

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијски програм: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Машинске конструкције и механизација

Предмет: Металне конструкције

Број индекса: 20/2017

Катарина Д. Антић

**Пројектовање веза под углом у
металним конструкцијама**

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. др Весна Марјановић, ванредни професор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Рад треба да садржи:

- 1) Уопште о средствима за остваривање везе
- 2) Објашњење наставака и веза
- 3) Опис и подела веза под углом
- 4) Моделирање једне везе под углом, као и приказану проверу сигурности везе

Препоручена литература:

- [1] Буђевац Д., Марковић З., Богавац Д. и Тошић Д., Металне конструкције, Грађевински факултет, Београд, 1999.
- [2] Митровић С., Металне и дрвне конструкције 1, Висока грађевинско-геодетска школа, Београд, 2011.
- [3] Ж. Домазет, Крстуловић-Опара Л., Подлога за предавање из Металних конструкција и Конструисања, Факултет електротехнике стројарства и бродоградње, Сплит, 2006.
- [4] Петковић З., Острић Д., Металне кнструкције у машиноградњи 1, Машински факултет, Београд, 1996.

Крагујевац, септембар, 2020.

Ментор:

др Весна Марјановић, ванредни професор

Садржај

1. Увод.....	1
2. Средства за везу	3
2.1. Закивци	3
2.2. Завртњеви	5
2.3. Заваривање	9
2.4. Чепови.....	14
3. Наставци и везе.....	16
4. Веза под углом.....	20
4.4. Зглобна веза.....	21
4.4.1. Зглобна веза са чеоном плочом.....	22
4.4.2. Зглобна веза са прикључним лимом.....	23
4.4.3. Зглобна веза са прикључним угаоницима.....	26
4.4.4. Зглобна веза помоћу столице	28
4.5. Крута веза	32
4.5.1. Крута веза носача са континуитет ламелом.....	33
4.5.2. Крута веза са чеоном плочом	38
5. Пример прорачуна веза по Еврокоду коришћењем софтвера Robot Structural Analysis Professional.....	41
5.1. Пример 1.: Крута веза под углом са чеоном плочом остварена помоћу завртњева.....	42
5.2. Пример 2.: Крута веза под углом са чеоном плочом остварена заваривањем...	52
6. Закључак.....	59
Литература.....	60

The summary

In this work given are some basics for an angle connection. First of all, this work talks about the material that is most often used in metal constructions, then the means for making a connection and talk about them in general, it is also generally explained what are connections and extensions. The later deals with angle connections, which is the main topic of this work. It is listed which types of angle connections exist, as well as which ones are the most often used. According with that, at the very end of the software Robot Structural Analysis Professional, two examples were made, of the same construction with the same loads and basic parameters, the only difference being that the connection was made in different ways. It also briefly explains what Robot Structural Analysis Professional is serves.

Key words: *angle connections, rivets, screws, welding, rigid connections, simple (articular or joint) connection.*

Резиме

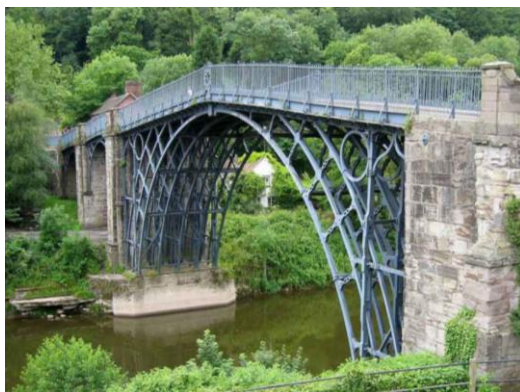
У овом раду су дате неке основе за везе под углом. Прво се прича о материјалу који се најчешће употребљава у металним констртрукцијама, затим укратко која сва средства за остваривање везе постоје и говори се нешто уопштено о њима, такође је уопштено објашњено шта су то везе и наставци. Касније се бави о везама под углом, што је и главна тема овог рада. Наведене су које све врсте везе под углом постоје, као и које се најчешће примењују. У складу са тим, на самом крају у софтверу Robot Structural Analysis Professional, су урађена два примера, исте конструкције са истим оптерећењима и основним параметрима, једина разлика је у томе што је веза остварена на другачије начине. Такође је укратко објашњено чему служи Robot Structural Analysis Professional.

Кључне речи: *везе под углом, закивци, завртњевци, заваривање, круте везе, зглобне везе.*

1. Увод

Појам металне конструкције се односи на материјал од кога се израђује нека конструкција, односно углавном се подразумевају конструкције које су претежно или потпуно израђене од метала [1, 2, 3, 4, 6].

Први материјал који се употребљавао је била руда гвожђа. Руда гвожђа се у природи углавном јавља као ферит, магнетит, хематит, лимонит и пирит. Да би се гвожђе могло користити, руда се мора ослободити нечистоћа. Дуги низ година су археолози покушавали да одгонетну тајну о томе ко је био проналазач гвожђа и његове израде. Међутим ни најстарији списи не дају одговор на ово питање, јер они говоре како је сваки стари културни народ добијао своје знање о добијању гвожђа од неког божанства или некакве мистериозне личности. Прва конструкција од гвожђа стара је тек нешто више од 200 година и то је *The Iron Bridge* преко *The River Severn* у Енглеској, а изграђен је 1779. године.



Слика 1. *The Iron Bridge* преко *the River Severn* у Енглеској [3].

Као материјал који се у највећој мери примјењује данас је челик (легура гвожђа и угљеника), и у знатној мањој мери легуре алуминијума. Челичне конструкције поседују специфична својства и значајне техничке и функционалне предности у односу на друге грађевинске материјале, а неке од карактеристика које поседује челик су:

- висока механичка својства,
- мале димензије и тежине елемената челичних конструкција,
- лака манипулација, транспорт и монтажа,
- флексибилност и адаптивност,
- могућност демонтаже и трајна вредност и остале

Мада има и недостатке, а неки од њих су:

- осетљивост на дејство корозије и пожара,
- потреба за квалификованијом радном снагом и остали.

Конструкције се деле према конструирању, изradi и примени на:

- мостове,
- зграде,
- транспортна средства (бродови, шинска возила и сл.) и
- конструкције индустријских постројења (дизалице, претоварни мостови, транспортери, копачи, резервоари, постоља и сл.).

Челичне конструкције омогућавају савлађивање великих распона и висина, како код хала и спратних зграда, тако и код мостова. У многим случајевима, као на пример код мостова изузетно великих распона, хала великих површина без стубова, зграда високе спратности или високих торњева, носећа конструкција од челика представља једино прихватљиво решење. Челичне конструкције код мостовиа држе све рекорде у погледу распона, висине субова и ширине коловозне траке. Слична ситуација је и у зградарству где челичне конструкције такође, држе све рекорде како по висини, тако и по распонима, брзини изградње итд.

Највећу примену веза под углом има у зградарству, мостogradњи и машиноградњи. На следећим сликама, под а је приказана изградња тренутно највише зграда на свету *The Burj Khalifa*, која се налази у Дубају и висока 828 m. Под b је приказана изградња моста. Под c је приказан највећи кран на свету, познат под називом *Big Carl*, који се налази у Британији. *Big Carl* је висок 250 m, покрећега 12 мотора и може да подигне 5000 тона у радијусу од 40 m. Под d је приказана портална дизаллица.

a)



b)



c)



d)



Слика 2. Примена веза под углом: а) Процес изградње зграде, b) Процес изградње моста, c) Big Carl и d) Портална дизалица [4, 5, 7, 8].

Поред овога где имају највећу примену и који материјал се најчешће употребљава. У наставку рада ће се говорити о средствима помоћу који се остварују везе под углом и шта су то везе и наставци.

2. Средства за везу

Основни конструктивни елементи (штапови, лимови и профилисани носачи) се склапају у елементе конструкције, помоћу средства за везу. Због ограничене дужине елемената и могућности транспорта, елементи се настављају и спајају [9].

Спајање елемената конструкције се врши:

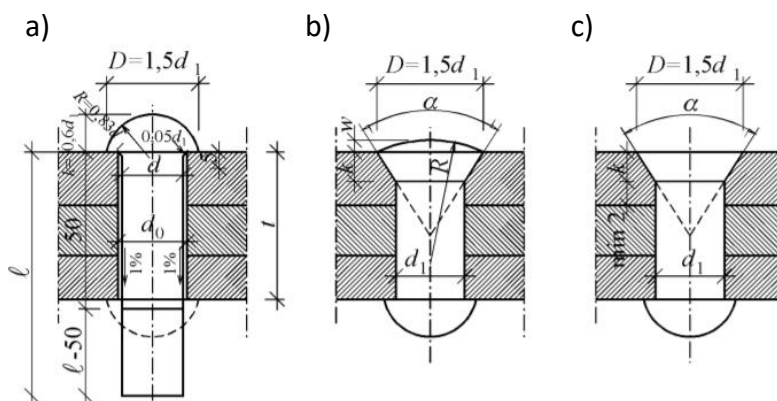
- закивцима,
- завртњевима,
- заваривањем и
- чеповима.

2.1. Закивци

Закивци као спојно средство се примењују од тридесетих година деветнаестог века и до данас су се показали као ефикасно и поуздано спојно средство. Везе изведне закивцима се добро понашају, како при статичком тако и при динамичком напрезању, јер закивци врше равномерни пренос силе дуж везе. Рупе у вези су добро испуњене материјалом закивка, па везе имају мала проклизавања и малу деформабилност. Данас се закивци примењују само за реконструкцију и ојачање постојећих конструкција израђених закивцима и ређе за израду динамички напрегнутих конструкција. Заваривање је последњих деценија, осим у специјалним случајевима, скоро потпуно потиснуло примену закивака за израду радионичких наставка, док су их завртњеви, због брзог и једноставног извођења наставка, заменили код израде монтажних наставка [2].

Закивак се састоји од цилиндричног тела (врата закивка) и главе закивка. У зависности од облика главе, разликују се:

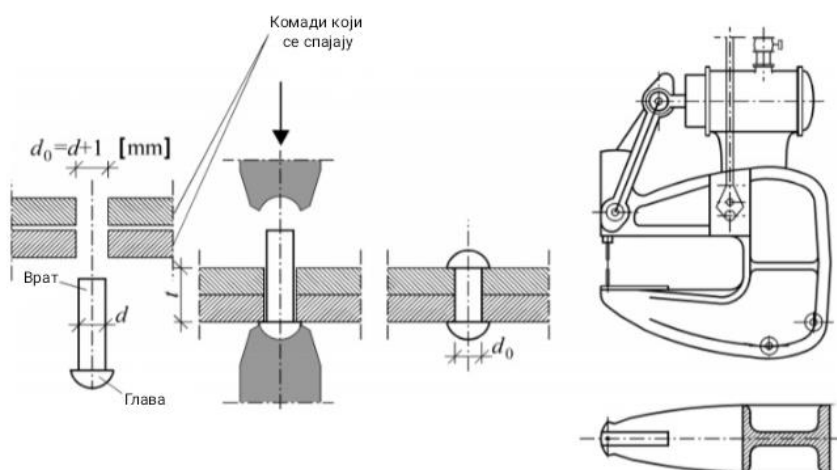
- закивци са полукружном главом (слика 3. а),
- закивци са полуупуштеном главом (слика 3. б) и
- закивци са упуштеном главом (слика 3. с).



Слика 3. Врсте закивака према облику главе закивака: а) са полукружном главом, б) са полуупуштеном главом и с) са упуштеном главом [2].

Најчешће се примењују закивци са полукружном главом чији је врат конусан на дужини од 50 mm од главе закивка, са нагибом изводнице од 1% (слика 1a), а цилиндричан на преосталој дужини.

Пречник рупе за уградњу закивака (d_0) је за 1 mm већи од пречника закивка (d), односно $d_0 = d + 1$, а избор пречника закивка (d_0) зависи од дебљине пакета лимова који се спајају (t). Док дужина врата закивка (l) зависи од пречника закивка (d), дебљине пакета лимова који се спајају (t) и од начина израде друге главе закивка. Стходно томе закивци се уграђују у већ избушене рупе, загрејани до температуре која је погодна за ковање. Затим се поставља преса за закивање и врши се притисак на главу и врат закивака чиме се прво испуњава рупа у споју, а затим се обликује друга глава (слика 4.).



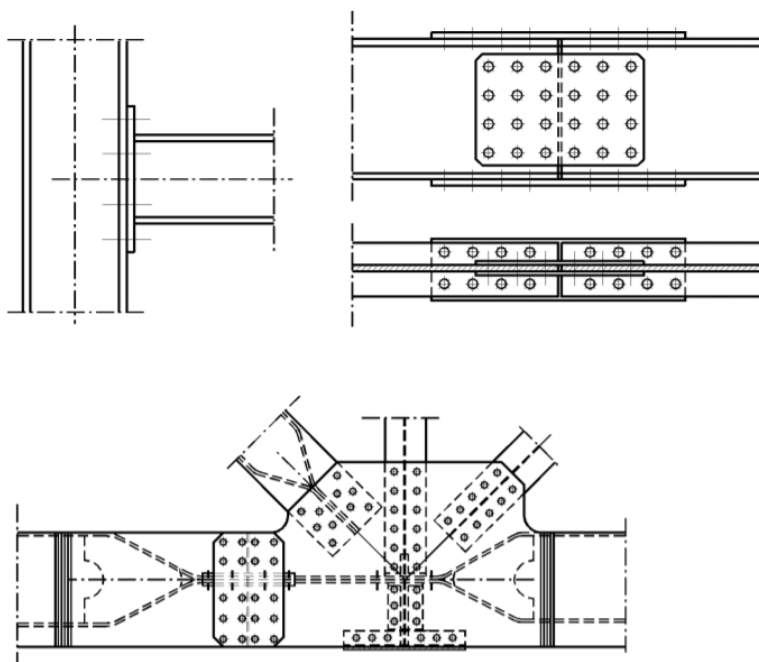
Слика 4. Уграђивање закивака и преса за закивање [2].

Обележавање закивака на радионичким цртежима се, ради прегледности и избегавања грешака, представљају посебним ознакама. Ознаке су стандардизоване и дате су и табели која је прописана стандардом, за закивке код којих се и рупа и уградња врше у радионици.

2.2. Завртњеви

На почетку развоја челичних или металних конструкција, као прва механичка спојна средства коришћени су обични завртњеви. Они су, међутим, убрзо замењени закивцима, јер у то време су биле скупе машинске израде и слабе отпорности на замор. Како је развојем машинске индустрије знатно убрзан и поједностављен процес производње завртњева, они су се поново вратили као спојно средство [1, 2, 9].

Завртњеви представљају савремено и ефикасно спојно средство за израду, претежно, монтажних наставака у зградарству и мостоградњи (слика 5.). Њихова примена је омогућила потпуну индустријализацију производње челичних конструкција. Они су данас, због низа несумњивих предности, скоро у потпуности заменили закивке при изради монтажних наставака.



Слика 5. Примена завртњева зградству и мостоградњи [2].

Завртњеви се израђују у фабрици машинским путем, а на монтажи се врши само њихова уградња. На тај начин се добија веома уједначен квалитет свих завртњева у конструкцији. За уградњу завртњева није потребна сложена опрема као за закивке, нити посебно квалификована радна снага. Уградња завртњева је једноставна и изводи је један или два радника.

Временски услови не утичу на квалитет изведене везе, за разлику од веза остварених закивцима или заваривањем. Осим тога брзина уградње је већа него код закивака. Без обзира што је основни материјал за сирови закивак јефтинији од завртња, ипак је, узимајући све наведене трошкове, веза изведена завртњевима је јефтинија и контролисанијег квалитета. Завртњевима се, као и закивцима, остварује тачкасто спајање елемената конструкције. Кроз два или више елемената који се спајају, буше се рупе, постављају завртњеви и навија навртка, све док се елементи међусобно не споје. Након тога, веза је одмах способна да прихвати све статичке утицаје, при чему у завртњевима може да се јави смицање, притисак по омотачу рупе или затезање.

Завртњеве се израђују као:

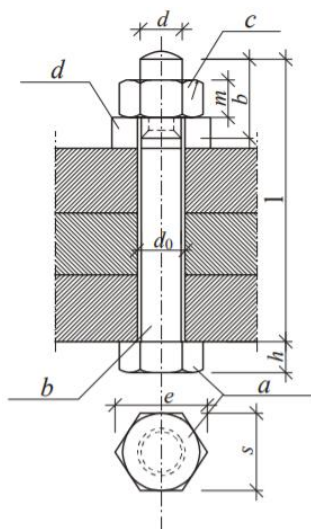
- неподешени,
- подешени и
- преднапрегнути.

Према новим називима ова подела гласи:

- завртњеве без тачног налегања - О завртњеве,
- завртњеве са тачним налегањем - ОТ завртњеве и
- преднапрегнути завртњеве - VV завртњеве.

Један комплет завртња састоји се из следећих делова (слика 6.):

- a - шестоугаоне главе,
- b - цилиндричног тела које се завршава навојем,
- c - шестоугаоне навртке са отвором у средини и навојем у унутрашњем делу отвора и
- d - подложне плочице (подлошке) кружног или квадратног облика са отвором у средини.

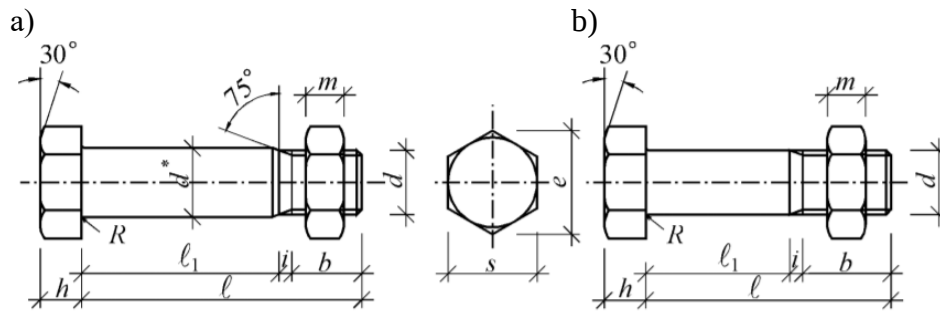


Слика 6. Облик (делови) завртњева [2].

Најважнији део завртња је тело завртња, који има доминатну улогу у преношењу сила у смичућим спојевима, где је напрегнуто на смицање и притисак по омотачу рупе. Тело завртња се завршава навојем, у пракси се најчешће користи завртњеве са десним навојем, постоје завртњеве и са левим навојем и они су на глави завртњева обележени.

Према тачности израде тела завртња, постоје две врсте завртњева:

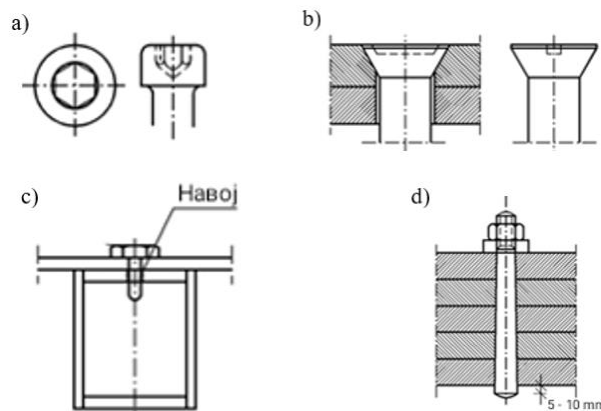
- 1) *обрађени завртњеве* (или упасовани, или завртњеве са тачним налегањем), код којих се обрадом на стругу постиже разлика између пречника рупе и тела завртња $\Delta d = d_0 - d \leq 0.3 \text{ mm}$ (слика 7. а),
- 2) *необрађени завртњеве* (или неупасовани, или завртњеве без тачног налегања) код којих је разлика између пречника рупе и тела завртња $\Delta d = d_0 - d \geq 1 \text{ mm}$ (слика 7. б). Ово одступање омогућава да необрађени завртњеве могу лако да се уграде на монтажи, без претходне предмонтаже у радионици.



Слика 7. а) обрађен и б) необрађен завртањ [2].

У посебним случајевима могу да се користе и специјални завртњеви, као што су:

- Завртњеви са унутрашњом шестоугаоном главом (слика 8. а), који се примењују углавном у спојевима код којих не постоји простор за постављање кључа за навијање навртке,
- Завртњеви са упуштеном главом (слика 8. б), у спојевима код којих се захтева да површина споја буде равна;
- Завртњеви без навртке (слика 8. с), у неприступачним спојевима код којих се не може поставити навртка, у том случају се у елемент споја урезује навој истог типа као и за навртку и
- Конусни завртњеви (слика 8. д), у спојевима са закивцима код којих је дебљина споја већа од допустене. Тело завртња је конично са нагибом изводнице од 1% и нема главу него се тело испушта 5-10 mm изван споја. Прво се буши цилиндрична рупа, а онда се проширује тако да добије конусни облик. Навртка и подлошка су стандардних димензија.

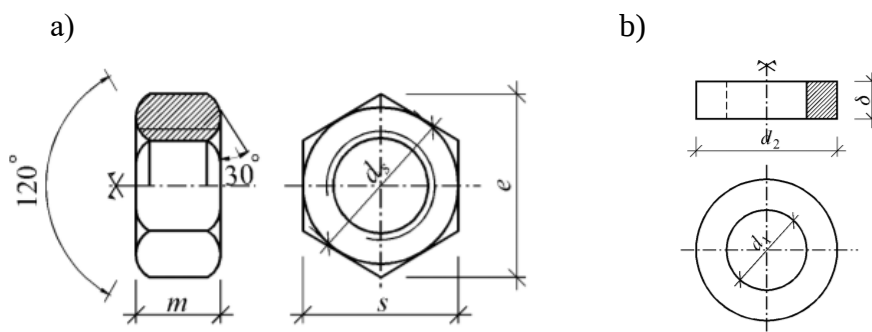


Слика 8. Специјалне врсте завртња: а) са унутрашњом шестоугаоном главом, б) са упуштеном главом, с) без навртке и д) Конусни завртњеви [2].

Навртка се израђује према стандарду, а у телу навртке је урезан исти тип навоја, као и за одговарајући завртањ (слика 9. а).

Подложне плочице (подлошке) код звртњева имају функцију да омогуће боље налегање навртке на споједни елемент, да спречи да се навој нађе у споју и да спречи ослањање навоја на зидове рупе приликом притезања навртке (слика 9. б). Оне се увек постављају испод навртке и израђују се у две класе према стандарду:

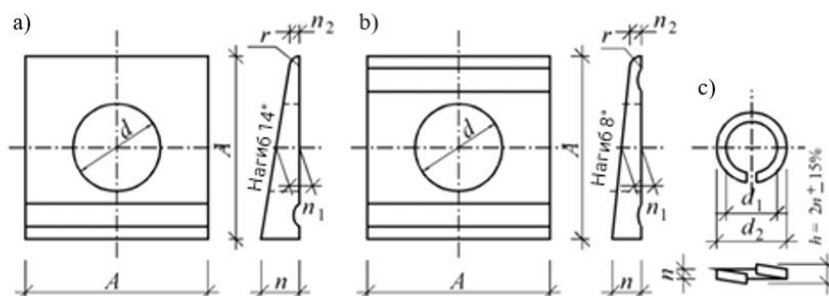
- 1) Класа А, са грубом израдом, без посебне обраде спољашње површине и
- 2) Класа В, са средње грубом израдом и са обрадом спољашње површине.



Слика 9. а) навртка и б) подложна плочица за завртњење [2].

