

PROJEKTOVANJE VEZA I NASTAVAKA

- četvrti dio

KLASIFIKACIJA VEZA

Uvod

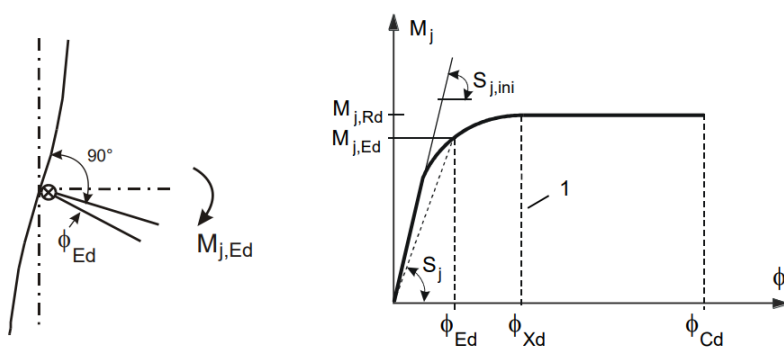
- Uticaj ponašanja veze, na raspodjelu presječnih sila i momenata u konstrukciji, kao i na njene ukupne deformacije, treba razmotriti i uzeti u obzir, ali kada su ti uticaji dovoljno mali, onda se oni mogu zanemariti.
- Kako bi se definisalo kada treba uzeti u obzir uticaje ponašanja veza na globalnu analizu, mogu se razlikovati sljedeća tri pojednostavljena modela veza:
 - prosti, kod kojih se može pretpostaviti da veza ne prenosi momente savijanja;
 - kontinualni, kod kojih se pretpostavlja da ponašanje veze ne utiče na analizu;
 - polukontinualni, kod kojih ponašanje veze treba da se uzme u obzir pri analizi.
- Odgovarajući tip modela veze treba da se odredi prema sljedećoj tabeli, u zavisnosti od klasifikacije veze i izabranog modela analize.

Metoda globalne analize	Klasifikacija veze		
Elastična	Nominalno zglobna	Kruta	Polukruta
Kruto-plastična	Nominalno zglobna	Potpuno nosiva	Djelimično nosiva
Elasto-plastična	Nominalno zglobna	Kruta i potpuno nosiva	Polukruta i djelimično nosiva Polukruta i potpuno nosiva Kruta i djelimično nosiva
Tip modela veze	Prost	Kontinualan	Polukontinualan

ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

PREDAVANJE 09

- Na sljedećoj slici daje se dijagram koji se naziva *proračunska moment–rotacija karakteristika veze* i pomoću koga, u slučaju polukontinualne veze, treba modelirati karakteristike opruge, kod veze dva elementa u globalnoj analizi (o značenjima na ovom dijagramu detaljno će se govoriti u nastavku). Proračunska moment–rotacija karakteristika veze karakteriše zavisnost proračunskog momenta savijanja $M_{j,Ed}$, koji djeluje na mjestu veze, i odgovarajuće rotacije ϕ_{Ed} između spojenih elemenata. Ova zavisnost je nelinearna i komplikovana za modeliranje u globalnoj analizi.



b) Model

c) Proračunska karakteristika moment-rotacija

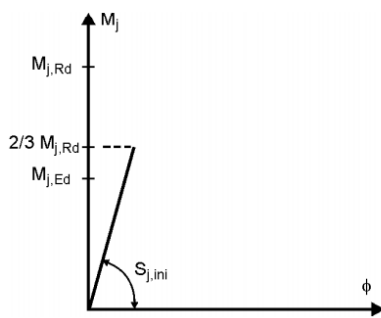
- Proračunska moment–rotacija karakteristika veze, može se u analizi pojednostaviti usvajanjem odgovarajuće krive, uključujući linearne aproksimacije (na primjer bilinearne ili trilinearne), pod uslovom da čitava aproksimirana kriva leži ispod proračunske karakteristike moment–rotacija.

Elastična globalna analiza

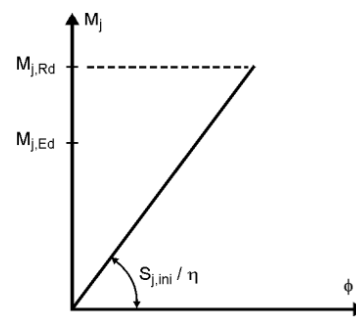
- Veze treba klasifikovati prema njihovoj rotacionoj krutosti, što će biti urađeno u nastavku.
- Veze treba da imaju dovoljnu nosivost kako bi prenijele sile i momente koje djeluju na njih, a određene su globalnom analizom.
- U slučaju polukrutih veza (pomoću kojih se u elastičnoj globalnoj analizi modeliraju polukontinualne veze) treba da se koristi rotaciona krutost S_j koja odgovara momentu savijanja $M_{j,Ed}$. Ako $M_{j,Ed}$ ne prelazi $2/3M_{j,Rd}$ ($M_{j,Rd}$ je proračunska nosivost veze), onda se pri globalnoj analizi može koristiti početna rotaciona krutost $S_{j,ini}$, kao što se vidi na sljedećoj slici (a).

ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

PREDAVANJE 09



a) $M_{j,Ed} \leq 2/3 M_{j,Rd}$



b) $M_{j,Ed} \leq M_{j,Rd}$

- Kao dodatno pojednostavljenje za formiranje bilinearne proračunske moment–rotacija karakteristike veze, rotaciona krutost za svaku vrijednost momenta $M_{j,Ed}$ može se uzeti kao $S_{j,ini}/\eta$ onako kako je to prikazano na prethodnoj slici (b), gdje je η koeficijent modifikacije krutosti koji se daje u sljedećoj tabeli.

