



Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука



Назив студијског програма: Машинско инжењерство
Ниво студија: Основне дипломске студије
Смер: Машинске конструкције и механизација
Предмет: Металне конструкције
Број индекса: 6/91-в

Весна Ј. Ивановић

**НАЧИНИ ОСТВАРИВАЊА ВЕЗА У МЕТАЛНИМ
КОНСТРУКЦИЈАМА**

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. др Весна Марјановић, ван.проф.

2.

Датум одбране: _____

3.

Оцена: _____

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да:

Опише најважније карактеристике металних конструкција са посебним освртом на значај наставака и веза у истим. Посебно треба да обради врсте наставака различитих профила, како стандардних тако и нестандартних. Везе елемената под различитим угловима и провера њихове сигурности је такође битна за ову тему. Поред тога рад треба да садржи и преглед средстава која се користе за остваривање ових веза као што су у првом реду завртњевци, затим закивци, чепови и заваривање.

Препоручена литература:

1. Буђевац Д., Маринковић З., Чукић Д., Тошић Д., Металне конструкције, Грађевински факултет Универзитета у Београду, Београд 2007.
2. Петковић З., Острић Д., Металне конструкције у машиноградњи, Институт за механизацију Машинског факултета у Београду, Београд 1996.
3. Николић Р., Марјановић В., Металне конструкције – Приручник за прорачуне, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац 1998.
4. Николић Р., Вељковић Ј., Марјановић В., Металне конструкције – Збирка решених задатака, Машински факултет у Крагујевцу, Крагујевац 2013.

Крагујевац,

Мај, 2018. године

Ментор:

др Весна Марјановић, ван. проф.

Резиме:

Металне конструкције се састоје већим делом од стандардних производа: вруће ваљаних или хладно обликованих профила, лимова и слично, чије димензије зависе од технолошких могућности произвођача. Елементи конструкције чија је дужина већа од максималне дужине стандардних профила и лимова се добијају њиховим спајањем – настављањем. Наставак подразумева спој два иста или слична дела једног истог елемента конструкције, на пример штапа или носача.

Везе су спојеви различитих елемената конструкције, на пример веза греде и стуба или на пример веза штапова решеткастог носача за чворни лим. Избор врсте везе и спојних средстава утиче на крутост, носивост и изглед везе.

Сигурност конструкције зависи много од сигурности наставака и веза, те се зато њиховом прорачуну и избору мора посветити велика пажња.

Данас постоје моћни софтвери који помажу инжењерима да брже и лакше изврше проверу веза и наставака у металним конструкцијама [ROBOT, MD SOLIDS...].

Кључне речи: металне конструкције, наставци, везе, завртњеве, закивци, заваривање

Summary:

Metal constructions consist mainly of standard products: hot-rolled or cold-shaped profiles, sheets and the like, whose dimensions depend on the technological capabilities of the manufacturer. Elements of construction whose length is greater than the maximum length of standard profiles and sheets are obtained by their joining –attachment. The attachment means a blend of two identical or similar parts of one same construction element, for example, a rod or a carrier.

Connections are joints of different structural elements, for example the connection between the beam and the pillar or, for example, the connection of the rods of the grate carrier to the nodal sheet. Selecting the type of connection and means of connection affects the rigidity, load capacity and appearance of the connection.

The safety of the construction depends heavily on the safety of the attachments and connections, and therefore the attention must be paid to their calculation and choice.

Today, there is powerful software that helps engineers to check the connections and attachments in metal constructions more quickly and easily [ROBOT, MD SOLIDS...].

Key words: metal constructions, attachments, connections, screws, rivets, welding

SADRŽAJ

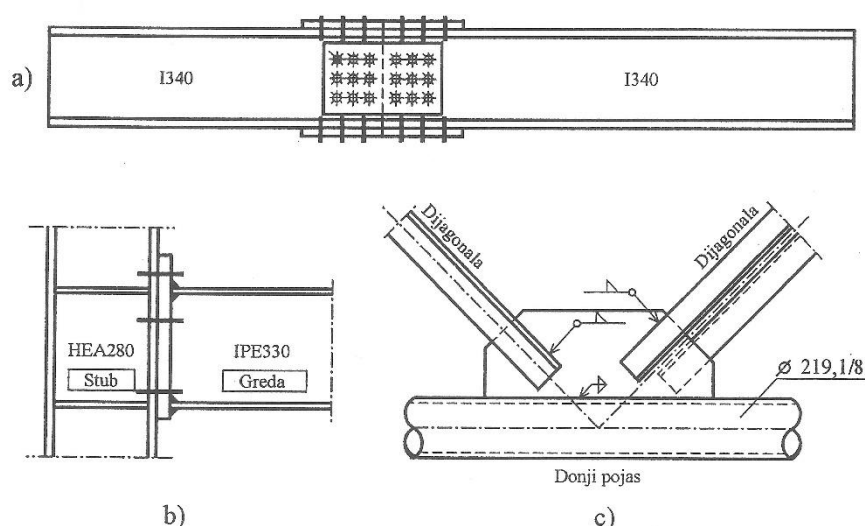
1. Uvod	1
2. Vrste nastavaka i veza u metalnim konstrukcijama.....	2
2.1 Nastavci i veze u zavisnosti od broja elemenata.....	2
2.2 Nastavci i veze u zavisnosti od položaja elemenata	3
2.3 Nastavci i veze u zavisnosti od vrste opterećenja	3
2.3.1 Montažni nastavci štapova, stubova i nosača	3
2.3.2 Veze nosača sa stubovima.....	4
2.3.3 Veze nosača pod uglom.....	5
2.3.4 Zglobne veze pod uglom	8
2.3.4.1 Veze sa priključnim limom.....	8
2.3.4.2 Veze sa priključnim ugaonicima	9
2.3.4.3 Veze sa čeonom pločom	10
2.3.4.4 Veze pomoću stolice.....	11
2.3.5 Krute veze.....	12
2.3.5.1 Krute veze nosača sa kontinuitet lamelom	12
2.3.5.2 Krute veze nosača sa čeonim pločama i prednapregnutim visokovrednim zavrtnjevima	14
2.4 Podela veza prema Evrokodu 3.....	15
2.4.1 Podela veza prema krutosti.....	15
2.4.2 Podela veza prema momentnoj otpornosti	15
2.5 Podela nastavaka prema statičkim uticajima	15
2.5.1 Montažni nastavci aksijalno opterećenih štapova	16
2.5.2 Nastavci štapova izloženi savijanju, uvijanju i aksijalnoj sili	17
2.5.3 Ekscentrično opterećeni elementi nastavaka i veza	17
2.5.4 Rešetkasti nosači	18
2.5.4.1 Rešetkasti nosači sa čvornim limom.....	19
2.5.4.2 Rešetkasti nosači bez čvornog lima	22
2.5.4.3 Rešetkasti nosači od šupljih profila	23
2.6 Podela nastavaka prema načinu izvođenja.....	25
2.6.1 Nastavci nosača ostvareni zavrtnjevima.....	25
2.6.2 Nastavci nosača u zavarenoj izradi	26
3. Sredstva za ostvarivanje veze	27
3.1 Zakivci	27
3.1.1 Rad zakovane veze	28
3.1.2 Nosivost zakivaka.....	28
3.1.2.1 Nosivost zakivka na smicanje.....	29
3.1.2.2 Nosivost zakivka na pritisak po omotaču rupe	29
3.1.2.3 Nosivost zakivka na zatezanje	30
3.2 Zavrtnjevi	30
3.2.1 Obični zavrtnjevi	30
3.2.1.1 Obeležavanje zavrtnjeva	32
3.2.1.2 Rad veza sa zavrtnjevima	32
3.2.1.3 Proračun nosivosti zavrtnjeva.....	34
3.2.2 Visokovredni zavrtnjevi	35
3.3 Veze sa zavrtnjevima i zakivcima.....	38
3.3.1 Raspored zakivaka i zavrtnjeva u vezi	38
3.4 Specijalna savremena spojna sredstva	39
3.5 Čepovi	39
3.5.1 Rad veza sa čepovima	39
3.6 Zavarivanje.....	41
3.6.1 Ponašanje zavarenih spojeva	43
3.6.2 Konstruisanje zavarenih spojeva	46
3.7 Kombinovanje raznih spojnih sredstava	47
4. Zaključak	49
Literatura.....	50

1. Uvod

Metalne konstrukcije se sastoje većim delom od standardnih proizvoda: vruće valjanih ili hladno oblikovanih profila, limova i slično, čije dimenzije zavise od tehnoloških mogućnosti proizvođača. Elementi konstrukcije čija je dužina veća od maksimalne dužine standardnih profila i limova se dobijaju njihovim spajanjem – nastavljanjem. Segmenti konstrukcije se transportuju i montiraju na gradilištu. Izvođenjem nastavaka i veza u radionici i na gradilištu dobija se prostorno povezana konstrukcija koja zajedno sa temeljima treba da ispuni uslove projektovane nosivosti, stabilnosti i upotrebne funkcije.[1,5,6,7]

Nastavak podrazumeva spoj dva ista ili slična dela jednog istog elementa konstrukcije, na primer štapa ili nosača, (slika 1.a).

Veze spojevi različitih elemenata konstrukcije, na primer veza grede i stuba (slika 1.b), ili na primer veza štapova rešetkastog nosača za čvorni lim (slika 1.c). Izbor vrste veze i spojnih sredstava utiče na krutost, nosivost i izgled veze.



Slika 1.- a) Nastavak štapa; b) Veza greda-stub; c) Veze štapova u čvoru rešetkastog nosača

Nastavci i veze mogu da se izvedu zavarivanjem, zavrtnjevima i zakivcima u zavisnosti od opterećenja i ekonomičnosti konstrukcije. Zbog različitih karakteristika veza napravljeno je razgraničenje po pitanju primene spojnih sredstava. Zavarivanje se uglavnom primenjuje pri izradi konstrukcija u radionici, a zavrtnjevi za izradu nastavaka i veza na gradilištu. Zavarivanjem se dobija homogeni spoj, a prenos sila je kontinualniji, ali su potrebni kontrolisani atmosferski uslovi, posebna oprema i kvalifikovana radna snaga. Pri zavarivanju dolazi do pojave zaostalih napona i do deformacije elemenata.

Veze izvedene zavrtnjevima se izvedu brzo, uz jednostavnu opremu sa ujednačenim i dobrim kvalitetom, a u konstrukciju se ne unose zaostali naponi. Spajanjem zavrtnjevima ili zakivcima se ostvaruje diskontinualan tačkast spoj uz pomoć dodatnih limova – podvezica.

Pri projektovanju veza treba se pridržavati sledećih principa:

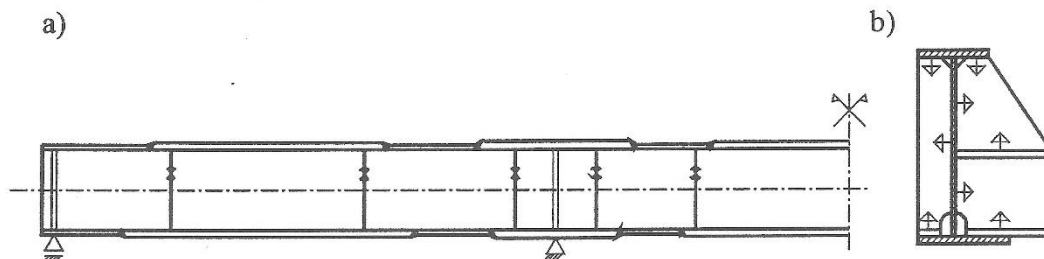
- veze treba da su jednostavne i lake za izvođenje,
- zavarivanje treba da se izvodi sa minimalnim dimenzijama šavova i po mogućstvu u horizontalnom položaju,
- kad god je moguće treba primenjivati ugaone a ne sučeone šavove zbog jednostavnijeg izvođenja i niže cene,
- treba težiti tipizaciji istih veza i detalja u konstrukciji,
- primena automatskih metoda obeležavanja i izrade,
- lako postavljanje elemenata i brzo izvođenje veza na montaži.

2. Vrste nastavaka i veza u metalnim konstrukcijama

Postoje različiti kriterijumi za izbor nastavaka i veza za neku konkretnu konstrukciju.

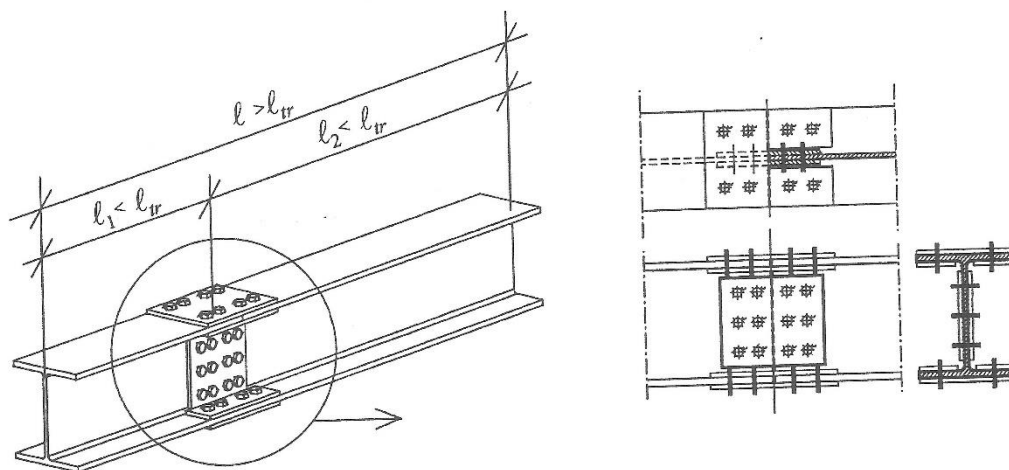
U zavisnosti od mesta izvođenja, da li se izvođe u radionici ili na gradilištu, mogu biti: radionički ili montažni nastavci i veze. [1,2,5,6,7,8]

Radionički nastavci i veze (slika 2), se izvođe nastavcima od valjanih profila zavarenih elemenata ili limova različitih debljina, a veza se ostvaruje gaonim ili sučeonim zavarivanjem.



Slika 2- Radionički nastavci i veze a) Nosač dizalice; b) Veza poprečnog sa glavnim nosačem

Montažni nastavci (slika 3), se izvođe na gradilištu. Nastavci su štapovi ili nosači čija je dužina veća od transportne dužine $l > l_{tr} = 12.5m$, na primer kao za izgradnju mostova. Veze se izvođe uglavnom pomoću zavrtnjeva. Ukoliko na terenu postoji pokretna radionica može se primenjivati i zavarivanje.



Slika 3-Montažni nastavci [1]

2.1 Nastavci i veze u zavisnosti od broja elemenata

U zavisnosti od broja elemenata koji se nastavljaju (vezuju) mogu biti:

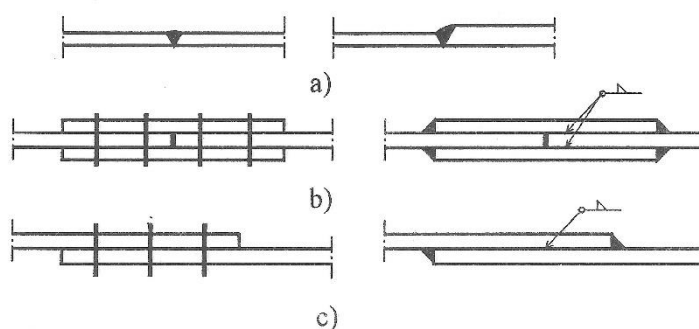
- delimični ili parcijalni nastavci ukoliko se vrši nastavljjanje samo pojedinih delova elemenata konstrukcije;
- potpuni nastavci ukoliko se vrši prekidanje i nastavljjanje istovremeno svih elemenata poprečnog preseka.

Radionički nastavci mogu biti delimični ili potpuni, a montažni su uvek potpuni nastavci.

2.2 Nastavci i veze u zavisnosti od položaja elemenata

U zavisnosti od položaja elemenata koji se spajaju nastavci mogu da budu :

- a) Sučeonni nastavci (slika 4.a), izvede se između dva lima iste ili različite debljine koja leže u istoj ravni, pomoću sučeonih šavova. Sučeonni šavovi prenose silu sa jednog elementa veze na drugi.
- b) Sučeonni nastavci sa podvezicama (slika 4.b), izvede se između dva lima u istoj ravni i dodatnih limova –podvezica. Podvezice se postavljaju sa obe strane da bi se izbeglo ekscentrično naprezanje. Ostvaruju se ugaonim šavovima ili zavrtnjevima.
- c) Preklopni nastavci (slika 4.c) su nastavci dva lima međusobno preklopljena na određenoj dužini. Mogu biti izvedeni pomoću ugaonih šavova ili zavrtnjevima. Primenuju se kod elemenata koji su izloženi malim opterećenjima.



Slika4- a) Sučeonni nastavci; b) Sučeonni nastavci sa podvezicama; c) Preklopni nastavci

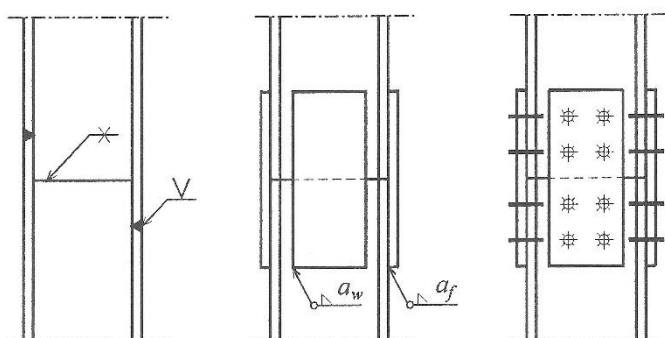
2.3 Nastavci i veze u zavisnosti od vrste opterećenja

U zavisnosti od vrste opterećenja, načina ostvarivanja veza, međusobnog položaja elemenata koji se spajaju kao i oblika njihovog poprečnog preseka, postoje:

- a) montažni nastavci štapova, stubova i nosača,
- b) veze nosača sa stubovima i
- c) veze nosača pod uglom.

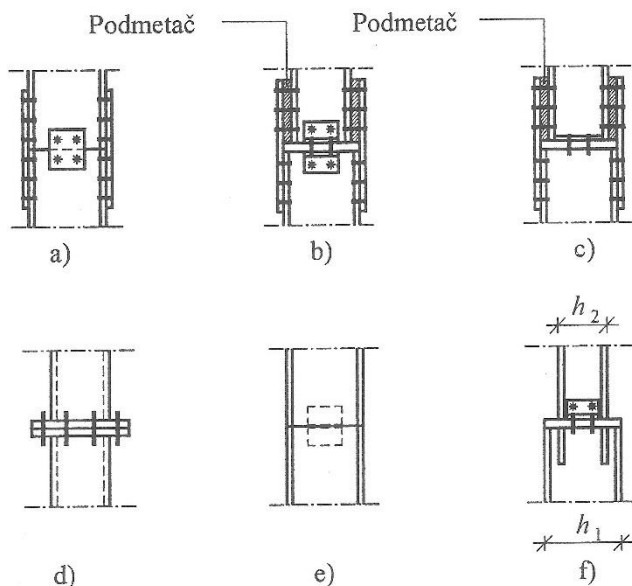
2.3.1 Montažni nastavci štapova, stubova i nosača

Montažni nastavci štapova (slika 5), se izvede zavarivanjem sučeonim šavovima, ili preklopnim nastavcima ostvarenih pomoću podvezica koje se zavaruju ili vezuju zavrtnjevima.



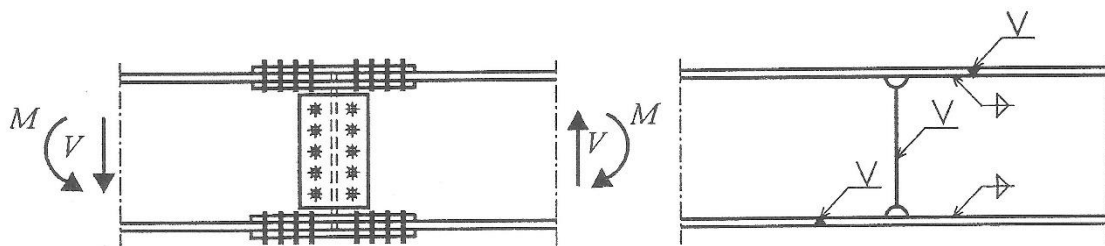
Slika5- Montažni nastavci štapova

Montažni nastavci stubova, mogu potpuno biti izvedeni pomoću zavrtnjeva (slika 6.a) i b)). Sile se prenose pod uglom ne manjim od 45° u odnosu na horizontalu. Montažni nastavci stubova mogu u potpunosti biti izvedeni zavarivanjem (slika 6.e,f). Zavareni nastavci su nepovoljniji sa stanovišta montaže jer zahtevaju privremeno podupiranje ili povezivanje pomoću montažnih stolica od ugaonika i zavrtnjeva, pre zavarivanja. Ukoliko su dimenzije stubova dosta različite (slika 6.f) na rebru donjeg stuba se postavlja ukrućenje da ne dođe do savijanja čelone ploče. Kada nastavak treba da bude smešten u okviru debljine poda, najpovoljnije rešenje je prikazano na slici 6.d. Montažni nastavci stubova mogu biti izvedeni kombinovano (slika 6.c,d) i predstavljaju bolja rešenja u pogledu montaže. Zavarivanje stubova za čelone ploče vrši se u radionici, a montaža pomoću zavrtnjeva se vrši na terenu-gradilištu.



Slika6- Montažni nastavci stubova

Montažni nastavci nosača najčešće su izvedeni pomoću zavrtnjeva, kao što se vidi na slici 7.a. Nastavci nosača izvedeni zavarivanjem, sučeonim šavovima u horizontalnom položaju su dati na slici 7.b,



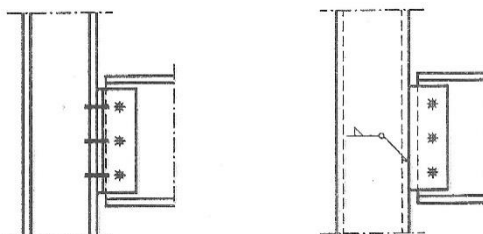
Slika7- Montažni nastavci nosača; a) Pomoću zavrtnjeva; b) Zavareni

2.3.2 Veze nosača sa stubovima

Veze nosača sa stubovima mogu biti:

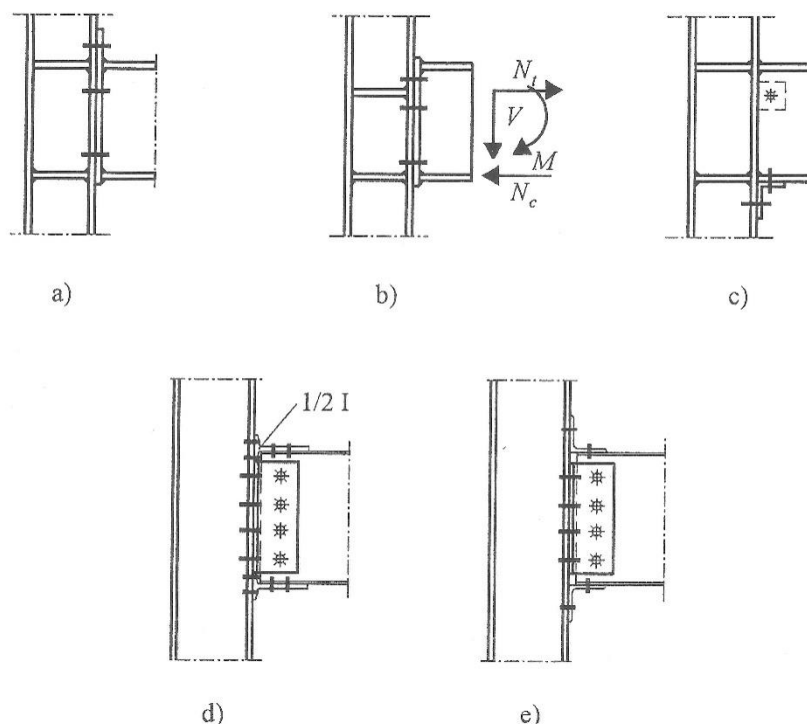
- a) zglobne ili
- b) krute.

Zglobne veze se dimenzionišu tako da mogu da prenesu transversalnu silu, odnosno reakciju oslonca. Najčešće se izvode pomoću priključnih ugaonika koji se vezuju za stub pomoću zavrtnjeva ili ugaonih šavova, ili pak priključnih limova koji se zavaruju za stub ugaonim ili $1/2v$ – šavovima (slika 8).



Slika8 –Zglobne veze nosača sa stubom

Krute veze se dimenzionišu tako da mogu da prenesu transversalnu silu V i moment savijanja M , koji može da se zameni spregom sila N_t – sila zatezanja i N_c -sila pritiska. Krute veze se ostvaruju pomoću čelone ploče koja se zavaruje za nosač po njegovom obimu, a za stub se vezuje prednapregnutim visokovrednim zavrtnjevima. Čelone ploče mogu da budu sa prepustom (slika 9.a), što je povoljnije, jer je krak sile veći u odnosu na čelone ploče bez prepusta (slika 9.b). Krute veze se ostvaruju i zavarivanjem (slika 9.c) uz privremenu upotrebu montažnih oslonaca i stolica. Krute veze ostvarene samo pomoću zavrtnjeva zahtevaju upotrebu T i L profila. Ovakve veze se brzo i jednostavno ostvaruju na gradilištu ali su deformabilne i veći je utrošak materijala (slika 9.d,e).