Код ваљаних профила са нагибом унутрашње површине ножица примењује се, поред обичних подложних плоча и косе подложне плочице, да би се обе површине ножица довеле у паралелан положај, односно косе подложне плочице служе само да изравнају нагиб на ножицама профила. Код I профила према стандарду се израђују са нагибом од 14° (слика 10. а), док код U профила имају нагиб од 8° (слика 10. б), и то за профиле до U300, односно нагиб од 5° за профиле U300 и веће.

У спојевима код којих је потребно да постоје одређена померања између елемената који се спајају, да би се избегло напрезање завртњева у правцу њихове осе (нпр. у горњем делу везе два кранска носача система просте греде), примењују се еластичне подлошке (слика 10. с). Оне се примењују са обичном подложком, а жељено померање у споју се постиже деформисањем ове подложне плочице. Врло је важно да при монтажи завртњева са еластичном подложком не треба потпуно притегнути навртку, јер ако се тада деформише, еластична подложка губи своју функцију.



Слика 10. Косе подложне плочице: а) са нагибом од 14° и б) са нагибом од 8° и с) еластичне подложне плочице [2].

На радионичким цртежима се, ради прегледности и избегавања грешака, завртњеви представљају посебним ознакама. Ознаке су стандардизоване и дате су у табеларно.

2.3. Заваривање

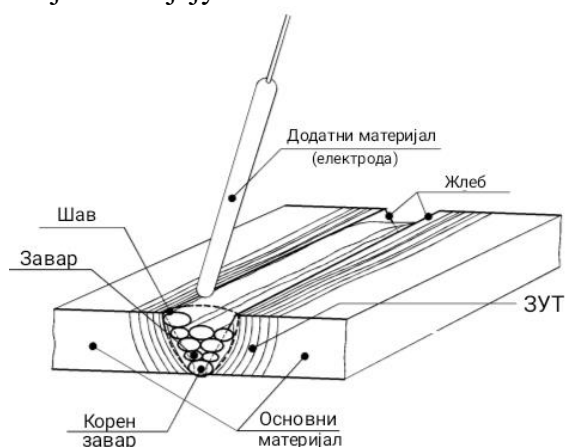
Заваривање, као начин остваривања веза између елемената, представља поступак који се користи мање од једног века, и то је један од најекономичнијих поступака за остваривања јаких веза, под условом да су повољни спољашњи услови (ветра, температура и сл.). Данас је израда металних конструкција, готово незамислива без примене заваривања, које се примењује при изради елемената конструкције (профила) и њихових веза [2, 4, 9, 10, 11, 12].

Заваривање је технолошки поступак за спајање истих или сличних метала. Спајање елемената се остварује помоћу високе температуре која изазива топљење додатног и основног материјала на месту споја. Растопи основног и додатног материјала (електроде или жице за заваривање) се међусобно мешају и долази до њиховог физичког и хемијског сједињавања. Након хлађења долази до очвршћавања, чиме се ствара шав, као физички континуитет материјала. На овај начин се остварује континуалан спој елемената који се заварују тако да спој има што равномерније корисне особине. За разлику од спојева изведених помоћу завртњева или закивака, код којих се сила са једног елемента се предаје на други дисконтинуално. Заварени спојеви спадају у нерастављиве спојеве (нису монтажно-демонтажног карактера), односно може да се демонтирају (раздвоје) само резањем шава или основног материјала.

Ради лакшег разумевања текста неопходно је да се дефинишу неки основни појмови који су карактеристични за заваривање (слика 11.), а то су:

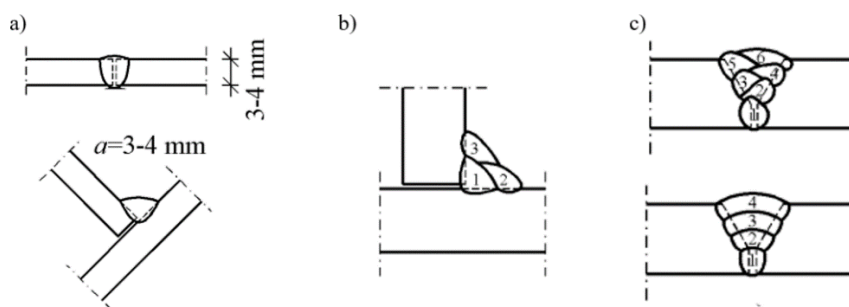
- *Основни материјал* је материјал од кога су израђени елементи (делови) који се спајају заваривањем.
- *Додатни материјал* је материјал (најчешће жица за заваривање или електрода), који се при заваривању постепено топи, тако да се меша и очвршћава заједно са растопљеним металом основног материјала у зони шава, образујући најпре завар односно растоп који, након хлађења и очвршћавања, формира шав. Додатни материјал мора да се изабере на адекватан начин како би се омогућило што боље и брже попуњавање жлеба и добро сједињавање са основним материјалом. Поред тога, он мора да поседује и елементе за легирање растопа чија је функција да створи услове за заштиту шава од гасова из атмосфере и да омогући постепено хлађење растопљеног метала. Спој одређује међусобни положај делова који се спајају.
- *Шав* (или *вар*) је део завареног споја који се образује очвршћавањем растопа добро измешаних делова истопљеног основног и додатног материјала на месту споја.
- *Зона утицаја топлоте* (скраћено ЗУТ) је зона у основном материјалу непосредно уз шав. У ЗУТ-у настају хемијско-физичке и структурне промена услед топлоте унете при заваривању.
- *Жлеб* је простор предвиђен за депоновање додатног материјала приликом заваривања. Његов облик зависи од врсте споја и дебљине елемената који се спајају. Основна функција жлеба је да се омогући правилно растапање по

дебљини основног материјала и добро испуњавање споја растопом. Код сучеоних шавова жлеб се формира обарањем ивица елемената који се спајају, док код угаоних шавова нису потребни никакви припремни радови, већ жлеб формирају ивице елемената који се спајају.



Слика 11. Основни појмови [2].

- *Заварени спој (завар)* је део нераздвојивог споја изведен заваривањем крајева радних предмета. Запажа се да се заварени спој или завар састоји из *шава* и *основног материјала* од којих су израђени радни предмети, ту је такође и *ЗУТ* као прелаз од шавови ка основном материјалу. Односно заварени спој је део шавови добијен топљењем додатног материјала у једном или више пролаза. Код сучеоних спојева танких елемената, дебљине 3-4 mm, као и код угаоних шавова мањих димензија ($a = 3-4 \text{ mm}$) шавови може да се изведе само једним заваром, односно само једним пролазом (слика 12. а). У случају сучеоних спојева и угаоних шавова већих димензија (дебљих елемената), шавови се изводе из више завара, односно више пролаза. Завар који се прво изводи назива се корени завар. Остали завари могу да се изводе паралелно са осом жлеба, (слика 12. б) или управно на њу (слика 12. с).

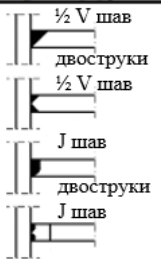
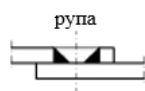
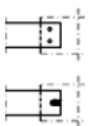


Слика 12. Поступак израде шавова: а) из једног завара (пролаза), б) из више завара (пролаза) паралелни са осом жлеба и с) из више завара (пролаза) управни на осу жлеба [2].

У зависности од међусобног положаја елемената који се заварују, разликују се следеће врсте спојева, који су такође приказани у табели 1.:

- сучеони спојеви,
- угаони или Т – спојеви и
- преклопни спојеви.

Табела 1. Преглед уобичајених спојева и врста шавова [2].

Врсте шавова	Врста споја		
	Сучеои спој	Угаони спој	Преклопни спој
Сучеои шавови са пуном пенетрацијом			-
Сучеои шавови са делимичном пенетрацијом			-
Угаони шавови	-		
Шавови у рупама	-	-	
Чеп шавови	-		

Заварљивост је способност материјала да може да се завари. Разликују се:

- *оперативна заварљивост*, као могућност да се оствари материјални континуитет између елемената који се спајају без појаве грешака,
- *металуришка заварљивост*, као услов добијања шавових захтеваног квалитета и
- *конструктивна заварљивост*, као способност формираног шавовог да се под оптерећењем понаша као и основни материјал.

Код заваривања топлота игра једну од најзначајнијих улога. Количина унесене топлоте утиче на количину истопљеног додатног и основног материјала као и на развој температуре у основном материјалу. Такође и од унесене топлоте зависи и брзина хлађења. Ови параметри су доминантни у погледу структурних промена које се одвијају у материјалу и од којих зависи квалитет изведеног споја.

Како извори топлоте могу да буду различити, сходно томе поступци заваривања, могу да се поделе према изворима топлотне енергије. При заваривању челичних и алуминијумских конструкција користе се:

3. електротермички извори топлоте,
4. термохемијски извори топлоте,
5. механички извори топлоте и
6. остали (различити) извори топлоте.

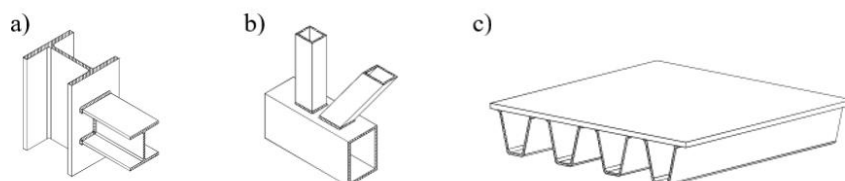
Примена одређеног поступка заваривања зависи од врсте конструкције и материјала који се заварује, дебљине елемената, величине и врсте напрезања, захтеваног квалитета споја, обима заваривачких радова, дужине шавова, места извођења заваривачких радова (у радионици или на градилишту), положаја заваривања и, наравно, од економских показатеља.

Заваривање се широко примјењује у градњи челичних конструкција попут мостова, дизалица, кровних конструкција, зграда, елемената (зупчаници, ременице,...), бродоградњи и сл. Заварени склопови су у односу на ливене или коване спојеве и до 50% лакши (уз једнаку чврстоћу и крутост), док је њихово обликовање једноставније. Из ових разлога је заваривање постало један од најважнијих начина спајања металних конструкција, а технологија заваривања се нагло развила у посљедњих педесетак година.

Такође заваривање се примењује и за израду основних елемената металних конструкција, широког асортимана, као што су I, U, сандучасти, кружни и други профили. Елементи се спајају директно, без додатних елемената као што су појасни угаоници код закованих носача и штапова, чиме се знатно штеди на основном материјалу. Осим тога, нема слабљења елемената услед рупа за закивке, па је њихова носивост већа.

Заваривање може и да се примењује и за израду монтажних наставка, али је у условима који владају на градилишту, тешко је обезбедити неопходни квалитет шавова, стога се монтажни наставци најчешће изводе помоћу завртњева.

Неки од карактеристичних примера заваривања у металним конструкцијама приказани су на слици 13.



Слика 13. Примери примене заваривања у металним конструкцијама: а) веза греде са стубом; б) чвор решеткастог носача и с) ортотропна плоча [2].

Може се рећи да је са применом заваривања у грађевинским конструкцијама, отпочела нова ера металних конструкција. Отворене су многобројне могућности за конструисање и израду металних конструкција, проширено је поље њихове примене, а такође су примењена и нова конструкцијска решења (нпр. ортотропне плоче). Основне предности које нуди заваривање у односу на механичка спојна средства су:

- материјални континуитет којим се омогућава правилан, континуалан ток сила из једног у други елемент везе или наставка,
- остваривање крутих, односно слабо деформабилних веза, што је посебно важно код динамички оптерећених конструкција,
- редукција укупне тежине конструкције, која се пре свега манифестује кроз смањење тежине веза и наставка,
- могућност варирања дебљине елемената, чиме се постижу уштеде у тежини конструкције,

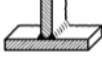
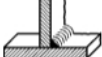
- смањење времена неопходног за припрему комада који се спајају (отпада потреба за бушењем рупа за спојна средства),
- избегавање слабљења елемената рупама за спојна средства,
- велике могућности конструкцијског обликовања веза између елемената различитих облика и димензија,
- могућност остваривања непропусних спојева и
- побољшање изгледа конструкције.

Као најважнији недостаци заваривања могу се навести:

- потреба за квалификованом радом снагом,
- неопходан процес контроле квалитета у радионици и на градилишту,
- посебни захтеви у погледу климатских услова приликом заваривања на градилишту,
- повећана осетљивост на дејство пожара.

Код техничке документације (радионичких цртежа) шавови се приказују помоћу посебних ознака. Оне треба да дефинишу врсту и димензије шавови, начин и положај извођења, обраду лица шавови, као и квалитет и захтевану контролу шавови. Основне ознаке, за најчешће примењиване врсте шавови у грађевинским металним конструкцијама су приказане у табели 2. Упоредивањем скице и ознаке шавови види се да је ознака најчешће конципирана тако да подсећа на стварни изглед шавови.

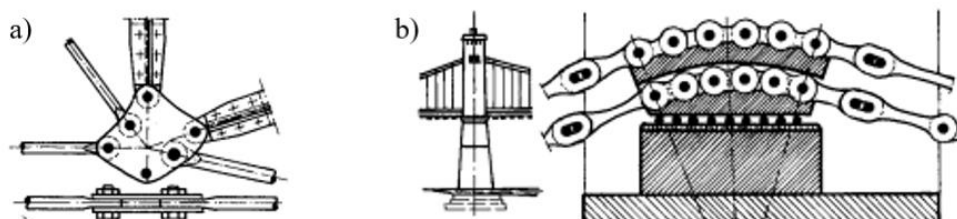
Табела 2. Основне ознаке шавови [2].

Назив шавови	Изглед	Ознака
I - шав		
V - шав		
V - шав са провареним кореном		
1/2V - шав		
K - шав		
X - шав		
U - шав		
Угаони шав		

Осим основних ознака користе се и допунске ознаке помоћу којих се дефинишу додатни подаци који се односе на облик лица шавови, захтевни поступак заваривања итд.

2.4. Чепови

У почетном периоду развоја челичних или металних конструкција везе штапова са чепом су често примењиване, нарочито у конструкцијама великих распона као што су мостови. У оваквим конструкцијама чепови су углавном коришћени за израду чворова код решеткастих носача (слика 14. а) и за остваривање веза ланчаника и затега израђених од равних лимова код viseћих мостова (слика 14. б). Тако је још 1854. године изграђен мост преко реке Елбе у Тешену, распона 119 m, а почетком овог века и чувени Ланчани мост преко Дунава у Будимпешти, распона 290 m. Широка примена чепова у носећим челичним конструкцијама је била логична последица једноставног извођења и правилног статичког понашања везе. Везе изведене помоћу чепова су, по свом понашању, веома блиске идеално зглобним везама, јер омогућавају слободну ротацију штапа на месту везе, па су елементи ослобођени дејства секундарних момената савијања. Међутим, овакве везе немају додатну сигурност у погледу носивости, јер отказивањем једног чепа, односно затега, долази до лома читаве конструкција. Осим тога, преглед и антикорозиона заштита веза су веома отежани [2].



Слика 14. Примена спојева са чеповима: а) за израду чворова и б) за остваривање веза ланчаника и затега [2].

Нова теоријска сазнања о статичком понашању конструкција и побољшање и убрзање прорачуна применом савремених софтверских пакета, као и развој технологије производње елемената челичних конструкција, као што су каблови, проузроковали су драстично смањење примене чепова за израду веза код носећих челичних конструкција. Међутим, везе са чеповима се примењују и данас, али само у специјалним случајевима, када неки посебни услови диктирају примену веза са потпуно слободном ротацијом. Најчешће се везе са чеповима примењује за:

- за израду ослоначких конструкција код стубова код којих се очекују деформације услед слегања темеља (нпр. аеродромска зграда у Кансају у Јапану),
- за израду монтажних оплата, скела, покретних мостова и радних платформи,
- за везе затега код viseћих мостова,
- за везу кука код кранова и наставака сајли у машинској индустрији,
- код монтажно-демонтажних објеката, као што су мостови у војној индустрији,
- за везу анкер носача код мостова система континуалних носача, код којих се јављају негативне реакције (одизање ослонаца).

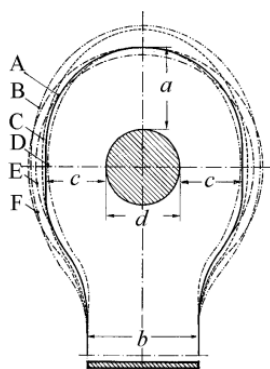
Веза са чеповима реализује се када је потребно да се оствари кретање између делова у споју [1]. Чепови су цилиндрични челични елементи преко којих се остварује веза два окаста штапа. Веза два окаста штапа се изводи искључиво са једним чепом, чиме се омогућава слободна ротација везе. Приликом постављања чепова потребно је да се спречи могућност њиховог испадања што се углавном чини помоћу осигурача у виду клинастих граничника, или навртке у том случају када се примењује чеп у виду завртња,

са главом и навојем. Тело чепа је истовремено изложено дејству смицања и савијања, па се у њему јављају нормални и смичући напони, напрезање чепова је комплексно.

Облик окастог штапа је еволуирао од правоугаоног до штапа са полукружним завршетком. На слици 15. су приказани облици и димензије окастих штапова према препорукама различитих аутора. Данас се најчешће користе окасти штапови са односима димензија које је предложио Винклер: $d/b = 0,75$,

$$a = b/2 + 21d/3 \text{ и}$$

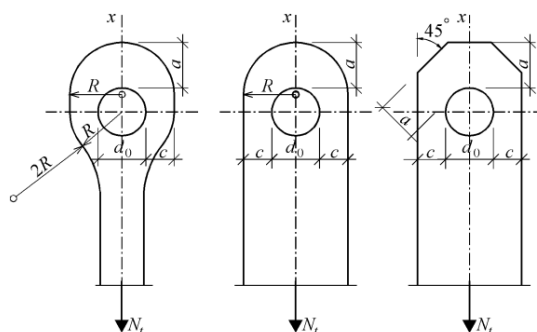
$$c = b/2 + d/3.$$



- А - Елизабетин мост у Будимпешти
- В - по Винклеру,
- С - по Хеслеру,
- Д - по Герберу,
- Е - у Пенкојдовим објектима и
- Ф - у изведеним објектима Baltiomor-Bridž фирме

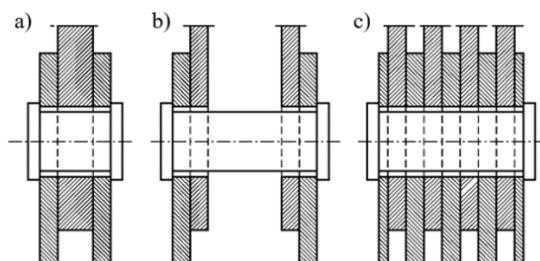
Слика 15. Упоредне димензије главе окастог штапа [2].

У конструкторској пракси се најчешће сусрећу облици окастих штапова приказаних на слици 16.



Слика 16. Најчешће примењени облици окастих штапова [1].

Окасти штапови могу да буду конструисани као једноделни, дводелни и вишеделни елементи (слика 17.). Предност вишеделних штапова у односу на дводелне састоји се у употреби чепа са мањим пречником, јер се добија мањи напон услед савијања.

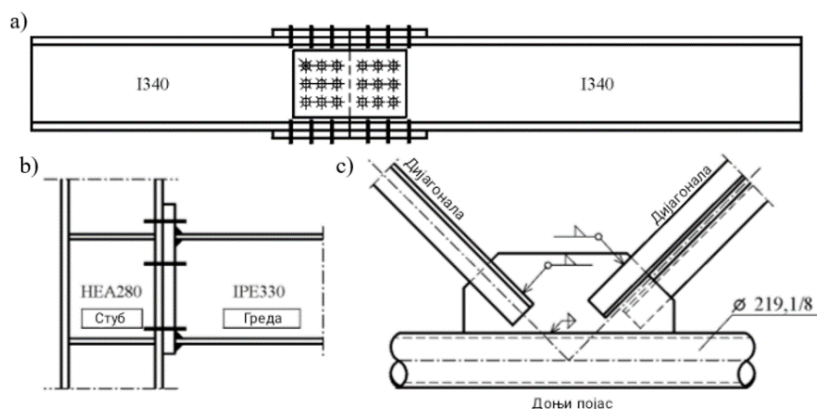


Слика 17. Конструисање веза са чеповима: а) једноделни, б) дводелни и в) вишеделни [2].

3. Наставци и везе

Наставци и везе у металним конструкцијама су проблематика која насатаје паралерно са настанком првих конструктивних елемената [2, 12].

Под појмомо *наставак* (слика 18. а) подразумева се спој два или више, слична дела једног истог елемента конструкције (нпр. штап или носач). Док су *везе* спојеви различитих елемената конструкције, на пример веза греде и стуба (слика 18. b), или штапова решеткастог носача за чворни лим (слика 18. c) итд.



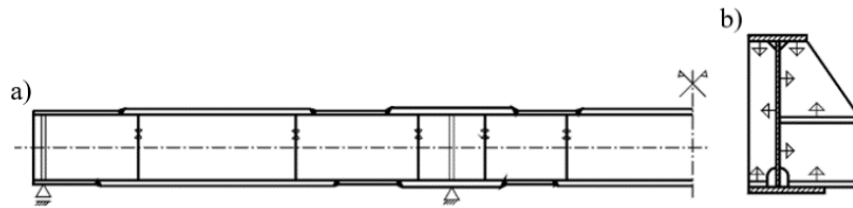
Слика 18. а) Наставак штапа, b) Веза греда-стуб и c) Веза штапова у чвору решеткастог носача [2].

Наставци и везе могу да се изводе заваривањем и помоћу завртњева и закивака. Избор спојног средства има велики утицај на економичност конструкције и на њено понашање под оптерећењем. Заваривањем се добија хомогенији спој, а пренос сила је континуалнији. Међутим, за заваривање су потребни контролисани атмосферски услови, посебна опрема и квалификована радна снага. Осим тога, при заваривању долази до деформација елемената и до појаве заосталих напона. Спајањем завртњевима или закивцима остварује се дисконтинуалан, тачкаст спој, а неопходни су и додатни лимови – подвезице, што додано утиче и на цену. Због тога је у пракси извршено јасно разграничење по питању примене спојних средстава: заваривање се углавном примењује при изради конструкције у радионици, а завртњеви за израду наставака и веза на градилишту.

Свака конструкција представља посебан проблем који треба решити и у циљу њиховог лакшег анализирања по различитим параметрима, подела веза и наставака може да се изврши на основу различитих критеријума.

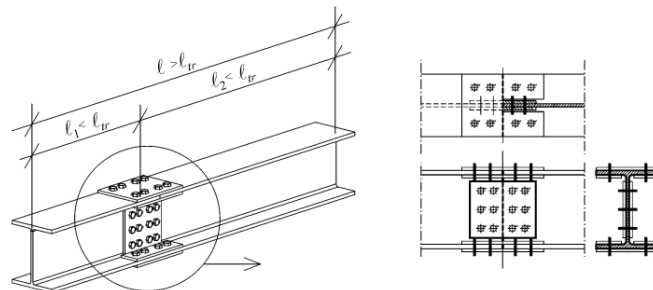
У зависности од тога да ли се наставак, односно веза изводи у радионици или на градилишту (монтажи), постоје:

- а) Радионички наставак и везе (слика 19.) се изводе у радионици приликом израде елемената конструкције. То су наставак ваљаних профила или заварених елемената, наставак лимова различитих дебљина, као и везе различитих елемената једног монтажног склопа. Они се углавном изводе заваривањем помоћу угаоних или сучеоних шавова.