Tip spoja	Veze greda-stub	Drugi tipovi veza (veze greda-greda, nastavci greda, osloničke veze stuba)
Zavaren	2	3
Čeone ploče sa zavrtnjevima	2	3
Priključni ugaonici na nožicama, spojeni zavrtnjevima	2	3,5
Ležišne ploče	-	3

Kruto-plastična globalna analiza

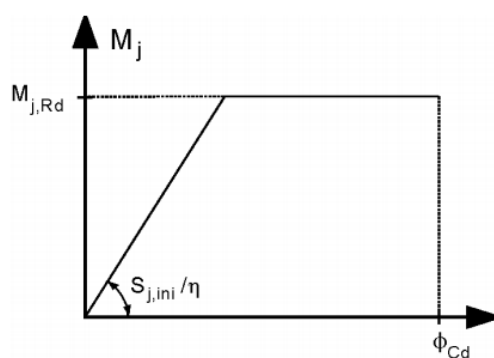
- Veze treba klasifikovati prema njihovoj nosivosti, što će biti urađeno u nastavku.
- Proračunska nosivost veze $M_{j,Rd}$, za razne slučajeve veza i nastavaka se detaljno obrađuje u preostalom dijelu ovog predmeta.
- Kapacitet rotacije veze ϕ_{Cd} , treba da bude dovoljan da omogući rotacije dobijene globalnom analizom. O kapacitetu rotacije, takođe, kasnije.

ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

PREDAVANJE 09

Elasto-plastična globalna analiza

- Veze treba klasifikovati prema krutosti i prema nosivosti, što će biti urađeno u nastavku.
- Kao pojednostavljenje, može se usvojiti, ranije definisana, bilinearna proračunska karakteristika moment–rotacija koja je prikazana na sljedećoj slici. Koeficijent modifikacije krutosti η treba uzeti iz prethodne tabele.



Klasifikacija veza

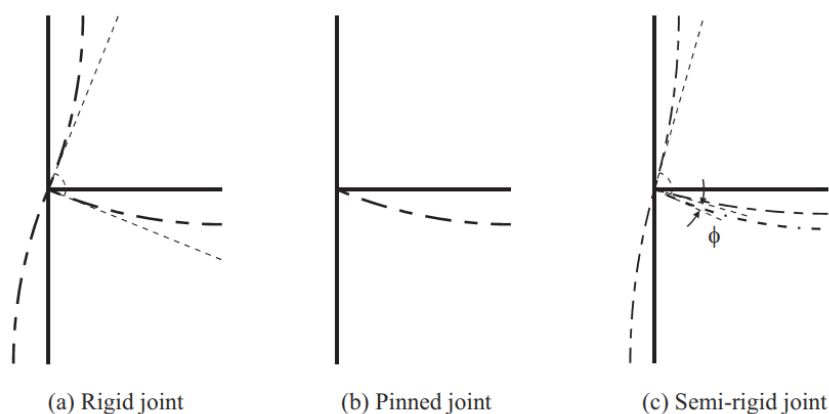
- Konstrukcijski detalji svih veza treba da omoguće ostvarenje pretpostavki koje su napravljene u odgovarajućoj metodi proračuna.
- U zavisnosti od izabrane metode globalne analize: elastična, kruto – plastična ili elasto – plastična, klasifikuju se i veze prema krutosti ili prema nosivosti.

Klasifikacija veza prema krutosti

- Prema rotacionoj krutosti veza se može klasifikovati kao:
 - nominalno zglobna,
 - kruta ili
 - polukruta.

ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

PREDAVANJE 09

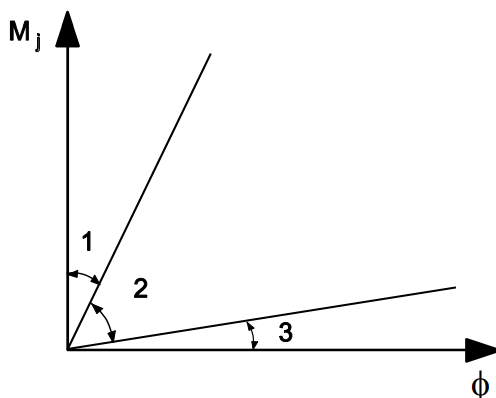


- Nominalno zglobna veza treba da bude sposobna da prenese presječne sile, bez razvoja značajnih momenata koji mogu negativno uticati na elemente ili konstrukciju kao cjelinu.
- Nominalno zglobna veza treba da bude sposobna da prihvati rotacije koje su posljedica proračunskih opterećenja.
- Pretpostavlja se da veze koje se klasifikuju kao krute imaju dovoljnu rotacionu krutost da bi se potvrdila globalna analiza koja se zasniva na punom kontinuitetu.
- Vezu koja ne ispunjava kriterijum za krutu vezu ili za nominalno zglobnu vezu treba klasifikovati kao polukrutu vezu.
- Polukrute veze obezbjeđuju predvidljiv stepen interakcije između elemenata, koji se zasniva na proračunskim moment-rotacija karakteristikama veza.
- Prema tome, ako je veza između konstruktivnih elemenata polukruta, u recimo elastičnoj globalnoj analizi, vezu treba modelirati pomoću odgovarajuće rotacione opruge (sa odgovarajućim proračunskim moment-rotacija karakteristikama veza).
- Polukrute veze treba da budu sposobne da prenesu presječne sile i momente.

ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

PREDAVANJE 09

- Za veze greda – stub, klasifikacione granice veza, daju se na sljedećoj slici, uz odgovarajuća objašnjenja.



Zona 1: **krute**, ako je $S_{j,ini} \geq k_b E I_b / L_b$

gdje je:

- $k_b = 8$ za ramove kod kojih sistem za ukrućenje smanjuje horizontalno pomjeranje za najmanje 80%;
- $k_b = 25$ za druge ramove, pod uslovom da je na svakom spratu: $K_b/K_c \geq 0,1$. Za ramove kod kojih je $K_b/K_c < 0,1$ veze treba klasifikovati kao polukrute.

Zona 2: **polukrute**

Sve veze u zoni 2 treba da se klasifikuju kao polukrute. Veze u zonama 1 ili 3 opciono mogu da se tretiraju **kao polukrute**.

Zona 3: **nominalno zglobne**, ako je $S_{j,ini} \leq 0,5 E I_b / L_b$

U prethodnim podjelama i slikama koriste se:

- $S_{j,ini}$ početna rotaciona krutost ($M_j = S_{j,ini} \phi$, za male vrijednosti M_j);
- K_b srednja vrijednost I_b / L_b svih greda na vrhu sprata;
- K_c srednja vrijednost I_c / L_c svih stubova posmatranog sprata;
- I_b moment inercije grede;
- I_c moment inercije stuba;
- L_b raspon grede (od težišta do težišta stubova);
- L_c spratna visina stuba.

ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

PREDAVANJE 09

- Oslonačke veze stubova mogu se klasifikovati kao krute, kod ramova kod kojih sistem za ukrućenje smanjuje horizontalno pomjeranje za najmanje 80% i kod kojih se utjecaji deformacije mogu zanemariti, ako su zadovoljeni sljedeći uslovi:

ako je $\bar{\lambda}_0 \leq 0,5$;

ako je $0,5 < \bar{\lambda}_0 < 3,93$ i $S_{j,ini} \geq 7(2\bar{\lambda}_0 - 1)EI_c / L_c$;

ako je $\bar{\lambda}_0 \geq 3,93$ i $S_{j,ini} \geq 48EI_c / L_c$.

i u ostalim slučajevima, ako je:

$$S_{j,ini} \geq 30EI_c / L_c$$

gdje je:

$\bar{\lambda}_0$ vitkost stuba za koji se pretpostavlja da na oba kraja ima zglobne veze;

Klasifikacija veza prema nosivosti

- Poređenjem proračunskog momenta nosivosti veze $M_{j,Rd}$ sa proračunskim momentom nosivosti elemenata koji se povezuje $M_{j,Ed}$, veza se može klasifikovati kao:
 - nominalno zglobna,
 - potpuno nosiva ili
 - djelimično nosiva.
- Prilikom klasifikacija veza, s obzirom na proračunsku nosivost elementa treba uzeti nosivost elementa uz samu vezu.
- Nominalno zglobna veza treba da bude sposobna da prenese presječne sile, bez razvoja značajnih momenata koji mogu negativno uticati na elemente ili konstrukciju kao cjelinu.
- Nominalno zglobna veza treba da bude sposobna da prihvati rotacije koje su posljedica proračunskih opterećenja.

ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

PREDAVANJE 09

- Veza se može klasifikovati kao nominalno zglobna ukoliko njen proračunski moment nosivosti $M_{j,Rd}$ nije veći od 25% proračunskog momenta nosivosti koji se zahtijeva za potpuno nosivu vezu, pod uslovom da takođe ima i dovoljan kapacitet rotacije.
- Proračunska nosivost potpuno nosive veze ne treba biti manja od nosivosti spojenog elementa.
- Veza se može klasifikovati kao potpuno nosiva ukoliko ispunjava kriterijume koji su dati na sljedećoj slici:

- na vrhu stuba



ili $M_{j,Rd} \geq M_{b,pl,Rd}$

ili $M_{j,Rd} \geq M_{c,pl,Rd}$

- u okviru visine stuba



ili $M_{j,Rd} \geq M_{b,pl,Rd}$

ili $M_{j,Rd} \geq 2 M_{c,pl,Rd}$

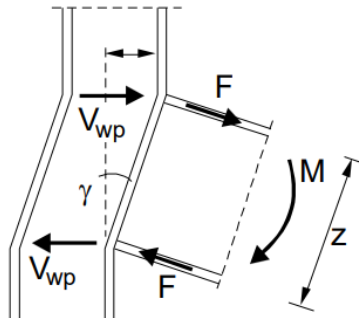
gdje je:

$M_{b,pl,Rd}$ proračunski plastični moment nosivosti grede;
 $M_{c,pl,Rd}$ proračunski plastični moment nosivosti stuba.