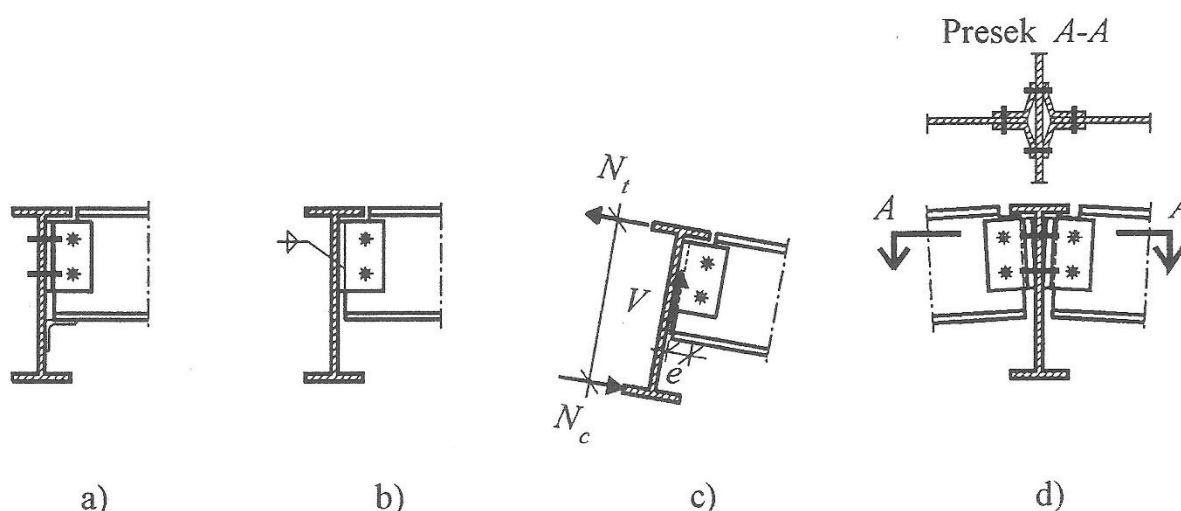


Slika9 - Krute veze nosača sa stubom

2.3.3 Veze nosača pod uglom

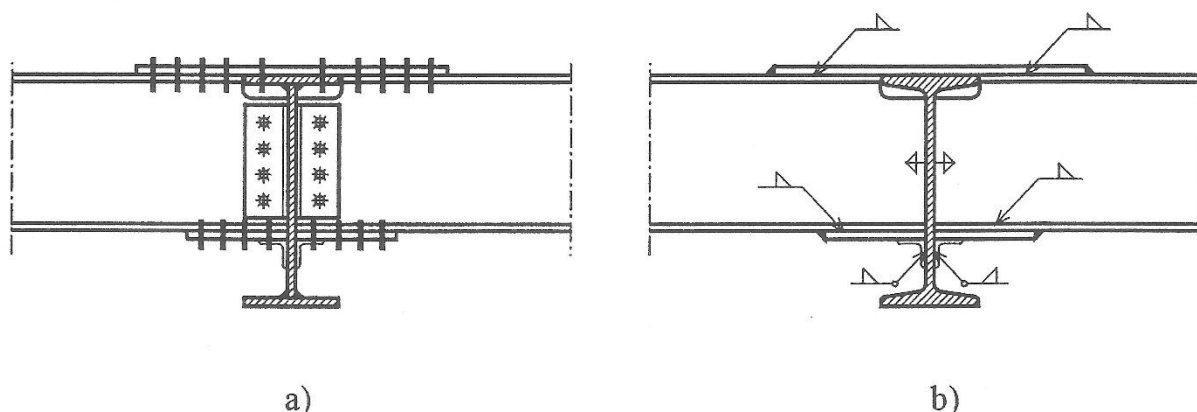
Veze nosača pod uglom se javljaju u zgradarstvu, mostogradnji i mašinogradnji. One mogu da budu zglobne ili krute.

Zglobne veze nosača pod uglomsu prikazane na slici 10. Ovakve veze se ostvaruju samo preko rebara nosača. Najčešće se koriste priključni ugaonici (slika 10.a) ili priključni lim (slika 10.b). U slučaju jednostrane veze (slika 10.c), veza poseduje izvesnu torzionu krutost, a u slučaju obostrane veze (slika 10.d), veza poseduje zanemarljivu torzionu krutost.



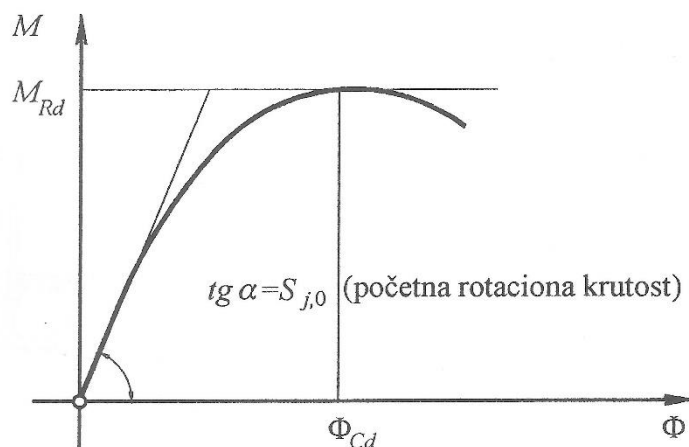
Slika 10- Zglobne veze nosača pod uglom [1]

Krute veze nosača pod uglom (slika 11), treba da prihvate i transverzalnu silu i moment savijanja. Prijem transverzalne sile kod veza sa zavrtanjima (slika 11.a), se ostvaruje pomoću obostranih priključnih ugaonika, dok se kod zavarivanja (slika 11.b), direktno zavaruju rebra sekundarnih nosača za rebro primarnog nosača. Pri dimenzionisanju nosača i kod zglobnih i kod krutih veza treba uzeti u obzir moment usled ekscentričnosti veze koji se javlja u spojnim sredstvima.



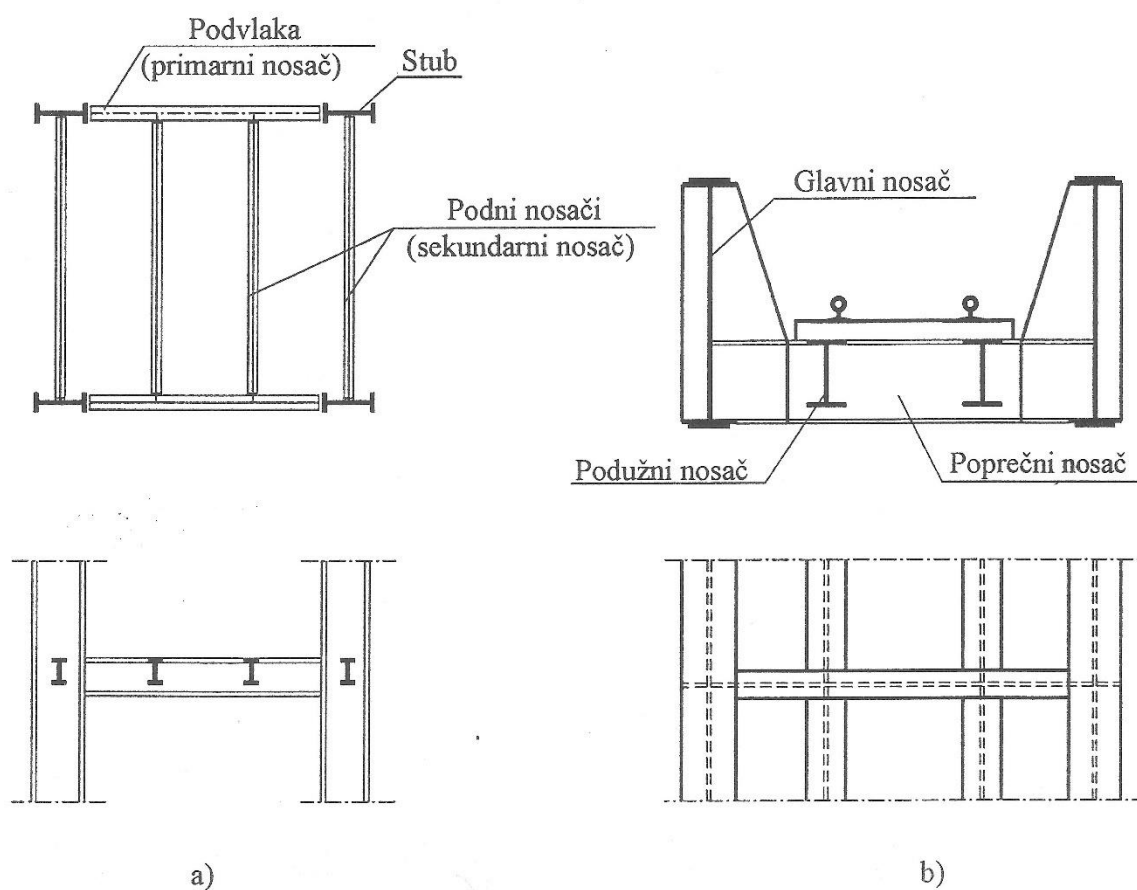
Slika 11- Krute veze nosača pod uglom

Realno, veze nisu idelno krute niti idealno zglobne jer pri opterećenju dolazi do rotacije na mestu krute veze i rotacione krutosti na mestu zglobne veze. Prelaz između krutih i zglobnih veza su polukrute veze. Realna veza se može opisati pomoću krive, odnosno karakteristike koja prikazuje zavisnost momenta savijanja – M na mestu veze i relativnog obrtanja – Φ (slika 12). Ona se određuje eksperimentalnim putem ili prema preporukama Evrokoda 3. Na osnovu $M-\Phi$ krive mogu da se odrede sve osnovne karakteristike jedne momentne veze: momentna otpornost M_{Rd} , rotaciona krutost veze S_i i kapacitet rotacije veze Φ_{Cd} . Pri analizi konstrukcije, krutim vezama se mogu smatrati i one veze čija krutost prouzrokuje malu relativnu rotaciju, pod uslovom da ona ne utiče značajno na preraspodelu statičkih uticaja u konstrukciji.



Slika12- Osnovne karakteristike veze ($M-\Phi$ kriva)[1]

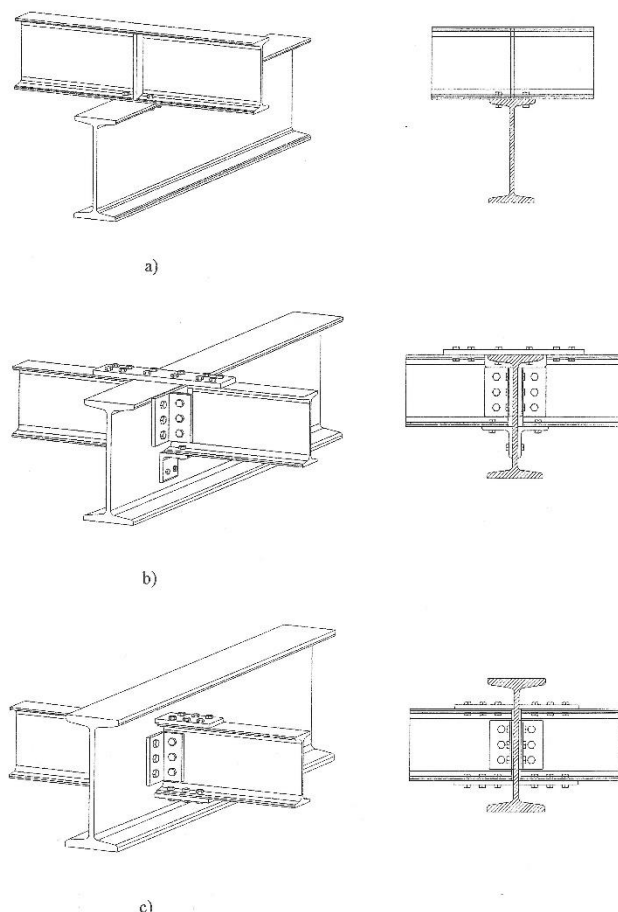
Noseći sistemi su uglavnom skeletnog tipa, formiraju se od linijskih elemenata. Raznolikost i specifičnost objekata diktiraju različite položaje elemenata pri njihovom međusobnom povezivanju. Veze su najčešće pod pravim uglom (slika 13), ali su moguće i veze pod uglom koji nije prav. One su skuplje i po utrošku materijala i po vremenu izrade i treba ih izbegavati.



Slika 13 - Primeri veza pod uglom

Ukoliko visina konstrukcije nije ograničena, najjednostavnije je ukrštanje nosača oslanjanjem jednog na drugi. Kod ograničenih visina konstrukcije, vezivanje se vrši tako što gornje nožice nosača leže u istoj ravni ili se u nekim slučajevima vrši upuštanje nosača.

Opterećenje se kod sistema nosača vezanih pod uglom prenosi sa nosača nižeg na nosače višeg reda. Kod mostovskih konstrukcija podužni nosači predstavljaju nosače najnižeg reda koji svoje reakcije predaju poprečnim nosačima, a ovi opterećuju glavne nosače. Statički opterećene veze mogu biti krute ili zglobne i ostvaruju se zavrtnjevima i zavarivanjem.



Slika 14 - Međusobni položaj nosača kod veza pod uglom:

a) ukrštanje nosača oslanjanjem jednog na drugi, b) gornje nožice nosača koje leže u istoj ravni, c) upuštanje nosača [1]

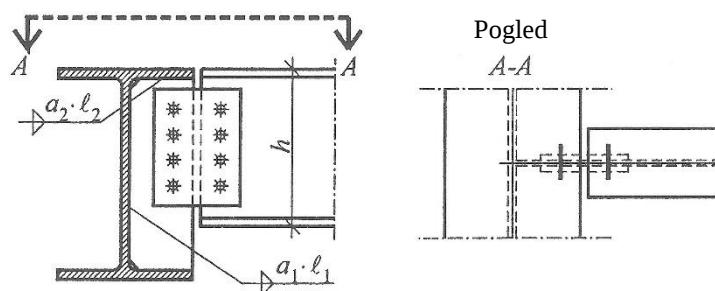
2.3.4 Zglobne veze pod uglom

2.3.4.1 Veze sa priključnim limom

Veze sa priključnim limom se primenjuju kod nosača čija je bočna stabilnost gornjeg pojasa u potpunosti obezbeđena jer su ove veze osetljive na bočno pomeranje. Ove veze su jednostavne za izradu, pristupačne za montažu a ugradnja zavrtnjeva je laka. Ako se nosač upusti ili ako se vezuje za stub smanjuje se ekscentricitet. Proverava se veza priključnog lima i priključne površine, zatim veza priključnog lima sa rebrom nosača i naponi u priključnom limu.

Veza priključnog lima u ravni spoja je opterećena transversalnom silom i momentima torzije i savijanja. Ona se najčešće ostvaruje kružnim ugaonim šavom. Veza nosača sa priključnim limom se ostvaruje zavrtnjevima, najčešće neobrađenim zavrtnjevima.

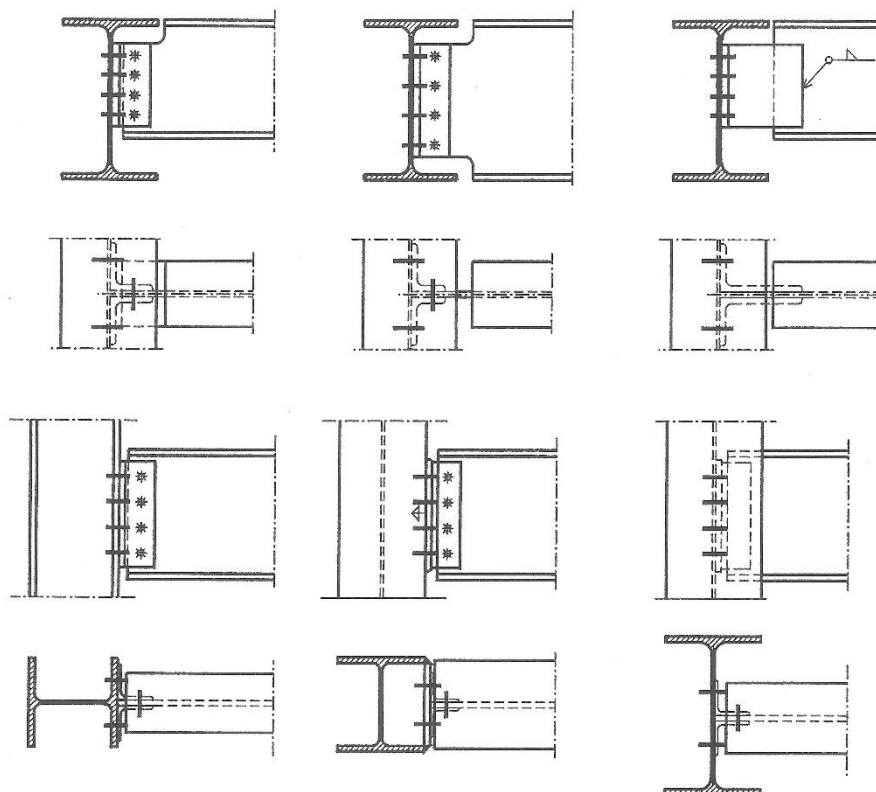
Veza sa priključnim limom može da se konstruiše i sa dve podvezice. Usled centričnog postavljanja podvezice, nema moment torzije i statički je povoljna sa stanovišta naprezanja zavrtnjeva ali zbog većeg broja podvezica zahteva veći broj zavrtnjeva, a i ekscentricitet se povećava.



Slika15 - Dvosečne veze sa priključnim limom

2.3.4.2 Veze sa priključnim ugaonicima

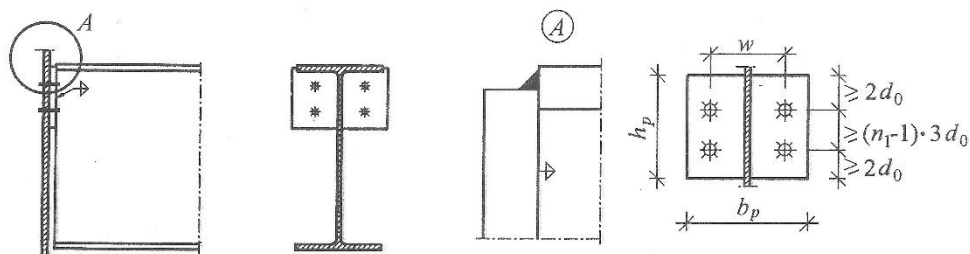
Kod ovakvih veza ulogu priključnog lima preuzimaju dva priključna ugaonika. Veza ugaonika za priključnu površinu se ostvaruje zavrtnjevima ili zavarivanjem (u slučaju reakcija manjeg inteziteta, pretpostavka je da ukupnu transversalnu silu prihvata vertikalni šav a moment ekcentriciteta prihvataju horizontalni šavovi). Veze su opterećene transversalnom silom i momentom ekcentriciteta.



Slika 16 - Zglobna veza sa priključnim ugaonicima, veza sa zavrtnjevima [1]

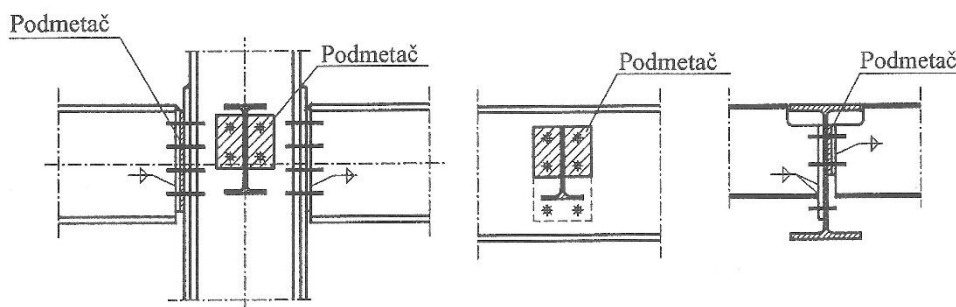
2.3.4.3 Veze sa čeonom pločom

Veze sa čeonom pločom se izvode zavarivanjem ploče za rebro nosača i spajanjem sa priključnom površinom pomoću zavrtnjeva. Prenosnje transverzalne sile se vrši bez ekscentriciteta. Transverzalna sila se iz rebra nosača prenosi na čeonu ploču preko ugaonih šavova, a zatim preko zavrtnjeva na priključnu površinu. Dejstvo zgloba se ostvaruje deformacijom čeonu ploče koja omogućava obrtanje veze za ugao Θ , zato čeonu ploča treba da bude što kraća i ne suviše debela kako bi se pri obrtanju smanjio efekat uklještenja koji izazivaju sile zatezanja u zavrtnjevima.



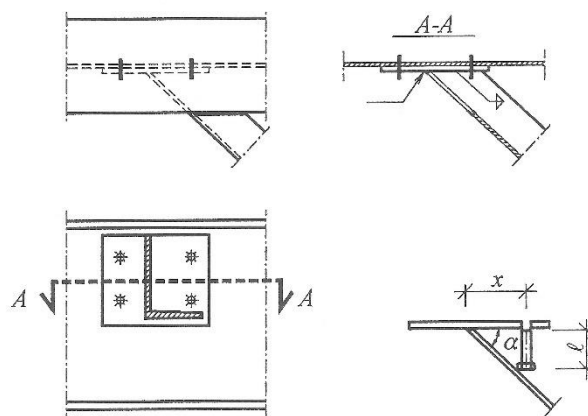
Slika17 - Zglobna veza sa čeonom pločom[1]

Ako se pri montaži nosač bočno ubacuje između postojećih stubova, nakon ubacivanja da bi se kompenzovao zazor, neophodno je da se postavi podmetač u vidu ploče.



Slika18 - Zglobna veza sa čeonom pločom i podmetačem

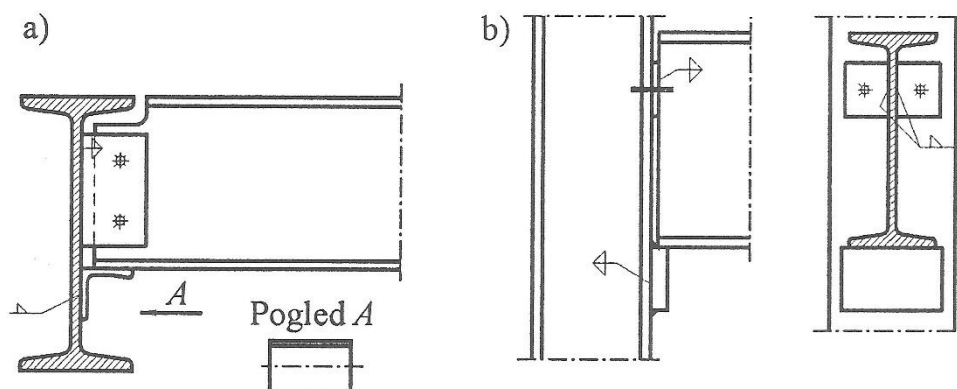
Pomoću čeonih ploča mogu se ostvariti i kose veze pod uglom.



Slika19 - Zglobna kosa veza sa čeonom pločom

2.3.4.4 Veze pomoću stolice

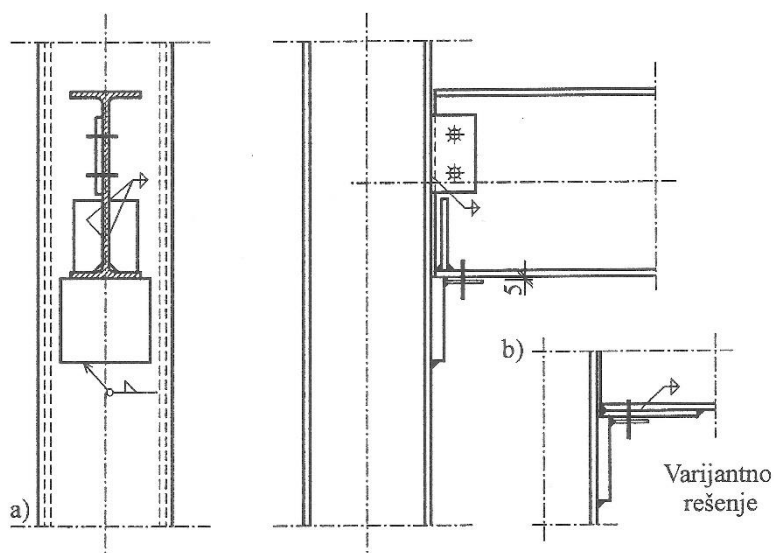
Kao stolica se najčešće koristi ugaonik ili lim preko kojeg se direktnim kontaktom prenosi reakcija nosača. Veza rebra sa priključnim limom ima za cilj samo da spreči skliznuće ili bočno preturanje nosača. Veza pomoću stolice je naročito pogodna za laku montažu nosača.



Slika20 - Zglobna veza nosača pomoću stolice

Veza ugaonika sa priključnom površinom može biti ostvarena zavrtnjevima ili zavarivanjem pomoću ugaonih šavova. Ako se nosač vezuje za stub ili podvlaku sandučastog preseka onda u obzir dolazi samo veza zavarivanjem, jer se zbog nepristupačnosti preseka zavrtnjevi ne mogu postaviti. Ako se raspolaze dovoljnom visinom, veze mogu da se izvedu pomoću stolice u vidu pljoštog čeličnog lima.

