff,nc}})$ $= 248,24 \text{ mm}$
<p>Prema izrazu (16) slijedi</p> $F_{t,2,Rd} = \frac{2 \cdot 3,45 + 46 \cdot 352,8}{45,2 + 46}$ $= 253,61 \text{ kN}$ <p>$M_{\text{pl},2,Rd}$ dobiva se prema izrazu (18):</p> $M_{\text{pl},2,Rd} = \frac{0,25 \cdot 100 \cdot 20^2 \cdot 345}{1}$ $= 3,45 \text{ kNm}$ $l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff,nc}} = 100 \text{ mm}$	<p>Prema izrazu (16) slijedi</p> $F_{t,2,Rd} = \frac{2 \cdot 8,56 + 46 \cdot 352,8}{43,6 + 46}$ $= 372,29 \text{ kN}$ <p>$M_{\text{pl},2,Rd}$ dobiva se prema izrazu (18):</p> $M_{\text{pl},2,Rd} = \frac{0,25 \cdot 248,24 \cdot 20^2 \cdot 345}{1}$ $= 8,56 \text{ kNm}$ $l_{\text{eff},2} = l_{\text{eff,nc}} = 248,24 \text{ mm}$
<p>Prema izrazu (19) slijedi:</p> $F_{t,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 352,8 \text{ kN}$	<p>Prema izrazu (19) slijedi:</p> $F_{t,3,Rd} = \sum F_{t,Rd} = 352,8 \text{ kN}$
<p>Prema izrazu (20) slijedi:</p> $F_{t,Rd} = \min(355,95, 253,61, 352,8)$ $= 253,61 \text{ kN}$	<p>Prema izrazu (20) slijedi:</p> $F_{t,Rd} = \min(919,79, 372,29, 352,8)$ $= 352,8 \text{ kN}$

Komponente u kojima se pojavljuje vlak su: pojasnica stupa, čeona ploča, hrbat stupa i hrbat grede. Zbog velike vlačne otpornosti hrpta stupa i hrpta grede njihove otpornosti su ovdje zanemarene.

Moment otpora priključka prema izrazu (13):

$$M_{j,Rd} = 0,344 \cdot 253,61 + 0,232 \cdot 352,8 = 87,24 + 81,85 = 169,09 \text{ kNm}$$

Prema EC3 [4], red vijaka bliže središtu rotacije trebao bi se zanemariti, jer što je bliže to je njegov utjecaj na nosivost manji. Stoga, u daljnjem proračunu će se koristiti vrijednost momenta otpora za najudaljeniji red vijaka (prvi red).

$$M_{j,Rd} = h_{r1} \cdot F_{j,Rd} = 0,344 \cdot 253,61 = 87,24 \text{ kNm}$$

Uvjet nosivosti prema izrazu (12):

$$\frac{65 \text{ kNm}}{87,24 \text{ kNm}} = 0,745 < 1$$

Prema izrazu (11) može se odrediti omjer krutosti:

$$\mu = \left(1,5 \cdot \frac{65}{87,24} \right)^{2,7} = 1,35$$

5. USPOREDBA REZULTATA DOBIVENIH RUČNIM IZRAČUNOM S REZULTATIMA DOBIVENIM LABORATORIJSKIM ISPITIVANJEM

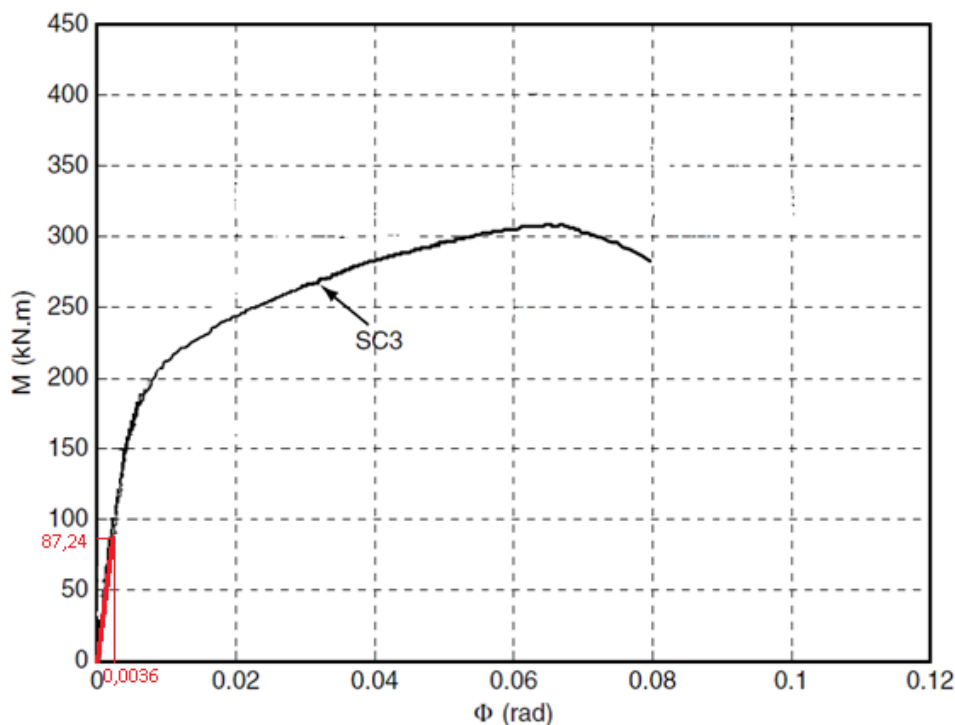
Puna vrijednost momenta otpora dobivena laboratorijskim ispitivanjem iznosi 308,3 kNm. EC3 daje izraze za proračun momenta otpora u linearnom području $M-\phi$ krivulje, stoga očitana vrijednost na linearnom dijelu krivulje iznosi 65 kNm. Vrijednost momenta otpora dobivena ručnim izračunom iznosi 87,24 kNm. Vrijednosti se razlikuju za 25,5%.

Početna rotacijska krutost dobivena laboratorijskim ispitivanjem iznosi 49093 kNm/rad, a rotacijska krutost dobivena numeričkim izračunom iznosi 51082 kNm/rad, vrijednosti se razlikuju za 4%.

Usporedba rezultata prikazana je tablično (Tablica 6.) i grafički (Slika 15.).

Tablica 6: Usporedba rezultata

	Metoda komponentata	Laboratorijsko ispitivanje	Razlika [%]
S_j	51082kNm/rad	49093kNm/rad	4
$M_{j,Rd}$	87,24kNm	65kNm	25,5



Slika 15: Usporedba rezultata

6. ZAKLJUČAK

U radu je opisana metoda komponenata, kao jedna od metoda suvremenijeg načina izračuna priključaka. Tom metodom razmatraju se djelomično nepopustljivi priključci, na način da se priključak razlaže na komponente. Komponente se prikazuju poput opruga, a rotacijska krutost opruga određuje nagib $M-\phi$ krivulje, o čemu direktno ovise karakteristike priključaka.

Primjena metode komponenata prikazana je proračunom priključka stupa i grede s obostrano produljenom čeonom pločom. Provjera rezultata ručnog proračuna napravljena je u programu RAM Connection Standalone (Prilog) koji proračunava prema EC3.

Rezultati su uspoređeni s rezultatima dobivenim laboratorijskim ispitivanjima, te su dobivene razlike prihvatljive.