Слика 19. Радионички наставци и везе: а) носач дизлице и б) веза попречног са главним носачем [2].

б) *Монтажни наставци и везе* (слика 20.) се изводе на градилишту када су димензије елемената такве да прелазе дозвољене вредности за нормалан транспорт. То су наставци линијских елемената (штапова или носача) чија дужина је већа од транспортне дужине ($l > l_{tr} = 12,5 \text{ m}$), на пример наставци делова монтажних комада код мостова и слично. Монтажни наставци и везе се углавном изводе помоћу завртњева. Уколико на градилишту постоје одговарајући услови, као што је покретна радионица при изради мостова, може да се примењује и заваривање.



Слика 20. Монтажни наставци [2].

У једном елементу конструкције могу да се појаве:

- *делимични или парцијални*, наставци уколико се врши настављање само појединих делова елемената и
- *потпуни наставци*, уколико се врши прекидање и настављање свих елемената попречног пресека.

Радионички наставци могу да буду делимични или потпуни, а монтажни наставци су увек потпуни наставци.

У зависности од положаја елемената који се спајају, наставци могу да буду:

- 1) *Сучеони наставци* (слика 21. а) који се остварују између два лима, исте или различите дебљине, који леже у истој равни.
- 2) *Сучеони наставци са подвезицама* (слика 21. б) се, такође, остварују између два лима који леже у истој равни, а изводе се помоћу додатних елемената у виду челичних лимова (подвезица). Подвезице се постављају са обе стране, како би се избегло ексцентрично напрезање.
- 3) *Преклопни наставци* су наставци два елемента који су међусобно преклопљени на одређеној дужини преко које се врши повезивање (слика 21. с).

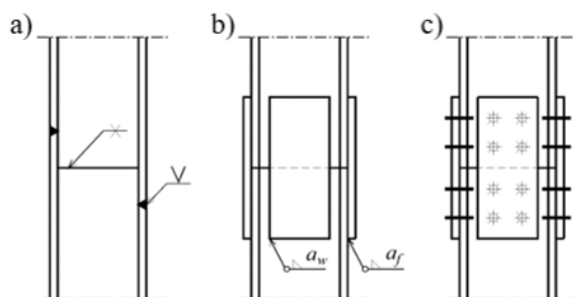


Слика 21. а) Сучеони наставци, б) Сучеони наставци са подвезицама и в) Преклопни наставци[2].

Постоје много различитих типова наставака и веза у зависности од врсте оптерећења, начина остваривања веза, међусобног положаја елемената који се спајају, као и облика њухобог попречног пресека. Код челићних конструкција се најчешће срећу следећи типови наставака и веза:

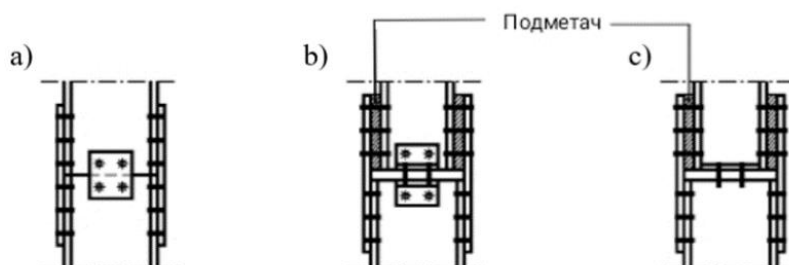
- монтажни наставци штапова, стубова и носача,
- веза носача са стубом под углом и
- веза носача под углом.

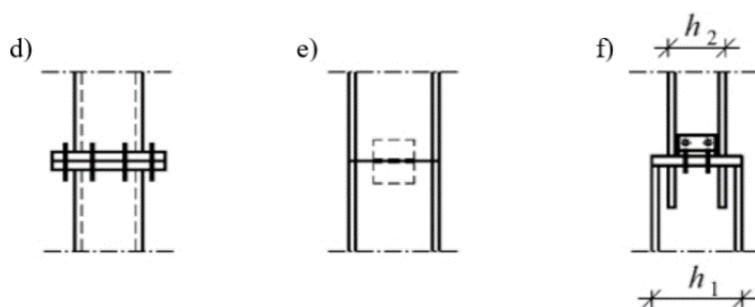
Монтажни наставци штапова (слика 22.) се, најчешће, изводе заваривањем сучеоним шавовима, или у виду преклопних наставака остварених помоћу подвезица које могу да буду заварене или спојене завртњевима.



Слика 22. Монтажни наставци штапова: а) заваривањем сучеоних шавова, б) преклопни наставак помоћу подвезице који је заварен и в) преклопни наставак помоћу подвезице који је спојен завртњевима [2].

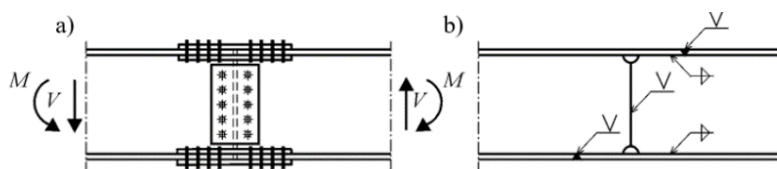
Монтажни наставци стубова (слика 23.) могу да се остваре на више различитих начина. Монтажни наставци могу да буду у потпуности изведени помоћу завртњева (слика 23. а, б), или заваривањем (слика 23. в). Осим оваквих типова наставака могу да се примењују и комбиновани наставци (слика 23. г, д) који представљају боља решења у погледу монтаже. Такође могу да се примењују наставци различитих ширина стубова (слика 23. ф).





Слика 23. Различите могућности за остваривање монтажних наставака стубова: а) помоћу завртњева, б)) помоћу завртњева са подметачем, с) комбиновани наставка са подметачем, д) комбиновани наставка, е) заваривањем и ф) различите ширине стубова [2].

Монтажни наставци носача (слика 24.) се најчешће изводе помоћу завртњева, а могу бити и у завареној изради. Пример монтажног наставка гредног носача I-профила изведен помоћу завртњева, приказан је на слици 24. под а, док под б је приказано када се наставка изводи заваривањем сучеоним шавовима.

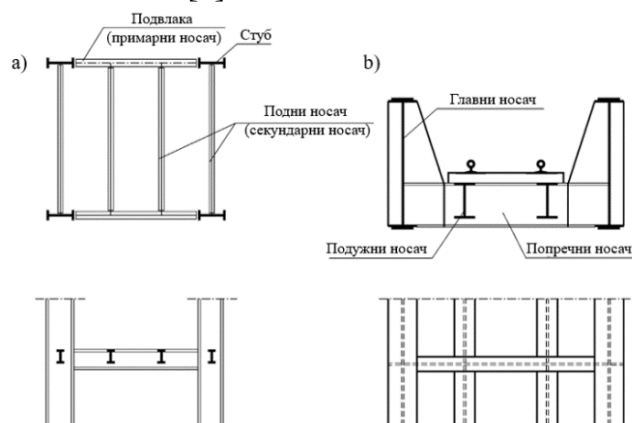


Слика 24. Монтажни наставци носача: а) помоћу завртњева и б) у завареној изради [2].

Везе носача са стубовима под углом, као и везе два носача под углом могу да буду зглобе и круте, о којима ће се говорити касније у раду. Везе носача под углом се веома често јављају у зградарству (веза секундарног са примарним носачем) и мостogradњи (веза подужног и попречног носача).

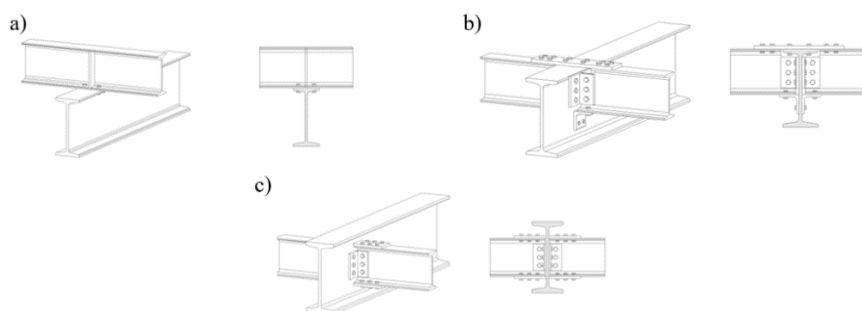
4. Веза под углом

Као што је већ претходно речено да се веза под углом се веома често јавља у зградарству између подвлака и секундарних носача и између носача и стубова (слика 25. а), у мостоградњи између попречних и подужних носача и између попречних и главних носача (слика 25. б). Везе под углом су, такође, неизбежне код носећих система роштилног типа. Најчешће је угао под којим се везују елементи прав, али су могуће и косе везе које су скупље и у погледу утрошка материјала и у погледу времена потребног за израду, па их треба избегавати [2].



Слика 25. Примери везе под углом: а) у зградарству и б) у мостоградњи [2].

Начин конструктивног обликовања везе два носача под углом зависи од расположиве конструктивне висине конструкције. Ако расположива висина није ограничена, веза се остварује укрштањем носача, односно директним ослањањем једног носача на други, што је и најједноставније решење (слика 26. а). Међутим, уколико је конструктивна висина ограничена, што је чешћи случај, везивање се врши тако да горње ножице носача леже у истој равни (слика 26. б). Код изразито малих конструктивних висина може се извршити упуштање носача (слика 26. с), колико то дозвољавају функционални услови (на пример постављање коловозне табле или шина код мостова).



Слика 26. Међусобни положај носача код веза под углом: а) укрштање носача, б) горња ножица носача лежи у истој равни и с) упуштање носача [2].

Са статичког аспекта веза под углом може да буду:

- зглобна (преносе само трансверзалну силу) или
- крута (преносе момент савијања и трансверзалну силу).

Међутим реално понашање веза у конструкцијама, што је показано и у многобројним експериментима, односно показало се да велики број крутих веза не поседује довољну крутост, па при оптерећењу долази до извесне релативне ротације на месту везе. Са

друге стране, ни зглобна веза се не понаша идеално, већ и она при оптерећењу показује одређен степен ротационе крутости, такође су оптерећене и моментом услед ексцентричног везивања, па се може рећи да поседују извесан, мали степен укљештења (еластично укљештење). Веза које по свом понашању представљају прелаз између зглобних и крутих веза називају се *полукрута веза*.

Као и све остале везе у металним конструкцијама и веза под углом се остварују помоћу свих конвенционалних спојних средстава, дакле помоћу завртњева, заваривањем и др.

4.4. Зглобна веза

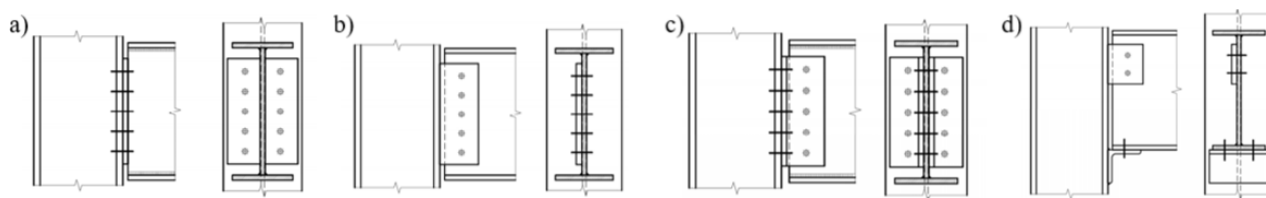
Зглобна веза преносе нормалне и смичуће силе на месту везе, али не и моменте савијања. Код ове везе потребно је да може да се оствари довољан капацитет ротације везе [2].

На основу отпорности, зглобна веза може да се поделе на:

- 1) *номинално зглобну везу* која преноси само силе, чијем дејству су изложене, без развијања значајних момената савијања који могу да имају неповољан утицај на елементе конструкције,
- 2) *делимично отпорну везу* код које је рачунска отпорност таква да може да пренесе силе и моменте који на њу делују, али је мања од отпорности елемента који се везују и
- 3) *потпуно отпорну везу* код којих је рачунска отпорност већа или једнака од оне којој има елемент са којим се везује.

У челичним конструкцијама је веома честа примена носача просте греде, стога су и разрађени много системи зглобних веза. Начин конструисања оваквих веза зависи од интензитета ослоначких реакција, понашања при деформацији и односа габарита носача који се везују. Као оптимално решење је оно које захтева минималне трошкове израде и једноставно је за монтажу. Тако да сходно томе, код челичним или металним конструкција се најчешће примењују (слика 27.):

- a) веза са чеоном плочом,
- b) веза са прикључним лимом,
- c) веза са прикључним угаонцима и
- d) веза помоћу столице.



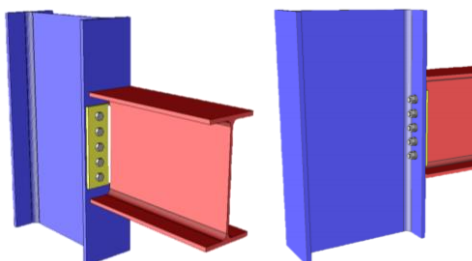
Слика 27. Зглобна веза: a) са чеоном плочом, b) са прикључним лимом, c) са прикључним угаонцима и d) помоћу столице [2].

Зглобна веза може бити између:

- стуба и носач и
- две носача.

4.4.1. Зглобна веза са чеоном плочом

Веза са чеоном плочом се углавном изводе помоћу чеоне плоче која се заварује за ребро носача и спаја са прикључном површином помоћу завртњева (слика 28.). Преношење трансверзалне силе помоћу чеоне плоче остварује се без ексцентрицитета ($e=0$), па се избегавају секундарни утицаји момента ексцентричности, што представља знатну предност у односу на остале типове веза. Мада код ових веза захтева се већа прецизност израде, мањих толеранција [2].



Слика 28. Веза са чеоном плочом.

Преношење трансверзалне силе се остварује тако што се реакција из ребра носача уноси у чеону плочу помоћу обостраних угаоних шавова, а затим се из чеоне плоче помоћу завртњева преноси на прикључну површину. Прорачун оваквих веза врши се сходно начину преношења силе.

Основни елементи зглобне везе са чеоном плочом су:

- завртњеви,
- чеона плоча,
- ребро греде и
- шавови.

Да би се избегло круто понашање везе неопходно је да шавови имају већу носивост од носивости ребра греде.

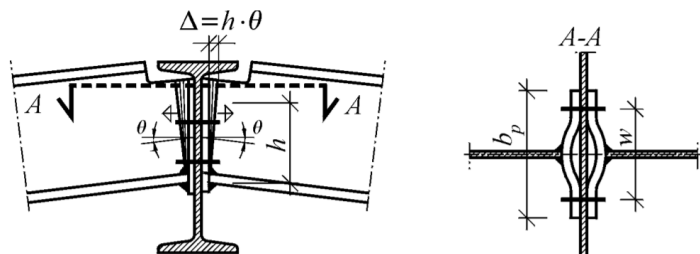
Код димензионисање чеоне плоче треба тежити што је могуће мањим димензијама, да би се избегли ефекти укљештења.

Висина чеоне плоче (h_p) треба да буде довољна како би се обезбедило уношење трансверзалне силе у ребру носача, односно висина чеоне плоче треба да задовољи следеће услове:

- услов конструисање везе и задовољења прописаних минималних растојања завртњева,
- услов смицања у ребру носача и
- услов носивости шавова за везу ребра носача са чеоном плочом.

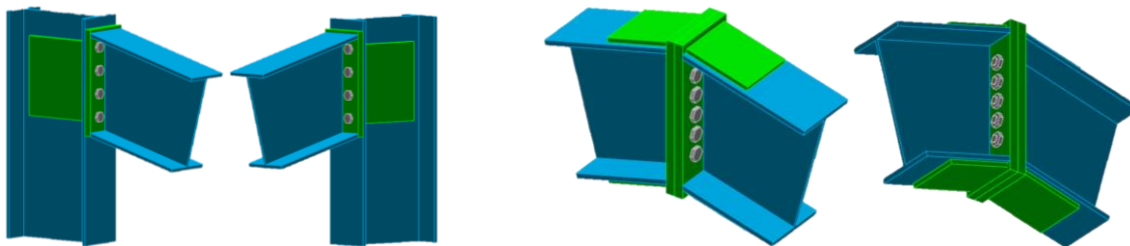
Дебљина чеоне плоче (t_p) не треба да буде велика (углавном је око $t_p = 10 \text{ mm}$), како би се обезбедило обртање на месту везе, а такође и велике дебљине чеоне плоче доводе до значајне носивости веза на савијање. Сходно томе добрим избором положаја завртњева и мале дебљине чеоне плоче (до $t_p = 10 \text{ mm}$) омогућава се правилно преношење везе.

Дејство зглоба код оваквих веза се остварује деформацијом чеоне плоче (слика 29.), која омогућава обртање везе за угао θ . Због тога је пожељно да чеона плоча буде што краћа и не сувише дебела, како би се остварило обртање везе уз што мање секундарне ефекте, као што су моменти укљештења који изазивају силе затезања у завртњевима. Док обликовањем везе може се спречити да се у завртњевима јављају значајне силе услед ефекта укљештења.



Слика 29. Деформација чеоне плоче ускед обртања ослоначког пресека [2].

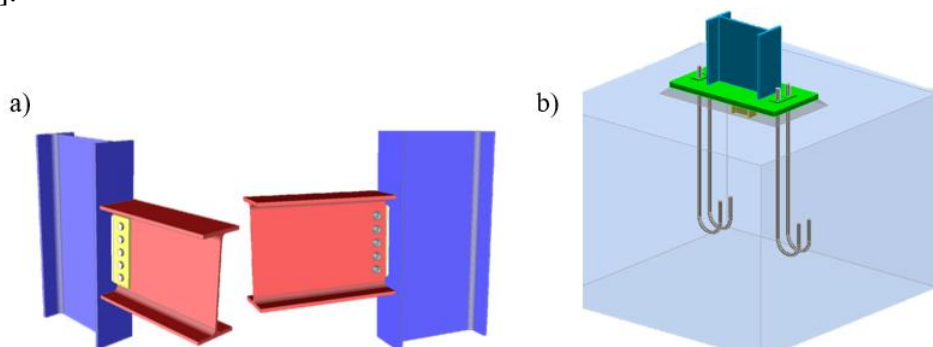
Помоћу чеоних плоча могу врло ефикасно да се остваре и косе везе под углом (слика 30.). При конструисању оваквих веза неопходно је водити рачуна о положају завртњева на оштроугаоној страни везе, како би се обезбедила њихова уградња.



Слика 30. Косе веза под углом.

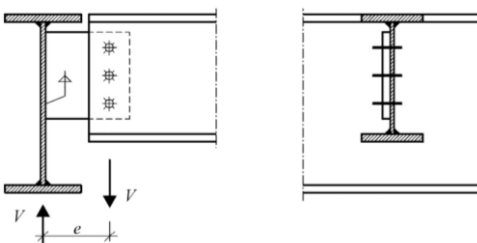
4.4.2. Зглобна веза са прикључним лимом

Везивање са прикључним лимом (слика 31. а) је једноставан за израду, јер се врши само одсецање носача на пројектовану дужину и буше одговарајуће рупе. Монтаже је такође једноставна као и израда, јер је веза приступачна, а уградња завртњева лака. Као један од главних недостатака овог решења је што је веза осетљива на бочно померање, јер нема велики степен торзијалног укљештења. То је гланни разлог зашто се примена оваквих веза не препоручује за пријем реакција великих интезитета. Углавном се примњују код носача чија је бочна стабилност горњег појаса у потпуности обезбеђена (на пример помоћу круте армиранобетонске плоче (слика 31. б), или хоризонталног спрега) [2].



Слика 31. Веза са прикључним лимом: а) 3D приказ и б) армиранобетонска плоча.

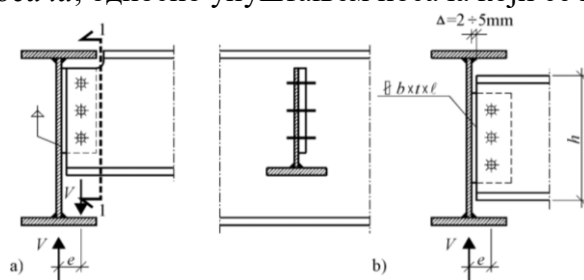
Код оваквих веза поред трансверзалне силе јавља се и момент ексцентрицитета ($M_e = V \cdot e$), чији интензитет зависи од ексцентрицитета везе e и ослоначке реакције носача V . Ако конструктивни или функционални разлози диктирају постављање горњих ножица носача у истој равни, због великог ексцентрицитета момент ексцентрицитета може да има значајну вредност (слика 32.). Ексцентрицитет неповољно утиче на напрезање подвлаке.



Слика 32. Зглобна веза са прикључним лимом [2].

Ексцентрицитет се може смањити конструкцијским обликовањем и то се може постићи на следећа два начина:

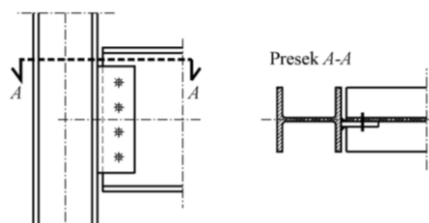
- 1) засецањем једне или обе ножице, зависно од односа габарита носача који се везују (слика 33. а) или
- 2) денивелација носача, односно упуштањем носача који се везује (слика 33. б).



Слика 33. Смањење момента ексцентричности: а) једностраним засецањем ножице носача и б) денивелација носача [2].

Међутим када се врши засецање ножице носача, мора да се контролише напрезање носача у ослабљеном пресеку на најудаљенијем месту од ослонца (пресек 1-1, слика 33.). Како се у истом пресеку (1-1) јављају и трансверзална сила и момент савијања, потребно је да се изврши и контрола упоредних напона.

Осим претходно наведена два начина везивања носача под углом, она се такође може остварити са знатно мањим ексцентрицитетом и без засецања ножица, ако се носач везује са стубом (слика 34.).

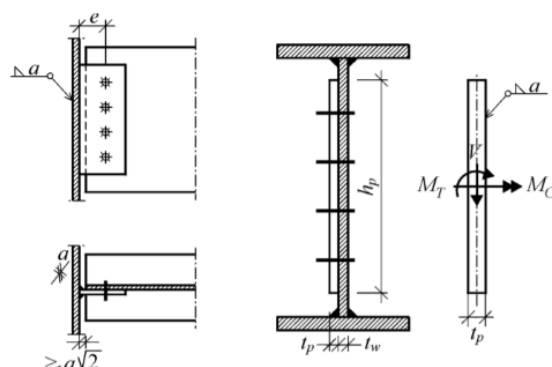


Слика 34. Веза носача са стубом – мали ексцентритет [2].

Прикључни лим у равни споја, односно у односу на осовину ребра носача јавља се момент торзије (M_T), који оптерећује како прикључни лим тако и његову везу са прикључном површином. Осим тога, услед неизбежног ексцентрицитета, јавља се и момент савијања (M_C).

Дакле, прикључни лима у равни споја је оптерећен са (слика 35.):

- M_T – моментом торзије,
- M_C – моментом савијања и
- V – трансверзалном силом.