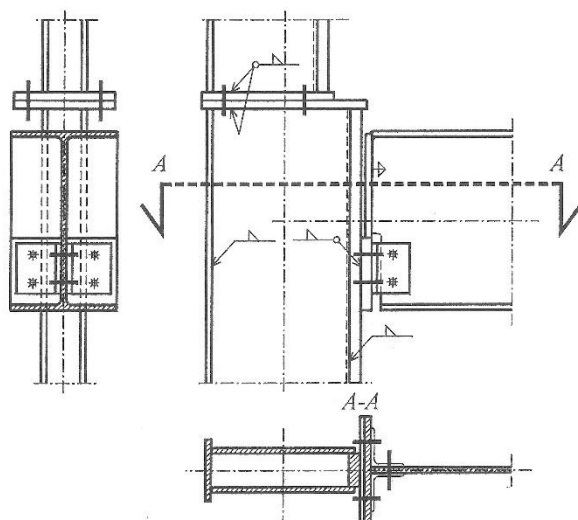
Kod ovakvih veza treba voditi računa o unošenju sile u rebro nosača. Ukoliko rebro nije sposobno da prihvati reakciju, potrebno je predvideti ukrućenje ili ojačati oslonačku nožicu.



Slika21- Zglobna veza nosača u vidu pljoštog čelika [1]

Primena veze nosača pod uglom pomoću stolice je dosta česta u čeličnim konstrukcijama. Kod visokih nosača stolica može da se smesti unutar visine nosača i prednost je što ona ne smeta oblaganju stubova (slika 22).

Veze nosača pomoću stolice su nezamenljive na mestima dilatacionih razdelnica objekata (mesta razdvajanja delova objekta).



Slika22- Zglobna veza nosača pod uglom pomoću stolice koja je postavljena u okviru visine nosača

2.3.5 Krute veze

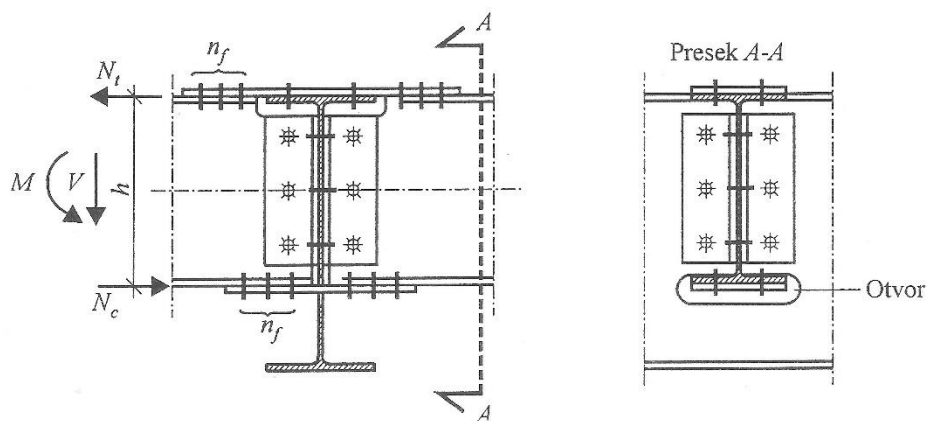
Uglavnom se koriste kod veza nosača pod uglom kod jakih grednih roštilja kao i kod veza greda sa stubovima okvira nosača. Prednost krutih veza u odnosu na zglobne je što se u konstrukciji javljaju znatno manje deformacije i što se dobija znatno povoljnija preraspodela unutrašnjih sila. Krute veze su nezamenjive kod dinamički opterećenih konstrukcija, naročito u mostogradnji i mašinogradnji.

2.3.5.1 Krute veze nosača sa kontinuitet lamelom

Ove veze se često koriste kod ostvarenja veze podužnih i poprečnih nosača. U zidarstvu se koriste kod jakih roštiljskih sistema. Osnovna karakteristika ovih veza je da se oslonački moment prihvata pomoću dodatnih lamela, čime se obezbeđuje kontinuiranje nosača.

Moment savijanja sile koji deluje na mestu krute veze može da se razloži na spreg sile koji čine sila zatezanja i sila pritiska. Sila zatezanja deluje na gornjoj, a sila pritiska na donjoj nožici podužnog nosača.

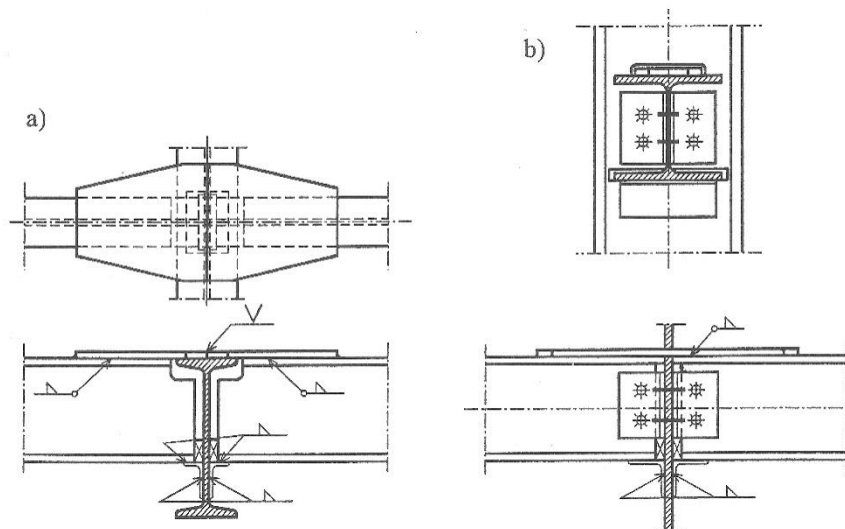
U zidarstvu, gde su uglavnom statička opterećenja, prijem sile pritiska može da se ostvari kontaktom, tako što se u prostor između pritisnute nožice podužnog i rebra poprečnog nosača upasuje pločica. Ukoliko se u podužnim nosačima ne javlja alternativni moment savijanja, veza može da se reši i pomoću kontinuitet lamele na zategnutoj nožici i čeonu ploču na rebro.



Slika23- Kruta vezapodužnog nosača sa kontinuitet lamelama

Veza gornje, zategnute, kontinuitet lamele može da se izvede i zavarivanjem za nožice podužnih nosača. Kontinuitet lamela se izvodi iz dva dela koja su spojena sa nožicama podužnim i čeonim ugaonim

šavovima, izrađenim u radionici. Na montaži se vrši povezivanje delova kontinuitet lamele sučeonim šavovima (slika 24a). Ukoliko je kontinuitet lamela izjedna, njena širina treba da bude manja od širine gornje nožice podužnog nosača, kako bi se obezbedilo izvođenje obostranih podužnih ugaonih šavova u najpovoljnijem položaju za zavarivanje (slika 24b).

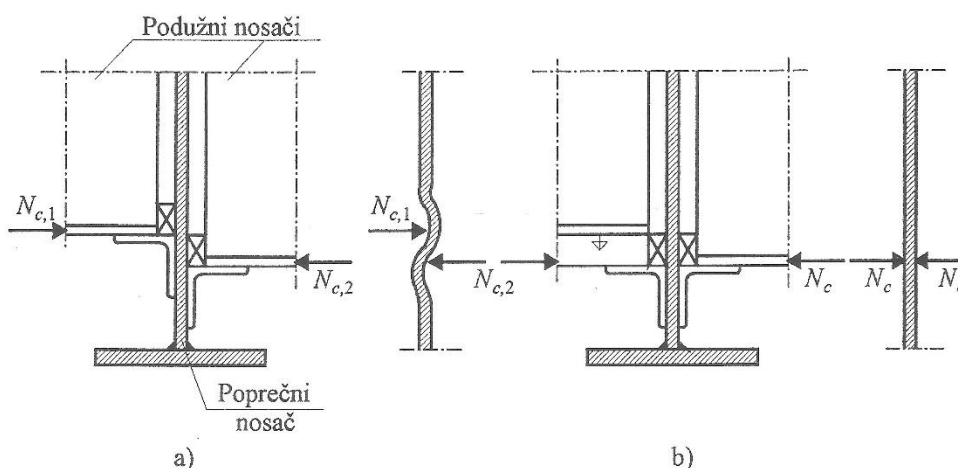


Slika 24- Krute veze kontinuitet lamele zavarivanjem

Prijem reakcija podužnih nosača može da se izvrši pomoću čelone ploče, pomoću priključnog ugaonika ili pomoću stolice.

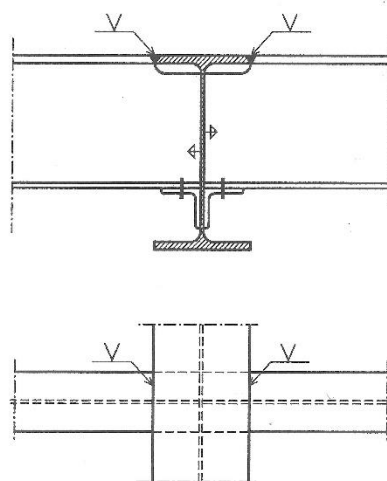
Da bi se izbeglo krivljenje rebra primarnog (poprečnog) nosača u slučaju sekundarnih (podužnih) nosača različite visine, potrebno je da se obezbedi da sile pritiska leže na istoj liniji dejstva. To se postiže:

- zavarivanjem umetka na donju nožicu nižeg nosača (slika 25b),
- za donju nožicu nižeg nosača se zavaruje deo valjanog profila ili se zavarivanjem klinastog dela obrazuje vuta.



Slika 25- Krivljenje rebra poprečnog nosača usled ekscentričnog unošenja kontaktnog pritiska

Pri statičkim opterećenjima, mogu da se primenjuju veze bez kontinuitet lamele (slika 26). Prijem sile zatezanja se ostvaruje direktnim zavarivanjem, zavarivanjem nožica sekundarnih nosača za nožicu primarnog nosača. Koriste se montažne stolice u vidu ugaonika kako bi se nosač na njih oslonio prilikom zavarivanja pri montaži.

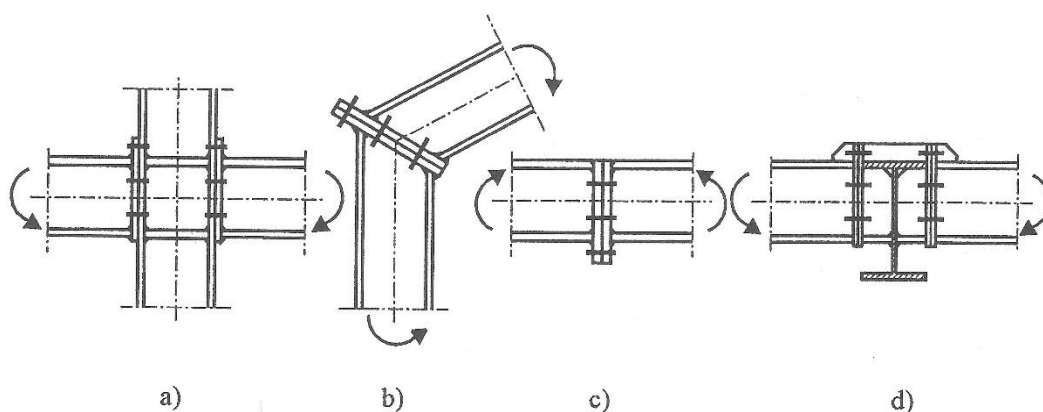


Slika 26- Veza u zavarenoj izradi bez kontinuitet lamele

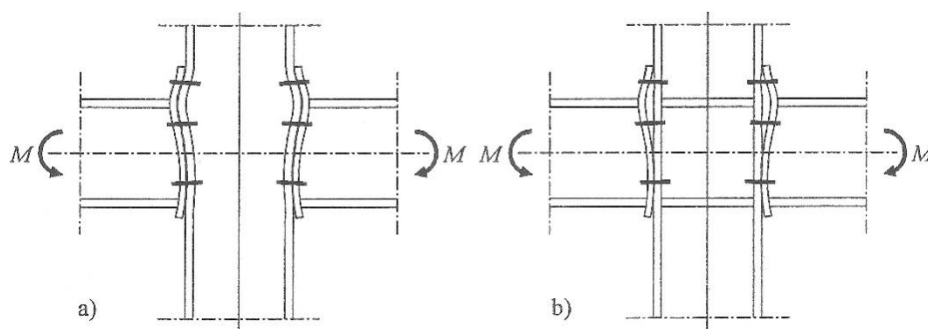
2.3.5.2 Krute veze nosača sa čeonim pločama i prednapregnutim visokovrednim zavrtnjevima

Ove veze su jednostavne za izradu i montažu. Koriste se za veze nosača sa stubom (slika 27a i 27b), za konstruisanje montažnih nastavaka nosača (slika 27c) i za veze nosača pod uglom (slika 27d).

Nožica stuba je opterećena silom pritiska, momentom savijanja u stubu i lokalnim uticajima savijanja. Nožice se deformišu na mestu za vezu i u slučaju ukrućenog i u slučaju neukrućenog rebra. Tanje nožice stuba prouzrokuju povećanje deformabilnosti veze (slika 28a).



Slika 27- Krute veze sa čeonom pločom



Slika 28- Deformacija nožice u zoni veze[1]

Čeone ploče mogu biti sa prepustom i bez prepusta. Veze sa čeonim pločama bez prepusta imaju manju nosivost i krutost. Veza čeone ploče sa nosačem se ostvaruje pomoću ugaonih šavova. Transverzalna sila se prenosi preko ugaonih šavova na rebru nosača, a unutrašnje sile pritiska i zatezanja preko ugaonih šavova na nožicama nosača.

2.4 Podela veza prema Evrokodu 3

Međunarodni standard Evrokod 3 je rezultat sistematizacije iskustava i propisa u oblasti čeličnih konstrukcija najrazvijenijih zemalja Evrope: Engleske, Nemačke, Danske, Francuske i Švajcarske. Njime se podela veza može izvršiti prema kriterijumu krutosti i otpornosti. Za proračun statičkih uticaja potrebno je razmotriti rotacioni kapacitet veze kao treću karakteristiku.

2.4.1 Podela veza prema krutosti

Veze mogu da se svrstaju u tri kategorije:

- a) Nominalno zglobne veze – veze koje treba da omoguće slobodnu rotaciju i prenos sila koje na njih deluju (transverzalnih i aksijalnih).
- b) Krute veze – veze čija deformacija ne utiče na raspodelu unutrašnjih sila i momenata u konstrukciji, a ni na njenu ukupnu deformaciju. One moraju da prenose sile i momente koje se u njima javljaju usled spoljašnjeg opterećenja.
- c) Polukrute veze – veze kod kojih ponašanje zavisi od krive moment-rotacije. Njihova relativna rotacija mora da se uzme u obzir pri globalnoj analizi konstrukcije.

2.4.2 Podela veza prema momentnoj otpornosti

Na osnovu otpornosti, veze se dele na:

- a) Nominalno zglobne veze – veze koje prenose samo sile kojima su izložene.
- b) Potpuno otporne veze – veze čija je računaska otpornost jednaka ili veća od one koju ima element koji se vezuje.
- c) Delimično otporne veze – veze koje prenose sile i momente koje na njih deluju, ali je računaska otpornost manja od otpornosti elemenata koji se vezuju.

Zavarene veze greda – zglob imaju tri karakteristične zone naprezanja, pri statičkom opterećenju: zona pritiska, zona zatezanja i zona smicanja. Pri dinamičkom opterećenju se veza procenjuje i na zamor. Na raspodelu sila u vezi utiče krutost svih komponenti veze. Potrebno je napraviti takve veze gde će se postići ravnoteža unutrašnjih sila.

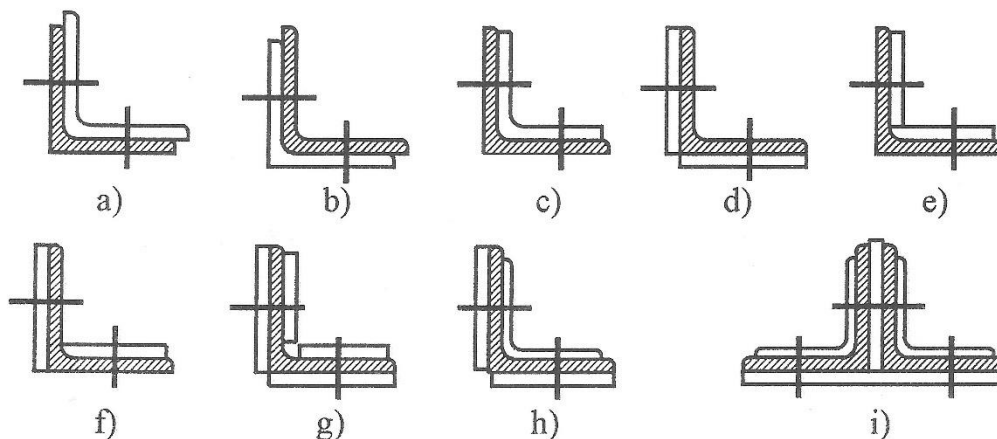
Mesto nastavaka i veza u konstrukciji treba da se poklapa sa minimalnim statičkim uticajima u nosaču. Montažni nastavci kod kontinualnih i okvirnih nosača sepostavljaju na mestima minimalne vrednosti momenta savijanja, pa se na tim mestima mogu bušiti rupe za zavrtneve ili se primenjuju ugaoni šavovi malih dimenzija ili sučeoni šavovi nižeg kvaliteta. Ili se vrši ojačanje osnovnog preseka na mestu najvećeg statičkog uticaja.

2.5 Podela nastavaka prema statičkim uticajima

Ako nastavci imaju realno statičko opterećenje koje je nepovoljno za konstrukciju, potrebno je da se izvrši ojačanje poprečnog preseka na mestu nastavka. Statički pokriveni nastavci imaju veći stepen sigurnosti i primenjuju se kod nastavaka na mestima maksimalnih statičkih uticaja ili dinamički opterećenih konstrukcija.

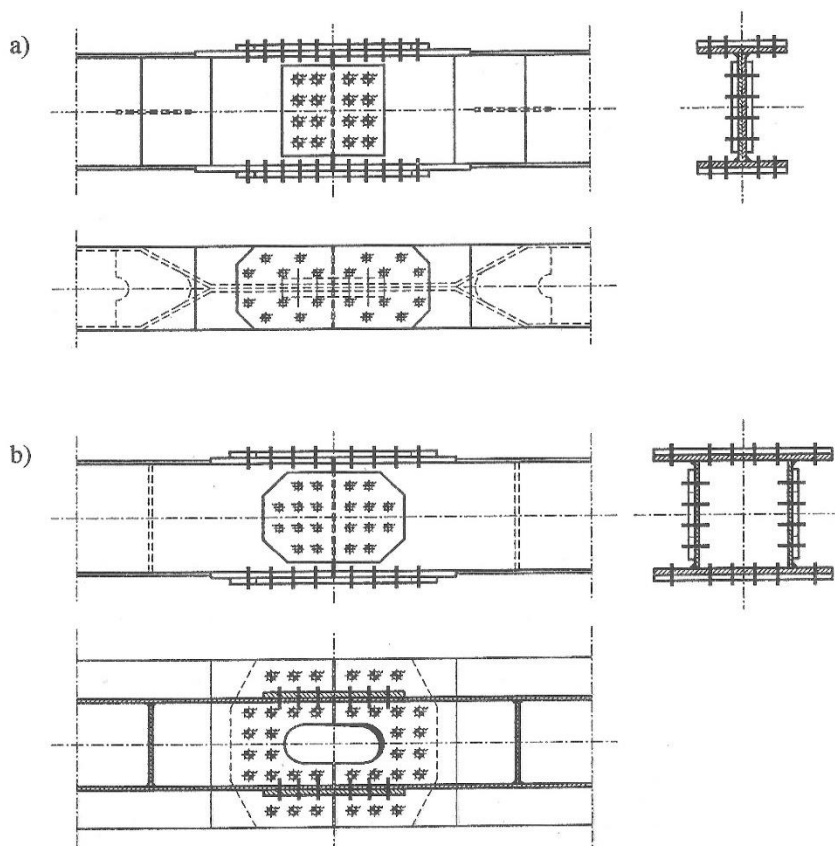
2.5.1 Montažni nastavci aksijalno opterećenih štapova

Montažni nastavci aksijalno opterećenih štapova mogu da se ostvare pomoću zavrtnjeva ili zavarivanjem pomoću ugaonih ili sučeonih šavova. Kod nastavka aksijalno opterećenog štapa deluje aksijalna sila po površini poprečnog preseka. Ako je porečni presek I profil, vrši se obostrano bočno ojačanje podvezicama. Nastavak štapova izrađen od jednog ili dva ugaonika je specifičan. Ugaone podvezice se postavljaju sa spoljašnje, unutrašnje ili sa obe strane ugaonika koji se nastavlja. U slučaju obostranih podvezica mogu da se kombinuju podvezice od limova i ugaonika (slika 29.h).



Slika 29-Različite mogućnosti za konstruisanje nastavaka ugaonika

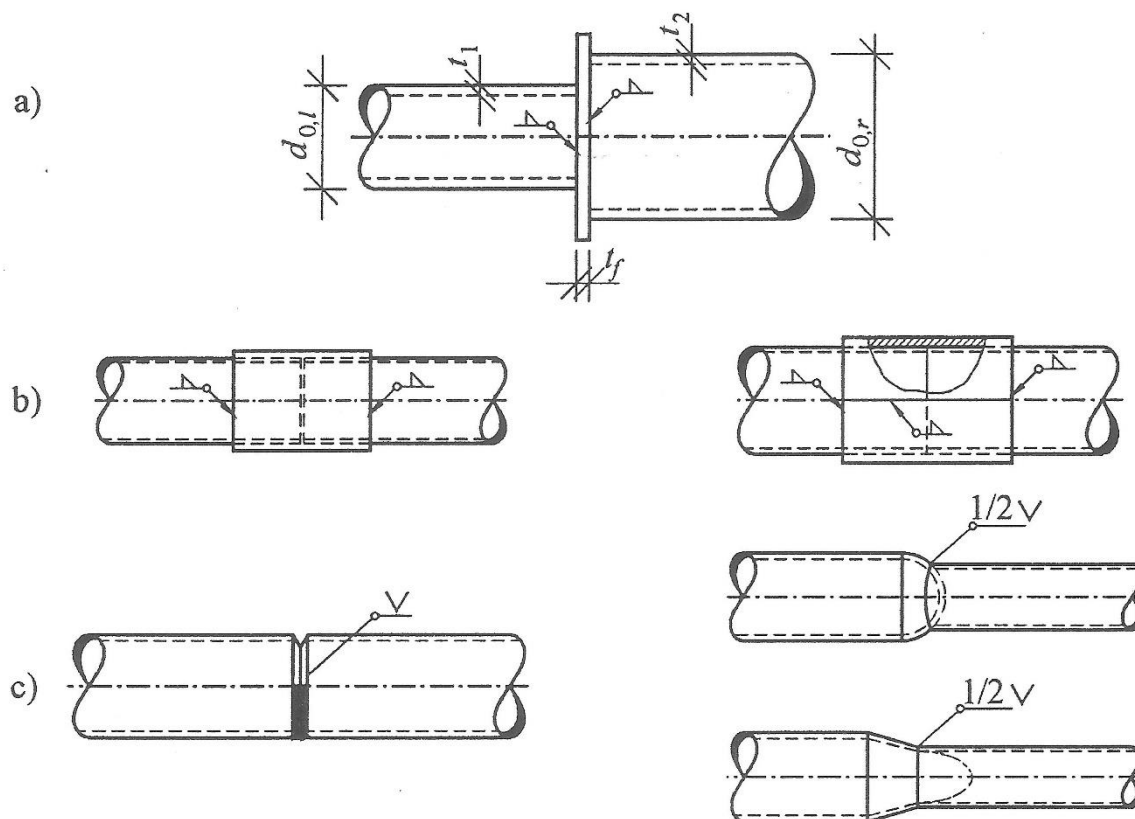
Nastavci štapova sandučastog preseka se javljaju kod rešetkastih nosača (slika 30).



Slika 30-Različite mogućnosti za ostvarivanje nastavaka štapova sandučastog poprečnog preseka

Nastavci kod rešetkastih nosača od šupljih profila ostvaruju se uglavnom zavarivanjem. Postoje tri mogućnosti za ostvarivanje nastavaka u zavarenoj izradi:

- a) pomoću umetnute ploče – kada se nastavljaju šupljí profili različitih dimenzija (slika 31a). Veza se ostvaruje obostranim ugaonim šavovima po čitavom obimu profila,
- b) pomoću mufa – kod profila sa istim spoljašnjim dimenzijama (slika 31b). Muf predstavlja, na neki način, podvezicu,
- c) direktnim zavarivanjem sučeonim šavovima (slika 31c).