Metoda komponenata kao suvremena metoda, prihvaćena je među projektantima i koristi se u svakodnevnoj praksi. Problem koji se javlja je što se na početku proračuna pretpostavlja ili potpuno kruti priključak ili zglobni, nakon što se dobiju rezultati stvarnog priključka uglavnom se ostavljaju priključci kakvi su odabrani na početku. Poželjno bi bilo kad bi se priključak smjestio u područje između krutih i zglobnih, te bi se na taj način dobio ekonomičniji priključak.

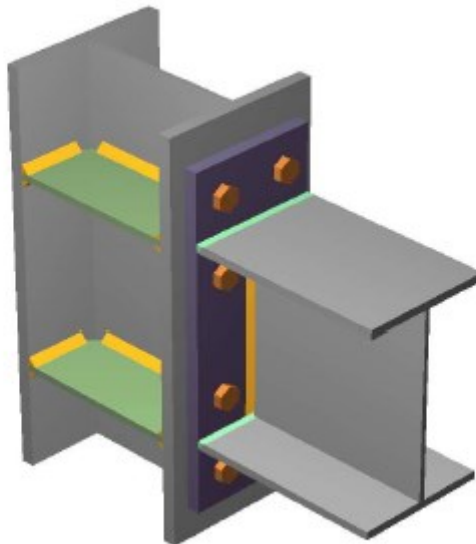
7. LITERATURA

- [1] Dujmović D., Androić B., Skejić D. Modeliranje priključaka čeličnih okvirnih konstrukcija, GRAĐEVINAR 55; 2003
- [2] Shi Y., Shi G., Wang Y. Experimental and theoretical analysis of the moment-rotation behaviour of stiffened extended end-plate connections. Journal of Constructional Steel Research 63;2007
- [3] Androić, Dujmović, Džeba; Čelične konstrukcije 1, IA projektiranje Zagreb, 2009
- [4] Norme za projektiranje priključaka HRN EN 1993-1-8
- [5] Shi Y., Shi G., Wang Y., F.S.K. Bijlaard, Monotonic loading tests on semi-rigid end-plate connections with welded I-shaped columns and beams
- [6] Dujmović D., Skejić D., Androić B. Modeliranje priključka nosač-stup prema Eurokodu 3, Građevinar 55 (2003) 7, 397-405
- [7] Krolo, P., Utjecaj ponašanja vijčanih priključaka na potresni odziv čeličnih okvira, doktorska disertacija, Građevinski fakultet Sveučilišta u Rijeci, 2017.
- [8] Bentley Systems, RAM Connection CONNECT Edition (English) 32 – bit, Pennsylvania, USA, 1924.

PRILOG: PRORAČUN PRIKLJUČKA U PROGRAMU RAM ConnectionStandalone(Bently)

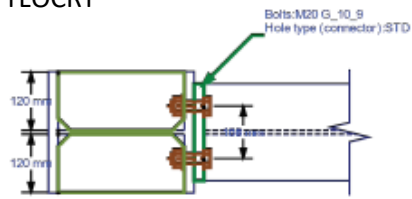
Radi dodatne kontrole numeričkog izračuna priključka koji je prikazan u poglavlju 4 proračun priključaka proveden je i kompjuterski u programskom paketu RAM Connection Standalone (Bently) [8]. Programski paket provodi izračun otpornosti priključaka metodom komponentata.

U programu je modeliran priključak stupa i grede s obostrano produljenom čeonom pločom, geometrijskih karakteristika navedenih u tablici 2 (slika 16., slika 17.).

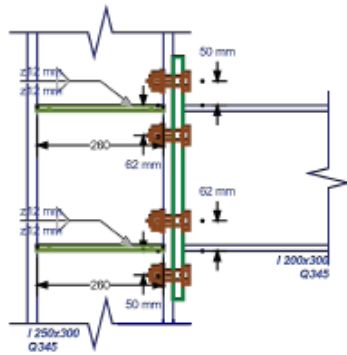


Slika 16: Model priključka grede i stupa u programu

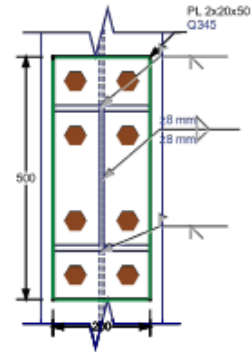
TLOCRT



NACRT



BOKOCRT



Slika 17: Tlocrt, nacrt i bokocrt priključka

Rezultati proračuna

Steel connections

Results

Connection name : BEP EN BCF Extended both ways
 Connection ID : 1

Family: Beam - Column flange (BCF)
 Type: Moment bolted plate
 Design code: Standard NA EN 1993-1-8 (2005) : Eurocode 3

DEMANDS

Description	Right beam					Left beam		Vu [KN]	
	V1 [KN]	N [KN]	M2 [KN*m]	M1 [KN*m]	NfTop [KN]	NfBottom [KN]	NfTop [KN]		NfBottom [KN]
DL	0.00	0.00	0.00	65.00	-225.69	225.69	0.00	0.00	225.69

GEOMETRIC CONSIDERATIONS						
Dimensions	Unit	Value	Min. value	Max. value	Sta.	References
<u>Extended end plate</u>						
Horizontal center-to-center spacing (gage)	[mm]	108.00	52.80	200.00	✓	pt. 1-8 Table 3.3
$p_2 = 2.4 \cdot d_0$ $= 2.4 \cdot 22[\text{mm}]$ $= 52,8[\text{mm}]$						pt. 1-8 Table 3.3
$p_{max} = \text{Min}(14.0 \cdot t, 200.0 [\text{mm}])$ $= \text{Min}(14.0 \cdot 20[\text{mm}], 200.0 [\text{mm}])$ $= 200[\text{mm}]$						pt. 1-8 Table 3.3
Vertical edge distance	[mm]	50.00	26.40	--	✓	pt. 1-8 Table 3.3
$e_{1min} = 1.2 \cdot d_0$ $= 1.2 \cdot 22[\text{mm}]$ $= 26,4[\text{mm}]$						pt. 1-8 Table 3.3
Horizontal edge distance	[mm]	46.00	26.40	--	✓	pt. 1-8 Table 3.3
$e_{2min} = 1.2 \cdot d_0$ $= 1.2 \cdot 22[\text{mm}]$ $= 26,4[\text{mm}]$						pt. 1-8 Table 3.3
<u>Support</u>						
Horizontal center-to-center spacing (gage)	[mm]	108.00	52.80	200.00	✓	pt. 1-8 Table 3.3
$p_2 = 2.4 \cdot d_0$ $= 2.4 \cdot 22[\text{mm}]$ $= 52,8[\text{mm}]$						pt. 1-8 Table 3.3
$p_{max} = \text{Min}(14.0 \cdot t, 200.0 [\text{mm}])$ $= \text{Min}(14.0 \cdot 20[\text{mm}], 200.0 [\text{mm}])$ $= 200[\text{mm}]$						pt. 1-8 Table 3.3
Horizontal edge distance	[mm]	71.00	26.40	--	✓	pt. 1-8 Table 3.3
$e_{2min} = 1.2 \cdot d_0$ $= 1.2 \cdot 22[\text{mm}]$ $= 26,4[\text{mm}]$						pt. 1-8 Table 3.3
<u>Transverse stiffeners</u>						
Width	[mm]	120.00	90.75	115.55	✗	SCI P398 p.29, SCI P398 p.32
$b_{smin} = 0.75 \cdot (b_c - t_{wc})/2.0$ $= 0.75 \cdot (250[\text{mm}] - 8[\text{mm}])/2.0$ $= 90,75[\text{mm}]$						SCI P398 p.29
$b_{smin} = (1.33 \cdot w - t_{wc})/2.0$ $= (1.33 \cdot 108[\text{mm}] - 8[\text{mm}])/2.0$ $= 67,82[\text{mm}]$						SCI P398 p.29
$\epsilon = (235 [\text{MPa}]/f_y)^{1/2}$ $= (235 [\text{MPa}]/345 [\text{N/mm}^2])^{1/2}$ $= 0,825$						pt. 1-1 Table 5.2
$b_{smax} = 14.0 \cdot \epsilon \cdot t_s$ $= 14.0 \cdot 0,825 \cdot 10[\text{mm}]$ $= 115,55[\text{mm}]$						SCI P398 p.32