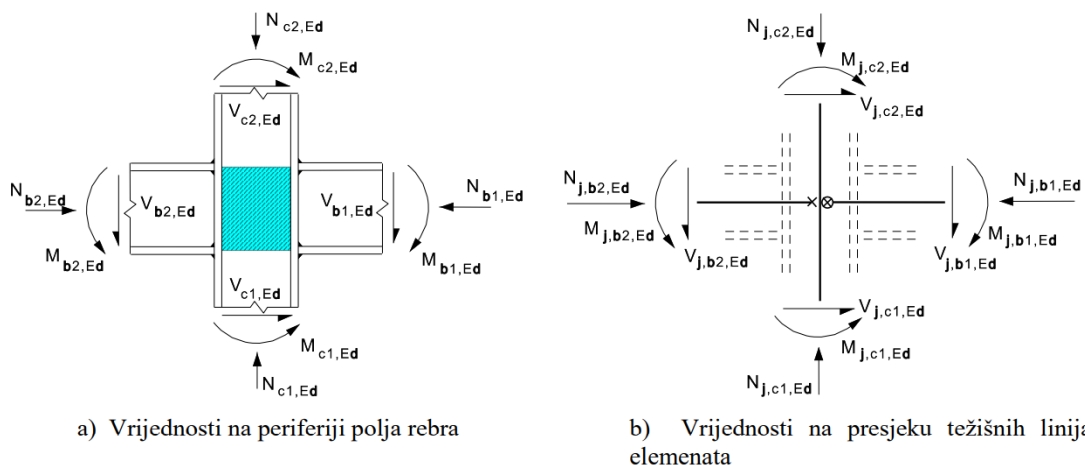
- Veza koja ne ispunjava kriterijume za potpuno nosivu vezu niti za zglobnu vezu treba se klasifikovati kao djelimično nosiva veza.

Modeliranje veza greda-stub

- Kako bi se modeliralo deformacijsko ponašanje veze, treba uzeti u obzir smičuće deformacije polja rebra (sljedeća slika) i rotacione deformacije spojeva.



- Veze treba da budu projektovane tako da mogu prihvatiti momente savijanja $M_{b1,Ed}$ i $M_{b2,Ed}$, normalne sile $N_{b1,Ed}$ i $N_{b2,Ed}$ i smičuće sile $V_{b1,Ed}$ i $V_{b2,Ed}$ koje djeluju na njih preko spojenih elemenata, vidjeti sljedeću sliku:



- Rezultujuća smičuća sila $V_{wp,Ed}$ u polju rebra treba da se odredi na sljedeći način:

$$V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}) / z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}) / 2$$

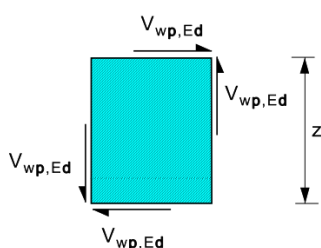
gdje je:

z krak sila, razmak između težišta nožica grede.

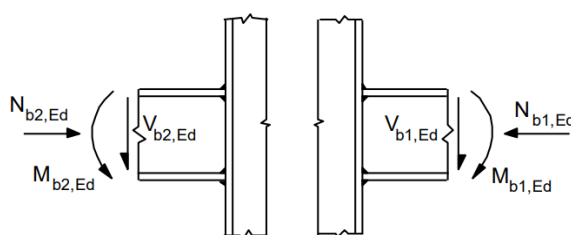
ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

PREDAVANJE 09

- Da bi se modelirala veza na takav način koji blisko opisuje njeno očekivano ponašanje, smičuće polje rebra i svaki spoj treba da se modeliraju pojedinačno, uzimajući u obzir presječne momente i sile u elementima, koji djeluju na periferiji polja rebra, vidjeti prethodnu i sljedeću sliku.
- Kao pojednostavljena alternativa prethodno rečenom, jednostrana veza može se modelirati kao jedna veza, a dvostrana veza može da se modelira kao dvije odvojene ali uzajamno povezane veze po jedna na svakoj strani. Posljedica toga je da dvostrana veza greda-stub ima dvije karakteristike moment-rotacija, jednu za desnu stranu veze i drugu za lijevu stranu veze.

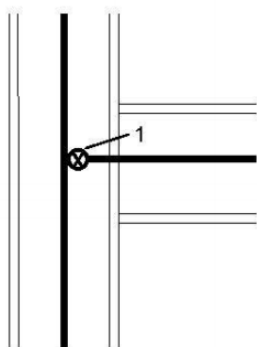


a) Smičuće sile u polju rebra

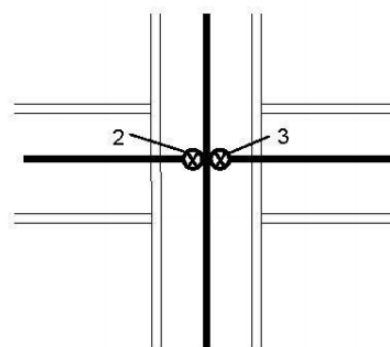


b) Spojevi sa silama i momentima u gredama

- Kod dvostranih veza greda-stub svaka veza treba da se modelira kao posebna rotaciona opruga, kako je to prikazano na sljedećoj slici, sa odgovarajućom karakteristikom moment-rotacija koja uzima u obzir ponašanje smičućeg polja rebra kao i uticaje odgovarajućih spojeva.