Slika 31– Nastavci šupljih profila u zavarenoj izradi

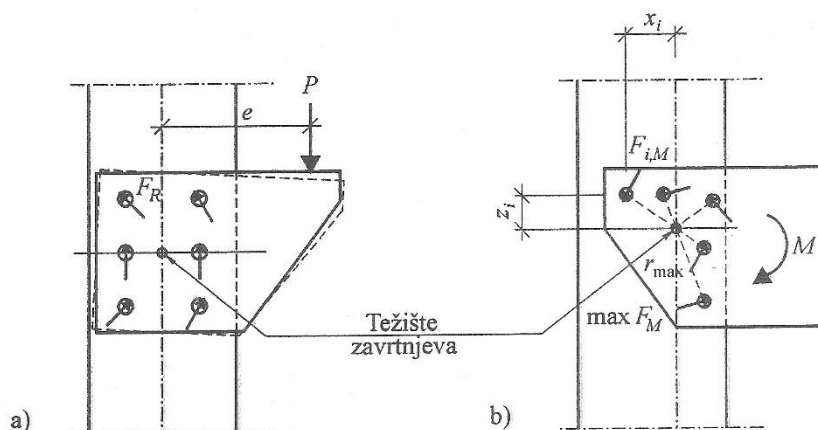
2.5.2 Nastavci štapova izloženi savijanju, uvijanju i aksijalnoj sili

Nastavci nosača treba da izdrže moment savijanja- M (naprezanja su najveća u krajnjim vlaknima poprečnog preseka) i transversalnu silu $-V$ (najveća naprezanja prima rebro, odnosno zavrtnjevi narebru i podvezice), a u nekim slučajevima i aksijalnu silu (zatezanje i pritisak). Ove vrste naprezanja mogu biti prouzrokovane ne samo opterećenjem nego i nesimetričnim rasporedom zavrtnjeva, nesimetričnim podvezicama i kada su kod nastavaka ugaoni šavovi nejednake dužine. Postoje četiri slučaja opterećenja nastavaka: nastavci opterećeni samo savijanjem, nastavci opterećeni momentom savijanja i transversalnom silom, nastavci opterećeni momentom savijanja i aksijalnom silom, nastavci opterećeni momentom savijanja, transversalnom i aksijalnom silom.

2.5.3 Ekscentrično opterećeni elementi nastavaka i veza

Ekscentrično opterećeni elementi nastavaka i veza su oni kod kojih linija delovanja sile ne prolazi kroz težište grupe spojnih sredstava-zavrtnjeva ili šavova.

Rezultat dejstva spoljašnje sile je translacija kombinovana sa rotacijom oko težišta spojnih sredstava, kao na slici 32.



Slika32 -Efekat ekscentrično opterećene veze [1]

2.5.4 Rešetkasti nosači

Primena rešetkastih nosača je gotovo obavezna kod mašina za mehanizaciju i to kod: građevinskih stubnih dizalica, velikih rotornih bagera, pretovarnih mostova velikih raspona i strele bagera sa povlačnom kašikom. Ravanska rešetka se sastoji iz:

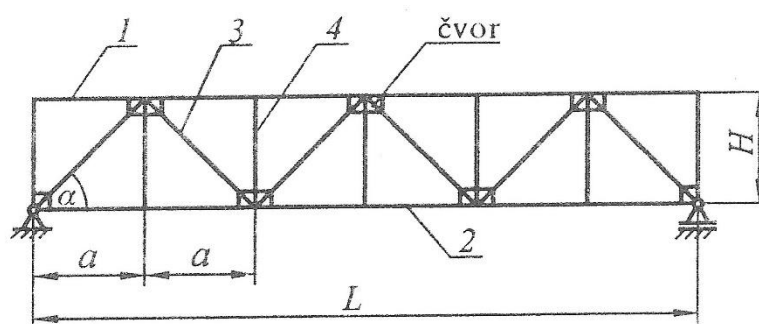
- 1 – gornjeg pojasa,
- 2 – donjeg pojasa,
- 3 – dijagonale,
- 4 – vertikale.

Mesto spajanja štapova se naziva čvor rešetke.

a – polje rešetke (rastojanje između dva susedna čvora duž pojasa),

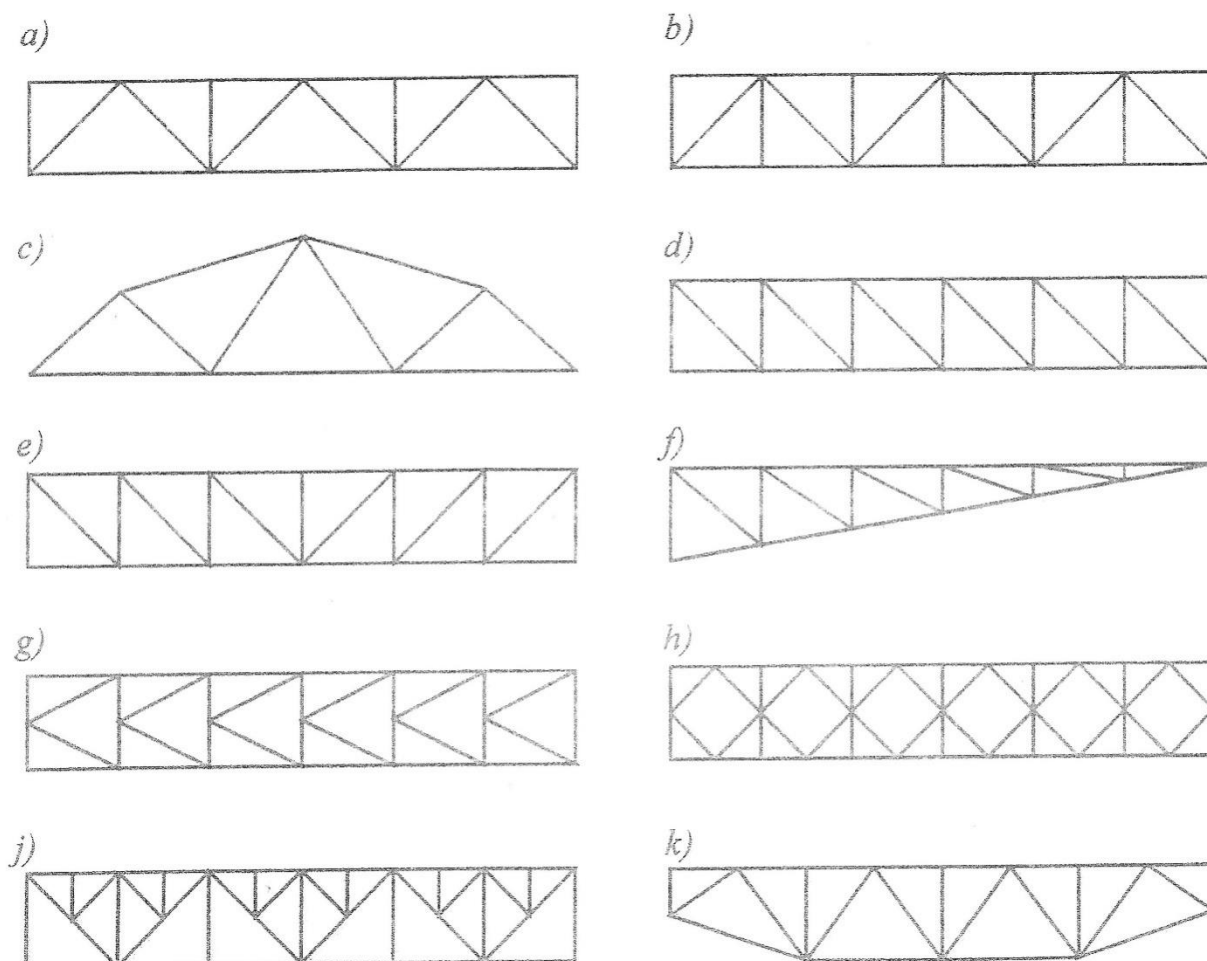
L – raspon rešetke,

H – visina rešetke.



Slika 33 – Delovi rešetkastog nosača

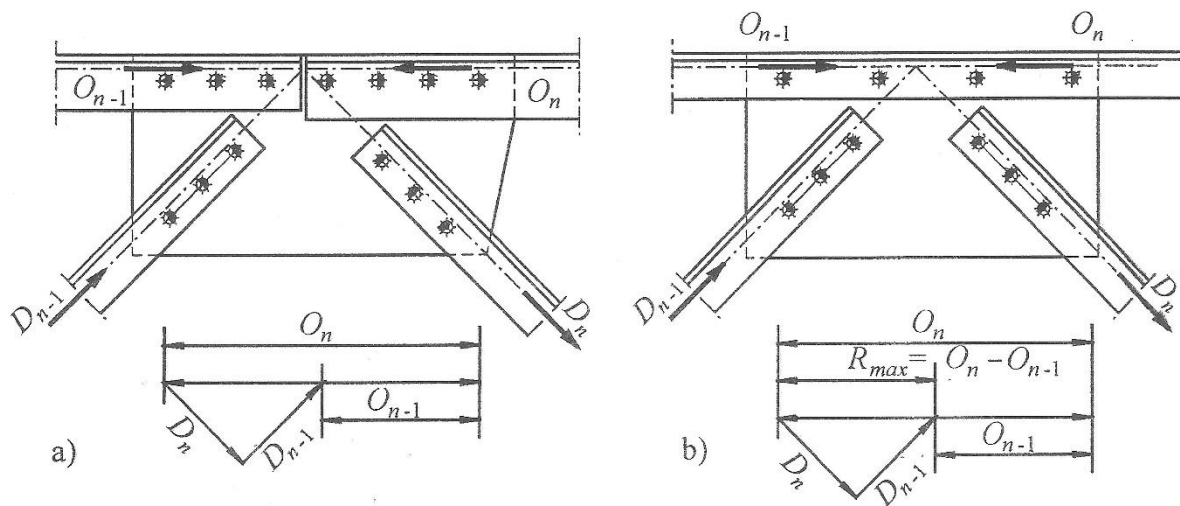
Veza štapova ispune sa pojasnim štapovima može se ostvariti direktno ili preko čvornog lima. Direktni priključci se izvode zavarivanjem. Kod pojasnih štapova T-preseka je moguća primena zavrtnjeva za vezu štapova ispune od ugaonika sa rebrom T-preseka.



Slika 34 – Različiti oblici ravanske rešetke [2]

2.5.4.1 Rešetkasti nosači sa čvornim limom

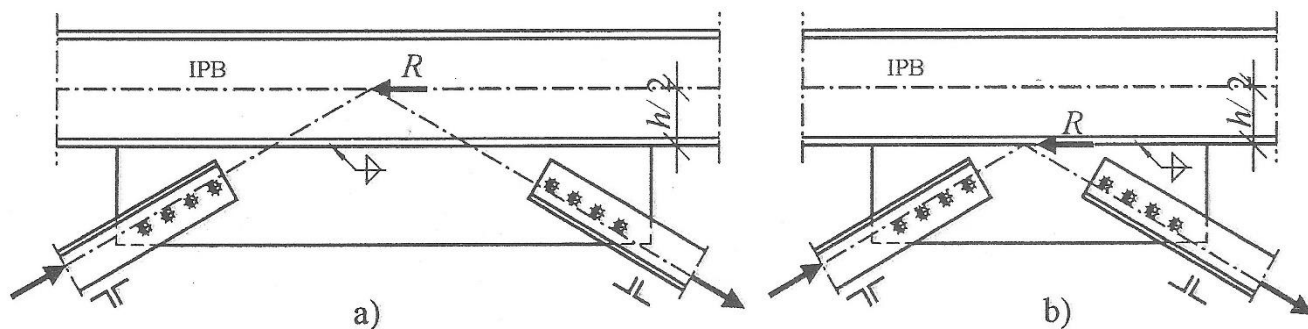
Kod čvornih limova treba težiti da bar dve ivice budu paralelne kako bi čitava serija čvornih limova mogla da se izreže iz jedne čelične trake uz minimalni otpad. Dimenzije i oblik čvornog lima su uslovljeni položajem i dimenzijama štapova ispune i dužinom veze, a debljina čvornog lima zavisi od nivoa naprezanja. Čvorni lim ima dvostruku ulogu: da omogući uvođenje sila iz štapova ispune u čvor rešetkastog nosača i da obezbedi ravnotežu čvora. Dijagrami napona u čvornom limu mogu da se odrede eksperimentalnim postupcima, numeričkim metodama i direktnim merenjem pri ispitivanju konstrukcije. Veza čvornog lima sa pojasnim štapovima se uglavnom izvodi zavarivanjem ili pomoću mehaničkih spojnih sredstava. Pri proračunu ove veze, postoje dva suštinski različita slučaja: kada se pojasni štapovi prekidaju u čvoru i kada se pojasni štapovi ne prekidaju u čvoru (slika 35).



Slika 35 - Veze čvornog lima sa pojasnim štapovima[1]

Vežu kada se pojasni štapovi prekidaju u čvoru treba izbegavati jer tada vežu svakog štapa treba dimenzionisati prema sili koja se u njemu javlja. Kod neprekidnih pojasnih štapova, veza pojasnih štapova treba da prenese samo maksimalnu rezultantu koja se javlja u štapovima ispune. Ako u čvoru deluje spoljašnja sila, treba uzeti u obzir i njeno dejstvo.

Ako su pojasni štapovi masivni i izloženi lokalnom savijanju (kranski nosači), centrična veza štapova ispune prouzrokuje veoma dugačke čvorne limove koji su neracionalni i estetski neprivatljivi (slika 36a). U ovakvom slučaju se pribegava ekscentričnom priključku štapova ispune. Tako se smanjuju dimenzije čvornog lima, kruti pojasni štap se dodatno opterećuje momentom ekcentriciteta (slika 36b), koji se javlja kao posledica ovakvog priključka, a šavovi su oslobođeni dejstva momenta ekcentriciteta.

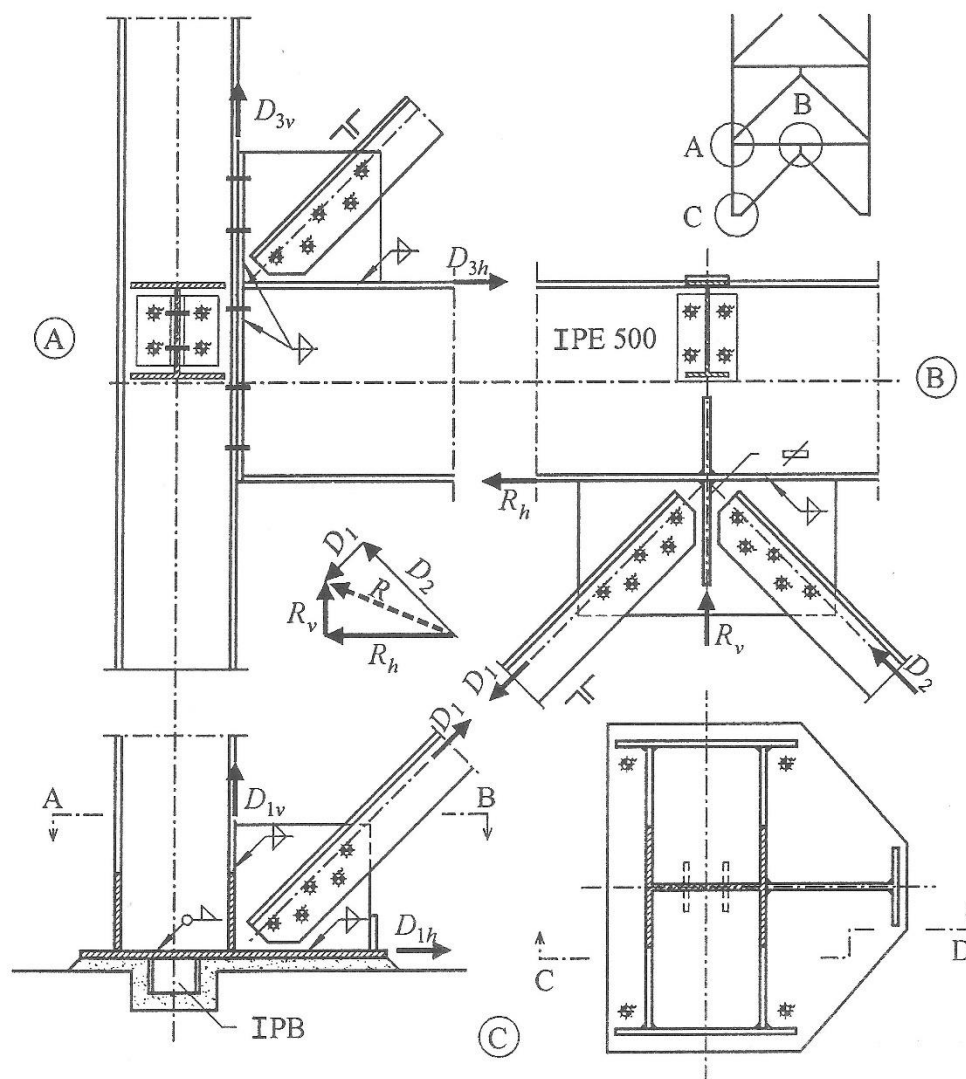


Slika 36 - Priključak štapova ispune

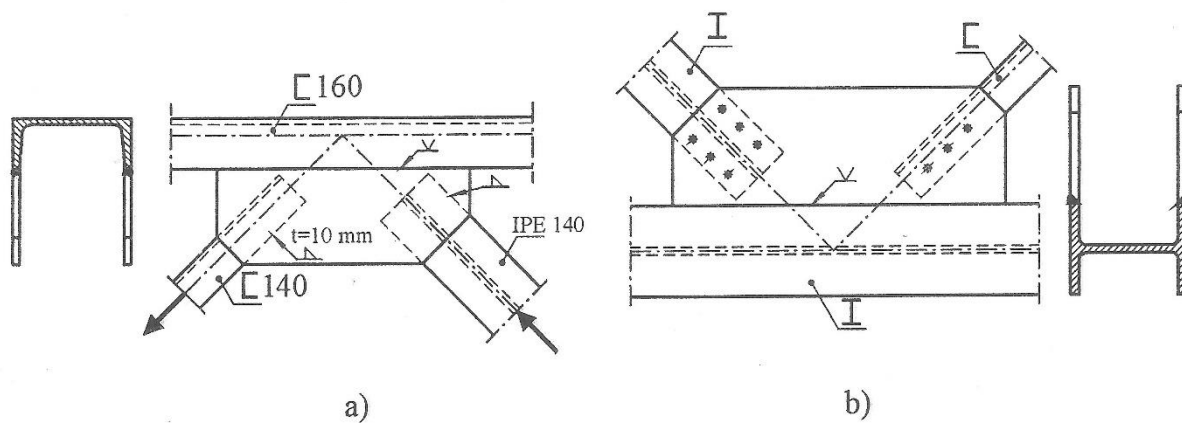
Ekscentrično vezivanje se može primeniti i kod vertikalnih spregova u zgradama skeletnog tipa. Ovo se najjednostavnije postiže uvođenjem kratkih štapova beskonačne krutosti (slika 37a).

Prilikom oblikovanja oslončkih čvorova treba težiti da osa oslonca prolazi kroz čvor rešetkastog nosača.

Dvozidni rešetkasti nosači se uglavnom primenjuju kao glavni nosači železničkih i drumskih mostova. Primena u zidarstvu je data na primeru na slici 37b. Čvorni limovi se zavaruju za pojasne štapove u dve paralelne ravni. Najčešće se kao pojasni štapovi koriste valjani U i I profili, koji su položeni tako da njihove nožice leže u dve paralelne vertikalne ravni. Čvorni limovi se zavaruju za nožice pojasnih štapova sučeonim šavovima, dok se štapovi ispune sa čvornim limovima spajaju zavarivanjem ili zavrtnjevima.



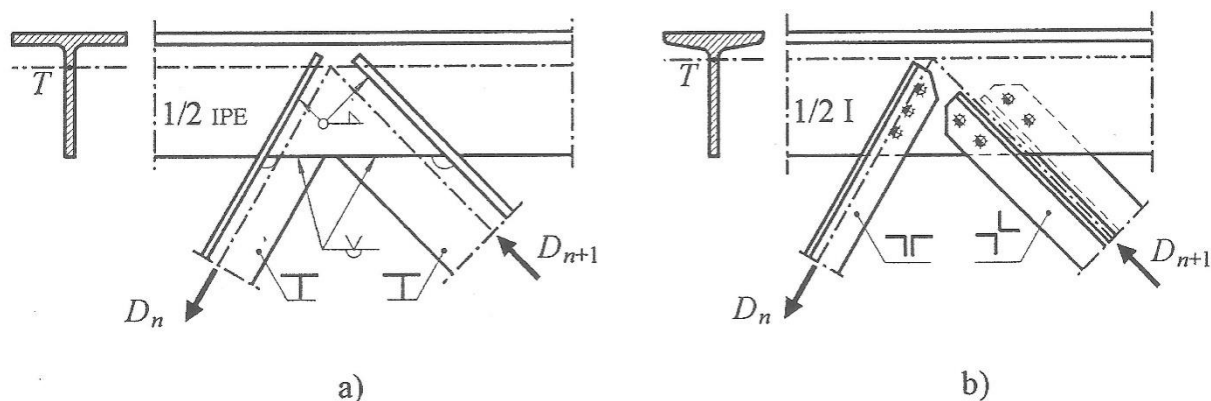
Slika 37 a) - Ekcentrično vezivanje štapova ispune vertikalnog sprega [1]



Slika 37 b) - Čvorovi dvoziidnih rešetkastih nosača [1]

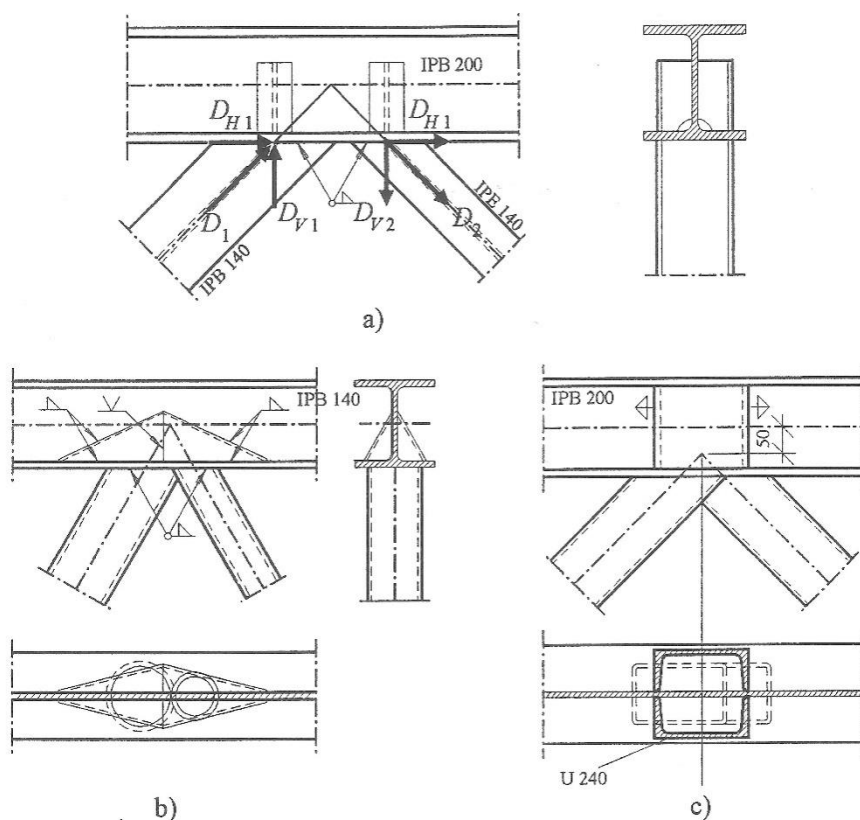
2.5.4.2 Rešetkasti nosači bez čvornog lima

Kod ovakvih nosača veza štapova ispune se ostvaruje direktnim zavarivanjem štapova ispune za pojaseve rešetkastog nosača. Kod pojasnih štapova u obliku T-preseka, veza štapova ispune se ostvaruje preko rebra koja na neki način predstavlja čvorni lim. Kao štapovi ispune mogu da se koriste T-profil (slika 38a).



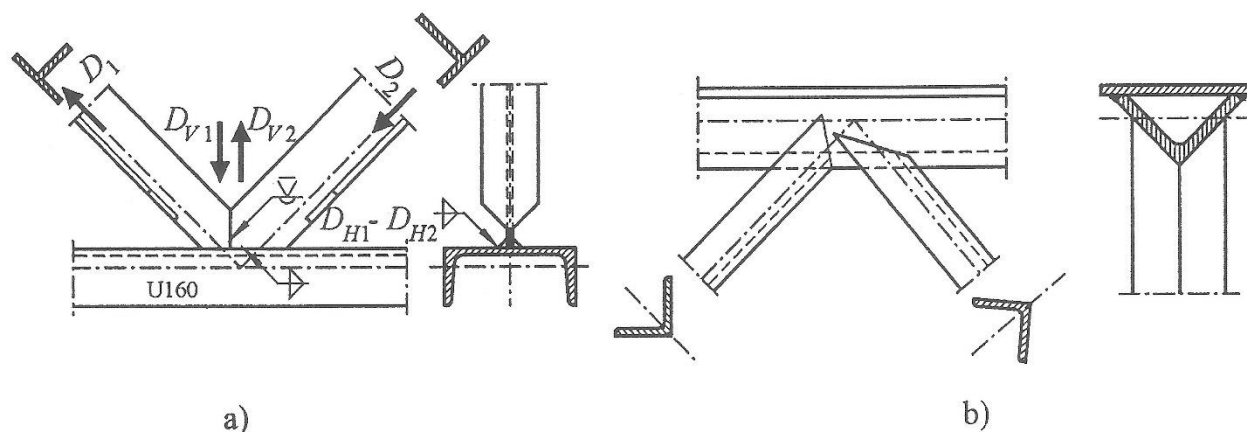
Slika 38—Čvorovi rešetkastih nosača bez čvornog lima kod pojasa T-preseka

Kada se pojasni štapovi obrazuju od valjanih ili zavarenih I-profila, veza štapova ispune se ostvaruje direktnim zavarivanjem za unutrašnju nožicu. Kao štapovi ispune mogu se koristiti valjani I profili, šuplji profili kružnog i pravougaonog poprečnog preseka (slika 39).