DESIGN CHECK Verification	Unit	Capacity	Demand	Ctrl EQ	Ratio	References
Moment resistance of joint	[kN*m]	128.22	65.00	DL	0.51	pt.1-8 Eq.6.25
$M_{y,Rd} = h_y \cdot F_{y,Rd}$ $= 344[\text{mm}] \cdot 253,61[\text{kN}]$ $= 87,24[\text{kN} \cdot \text{m}]$						pt.1-8 Eq.6.25
$M_{z,Rd} = h_z \cdot F_{z,Rd}$ $= 232[\text{mm}] \cdot 176,64[\text{kN}]$ $= 40,98[\text{kN} \cdot \text{m}]$						pt.1-8 Eq.6.25
$M_{y,Rd} = \sum h_i \cdot F_{y,Rd}$ $= 128,22[\text{kN} \cdot \text{m}]$						pt.1-8 Eq.6.25
TENSION ZONE T-STUBS						
<u>Row 1</u>						
<u>Row 1, alone</u>						
Column flange bending	[kN]	352.80				pt.1-8 Table 6.2
$I_{eff,cp} = 2.0 \cdot \pi \cdot m$ $= 2.0 \cdot \pi \cdot 50[\text{mm}]$ $= 314,16[\text{mm}]$						pt.1-8 Tables 6.4, 6.5, 6.6
$I_{eff,nc} = \alpha \cdot m$ $= 6,58 \cdot 50[\text{mm}]$ $= 328,97[\text{mm}]$						pt.1-8 Tables 6.5, 6.6
$I_{eff,1} = \text{Min}(I_{eff,nc}, I_{eff,cp})$ $= \text{Min}(328,97[\text{mm}], 314,16[\text{mm}])$ $= 314,16[\text{mm}]$						pt.1-8 Tables 6.4, 6.5, 6.6
$I_{eff,2} = I_{eff,nc}$ $= 328,97[\text{mm}]$						pt.1-8 Tables 6.4, 6.5, 6.6
$n = \text{Min}(e_{min}, 1.25 \cdot m)$ $= \text{Min}(71[\text{mm}], 1.25 \cdot 50[\text{mm}])$ $= 62,5[\text{mm}]$						pt.1-8 Table 6.2

$$\begin{aligned}
 e_w &= d_w/4 \\
 &= 32,95[\text{mm}]/4 \\
 &= 8,24[\text{mm}]
 \end{aligned}$$

pt.1-8 Table 6.2

$$\begin{aligned}
 L_{b1} &= t_p + t_{lc} + t_{cp} + t_{washbar} + 0.5 \cdot (b_{head} + b_{tail}) \\
 &= 20[\text{mm}] + 20[\text{mm}] + 0[\text{mm}] + 0,8[\text{mm}] + 0.5 \cdot (12,1[\text{mm}] + 15,45[\text{mm}]) \\
 &= 54,58[\text{mm}]
 \end{aligned}$$

pt.1-8 Table 6.2

$$\begin{aligned}
 L_{b1}^* &= 8.8 \cdot m^3 \cdot A_s \cdot n_b / (\sum_{i=1}^n t_i^3) \\
 &= 8.8 \cdot 50[\text{mm}]^3 \cdot 245[\text{mm}^2] \cdot 1 / (314,16[\text{mm}] \cdot 20[\text{mm}]^3) \\
 &= 107,23[\text{mm}]
 \end{aligned}$$

pt.1-8 Table 6.2

$$\begin{aligned}
 M_{b1,1,Rd} &= 0.25 \cdot \sum_{i=1}^n t_i^2 \cdot f_i / \gamma_{M0} \\
 &= 0.25 \cdot 314,16[\text{mm}] \cdot 20[\text{mm}]^2 \cdot 345[\text{N/mm}^2] / 1 \\
 &= 10,84[\text{kN} \cdot \text{m}]
 \end{aligned}$$

pt.1-8 Table 6.2

$$\begin{aligned}
 F_{t1,1,Rd} &= (8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{b1,1,Rd} / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m + n)) \\
 &= (8 \cdot 62,5[\text{mm}] - 2 \cdot 8,24[\text{mm}]) \cdot 10,84[\text{kN} \cdot \text{m}] / (2 \cdot 50[\text{mm}] \cdot 62,5[\text{mm}] - 8,24[\text{mm}] \cdot (50[\text{mm}] + 62,5[\text{mm}])) \\
 &= 984,48[\text{kN}]
 \end{aligned}$$

pt.1-8 Table 6.2

$$\begin{aligned}
 M_{b1,2,Rd} &= 0.25 \cdot \sum_{i=2}^n t_i^2 \cdot f_i / \gamma_{M0} \\
 &= 0.25 \cdot 328,97[\text{mm}] \cdot 20[\text{mm}]^2 \cdot 345[\text{N/mm}^2] / 1 \\
 &= 11,35[\text{kN} \cdot \text{m}]
 \end{aligned}$$

pt.1-8 Table 6.2

$$\begin{aligned}
 F_{t2,1,Rd} &= (2 \cdot M_{b1,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t1,Rd}) / (m + n) \\
 &= (2 \cdot 11,35[\text{kN} \cdot \text{m}] + 62,5[\text{mm}] \cdot 352,8[\text{kN}]) / (50[\text{mm}] + 62,5[\text{mm}]) \\
 &= 397,77[\text{kN}]
 \end{aligned}$$

pt.1-8 Table 6.2

$$\begin{aligned}
 F_{t3,1,Rd} &= \sum F_{t1,Rd} \\
 &= 352,8[\text{kN}]
 \end{aligned}$$

pt.1-8 Table 6.2

$$\begin{aligned}
 F_{t,Rd} &= \text{Min}(F_{t1,1,Rd}, F_{t2,1,Rd}, F_{t3,1,Rd}) \\
 &= \text{Min}(984,48[\text{kN}], 397,77[\text{kN}], 352,8[\text{kN}]) \\
 &= 352,8[\text{kN}]
 \end{aligned}$$

pt.1-8 Table 6.2

End plate bending	[kN]	253.61	pt.1-8 Table 6.2
-------------------	------	--------	------------------

$$\begin{aligned}
 I_{eff,cp} &= 2.0 \cdot \pi \cdot m_x \\
 &= 2.0 \cdot \pi \cdot 45,2[\text{mm}] \\
 &= 284[\text{mm}]
 \end{aligned}$$

pt.1-8 Table 6.6

$$\begin{aligned}
 I_{eff,cp} &= \pi \cdot m_x + 2.0 \cdot e_x \\
 &= \pi \cdot 45,2[\text{mm}] + 2.0 \cdot 46[\text{mm}] \\
 &= 234[\text{mm}]
 \end{aligned}$$

pt.1-8 Table 6.6

$$\begin{aligned}
 I_{eff,cp} &= \pi \cdot m_x + w \\
 &= \pi \cdot 45,2[\text{mm}] + 108[\text{mm}] \\
 &= 250[\text{mm}]
 \end{aligned}$$

pt.1-8 Table 6.6

$$\begin{aligned}
 I_{eff,nc} &= 0.5 \cdot b_p \\
 &= 0.5 \cdot 200[\text{mm}] \\
 &= 100[\text{mm}]
 \end{aligned}$$