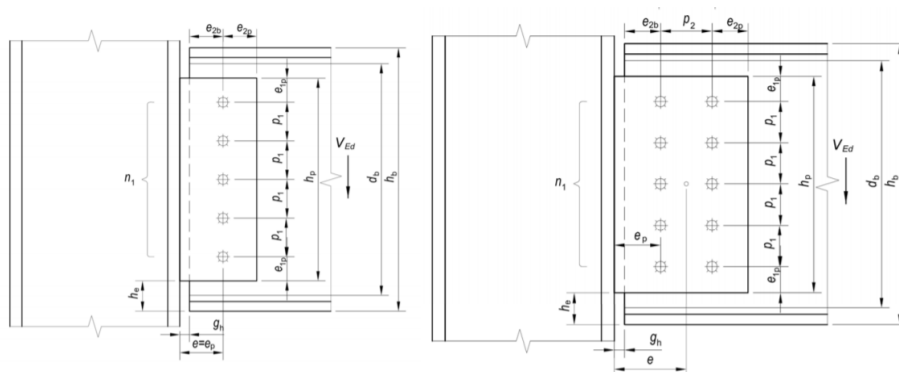


Слика 35. Напрезање елемената везе са прикључним лимом [2].

Принцип прорачуна оваквих веза заснива се на провери свих елемената везе који су неопходни за преношење силе са једног на други носач. Сходно томе, при димензионисању обавезно је проверити носивост у основним елементима ове везе, односно обавезно је проверити носивост у:

- *шавовима* - веза прикључног лима и прикључне површине (ребро ослоначког насача или ножица стуба),
- *прикључном лиму* и
- *завртњевима* - веза прикључног лима са ребром носача.

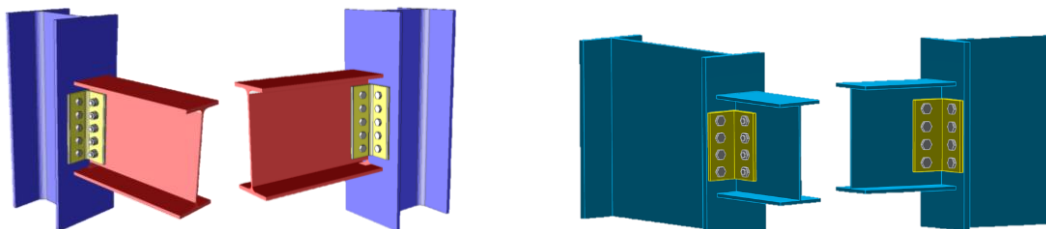
Веза носача са прикључним лимом се остварује завртњевима. Углавном се примењују необрађени завртњеви различитих класа чврстоће, у зависности од интензитета ослоначке реакције. Завртњеви су оптерећени трансверзалном силом V и моментом ексцентрицитета M_e . А у зависности од потребе, везе може бити са једним или више редова завртњева (слика 36.).



Слика 36. Веза са прикључним лимом са једним и два реда завртњева [2].

4.4.3. Зглобна веза са прикључним угаонцима

Овакве везе представљају комбинацију зглобних веза са чеоном плочом и веза са прикључним лимом (слика 37.) [2].



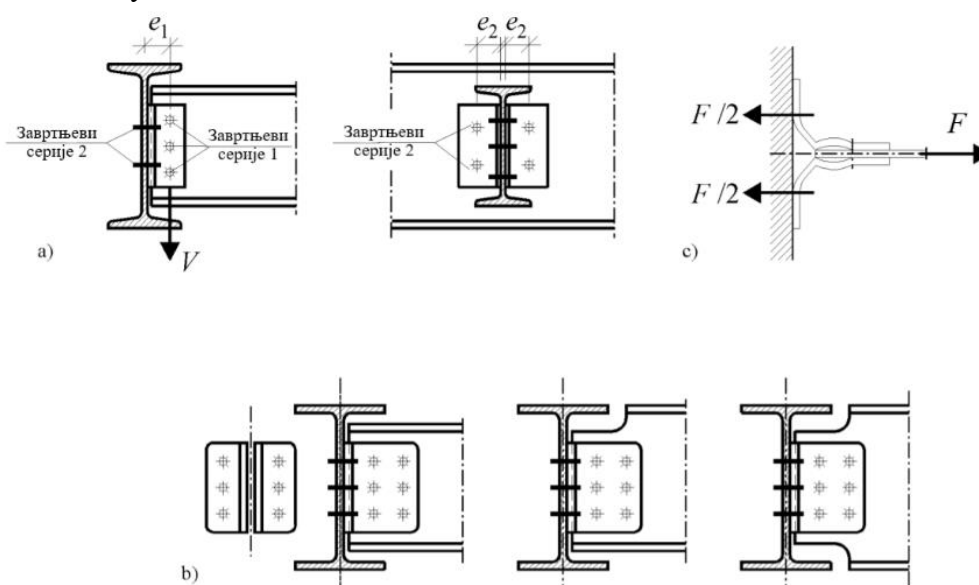
Слика 37. Везе са прикључним угаонцима.

Разликују се две серије завртњева (слика 38. а), а то су:

- I. завртњеви серије 1 су завртњеви за везу ребра носача са прикључним угаоником и
- II. завртњеви серије 2 су завртњеви којима се остварује веза угаоника са прикључном површином.

Везивање угаоника за прикључну површину остварује се, углавном, завртњевима, мада има и решења у завареној изради. Код веза за пријем сила већег интензитета неопходно је да се поставе два или, евентуално, три реда завртњева на ребру прикључног носача (слика 38. б).

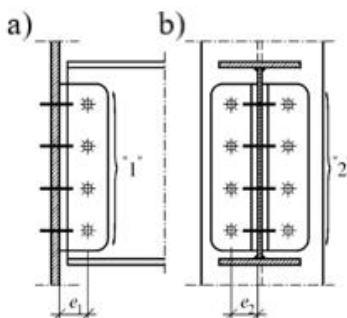
Обртање ослоначког пресека зглобно ослоњеног носача система просте греде изазива и обртање везе. То се врши на рачун деформације горњег дела угаоника (слика 38. с), врата завртњева изложених чупању и прикључне површине, уколико она није крута. Тако да прорачун везе мора да обухвати контролу свих елемената помоћу којих се врши преношење сила у вези.



Слика 38. Веза са прикључним угаонцима: а) две серије завртњева, б) три реда завртњева на ребру прикључног носача и с) деформација горњег дела угаоника [2].

Завртњеви серије 1 оптерећени су трансверзалном силом V (реакција носача) и моментом ексцентрицитета $M_e = V \cdot e$. Како се веза остварује са два угаоника, то су завртњеви серије 1 двосечни.

Док начин преношења силе са угаоника на прикључну површину, односно на завртњеве серије 2 се остварује помоћу трансверзалне силе која се јављају и два момента ексцентрицитета (слика 39.), један лежи у равни ребра носача (M_{e1}), а други у равни везе угаоника са прикључном површином (M_{e2}).

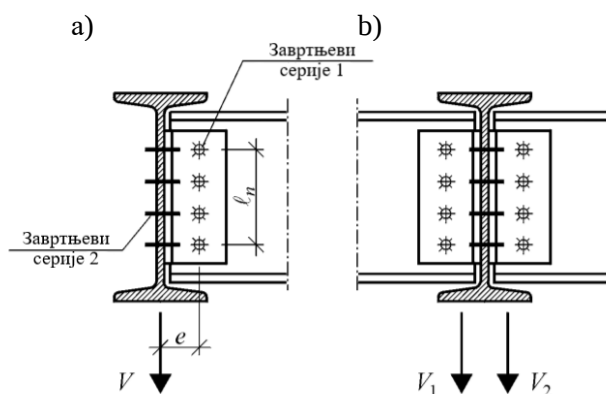


Слика 39. Два момента ексцентрицитета: а) M_{e1} - у равни ребра носача, б) M_{e2} - у равни везе угаоника са прикључном површином [2].

Међутим утицај момента M_{e1} на чупање завртњева серије 2 може да се занемари, јер су угаоници врло деформабилни. Као и утицаји у завртњевима, изазвани дејством момента M_{e2} су незнатни у односу на оне изазване трансверзалном силом, па и оне углавном могу да се занемаре. Дакле, веза прикључног угаоника за прикључну површ, односно завртњеви серије 2 оптерећени су само на утицај трансверзалне силе V .

У колико се веза носача остварује само са једне стране (слика 40. а), завртњеви серије 2 су једносечни. Међутим, у случају обостраних веза (слика 40. б), завртњеви серије 2 су двосечни и прихватају трансверзалне силе, односно реакције два суседна носача. Код оваквих веза, у случају непреднапругнутих завртњева, при прорачуну завртњева серије 2 треба извршити следеће контроле:

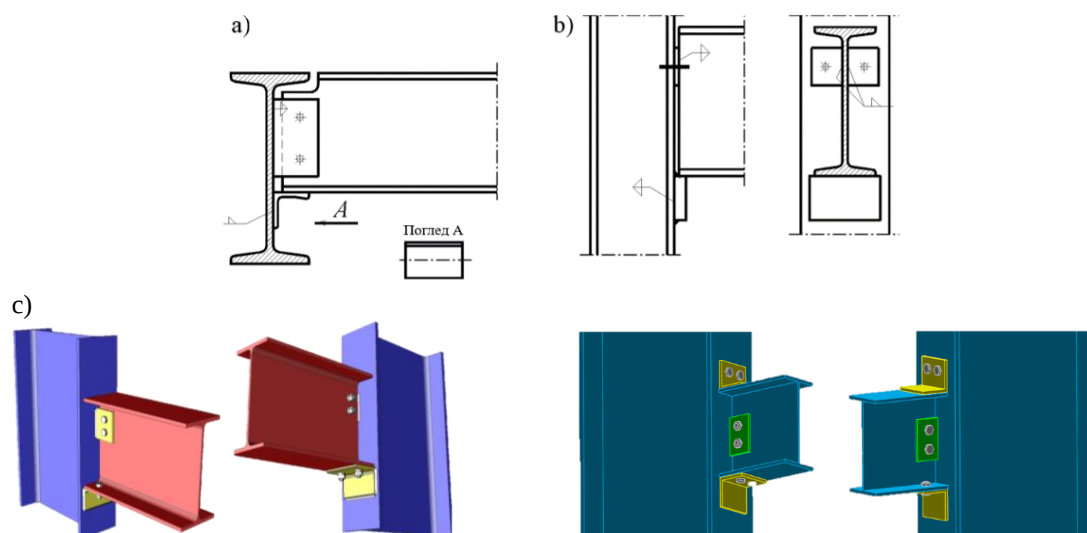
- контрола носивости завртњева на смицање за сваки носач посебно и
- контрола притиска по омотачу рупе прикључне површине, која прихвата обе реакције.



Слика 40. Веза са прикључним угаоницима: а) две серије завртњева, б) три реда завртњева на ребру прикључног носача [2].

4.4.4. Зглобна веза помоћу столице

Ово решење је посебно погодно за лаку монтажу носача. Као столица се најчешће користи *угаоник* (слика 41. а, с), који може бити у виду L профила, или *лим* (слика 41. б, с) преко којег се директним контактом преноси реакција носача. Веза ребра са прикључним лимом има за циљ само да спречи склизнуће или бочно претурање носача [2].

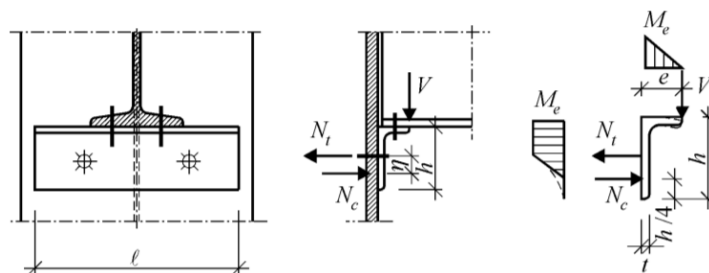


Слика 41. Веза носача помоћу столице: а) угаоник, б) лим и с) 3D приказ [2].

Како реакција носача делује негде на краку угаоника, где се јавља ексцентрицитет, па долази до појаве торзионог момента у подвлаци. Стога, подвлака мора да буде обликована као торзионо крута да би прихватила момент торзије, или се пак предвиђају друге конструктивне мере да би се спречило њено увијање. На пример, крак угаоника се повија за 2 до 3 mm (слика 41. а), чиме се омогућава несметано обртање носача, а тиме се битно смањује момент ексцентрицитета, јер се место деловања реакције V помера ка ребру подвлаке.

Прорачун веза са столицом у виду угаоника захтева проверу напона у угаонику и контролу његове везе за прикључну површину. Веза угаоника са прикључном површином може бити остварена завртњевима или заваривањем помоћу угаоних шавова. Ако се носач везује за стуб или подвлаку сандучастог пресека онда у обзир долази само веза заваривањем, јер се због неприступачног пресека завртњевима не могу поставити.

Механизам напрезања везе помоћу столица у виду угаоника приказан је на слици 42. Претпоставља се да реакција V делује на самој ивици угаоника, што није сасвим коректно, али је на страни сигурности. Услед ове силе долази до савијања угаоника уз максималан момент $M_e = V \cdot e$. Овај момент се уравнотежује помоћу спрега сила N_s - сила притиска и N_t - сила затезања. Силу затезања прихватају завртњеви (напрезање у правцу осе завртњева - чупање), а сила притиска се преноси контактом. Може се сматрати да резултанта силе притиска делује на четвртини висине угаоника.

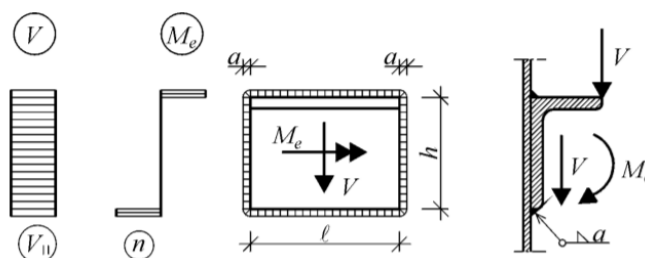


Слика 42. Напрезања везе остварене помоћу столице [2].

При прорачуну завртњева треба водити рачуна о томе да су они напрегнути на смицање и на затезање.

Док прорачун веза код којих се, уместо завртњевима, угаоник везује за прикључну површину заваривањем помоћу угаоних шавова, разликује се у следећем:

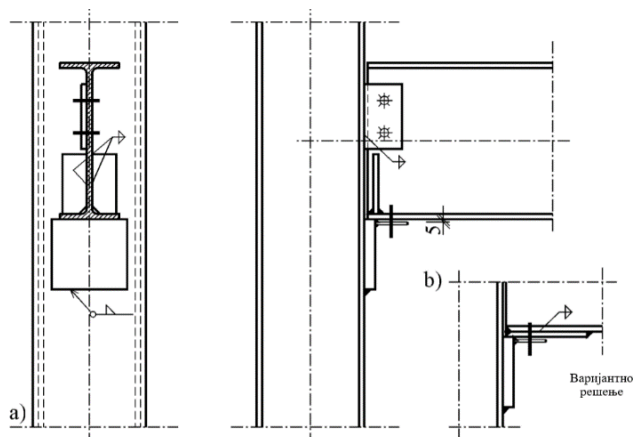
- при контроли напона у угаонику рачуна се са бруто пресеком и
- при контроли везе угаоника за прикључну површину (слика 43.) може се претпоставити да вертикални шавови преносе читаву смичућу силу V , а да се момент ексцентрицитета преноси помоћу хоризонталних шавова.



Слика 43. Напрезања везе у шавовима за везу столице [2].

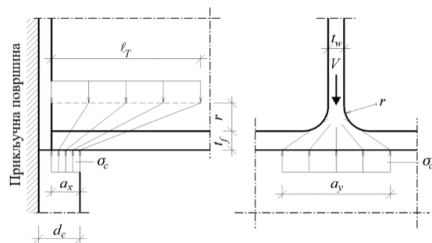
Ако се располаже довољном висином, на пример код веза носача са стубом, везе могу да се изведу помоћу столице у виду плочастог челичног лима (слика 44.). Повољност оваквих веза је што се прецизно може дефинисати положај резултанте V . И код оваквих веза неопходно је да се изврши везивање ребра носача за прикључну површину, у циљу спречавања склизнућа или бочног претурања носача. Које може да се оствари помоћу прикључног лима или чеоне плоче.

При прорачуну оваквих веза треба водити рачуна о правилном уношењу силе у ребро носача и да се провери веза столице са прикључном површином. Уколико ребро није способно да прихвати реакцију, потребно је предвидети укрућења (слика 44. а) или ојачати ослоначку ножицу (слика 44. б). Тако да сходно томе уношење силе у ребро носача остварује се на различите начине, у зависности од тога да ли је постављено укрућење или не.



Слика 44. Веза носача помоћу столице у виду пљоштег челика: а) укрућење и б) ојачање ослоначке ножице [2].

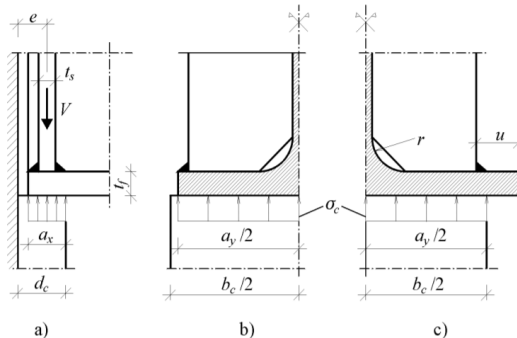
На следћој слици је приказан ток сила при уношењу реакције у ребро носача без укрућења. Претпоставља се да је притисак на контактної површини равномерно распоређен, односно $\sigma_D = \text{const}$. Тако да ток сила при њиховом преласку са контактне површине у ребро носача је линеаран.



Слика 45. Уношење силе у ребру носача без укрућења [2].

Код реакција већег интензитета неопходно је да се поставе укрућења за пријем ослоначке реакције и њено равномерно уношење силе у ребро носача (слика 46.).

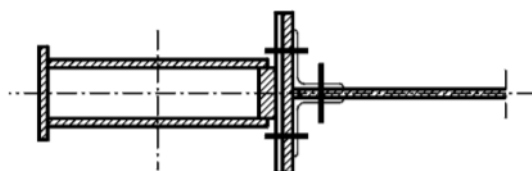
Контактна површина је у овом случају знатно већа, јер нема ограничења у погледу ширине и дужине крутог ослањања. Ширина ослонца a_x је једнака дужини додира столице и носача (без ограничења, приказано на слици 46. а), док је дужина крутог ослонца a_y једнака ширини ножице носача (b_f), ако је ширина столице већа од ширине ножице носача (слика 46. б), ако је ножица препуштена (слика 46. с). Гранична сила која се може унети у ребро код овакве везе је знатно већа у односу на везу без укрућења, јер у њеном уношењу, осим ребра носача, учествују и укрућења



Слика 46. Уношење силе у ребру носача са укрућењем: а) дужина ослонца једнака дужини додира столице и носача, б) ширина столице већа од ножице носача и с) ширина столице са препустом ножице [1].

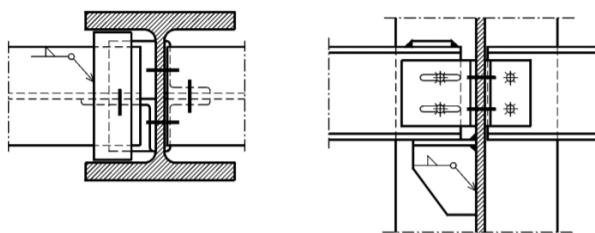
Веза лима за укрућење са ребром и ножицом носача остварује се угаоним шавом. Дакле, напрезање се јавља у правцу шава и управно на њега, а контрола шавова треба да се изврши на основу познатих правила за њихово димензионисање.

На слици 47. је ширина подвалаке је већа од ширине стуба, што оставља неповољан естетски утисак, поготово ако носачи нису скривени, па се препоручује другачије конструктивно обликовање. Међутим једна предност овакве везе је у томе што столица, која је унутар габарита носача, не смета приликом облагања стубова.



Слика 47. Неповољан естетски утисак и решење [2].

Везе помоћу столица су практично незамењиве на местима дилатационих разделница објеката (слика 48.). Наиме, носач се ослања на конзолну столицу и преко ње преноси вертикалну реакцију, док се хоризонтална померљивост остварује помоћу овалних рупа на прикључном угаонику. Док је бочно померање носача на месту везе са стубом је спречено помоћу плочастог лима који је заварен за горњу ножицу и убачен између ножица стуба, па представља својеврстан дистанцер.



Слика 48. Веза са столицом на месту дилатације разделнице [2].

При димензионисању везе столице са стубом, а и самог стуба, треба водити рачуна о ексцентрицитету. Треба, наиме, разматрати најнеповољнији случај, односно случај када се реакција носача преноси на столицу на најудаљенијем могућем положају од ребра стуба, јер је тада ексцентрицитет највећи.

4.5. Крута веза

За разлику од зглобних веза, крута веза преносе момент савијања и трансверзалну силу. Међутим као и зглобна, и крута веза има значајну примену у металним конструкцијама, како у мостоградњи тако и у зградарству. Предност крутих веза у односу на зглобне је што се у конструкцији јављају знатно мање деформације и што се добија повољнија прерасподела унутрашњих сила у конструкцији. Све ове предности крутих веза морају да се компензују додатним елементима и спојним средствима у вези. Стога и израда је нешто сложенија, односно да би се обезбедило преношење момента савијања, потребно је предвидети посебне конструкцијске елементе, па крута веза изискују већи утрошак челика од зглобних. И поред тога, крута веза је незаменљива, посебно код оквирних конструкција у зградарству и код динамички оптерећених конструкција као што су мостови, где се веза подужних и попречних мостовских носача увек изводе као крута [2].

Као што је већ и претходно речено, крута веза не поседује довољну крутост, па при оптерећењу долази до извесне релативне ротације на месту везе. Ротација везе зависи од њене ротационе крутости и момента који на њу делује. Код идеално крутих веза сматра се да је крутост на ротацију бесконачна, те да произвољан спољашњи момент не може проузроковати никакву деформацију обртања. Реалне конструкције не могу имати бесконачно крутост на ротацију, већ се оне у већој или мањој мери деформишу. Сходно томе, крута веза може да се сврста у три категорије:

- 1) *Номинално зглобна веза* је веза које не може да прихвати значајан момент савијања, оваква веза треба да је у стању да пренесу силе које на њу делују (трансверзалне и евентуално аксијалне) и да омогуће слободну ротацију.
- 2) *Крута веза* је веза чија деформација нема значајан утицај на расподелу унутрашњих сила и момената у конструкцији, као ни на њену укупну деформацију. Деформација круте везе не сме да утиче на смањење отпорности конструкције више од 5%. Наравно, она треба да буду у стању да пренесе силе и моменте које се у њој јављају услед спољашњег оптерећења. Крутим везама се могу сматрати и оне везе чија крутост проузрокује извесну, малу релативну ротацију, под условом да она не утиче значајно на прерасподелу статичких утицаја у конструкцији, односно да се услед релативног обртања везе статички утицаји не повећавају за више од 5%;
- 3) *Полукрута веза* је везе која не испуњавају услове ни за круту ни за зглобну везу, односно представљају прелаз између крутих и зглобних веза. Попустљивост полукрутих веза, односно њихова релативна ротација, мора да се узме у обзир при глобалној анализи конструкције, било да се ради о пластичној или еластичној анализи.

Подела крутих веза према начину обликовања:

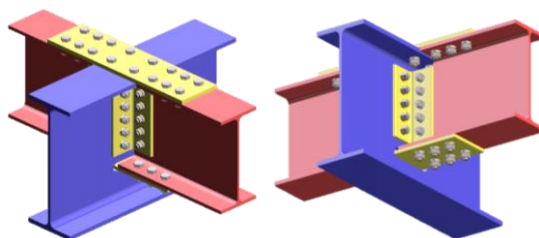
- 1) Крута веза носача са континуитет ламелом (нпр. веза подужних и попречних носача код железничких мостова) и
- 2) Крута веза са чеоним плочама (нпр. веза између греде и стуба оквирног носача).