Slika 39 - Rešetkasti nosači sa I – profilom kao pojasnim štapom [1]

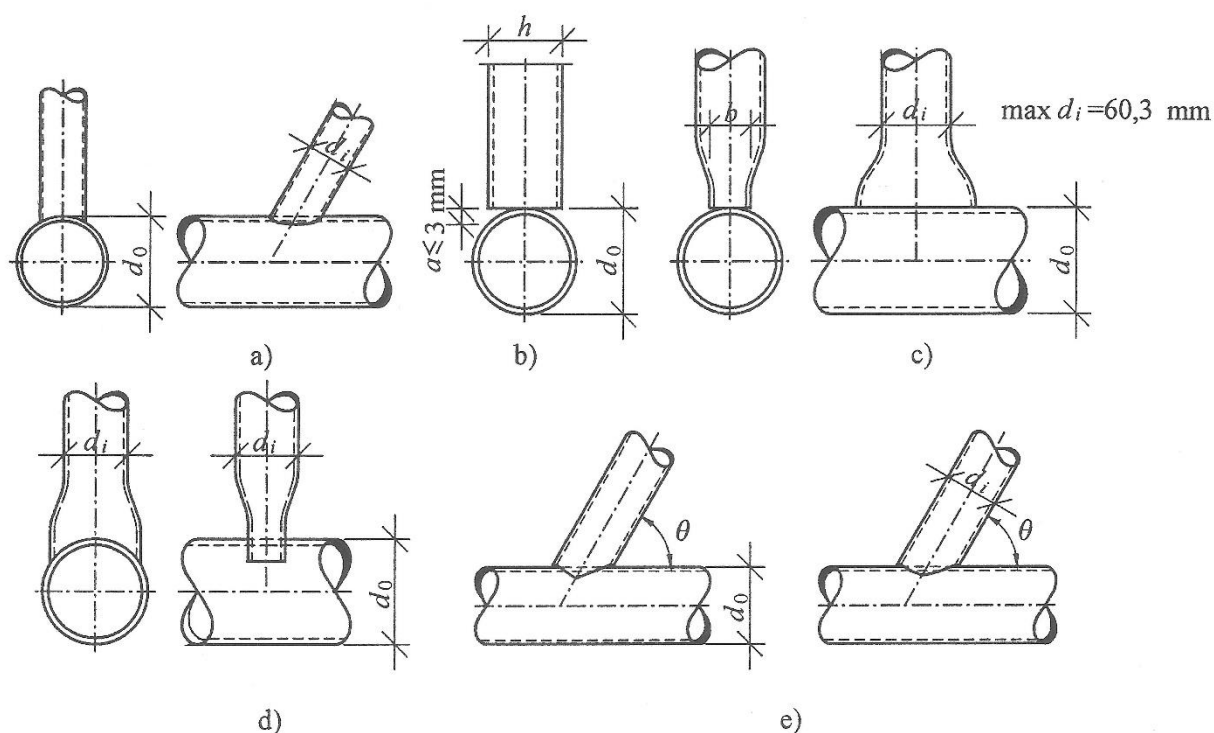
Kao pojasni štapovi mogu da se koriste i položeni U-profil (slika 40a). Veza štapova ispune ostvaruje se direktnim zavarivanjem za rebro U-profila. Primena pojasnih štapova od jednog ugaonika, koji u slučaju pritisnutog pojasa može biti ojačan lamelom je moguća, ali u kombinaciji sa štapovima ispune koji su u vidu ugaonika (slika 40b).



Slika 40 - Rešetkasti nosači : a) sa U – profilom, b) sa ojačanim ugaonikom[1]

2.5.4.3 Rešetkasti nosači od šupljih profila

Osnovne prednosti zbog kojih se primenjuju šuplji profili su sledeće: manja težina, jeftinija antikoroziorna zaštita, mali aerodinamički koeficijent (smanjuje uticaj vetra na konstrukciju) i velike mogućnosti konstruktivnog i arhitektonskog oblikovanja.

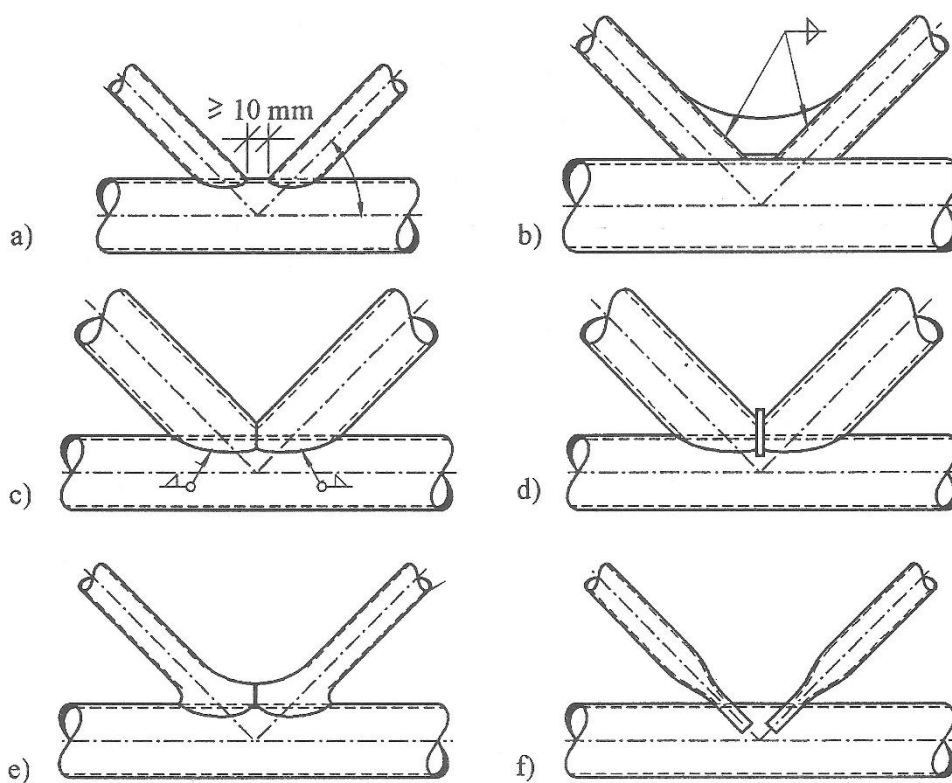


Slika 41 - Obrada krajeva šupljih profila kružnog poprečnog preseka kod štapova ispune[1]

Rešetkasti nosači od šupljih profila kružnog poprečnog preseka najčešće se primenjuju kod krovnih nosača gde je bitan spoljašnji izgled konstrukcije i u industrijskim objektima. Veza štapova ispune se sa pojasnim štapovima ostvaruje direktnim zavarivanjem pa je neophodna posebna obrada krajeva (41a). Kod većih prečnika se vrši delimično spljoštavanje (slika 41c).

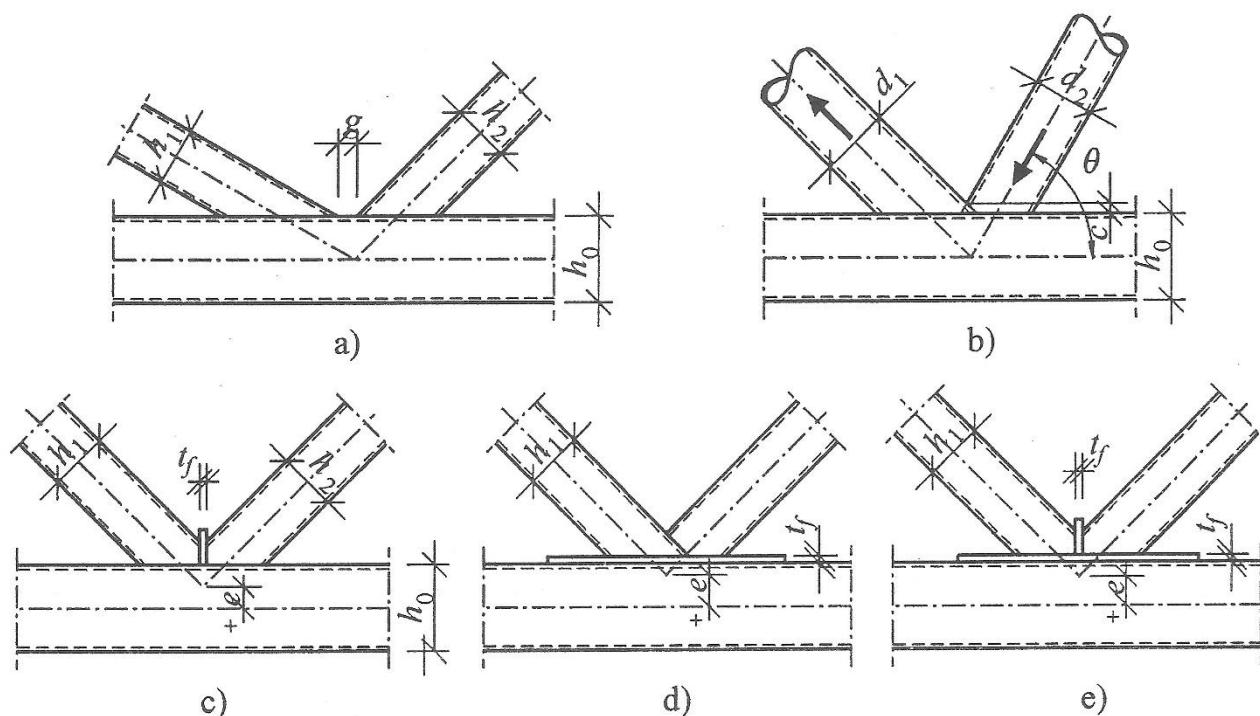
U slučaju smeštanja većeg broja štapova u čvor javlja se potreba za suženjem kraja šupljeg profila i to kosom redukcijom koja se ostvaruje kovanjem i stepenastom redukcijom koja se izvodi pomoću za to predviđenog alata. Potpuno spljošteni krajevi šupljih profila mogu se ostvariti vrućim kovanjem ili hladnim oblikovanjem na presama.

Prilikom direktnog zavarivanja štapova ispune za pojasne štapove, ukoliko se u čvoru vezuju bar dva štapa ispune, razlikuju se dva tipa čvorova: čvorovi sa razmakom i čvorovi sa preklopom. Najvažnija prednost čvorova sa preklopom u odnosu na čvorove sa razmakom je što je znatno manje lokalno savijanje pojasnih štapova. Pri oblikovanju čvorova sa preklopom zategnuti štap ispune – dijagonala, se zavaruje direktno za pojasni štap, pritisnuti štap se posebno obradi i zavari preko pojasnog i delimično preko zategnutog štapa ispune (slika 42c).



Slika 42 - Oblikovanje čvorova bez čvornog lima kod rešetkastih nosača od šupljih profila kružnog poprečnog preseka

Rešetkasti nosači od šupljih profila kvadratnog ili pravougaonog poprečnog preseka zahtevaju posebnu obradu krajeva, površine rezova su ravne, a čvorovi znatno jednostavniji nego kod kružnih profila. Osnovni nedostatak je smanjena žilavost i zavarljivost. Čvorovi se oblikuju bez čvornog lima, da bi se izbegli sekundarni uticaji usled lokalnog savijanja poprečnog preseka. Uvođenje sila iz štapova ispune u pojasni štap preko oštre ivice čvornog lima dovodi do većih lokalnih deformacija jer su pravougaoni i kvadratni poprečni preseki osetljiviji na dejstvo poprečnih sila od kružnih poprečnih preseka. Veze u čvorovima se ostvaruju direktnim zavarivanjem sa razmakom ili preklopom (slika 43).



Slika 43 - Oblikovanje čvorova bez čvornog lima kod rešetkastih nosača od šupljih profila kvadratnog ili pravougaonog poprečnog preseka

Ojačanje čvora se postiže pomoću dodatne lamele (slika 43d) koja se može kombinovati sa vertikalnim ukrućenjem (slika 43e). Dozvoljeno je ekcentrično vezivanje štapova ispune kada je to neophodno iz konstruktivnih razloga.

2.6 Podela nastavaka prema načinu izvođenja

2.6.1 Nastavci nosača ostvareni zavrtnjevima

Nastavci nosača se posmatraju kao da pri statičkom opterećenju primaju iste statičke uticaje kao nosači. Neto površina poprečnog preseka podvezica mora da bude veća ili jednaka od neto površine poprečnog preseka nosača i to pojedinačno za svaki deo poprečnog preseka nosača i ukupno za ceo poprečni presek.

Nosivost zavrtnjeva mora da bude veća ili jednaka od nosivosti nosača sa neto površinom poprečnog preseka na zatezanje i to pojedinačno za delove poprečnog preseka nosača i ukupno za ceo poprečni presek. Moment nosivosti podvezica i moment nosivosti zavrtnjeva moraju da budu veći ili jednaki od momenta nosivosti nosača. Kod običnih i neprednapregnutih visokovrednih zavrtnjeva potrebno je da se proverí nosivost zavrtnjeva na smicanje i pritisak po omotaču rupe.

Ako je napon prekoračen treba da se izvrši ojačanje zategnute nožice poprečnog preseka. To se postiže povećanjem debljine nožice u zoni nastavaka. Nosači od valjanih profila se ne ojačavaju. Vrší se proračun broja zavrtnjeva.

Podvezice se proračunavaju na osnovu njihovog slabljenja na zategnutoj nožici. Dimenzije podvezica napritisnutoj nožici i na rebu se određuje na osnovu bruto a na zategnutoj nožici na osnovu neto površine poprečnog preseka.

2.6.2 Nastavci nosača u zavarenoj izradi

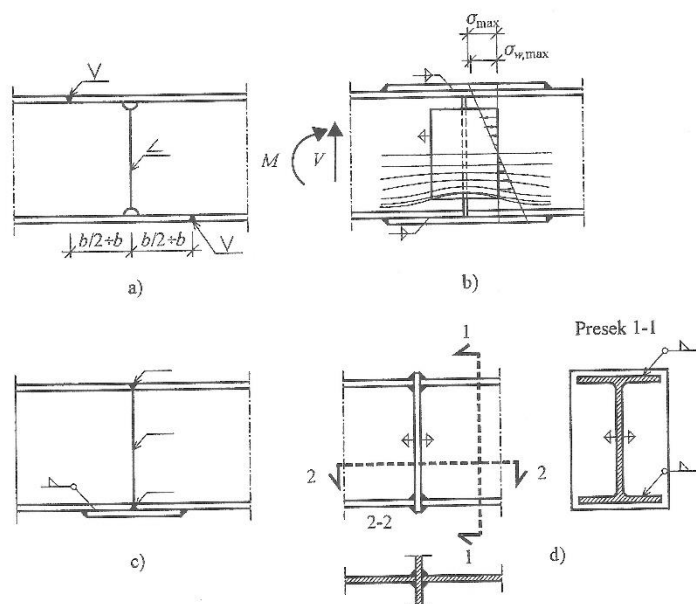
Nastavci nosača u zavarenoj izradi se izvode: pomoću sučeonih šavova, pomoću ugaonih šavova i podvezica, kombinacijom predhodna dva načina nastavljjanja i preko čeone ploče za koju su zavareni delovi nosača pomoću ugaonih ili sučeonih šavova.

Najpovoljniji su sučeoni šavovi osim kod valjanih profila. Treba izbegavati nastavljjanje svih delova poprečnog preseka (nožica i rebara) u istom poprečnom preseku. Povoljno je da su nastavci nožica i rebra međusobno smaknuti. Uobičajeno je da su mesta nastavaka međusobno pomerena za rastojanje koje se kreće u granicama od $b/2$ do b (širina nožice) što je prikazano na slici 44.a.

Ugaoni šavovi i podvezice su neracionalni jer zahtevaju dodatni materijal. Mogu se primenjivati samo kod statički opterećenih konstrukcija, jer jekod dinamički opterećenih konstrukcija manja otpornost na zamor (slika 44.b).

Rešenja prikazana na slici 44.c se primenjuju kod statički opterećenih konstrukcija. Ugaoni šav ima manju krutost od sučeonog pa može doći do koncentracije napona u sučeonom šavu na zategnutoj nožici.

Kod nastavaka sa čeonom pločom i ugaonim šavovima prenošenje sila se vrši indirektno preko čeone ploče. Debljina čeone ploče zavisi od debljine šava. Zbog lamelnarnog cepanja treba izbegavati debele čeone ploče (slika 44.d).



Slika 44 - Nastavci nosača u zavarenoj izradi[1]

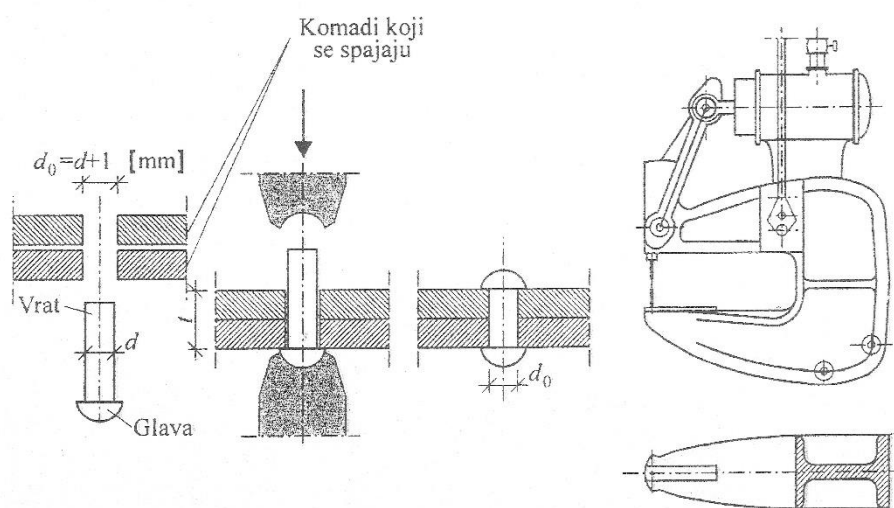
3. Sredstva za ostvarivanje veze

Radionički nastavci se najčešće izvide zavarivanjem, a ređe zakivcima ili zavrtnjevima. Kvalitet i dimenzije spojeva zavise od veličine i vrste uticaja koje ti spojevi treba da prihvate. Montažni nastavci se izvide na gradilištu i to: montažni nastavci štapova i nosača, nastavci stubova i rigli kod okvirnih nosača, zglobove i krute veze podužnih i poprečnih nosača i veze rešetkastih nosača sa oslonačkim konstrukcijama. Najčešće se izvide zavrtnjevima i to zbog brzine izvođenja, kvaliteta nastavaka u gradilišnim uslovima i obezbeđenja projektovane geometrije konstrukcije. Montažni nastavci se izvide zavarivanjem samo kod statički slabije opterećenih konstrukcija. [1,3,4,5]

3.1 Zakivci

Zakivci se primenjuju kao pouzdano sredstvo za vezu i kod statičkih i kod dinamički opterećenih konstrukcijajer ravnomerno prenose silu duž veze. Otvori za zakivke su ispunjeni materijalom zakivka pa veze imaju malo proklizavanje i malu deformabilnost. U današnje vreme su potisnuti zavrtnjevima i zavarivanjem, kao jednostavnijim i bržim izvođenjima i koriste se samo za rekonstrukciju i ojačanje postojećih konstrukcija.

Zakivci mogu po obliku glave biti sa polukružnom glavom, sa poluupuštenom glavom i sa upuštenom glavom.



Slika45 –Izrada druge glave zakivka i presa za zakivanje[1]

Zakivci se ugrađuju u predhodno izbušene rupe, zagrejani do temperature koja je pogodna za kovanje. Zatim se postavlja presa za zakivanje i vrši se pritisak na glavu i vrat zakivka čime se prvo ispunjava rupa u spoju, a zatim se oblikuje druga glava. Izbor prečnika zakivka zavisi od debljine paketa tkoji se zakiva:

$t \leq 4.5d_0$ za zakivke sa polukružnom glavom

$4.5d_0 < t < 6.5d_0$ za zakivke sa poluupuštenom glavom.

Oznake za obeležavanje zakivaka su standardizovane i date u tabeli 1. Pored glavnih oznaka postoje i dopunske oznake i to : jedna zastavica ukoliko se rupa buši u radionici a zakivak postavlja na montaži,

dve zastavice ukoliko se rupa buši na montaži, za zakivke sa poluupuštenom glavom se dodaje polukrug u zavisnosti da li je poluupuštena glava sa gornje ili donje strane.

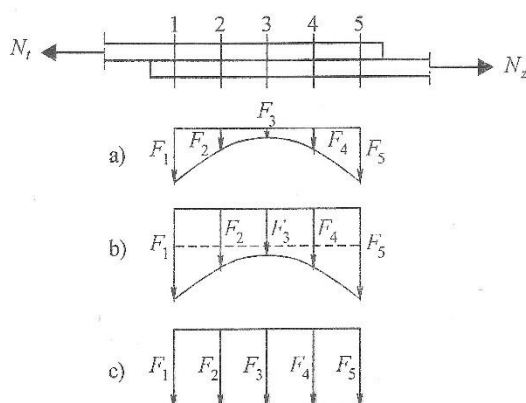
Tabele1-Oznake zakivaka[3]

Prečnik d_0	11	13	15	17	19	21	23	25	28	31	34
Oznaka											
Dopunske oznake zakivaka				a)	b)			c)	d)		

3.1.1Rad zakovane veze

Ponašanje zakivka u vezi je vrlo složeno. Može se predstaviti u tri faze kao na slici 46. Oni su istovremeno izloženi naprezanjima na smicanje, savijanje, zatezanje i pritisak. U prvoj fazi rada veze, najveći naponi se javljaju u krajnjim zakivcima usled trenja u vezii usled najvećih elastičnih deformacija natom mestu. Nakon savladavanja trenja svi zakivci podjednako preuzimaju silu. Te sile se sabiraju sa silama iz prve faze. Usled velikih pomeranja zakivaka u vezi u trećoj fazi dolazi do podjednakog preuzimanja sile od strane svih zakivaka, nezavisno od predhodne raspodele sila u zakivcima. Granična nosivost zakvaka ne zavisi od njegov napreznajau predhodnim fazama.

Do loma zakivaka može doći po ravni smicanjaspoja elemenata. Kod elemenata opterećenih na zatezanje dolazi do loma na mestu najslabijeg preseka u vezi. Može doći i do deformabilnosti veze, odnosno formiranja ovalne rupe na mestu veze usled gnječenja lima zbog pritiska ako je zakivak znatno deblji ili kvalitetniji od limova koje vezuje. Kod ivičnih zakivaka kada je rastojanje od ose zakivaka do ivice malo, dolazi do loma smicanjem lima.



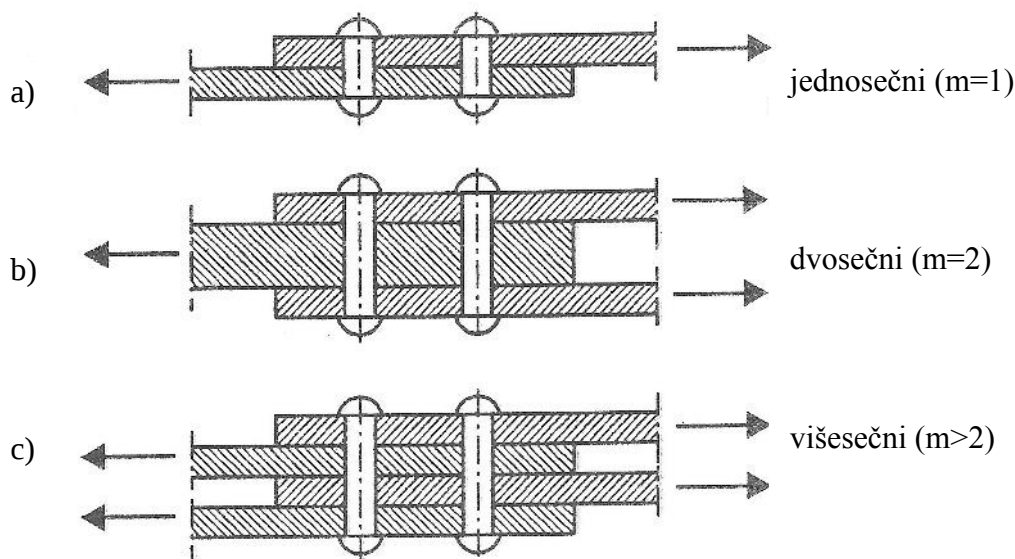
Slika46–Raspored sila u zakivcima u sve tri faze rada veze [1]

3.1.2Nosivost zakivaka

Zakivci se najčešće koriste u smičućim spojevima, u kojima usled spoljašnjeg opterećenja dolazi do smicanja vrata zakivka i pritiska po omotaču rupe. Zbog male nosivosti na zatezanje u pravcu svoje podužne ose se izbegava njihova upotreba u zatežućim spojevima.