pt.1-8 Table 6.6

$$\begin{aligned}
 I_{eff,nc} &= 4.0 \cdot m_x + 1.25 \cdot e_x \\
 &= 4.0 \cdot 45,2[\text{mm}] + 1.25 \cdot 50[\text{mm}] \\
 &= 243,3[\text{mm}]
 \end{aligned}$$

pt.1-8 Table 6.6

$$\begin{aligned}
 I_{eff,nc} &= e + 2.0 \cdot m_x + 0.625 \cdot e_x \\
 &= 46[\text{mm}] + 2.0 \cdot 45,2[\text{mm}] + 0.625 \cdot 50[\text{mm}] \\
 &= 167,65[\text{mm}]
 \end{aligned}$$

pt.1-8 Table 6.6

$$\begin{aligned}
 I_{eff,nc} &= 0.5 \cdot w + 2.0 \cdot m_x + 0.625 \cdot e_x \\
 &= 0.5 \cdot 108[\text{mm}] + 2.0 \cdot 45,2[\text{mm}] + 0.625 \cdot 50[\text{mm}]
 \end{aligned}$$

$= 175,65[\text{mm}]$			pt.1-8 Table 6.6
$I_{eff,1} = \text{Min}(I_{eff,nc}, I_{eff,cp})$ $= \text{Min}(100[\text{mm}], 234[\text{mm}])$ $= 100[\text{mm}]$			pt.1-8 Tables 6.4, 6.5, 6.6
$I_{eff,2} = I_{eff,nc}$ $= 100[\text{mm}]$			pt.1-8 Tables 6.4, 6.5, 6.6
$n = \text{Min}(e_{min}, 1.25 \cdot m)$ $= \text{Min}(46[\text{mm}], 1.25 \cdot 45,2[\text{mm}])$ $= 46[\text{mm}]$			pt.1-8 Table 6.2
$e_w = d_w/4$ $= 32,95[\text{mm}]/4$ $= 8,24[\text{mm}]$			pt.1-8 Table 6.2
$L_b = t_p + t_c + t_{sp} + t_{webbar} + 0.5 \cdot (b_{head} + b_{end})$ $= 20[\text{mm}] + 20[\text{mm}] + 0[\text{mm}] + 0,8[\text{mm}] + 0.5 \cdot (12,1[\text{mm}] + 15,45[\text{mm}])$ $= 54,58[\text{mm}]$			pt.1-8 Table 6.2
$L_b^* = 8.8 \cdot m^3 \cdot A_s \cdot n_w / (\sum I_{eff,i} \cdot t_i^3)$ $= 8.8 \cdot 45,2^3 [\text{mm}]^3 \cdot 245 [\text{mm}^2] \cdot 1 / (100 [\text{mm}] \cdot 20 [\text{mm}]^3)$ $= 248,87[\text{mm}]$			pt.1-8 Table 6.2
$M_{pl,1,Rd} = 0.25 \cdot \sum I_{eff,i} \cdot t_i^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$ $= 0.25 \cdot 100 [\text{mm}] \cdot 20 [\text{mm}]^2 \cdot 345 [\text{N/mm}^2] / 1$ $= 3,45 [\text{kN} \cdot \text{m}]$			pt.1-8 Table 6.2
$F_{t,1,Rd} = (8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{pl,1,Rd} / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m + n))$ $= (8 \cdot 46 [\text{mm}] - 2 \cdot 8,24 [\text{mm}]) \cdot 3,45 [\text{kN} \cdot \text{m}] / (2 \cdot 45,2 [\text{mm}] \cdot 46 [\text{mm}] - 8,24 [\text{mm}] \cdot (45,2 [\text{mm}] + 46 [\text{mm}]))$ $= 355,95 [\text{kN}]$			pt.1-8 Table 6.2
$M_{pl,2,Rd} = 0.25 \cdot \sum I_{eff,i} \cdot t_i^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$ $= 0.25 \cdot 100 [\text{mm}] \cdot 20 [\text{mm}]^2 \cdot 345 [\text{N/mm}^2] / 1$ $= 3,45 [\text{kN} \cdot \text{m}]$			pt.1-8 Table 6.2
$F_{t,2,Rd} = (2 \cdot M_{pl,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}) / (m + n)$ $= (2 \cdot 3,45 [\text{kN} \cdot \text{m}] + 46 [\text{mm}] \cdot 352,8 [\text{kN}]) / (45,2 [\text{mm}] + 46 [\text{mm}])$ $= 253,61 [\text{kN}]$			pt.1-8 Table 6.2
$F_{t,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$ $= 352,8 [\text{kN}]$			pt.1-8 Table 6.2
$F_{t,Rd} = \text{Min}(F_{t,1,Rd}, F_{t,2,Rd}, F_{t,3,Rd})$ $= \text{Min}(355,95 [\text{kN}], 253,61 [\text{kN}], 352,8 [\text{kN}])$ $= 253,61 [\text{kN}]$			pt.1-8 Table 6.2
Effective resistance	[kN]	253.61	
Row 2			
Row 2, alone			
Column flange bending	[kN]	352.80	pt.1-8 Table 6.2
$I_{eff,cp} = 2.0 \cdot \pi \cdot m$ $= 2.0 \cdot \pi \cdot 50 [\text{mm}]$ $= 314,16 [\text{mm}]$			pt.1-8 Tables 6.4, 6.5, 6.6
$I_{eff,nc} = \alpha \cdot m$ $= 6,58 \cdot 50 [\text{mm}]$ $= 328,97 [\text{mm}]$			pt.1-8 Tables 6.5, 6.6