Као и зглобна веза и крута веза може да буду између:

- носача и стуба (нпр. роштиљни систем) или
- два носача (нпр. оквирни систем).

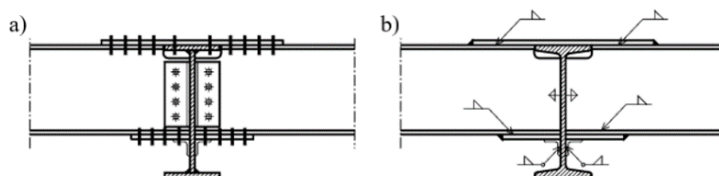
4.5.1. Крута веза носача са континуитет ламелом

Крута веза под углом са континуитет ламелама (слика 49.) се користе у мостоградњи, као најчешћи вид остваривања везе подужних и попречних носача класичних мостовских конструкција. Док у зградарству се оваква веза јављају код јаких роштиљних система [2].



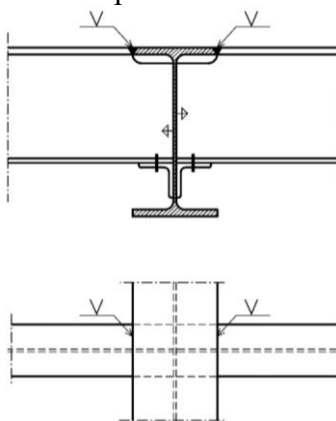
Слика 49. Крута веза носача са континуитет ламелама.

Ова веза обезбеђују континуирање секундарног (подужног) носача, тако да он, на месту везе, може да прихвати и трансверзалну силу и момент савијања. Оваква веза се углавном остварује помоћу завртњева (обичних или високовредних, преднапрегнутих). Завртњеве су једносечни, јер се континуитет ламела углавном поставља само са једне (спољашње) стране ножице носача (слика 50. а). Такође се могу остварити и заваривањем (слика 50. б).



Слика 50. Крута веза носача под углом остварене: а) помоћу завртњева и б) заваривањем [2].

За мања оптерећења користе се делимично модификоване везе, без доње притиснуте континуитет ламеле. Ово се углавном примењује у зградарству, где су оптерећења умерена и мирна (статичка), где могу да се примењују везе без континуитет ламеле (слика 51.). Код оваквих веза пријем силе затезања остварује се директним заваривањем ножица секундарних носача за ножицу примарног носача (подвлаке). Као што је приказано на слици 51. комплетна веза је у завареној изради. При пројектовању оваквих веза неопходно је да се предвиде монтажне столице, најчешће у виду угаоника, како би се носач на њих ослонио приликом заваривања на монтажи.



Слика 51. Веза у завареној изради без континуитет ламеле [2].

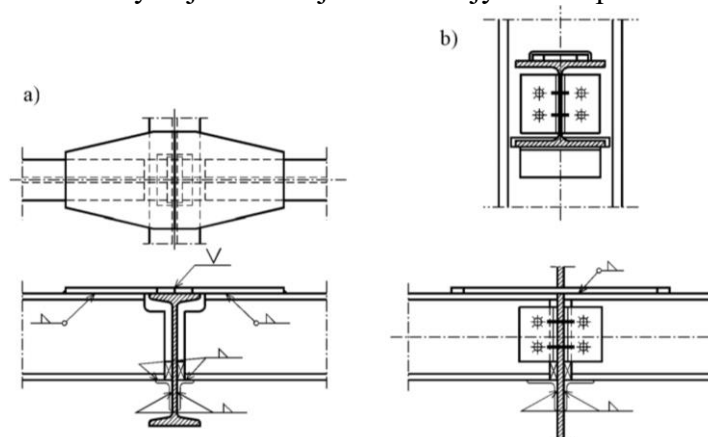
Код крутих врза потребно је обезбедити преношење момента савијања (M) и трансвезалних сила (V_1 и V_2). Основна карактеристика оваквих веза је да се ослоначки момент прихвата помоћу додатних ламела, чиме се обезбеђује континуирање носача. При димензионисању крутих веза под углом са континуитет ламелом, треба спровести:

- контролу напона у ослабљеном пресеку носача на месту везе,
- прорачун континуитет ламеле за пријем момента савијања M и
- прорачун везе ребра носача за пријем смичуће силе V и момента ексцентрицитета $M_e = V \cdot e$ (преношење трансвезалних сила V_1 и V_2).

Момент савијања који делује на месту круте везе M може да се разложи на спрег сила који чине сила затезања N_t и сила притиска N_c (слика 53. а и 54). Како је момент савијања на месту везе углавном негативан (ослоначки момент континуалног носача са еластичним ослонцима), сила затезања делује у горњој, а сила притиска у доњој ножици подножног носача.

Сила затезања N_t се помоћу завртњева преноси из ножице подужног носача у континуитет ламелу.

Међутим горња веза, затегнуте ножице, континуитет ламеле може да се изведе и заваривањем за ножице подужних носача. Да би се убрзао процес заваривања, а самим тим и скратило време потребно за монтажу једне овакве везе, континуитет ламела се изводи из два дела која су спојена са ножицама подужним и чеоним угаоним шавовима, израђеним у радионици. На монтажи се врши само повезивање делова континуитет ламеле помоћу сучеоних шавова (слика 52. а). Да би се смањили напони у сучеоном шаву уобичајено је да се, код оваквих решења, повећа ширина континуитет ламеле. Уколико се континуитет ламела изводи у једном комаду, потребно је да њена ширина буде мања од ширине горње ножице подужног носача, како би се обезбедило извођење обостраних подужних угаоних шавова у најповољнијем положају за заваривање (слика 52. б).

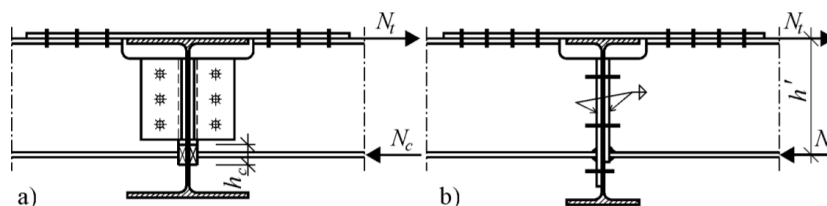


Слика 52. Крута веза носача под углом са континуитет ламелом остварене заваривањем: а) помоћу сучеоних шавова и б) помоћу подужних угаоних шавова [2].

Сила притиска N_c може да се оствари на више на чина:

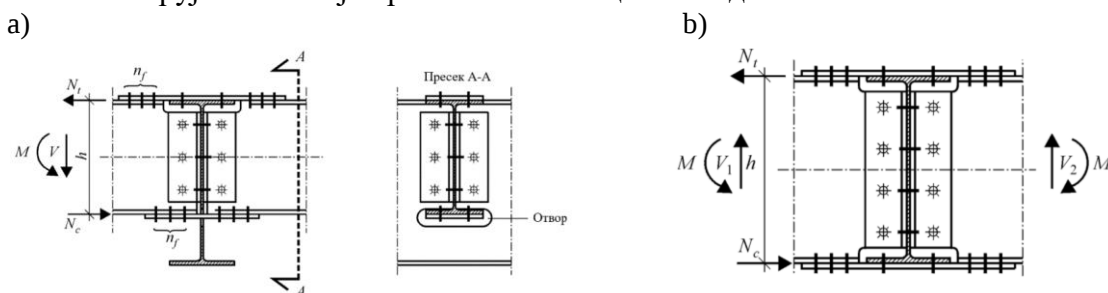
- директним контактом,
- исто као у случају затегнуте ножице помоћу континуитет ламеле и завртњева и
- помоћу столце.

Пријем силе притиска може се остварити, као што је већ и речено, директним контактом, и то се углавном примењује у зградарству, где су оптерећења претежно мирна, а остварује се тако што се у простор између притиснуте ножице подужног и ребра попречног носача упасује плочица (слика 53. а). Ова плочица након монтаже мора да се фиксира заваривањем, или ређе помоћу завртњева, како би се спречило њено евентуално испадање. Уколико се у подужним носачима не јавља алтернативни момент савијања, тада веза може да се реши и помоћу континуитет ламеле на затегнутој ножици и чеоне плоче на ребру (слика 53. б). Део чеоне плоче уз притиснуту ножицу прихвата силу притиска контактом, а завртњеве прихватају трансверзалну силу. Завртњеве на ребру су оптерећени само на смицање услед трансверзалне силе, јер нема ексцентрицитета ($e = 0$). Предности овакве везе су мањи број завртњева и додатног материјала, а главни недостаци су отежана монтажа и строжији захтеви у погледу прецизности израде.



Слика 53. Крута веза носача под углом са континуитет ламелом и: а) упасованом плочицом и б) чеоном плочом [2].

Међутим, у мостоградњи се због динамичких утицаја и могуће појаве ослоначког момента алтернативног знака избегава преношење силе притиска контактом, већ се врши континуирање и доњег и горњег појаса. Да би се поставила доња, притиснута континуитет ламела, када је попречни носач веће висине од подужног, потребно је да се на ребру попречног носача предвиди отвор (слика 54. а), који омогућава њено постављање. Када су подужни и попречни носачи исте висине избегава се овај проблем, а веза се остварује као што је приказано на слици 54. под б).



Слика 54. Крута веза подужних и попречних носача: а) када је попречни носач веће висине од подужног и б) када су исте висине [2].

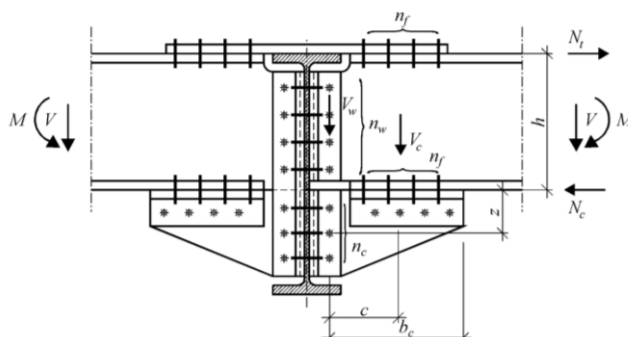
Реакције подужних носача преносе се на попречни помоћу прикључних угаоника и завртњева серије 1 и 2. Начин рада овакве везе је истоветан са радом зглобне везе са прикључним угаонцима. Односно завртњеве серије 1 оптерећени су трансверзалном силом V (реакција носача) и моментом ексцентрицитета $Me = V \cdot e$, а веза прикључног угаоника за прикључну површ, односно завртњеве серије 2 оптерећени су само на утицај трансверзалне силе V , као и у случају зглобне везе. Уобичајено је да су завртњеве серије 1 и серије 2 истог пречника.

Уколико се разликују реакције V_1 и V_2 потребно је да се спроведу следеће контроле носивости, као и у случају зглобне везе:

- контрола носивости завртњева на смицање за сваки носач посебно и

- контрола притиска по омотачу рупе прикључне површине, која прихвата обе реакције.

Као што је већ речено, у мостоградњи је неопходно да се адекватним конструктивним средствима обезбеди пријем силе притиска из доње ножице. Осим помоћу континуитет ламеле, пријем силе притиска може се остварити и помоћу столице (слика 55.).

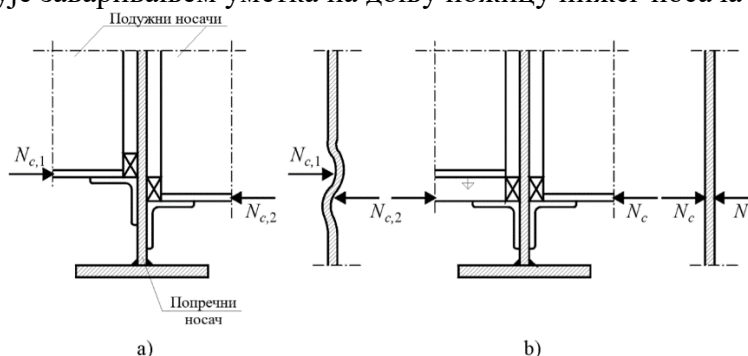


Слика 55. Крута веза носача остварена помоћу столице [2].

Ако су два суседна подужна носача различите висине потребно је да се предвиде додатни елементи којима се обезбеђује уношење контактнoг притиска у ребро подужног носача на истој висини, како би се избегле локалне деформације ребра примарног носача (слика 56. а).

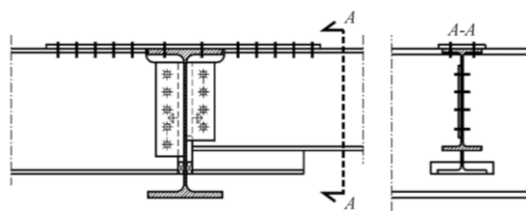
Да би се избегло кривљење ребра примарног (попречног) носача у случају секундарних (подужних) носача различите висине (слика 56. а) потребно је да се обезбеди да силе притиска леже на истој линији дејства. Ово може да се оствари на неколико различитих начина:

- 1) Ако је висинска разлика подужних носача мања од 50 mm, она може да се компензује заваривањем уметка на доњу ножицу нижег носача (слика 56. б);



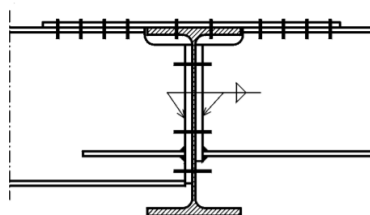
Слика 56. Кривљење ребра попречног носача услед ексцентричног уношења контактнoг притиска: а) подужни носачи различите висине и б) компензација заваривањем уметка на доњу ножицу нижег подужног носача [2].

- 2) Код већих висинских разлика обично се за доњу ножицу нижег носача заварује део ваљаног профила (слика 57.), или се заваривањем клинастог дела образује вута, треба водити рачуна да се у овом случају јавља скретна сила на почетку вуте.



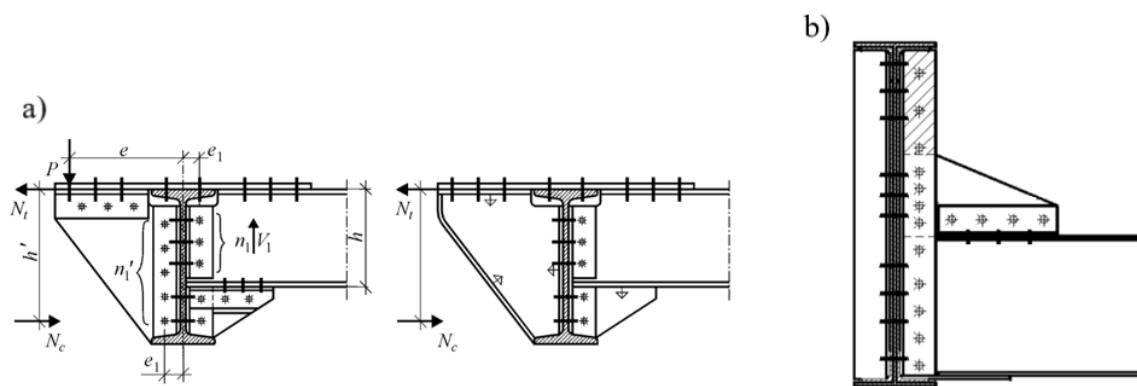
Слика 57. Веза подужних носача различите висине са завареним делом ваљаног профила [2].

Међутим заваривањем додатних елемената за ножицу подужног носача (слика 57.), где се повећава његова висина на месту везе, па су самим тим и унутрашње силе N_t и N_c мање. Ово повећање висине носача може да проузрокује конструктивне и функционалне проблеме. Ако је потребно да се избегну овакви проблеми висина нижег носача може да остане непромењена, али је неопходно да се на суседном, вишем носачу предвиди укрућење које је способно да прихвати локалну силу притиска из ножице нижег носача (слика 58.).



Слика 58. Веза са укрућењем на ребру вишег носача [2].

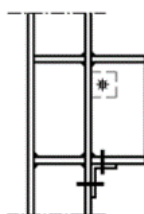
Осим веза под углом између попречних и подужних носача, у мостоградњи се често јавља и веза конзоле са попречним носачем (слика 59. а), на месту преласка са моста на труп колосека. Конзола је, у том случају, оптерећена концентрисаном силом P , која потиче од притиска точка воза. Веза попречног мостовског носача за главни носач такође представља везу под углом (Слика 59. б).



Слика 59. Осим веза под углом попречних и подужних носача, јављају се и: а) веза конзоле под углом и б) веза попречног са главним носачем [2].

4.5.2. Крута веза са чеоном плочом

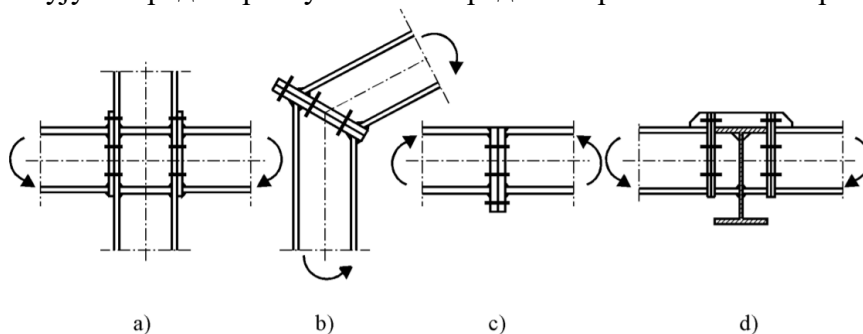
Предности ове везе су у једноставној изради у монтажи, такође ова веза се заснива на погодностима које пружају преднапрегнути високовредни завртњевима. Ова веза се остварује помоћу чеоне плоче, која се заварује за носач по читавом његовом обиму, а за стуб се везује завртњевима. Такође се могу остварити и само заваривањем (слика 60.), али при изради оваквих веза неопходно је да се предвиде привремене монтажне столице и ослонци, како би се носач привремено фиксирао пре заваривања [2].



Слика 60. Крута веза носача са стубом остварене заваривањем са монтажном столицом [2].

На слици 61. су приказани неки од примера крутих веза са чеоном плочом. Као што се види са слике везе са чеоном плочом се користе за везе носача са стубом (слика 61. а и б), за конструисање монтажних наставка носача (слика 61. с) и за везе носача под углом (слика 61. д). Међутим, примена веза са чеоном плочом није неограничена. Сходно томе за остваривање ове везе прописани су следећи захтеви који представљају ограничавајући фактор за њихову примену:

- 1) оптерећења су претежно мирна – статичког карактера,
- 2) носач и чеона плоча су израђени од челика чија гранциа развлачења f_y није мања од 240 МПа,
- 3) носач је израђен од I попречног пресека који испуњава услов $I_w / I \leq 0,15$ (I_w је момент инерције ребра; I је момент инерције целог пресека) и
- 4) примењују се преднапрегнути високовредни завртњевима класе чврсотоће 10.9.



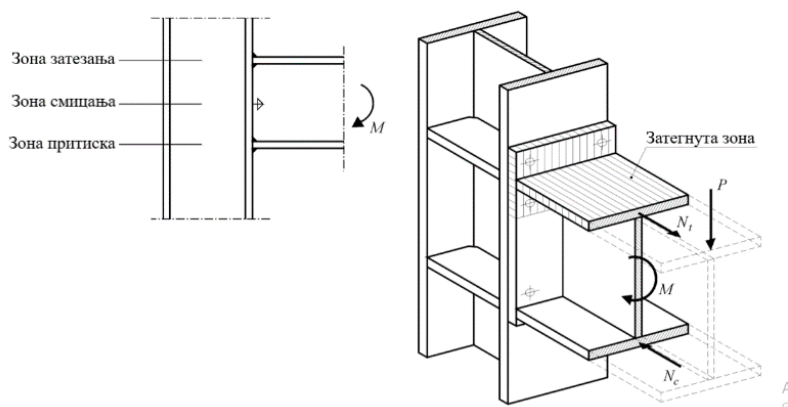
Слика 61. Крута веза са чеоном плочом: а) веза носача са стубом, б) веза носача са стубом под неким углом, с) веза за конструисање монтажних наставка носача и д) за веза носача под углом [2].

Конструкције у зградарству углавном задовољавају све постављене захтеве, па су у оквиру њих везе са чеоном плочом нашле своју најчешћу примену. При прорачуну оваквих веза морају се контролисати сви елементи и спојеви неопходни за пренос сила, дакле:

- ножица стуба као прикључна површина,
- завртњевима за везу чеоне плоче са прикључном површином,
- чеона плоча и
- заварена, радионичка веза чеоне плоче са носачем.

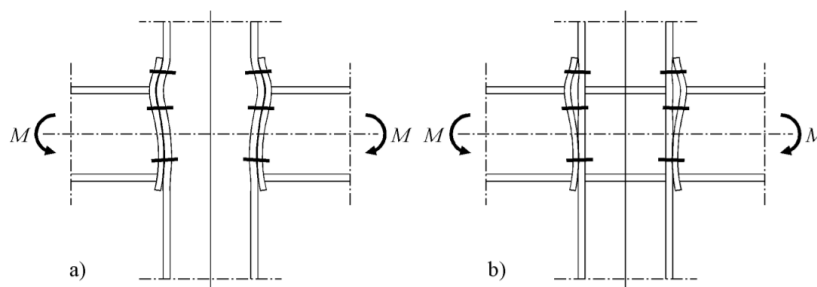
Момент савијања - M који делује на месту везе може да се разложи на спрег сила. Сила затезања - N_t преноси се помоћу завртњева смештених уз затегнуту ножицу, а сила притиска - N_c директним контактом. Сходно томе, веза се дели на три зоне затезања, које су приказане на слици 62., а потенцијални облици лома за сваку зону су:

- Зона затезања:
 - лом по шавовима или по завртњевима и
 - пластификација чеоне плоче, ножице носача и стуба, а ребра стуба.
- Зона притиска:
 - гњечење ребра стуба и
 - избочавање ребра стуба.
- Зона сицања:
 - Смицање ребра стуба (панелни механизам лома)



Слика 62. Различне зоне напрезања код крутих веза са чеономом плочом [2].

Ножица стуба је, осим глобалних утицаја (сила притиска и момент савијања у стубу), оптерећена и локалним утицајима савијања. На слици 63. су приказане деформација ножице стуба на месту везе за случај неукрућеног (а) и укрућеног ребра (b).

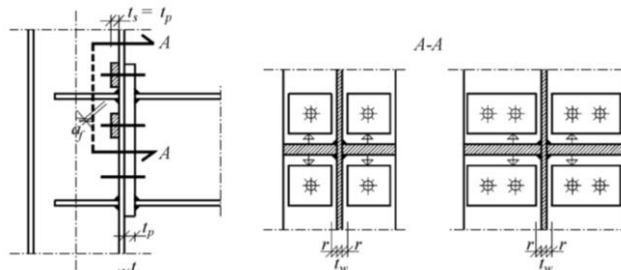


Слика 63. Деформација ножице у зони везе: а) за случај неукрућења и б) укрућеног ребра [2].