Nosivost se može odrediti prema teoriji graničnih stanja i prema teoriji dopuštenih napona.

3.1.2.1 Nosivost zakivka na smicanje



Slika47 – Broj smičućih ravni

Smicanje se odvija u ravni spoja limova po čitavoj površini vrata zakivka. U zavisnosti od broja limova zakivci mogu biti jednosečni, dvosečni i višesečni.

Nosivost se određuje prema izrazu:

$$F_v = m \cdot A_{v,1} \cdot \tau_{dop} = m (d_0^2 \pi / 4) \tau_{dop} \quad (3.1.)$$

Gde su:

- m – sečnost zakivka (broj ravni smicanja)
- τ_{dop} – dopušten napon na smicanje zakivka
- $A_{v,1}$ – površina vrata zakivka
- d_0 – prečnik rupe za zakivak

3.1.2.2 Nosivost zakivka na pritisak po omotaču rupe

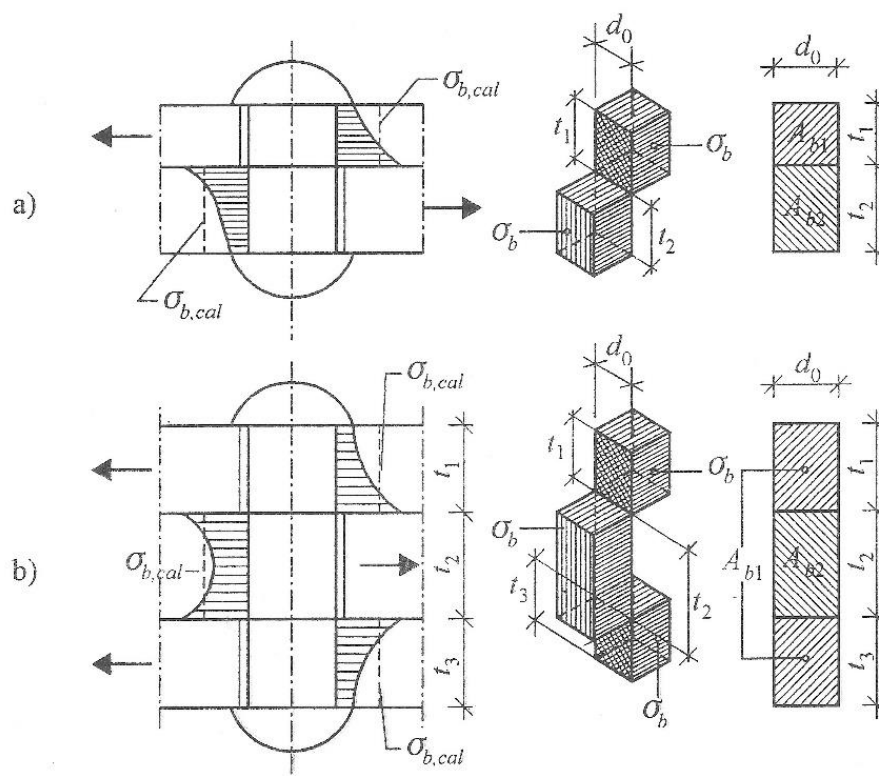
Nakon kontaktnoj površini vrata zakivka i površine rupe u limu, javlja se pritisak po omotaču rupe. Usled plastifikacije u limu iveratu zakivka, dolazi do izjednačavanja napona duž vrata zakivka. To omogućava proračun nosivosti zakivaka na pritisak po omotaču rupe sa konstantnim, prosečnim naponom.

U opštem slučaju se nosivost može odrediti na osnovu izraza:

$$F_b = \min A_b \cdot \sigma_{b,dop} \quad (3.2.)$$

Gde su:

- $\min A_b$ – minimalna kontaktna površina zakivka
- $\sigma_{b,dop}$ – dopušten napon pritiska po omotaču rupe



Slika 48 – Naprezanje veza sa zakivcima [1]

3.1.2.3 Nosivost zakivka na zatezanje

U zatežućim spojevima zakivci su napregnuti u pravcu svoje podužne ose. Zakivak je usled termičkog skupljanja prednapregnut, kad se savlada ova sila prednaprezanja javlja se dodatna sila naprezanja usled zatezanja. Nosivost zakivaka na zatezanje:

$$F_{t,dop} = (d_0^2 \pi / 4) \cdot \sigma_{t,dop} \quad (3.3)$$

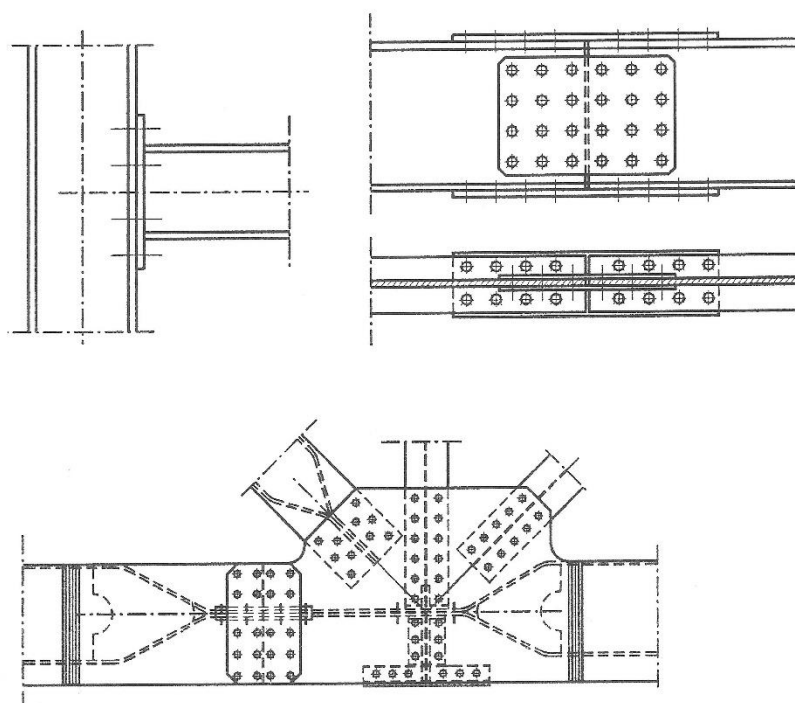
Gde je:

$\sigma_{t,dop}$ – dopušten napon zakivka na zatezanje

3.2 Zavrtnjevi

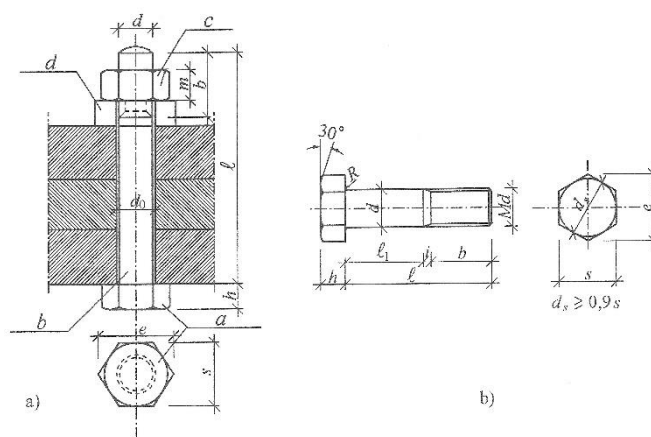
3.2.1 Obični zavrtnjevi

Zavrtnjevi imaju veoma široku primenu. Zavrtnjevi su danas skoro u potpunosti zamenili zakivke pri izradi montažnih nastavaka u mostogradnji i građevinarstvu (slika 49). Ugradnja zavrtnjeva je jednostavna i nije potrebna posebno kvalifikovana radna snaga i skupa oprema kao za zakivke. Zavrtnanj je sposoban da prima statička opterećenja. U zavrtnjevima se javlja smicanje, pritisak po omotaču rupe i zatezanje.



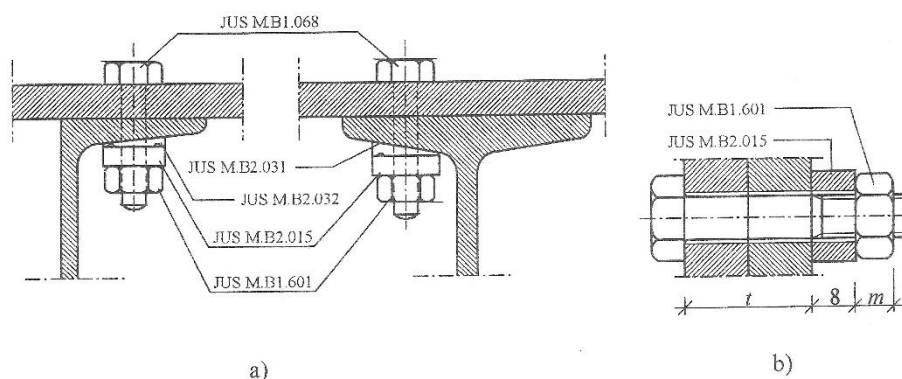
Slika49 –Primena zavrtnjeva [1]

Jedan komplet zavrtnja sadrži: šestougaonu glavu, cilindrično telo sa navojem, šestougaonu navrtku i podložnu pločicu (slika 50).



Slika50 –Delovi i oznake dimenzija običnih zavrtnjeva [3]

Telo zavrtnja ima dominantnu ulogu u prenošenju sila, u smičućim spojevima navoj u vezi ne treba da ulazi u paket koji se spaja (navoj treba da bude van ravni smicanja). Podloške imaju ulogu da omoguće bolje naleganje navrtke na spojne elemente i da spreče da se navoj nađe u spoju i da spreče oslanjanje navoja na zidove rupe prilikom pritezanja navrtke. U spojevima kod kojim postoje određena pomeranja između elemenata koja se spajaju, da bi se sprečilo naprezanje zavrtnjeva duž njihove ose koriste se elastične podloške. Kose podloške se stavljaju da izravnavaju nagibe na nožicama profila, a pored njih se stavljaju i obične podloške (slika 51).



Slika51 –Raspored delova zavrtnjeva u slučaju kosih strana nosača [1]

3.2.1.1 Obeležavanje zavrtnjeva

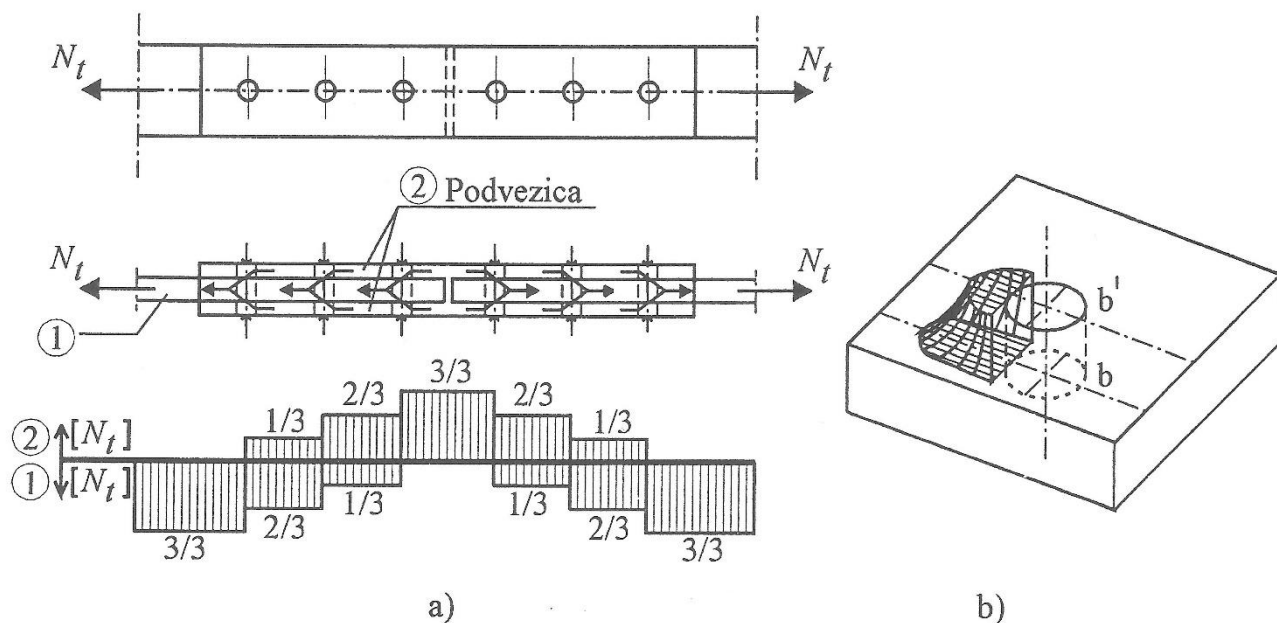
Oznake zavrtnjeva su standardizovane i date su u tabeli 2. Za obrađene zavrtnjeve se stavlja dopunska oznaka u vidu dve crte, jedna zastavica ukoliko je rupa izbušena u radionici, a zavrtnanj ugrađen na montaži, dve zastavice ukoliko se na montaži i buši rupa i vrši ugradnja, polukrug označava zavrtnjeve sa poluupuštenom glavom, u zavisnosti da li je ona gore ili dole.

Tabela 2-Oznake zavrtnjeva [1]

Nazivni prečnik	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30
Osnovne oznake za zavrtnjeve							
Obrađeni zavrtnjevi							
Montažni zavrtnjevi							
Montažne rupe i zavrtnjevi							

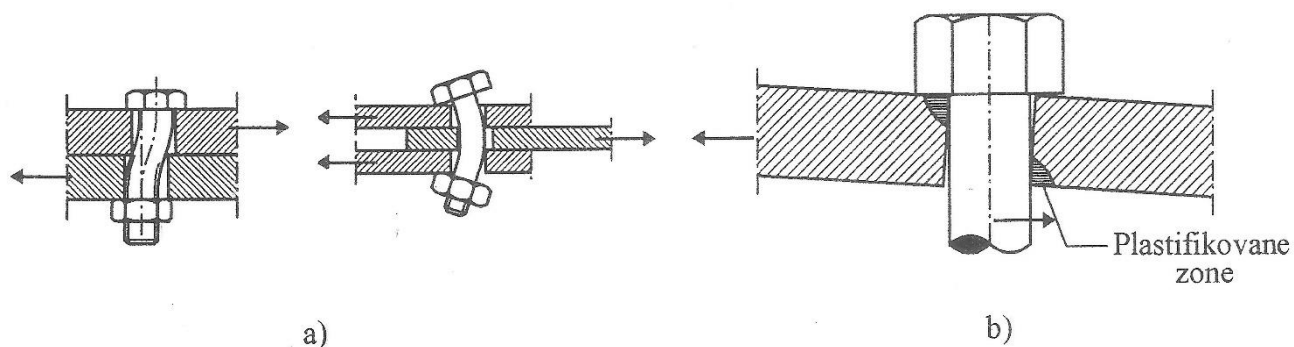
3.2.1.2 Rad veza sa zavrtnjevima

Kod veza sa zavrtnjevima, ravnoteža sila u elementima veze se uspostavlja naprezanjem zavrtnjeva na pritisak po omotaču rupe. Kako su naprezanja usled pritiska po omotaču rupe upravna na osu zavrtnjeva i suprotnih smerova, ona na mestu promene smera naprezanja u ravni spoja izazivaju smicanje tela zavrtnja. Sila deluje u težištu elementa koji se povezuje. Na mestima gde su zavrtnjevi ona skreće ka težištu drugog elementa u koji se prenosi smicanjem tela zavrtnja. Usled toga dolazi do povećanog napona pritiska po omotaču rupe, koji je zbog toga promenljiv po debljini lima. Stvarni napon je promenljiv i u radijalnom pravcu (slika 52).



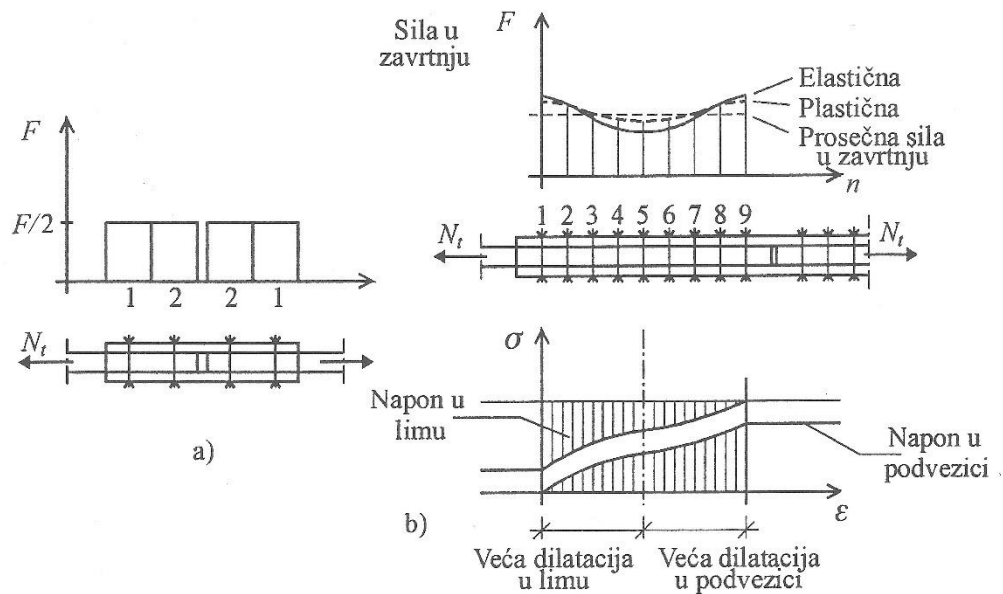
Slika52 –a)Prenošenje sile u spoju;b)Stvarni oblik dijagrama napona pritiska po obimu rupe [1]

Kod neobrađenih zavrtnjeva zbog zazora, svi zavrtnjevi ne mogu istovremeno da ostvare kontakt sa limovimausled čega dolazi do savijanja zavrtnjeva u vezi. To izaziva preraspodelu kontaktnih napona između tela zavrtnja i površine rupe u limu.Na spoljašnjim površinama limova gde kontaktni naponi dostižu vrednosti granice razvlačenja čelika dolazi do plastifikacije lima. Plastične deformacije limova omogućavaju ravnomernu preraspodelu sila u vezi na sve zavrtnjeve (slika 53).



Slika53 –a)Deformacije zavrtnjeva u vezama;b)Plastifikacija lima u spoljašnjim zonama [1]

Kod veza sa dva zavrtnja oba zavrtnja su podjednako napregnuta. U vezi sa tri zavrtnja krajnji zavrtnjevi primaju veći deo ukupne sile, a srednji zavrtnj manji deo. Eksperimentalno je utvrđeno da je kod veza sa većim brojem zavrtnjeva raspodela sila neravnomerna i simetrična u odnosu na sredinu veze. Zavrtnjevi u sredini primaju manju silu od krajnjih zavrtnjeva. Ova pojava je značajna za određivanje nosivosti zavrtnjeva na smicanje (slika 54).



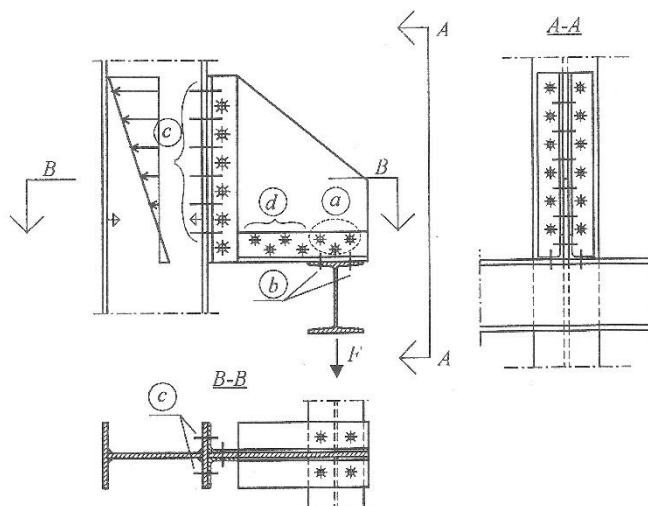
Slika54 – Raspodela sila u zavrtnjevima u zavisnosti od broja zavrtnjeva u pravcu sile [1]

3.2.1.3 Proračun nosivosti zavrtnjeva

Osnovna naprezanja značajna za proračun zavrtnjeva su: smicanje, zatezanje i kombinovano naprezanje. Prema funkciji u vezi zavrtnjevi mogu da budu: statički ukoliko prenose sile koje deluju u vezama ili nastavcima, a konstruktivni kada imaju funkciju boljeg prijanjanja nosećih elemenata čije se veze ostvaruju drugim zavrtnjevima.

Na slici 55 je dat primer različitog naprezanja.

Prema načinu naprezanja zavrtnjeva u spojevima, spojevi se dele na: smičuće spojeve i smičuće spojeve sa tačnim naleganjem, gde se sila prenosi smicanjem tela zavrtnja i pritiskom po omotaču rupe; zatežuće spojeve gde se sila prenosi zatezanjem zavrtnja u pravcu podužne ose; i kombinovani spojevi kod kojih su zavrtnjevi istovremeno napregnuti na smicanje i zatezanje.



Slika55 – Različiti slučajevi naprežanja zavrtnjeva: (a)Zavrtnjevi opterećeni na smicanje; (b)Zavrtnjevi opterećeni na zatezanje; (c)Zavrtnjevi istovremeno opterećeni na smicanje i zatezanje; (d)Konstruktivni zavrtnjevi [1]

Pri proračunu nosivosti zavrtnjeva važe pretpostavke: da svi zavrtnjevi u vezi podjednako učestvuju u prenošenju opterećenja i da se u redu nalazi šest zavrtnjeva u pravcu delovanja sile, da je napon smicanja konstantan u telu zavrtnja, pritisak po kontaktnoj površini omotača rupe je konstantan i zanemaruje se savijanje i zatezanje zavrtnjeva u smičućim spojevima. Nosivost zavrtnjeva na smicanje se određuje prema obrascu:

$$F_v = m \cdot A_{v,1} \cdot \tau_{dop} = m \cdot (d^2 \pi / 4) \cdot \tau_{dop} \quad (3.4)$$

Gde su:

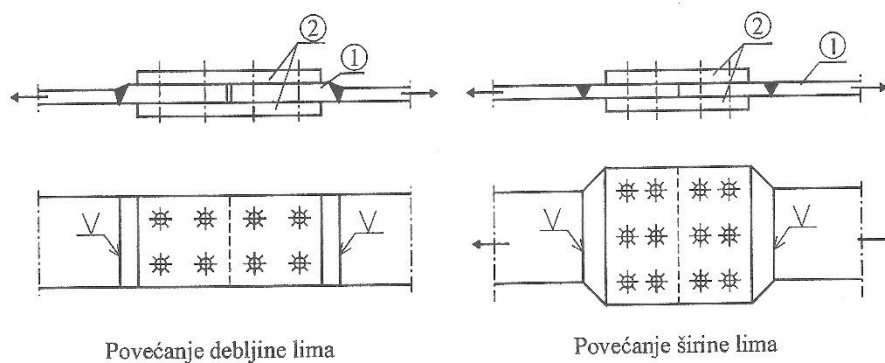
m – sečnost zavrtnja,

τ_{dop} – dopušten napon na smicanje zavrtnja,

$A_{v,1}$ – površina poprečnog preseka tela zavrtnja i
 d – prečnik zavrtnja.

Vrši se još proračun nosivosti zavrtnjeva na pritisak po omotaču rupe, proračun nosivosti zavrtnjeva na zatezanje i proračun konstrukcionih elemenata koji su oslabljeni spojnim rupama.

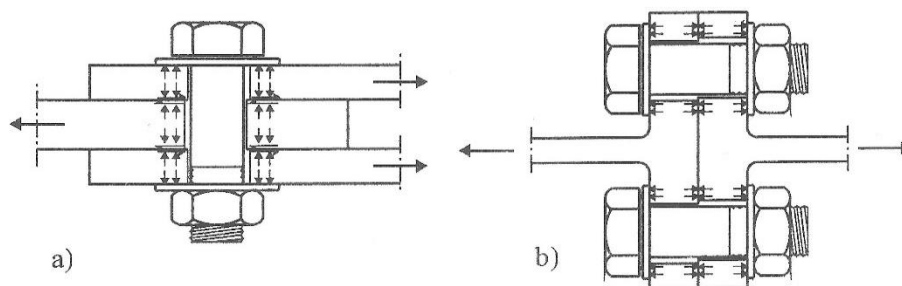
Za dimenzionisanje je merodavan onaj poprečni presek koji ima manju površinu, onaj u kome se javlja veći napon. Ukoliko je napon u neto preseku prekoračen, u zoni nastavka treba ojačati presek povećanjem debljine ili širine lima (slika 56).