$l_{eff,1} = \text{Min}(l_{eff,nc}, l_{eff,cp})$ $= \text{Min}(328,97[\text{mm}], 314,16[\text{mm}])$ $= 314,16[\text{mm}]$				pt.1-8 Tables 6.4, 6.5, 6.6
$l_{eff,2} = l_{eff,nc}$ $= 328,97[\text{mm}]$				pt.1-8 Tables 6.4, 6.5, 6.6
$n = \text{Min}(e_{min}, 1.25 \cdot m)$ $= \text{Min}(71[\text{mm}], 1.25 \cdot 50[\text{mm}])$ $= 62,5[\text{mm}]$				pt.1-8 Table 6.2
$e_w = d_w/4$ $= 32,95[\text{mm}]/4$ $= 8,24[\text{mm}]$				pt.1-8 Table 6.2
$L_b = t_p + t_{lc} + t_{bp} + t_{washbar} + 0.5 \cdot (b_{road} + b_{curb})$ $= 20[\text{mm}] + 20[\text{mm}] + 0[\text{mm}] + 0,8[\text{mm}] + 0.5 \cdot (12,1[\text{mm}] + 15,45[\text{mm}])$ $= 54,58[\text{mm}]$				pt.1-8 Table 6.2
$L_b' = 8.8 \cdot m^3 \cdot A_b \cdot n_d / (\sum l_{eff,1} \cdot t^3)$ $= 8.8 \cdot 50[\text{mm}]^3 \cdot 245[\text{mm}^2] \cdot 1 / (314,16[\text{mm}] \cdot 20[\text{mm}]^3)$ $= 107,23[\text{mm}]$				pt.1-8 Table 6.2
$M_{p1,1,Rd} = 0.25 \cdot \sum l_{eff,1} \cdot t^2 \cdot f_y / \gamma_{MO}$ $= 0.25 \cdot 314,16[\text{mm}] \cdot 20[\text{mm}]^2 \cdot 345[\text{N/mm}^2] / 1$ $= 10,84[\text{kN} \cdot \text{m}]$				pt.1-8 Table 6.2
$F_{T,1,Rd} = (8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{p1,1,Rd} / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m + n))$ $= (8 \cdot 62,5[\text{mm}] - 2 \cdot 8,24[\text{mm}]) \cdot 10,84[\text{kN} \cdot \text{m}] / (2 \cdot 50[\text{mm}] \cdot 62,5[\text{mm}] - 8,24[\text{mm}] \cdot (50[\text{mm}] + 62,5[\text{mm}]))$ $= 984,48[\text{kN}]$				pt.1-8 Table 6.2
$M_{p1,2,Rd} = 0.25 \cdot \sum l_{eff,2} \cdot t^2 \cdot f_y / \gamma_{MO}$ $= 0.25 \cdot 328,97[\text{mm}] \cdot 20[\text{mm}]^2 \cdot 345[\text{N/mm}^2] / 1$ $= 11,35[\text{kN} \cdot \text{m}]$				pt.1-8 Table 6.2
$F_{T,2,Rd} = (2 \cdot M_{p1,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}) / (m + n)$ $= (2 \cdot 11,35[\text{kN} \cdot \text{m}] + 62,5[\text{mm}] \cdot 352,8[\text{kN}]) / (50[\text{mm}] + 62,5[\text{mm}])$ $= 397,77[\text{kN}]$				pt.1-8 Table 6.2
$F_{T,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$ $= 352,8[\text{kN}]$				pt.1-8 Table 6.2
$F_{T,Rd} = \text{Min}(F_{T,1,Rd}, F_{T,2,Rd}, F_{T,3,Rd})$ $= \text{Min}(984,48[\text{kN}], 397,77[\text{kN}], 352,8[\text{kN}])$ $= 352,8[\text{kN}]$				pt.1-8 Table 6.2
<p>End plate bending</p> $l_{eff,cp} = 2.0 \cdot \pi \cdot m$ $= 2.0 \cdot \pi \cdot 43,6[\text{mm}]$ $= 273,95[\text{mm}]$	[KN]	352.80		pt.1-8 Table 6.2
$l_{eff,nc} = \alpha \cdot m$ $= 5,69 \cdot 43,6[\text{mm}]$ $= 248,24[\text{mm}]$				pt.1-8 Tables 6.5, 6.6
$l_{eff,1} = \text{Min}(l_{eff,nc}, l_{eff,cp})$ $= \text{Min}(248,24[\text{mm}], 273,95[\text{mm}])$				

$= 248,24[\text{mm}]$			pt.1-8 Tables 6.4, 6.5, 6.6
$I_{eff,2} = I_{eff,nc}$ $= 248,24[\text{mm}]$			pt.1-8 Tables 6.4, 6.5, 6.6
$n = \text{Min}(e_{min}, 1.25 \cdot m)$ $= \text{Min}(46[\text{mm}], 1.25 \cdot 43,6[\text{mm}])$ $= 46[\text{mm}]$			pt.1-8 Table 6.2
$e_w = d_w/4$ $= 32,95[\text{mm}]/4$ $= 8,24[\text{mm}]$			pt.1-8 Table 6.2
$L_b = t_p + t_c + t_{fp} + t_{washbar} + 0.5 \cdot (b_{head} + b_{nut})$ $= 20[\text{mm}] + 20[\text{mm}] + 0[\text{mm}] + 0,8[\text{mm}] + 0.5 \cdot (12,1[\text{mm}] + 15,45[\text{mm}])$ $= 54,58[\text{mm}]$			pt.1-8 Table 6.2
$L_b' = 8.8 \cdot m^3 \cdot A_s \cdot n_d / (\sum I_{eff,1} \cdot t_i^3)$ $= 8.8 \cdot 43,6[\text{mm}]^3 \cdot 245[\text{mm}^2] \cdot 1 / (248,24[\text{mm}] \cdot 20[\text{mm}]^3)$ $= 89,98[\text{mm}]$			pt.1-8 Table 6.2
$M_{p1,1,Rd} = 0.25 \cdot \sum I_{eff,1} \cdot t_i^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$ $= 0.25 \cdot 248,24[\text{mm}] \cdot 20[\text{mm}]^2 \cdot 345[\text{N/mm}^2] / 1$ $= 8,56[\text{kN} \cdot \text{m}]$			pt.1-8 Table 6.2
$F_{t,1,Rd} = (8 \cdot n - 2 \cdot e_w) \cdot M_{p1,1,Rd} / (2 \cdot m \cdot n - e_w \cdot (m + n))$ $= (8 \cdot 46[\text{mm}] - 2 \cdot 8,24[\text{mm}]) \cdot 8,56[\text{kN} \cdot \text{m}] / (2 \cdot 43,6[\text{mm}] \cdot 46[\text{mm}] - 8,24[\text{mm}] \cdot (43,6[\text{mm}] + 46[\text{mm}]))$ $= 919,79[\text{kN}]$			pt.1-8 Table 6.2
$M_{p1,2,Rd} = 0.25 \cdot \sum I_{eff,2} \cdot t_i^2 \cdot f_y / \gamma_{M0}$ $= 0.25 \cdot 248,24[\text{mm}] \cdot 20[\text{mm}]^2 \cdot 345[\text{N/mm}^2] / 1$ $= 8,56[\text{kN} \cdot \text{m}]$			pt.1-8 Table 6.2
$F_{t,2,Rd} = (2 \cdot M_{p1,2,Rd} + n \cdot \sum F_{t,Rd}) / (m + n)$ $= (2 \cdot 8,56[\text{kN} \cdot \text{m}] + 46[\text{mm}] \cdot 352,8[\text{kN}]) / (43,6[\text{mm}] + 46[\text{mm}])$ $= 372,29[\text{kN}]$			pt.1-8 Table 6.2
$F_{t,3,Rd} = \sum F_{t,Rd}$ $= 352,8[\text{kN}]$			pt.1-8 Table 6.2
$F_{t,Rd} = \text{Min}(F_{t,1,Rd}, F_{t,2,Rd}, F_{t,3,Rd})$ $= \text{Min}(919,79[\text{kN}], 372,29[\text{kN}], 352,8[\text{kN}])$ $= 352,8[\text{kN}]$			pt.1-8 Table 6.2
Beam web in tension	[KN]	705.01	pt.1-8 Eq.6.22
$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,wb} \cdot t_{wb} \cdot f_{t,wb} / \gamma_{M0}$ $= 248,24[\text{mm}] \cdot 8[\text{mm}] \cdot 355[\text{N/mm}^2] / 1$ $= 705,01[\text{kN}]$			pt.1-8 Eq.6.22
Effective resistance	[KN]	352.80	
Plastic distribution limit	[KN]	335.16	pt.1-8 Eq.6.26
$F_{t,Rd} > 1.9 \cdot F_{t,Rd}$			pt.1-8 6.2.7.2(9)
→ Plastic distribution can not be assumed			pt.1-8 6.2.7.2(9)
$F_{w,Rd} = \text{Min}(F_{t,Rd}, F_{t,wb,Rd} \cdot h_f / h_d)$ $= \text{Min}(352,8[\text{kN}], 335,16[\text{kN}] \cdot 232[\text{mm}] / 232[\text{mm}])$ $= 335,16[\text{kN}]$			pt.1-8 Eq.6.26
Reduced resistance	[KN]	176.64	
COMPRESSION ZONE			