Jednostrana veza



Dvostrana veza

- | | |
|---|-----------------------|
| 1 | veza |
| 2 | veza 2: lijeva strana |
| 3 | veza 1: desna strana |

ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

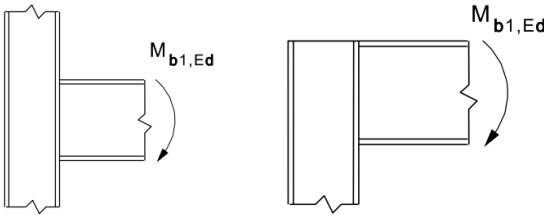
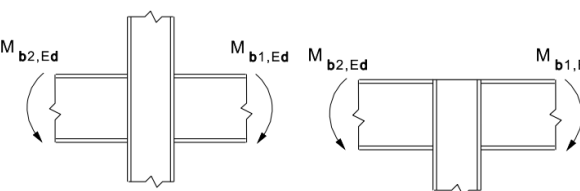
PREDAVANJE 09

- Kada se određuju proračunski moment nosivosti i rotaciona krutost za svaku od veza, onda mogući uticaji smičućeg polja rebra treba da se uzmu u obzir primjenom parametara transformacije β_1 i β_2 gdje su:

β_1 vrijednost parametra transformacije β za desnu stranu veze;

β_2 vrijednost parametra transformacije β za lijevu stranu veze.

- Približne vrijednosti β_1 i β_2 , koje se zasnivaju na vrijednostima momenata u gredama $M_{b1,Ed}$ i $M_{b2,Ed}$ na periferiji polja rebra, mogu se dobiti iz sljedeće tabele:

Tip veze	Dejstvo	Vrijednost β
	$M_{b1,Ed}$	$\beta \approx 1$
	$M_{b1,Ed} = M_{b2,Ed}$	$\beta = 0$ *)
	$M_{b1,Ed} / M_{b2,Ed} > 0$	$\beta \approx 1$
	$M_{b1,Ed} / M_{b2,Ed} < 0$	$\beta \approx 2$
	$M_{b1,Ed} + M_{b2,Ed} = 0$	$\beta \approx 2$
*) U ovom slučaju vrijednost β je tačna vrijednost, a ne približna.		

- Tačnije vrijednosti β_1 i β_2 koje se zasnivaju na vrijednostima momenata u gredama $M_{b1,Ed}$ i $M_{b2,Ed}$ na mjestu presjeka težišnih linija, mogu se odrediti iz pojednostavnjenog modela razdvajanja lijeve i desne veze, na sljedeći način:

$$\beta_1 = \left| 1 - M_{j,b2,Ed} / M_{j,b1,Ed} \right| \leq 2$$

$$\beta_2 = \left| 1 - M_{j,b1,Ed} / M_{j,b2,Ed} \right| \leq 2$$

gdje je:

$M_{b1,Ed}$ moment u tački presjeka sa desne strane;

$M_{b2,Ed}$ moment u tački presjeka sa lijeve strane.

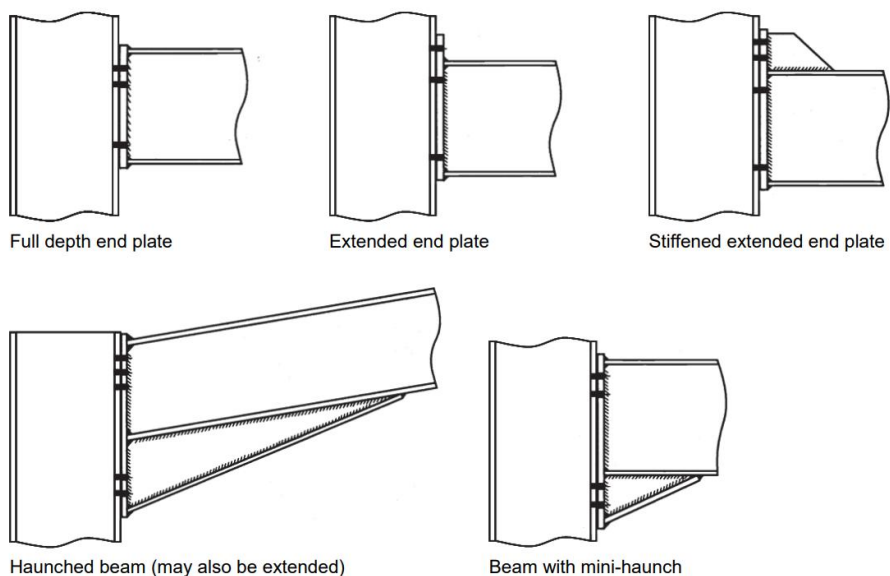
- U slučaju neukrućene dvostrane veze greda-stub kod kojih dvije grede nijesu iste visine, pri određivanju proračunskog momenta nosivosti treba da se uzme u obzir stvarna raspodjela smičućih napona u polju rebra stuba.

KONSTRUKCIJSKE VEZE KOJE SPAJAJU H ILI I PRESJEKE

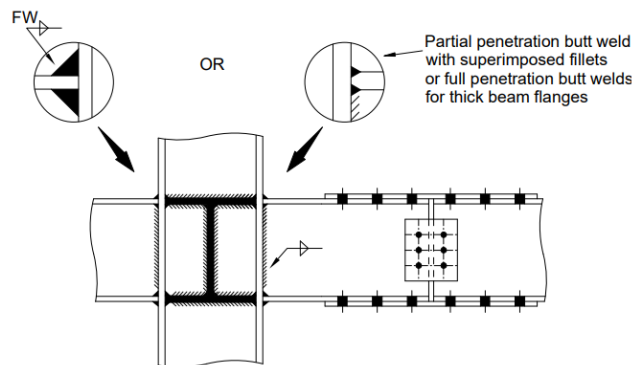
Uvod

- U ovom dijelu obrađene su metode proračuna za određivanje konstrukcijskih svojstava veza u ramovima bilo kog tipa. Za primjenjivanje ovih metoda, vezu treba modelirati kao skup osnovnih komponenata.
- Osnovne komponente koje se koriste, definisane su u nastavku ovog dijela i predpostavljaju veze između elemenata koji su I ili H presjeka, kao i savijanje oko jače ose. Proračun se zasniva na pretpostavljenim raspodjelama unutrašnjih sila za pojedine komponente veze.
- Generalno, principi koji se koriste ovdje, mogu se primjeniti i na druge presjeka. Proračunske metode, u tim slučajevima, treba da se zasnivaju na odgovarajućim pretpostavkama o raspodjeli unutrašnjih sila.
- Veza greda – stub, stub – temelj (oslonačka veza stuba) i nastavci greda i stubova, obuhvaćeni su u proračunu.