Slika 56 – Različite mogućnosti ojačanja

3.2.2 Visokovredni zavrtnjevi

Visokovredni zavrtnjevi se primenjuju kod dinamički opterećenih konstrukcija. Imaju visoku klasu čvrstoće (640 do 1080 MPa) i prilikom ugradnje se prednaprežu kontrolisanom silom zatezanja. Između pritisnih površina se javljaju sile trenja koje prenose smičuću silu u spoju. Njihovom primenom se smanjuje deformabilnost veze i povećava otpornost na zamor (slika 57).



Slika 57 – Sile u spojevima sa visokovrednim zavrtnjevima [1]

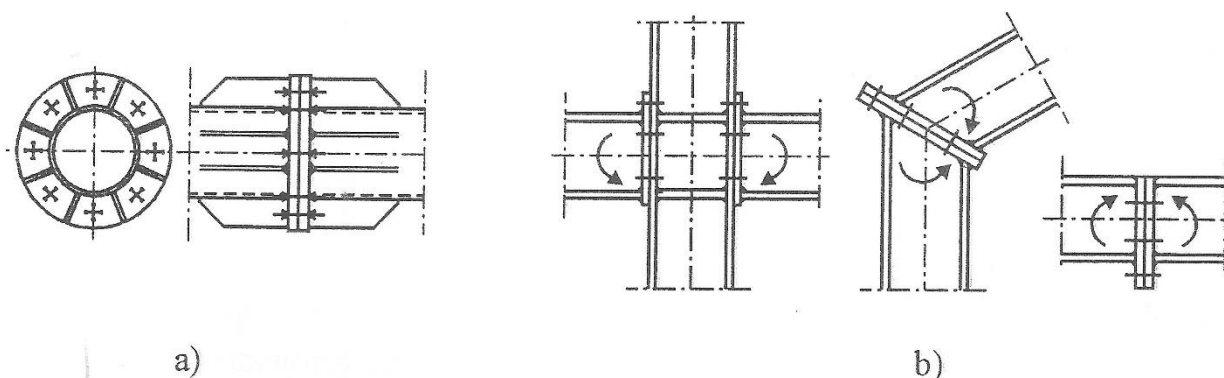
Komplet visokovrednog zavrtnja čine: cilindrično telo, šestougaona navrtka i podložne pločice. Dimenzije svih delova su standardizovane.

Obeležavanje visokovrednih zavrtnjeva je dato u tabeli 3. Oznake su standardizovane.

Tabela 3-Oznake visokovrednih zavrtnjeva [1]

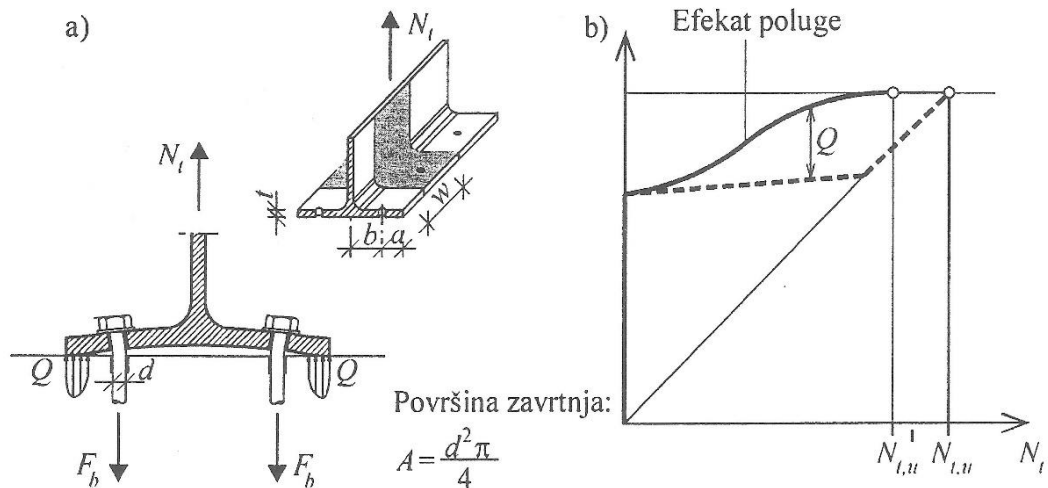
Vrsta zavrtnja	Zazor	M12	M16	M20	M22	M24	M27	M30
Zavrtnjevi bez tačnog naleganja	$\Delta d \leq 1,0 \text{ mm}$							
Zavrtnjevi sa tačnim naleganjem	$\Delta d \leq 0,3 \text{ mm}$							
Dodatne oznake								
Montažni zavrtnjevi								
Montažne i rupe i zavrtnjevi								

Zatežući spojevi sa visokovrednim zavrtnjevima se najčešće primenjuju kod montažnih nastavaka aksijalno zategnutih štapova (slika 58a) i zonama zatezanja kod krutih veza rigli sa stubovima (slika 58b).



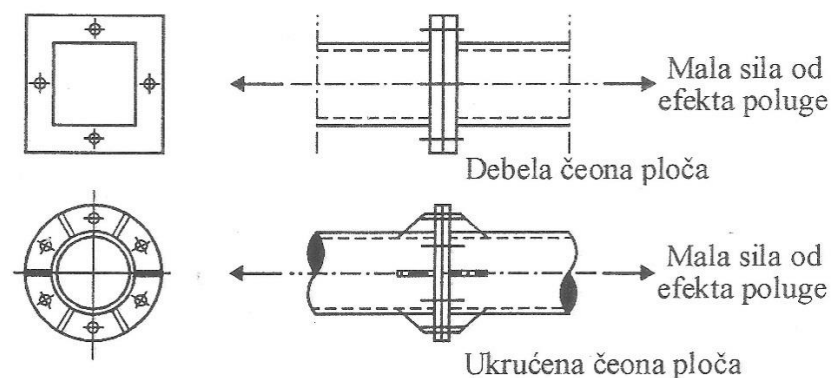
Slika58 –Visokovredni zavrtnjevi u zatežućim spojevima

Kod zatežućih spojeva sa tankim, fleksibilnim limovima, usled savijanja limova dolazi do kontaktakrajeva prepusta na drugi elementveze. Na kontaktu se javlja kontaktna sila pritiska Q –sila od efekta poluge koja dodatno opterećuje zavrtnjeve (slika 59).



Slika59 –a)Efekat poluge; b)Povećanje sile u zavrtnju usled efekta poluge [1]

Efekat poluge se može povećati ili smanjiti. Kod veza sa tankim čeonim pločama bez ukrućenja dolazi do savijanja limova i javlja se značajna sila usled efekta poluge. Kod veza sa debelom ili ukrućenom čeonom pločom dolazi do odvajanja ploče kao krutog tela pa se ne javlja efekat poluge (slika 60).



Slika60 –Smanjenje efekta poluge konstruktivnim oblikovanjem [1]

Sila prednaprezanja se ostvaruje uvrtnjem navrtke zavrtnja. Pri tome se u zavrtnju kao primarno naprezanje javlja sila zatezanja usled njegovog izduženja. Osim aksijalnih napona usled sile zatezanja u zavrtnju se javljaju i smičući naponi usled momenta torzije koji je posledica trenja između navrtke i navoja zavrtnja i između navrtke i podloške. On predstavlja sekundarni uticaj. Uvrtnje navrtke se izvodi pomoću momentnih ključeva. Oni se predhodno baždare u laboratoriji a konstruisani su tako da daju svetlosni ili zvučni signal ili se pak automatski isključuju kako ne bi došlo do prekomernog naprezanja zavrtnja. Vrednost momenta uvrtnja M_u za uobičajenu vrednost koeficijenta k date su u tabeli 4. Od tačnosti koeficijenta k direktno zavisi vrednost sile prednaprezanja, a indirektno i nosivost spoja. Moment uvrtnja navrtke:

$$M_u = F_p \cdot d \cdot k \quad (3.5)$$

Gde su:

- d – nazivni prečnik zavrtnja
- F_p – ostvarena sila prednaprezanja
- k – koeficijent koji zavisi od stanja površina navoja

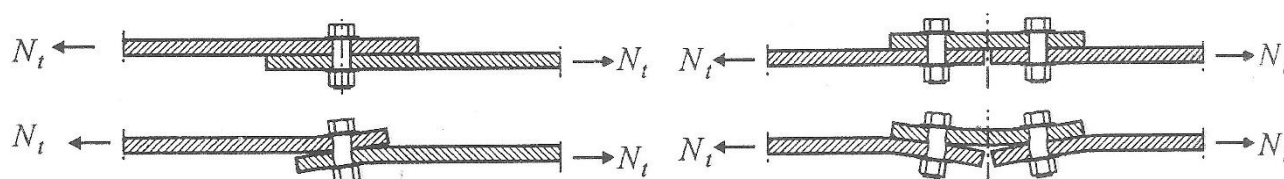
Tabela 4 – Vrednosti sile prednaprezanja za zavrtnjeve [1]

d	A_s	f_{02}	F_p [kN]		M_u [Nm]
[mm]	[mm ²]	[N/mm ²]	$\nu_1=0,7$	$\nu_1=0,8$	za $k=0,16$
M12	84,3	900	53	61	102
M16	157		99	113	253
M20	245		154	176	493
M22	303		191	218	672
M24	353		222	254	852
M27	459		289	330	1495
M30	561		353	404	1694
M33	694		437	500	2307

3.3 Veze sa zavrtnjevima i zakivcima

Nastavci treba da budu konstruisani simetrično sa istim brojem zakivaka ili zavrtnjeva sa obe strane spoja.

Veze sa jednim zakivkom ili zavrtnjem se primenjuju samo u specijalnim slučajevima gde je ponašanje spojevautvrđeno eksperimentalnim putem (kod stubova dalekovoda). Spojevi na preklop sa jednim zakivkom nisu dopušteni, a sa jednim zavrtnjem može da se primenjuje samo u izuzetnim slučajevima. Da bi se povećala otpornost načupanje, zavrtnanj treba da ima podlošku ispod glave i ispod navrtke (slika 61).



Slika61 –Preklopni spoj sa jednim zavrtnjem

Zakivci ne smeju da se primenjuju u spojevima opterećenim na zatezanje. Kod dinamički opterećenih konstrukcija dozvoljava se primena samo prednapregnutih visokovrednih zavrtnjeva.

3.3.1 Raspored zakivaka i zavrtnjeva u vezi

Pri konstruisanju veze treba voditi računa o njihovom međusobnom rastojanju i rastojanju između ivica elemenata koji se spajaju i spojnih sredstava. Ukoliko je rastojanje između dva susedna zakivka ili zavrtnja malo tada dolazi do smicanja lima, a ukoliko je mnogo veliko, onda je nelinearna raspodela sila u spojnim sredstvima. Minimalna i maksimalna rastojanja između zavrtnjeva su definisana standardom SRPS.U.E7.145/1987. Ona zavise od prečnika zavrtnja i od pravca delovanja sile.

3.4 Specijalna savremena spojna sredstva

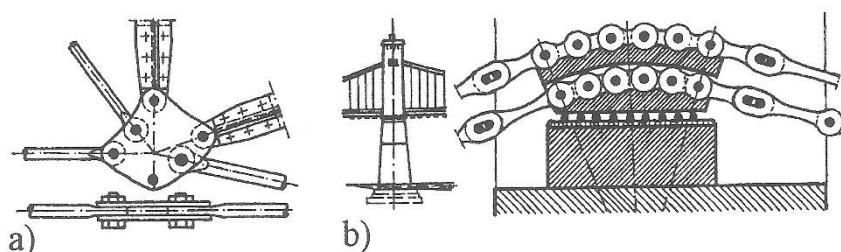
Zakivci sa prstenom se primenjuju u zidarstvu. Spojevi su analogni spojevima sa visokovrednim zavrtnjevima. Zakivak sa prstenom na jednom kraju ima iskovanu okruglu glavu. Prednost zakivaka sa prstenom u odnosu na visokovredne zavrtnjeve je u brznoj i jednostavnoj montaži (nije potrebno baždarenje momentnih ključeva niti proračun koeficijenta k). U telo zakivka se ne unosi moment torzije, a unesena sila zatezanja je kontrolisanog intenziteta.

Injektirani zavrtnjevi su zavrtnjevi kod kojih je prostor između tela zavrtnja i rupe u spojnim elementima u vezi ispunjen dvokomponentnim smolama. Primenuju se u smičućim spojevima kao alternativa zakivcima, upasovanim zavrtnjevima ili prednapregnutim visokovrednim zavrtnjevima. Zbog ispunjenosti zazoru očvrslom smolom u spoju je eliminisano bilo kakvo pomeranje i proklizavanje veze.

3.5 Čepovi

Čepovi su cilindrični čelični elementi preko kojih se ostvaruje veza dva okasta štapa. Veza dva okasta štapa izvodi se isključivo sa jednim čepom, čime se omogućava slobodna rotacija veze. Prilikom postavljanja čepova njihovo ispadanje se sprečava pomoću osigurača u vidu klinastih graničnika ili navrtke. Telo čepa je istovremeno izloženo dejstvu smicanja i savijanja i u njemu se javljaju normalni i smičući naponi.

Koriste se kao elementi za vezu kod velikih konstrukcija kao što su mostovi, za izradu čvorova kod rešetkastih nosača i za ostvarivanje veza lančanica i zatega izrađenih odravnih limova kod visećih mostova (slika 62).



Slika 62 – Primena spoja sa čepom [1]

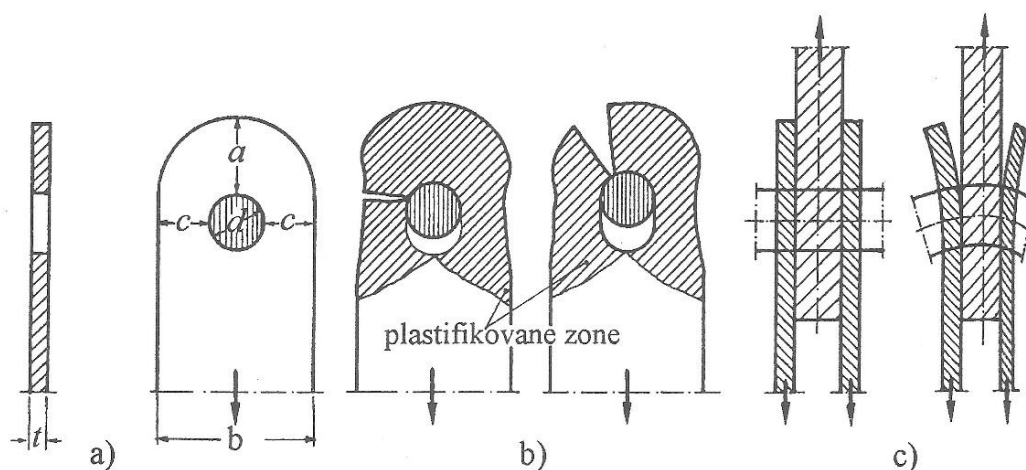
Veze izvedene pomoću čepova su po svom ponašanju veoma bliske idealno zglobnim vezama, jer omogućavaju slobodnu rotaciju štapa na mestu veze, pa su elementi oslobođeni dejstva sekundarnih momenata savijanja. Mana je što pri otkazivanju jednog čepa, odnosno zatega, dolazi do loma čitave konstrukcije. Pregled i antikorozijska zaštita su otežani. Razvoj tehnologije proizvodnje kablova prouzrokovao je smanjenje primene čepova za izradu veza kod nosećih čeličnih konstrukcija. Danas se ove veze primenjuju samo u specijalnim slučajevima kada neki posebni uslovi diktiraju primenu veza sa potpuno slobodnom rotacijom. Na primer: kod oslonih stubova kod kojih se očekuje sleganje temelja, za izradu pokretnih mostova, skela, za veze zatega kod visećih mostova, za vezu kuka kod kranova i nastavaka sajli u mašinskoj industriji i kod mostova u vojnoj industriji.

3.5.1 Rad veza sa čepovima

Veze sa čepovima čine okasti štapovi i čepovi. Neki od faktora koji utiču na napone u ovim vezama su: oblik i dimenzije okastog štapa, odnos prečnika čepa i dimenzija okastog štapa, zazor između čepa i rupe na okastom štapu i razmak između limova okastih štapova. Naprezanja u okastim štapovima mogu da se odrede primenom teorije prstenastih nosača sa velikim zakrivljenjem, teorije ploča napregnutih u

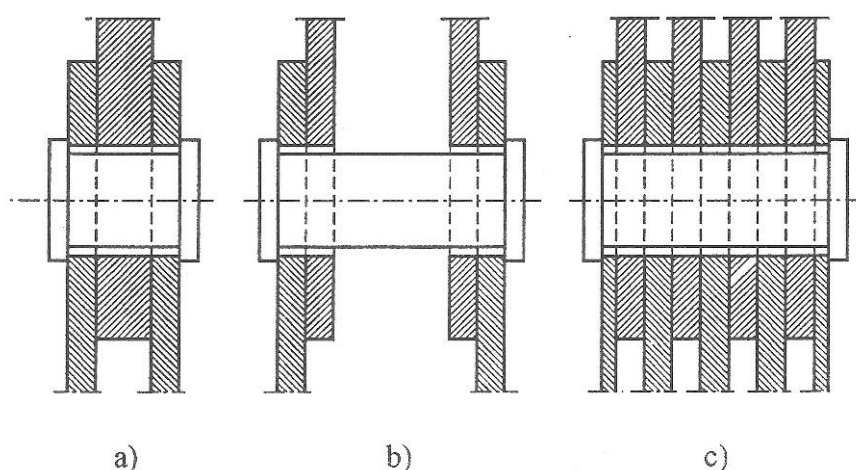
svojoj ravni ili primenom metode konačnih elemenata. Osim toga naprezanje može da se odredi i eksperimentalnim putem (primenom naponsko-optičke analize).

Najveći naponi se javljaju na kontaktu čepa i okastog štapa sa povećanjem zazora. Opterećenjem okastog štapa do loma mogu se izvesti sledeći zaključci o njihovom ponašanju: usled pritiska po omotaču rupe dolazi do izduženja rupena okastom štapu u pravcu delovanja sile, sa strane na koju naleže čep; cepanje lima okastog štapa se dešava upravno i u pravcu dejstva sile kao posledica koncentracije napona; savijanje čepa prouzrokuje savijanje limova obraznih, okastih štapova ka spoljašnjim stranama (slika 63).



Slika 63—a) Oblici okastih štapova; b) Mogući vidovi loma; c) Savijanje čepa i spoljašnjih limova [1]

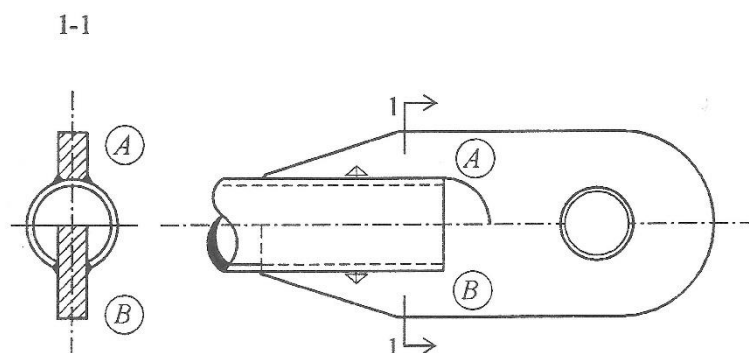
Okasti štapovi mogu da budu konstruisani kao jednodelni, dvodelni i višedelni elementi. Prednost višedelnih štapova u odnosu na dvodelne je u tome što se koriste čepovi manjeg prečnika a time su i manji naponi usled savijanja (slika 64).



Slika 64 - Veze sa čepom

Napon u čepu i napon savijanja u okastom štapu zavise od debljine lima okastog štapa. Sa povećanjem debljine se smanjuje.

Ispadanje čepova iz veze se obezbeđuje na dva načina: pomoću zavrtnjeva, klinastih rascepi ili osigurača. Veza okastog štapa sa elementima od šupljih profila može da se ostvari na dva načina (slika 65).

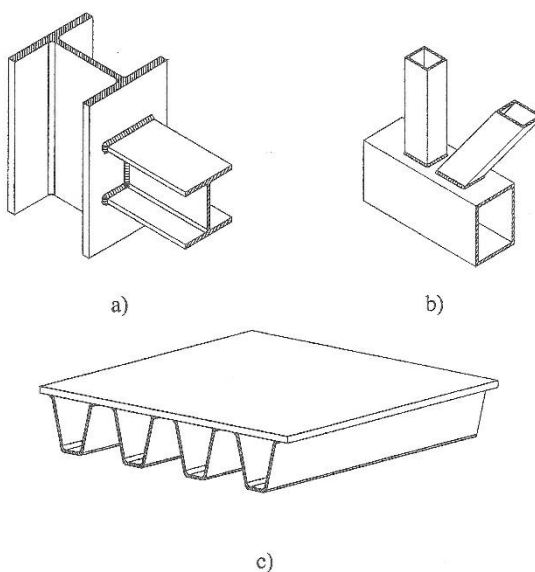


Slika65–Veze okastog štapa i šupljeg profila [1]

3.6 Zavarivanje

Zavarivanje je tehnološki postupak za spajanje istih ili sličnih metala. Spajanje elemenata se ostvaruje uz pomoć visoke temperature koja izaziva topljenje dodatnog i osnovnog materijala na mestu spoja. Rastopi osnovnog i dodatnog materijala(elektrode ili žice za zavarivanje) se međusobno mešaju i dolazi do njihovog fizičkog i hemijskog sjedinjavanja. Nakon hlađenja dolazi do očvršćavanja, stvara se šav, kao fizički kontinuitet materijala. Na ovaj način se ostvaruje kontinualan spoj elemenata koji se zavaruju.

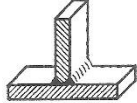
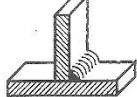
Pošto zavarene veze nisu demontažne i za njihovo izvođenje je potrebna kvalifikovana radna snaga, oprema, dodatni materijal, pripremni radovi i odgovarajući uslovi, zavarivanje se uglavnom primenjuje za radioničke sklopove, a ne za montažne nastavke. Zavarivanje se može primenjivati i za izradu montažnih nastavaka(kod ortotropnih ploča).



Slika66–Primeri zavarivanja u metalnim konstrukcijama a)Veze grede sa stubom;b)Čvor rešetkastog nosača;c)Ortotropna ploča [1]

Zavareni spojevi omogućavaju kontinualan prenos sila duž linija šavova. Kod sučeonih šavova je ravnomeran, a kod ugaonih šavova je tok malo poremećen.

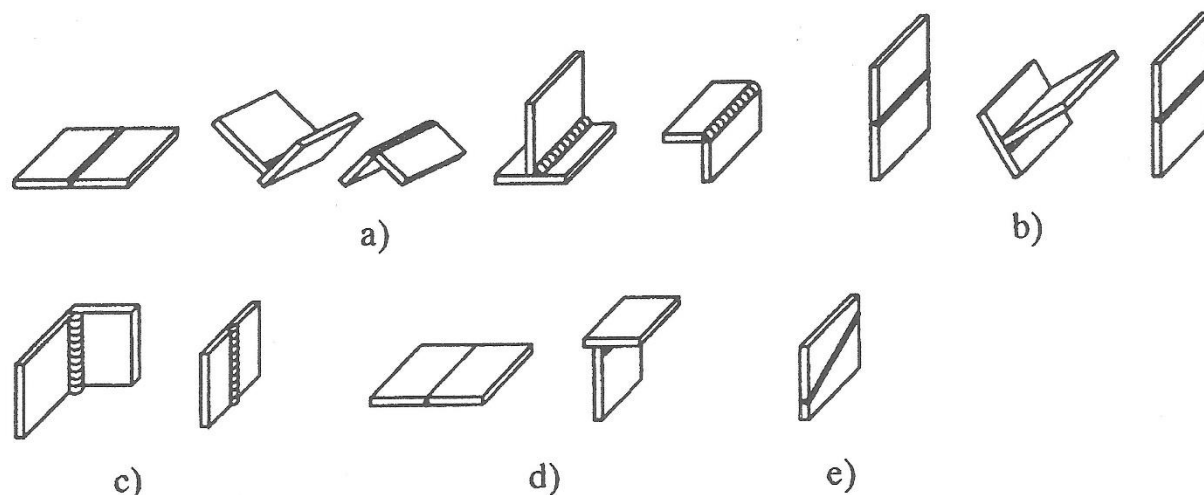
Tabela 5–Osnovne oznake šavova [1]

Naziv šava	Izgled	Oznaka
I - šav		
V - šav		
V - šav sa provarenim korenom		
1/2V - šav		
K - šav		
X - šav		
U - šav		
Ugaoni šav		

Zavarivanje se primenjuje za izradu veza između manjih ili većih sklopova metalnih konstrukcija. Zavarivanje se ima širok spektar primene, a naročito je značajan kod elemenata složene geometrije i zakrivljenih elemenata.

Veze elemenata pod uglom različitim od 90°, koje su problem kod veza sa zakivcima, efikasno se izvode zavarivanjem. Elementi se spajaju direktno bez dodatnih elemenata kao što su pojasni ugaonici, čime se ostvaruje ušteda u materijalu. Takođe nema slabljenja elemenata rupama (kao za zakivke i zavrtnjeve) pa je nosivost veća. Lakim variranjem debljine i širine elemenata duž raspona nosača u zavisnosti od promene statičkog opterećenja, nosivost nosača se usklađuje sa njegovim naprežanjem. Zavarivanje se može primeniti i za lako jačanje konstrukcije dodavanjem elemenata. Zavaren spoj je vodonepropustiv što je od značaja za izradu rezervoara, bunkera i silosa. Greške u zavarenom spoju mogu izazvati koncentraciju napona što kod dinamički opterećenih konstrukcija može izazvati naprsline, a kod statički opterećenih konstrukcija dolazi do plastifikacije ovih zona i preraspodele naprežanja.