Column web panel in shear	[KN]	430.24	pt. 1-8 Eq.6.7
$\epsilon = (235 \text{ [MPa]}/f_t)^{1/2}$ $= (235 \text{ [MPa]}/345 \text{ [N/mm}^2])^{1/2}$ $= 0,825$			
pt. 1-1 Table 5.2			
$V_{wp, Rd} = 0.9 \cdot f_{t,wc} \cdot A_{c,eff} / ((3)^{1/2} \cdot \gamma_{M0})$ $= 0.9 \cdot 345 \text{ [N/mm}^2] \cdot 2400 \text{ [mm}^2] / ((3)^{1/2} \cdot 1)$ $= 430,24 \text{ [kN]}$			
pt. 1-8 Eq. 6.7			
Column web in transverse compression	[KN]	1108.14	SCI P398 p.32
$b_{eff,wc} = t_{fb} + 2.0 \cdot s_f + 5.0 \cdot (t_{fc} + s) + s_p$ $= 12 \text{ [mm]} + 2.0 \cdot 6 \text{ [mm]} + 5.0 \cdot (20 \text{ [mm]} + 0 \text{ [mm]}) + 40 \text{ [mm]}$ $= 164 \text{ [mm]}$			
pt. 1-8 Eq. 6.11			
$A_{s,eff} = 2.0 \cdot (b_{sfl} - cc) \cdot t_s + t_{wc} \cdot b_{eff,c,wc}$ $= 2.0 \cdot (120 \text{ [mm]} - 25 \text{ [mm]}) \cdot 10 \text{ [mm]} + 8 \text{ [mm]} \cdot 164 \text{ [mm]}$ $= 3212 \text{ [mm}^2]$			
SCI P398 p.32			
$N_{c,Rd} = A_{s,eff} \cdot f_t / \gamma_{M0}$ $= 3212 \text{ [mm}^2] \cdot 345 \text{ [N/mm}^2] / 1$ $= 1108,14 \text{ [kN]}$			
SCI P398 p.32			
$I_s = (2.0 \cdot b_{sfl} + t_{wc})^{3.0} \cdot t_s / 12.0$ $= (2.0 \cdot 120 \text{ [mm]} + 8 \text{ [mm]})^{3.0} \cdot 10 \text{ [mm]} / 12.0$ $= 1,27E+07 \text{ [mm}^4]$			
SCI P398 p.32			
$\epsilon = (235 \text{ [MPa]}/f_t)^{1/2}$ $= (235 \text{ [MPa]}/345 \text{ [N/mm}^2])^{1/2}$ $= 0,825$			
pt. 1-1 Table 5.2			
$A_{s,eff} = (30.0 \cdot \epsilon \cdot t_w + t_s) \cdot t_w + 2.0 \cdot b_{sfl} \cdot t_s$ $= (30.0 \cdot 0,825 \cdot 8 \text{ [mm]} + 10 \text{ [mm]}) \cdot 8 \text{ [mm]} + 2.0 \cdot 120 \text{ [mm]} \cdot 10 \text{ [mm]}$ $= 4064,62 \text{ [mm}^2]$			
SCI P398 p.32			
$i_s = (I_s / A_{s,eff})^{0.5}$ $= (1,27E+07 \text{ [mm}^4] / 4064,62 \text{ [mm}^2])^{0.5}$ $= 55,92 \text{ [mm]}$			
SCI P398 p.32			
$\epsilon = (235 \text{ [MPa]}/f_t)^{1/2}$ $= (235 \text{ [MPa]}/345 \text{ [N/mm}^2])^{1/2}$ $= 0,825$			
pt. 1-1 Table 5.2			
$\lambda_1 = 93.9 \cdot \epsilon$ $= 93.9 \cdot 0,825$ $= 77,5$			
SCI P398 p.32			
$\lambda_{s1} = I_s / (i_s \cdot \lambda_1)$ $= 276 \text{ [mm]} / (55,92 \text{ [mm]} \cdot 77,5)$ $= 0,0637$			
SCI P398 p.32			
$b_{eff,wc} = t_{fb} + 2.0 \cdot s_f + 5.0 \cdot (t_{fc} + s) + s_p$ $= 12 \text{ [mm]} + 2.0 \cdot 6 \text{ [mm]} + 5.0 \cdot (20 \text{ [mm]} + 0 \text{ [mm]}) + 40 \text{ [mm]}$ $= 164 \text{ [mm]}$			
pt. 1-8 Eq. 6.11			
$A_{s,eff} = 2.0 \cdot (b_{sfl} - cc) \cdot t_s + t_{wc} \cdot b_{eff,c,wc}$ $= 2.0 \cdot (120 \text{ [mm]} - 25 \text{ [mm]}) \cdot 10 \text{ [mm]} + 8 \text{ [mm]} \cdot 164 \text{ [mm]}$ $= 3212 \text{ [mm}^2]$			
SCI P398 p.32			
$N_{c,Rd} = A_{s,eff} \cdot f_t / \gamma_{M0}$ $= 3212 \text{ [mm}^2] \cdot 345 \text{ [N/mm}^2] / 1$ $= 1108,14 \text{ [kN]}$			
SCI P398 p.32			

$b_{eff,wc} = t_{fb} + 2.0 \cdot s_f + 5.0 \cdot (t_{lc} + s) + s_p$ $= 12[\text{mm}] + 2.0 \cdot 6[\text{mm}] + 5.0 \cdot (20[\text{mm}] + 0[\text{mm}]) + 40[\text{mm}]$ $= 164[\text{mm}]$					pt.1-8 Eq.6.11
$A_{s,eff} = 2.0 \cdot (b_{eff} - cc) \cdot t_s + t_{wc} \cdot b_{eff,c,wc}$ $= 2.0 \cdot (120[\text{mm}] - 25[\text{mm}]) \cdot 10[\text{mm}] + 8[\text{mm}] \cdot 164[\text{mm}]$ $= 3212[\text{mm}^2]$					SCI P398 p.32
$N_{c,Rd} = A_{s,eff} \cdot f_y / \gamma_{M0}$ $= 3212[\text{mm}^2] \cdot 345[\text{N/mm}^2] / 1$ $= 1108,14[\text{kN}]$					SCI P398 p.32
<p>Beam top flange and web compression</p> $F_{c,Rd} = M_{Ed} / (h - t_{fb})$ $= 304,27[\text{kNm}] / (300[\text{mm}] - 12[\text{mm}])$ $= 1056,48[\text{kN}]$	[kN]	1056.48			pt.1-8 Eq.6.21
<p>Vertical shear resistance of boltgroup</p> $F_{v,Rd} = (\alpha_v \cdot f_{vb} \cdot A) / \gamma_{M2}$ $= (0,5 \cdot 1000[\text{N/mm}^2] \cdot 245[\text{mm}^2]) / 1,25$ $= 98[\text{kN}]$	[kN]	501.76	0.00	DL	0.00 pt. 1-8 Table 3.4, [2]
<p>IsSingleLineOfBolts → False</p> $k_1 = \min(2.8 \cdot e_1 / d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_1 / d_0 - 1.7, 2.5)$ $= \min(2.8 \cdot 46[\text{mm}] / 22[\text{mm}] - 1.7, 1.4 \cdot 108[\text{mm}] / 22[\text{mm}] - 1.7, 2.5)$ $= 2,5$					pt. 1-8 Table 3.4
$\alpha_{d1} = e_1 / (3.0 \cdot d_0)$ $= 50[\text{mm}] / (3.0 \cdot 22[\text{mm}])$ $= 0,758$					pt. 1-8 Table 3.4
$\alpha_{d2} = p_1 / (3.0 \cdot d_0) - 1.0 / 4.0$ $= 112[\text{mm}] / (3.0 \cdot 22[\text{mm}]) - 1.0 / 4.0$ $= 1,45$					pt. 1-8 Table 3.4
$\alpha_b = \min(\alpha_{d1}, f_{vb} / f_{td}, 1.0)$ $= \min(0,758, 1000[\text{N/mm}^2] / 470[\text{N/mm}^2], 1.0)$ $= 0,758$					pt. 1-8 Table 3.4
$F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{td} \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2}$ $= (2,5 \cdot 0,758 \cdot 470[\text{N/mm}^2] \cdot 20[\text{mm}] \cdot 20[\text{mm}]) / 1,25$ $= 284,85[\text{kN}]$					pt. 1-8 Table 3.4
<p>IsSingleLineOfBolts → False</p> $k_1 = \min(2.8 \cdot e_1 / d_0 - 1.7, 1.4 \cdot p_1 / d_0 - 1.7, 2.5)$ $= \min(2.8 \cdot 71[\text{mm}] / 22[\text{mm}] - 1.7, 1.4 \cdot 108[\text{mm}] / 22[\text{mm}] - 1.7, 2.5)$ $= 2,5$					pt. 1-8 Table 3.4
$\alpha_{d1} = e_1 / (3.0 \cdot d_0) - 1.0 / 4.0$ $= 112[\text{mm}] / (3.0 \cdot 22[\text{mm}]) - 1.0 / 4.0$ $= 1,45$					pt. 1-8 Table 3.4
$\alpha_b = \min(\alpha_{d1}, f_{vb} / f_{td}, 1.0)$ $= \min(1, 1000[\text{N/mm}^2] / 470[\text{N/mm}^2], 1.0)$ $= 1$					pt. 1-8 Table 3.4
$F_{b,Rd} = (k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_{td} \cdot d \cdot t) / \gamma_{M2}$ $= (2,5 \cdot 1 \cdot 470[\text{N/mm}^2] \cdot 20[\text{mm}] \cdot 20[\text{mm}]) / 1,25$ $= 376[\text{kN}]$					pt. 1-8 Table 3.4