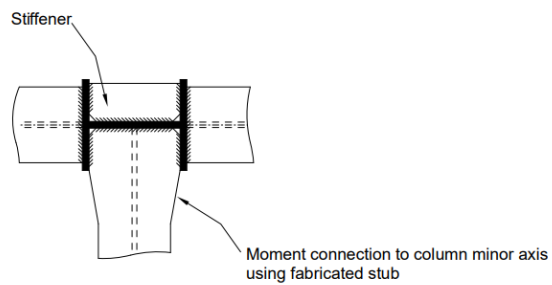
Veza greda – stub sa zavrtnjevima i čeonom pločom



Zavarena veza greda – stub

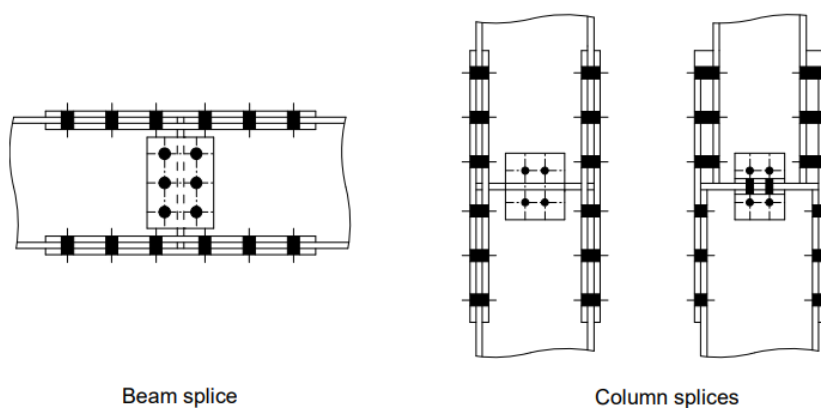


ELEVATION



PLAN

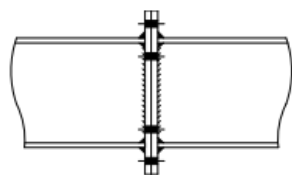
Nastavci grede ili stuba sa zavrtnjevima i podvezicama



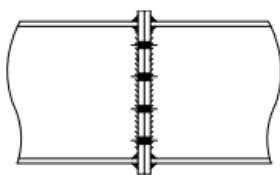
Beam splice

Column splices

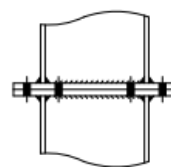
Nastavci grede ili stuba sa zavrtnjevima i čeonim pločama



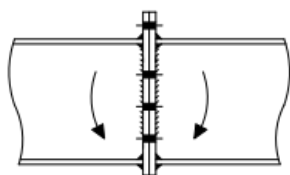
Extended both ways - beam



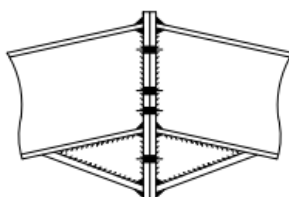
Flush beam



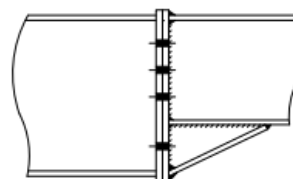
Extended both ways - column



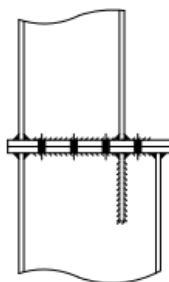
Extended one way - beam



Portal apex haunch

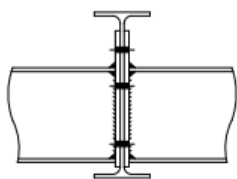


Different size - beam haunch

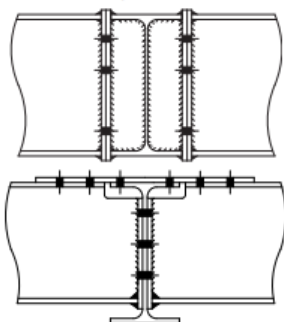


Different size - column sections

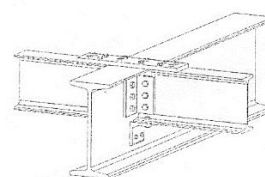
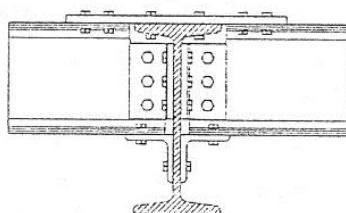
Kontinualizacija grede