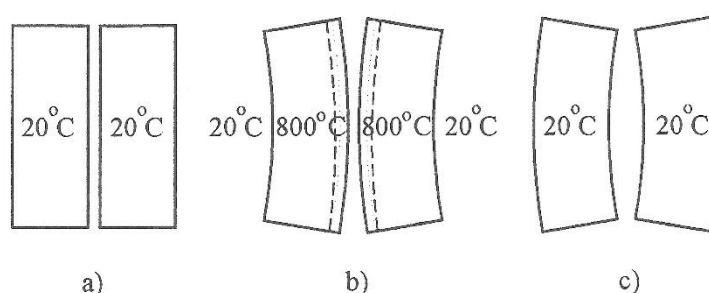
Od položaja pri zavarivanju zavisi proizvodnost i kvaliteta zavarivanja (slika 67).



Slika 67–Položaji pri zavarivanju a) Horizontalan ili položen; b) Horizontalno-vertikalan; c) Vertikalan; d) Iznad glave; i e) Nagnut

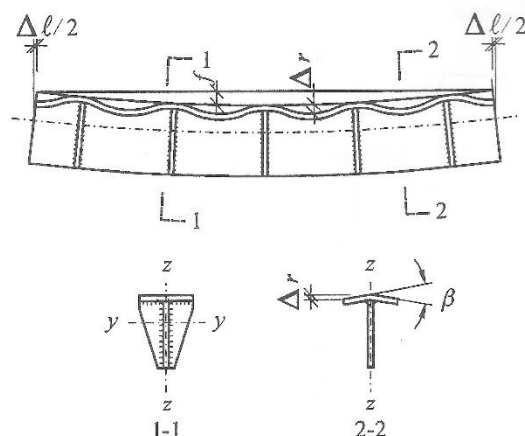
3.6.1 Ponašanje zavarenih spojeva

Zavarivanjem se ostvaruje kontinuitet materijala pa je i tok sila kontinualan. Potpun kontinuitet se ostvaruje kod sučeonih šavova, dok kod ugaonih šavova i u preklopnim i u ugaonim spojevima dolazi do skretanja linija sila. Intezitet, raspored i znak sopstvenih napona zavise od načina zagrevanja i hlađenja sklopa i menjaju se u podužnom i poprečnom pravcu u odnosu na osu šava. Čelik ima osobinu da su dilatacije usled zagrevanja manje od dilatacija usled hlađenja do početne temperature, zato dolazi do savijanja elemenata pri hlađenju (slika 68).



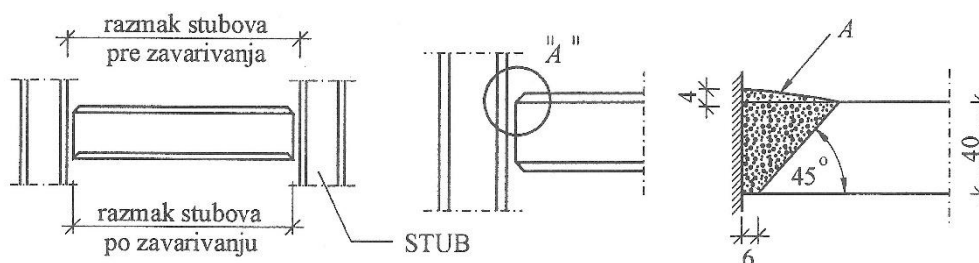
Slika 68–Odnos izduženja i skupljanja čelika

Usled lokalnih deformacija u elementima zavarenih konstrukcija mogu da se jave mnogi nepoželjni efekti kao što su: skraćenje elemenata, krivljenje nožice nosača usled skupljanja ugaonih šavova, savijanje elemenata kao celine oko težišne ose usled podužnog skupljanja šavova i nepoklapanja njihovog težišta sa težištem poprečnog preseka elementa. Izazvane deformacije su štetne za konstrukciju jer menjaju oblik elemenata i utiču na upotrebnu funkciju i dovode do pojave zaostalih napona (slika 69).



Slika69–Deformacije elemenata konstrukcije usled zavarivanja [1]

Pri zavarivanju rigle za stubove, razmak između stubova treba da bude veći od projektovanog da bi stubovi nakon poprečnog skupljanja sučeonih šavova ostali vertikalni (slika 70).



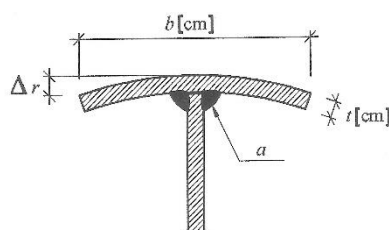
$$A_w = 6 \cdot 40 + 0,5(4 \cdot 46 + 40 \cdot 40) = 1132 \text{ mm}^2 \quad \Delta_T = 0,1 \cdot \frac{1132}{40} = 2,83 \approx 3,0 \text{ mm}$$

Slika70–Deformacije zavarene veze rigle sa stubom [1]

Kod nosača koji se obrazuju zavarivanjem limova dolazi do deformacije, obrtanja nožice pri zavarivanju za rebro. Vrednosti ove deformacije Δr zavise od širine elementa koji se zavaruje- b , njegove debljine- t i debljine šava- a i mogu da se odrede na osnovu sledećeg izraza:

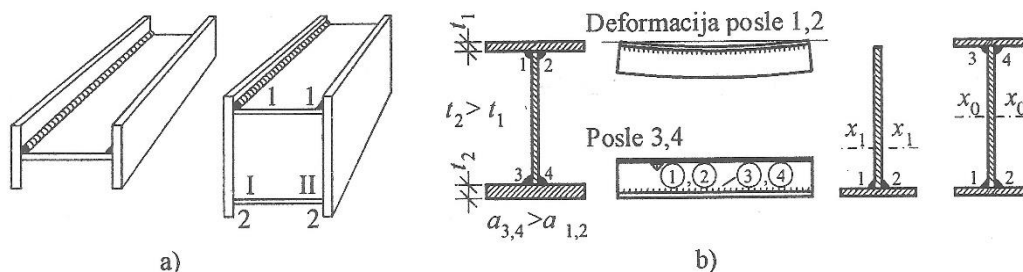
$$\Delta r = b \cdot a / 30 \cdot t \quad (3.6)$$

$$\Delta r = \frac{b \cdot a}{30 \cdot t}$$



Slika71–Ugaona deformacija nožica [1]

Savijanje nosača nastaje jer se ne poklapaju težišta temperaturne dilatacije, tj. mesta zavarivanja i težišta poprečnog preseka. Usled skupljanja šava javlja se aksijalna sila pritiska, koja pravi moment ekscentričnosti i izaziva ugib koji zavisi od krutosti elementa koji se zavaruje. Zato je bitan redosled zavarivanja elemenata, njihov poprečni presek, položaj nastavaka, izbor dimenzija i vrsta šavova. Preddeformacije se zadaju u vrednosti očekivane deformacije usled zavarivanja. Zavarivanjem se ove deformacije poništavaju. Kod simetričnih sučeonih šavova, pravilnim redosledom zavarivanja se eliminiše rotacija u šavu. Pri zavarivanju nosača prvo se izvode podužni šavovi između nožice i rebra sa iste strane, apotom sa druge strane. Kod nosača sa različitom debljinom nožica prvo se izvode šavovi uz tanju nožicu, što izaziva savijanje nosača. Zavarivanjem šavova uz deblju nožicu, šavovima većih dimenzija, postiže se deformacija suprotnog smera, pa se dobija prav nosač (slika 72).



Slika 72–Pravilan redosled zavarivanja pri izradi nosača[1]

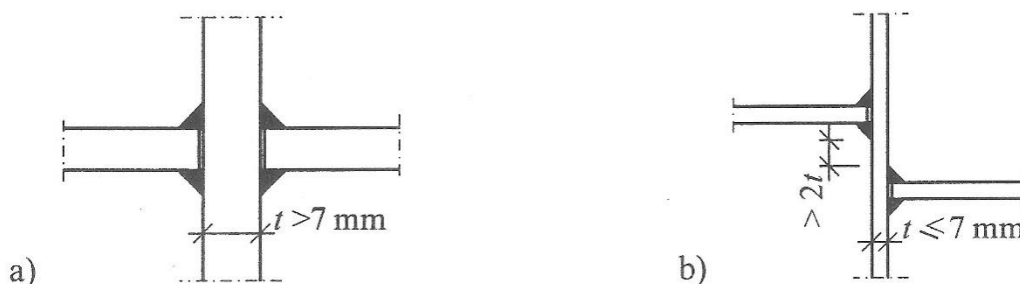
Neke deformacije mogu da se otklone posle zavarivanja zagrevanjem naodređenim mestimada bi se tako poništila postojeća deformacija (tabela 6). Prilikom zavarivanja polazi se od činjenice da u zoni šava treba uneti što manju količinu toplote, da raspored zagrevanja bude simetričan, da se što više omogući slobodno skupljanje šavova i da se izabere odgovarajuća krutost sklopa.

Tabela 6–Otklanjanje deformacija usled zavarivanja zagrevanjem [1]

Profil	Deformacija	Zagrevanje	Površi zagrevanja

3.6.2 Konstruisanje zavarenih spojeva

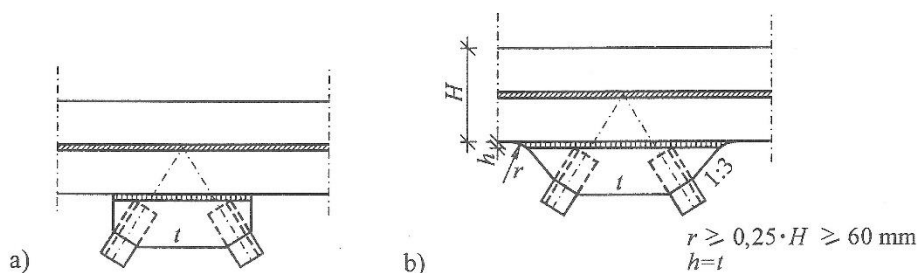
Kod ugaonih šavova, potrebno je da element koji se zavaruje bude udaljen od ivice elementa za koji sezavaruje, da postoji određen prepust. Ukoliko se ose šavova ukrštaju, a šavovi se izvode jedan iznad drugog, šav koji se naknadno izvodi treba prekinuti iznad izvedenog šava. To se najčešće izvodi zasecanjem lima. Kod krstastih spojeva debljina osnovnog lima za koji sezavaruju dva poprečna lima treba da bude veća od 7mm. Ukoliko je debljina osnovnog lima manja od 7mm, poprečne limove treba međusobno razmaći za dvostruku debljinu osnovnog lima (slika 73).



Slika 73–Zavarivanje krstastih spojeva [1]

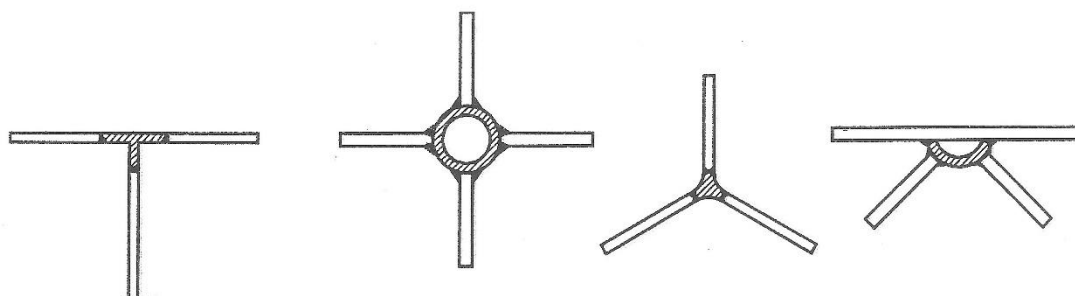
Kod nastavaka limova različite debljine pomoću sučeonih šavova, kada je razlika u debljini 3mm, da bi se obezbedio ravnomeran tok unutrašnjih sila, deblji lim treba da se obradi u blagom nagibu sa jedne strane. Ukoliko je debljina veća od 6mm treba da se obradi sa obe strane.

Čvorni limovi kod rešetkastih konstrukcija dinamički opterećenih, moraju da imaju blaga zakošenja, u nagibu 1:3, i zaobljenja sa $r \geq 0.25 H$, gde je H širina nožice pojasa (slika 74).



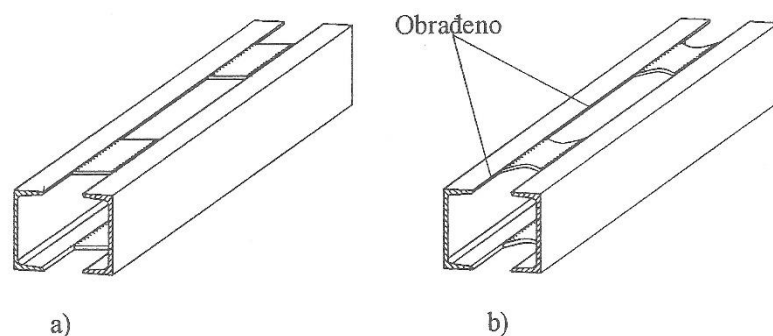
Slika 74–Konstruisanje čvornih limova [1]

Treba izbegavati nagomilavanje šavova na jednom mestu, a to se postiže ubacivanjem komada od punog čelika ili od debelozidnih šupljih profila (slika 75).



Slika 75–Izbegavanje nagomilavanja šavova na jednom mestu

Spojni limovi kod dvodelnih štapova mogu da budu pravougaoni u slučaju statičkog opterećenja, a zaobljeni u slučaju dinamičkog opterećenja (slika 76).

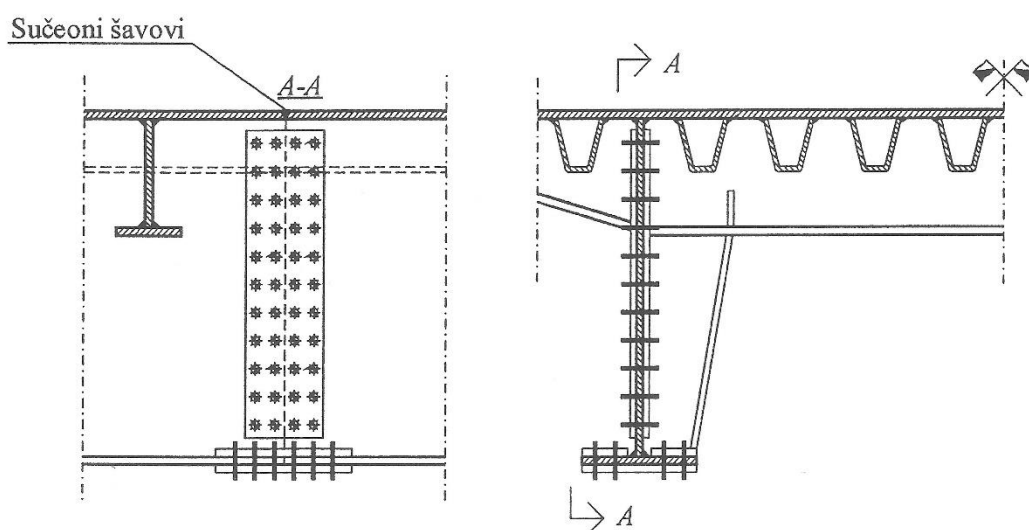


Slika 76–a) Statički opterećena konstrukcija, b) Dinamički opterećena konstrukcija

Kod limova debljine 15mm, zbog napona zatezanja koji deluju ili zaostalih napona, postoji opasnost od lamelnog cepanja, treba da se primeni odgovarajući postupak zavarivanja, da materijal ima dobru žilavost i da se izvrši ultrazvučna kontrola.

3.7 Kombinovanje raznih spojnih sredstava

Kod kombinovanja različitih spojnih sredstava u jednoj vezi, prvenstveno treba znati kako se neki sistem ponaša, da li je statički ili dinamički opterećen. Različita spojna sredstva se kombinuju najčešće pri rekonstrukciji ili ojačanju postojeće konstrukcije, na primer kod ortotropne ploče (slika 77). Potrebno je da krutost spojnih sredstava bude kompatibilna kako bi se ravnomerno rasporedilo opterećenje u konstrukciji.



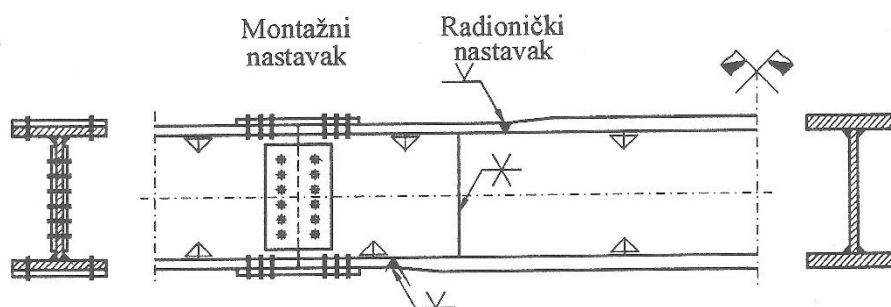
Slika 77–Kombinovanje različitih spojnih sredstava kod nosača sistema ortotropne ploče [1]

Najveću krutost imaju zavarene veze, i to sučeonni šavovi u odnosu na ugaone. Kod veza sa zavrtnjevima najveću krutost imaju veze sa prednapregnutim visokovrednim zavrtnjevima, a upasovani-

obrađeni zavrtnjevi u odnosu na neobrađene-neupasovane zavrtnjeve. Zakivci su po svojoj krutosti negde između prednapregnutih visokovrednih zavrtnjeva i upasovanih zavrtnjeva, pa zato pri zameni dotrajalih zakivaka u zakovanim konstrukcijama treba primenjivati upasovane ili prednapregnute visokovredne zavrtnjeve.

U istoj vezi mogu da se primene sledeće kombinacije spojnih sredstava:

- u smičućim spojevima: zakivci i upasovani zavrtnjevi ili zakivci i prednapregnute visokovredne zavrtnjeve,
- u smičućim spojevima statički opterećenim: prednapregnute visokovredne zavrtnjeve i upasovani zavrtnjevi ili zakivci i zavarivanje ili prednapregnute visokovredne zavrtnjeve i upasovani zavrtnjevi u kombinaciji sa zavarivanjem,
- prednapregnute visokovredne zavrtnjeve i injektirani zavrtnjevi,
- upasovani (u centralni deo veze) i neupasovani prednapregnute visokovredne zavrtnjeve.



Slika78–Kombinovanje različitih spojnih sredstava kod jednog nosača

U istoj vezi ne treba primenjivati sledeće kombinacije:

- zakivci i obični –neupasovani zavrtnjevi,
- neupasovani zavrtnjevi i prednapregnute visokovredne zavrtnjeve,
- neupasovani zavrtnjevi i zavarivanje,
- prednapregnute visokovredne zavrtnjeve i zavarivanje kod dinamički opterećenih konstrukcija, osim kod elemenata opterećenih na savijanje,
- sučeoni i ugaoni šavovi kod dinamičkih opterećenja.

Treba izbegavati primenu zakivaka ili zavrtnjeva različitog prečnika u istom spoju, na primernastavak nožica ili rebra, dok se u jednoj vezi mogu koristiti različiti zavrtnjevi, na primer, jedni za vezu nožice, a drugi za vezu rebra.

4.Zaključak

Metalne konstrukcije se dobijaju izvođenjem nastavaka i veza u radionici i na gradilištu. Dobija se prostorno povezana konstrukcija koja zajedno sa temeljima treba da ispuni uslove projektovane nosivosti, stabilnosti i upotrebne funkcije. Mesto nastavaka i veza u konstrukciji treba da se poklapa sa minimalnim statičkim uticajima u nosaču. Nastavak podrazumeva spoj dva ista ili slična dela jednog istog elementa konstrukcije, na primer štapa ili nosača. Nastavci i veze mogu da se izvedu zavarivanjem, zavrtnjevima i zakivcima u zavisnosti od opterećenja i ekonomičnosti konstrukcije. Zavarivanje se uglavnom primenjuje pri izradi konstrukcija u radionici, a zavrtnjevi za izradu nastavaka i veza na gradilištu.

Postoje različiti kriterijumi za izbor nastavaka i veza za neku konkretnu konstrukciju: mesto izvođenja, broj elemenata nastavaka i veza, položaj elemenata u konstrukciji, vrsta opterećenja. Prema Evrokodu 3, podela veza se može izvršiti prema kriterijumu krutosti i otpornosti.

Zglobne veze prenose transversalnu silu, odnosno reakciju oslonca. Najčešće se izvedu pomoću priključnih ugaonika koji se vezuju za stub pomoću zavrtnjeva ili ugaonih šavova, ili priključnih limova. Krute veze mogu da prenesu transversalnu silu i moment savijanja, koji može da se zameni spregom sila zatezanja i sila pritiska. Veze nisu idelno krute niti idealno zglobne jer pri opterećenju dolazi do rotacije na mestu krute veze i rotacione krutosti na mestu zglobne veze. Realna veza se može opisati pomoću krive- karakteristike koja prikazuje zavisnost momenta savijanja na mestu veze i relativnog obrtanja.

Noseći sistemi su uglavnom skeletnog tipa, formiraju se od linijskih elemenata. Veze su najčešće pod pravim uglom, ali su moguće i kose veze koje su skuplje i po utrošku materijala i po vremenu izrade. Zglobne veze pod uglom mogu biti sa: priključnim limom, sa priključnim ugaonicima, sa čeonom pločom i veze pomoću stolice. Krute veze su nezamenjive kod dinamički opterećenih konstrukcija i mogu biti: krute veze nosača sa kontinuitet lamelom i krute veze nosača sa čeonim pločama i prednapregnutim visokovrednim zavrtnjevima.

Rešetkasti nosači imaju veliku primenu. Oni mogu biti saili bez čvornog lima. Kod nosača sa čvornim limom veza štapova ispune sa pojasnim štapovima se ostvaruje preko čvornog lima. Vezu kada se pojasni štapovi prekidaju u čvoru treba izbegavati. Najčešće se kao pojasni štapovi koriste valjani U i I profili. Prilikom oblikovanja oslonačkih čvorova treba težiti da osa oslonca prolazi kroz čvor rešetkastog nosača. Kod rešetkastih nosača bez čvornog lima, veza štapova ispune se ostvaruje direktnim zavarivanjem štapova ispune za pojaseve rešetkastog nosača. Kao pojasni štapovi se mogu koristiti T, U i I profili.

Rešetkasti nosači od šupljih profila kružnog poprečnog preseka, se primenjuju kod krovnih nosača gde je bitan spoljašnji izgled konstrukcije i u industrijskim objektima. Takođe se primenjuju rešetkasti nosači od šupljih profila kvadratnog ili pravougaonog poprečnog preseka. Nastavci kod rešetkastih nosača od šupljih profila se ostvaruju pomoću umetnute pločeka kada su šuplji profili različitih dimenzija. Veza se ostvaruje obostranim ugaonim šavovima po čitavom obimu profila ili pomoću mufakod profila sa istim spoljašnjim dimenzijama.

Sredstva za vezu u metalnim konstrukcijama su zakivci, zavrtnjevi (obični i visokovredni), čepovi, zavareni spojevi, kombinacija zakivaka i zavrtnjeva, kao i specijalna savremena spojna sredstva: zakivci sa prstenom i injektirani zavrtnjevi. Kod kombinovanja različitih spojnih sredstava u jednoj vezi prvenstveno treba znati kako se neki sistem ponaša, da li je statički ili dinamički opterećen.

Sigurnost konstrukcije zavisi mnogo od sigurnosti veza, te se zato njihovom proračunu i izboru mora posvetiti velika pažnja.

Danas postoje i softveri koji pomažu inženjerima da brže izvrše proveru sigurnosti veza u metalnim konstrukcijama [ROBOT, MDSOLIDS...].

Literatura

- [1] **Buđevac D., Marinković Z., Čukić D., Tošić D.**, Metalne konstrukcije, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd 2007.
- [2] **Petković Z., Ostrić D.**, Metalne konstrukcije u mašinogradnji 1, Institut za mehanizaciju Mašinskog fakulteta u Beogradu, Beograd 1996.
- [3] **Nikolić R., Marjanović V.**, Metalne konstrukcije – Priručnik za proračune, Mašinski fakultet u Kragujevcu, Kragujevac 1998.
- [4] **Nikolić R., Veljković J., Marjanović V.**, Metalne konstrukcije – Zbirka rešenih zadataka, Fakultet inženjerskih nauka, Kragujevac, 2013.
- [5] **Petković Z.**, Metalne konstrukcije u mašinogradnji 2, Mašinski fakultet u Beogradu, Beograd, 2005.
- [6] **Babin N., Brkljač N., Šostakov R.**, Metalne konstrukcije, FTN Izdavaštvo, Novi Sad, 2006.
- [7] **Milosavljević M., Radojković M. i Kuzmanović B.**, Osnovi čeličnih konstrukcija, Građevinska knjiga, Beograd, 1986.
- [8] **Marković Z.**, Granična stanja čeličnih konstrukcija prema Evrokodu, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, 2014.