$F_{Rd} = (2.0 \cdot n_c + 0.28 \cdot 2.0 \cdot n_s) \cdot \text{Min}(F_{c,Rd}, F_{b,Rd})$ $= (2.0 \cdot 2 + 0.28 \cdot 2.0 \cdot 2) \cdot \text{Min}(98[\text{kN}], 284,85[\text{kN}])$ $= 501,76[\text{kN}]$							[2]
Compression zone capacities							
Beam top flange and web compression resistance	[kN]	1056.48	225.69	DL	0.21	pt. 1-8 Eq.6.21	
$F_{c,Rd} = M_{pl,Rd} / (h - t_{fb})$ $= 304,27[\text{kN} \cdot \text{m}] / (300[\text{mm}] - 12[\text{mm}])$ $= 1056,48[\text{kN}]$						pt.1-8 Eq.6.21	
Column web panel in shear resistance	[kN]	430.24	225.69	DL	0.52	pt.1-8 Eq.6.7	
$\epsilon = (235 [\text{MPa}] / f_y)^{1/2}$ $= (235 [\text{MPa}] / 345 [\text{N/mm}^2])^{1/2}$ $= 0,825$						pt. 1-1 Table 5.2	
$V_{wp,Rd} = 0.9 \cdot f_{v,wc} \cdot A_{w} / ((3)^{1/2} \cdot \gamma_{M0})$ $= 0.9 \cdot 345[\text{N/mm}^2] \cdot 2400[\text{mm}^2] / ((3)^{1/2} \cdot 1)$ $= 430,24[\text{kN}]$						pt.1-8 Eq.6.7	
Transverse stiffeners - top							
Cross-sectional resistance	[kN]	1108.14	430.24	DL	0.39	SCI P398 p.32	
$b_{eff,wc} = t_{fb} + 2.0 \cdot s_1 + 5.0 \cdot (t_{fc} + s) + s_p$ $= 12[\text{mm}] + 2.0 \cdot 6[\text{mm}] + 5.0 \cdot (20[\text{mm}] + 0[\text{mm}]) + 40[\text{mm}]$ $= 164[\text{mm}]$						pt.1-8 Eq.6.11	
$A_{s,eff} = 2.0 \cdot (b_{eff} - cc) \cdot t_s + t_{wc} \cdot b_{eff,c,wc}$ $= 2.0 \cdot (120[\text{mm}] - 25[\text{mm}]) \cdot 10[\text{mm}] + 8[\text{mm}] \cdot 164[\text{mm}]$ $= 3212[\text{mm}^2]$						SCI P398 p.32	
$N_{t,Rd} = A_{s,eff} \cdot f_y / \gamma_{M0}$ $= 3212[\text{mm}^2] \cdot 345[\text{N/mm}^2] / 1$ $= 1108,14[\text{kN}]$						SCI P398 p.32	
Transverse stiffeners - bottom							
Tension resistance	[kN]	655.50	235.85	DL	0.36	SCI P398 p.30	
$F_{s,Rd} = F_{t,Rd} + F_{c,Rd} - L_{wt} \cdot t_{wc} \cdot f_y / \gamma_{M0}$ $= 253,61[\text{kN}] + 176,64[\text{kN}] - 236,53[\text{mm}] \cdot 8[\text{mm}] \cdot 345[\text{N/mm}^2] / 1$ $= -222,58[\text{kN}]$						SCI P398 p.29	
$F_{s,Rd} = m_1 \cdot (F_{t,Rd} / (m_1 + m_2)) + F_{c,Rd} / (m_1 + m_2)$ $= 50[\text{mm}] \cdot (253,61[\text{kN}] / (50[\text{mm}] + 40,4[\text{mm}])) + 176,64[\text{kN}] / (50[\text{mm}] + 42,4[\text{mm}])$ $= 235,85[\text{kN}]$						SCI P398 p.29	
$A_{in} = 2.0 \cdot b_{in} \cdot t_s$ $= 2.0 \cdot 95[\text{mm}] \cdot 10[\text{mm}]$ $= 1900[\text{mm}^2]$						SCI P398 p.30	
$F_{s,Rd} = A_{in} \cdot f_y / \gamma_{M0}$ $= 1900[\text{mm}^2] \cdot 345[\text{N/mm}^2] / 1$ $= 655,5[\text{kN}]$						SCI P398 p.30	
$F_{s,Rd} = F_{t,Rd} + F_{c,Rd} - L_{wt} \cdot t_{wc} \cdot f_y / \gamma_{M0}$ $= 253,61[\text{kN}] + 176,64[\text{kN}] - 236,53[\text{mm}] \cdot 8[\text{mm}] \cdot 345[\text{N/mm}^2] / 1$ $= -222,58[\text{kN}]$						SCI P398 p.29	
$F_{s,Rd} = m_1 \cdot (F_{t,Rd} / (m_1 + m_2)) + F_{c,Rd} / (m_1 + m_2)$ $= 50[\text{mm}] \cdot (253,61[\text{kN}] / (50[\text{mm}] + 40,4[\text{mm}])) + 176,64[\text{kN}] / (50[\text{mm}] + 42,4[\text{mm}])$ $= 235,85[\text{kN}]$						SCI P398 p.29	
Top fillet weld transverse force resistance	[kN]	491.31	430.24	DL	0.88	Eq. 4.3, Sec 4.5.3.3	
$f_{weld} = (f_u / 3.0^{(1.0/2.0)}) / (\beta_w \cdot \gamma_{M2})$							