Испитивања носивости оваквих веза показала су, да додатно локално напрезање које проистиче од споја са носачем не утиче осетно на граничну носивост ножице. Такође је закључено да тање ножице стуба проузрокују повећање деформабилности везе. Дебљина ножице стуба на месту везе зависи од пречника завртњева и типа везе и усваја се на основу прописане табеле, такође зависи и од укрућења на ребру носача. Дебљина ножице стуба не треба да буде мања од половине дебљине чеоне плоче. Када је дебљина ножице стуба мања од прописане у табели, требају се предузети следеће конструктивне мере:

- ако је ребро стуба неукрућено, у области ножице носача заварују се укрућења чиме се смањује потребна дебљина ножице (табела 63. b) или

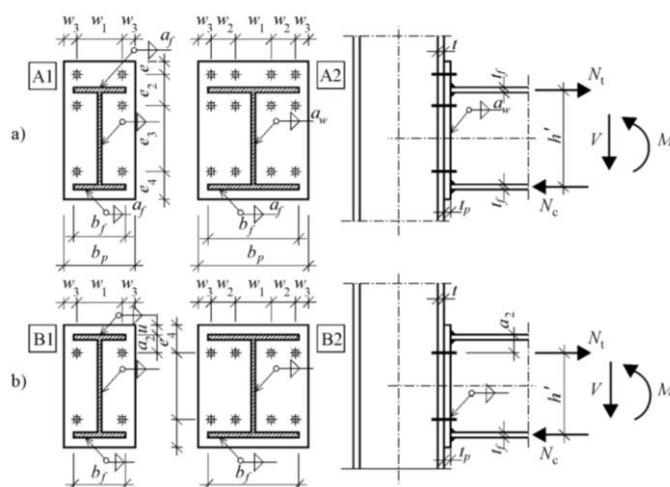
- ако је ребро стуба укрућено, постављају се контра плочице (слика 64.), уколико нису задовољени напонски услови. Пожељно је да њихове димензије буду што веће, с тим да се води рачуна о могућности постављања угаоног шавица на укрућењу a_f и могућностима извођења угаоних шавова a_1 за њихову везу са ножицом стуба. Минимална дебелина контра плочице t_s не би требало да буде мања од дебелине чеоне плоче.



Слика 64. Контра плочица [2].

Прорачун високовредних завртњева за везу чеоне плоче зависи и од типа чеоне плоче. Сходно томе дефинисана су четири типа чеоних плоча које су сврстане у две групе:

- I. група А - чеоне плоче са препустом (слика 65. а):
 - А1 са два реда завртњева,
 - А2 са четири реда завртњева.
- II. група В - чеоне плоче без препуста (слика 65. б):
 - В1 са два реда завртњева,
 - В2 са четири реда завртњева.



Слика 65. Карактеристични типови чеоних плоча: а) са препустом и б) без препуста [2].

Ове две групе се међусобно разликују, не само по геометријском облику, већ и по понашању под дејством оптерећења. Предности везе чеоне плоче са препустом се огледају у већој носивости и мањој деформабилности везе. Оне, ако су правилно конструисане и укрућене, при пуном моменту носивости достижу скоро исту крутост као и сам носач. Док са друге стране, везе са чеоним плочама без препуста имају мању носивост и крутост. Међутим у случају да се јављају моменти савијања алтернативног знака, код везе чеоне плоче са препустом, она се понаша као чеона плоча без препуста.

Оптимални однос између дебелине чеоне плоче и пречника завртњева је када чеона плоча и завртњеви имају приближно исту граничну носивост, односно када при граничном оптерећењу долази до истовременог лома чеоне плоче и завртњева.

5. Пример прорачуна веза по Еврокоду коришћењем софтвера Robot Structural Analysis Professional

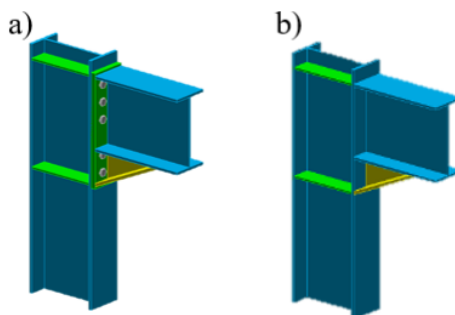
Robot Structural Analysis Professional (RSAP) је софтвер за свеобухватну анализу простих и сложених конструкција добијених кроз BIM (Building Information Modeling) процес [13, 14].

BIM је акроним за Building Information Modeling који описује начин на који сви могу разумети објекат кроз кориштење дигиталног модела, а који се ослања на низ података састављених заједничким дизајнирањем пре, за време и након изградње. Стварање дигиталног модела омогућава онима који су у интеракцији са објектом да оптимизирају своје поступке, што доводи до већег и бољег разумевања самог објекта. BIM је пројектовање по стандардима савременог грађевинарства.

Robot Structural Analysis Professional је намењен грађевинским инжењерима, као и инжењерима статичарима, инжењерима и архитектама коју су укључени у BIM процес. Користи податке са паметних 3D модела помоћу којих установљава о ком материјалу се ради и које физичке карактеристике има тај материјал, као и основне габаритне мере и која су оптерећења задата. Robot је посебно дизајниран као елемент BIM током рад и он је у стању да уради прорачун и за најкомплексније форме и конструкције уз употребу аутоматски формираних мрежа коначних елемената, као и уз помоћ нелинеарних алгоритама. Другим речима ефикасно врше симулације, анализе и димензионисање према датим стандардима како би дошли до оптималних решења.

Па сходно овим могућностима и знатног скраћења времена који пружа овај софтвер, извршена су два примера у овом софтеру за круте везе под углом са чеоном плочом са укрућењима на ребру стуба (слика 66.). За ова два примера, веза је остварена на два начина:

- 1) помоћу завртњева и
- 2) заваривањем.

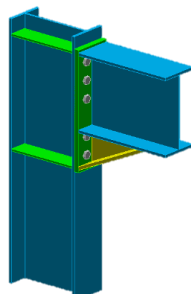


Слика 66. Круте везе под углом са чеоном плочом остварена: а) помоћу завртњева и б) заваривањем.

Предност код овог софтвера је што се могу променити сви задати параметри (нпр. габаритне мере, број закивака или завртњева, дебљина шава као и дужина шава...), такође се могу задати и силе и моменти који делују на саму конструкцију. Па сходно томе за ова два примера задате су исти параметри и оптерећења, односно силе и моменти који делују на саму конструкцију и испитивано је како за исте вредности делују оптерећења када је конструкција остварена помоћу завртњева и заваривањем.

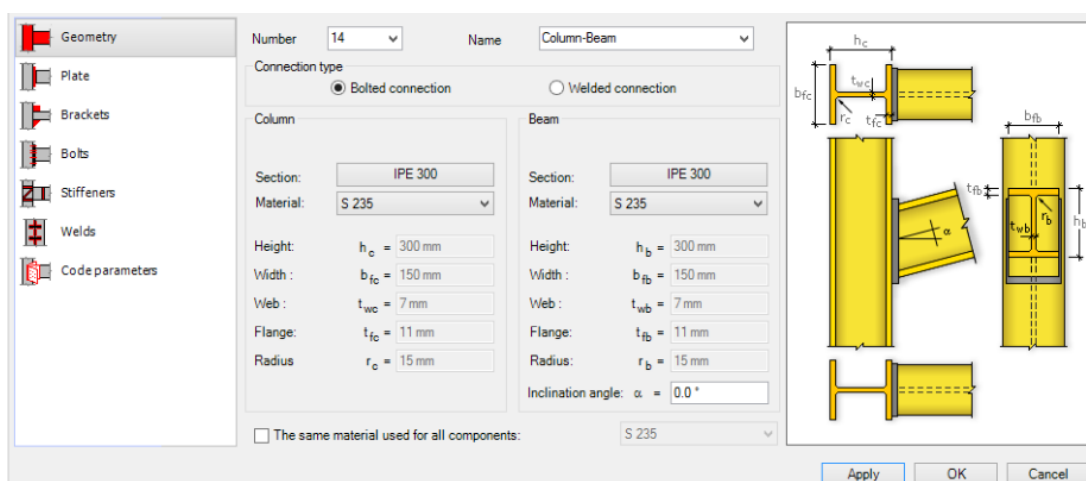
5.1. Пример 1.: Крута веза под углом са чеоном плочом остварена помоћу завртњева

У овом примеру веза је остварена између носача и стуба, а коришћена су два I шрпфила, који су састављени под углом (слика 67.) и који чине круту везу под углом са чеоном плочом остварена помоћу завртњева са укрућењима на стубу.

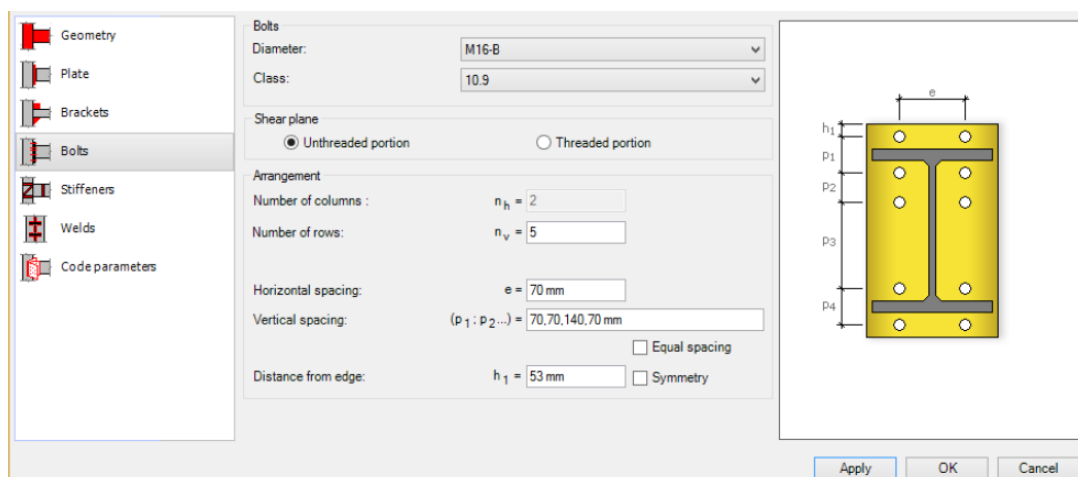


Слика 67. Крута веза под углом са чеоном плочом остварена помоћу завртњева.

Као што је претходно и речено, сви задати параметри могу бити промењени. Па сходно томе на слици 68. је приказана промена стандардних профила, док на слици 69. је приказана модификација броја редова и колона завртњева, као и избор завртњева. Може се мењати и димензије чеоне плоче и остали параметри.



Слика 68. Избор стандардног профила.



Слика 69. Модификација редова и колона завртњева и њихов избор.

У следећем делу је приказана провера сигурности везе према Еврокод стандарду уз помоћ софтверског пакета Robot Structural Analysis Professional, такође су приказани и сви параметри који су задати у овом примеру.



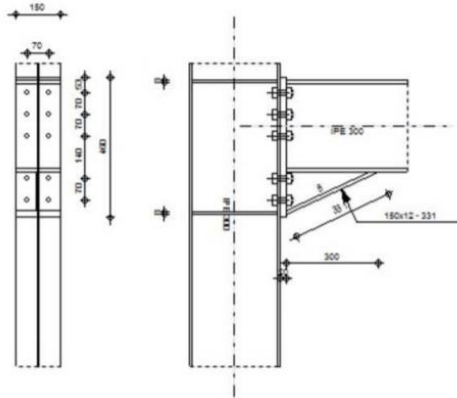
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015

Design of fixed beam-to-column connection

EN 1993-1-8:2005/AC:2009

OK

Ratio
0.46



GEOMETRY

COLUMN

Section: IPE 300

$\alpha =$	-90.0	[Deg]	Inclination angle
$h_c =$	300	[mm]	Height of column section
$b_{fc} =$	150	[mm]	Width of column section
$t_{wc} =$	7	[mm]	Thickness of the web of column section
$t_{fc} =$	11	[mm]	Thickness of the flange of column section
$r_c =$	15	[mm]	Radius of column section fillet
$A_c =$	53.81	[cm ²]	Cross-sectional area of a column
$I_{xc} =$	8356.11	[cm ⁴]	Moment of inertia of the column section
Material: S 235			
$f_{yc} =$	235.00	[MPa]	Resistance

BEAM

Section: IPE 300

$\alpha =$	0.0	[Deg]	Inclination angle
$h_b =$	300	[mm]	Height of beam section
$b_f =$	150	[mm]	Width of beam section
$t_{wb} =$	7	[mm]	Thickness of the web of beam section
$t_{fb} =$	11	[mm]	Thickness of the flange of beam section
$r_b =$	15	[mm]	Radius of beam section fillet
$r_b =$	15	[mm]	Radius of beam section fillet
$A_b =$	53.81	[cm ²]	Cross-sectional area of a beam
$I_{xb} =$	8356.11	[cm ⁴]	Moment of inertia of the beam section
Material: S 235			
$f_{yb} =$	235.00	[MPa]	Resistance

BOLTS

The shear plane passes through the UNTHREADED portion of the bolt.

$d =$	16	[mm]	Bolt diameter
Class =	10.9		Bolt class
$F_{tRd} =$	113.04	[kN]	Tensile resistance of a bolt
$n_h =$	2		Number of bolt columns
$n_v =$	5		Number of bolt rows
$h_1 =$	53	[mm]	Distance between first bolt and upper edge of front plate
Horizontal spacing $e_1 =$	70; 70	[mm]	
Vertical spacing $p_1 =$	70; 70; 140; 70	[mm]	

PLATE

$h_p =$	460	[mm]	Plate height
$b_p =$	150	[mm]	Plate width
$t_p =$	20	[mm]	Plate thickness
Material: S 235			
$f_{yp} =$	235.00	[MPa]	Resistance

LOWER STIFFENER

$w_d =$	150	[mm]	Plate width
$t_{fd} =$	12	[mm]	Flange thickness
$h_d =$	140	[mm]	Plate height
$t_{wd} =$	8	[mm]	Web thickness
$l_d =$	300	[mm]	Plate length
$\alpha =$	25.0	[Deg]	Inclination angle
Material: S 235			
$f_{ybu} =$	235.00	[MPa]	Resistance

COLUMN STIFFENER

Upper

$h_{su} =$	279	[mm]	Stiffener height
$b_{su} =$	71	[mm]	Stiffener width
$t_{hu} =$	8	[mm]	Stiffener thickness
Material: S 235			
$f_{ysu} =$	235.00	[MPa]	Resistance

Lower

$h_{sd} =$	279	[mm]	Stiffener height
$b_{sd} =$	71	[mm]	Stiffener width
$t_{hd} =$	8	[mm]	Stiffener thickness
Material: S 235			
$f_{ysu} =$	235.00	[MPa]	Resistance

FILLET WELDS

$a_w =$	5	[mm]	Web weld
$a_f =$	8	[mm]	Flange weld
$a_s =$	5	[mm]	Stiffener weld
$a_{fd} =$	5	[mm]	Horizontal weld

MATERIAL FACTORS

$\gamma_{M0} =$	1.00	Partial safety factor
$\gamma_{M1} =$	1.00	Partial safety factor
$\gamma_{M2} =$	1.25	Partial safety factor
$\gamma_{M3} =$	1.25	Partial safety factor

LOADS

Ultimate limit state

Case: Manual calculations.

$M_{b1,Ed} =$	50.00	[kN*m]	Bending moment in the right beam
$V_{b1,Ed} =$	15.00	[kN]	Shear force in the right beam
$N_{b1,Ed} =$	10.00	[kN]	Axial force in the right beam
$N_{c2,Ed} =$	-25.00	[kN]	Axial force in the upper column

RESULTS

BEAM RESISTANCES

TENSION

$A_b =$	53.81	[cm ²]	Area	EN1993-1-1:[6.2.3]
$N_{tb,Rd} = A_b f_{yb} / \gamma_{M0}$				
$N_{tb,Rd} =$	1264.58	[kN]	Design tensile resistance of the section	EN1993-1-1:[6.2.3]

SHEAR

$A_{vb} =$	36.88	[cm ²]	Shear area	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$V_{cb,Rd} = A_{vb} (f_{yb} / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}$				
$V_{cb,Rd} =$	500.40	[kN]	Design sectional resistance for shear	EN1993-1-1:[6.2.6.(2)]
$V_{b1,Ed} / V_{cb,Rd} \leq 1.0$	0.03 < 1.00		verified	(0.03)

BENDING - PLASTIC MOMENT (WITHOUT BRACKETS)

$W_{plb} =$	628.40	[cm ³]	Plastic section modulus	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]
$M_{b,pl,Rd} = W_{plb} f_{yb} / \gamma_{M0}$				
$M_{b,pl,Rd} =$	147.67	[kN*m]	Plastic resistance of the section for bending (without stiffeners)	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

BENDING ON THE CONTACT SURFACE WITH PLATE OR CONNECTED ELEMENT

$W_{pl} =$	1070.98	[cm ³]	Plastic section modulus	EN1993-1-1:[6.2.5]
$M_{cb,Rd} = W_{pl} f_{yb} / \gamma_{M0}$				
$M_{cb,Rd} =$	251.68	[kN*m]	Design resistance of the section for bending	EN1993-1-1:[6.2.5]

FLANGE AND WEB - COMPRESSION

$M_{cb,Rd} =$	251.68	[kN*m]	Design resistance of the section for bending	EN1993-1-1:[6.2.5]
$h_f =$	428	[mm]	Distance between the centroids of flanges	[6.2.6.7.(1)]
$F_{c,fb,Rd} = M_{cb,Rd} / h_f$				
$F_{c,fb,Rd} =$	588.00	[kN]	Resistance of the compressed flange and web	[6.2.6.7.(1)]

WEB OR BRACKET FLANGE - COMPRESSION - LEVEL OF THE BEAM BOTTOM FLANGE

Bearing:

$\beta =$	0.0	[Deg]	Angle between the front plate and the beam	
$\gamma =$	25.0	[Deg]	Inclination angle of the bracket plate	
$b_{eff,c,wb} =$	180	[mm]	Effective width of the web for compression	[6.2.6.2.(1)]
$A_{vb} =$	25.68	[cm ²]	Shear area	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$\omega =$	0.87		Reduction factor for interaction with shear	[6.2.6.2.(1)]
$\sigma_{com,Ed} =$	72.52	[MPa]	Maximum compressive stress in web	[6.2.6.2.(2)]
$k_{wc} =$	1.00		Reduction factor conditioned by compressive stresses	[6.2.6.2.(2)]
$F_{c,wb,Rd1} = [\omega k_{wc} b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$				
$F_{c,wb,Rd1} =$	558.57	[kN]	Beam web resistance	[6.2.6.2.(1)]

Buckling:

$d_{wb} =$	249	[mm]	Height of compressed web	[6.2.6.2.(1)]
$\lambda_p =$	0.93		Plate slenderness of an element	[6.2.6.2.(1)]
$\rho =$	0.85		Reduction factor for element buckling	[6.2.6.2.(1)]
$F_{c,wb,Rd2} = [\rho k_{wc} b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M1}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$				
$F_{c,wb,Rd2} =$	472.33	[kN]	Beam web resistance	[6.2.6.2.(1)]

Resistance of the bracket flange

$F_{c,wb,Rd3} = b_b t_b f_{yb} / (0.8 \gamma_{M0})$				
$F_{c,wb,Rd3} =$	528.75	[kN]	Resistance of the bracket flange	[6.2.6.7.(1)]

Final resistance:

$F_{c,wb,Rd,low} = \min(F_{c,wb,Rd1}, F_{c,wb,Rd2}, F_{c,wb,Rd3})$				
$F_{c,wb,Rd,low} =$	472.33	[kN]	Beam web resistance	[6.2.6.2.(1)]

COLUMN RESISTANCES

WEB PANEL - SHEAR

$M_{b1,Ed} =$	50.00	[kN*m]	Bending moment (right beam)	[5.3.(3)]
$M_{b2,Ed} =$	0.00	[kN*m]	Bending moment (left beam)	[5.3.(3)]
$V_{c1,Ed} =$	0.00	[kN]	Shear force (lower column)	[5.3.(3)]
$V_{c2,Ed} =$	0.00	[kN]	Shear force (upper column)	[5.3.(3)]
$z =$	356	[mm]	Lever arm	[6.2.5]
$V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}) / z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}) / 2$				
$V_{wp,Ed} =$	140.58	[kN]	Shear force acting on the web panel	[5.3.(3)]
$A_{vs} =$	25.68	[cm ²]	Shear area of the column web	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$A_{vc} =$	25.68	[cm ²]	Shear area	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$d_s =$	432	[mm]	Distance between the centroids of stiffeners	[6.2.6.1.(4)]
$M_{pl,fc,Rd} =$	1.01	[kN*m]	Plastic resistance of the column flange for bending	[6.2.6.1.(4)]
$M_{pl,stu,Rd} =$	0.56	[kN*m]	Plastic resistance of the upper transverse stiffener for bending	[6.2.6.1.(4)]
$M_{pl,sl,Rd} =$	0.56	[kN*m]	Plastic resistance of the lower transverse stiffener for bending	[6.2.6.1.(4)]
$V_{wp,Rd} = 0.9 (A_{vs} f_{ys} / \gamma_{M0}) + \min(4 M_{pl,fc,Rd} / d_s, (2 M_{pl,fc,Rd} + M_{pl,stu,Rd} + M_{pl,sl,Rd}) / d_s)$				
$V_{wp,Rd} =$	320.88	[kN]	Resistance of the column web panel for shear	[6.2.6.1]

$V_{wp,Ed} / V_{wp,Rd} \leq 1.0$	0.44 < 1.00	verified	(0.44)
----------------------------------	-------------	----------	--------

WEB - TRANSVERSE COMPRESSION - LEVEL OF THE BEAM BOTTOM FLANGE

Bearing:

$t_{wc} =$	7	[mm]	Effective thickness of the column web	[6.2.6.2.(6)]
$b_{eff,c,wc} =$	204	[mm]	Effective width of the web for compression	[6.2.6.2.(1)]
$A_{vc} =$	25.68	[cm ²]	Shear area	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$\omega =$	0.84		Reduction factor for interaction with shear	[6.2.6.2.(1)]
$\sigma_{com,Ed} =$	4.65	[MPa]	Maximum compressive stress in web	[6.2.6.2.(2)]
$k_{wc} =$	1.00		Reduction factor conditioned by compressive stresses	[6.2.6.2.(2)]
$A_s =$	11.43	[cm ²]	Area of the web stiffener	EN1993-1-1:[6.2.4]
$F_{c,wc,Rd1} = \omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} + A_s f_{ys} / \gamma_{M0}$				
$F_{c,wc,Rd1} =$	555.31	[kN]	Column web resistance	[6.2.6.2.(1)]

Buckling:

d_{wc}	=	249	[mm]	Height of compressed web	[6.2.6.2.(1)]
λ_p	=	0.99		Plate slenderness of an element	[6.2.6.2.(1)]
ρ	=	0.81		Reduction factor for element buckling	[6.2.6.2.(1)]
λ_s	=	5.60		Stiffener slenderness	EN1993-1-1:[6.3.1.2]
χ_s	=	1.00		Buckling coefficient of the stiffener	EN1993-1-1:[6.3.1.2]
$F_{c,wc,Rd2} = \omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M1} + A_s \chi_s f_{ys} / \gamma_{M1}$					
$F_{c,wc,Rd2}$	=	499.75	[kN]	Column web resistance	[6.2.6.2.(1)]

Final resistance:

$F_{c,wc,Rd,low} = \min(F_{c,wc,Rd1}, F_{c,wc,Rd2})$					
$F_{c,wc,Rd}$	=	499.75	[kN]	Column web resistance	[6.2.6.2.(1)]