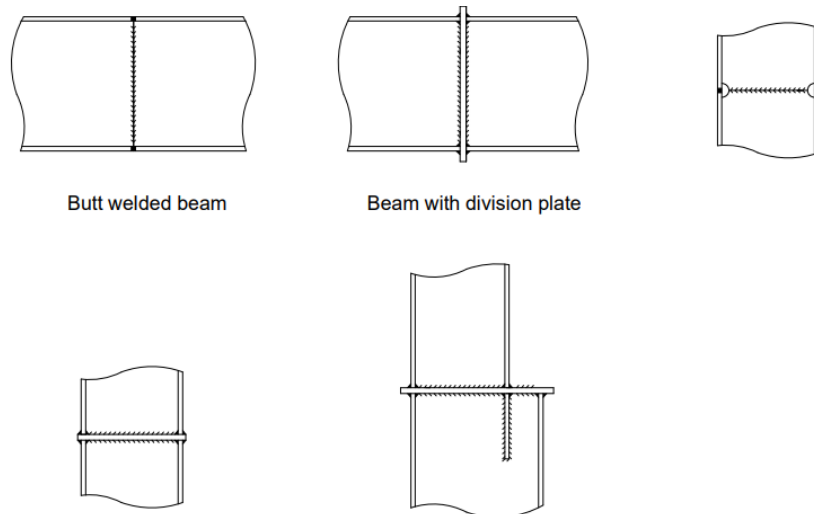
Extended end plates to beam web



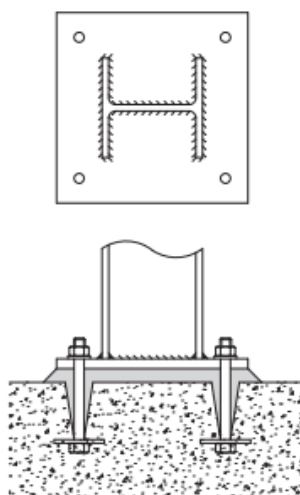
End plate and cover plate



Zavareni nastavci grede ili stuba



Veza stuba sa temeljom (oslonačka veza stuba)



- U nastavku će se govoriti o postupcima projektovanja za prethodno pomenute slučajeve. U suštini potrebno je sračunati proračunsku nosivost za datu konfiguraciju veze tako što se sračuna njena najniža sila loma i dokaže da je bar ista ili veća od proračunske sile ili momenta u vezi.
- Ono što je važno istaći na početku je da je ovaj proračun veoma zametan i dugotrajan proces, u kome su neki koraci uslovljeni, pa je potrebno sa svakim sljedećim korakom i izborom neke dimenzije provjeriti da li utiče na usvojene dimenzije u prethodnim koracima (koje u tom slučaju treba ponoviti) i koji u nekim

ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

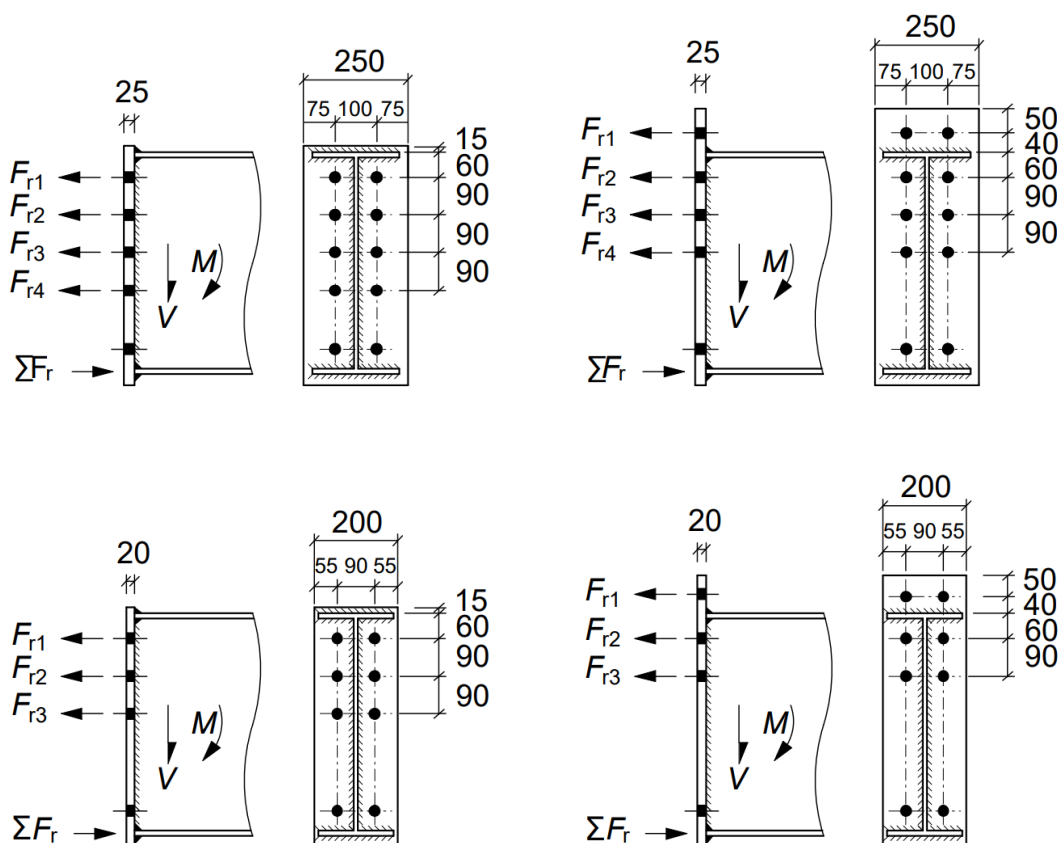
PREDAVANJE 09

slučajevima podrazumijeva iterativan postupak što dodatno otežava proračun. Ovo upućuje na korišćenje kompjuterskih programa kojih ima veliki broj na tržištu, tako da procedure korak po korak, koje se ovdje iznose služe za kontrolu konačno usvojenih dimenzija. Takođe, veoma je važno poznavati suštinu proračuna da bi se znalo koji element treba koristiti ili mu promijeniti dimenziju da bi se dobila optimalna proračunska nosivost neke komponente veze.