NOTATION

a :	Effective throat size of the weld, distance between the first line of bolts and the face of the support
A :	Gross section area
A_s :	Tensile stress area of the bolt or of the anchor bolt
$A_{k,eff}$:	Stiffener effective area for buckling resistance
A_{net} :	Net area of the stiffener
α_b :	Bolt bearing resistance factor, Table 3.4
α_c :	Bolt bearing resistance factor, Table 3.4
α_s :	Bolt shear resistance factor, Table 3.4
b_c :	Width of column flange
$b_{eff,c,web}$:	Effective width of column web in compression
$b_{f,top}$:	Beam top flange width
$b_{f,bottom}$:	Beam bottom flange width
b_{sp} :	Gross stiffener width
$b_{sp,max}$:	Maximum gross stiffener width
$b_{sp,min}$:	Minimum gross stiffener width
b_{st} :	Net stiffener width
β_w :	Correlation factor taken from Table 4.1
cc :	Stiffener corner snipe
d :	Nominal bolt diameter
d_h :	Hole diameter
e_1 :	End distance
$e_{1,min}$:	Minimum horizontal edge distance
e_2 :	Edge distance
$e_{2,min}$:	Minimum vertical edge distance
ε :	Constant $(235/f_y)^{0.5}$
$F_{b,t/bt}$:	Design bearing resistance per bolt
$F_{t,t/bt}$:	Effective tension resistance of the bolt row above the stiffener
$F_{t,b/bt}$:	Effective tension resistance of the bolt row below the stiffener
$F_{s,t/bt}$:	Required tension stiffener design force
$F_{s,b/bt}$:	Design tension stiffener strength
$F_{t,t/bt}$:	Design tension resistance per bolt
f_u :	Ultimate tensile strength of the steel on which the bolt bears
f_{ub} :	Ultimate tensile strength of the bolt
$F_{v,t/bt}$:	Design shear resistance per bolt
f_{vw} :	Design shear strength of fillet welds
$F_{w,t/bt}$:	Design weld resistance per unit length
$F_{w,b/bt}$:	Design weld resistance
f_y :	Yield strength
f_{yc} :	Yield strength of the column
f_{ys} :	Yield strength of the stiffener
γ_{M2} :	Partial factor for resistance of cross-sections whatever the class is
γ_{M3} :	Partial factor for resistance of cross-sections in tension to fracture
i_s :	Radius of gyration of the stiffener
I_s :	Moment of inertia of the stiffener
IsSingleLineOfBolts:	Single line of bolts
k_1 :	Bolt bearing factor
k_2 :	Stiffness coefficient
K :	Weld force angle factor
l :	Critical buckling length
L_w :	Length of weld
L_{wt} :	Length of the column web in tension
λ_{y1} :	Limiting slenderness for axial compression
λ_{LT} :	Non dimensional slenderness for lateral-torsional buckling
m_1 :	Horizontal distance from bolt centre to 20% distance into column web weld
m_{2a} :	Vertical distance from bolt centre to 20% distance into the low stiffener weld
m_{2b} :	Vertical distance from bolt centre to 20% distance into the up stiffener weld
$N_{c,t/bt}$:	Design resistance to normal forces of the gross section for uniform compression
p_1 :	Vertical spacing between centres of bolts in a line in the load direction
p_2 :	Horizontal spacing between centres of bolts in adjacent lines perpendicular to the load direction

p_{max} :	Maximum bolts spacing
$r_{0,top}$:	Root radius of the top flange beam section
$r_{0,bottom}$:	Root radius of the bottom flange beam section
t :	Component thickness
t_s :	Stiffener or supplementary web plate thickness
t_w :	Thickness of web
t_{wc} :	Column web thickness
w :	Bolt columns separation (gauge)
A_b :	Tensile stress area of the bolt or of the anchor bolt
A_{vc} :	Shear area of the column
α_c :	Should be obtained from EN 1993-1-8:2005 Figure 6.11
$b_{eff,comp}$:	Effective width of column web in compression
$b_{eff,tens}$:	Effective width of beam web in tension
b_{head} :	Height of the bolt head
b_{nut} :	Height of the bolt nut
b_p :	Width of the end-plate
d_w :	Diameter of the washer, or the width across points of the bolt head or nut
e :	Transversal edge distance
e_{min} :	Minimum distance to edge
e_w :	Quarter of d_w
e_s :	Longitudinal edge distance
$F_{d,rb}$:	Design compression resistance of the combined beam flange and web
$F_{t,1,rb}$:	Design tension resistance of a T-stub flange for mode 1
$F_{t,2,rb}$:	Design tension resistance of a T-stub flange for mode 2
$F_{t,3,rb}$:	Design tension resistance of a T-stub flange for mode 3
$F_{t,rb}$:	Design resistance of a T-stub flange
$F_{t,rb,r}$:	Effective design tension resistance for bolt row r
$F_{t,wb,rb}$:	Design tension resistance of the beam web
$F_{t,x,rb}$:	Effective design tension resistance for bolt row x
F_{rb} :	Design resistance of the bolt group
$F_{v,rb}$:	Design shear resistance per bolt
$F_{b,rb}$:	Design bearing resistance per bolt
f_y :	Yield strength of the T-stub flange
$f_{y,wb}$:	Yield strength of the beam web
$f_{y,wc}$:	Yield strength of the column web
γ_{m0} :	Partial safety factor 0
h :	Depth of the connected beam
h_r :	Distance from bolt row r to the centre of compression
h_x :	Distance from bolt row x to the centre of compression
L_b :	Bolt elongation length limit
L_{b1} :	Bolt elongation length limit
$l_{eff,1}$:	Effective length for an end-plate for mode 1
$l_{eff,2}$:	Effective length for an end-plate for mode 2
$l_{eff,cp}$:	Effective length for an end-plate for bolt-row considered as a part of a group of bolt-rows with circular patterns
$l_{eff,nc}$:	Effective length for an end-plate for bolt-row considered as a part of a group of bolt-rows with non-circular patterns
m :	Distance from bolt center to T-stub web
$M_{d,rb}$:	Design resistance of the beam
$M_{pl,1,rb}$:	Design plastic moment resistance for mode 1
$M_{pl,2,rb}$:	Design plastic moment resistance for mode 2
m_c :	Distance from first bolt row outside to tension flange of beam
n :	Minimum distance to edge
n_b :	Number of bolts
n_c :	Number of bolts rows in the compression zone
n_t :	Number of bolts rows in the tension zone
s :	Rolled radius or weld size
s_f :	Flange weld size
s_p :	Length obtained by dispersion at 45° through the end plate
$\Sigma F_{t,rb}$:	Total value for all the bolts in the T-stub
$\Sigma l_{eff,1}$:	The value of the sum of effective length for mode 1
$\Sigma l_{eff,2}$:	The value of the sum of effective length for mode 2
t_{bp} :	Thickness of the backing plate
t_f :	Thickness of the T-stub flange
t_b :	Thickness of the beam flange
t_c :	Thickness of the column flange
t_p :	Thickness of the end plate
t_{washer} :	Thickness of the washer
t_{wb} :	Thickness of the beam web
w :	Bolt columns separation (gauge)
$M_{d,rb}$:	Design moment resistance
$\Sigma h_r \cdot F_{p,rb}$:	Sum of effective tension resistances by distances to bolt row r
$F_{p,rb}$:	Effective design tension resistance of bolt row r
$M_{d,rb}$:	Design moment resistance of bolt row r
$V_{wp,rb}$:	Design plastic shear resistance
K :	Weld throat angle constant
θ :	Angle between the direction of the force and the throat of the weld

REFERENCES

- [2] Joints in Steel Construction – Moment-Resisting Joints to Eurocode 3 (P398), SCI and BCSA, 2013.