GEOMETRICAL PARAMETERS OF A CONNECTION

EFFECTIVE LENGTHS AND PARAMETERS - COLUMN FLANGE

Nr	m	m_x	e	e_x	p	$l_{eff,cp}$	$l_{eff,nc}$	$l_{eff,1}$	$l_{eff,2}$	$l_{eff,cp,g}$	$l_{eff,nc,g}$	$l_{eff,1,g}$	$l_{eff,2,g}$
1	19	–	40	–	70	122	141	122	141	131	112	112	112
2	19	–	40	–	70	122	128	122	128	140	70	70	70
3	19	–	40	–	105	122	128	122	128	210	105	105	105
4	19	–	40	–	105	122	128	122	128	210	105	105	105
5	19	–	40	–	70	122	137	122	137	131	108	108	108

EFFECTIVE LENGTHS AND PARAMETERS - FRONT PLATE

Nr	m	m_x	e	e_x	p	$l_{eff,cp}$	$l_{eff,nc}$	$l_{eff,1}$	$l_{eff,2}$	$l_{eff,cp,g}$	$l_{eff,nc,g}$	$l_{eff,1,g}$	$l_{eff,2,g}$
1	26	–	40	–	70	162	178	162	178	151	136	136	136
2	26	–	40	–	70	162	153	153	153	140	70	70	70
3	26	–	40	–	105	162	153	153	153	210	105	105	105
4	26	–	40	–	105	162	153	153	153	210	105	105	105
5	26	–	40	–	70	162	153	153	153	151	112	112	112

m	– Bolt distance from the web
m_x	– Bolt distance from the beam flange
e	– Bolt distance from the outer edge
e_x	– Bolt distance from the horizontal outer edge
p	– Distance between bolts
$l_{eff,cp}$	– Effective length for a single bolt in the circular failure mode
$l_{eff,nc}$	– Effective length for a single bolt in the non-circular failure mode
$l_{eff,1}$	– Effective length for a single bolt for mode 1
$l_{eff,2}$	– Effective length for a single bolt for mode 2
$l_{eff,cp,g}$	– Effective length for a group of bolts in the circular failure mode
$l_{eff,nc,g}$	– Effective length for a group of bolts in the non-circular failure mode
$l_{eff,1,g}$	– Effective length for a group of bolts for mode 1
$l_{eff,2,g}$	– Effective length for a group of bolts for mode 2

CONNECTION RESISTANCE FOR TENSION

$F_{t,Rd}$	=	113.04	[kN]	Bolt resistance for tension	[Table 3.4]
$B_{p,Rd}$	=	139.41	[kN]	Punching shear resistance of a bolt	[Table 3.4]
$N_{j,Rd} = \min(N_{tb,Rd}, n_v n_h F_{t,Rd}, n_v n_h B_{p,Rd})$					
$N_{j,Rd}$	=	1130.40	[kN]	Connection resistance for tension	[6.2]
$N_{b1,Ed} / N_{j,Rd} \leq 1.0$					
				0.01 < 1.00	verified (0.01)

CONNECTION RESISTANCE FOR BENDING

$F_{t,Rd} =$	113.04	[kN]	Bolt resistance for tension	[Table 3.4]
$B_{p,Rd} =$	139.41	[kN]	Punching shear resistance of a bolt	[Table 3.4]

$F_{t,fc,Rd}$ – column flange resistance due to bending
 $F_{t,wc,Rd}$ – column web resistance due to tension
 $F_{t,ep,Rd}$ – resistance of the front plate due to bending
 $F_{t,wb,Rd}$ – resistance of the web in tension

$$F_{t,fc,Rd} = \min(F_{T,1,fc,Rd}, F_{T,2,fc,Rd}, F_{T,3,fc,Rd}) \quad [6.2.6.4], [\text{Tab.6.2}]$$

$$F_{t,wc,Rd} = \omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} \quad [6.2.6.3.(1)]$$

$$F_{t,ep,Rd} = \min(F_{T,1,ep,Rd}, F_{T,2,ep,Rd}, F_{T,3,ep,Rd}) \quad [6.2.6.5], [\text{Tab.6.2}]$$

$$F_{t,wb,Rd} = b_{eff,t,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0} \quad [6.2.6.8.(1)]$$

RESISTANCE OF THE BOLT ROW NO. 1

$F_{t1,Rd,comp}$ - Formula	$F_{t1,Rd,comp}$	Component
$F_{t,fc,Rd(1)} = 168.82$	168.82	Column flange - tension
$F_{t,wc,Rd(1)} = 190.27$	190.27	Column web - tension
$F_{t,ep,Rd(1)} = 226.08$	226.08	Front plate - tension
$F_{t,wb,Rd(1)} = 270.40$	270.40	Beam web - tension
$B_{p,Rd} = 278.82$	278.82	Bolts due to shear punching
$V_{wp,Rd} / \beta = 320.88$	320.88	Web panel - shear
$F_{c,wc,Rd} = 499.75$	499.75	Column web - compression
$F_{c,fb,Rd} = 588.00$	588.00	Beam flange - compression
$F_{c,wb,Rd} = 472.33$	472.33	Beam web - compression
$F_{t1,Rd} = \min(F_{t1,Rd,comp})$	168.82	Bolt row resistance

RESISTANCE OF THE BOLT ROW NO. 2

$F_{t2,Rd,comp}$ - Formula	$F_{t2,Rd,comp}$	Component
$F_{t,fc,Rd(2)} = 164.89$	164.89	Column flange - tension
$F_{t,wc,Rd(2)} = 190.27$	190.27	Column web - tension
$F_{t,ep,Rd(2)} = 226.08$	226.08	Front plate - tension
$F_{t,wb,Rd(2)} = 255.57$	255.57	Beam web - tension
$B_{p,Rd} = 278.82$	278.82	Bolts due to shear punching
$V_{wp,Rd} / \beta - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 320.88 - 168.82$	152.07	Web panel - shear
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 499.75 - 168.82$	330.93	Column web - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 588.00 - 168.82$	419.18	Beam flange - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 472.33 - 168.82$	303.52	Beam web - compression
$F_{t,fc,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 251.32 - 168.82$	82.51	Column flange - tension - group
$F_{t,wc,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 263.05 - 168.82$	94.24	Column web - tension - group
$F_{t,ep,Rd(2+1)} - \sum_1^1 F_{tj,Rd} = 418.20 - 168.82$	249.38	Front plate - tension - group

RESISTANCE OF THE BOLT ROW NO. 3

$F_{t3,Rd,comp}$ - Formula	$F_{t3,Rd,comp}$	Component
$F_{t,fc,Rd(3)} = 164.89$	164.89	Column flange - tension
$F_{t,wc,Rd(3)} = 190.27$	190.27	Column web - tension
$F_{t,ep,Rd(3)} = 226.08$	226.08	Front plate - tension
$F_{t,wb,Rd(3)} = 255.57$	255.57	Beam web - tension
$B_{p,Rd} = 278.82$	278.82	Bolts due to shear punching
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^2 F_{ti,Rd} = 320.88 - 251.32$	69.56	Web panel - shear
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^2 F_{tj,Rd} = 499.75 - 251.32$	248.43	Column web - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^2 F_{tj,Rd} = 588.00 - 251.32$	336.68	Beam flange - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum_1^2 F_{tj,Rd} = 472.33 - 251.32$	221.01	Beam web - compression
$F_{t,fc,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 242.08 - 82.51$	159.57	Column flange - tension - group
$F_{t,wc,Rd(3+2)} - \sum_2^2 F_{tj,Rd} = 255.67 - 82.51$	173.16	Column web - tension - group
$F_{t,fc,Rd(3+2+1)} - \sum_2^1 F_{tj,Rd} = 396.57 - 251.32$	145.25	Column flange - tension - group

RESISTANCE OF THE BOLT ROW NO. 4

$F_{t4,Rd,comp}$ - Formula	$F_{t4,Rd,comp}$	Component
$F_{t,fc,Rd(4)} = 164.89$	164.89	Column flange - tension
$F_{t,wc,Rd(4)} = 190.27$	190.27	Column web - tension
$F_{t,ep,Rd(4)} = 226.08$	226.08	Front plate - tension
$F_{t,wb,Rd(4)} = 255.57$	255.57	Beam web - tension
$B_{p,Rd} = 278.82$	278.82	Bolts due to shear punching
$V_{wp,Rd}/\beta - \sum_1^3 F_{ti,Rd} = 320.88 - 320.88$	0.00	Web panel - shear
$F_{c,wc,Rd} - \sum_1^3 F_{tj,Rd} = 499.75 - 320.88$	178.87	Column web - compression
$F_{c,fb,Rd} - \sum_1^3 F_{tj,Rd} = 588.00 - 320.88$	267.12	Beam flange - compression
$F_{c,wb,Rd} - \sum_1^3 F_{tj,Rd} = 472.33 - 320.88$	151.45	Beam web - compression
$F_{t,fc,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{tj,Rd} = 290.49 - 69.56$	220.93	Column flange - tension - group
$F_{t,wc,Rd(4+3)} - \sum_3^3 F_{tj,Rd} = 292.17 - 69.56$	222.61	Column web - tension - group
$F_{t,fc,Rd(4+3+2)} - \sum_3^2 F_{tj,Rd} = 387.32 - 152.07$	235.26	Column flange - tension - group

The remaining bolts are inactive (they do not carry loads) because resistance of one of the connection components has been used up or these bolts are positioned below the center of rotation.

SUMMARY TABLE OF FORCES

Nr	h_j	$F_{tj,Rd}$	$F_{t,fc,Rd}$	$F_{t,wc,Rd}$	$F_{t,ep,Rd}$	$F_{t,wb,Rd}$	$F_{t,Rd}$	$B_{p,Rd}$
1	391	168.82	168.82	190.27	226.08	270.40	226.08	278.82
2	321	82.51	164.89	190.27	226.08	255.57	226.08	278.82
3	251	69.56	164.89	190.27	226.08	255.57	226.08	278.82
4	111	-	164.89	190.27	226.08	255.57	226.08	278.82
5	41	-	167.76	190.27	226.08	255.57	226.08	278.82

 CONNECTION RESISTANCE FOR BENDING $M_{j,Rd}$

$$M_{j,Rd} = \sum h_j F_{tj,Rd}$$

$$M_{j,Rd} = 109.85 \quad [\text{kN}\cdot\text{m}] \quad \text{Connection resistance for bending} \quad [6.2]$$

$$M_{b1,Ed} / M_{j,Rd} \leq 1.0 \quad 0.46 < 1.00 \quad \text{verified} \quad (0.46)$$

CONNECTION RESISTANCE FOR SHEAR

$\alpha_v =$	0.60	Coefficient for calculation of $F_{v,Rd}$	[Table 3.4]
$\beta_{Lf} =$	0.97	Reduction factor for long connections	[3.8]
$F_{v,Rd} =$	93.19	[kN]	Shear resistance of a single bolt [Table 3.4]
$F_{t,Rd,max} =$	113.04	[kN]	Tensile resistance of a single bolt [Table 3.4]
$F_{b,Rd,int} =$	123.26	[kN]	Bearing resistance of an intermediate bolt [Table 3.4]
$F_{b,Rd,ext} =$	123.26	[kN]	Bearing resistance of an outermost bolt [Table 3.4]

Nr	$F_{tj,Rd,N}$	$F_{tj,Ed,N}$	$F_{tj,Rd,M}$	$F_{tj,Ed,M}$	$F_{tj,Ed}$	$F_{vj,Rd}$
1	226.08	2.00	168.82	76.84	78.84	139.96
2	226.08	2.00	82.51	37.56	39.56	163.09
3	226.08	2.00	69.56	31.66	33.66	166.56
4	226.08	2.00	0.00	0.00	2.00	185.21
5	226.08	2.00	0.00	0.00	2.00	185.21

$F_{tj,Rd,N}$ – Bolt row resistance for simple tension

$F_{tj,Ed,N}$ – Force due to axial force in a bolt row

$F_{tj,Rd,M}$ – Bolt row resistance for simple bending

$F_{tj,Ed,M}$ – Force due to moment in a bolt row

$F_{tj,Ed}$ – Maximum tensile force in a bolt row

$F_{vj,Rd}$ – Reduced bolt row resistance

$$F_{tj,Ed,N} = N_{j,Ed} F_{tj,Rd,N} / N_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed,M} = M_{j,Ed} F_{tj,Rd,M} / M_{j,Rd}$$

$$F_{tj,Ed} = F_{tj,Ed,N} + F_{tj,Ed,M}$$

$$F_{vj,Rd} = \min(n_h F_{v,Ed} (1 - F_{tj,Ed} / (1.4 n_h F_{t,Rd,max})), n_h F_{v,Rd}, n_h F_{b,Rd})$$

$$V_{j,Rd} = n_h \sum_1^n F_{vj,Rd}$$

[Table 3.4]

$$V_{j,Rd} = 840.02 \quad [\text{kN}] \quad \text{Connection resistance for shear}$$

[Table 3.4]

$$V_{b1,Ed} / V_{j,Rd} \leq 1.0$$

$$0.02 < 1.00$$

verified

(0.02)

WELD RESISTANCE

$$A_w = 100.72 \quad [\text{cm}^2] \quad \text{Area of all welds} \quad [4.5.3.2(2)]$$

$$A_{wy} = 63.18 \quad [\text{cm}^2] \quad \text{Area of horizontal welds} \quad [4.5.3.2(2)]$$

$$A_{wz} = 37.54 \quad [\text{cm}^2] \quad \text{Area of vertical welds} \quad [4.5.3.2(2)]$$

$$I_{wy} = 26261.49 \quad [\text{cm}^4] \quad \text{Moment of inertia of the weld arrangement with respect to the hor. axis} \quad [4.5.3.2(5)]$$

$$\sigma_{\perp,max} = \tau_{\perp,max} = 33.03 \quad [\text{MPa}] \quad \text{Normal stress in a weld} \quad [4.5.3.2(5)]$$

$$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp} = 29.11 \quad [\text{MPa}] \quad \text{Stress in a vertical weld} \quad [4.5.3.2(5)]$$

$$\tau_{\parallel} = 4.00 \quad [\text{MPa}] \quad \text{Tangent stress} \quad [4.5.3.2(5)]$$

$$\beta_w = 0.80 \quad \text{Correlation coefficient} \quad [4.5.3.2(7)]$$

$$\sqrt{(\sigma_{\perp,max}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp,max}^2))} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) \quad 66.07 < 360.00 \quad \text{verified} \quad (0.18)$$

$$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{\parallel}^2))} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) \quad 58.62 < 360.00 \quad \text{verified} \quad (0.16)$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0.9 \cdot f_u / \gamma_{M2} \quad 33.03 < 259.20 \quad \text{verified} \quad (0.13)$$

CONNECTION STIFFNESS

$$t_{wash} = 4 \quad [\text{mm}] \quad \text{Washer thickness} \quad [6.2.6.3.(2)]$$

$$h_{head} = 12 \quad [\text{mm}] \quad \text{Bolt head height} \quad [6.2.6.3.(2)]$$

$$h_{nut} = 16 \quad [\text{mm}] \quad \text{Bolt nut height} \quad [6.2.6.3.(2)]$$

$$L_b = 53 \quad [\text{mm}] \quad \text{Bolt length} \quad [6.2.6.3.(2)]$$

$$k_{10} = 5 \quad [\text{mm}] \quad \text{Stiffness coefficient of bolts} \quad [6.3.2.(1)]$$

STIFFNESSES OF BOLT ROWS

Nr	h_j	k_3	k_4	k_5	$k_{eff,j}$	$k_{eff,j} h_j$	$k_{eff,j} h_j^2$
1	391	2	17	57	1	4.95	193.45
2	321	1	10	29	1	2.81	90.21
3	251	2	16	44	1	3.02	75.72
4	111	2	16	44	1	1.33	14.76
5	41	2	16	47	1	0.50	2.04
					Sum	12.62	376.18

$$k_{eff,j} = 1 / (\sum_3^5 (1 / k_{i,j})) \quad [6.3.3.1.(2)]$$

$$z_{eq} = \sum_j k_{eff,j} h_j^2 / \sum_j k_{eff,j} h_j \quad [6.3.3.1.(3)]$$

$$z_{eq} = 298 \quad [\text{mm}] \quad \text{Equivalent force arm}$$

$$k_{eq} = \sum_j k_{eff,j} h_j / z_{eq} \quad [6.3.3.1.(1)]$$

$$k_{eq} = 4 \quad [\text{mm}] \quad \text{Equivalent stiffness coefficient of a bolt arrangement}$$

$A_{vc} =$	25.68	[cm ²]	Shear area	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$\beta =$	1.00		Transformation parameter	[5.3.(7)]
$z =$	298	[mm]	Lever arm	[6.2.5]
$k_1 =$	3	[mm]	Stiffness coefficient of the column web panel subjected to shear	[6.3.2.(1)]
$k_2 =$			Stiffness coefficient of the compressed column web	[6.3.2.(1)]

$$S_{j,ini} = E z_{eq}^2 / \sum_i (1/k_1 + 1/k_2 + 1/k_{eq}) \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_{j,ini} = 34448.46 \quad [kN \cdot m] \quad \text{Initial rotational stiffness} \quad [6.3.1.(4)]$$

$$\mu = 1.00 \quad \text{Stiffness coefficient of a connection} \quad [6.3.1.(6)]$$

$$S_j = S_{j,ini} / \mu \quad [6.3.1.(4)]$$

$$S_j = 34448.46 \quad [kN \cdot m] \quad \text{Final rotational stiffness} \quad [6.3.1.(4)]$$

Connection classification due to stiffness.

$$S_{j,rig} = 28076.53 \quad [kN \cdot m] \quad \text{Stiffness of a rigid connection} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,pin} = 1754.78 \quad [kN \cdot m] \quad \text{Stiffness of a pinned connection} \quad [5.2.2.5]$$

$$S_{j,ini} \leq S_{j,rig} \text{ RIGID}$$

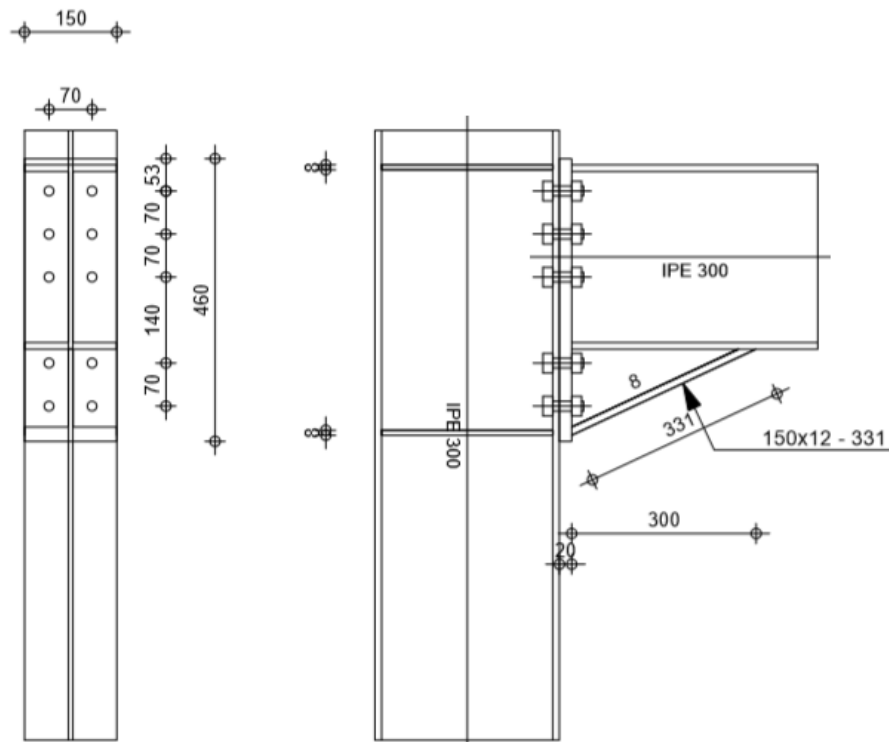
WEAKEST COMPONENT:

COLUMN WEB PANEL - SHEAR

Connection conforms to the code

Ratio 0.46

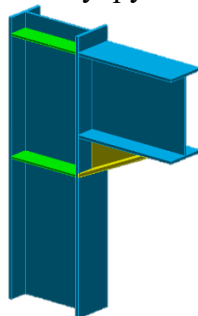
На следећој слици је приказан технички цртеж круте везе под углом са чеоном плочом остварена помоћу завртњевима са постављеним укрућењима на стубу.



Слика 70. Технички цртеж са основним димензијама ове везе.

5.2. Пример 2.: Крута веза под углом са чеоном плочом остварена заваривањем

У овом примеру је такође веза остварена између носача и стуба, а коришћена су два I шрпфила, који су састављени под углом (слика 71.) и који чине круту везу под углом са чеоном плочом остварена заваривањем са укрућењима на стубу.



Слика 71. Крута веза под углом са чеоном плочом остварена заваривањем.

И овде сви задати параметри могу бити промењени. Па сходно томе на слици 72. је приказана промена стандардних профила, која је истао као и у 1. примеру. Док на слици 73. је приказана модификација дебљине, као и дужина шава, наравно и овде се могу мењати и остал параметри.

Слика 72. Избор стандардног профила.

Слика 73. Модификација дебљине и дужине шава.

У следећем делу је приказана провера чврстоће и стабилност везе у софтверском пакету Robot Structural Analysis Professional према Еврокодним стандардима, такође су приказани и сви параметри који су задати у овом примеру.



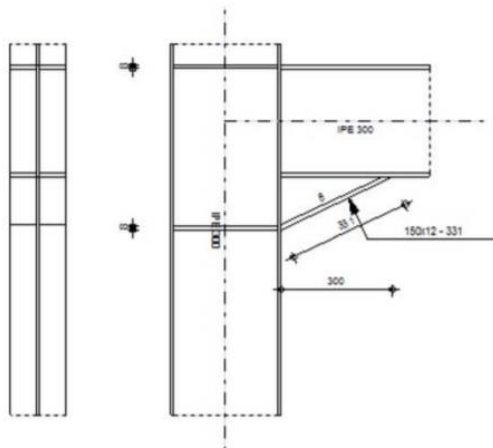
Autodesk Robot Structural Analysis Professional 2015

Design of welded beam-to-column connection

EN 1993-1-8:2005/AC:2009

OK

Ratio
0.36



GENERAL

Connection no.: 14
Connection name: Column-Beam

GEOMETRY

COLUMN

Section: IPE 300			
$\alpha =$	-90.0	[Deg]	Inclination angle
$h_c =$	300	[mm]	Height of column section
$b_{fc} =$	150	[mm]	Width of column section
$t_{wc} =$	7	[mm]	Thickness of the web of column section
$t_{fc} =$	11	[mm]	Thickness of the flange of column section
$r_c =$	15	[mm]	Radius of column section fillet
$A_c =$	53.81	[cm ²]	Cross-sectional area of a column
$I_{xc} =$	8356.11	[cm ⁴]	Moment of inertia of the column section
Material: S 235			
$f_{yc} =$	235.00	[MPa]	Resistance

BEAM

Section: IPE 300			
$\alpha =$	0.0	[Deg]	Inclination angle
$h_b =$	300	[mm]	Height of beam section
$b_f =$	150	[mm]	Width of beam section
$t_{wb} =$	7	[mm]	Thickness of the web of beam section
$t_{fb} =$	11	[mm]	Thickness of the flange of beam section
$r_b =$	15	[mm]	Radius of beam section fillet
$r_b =$	15	[mm]	Radius of beam section fillet
$A_b =$	53.81	[cm ²]	Cross-sectional area of a beam
$I_{xb} =$	8356.11	[cm ⁴]	Moment of inertia of the beam section
Material: S 235			
$f_{yb} =$	235.00	[MPa]	Resistance

LOWER STIFFENER

$w_d =$	150	[mm]	Plate width
$t_{fd} =$	12	[mm]	Flange thickness
$h_d =$	140	[mm]	Plate height
$t_{wd} =$	8	[mm]	Web thickness
$l_d =$	300	[mm]	Plate length
$\alpha =$	25.0	[Deg]	Inclination angle
Material: S 235			
$f_{ybu} =$	235.00	[MPa]	Resistance

COLUMN STIFFENER

Upper

$h_{su} =$	279	[mm]	Stiffener height
$b_{su} =$	71	[mm]	Stiffener width
$t_{hu} =$	8	[mm]	Stiffener thickness
Material: S 235			
$f_{ysu} =$	235.00	[MPa]	Resistance

Lower

$h_{sd} =$	279	[mm]	Stiffener height
$b_{sd} =$	71	[mm]	Stiffener width
$t_{hd} =$	8	[mm]	Stiffener thickness
Material: S 235			
$f_{ysu} =$	235.00	[MPa]	Resistance

FILLET WELDS

$a_w =$	5	[mm]	Web weld
$a_f =$	8	[mm]	Flange weld
$a_s =$	5	[mm]	Stiffener weld
$a_{fd} =$	5	[mm]	Horizontal weld

MATERIAL FACTORS

$\gamma_{M0} =$	1.00		Partial safety factor
$\gamma_{M1} =$	1.00		Partial safety factor
$\gamma_{M2} =$	1.25		Partial safety factor
$\gamma_{M3} =$	1.25		Partial safety factor

LOADS

Ultimate limit state

Case: Manual calculations.