- Kada smo govorili o zavrtnjevima i zakivcima, rekli smo da cijena izrade veza i nastavaka znatno utiče na cijenu izrade i montaže čeličnih konstrukcija. Zbog toga, a i zbog smanjenja moguće greške i efikasne montaže, kao i zbog sigurnosti i tačnosti izrade, vrlo je važno standardizovati projektovanje veza i nastavaka, Pored uobičajenih preporuka koje su ranije navedene, dodajmo i sljedeće preporuke za projektovanje (ili bar za usvajanje u prvoj iteraciji):

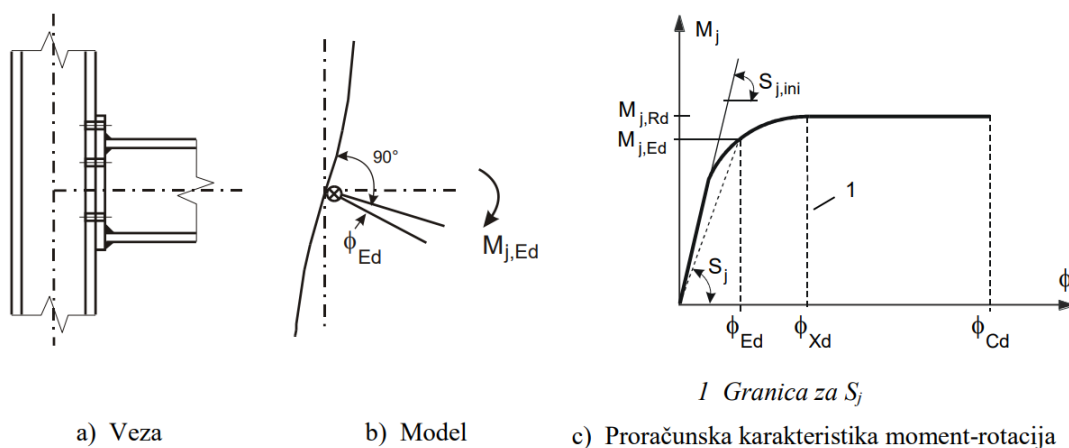
M20 ili M24, klase 8.8, sa punim navojem;
 Horizontalni razmak između zavrtnjeva 90 ili 100 mm;
 Vertikalni razmak između zavrtnjeva 90 mm;
 Klasa kvaliteta čelika S275 ili S 355 za pomoćne elemente (priključni elementi, čeone ploče, podvezice, kontinuitet lameme, ukrućenja...);
 Debljina čeone ploče 20 mm sa zavrtnjevima M20 i 25 mm sa M24.

Preporučene vrijednosti za slučajeve sa M20 i M24 zavrtnjevima daju se na sljedećoj slici:



Konstruktivska svojstva

- Kao što je već rečeno, veza se može predstaviti rotacionom oprugom koja spaja težišne linije elemenata na mjestu njihovog ukrštanja, kako je to naznačeno na sljedećoj slici za jednostrane veze greda–stub. Svojstva opruge mogu se izraziti u obliku proračunske karakteristike moment-rotacija koja opisuje vezu između proračunskog momenta savijanja $M_{j,Ed}$ koji djeluje na mjestu veze i odgovarajuće rotacije ϕ_{Ed} između spojenih elemenata. Uopšteno, proračunska karakteristika moment-rotacija je nelinearna, kako je ranije već istaknuto i prikazuje se na sljedećoj slici.



- Proračunska moment-rotacija karakteristika veze, treba da definiše sljedeća tri glavna konstruktivska svojstva:
 - moment nosivosti;
 - rotacionu krutost i
 - kapacitet rotacije.
- Proračunski moment nosivosti $M_{j,Rd}$ predstavlja maksimalnom moment proračunske karakteristike moment-rotacija.
- Rotaciona krutost S_j je sekantna krutost, kao što je naznačeno na prethodnoj slici. Ovakva definicija S_j primjenjuje se za proračunsku karakteristiku moment-rotacija do rotacije ϕ_{Xd} pri kojoj $M_{j,Ed}$ prvo dostiže $M_{j,Rd}$, ali ne i za veće rotacije. Početna rotaciona krutost $S_{j,ini}$ predstavlja nagib proračunske karakteristike moment-rotacija u elastičnoj oblasti.

ČELIČNE KONSTRUKCIJE II

PREDAVANJE 09

- Proračunski kapacitet rotacije veze ϕ_{Cd} , jednak je maksimalnoj rotaciji proračunske karakteristike moment-rotacija.
- Proračunska moment-rotacija karakteristika veze greda-stub treba biti konzistentna sa pretpostavkama napravljenim prilikom globalnog proračuna konstrukcije i proračuna elemenata prema MEST EN 1993-1-1.
- U sljedećim poglavljima, detaljno će se analizirati: moment nosivosti, rotaciona krutost i kapacitet rotacije veza H ili I presjeka.