$M_{b1,Ed} =$	50.00	[kN*m]	Bending moment in the right beam
$V_{b1,Ed} =$	15.00	[kN]	Shear force in the right beam
$N_{b1,Ed} =$	10.00	[kN]	Axial force in the right beam
$N_{c2,Ed} =$	-25.00	[kN]	Axial force in the upper column

RESULTS

BEAM RESISTANCES

TENSION

$A_b =$	53.81	[cm ²]	Area	EN1993-1-1:[6.2.3]
$N_{tb,Rd} = A_b f_{yb} / \gamma_{M0}$				
$N_{tb,Rd} =$	1264.58	[kN]	Design tensile resistance of the section	EN1993-1-1:[6.2.3]
$N_{b1,Ed} / N_{tb,Rd} \leq 1,0$	0.01 < 1.00		verified	(0.01)

SHEAR

$A_{vb} =$	36.88	[cm ²]	Shear area	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$V_{cb,Rd} = A_{vb} (f_{yb} / \sqrt{3}) / \gamma_{M0}$				
$V_{cb,Rd} =$	500.40	[kN]	Design sectional resistance for shear	EN1993-1-1:[6.2.6.(2)]
$V_{b1,Ed} / V_{cb,Rd} \leq 1,0$	0.03 < 1.00		verified	(0.03)

BENDING - PLASTIC MOMENT (WITHOUT BRACKETS)

$W_{plb} =$	628.40	[cm ³]	Plastic section modulus	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]
$M_{b,pl,Rd} = W_{plb} f_{yb} / \gamma_{M0}$				
$M_{b,pl,Rd} =$	147.67	[kN*m]	Plastic resistance of the section for bending (without stiffeners)	EN1993-1-1:[6.2.5.(2)]

BENDING ON THE CONTACT SURFACE WITH PLATE OR CONNECTED ELEMENT

$W_{pl} =$	1070.98	[cm ³]	Plastic section modulus	EN1993-1-1:[6.2.5]
$M_{cb,Rd} = W_{pl} f_{yb} / \gamma_{M0}$				
$M_{cb,Rd} =$	251.68	[kN*m]	Design resistance of the section for bending	EN1993-1-1:[6.2.5]
$M_{b1,Ed} / M_{cb,Rd} \leq 1,0$	0.20 < 1.00		verified	(0.20)

FLANGE AND WEB - COMPRESSION

$M_{cb,Rd} =$	251.68	[kN*m]	Design resistance of the section for bending	EN1993-1-1:[6.2.5]
$h_f =$	428	[mm]	Distance between the centroids of flanges	[6.2.6.7.(1)]
$F_{c,fb,Rd} = M_{cb,Rd} / h_f$				
$F_{c,fb,Rd} =$	588.00	[kN]	Resistance of the compressed flange and web	[6.2.6.7.(1)]

WEB OR BRACKET FLANGE - COMPRESSION - LEVEL OF THE BEAM BOTTOM FLANGE

Bearing:

$\beta =$	0.0	[Deg]	Angle between the front plate and the beam	
$\gamma =$	25.0	[Deg]	Inclination angle of the bracket plate	
$b_{eff,c,wb} =$	180	[mm]	Effective width of the web for compression	[6.2.6.2.(1)]
$A_{vb} =$	25.68	[cm ²]	Shear area	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$\omega =$	0.87		Reduction factor for interaction with shear	[6.2.6.2.(1)]
$\sigma_{com,Ed} =$	72.52	[MPa]	Maximum compressive stress in web	[6.2.6.2.(2)]
$k_{wc} =$	1.00		Reduction factor conditioned by compressive stresses	[6.2.6.2.(2)]
$F_{c,wb,Rd1} = [\omega k_{wc} b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M0}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$				
$F_{c,wb,Rd1} =$	558.57	[kN]	Beam web resistance	[6.2.6.2.(1)]

Buckling:

$d_{wb} =$	249	[mm]	Height of compressed web	[6.2.6.2.(1)]
$\lambda_p =$	0.93		Plate slenderness of an element	[6.2.6.2.(1)]
$\rho =$	0.85		Reduction factor for element buckling	[6.2.6.2.(1)]
$F_{c,wb,Rd2} = [\omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wb} t_{wb} f_{yb} / \gamma_{M1}] \cos(\gamma) / \sin(\gamma - \beta)$				
$F_{c,wb,Rd2} =$	472.33	[kN]	Beam web resistance	[6.2.6.2.(1)]

Resistance of the bracket flange

$F_{c,wb,Rd3} = b_b t_b f_{yb} / (0.8 \gamma_{M0})$				
$F_{c,wb,Rd3} =$	528.75	[kN]	Resistance of the bracket flange	[6.2.6.7.(1)]

Final resistance:

$F_{c,wb,Rd,low} = \min(F_{c,wb,Rd1}, F_{c,wb,Rd2}, F_{c,wb,Rd3})$				
$F_{c,wb,Rd,low} =$	472.33	[kN]	Beam web resistance	[6.2.6.2.(1)]
$N_{low} / F_{c,wb,Rd,low} \leq 1,0$	0.24 < 1.00		verified	(0.24)

AXIAL FORCES IN BEAM FLANGES

$h_f =$	428	[mm]	Distance between the centroids of flanges
$e_N =$	-82	[mm]	Axial force eccentricity
$N_{upp} = N_{b1,Ed} / 2 + (-N_{b1,Ed} e_N + M_{b1,Ed}) / h_f$			
$N_{upp} =$	123.72	[kN]	Axial force in the beam top flange
$N_{low} = N_{b1,Ed} / 2 - (-N_{b1,Ed} e_N + M_{b1,Ed}) / h_f$			
$N_{low} =$	-113.72	[kN]	Axial force in the beam bottom flange

COLUMN RESISTANCES

WEB PANEL - SHEAR

$M_{b1,Ed}$	=	50.00	[kN*m]	Bending moment (right beam)	[5.3.(3)]
$M_{b2,Ed}$	=	0.00	[kN*m]	Bending moment (left beam)	[5.3.(3)]
$V_{c1,Ed}$	=	0.00	[kN]	Shear force (lower column)	[5.3.(3)]
$V_{c2,Ed}$	=	0.00	[kN]	Shear force (upper column)	[5.3.(3)]
z	=	428	[mm]	Lever arm	[6.2.5]
$V_{wp,Ed} = (M_{b1,Ed} - M_{b2,Ed}) / z - (V_{c1,Ed} - V_{c2,Ed}) / 2$					
$V_{wp,Ed}$	=	116.81	[kN]	Shear force acting on the web panel	[5.3.(3)]
A_{vs}	=	25.68	[cm ²]	Shear area of the column web	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
A_{vc}	=	25.68	[cm ²]	Shear area	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
d_s	=	432	[mm]	Distance between the centroids of stiffeners	[6.2.6.1.(4)]
$M_{pl,fc,Rd}$	=	1.01	[kN*m]	Plastic resistance of the column flange for bending	[6.2.6.1.(4)]
$M_{pl,stu,Rd}$	=	0.56	[kN*m]	Plastic resistance of the upper transverse stiffener for bending	[6.2.6.1.(4)]
$M_{pl,sl,Rd}$	=	0.56	[kN*m]	Plastic resistance of the lower transverse stiffener for bending	[6.2.6.1.(4)]
$V_{wp,Rd} = 0.9 (A_{vs} \cdot f_{y,wc}) / (\sqrt{3} \gamma_{M0}) + \text{Min}(4 M_{pl,fc,Rd} / d_s, (2 M_{pl,fc,Rd} + M_{pl,stu,Rd} + M_{pl,sl,Rd}) / d_s)$					
$V_{wp,Rd}$	=	320.88	[kN]	Resistance of the column web panel for shear	[6.2.6.1]

$V_{wp,Ed} / V_{wp,Rd} \leq 1.0$	$0.36 < 1.00$	verified	(0.36)
----------------------------------	---------------	----------	--------

WEB - TRANSVERSE COMPRESSION - LEVEL OF THE BEAM BOTTOM FLANGE

Bearing:

$t_{wc} =$	7	[mm]	Effective thickness of the column web	[6.2.6.2.(6)]
$b_{eff,c,wc} =$	164	[mm]	Effective width of the web for compression	[6.2.6.2.(1)]
$A_{vc} =$	25.68	[cm ²]	Shear area	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
$\omega =$	0.89		Reduction factor for interaction with shear	[6.2.6.2.(1)]
$\sigma_{com,Ed} =$	4.65	[MPa]	Maximum compressive stress in web	[6.2.6.2.(2)]
$k_{wc} =$	1.00		Reduction factor conditioned by compressive stresses	[6.2.6.2.(2)]
$A_s =$	11.43	[cm ²]	Area of the web stiffener	EN1993-1-1:[6.2.4]
$F_{c,wc,Rd1} = \omega k_{wc} b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} + A_s f_{ys} / \gamma_{M0}$				
$F_{c,wc,Rd1} =$	512.16	[kN]	Column web resistance	[6.2.6.2.(1)]

Buckling:

d_{wc} =	249	[mm]	Height of compressed web	[6.2.6.2.(1)]
λ_p =	0.89		Plate slenderness of an element	[6.2.6.2.(1)]
ρ =	0.87		Reduction factor for element buckling	[6.2.6.2.(1)]
λ_s =	5.60		Stiffener slenderness	EN1993-1-1:[6.3.1.2]
χ_s =	1.00		Buckling coefficient of the stiffener	EN1993-1-1:[6.3.1.2]
$F_{c,wc,Rd2} = \omega k_{wc} \rho b_{eff,c,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M1} + A_s \chi_s f_{ys} / \gamma_{M1}$				
$F_{c,wc,Rd2}$ =	481.17	[kN]	Column web resistance	[6.2.6.2.(1)]

Final resistance:

$F_{c,wc,Rd,low} = \text{Min}(F_{c,wc,Rd1}, F_{c,wc,Rd2})$				
$F_{c,wc,Rd} =$	481.17	[kN]	Column web resistance	[6.2.6.2.(1)]

$N_{low} / F_{c,wc,Rd,low} \leq 1.0$	$0.24 < 1.00$	verified	(0.24)
--------------------------------------	---------------	----------	--------

WEB - TRANSVERSE TENSION - LEVEL OF THE BEAM TOP FLANGE

t_{wc}	7	[mm]	Effective thickness of the column web	[6.2.6.3.(8)]
$b_{eff,t,wc}$	162	[mm]	Effective width of the web for compression	[6.2.6.3.(2)]
A_{vc}	25.68	[cm ²]	Shear area	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
ω	0.89		Reduction factor for interaction with shear	[6.2.6.3.(4)]
A_s	11.43	[cm ²]	Area of the web stiffener	EN1993-1-1:[6.2.4]
$F_{t,wc,Rd,upp} = \omega b_{eff,t,wc} t_{wc} f_{yc} / \gamma_{M0} + A_s f_{yc} / \gamma_{M0}$				
$F_{t,wc,Rd}$	509.18	[kN]	Column web resistance	[6.2.6.3.(1)]

$$N_{upp} / F_{t,wc,Rd,upp} \leq 1,0 \quad 0.24 < 1.00 \quad \text{verified} \quad (0.24)$$

WELD RESISTANCE

A_w	100.72	[cm ²]	Area of all welds	[4.5.3.2.(2)]
A_{wy}	63.18	[cm ²]	Area of horizontal welds	[4.5.3.2.(2)]
A_{wz}	37.54	[cm ²]	Area of vertical welds	[4.5.3.2.(2)]
I_{wy}	26261.49	[cm ⁴]	Moment of inertia of the weld arrangement with respect to the hor. axis	[4.5.3.2.(5)]
$\sigma_{\perp max} = \tau_{\perp max}$	33.03	[MPa]	Normal stress in a weld	[4.5.3.2.(5)]
$\sigma_{\perp} = \tau_{\perp}$	29.11	[MPa]	Stress in a vertical weld	[4.5.3.2.(5)]
$\tau_{ }$	4.00	[MPa]	Tangent stress	[4.5.3.2.(5)]
β_w	0.80		Correlation coefficient	[4.5.3.2.(7)]

$$\sqrt{(\sigma_{\perp max}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp max}^2))} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) \quad 66.07 < 360.00 \quad \text{verified} \quad (0.18)$$

$$\sqrt{(\sigma_{\perp}^2 + 3 \cdot (\tau_{\perp}^2 + \tau_{||}^2))} \leq f_u / (\beta_w \cdot \gamma_{M2}) \quad 58.62 < 360.00 \quad \text{verified} \quad (0.16)$$

$$\sigma_{\perp} \leq 0.9 f_u / \gamma_{M2} \quad 33.03 < 259.20 \quad \text{verified} \quad (0.13)$$

CONNECTION STIFFNESS

A_{vc}	25.68	[cm ²]	Shear area	EN1993-1-1:[6.2.6.(3)]
β	1.00		Transformation parameter	[5.3.(7)]
z	428	[mm]	Lever arm	[6.2.5]
k_1	2	[mm]	Stiffness coefficient of the column web panel subjected to shear	[6.3.2.(1)]
k_2			Stiffness coefficient of the compressed column web	[6.3.2.(1)]
k_3			Stiffness coefficient of the column web subjected to tension	[6.3.2.(1)]
$S_{j,ini} = E z^2 / \sum_i (1/k_1 + 1/k_2 + 1/k_3)$				
$S_{j,ini}$	87720.21	[kN*m]	Initial rotational stiffness	[6.3.1.(4)]
η	2.00		Stiffness coefficient of a connection	[5.1.2.(4)]
$S_j = S_{j,ini} / \eta$				[6.3.1.(4)]
S_j	43860.11	[kN*m]	Final rotational stiffness	[6.3.1.(4)]

Connection classification due to stiffness.

$S_{j,rig}$	28076.53	[kN*m]	Stiffness of a rigid connection	[5.2.2.5]
$S_{j,pin}$	1754.78	[kN*m]	Stiffness of a pinned connection	[5.2.2.5]

$$S_{j,ini} \geq S_{j,rig} \text{ RIGID}$$

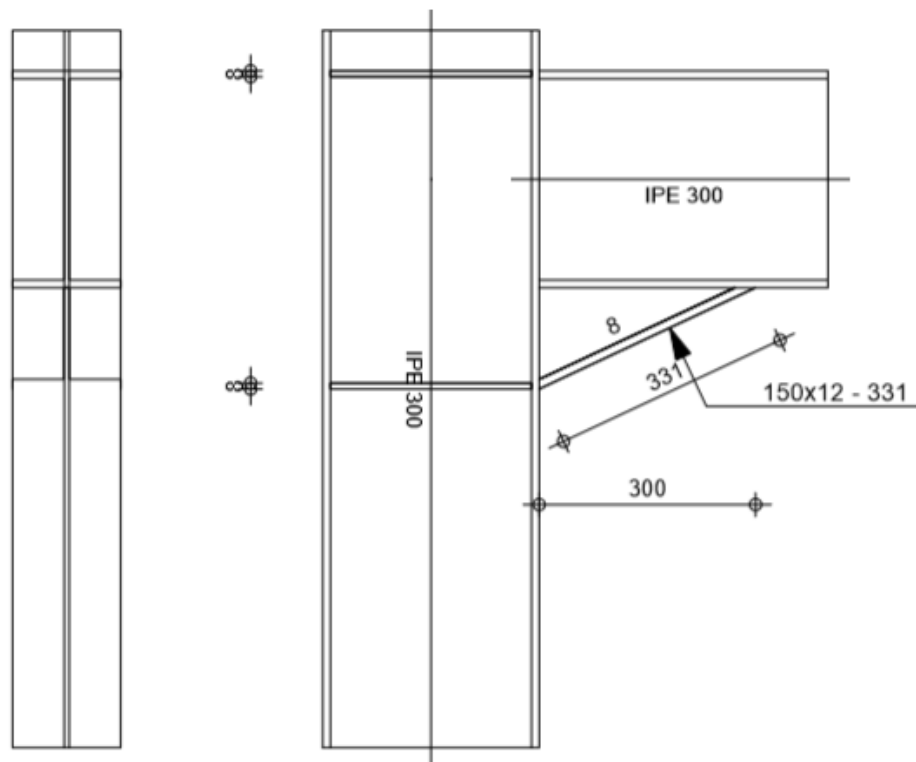
WEAKEST COMPONENT:

COLUMN WEB PANEL - SHEAR

Connection conforms to the code

Ratio 0.36

На следећој слици је приказан технички цртеж круте везе под углом са чеоном плочом остварена заваривањем са постављеним укрућењима на стубу.



Слика 74. Технички цртеж са основним димензијама ове везе.

6. Закључак

Материјал који се данас у највећој мери употребљава у металним конструкцијама је челик. Челичне конструкције омогућавају савлађивање великих распона и висина, зато имају широку примену код грађевинских и машинских конструкција. Са друге стране и веза под углом има највећу примену код грађевинских конструкција и машиноградњи. Да би смо могли остварити везу под углом, користе се разне врсте средстава за везу. Избор спојног средства има велики утицај на економичност конструкције и на њено понашање под оптерећењем. На пример, заваривањем се добија хомогенији спој, а пренос сила је континуалнији, међутим за заваривање су потребни контролисани атмосферски услови, посебна опрема и квалификована радна снага. Док се спајањем завртњевима или закивцима остварује дисконтинуалан, тачкаст спој, а неопходни су и додатни лимови – подвезице, што додано утиче и на цену. За везу која је остварена завртњевима нису потребни контролисани атмосферски услови. Међутим као најважнија разлика је што су завртњеви демонтажни, а заварени спојеви нису.

У раду се може видети да се са статичког аспекта веза под углом може поделити на *круту* и *зглобну везу*. Зглобна веза преноси само трансверзалну силу, док крута преноси момент савијања и трансверзалну силу. Предност круте везе у односу на зглобну је та што се у конструкцији јављају знатно мање деформације и што се добија повољнија прерасподела унутрашњих сила у конструкцији. Са друге стране, велики број крутих веза у конструкцији не поседује довољну крутост, па при оптерећењу долази до извесне релативне ротације на месту везе. Тако и зглобна веза се не понаша идеално, већ и она при оптерећењу показује одређен степен ротационе крутости, мада ова веза је оптерећена и моментом услед ексцентричног везивања, па се може рећи да поседује мали степен укљештења (еластично укљештење). Међутим израда круте везе је нешто сложенија, за разлику од зглобне везе. Односно да би се обезбедило преношење момента савијања, потребно је предвидети посебне конструкцијске елементе, па крута веза изискује већи утрошак челика од зглобне, што утиче и на цену.

Такође у овом раду су одрађена два примера веза под углом, помоћу софтверског пакета Robot Structural Analysis Professional према Еврокодним стандардима. Овај софтверски пакет ефикасно врши симулације, анализе и димензионисање према датим стандардима како би дошли до оптималних решења у што краћем временском року, што знатно скраћује и време самих прорачуна, а такође и приказује и сваки корак прорачуна. Наравно уколико постоји неки проблем, због кога није безбедно остварити жељену везу, овај софтвер показује где у прорачуно се јавља грешка. Исправљање грешке зависи од различитих фактора, као нпр. промена профила, измена спојног средства, промена броја завртњева и разне друге могућности, које зависе од грешке која се јавља у прорачуну. Као додатну могућност на крају даје и технички цртеж саме конструкције и у том види скраћује време конструктору за израду техничког цртежа.

У ова два примера која су урађена у овом софтверском пакету, је урађена провера чврстоће и стабилности према Еврокод стандарду, за две исте везе остварене различитим спојним средством. У једном примеру је веза под углом остварена завртњевима, а у другом завареним спојевима.

Литература

- [1] Домазет Ж., Крстуловић-Опара Л., Подлога за предавање из Металних конструкција и Конструисања, Факултет електротехнике стројарства и бродоградње, Сплит, 2006.
- [2] Буђевац Д., Марковић З., Богавац Д. и Тошић Д., Металне конструкције, Грађевински факултет, Београд, 1999.
- [3] Web страница: Bridges of Dublin, доступно на:
[http://www.bridgesofdublin.ie/bridge-building/famous-bridges/the-iron-bridge-1779#:~:text=The%20Iron%20Bridge%20\(1779\)%20Shropshire,use%20in%20large%20scale%20structures.](http://www.bridgesofdublin.ie/bridge-building/famous-bridges/the-iron-bridge-1779#:~:text=The%20Iron%20Bridge%20(1779)%20Shropshire,use%20in%20large%20scale%20structures.), приступљено 24.08.2020
- [4] Web страница: SOM, доступно на:
https://www.som.com/projects/burj_khalifa_structural_engineering, приступљено 02.09.2020.
- [5] Web страница: Adrian Swinscoe, доступно на:
<https://www.adrianswinscoe.com/2014/06/why-we-must-build-bridges-between-communities/>, приступљено 02.09.2020.
- [6] Web страница: Bloomberg, доступно на:
<https://www.bloomberg.com/news/articles/2019-09-12/world-s-biggest-crane-gets-to-work-at-british-nuclear-plant>, приступљено 03.09.2020
- [7] Web страница: The Construction Index, доступно на:
<https://www.theconstructionindex.co.uk/news/view/sarens-unveils-5000-tonne-crane>, приступљено 03.09.2020.
- [8] Web страница: Caduk, доступно на: <https://www.caduk.co.uk/plant-operations/nvq-overhead-gantry-crane-cpcs/>, приступљено: 03.09.2020.
- [9] Николић Р. и Маријановић В., Металне конструкције, Машински факултет, Крагуевац, 1998.
- [10] Јовановић М., Лазић В., Технологија ливења и заваривања, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2015.
- [11] Петковић З., Острић Д., Металне кнструкције у машиноградњи 1, Машински факултет, Београд, 1996.
- [12] Митровић С., Металне и дрвне конструкције 1, Висока грађевинско-геодетска школа, Београд, 2011.
- [13] Web страница: INOVA, доступно на:
<https://www.geoinova.com/index.php/you/programi/autodesk-robot>, приступљено 23.08.2020.
- [14] Web страница: Asocijacija Arhitekata u Bosni I Hercegovini, доступно на:
<https://aabh.ba/sta-je-building-information-modeling-bim/>, приступљено: 23.08.2020.